供内管腐食対策ガイドライン

令和2年7月改定版

経済産業省

産業保安グループ ガス安全室

令和２年７月改定版のはしがき

ガスを安全かつ安定に供給する観点から、ガス事業者において、「既設の埋設本支管及び供内管」（以下「導管」という。）を適切に維持管理することは重要な責務であり、導管のうち、埋設環境等により腐食・劣化の恐れがあるものは適切に評価し、必要に応じて取替え、更生修理などの対策（経年管対策）を講ずることは必要不可欠である。

このため、経済産業省は、ガス事業者が供内管の維持管理を自主的かつ適切に行うための手法の一例を「供内管腐食対策ガイドライン」（以下「本ガイドライン」という。）として示している（昭和 60 年（1985 年）11 月策定、平成 20 年（2008 年）7 月改定）。

今般、以下の観点から、本ガイドラインの改定を行うこととした。

(1)腐食リスク判定の取り込み

個々のガス管の腐食レベルを埋設経過年や土壌抵抗率などのデータを元に腐食リスクレベルを評価するリスク判定方法と判定結果の活用に関する解説等を追加した。

(2)コンクリート／土壌マクロセル腐食対策を参考資料に位置替え

コンクリート／土壌マクロセル腐食については、対策が完了していることから、対策に関する記載を参考資料に位置替えした。

(3)関係法令・基準・データの更新

ガス事業法令の改正に伴う参照条文の修正、保安上重要な建物の定義の追加、現存しない引用規格の削除等をした。

ガイドラインの改定作業を行うにあたっては、経済産業省の「経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業」（委託先　平成 28 年度:(一社)都市ガス振興センター、平成 29 年度～令和元年度：(一財)日本ガス機器検査協会）において、腐食リスクレベルを評価するリスク判定方法の策定のための調査・検討を行い、令和元年度にガイドライン案がとりまとめられた。

本ガイドラインをガス事業者が引き続き活用して、更なる効果的な腐食漏えい予防対策が推進されることを期待する。

平成２０年７月改定版のはしがき

通商産業省（現 経済産業省）は、埋設導管の健全度を評価し的確かつ効率的な対応策を事前に講じていくための技術的な検討を行い、具体的なガイドラインを確立すべく、供給管・内管の維持管理対策についての調査・研究を昭和 58 年から昭和 59 年にかけて（社）日本ガス協会に委託し、同協会では「供内管維持管理対策調査準備委員会」（昭和 58 年度）「供内管維持管理調査委員会及び同専門員会」（昭和 59 年度）において調査研究を行った。

委員会において検討の結果、社会的にも関心が高く、技術的にも検討を要する既設供内管の腐食漏えい予防対策に関するガイドラインを作成するに至り、昭和 60 年 11 月に「供内管腐食対策ガイドライン」（以下「本ガイドライン」という。）が作成された。

本ガイドラインに基づき、ガス事業者は鋭意、腐食漏えい予防対策を進めてきた中で、導管情報が整備され、これをベースにマッピングシステム等が開発・導入され、対策優先順位付けの考え方についても、ガス事業者自らが本ガイドラインの考えた方をベースにした発展的な優先順位付けを実施し、改善を進めてきた。

また、一般腐食対策として、新たな更生修理工法の開発や導入が進められ、更には、（社）日本ガス協会で更生修理工法技術研究会を設置し、更生修理工法の長期耐久性に関する技術評価等を行い、通達（60 資公部第 397）に基づき組織された「ガス導管更生修理工法評価委員会」（平成 19 年 2 月、10 月）において評価基準年数の延伸等について承認を得た。

本ガイドラインは、制定から約 20 年が経過しており、前述のような技術進展、新たな知見等の反映が求められ、現在業界として取り組んでいる一般腐食対策について、以下の内容を追加した追補版を作成することとした。

(1) 供内管情報のマッピング等によるシステム管理

(2) リスクマネジメントの考え方を取り入れた一般腐食対策の進め方

(3) 「ガス導管更生修理工法評価委員会」（平成 19 年 2 月、10 月）にて、承認された更生修理工法に関する新たな知見

(4) 適用範囲に、昭和 56 年 8 月以前に設置されたもので通達「供給管及び内管の腐食の防止について」（56 資公部第 331 号）の内容を満足しないもの以外の施行規則第 111 条様式第 58 で規定された腐食劣化対策導管を追加。

今回のガイドラインは、本ガイドラインの項目を追補版として編集しており、ガス事業者が更なる効果的な腐食漏えい予防対策を推進できるよう期待する。

――― 目　次 ―――

【本　編】

第１章　本ガイドラインの目的と概要 …… 1
1.1　目的 …… 1
1.2　適用範囲 …… 3
1.3　本ガイドラインの構成 …… 4
1.4　用語の定義 …… 6
1.5　関連法規 …… 10

第２章　供内管情報の管理 …… 12
2.1　基本的考え方 …… 12
2.2　設備情報の収集と管理方法 …… 15
2.2.1　情報項目 …… 15
2.2.2　収集方法 …… 16
2.2.3　管理方法 …… 19
2.3　埋設環境情報の収集と管理方法 …… 20
2.3.1　情報の種類 …… 20
2.3.2　収集方法 …… 21
2.3.3　管理方法 …… 23
2.4　故障情報の収集と管理方法 …… 25
2.4.1　情報項目 …… 25
2.4.2　収集と管理方法 …… 26

第３章　供内管の評価と対策の実施 …… 27
3.1　基本的な考え方 …… 27
3.2　一般腐食対策 …… 28
3.2.1　対策の進め方 …… 28
3.2.2　対象の把握 …… 30
3.2.3　実施の優先順位付け …… 31
3.2.4　計画の策定 …… 33
3.2.5　工法の選択 …… 37
3.2.6　実施上の留意点 …… 38
3.2.7　対象導管の管理 …… 39
3.3　流電陽極法及び更生修理工法の適用と維持管理 …… 41
3.3.1　流電陽極法の適用と維持管理 …… 41
(1) 防食方式の選定と適用 …… 41
(2) 施工後の効果の確認 …… 44

(3) 維持管理 …… 46

3.3.2　更生修理工法の適用と維持管理 …… 47
(1) 工法の選定と適用 …… 47
(2) 維持管理 …… 49

第４章　更生修理工法の開発と評価方法 …… 50
4.1　基本的考え方 …… 50
4.2　具備すべき特性 …… 51
4.3　特性試験及び評価 …… 52

【参 考 資 料】

Ⅰ　腐食リスクレベル判定の概要 …… 55
Ⅰ.1　腐食リスクレベル判定の進め方 …… 55
Ⅰ.2　腐食リスクレベル判定の解説 …… 69

Ⅱ　流電陽極法及び更生修理工法に関する要領類 …… 99
Ⅱ.1　流電陽極法設計要 …… 99
Ⅱ.2　更生修理工法特性試験・評価要領書 …… 110
Ⅱ.2-1　施工性試験・評価要領書 …… 113
Ⅱ.2-2　繰返し曲げ特性試験・評価要領書 …… 117
Ⅱ.2-3　保形性試験・評価要領書 …… 126
Ⅱ.2-4　耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領書 …… 148
Ⅱ.2-5　熱加速試験・評価要領書 …… 188
Ⅱ.3　更生修理工法モニタリング実施要領書 …… 202
更生修理工法一覧 …… 233

Ⅲ　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の概要 …… 235
Ⅲ.1　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策 …… 235
Ⅲ.2　供内管腐食診断等における各測定項目の作業要領 …… 249

Ⅳ　「ガス工作物設置基準調査について（昭和 58 年度～59 年度）」の概要 …… 253
Ⅳ.1　試験結果の概要 …… 253
Ⅳ.1.1　管体調査結果の概要 …… 253
Ⅳ.1.2　流電陽極法評価試験結果の概要 …… 273
Ⅳ.1.3　更生修理工法特性試験・評価結果の概要 …… 286
Ⅳ.2　調査データ類 …… 299
Ⅳ.2.1　全国供内管の設置実態 …… 299
Ⅳ.2.2　供内管の腐食による故障実態 …… 302
Ⅳ.2.3　更生修理工法の概要（反転ライニング工法、液相法、ＢＤ工法） …… 304

第１章　本ガイドラインの目的と概要

1.1　目　　的

本ガイドラインは、ガス事業者が従来から実施している既設の供給管及び内管（以下「供内管」という。）の腐食漏えい予防対策が、さらに効果的に推進されるために必要な技術的事項（供内管情報の収集・管理方法、供内管の評価方法及び対策工法の適用等）を定め、もって保安の向上に資することを目的とする。

〔解　説〕

(1)　本ガイドラインでは、既設供内管の腐食漏えい予防対策を効果的に推進するため

①　供内管に関する諸情報（設備情報、埋設環境情報、故障情報）を体系的に整備し、

②　これらの情報をもとに供内管の状態を適切な尺度で評価することにより、腐食漏えい予防対策の必要性の有無の判断及び対策実施の優先順位付けを行い、

③　対策工法の効果的な適用を考慮した合理的な漏えい予防対策を策定するための方法、

④　さらに、更生修理工法の開発及び評価に際しての考え方、方法を示している。

(2)　供内管の評価及び優先順位付けの考え方は、全国から収集した故障事例等の調査と、代表的な管種について実施した管体調査の結果及び文献調査等を基礎として作成したものである（参考資料Ⅳ.1.1 参照）。さらに、一般腐食対策の優先順位付けの考え方については、リスクマネジメントの考え方を取り入れ、腐食漏えいによる事故の発生確率、事故発生時の影響度を考慮した作成方法を示した。

また、一般腐食によるガス管の腐食漏えいに関しては、「経年埋設ガス管の腐食リスク評価手法・開発事業（平成 28 年度～令和元年度）」の成果を織り込み、個々のガス管の腐食リスクレベルを埋設環境から評価する方法を示した（参考資料Ⅰ.1 参照）。

(3)　対策工法のうち更生修理工法については、腐食漏えい予防工法として要求される特性の検討とともに、種々の工法に関してその性能を把握するための試験を実施し、これらの結果をベースとして工法の評価方法及び適用方法等を示した。

また、流電陽極法に関しては、種々の建物、配管状況等において流電陽極法を施工し、効果の確認試験を行い、その結果及び文献調査結果等をベースとして、その適用方法、施工方法及び効果の確認方法等を示した（参考資料Ⅳ.1.2参照）。

(4)　ガス事業者は、管理する供内管の管種、埋設年、故障実績等や周囲の環境等に応じて従来より必要な腐食漏えい予防対策を講じてきたところであるが、本ガイドラインの活用によりその対策をさらに効果的に推進し、一層の保安向上を図ることが望まれる。

1.2　適用範囲

埋設された低圧の供内管のうち、経時的な腐食の進行に伴い、漏えいが発生する可能性のあるものの腐食漏えい予防対策に対して適用する。

〔解　説〕

(1)　上記供内管は、ガス関係報告規則第3条様式第5及び様式第6で定義されている腐食劣化対策導管（埋設されている鋼管であって塗覆装を講じていないもの（白管・黒管）及びアスファルトジュート巻管）をいい、その改善実施状況について国への報告が義務化されている。

(2)　既設供内管の99%以上は、低圧導管であり、また腐食はほとんどの場合土中埋設部で発生しているため、この部分の腐食対策を適切に実施することが保安の向上を図るうえで重要であるとの観点より、本ガイドラインの適用範囲を上記のように定めた。

(3)　白ガス管は、鋼管表面に亜鉛メッキによる防食措置を施した管で、強度、耐食性に優れた管として昭和20年代後半に開発され、1996年（平成8年）の「ガス工作物の技術基準の細目を定める告示」の改正前まで埋設部の配管材料として使用されていた。ただし、水分等に恒常的に接触することのない場合においては、ほとんど腐食が進行しないので、現在でも露出配管部分では使用されている。

(4)　黒ガス管は、鋼管表面にメッキによる防食措置を施していない管であり、埋設部では昭和初期まで使用されていた。

(5)　アスファルトジュート巻管は、鋼管の上にジュート（麻）を巻き、アスファルトで防水処理を施して腐食に強い埋設管として昭和50年代頃まで埋設部の配管材料として使用されてきた。

(6)　本ガイドラインにおいては他工事や不等沈下による折損等及び継手もれ等に対する対策は述べていないが、これらについては、既に標準化されている方策に則った的確な対応が重要である。

1.3　本ガイドラインの構成

供内管の腐食漏えい予防対策を効果的に実施するために必要な情報管理について第２章で、対策の具体的な考え方及び手法について第３章の 3.1、3.2 及び 3.3 で記述する。腐食漏えい予防対策工法のうち、流電陽極法及び更生修理工法について第３章 3.4 で、さらに今後開発される更生修理工法の評価方法について第４章で記述する。

〔解　説〕

(1)　次章以降の概要は以下の通りである。

第２章　供内管情報の管理

供内管の腐食漏えい予防対策を実施するために必要な３種類の情報

① 設　備　情　報

② 埋設環境情報

③ 故　障　情　報

のそれぞれに対し情報の整備方法、管理方法及び活用方法の概要。

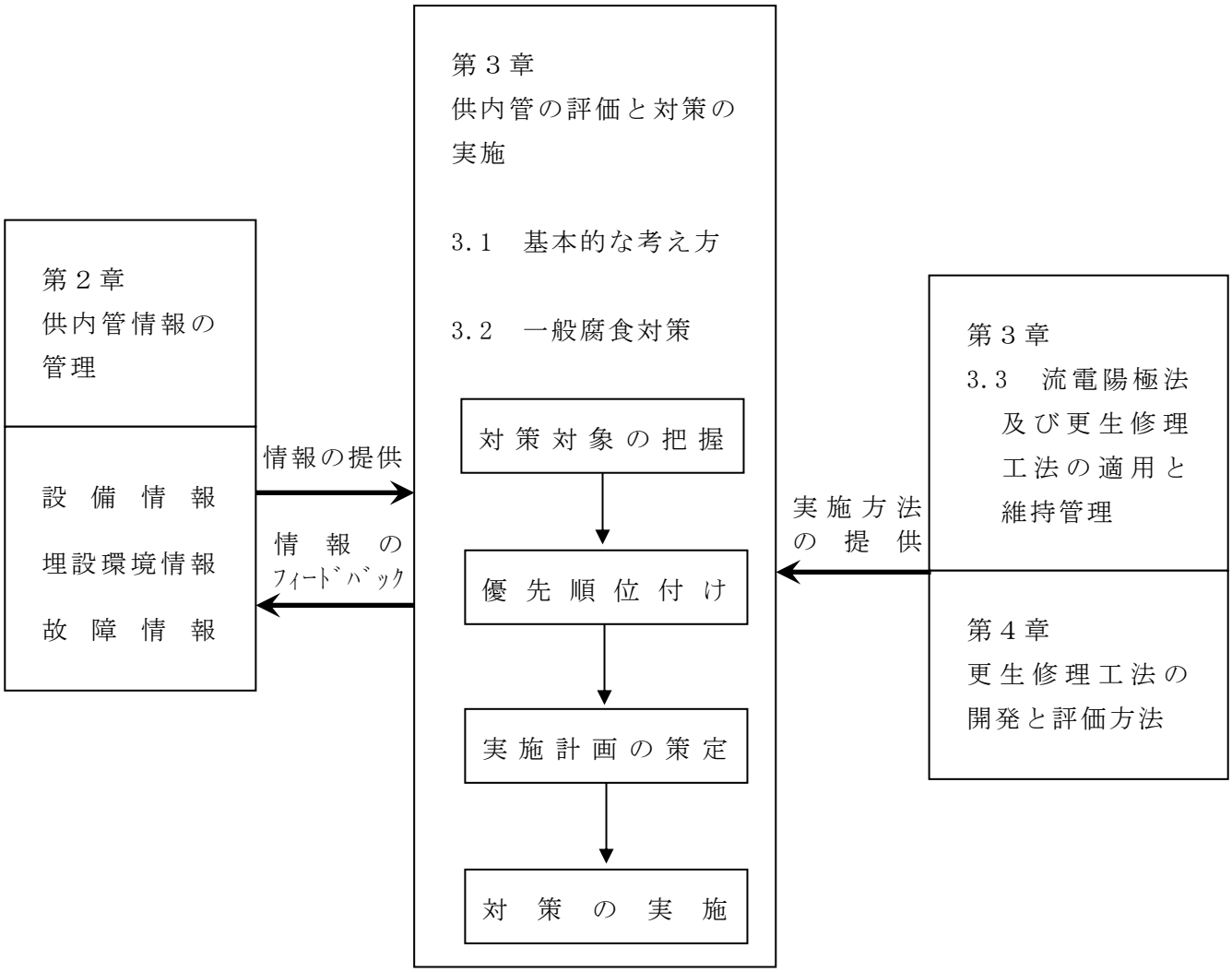
第３章　供内管の評価と対策の実施

一般腐食対策に関する基本的な考え方及び各々に対する診断・評価から対策の実施に至るまでの手順、さらに腐食漏えい予防対策のうち、流電陽極法及び更生修理工法について、その適用並びに維持管理に関する考え方。

第４章　更生修理工法の開発と評価方法

今後新たに開発される更生修理工法を腐食漏えい予防対策に適用する場合に評価すべき項目及び評価方法。

(2)　下図に各章間の関連を示す。



1.4　用語の定義

本ガイドラインで使用する用語の定義は以下による。

(1)　供内管

道路に平行して埋設されている本支管より需要家に直接ガスを供給するために分岐される導管、即ち一般道路部分の供給管及び需要家敷地内の内管をあらわしたもの。

(2)　コンクリート／土壌マクロセル腐食（Ｃ／Ｓマクロセル腐食）

鉄筋コンクリート建物等の鉄筋と供内管が直接又は他の金属を介して接触し、両者間に存する電位差によって形成される一種の電池（マクロセル）作用に起因して発生する腐食。

(3)　一般腐食

Ｃ／Ｓマクロセル腐食以外の腐食、すなわち供内管と土壌環境との関係によって発生する腐食（迷走電流による腐食（電食）を除く。）の総称。

(4)　鉄筋コンクリート建物等

鉄筋コンクリート造り建物、鉄骨鉄筋コンクリート造り建物及び基礎に鉄筋コンクリートを用いた鉄骨造り建物の総称。

(5)　木造建物等

鉄筋コンクリート建物等以外の建物の総称。

(6)　建物区分

「昭和 60 年 11 月通商産業省告示第 461 号ガスを使用する建物ごとの区分を定める件」に基づき、建物をその保安上の重要性から 11 の区分に分類したもの。

区分 No.	区　　分	保安上の優先順位
1	特定地下街等	1
2	特定地下室等	2
3	超高層建物	3
4	高層建物	5
5	特定大規模建物	4
6	特定中規模建物	6
7	特定公共用建物	7
8	工業用建物	8
9	一般業務用建物	9
10	一般集合住宅	10
11	一般住宅	11

(7)　保安上重要な建物

保安上重要な建物は、ガス事業法施行規則第 89 条（公共の安全の確保上特に重要なガス工作物）で定める建物であり、下表の“○”が該当する。

建物区分	鉄筋コンクリート建物等	木造建物等
1：特定地下街等	○	
2：特定地下室等	○	
3：超高層建物	○	
4：高層建物	○	
5：特定大規模建物	○	
6：特定中規模建物	○	
7：特定公共用建物	○	
8：工業用建物	○	－
9：一般業務用建物	○	○＊
10：一般集合住宅	○	－
11：一般住宅	－	－

＊木造建物であっても、学校教育法及び児童福祉法に規定する学校等の場合は、保安上重要な建物に該当

(8)　流電陽極法

マグネシウム、亜鉛などの腐食電位が鉄よりも低い金属を供内管と接続し、供内管との間に一種の電池を形成させ、これらの金属から流出する電流（防食電流）によって供内管を防食する方法。

(9)　更生修理工法

プラスチック、ゴム、繊維、接着剤などの主として高分子材料を既設供内管の内面に装着、塗布することによって、既設供内管の気密性を維持・向上させる工法。

(10)　供内管の腐食状況を定量的に示すために使用する用語。

最大腐食深さ：１本の供内管のうちで、腐食による肉厚の減少が最も著しい箇所の腐食深さ。

腐食リスクレベル：個々のガス管のガス管腐食度指数（CI）の値に応じて分類した腐食リスクの相対的な評価レベル。

ガス管腐食度指数：ガス管の管種、口径、埋設延長、埋設経過年、管対地電位、土壌抵抗率から求めた最大腐食深さ推定値と、ガス管の肉厚分布から求めたガス管貫通確率（Pf）を、ガス管腐食度指数（CI）と定義した。

管対地電位：土壌に設置した照合電極（飽和硫酸銅電極等）に対する埋設管の電位のことであり、腐食防食状態の確認のための測定項目の１つである。本ガイドライン中に記載する電位は、特に断りが無い限り飽和硫酸電極基準

とする。

土壌抵抗率：土壌の腐食性を判断する１つの目安となる。腐食電流の通りにくい土壌（土壌抵抗率の高い土壌）は、腐食電流の通りやすい土壌（土壌抵抗率の低い土壌）に比べて、相対的に腐食しにくい環境である。なお、ガス管腐食度指数に用いる土壌抵抗率は地中温度補正及び土壌の湿潤化を考慮した値を採用している。

〔解　説〕

(1)　Ｃ／Ｓマクロセル腐食と一般腐食

土中に埋設された導管の腐食は、導管の表面で生ずる電気化学的反応、即ち導管の表面において酸化反応が生じるアノード部と還元反応が生じるカソード部に分かれ、アノード部において鉄の溶出（腐食）が生じる。環境等の違いによりアノード部とカソード部が明確に分離される場合に生ずる腐食をマクロセル腐食といい、アノード部とカソード部が小さくしかも変動するため明確には分離できない場合の腐食をミクロセル腐食という。

現実の土壌中においては、マクロセル腐食又はミクロセル腐食が純粋に単独で進行することはなく、同時に進行していることが多いと考えられるが、供内管の腐食の場合特に急速な腐食を生ずる可能性のあるのは、マクロセル腐食の内でもＣ／Ｓマクロセル腐食である。

Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策は、当該対策のとられていない鉄筋コンクリート建物等に係る供内管のうち、比較的埋設経過年の短いもの（20 年程度以下）に対し、最大腐食深さ及び腐食指数＊[1]、腐食度区分＊[2]、腐食程度＊[3]を基に、優先順位や工法を選定し計画的に実施してきた。

Ｃ／Ｓマクロセル腐食以外のマクロセル腐食としては異種土壌、異種金属によるもの等があるが、供内管のように短小でほぼ均一な材料を使用している場合には大きな腐食駆動力とはならず、また現象として明確にとらえることも困難である。

従って、本ガイドラインにおいては、腐食の種類を急速な腐食を引き起こす可能性があるＣ／Ｓマクロセル腐食と、その他の腐食（一般腐食）の２つに大別して考えることとした。ただし、Ｃ／Ｓマクロセル腐食について、対策は完了している。

＊１　腐食指数：最大腐食深さを管体の元の管厚（埋設する前の管厚）で割った値。腐食

度区分の設定及びＣ／Ｓマクロセル腐食対策工法の選定のために使用。

＊２　腐食度区分：腐食指数と埋設経過年に基づき、Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の必要性の大小を判断するための区分。Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策を実施するかどうかの判断及び対策の優先順位付けに使用。

＊３　腐食程度：土壌抵抗率と埋設経過年より推定した最大腐食深さによる供内管の腐食状況の程度。一般腐食対策対象の選別に使用。

(2)　建物構造

Ｃ／Ｓマクロセル腐食を発生する可能性があるかどうかの観点より、建物構造を鉄筋コンクリート建物等と木造建物等に大別した。

なお、基礎に鉄筋コンクリートを用いた鉄骨建物は、壁にコンクリートを用いていない場合であっても、基礎のコンクリート中の鉄筋と供内管が、鉄骨を介して接触しＣ／Ｓマクロセル腐食を発生する可能性があるため、鉄筋コンクリート建物等に含めた。

一般腐食対策にあたっては、基礎に鉄筋コンクリートを用いていない鉄骨造、コンクリートブロック造等の建物は気密性が高いことから、鉄筋コンクリート建物等に含めるものとする。

(3)　管対地電位と土壌抵抗率

埋設管の電気防食の効果がある管対地電位（飽和硫酸銅電極基準）は、-850mV より低い電位が目安となる。土壌抵抗率が 10,000Ω・cm 以上の土壌は腐食性が極めて小さく、2,000Ω・cm 以下の場合には優先度を高めて対策する等の区分を行う。

1.5　関連法規

既設供内管の腐食漏えい予防対策を本ガイドラインによって講ずるにあたっては、関連する法規を遵守しなければならない。

〔解　説〕

以下に主要な関連法規を示す。

法令名称	関連事項
ガス事業法 同上施行令 同上施行規則 ガス関係報告規則 ガス工作物技術基準（省令、告示） 同上解釈例	託送供給約款、保安規程、導管材料、接合方法、構造、試験方法、ガス供給施設の維持管理に関する事項
労働基準法 労働安全衛生法 同上施行例 労働安全衛生規則 電離放射線障害防止規則 酸素欠乏症等防止規則	工事についての安全基準及び衛生基準並びにガス工事現場の責任者、掘削作業、土留支保工作業の主任者、アーク溶接作業の従事者、放射線業務の従事者、酸素欠乏等危険場所での作業の従事者に関する事項※
建設業法	建設業を営む者の施行技術の確保、請負工事を施工する時の主任技術者及び監理技術者の設置に関する事項
消防法 同上施行令 同上施行規則 火災予防条例	更生修理工法の材料が危険物に該当する場合は、危険物の貯蔵、取扱いに関する事項
道路法 同上施行令 同上施行規則	道路の占用並びに掘削、埋戻し、復旧に関する基準及び制限事項
河川法 同上施行令 同上施行規則 河川管理施設等構造令	河川、準用河川の流水敷、堤防敷並びに付近地の占用及び掘削の制限に関する事項

道路交通法 同上施行令	道路掘削及び道路上工事の交通上の制限・緊急自動車に関する事項
建設工事公衆災害防止対策要綱	市街地で施工する建築工事、土木工事についての公衆の生命、身体、財産に関する危害及び迷惑を防止するために必要な計画、設計、施工の基準に関する事項
環境基本法 悪臭防止法 同上施行令 同上施行規則 同上告示 騒音（振動）規制法 同上施行令 同上施行規則 同上告示	建設作業に伴って発生する悪臭、騒音、振動等の規制及びその他環境の保全に関する事項
急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律 地すべり等防止法	指定区域内における占用並びに掘削に関する基準及び制限に関する事項
建設副産物適正処理推進要綱	建設副産物（建設発生土と建設廃棄物）を発注者及び施工者が適正に処理するために必要な基準に関する事項
建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律（建設リサイクル法）	発注者及び受注者が、コンクリート、アスコン等の建設資材を適正に分別解体する事に関する事項
廃棄物の処理及び清掃に関する法律	廃棄物の排出の抑制と分別、保管、収集、運搬、再生、処分等についての規制に関する事項
資源有効利用促進法（リサイクル法）	副産物や廃製品を開発、設計、使用の段階から再生資源として利用できるように努めることに関する事項
住宅の品質確保の促進等に関する法律	ガス配管の経路、工法及び都市ガス警報器の設置に関する事項

※　更生修理工法のうちでエポキシ樹脂を取り扱う場合には、労働省通達「エポキシ樹脂の硬化剤による健康障害の防止について」（昭和 51 年 6 月 5 日基発第 442 号及び昭和 51 年 6 月 23 日基発第 477 号の 2）を遵守しなければならない。

第２章　供内管情報の管理

2.1　基本的な考え方

供内管に関する情報（供内管情報）の管理は、供内管の腐食漏えい予防対策の必要性の判断及び対策実施の優先順位付け等に有効に活用できるように行なう。

供内管情報は、現在保有している既存の情報も含めて腐食漏えい予防対策を講ずるために有効なものを網羅すべきで、これを以下の分類で収集・管理することが望ましい。

(1)　設備情報

個々の建物の構造、建物区分及び当該建物に係る供内管の圧力、管種、口径、埋設年、設置場所等に関する情報。

(2)　埋設環境情報

計画的あるいは日常業務から得られる供内管の腐食の程度、電位等に関する情報及び土壌腐食性等の埋設環境に関する情報。

(3)　故障情報

供内管の故障発生時に得られる故障箇所、形態、原因等に関する情報。

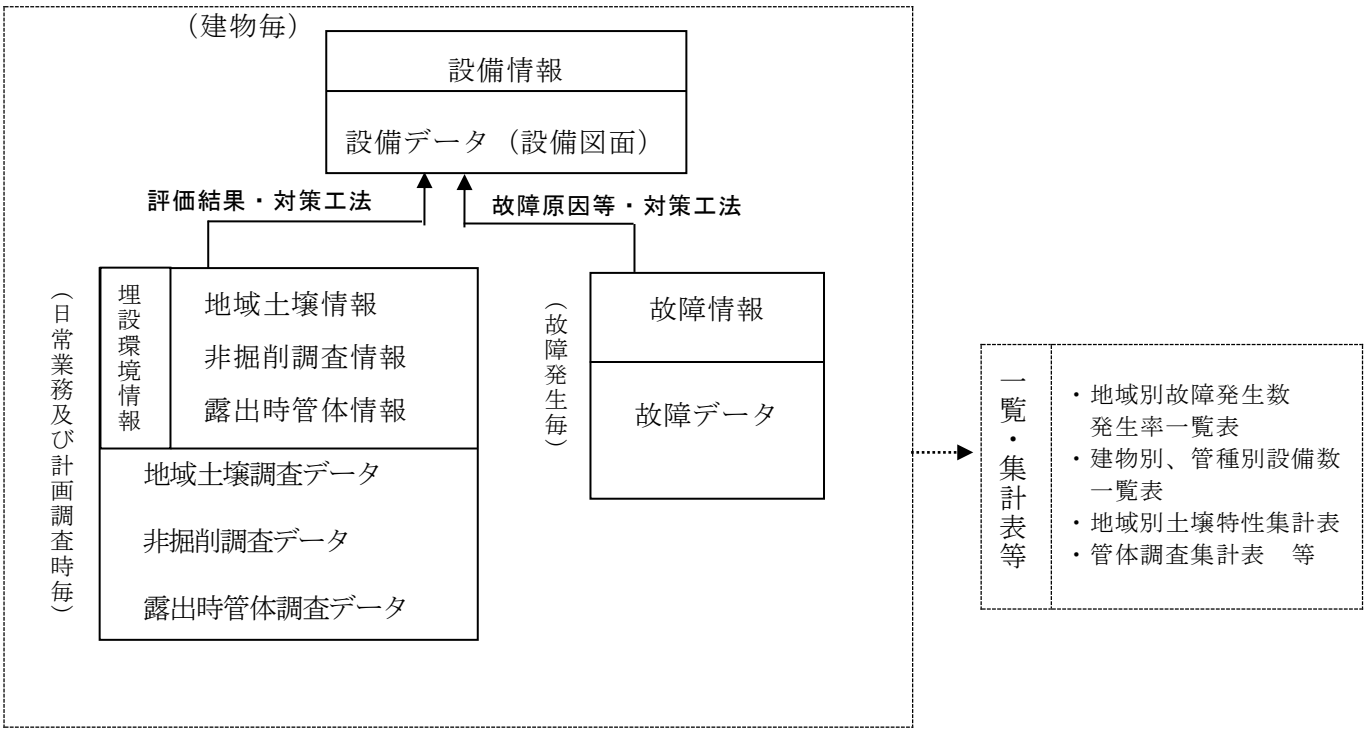
〔解　説〕

(1)　設備情報、埋設環境情報及び故障情報を有効に活用することにより、腐食漏えい予防対策を講ずる際に適切な評価手法、評価、対策の優先順位付け及び工法の選択等が可能となる。

(2)　設備情報は全ての建物毎に作成され、埋設環境情報、故障情報を総括する最も基本的な情報である。埋設環境情報や故障情報は、調査及び故障発生のつど収集・整理された詳細な腐食に関する情報である。

また、個々の建物毎の情報内容は、検索・利用しやすいようにデータベース化しておくことが望ましい。

これら収集した情報の目的に応じた具体的な活用については、第３章で詳細に記述する。



(3)　供内管情報は、法定漏えい検査等の日常業務を通じて常時収集・整備されていることが基本である。現状において整備が不完全である場合には、既存情報を十分活用し、最も適切な形態・方法により、保安対策上優先度の高いものから計画的に収集・整備することが望ましい。また、本支管の導管情報として収集されたものについても、可能な場合には、供内管情報として活用することが有効である。

(4)　各々の情報には、適切な番号を付して効率的な活用を図るべきである。

本章で示す例では、

①　設備情報に関する番号として、建物番号（又は需要家番号）、設備図面番号

②　埋設環境情報に関する番号として、調査番号、エリア番号、本支管の導管等埋設図面番号

③　故障情報に関する番号として、故障番号（又は受付番号）

を用いており、各々の情報はキーとなる番号、すなわち建物番号（又は需要家番号）、により相互に関連付けられている。

(5)　供内管情報の管理（データベース化）については、以下の事項に留意する必要がある。

①　必要に応じて必要な情報が容易に検索・活用できるように整理すること。

②　情報の追加・修正が可能でかつ容易に条件抽出や集計ができること。

③　情報の適切な維持管理が行え、必要に応じて内容の更新が行えること。

(6)　腐食漏えい予防対策にどのような情報が活用できるかを、まとめて下表に示す。

情報の種類	収集方法	情報項目	管理方法	管理データ図面等の名称
設備情報	・工事完了時の竣工図書等 ・メーター情報、各種台帳等 ・不明のものは現地調査	・建物構造、建物区分等 ・供内管の圧力、管種、口径、埋設年等	建物毎（又は需要家毎）	設備データ（参考例 2-1、2-4）（参考例 2-2） 設備図面（参考例 2-3）
埋設環境情報	・計画的に実施する非掘削調査 ・自社工事及び他工事等で管体が露出する機会に行なう管体調査	・地域の面的な土壌の腐食性に関する情報（土壌抵抗率等） ・個々の供内管の腐食状況に関する情報（非掘削調査データ、露出時管体調査データ等）	建物毎（又は需要家毎）	非掘削調査データ（参考例 2-6） 露出時管体調査データ（参考例 2-7）
			地域毎	地域土壌調査データ（参考例 2-5） 埋設環境データ（参考例 2-8） 埋設環境図（参考例 2-9）
故障情報	・修理工事時	・故障した供内管の圧力、管種、口径、埋設年等 ・故障箇所、形態、原因及び修理工法等	建物毎（又は需要家毎）	故障データ（参考例 2-10）

(7)　本章においては、供内管の腐食漏えい予防対策に必要な情報を主眼として記述しているが、結果的には、供内管の維持管理に必要な情報をほぼ網羅している。

従って、本章で示す供内管情報は、供内管の腐食漏えい予防対策に活用できる他、新設時の適切な防食措置の選択（埋設環境情報、故障情報を活用）、漏えい検査や増設時の参考資料（設備情報を活用）としてなど、幅広い利用の可能性がある。

2.2　設備情報の収集と管理方法

2.2.1　情報項目

設備情報として収集・管理する項目には、次のものがある。この収集・管理は、建物毎（又は需要家毎）に行なうことが望ましい。

(1)　建物（又は需要家）の所在地、名称（又は需要家名）等
(2)　圧力
(3)　管種
(4)　口径
(5)　埋設年
(6)　建物構造
(7)　建物区分
(8)　建物用途
(9)　建物下埋設配管状況
(10)　腐食対策措置の種類及び施工年
(11)　埋設延長

〔解　説〕

(1)　設備情報は、建物毎に管理することが基本であるが、需要家毎に管理する場合は、建物との対応を明確にする必要がある。

(2)　管種、口径、埋設年は、供給管及び内管毎に区分し、管種は材質及び塗覆装の種類により、鋳鉄管、鋼管（黒ガス管、白ガス管、アスファルトジュート巻鋼管、プラスチック被覆鋼管等）、ポリエチレン管、その他に分類する。

(3)　建物構造は、鉄筋コンクリート建物等、木造建物等に分類する。

(4)　建物区分は、1～11 区分に区分される。

(5)　建物用途は、建物区分を決定する要素となるとともに、劇場、飲食店、旅館、学校、病院、福祉施設、公共施設、工場、住宅など、その建物の主な目的をあらわす。

(6)　配管が建物下にある場合は、漏えいしたガスが滞留しやすい為、優先順位付け要素として位置づけられているので情報収集し、管理することが望ましい。

(7)　漏えい予防対策工法としての腐食対策措置は、管の取替え、更正修理工法、流電陽極法等に分類する。

(8)　保安上重要な建物、あるいは配管が複雑な大規模建物等は、供内管の図面（設備図面）を作成し、管理することが望ましい。また、バルブ、整圧器等の情報についても、その設置実態に応じて、別途又は設備情報と同時に整備し管理することが望ましい。

(9)　埋設延長は、腐食リスクレベル判定（参考資料Ｉ.１ 参照）を実施する際に必要な情報であり、図面等で確認する。

2.2.2　収集方法

設備情報の収集は、竣工図、メーター情報あるいは本支管の導管等埋設図に記載されている情報から行い、収集された情報は、あらかじめ定められた様式に従って記録する。

〔解　説〕

(1)　設備情報は、工事完了時の報告書、竣工図及びメーター情報、各種データから収集する。

(2)　竣工図、各種データが整備されていない場合は、下記の方法で情報を収集する。

①　メーター情報、本支管の導管等埋設図（本支管の埋設年度等）、建物建設年度等から供内管の埋設年度を推定する。

②　管種は、埋設年度及び口径等から推定する。

③　建物構造、建物区分は、登録データを基に現地調査、需要家への聞き取り調査等により判定する。

(3)　設備データの例

一覧表形式にした場合と個別カード形式とした場合の例を、参考例 2-1 及び 2-2 に示す。

参考例 2-1（一覧表形式とした設備データの例）

設備データ

圧力　低圧	港　区	虎ノ門	1　丁目	エリア番号 2001

建物番号	需要家番号	所在地番地号	建物設備情報			供給管	工事履歴	調査番号	故障番号	設備図面番号	備考
			建物名称	構造	区分	内　管					
524	2990 ～ 3009	15-12	虎ノ門○○ マンション	鉄筋	10	白- 50Ａ 1975.1.23				7-737	
						白- 50Ａ 1975.1.23					

参考例 2-2（個別カード形式とした設備データの例）

設備データ

住所情報	港区	虎ノ門	1丁目	15-12		エリア番号	2001
建物情報	建物番号	建物名称		建物構造	建物区分	特記事項	
	524	虎ノ門○○ マンション		1：鉄筋	10：集合	1975.1.23　Ａ建設㈱施工	
供給管情報	圧力：低圧	管種：白ガス管		口径：50Ａ	1975.1.23　埋設	工事履歴：	
内管情報	圧力：低圧	管種：白ガス管		口径：50Ａ	1975.1.23　埋設	工事履歴：	
調査情報	調査番号	調査年月日		内　容		特記事項	
故障修理情報	故障番号	修理年月日		内　容		特記事項	
需要家情報	需要家番号	部屋番号・氏名		特記事項	＜　備　考　＞		
	2990	101 号室　山田太郎		管理人			
	2991	102 号室　小山次郎					
	2992	103 号室　山川三郎					
	2993	104 号室　山岡士郎					
	2994	105 号室　太田伍郎					
	・・・・・	・・・・・					

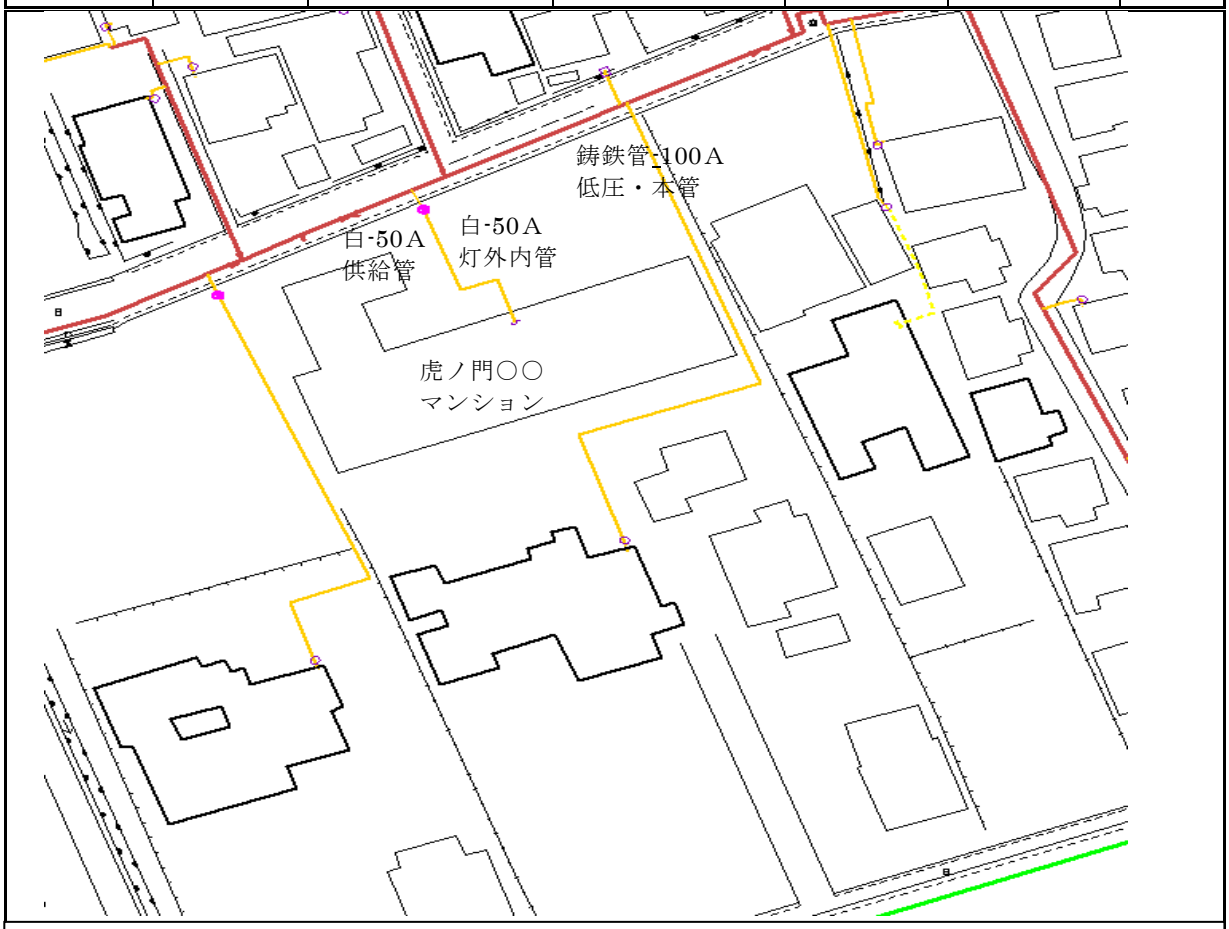
(4)　設備図面の例

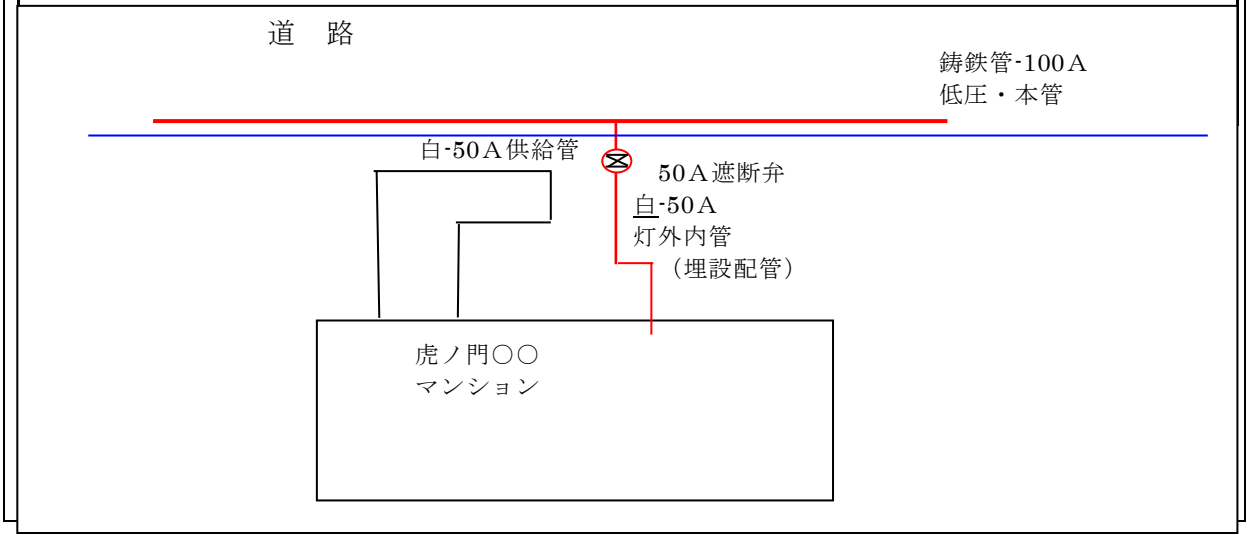
設備図面は、本支管からの取出部以降の埋設供内管の経路等を明記し、マッピング等のシステムを用いて、データベース化しておくことが望ましい。設備図面の例を参考例 2-3 に示す。

参考例 2-3（設備図面の例）

設備図面

図面番号	建物番号	建物名称	住　所	建物構造	建物区分	備　考
7-737	524	虎ノ門○○ マンション	港区虎ノ門 1 丁目 15-12	1：鉄筋	10:集合住宅	





2.2.3　管理方法

設備情報の管理は、必要な情報が容易に取出せるとともに、情報の追加、修正等の維持管理が容易に行えるようにする。

〔解　説〕

(1)　設備データは、行政区分、住所別又はエリア別にまとめて、建物番号（又は需要家番号）順に区分整理することが望ましい。

(2)　下記の工事を施工した場合は、設備データ等に履歴の追加、修正を行なう。

①　既設供内管に係る工事及び腐食対策措置（管の取替、更生修理工法、流電陽極法等）を施工したとき。

②　既設供内管を撤去したとき。

(3)　管体調査等の実施時又は故障発生のつど、埋設環境情報、故障情報等を所定の書式に記録するとともに、その結果の概要、故障の概要、調査番号、故障番号等を設備データに入力する。

設備データから埋設環境情報、故障情報等を検索できるようにすると管理が容易である。

参考例 2-1 の設備データに埋設環境情報、故障情報等を書き加えた例を参考例 2-4 に示す。

参考例 2-4（一覧表形式の設備データ（参考例 2-1）に埋設環境情報、故障情報等を書き加えた例）

設備データ　圧力 低圧　港　区　虎ノ門　1　丁目　エリア番号 2001

建物番号	需要家番号	所在地番地号	建物設備情報			供給管	工事履歴	調査番号	故障番号	設備図面番号	備考
			建物名称	構造	区分	内　管					
524	2990 ～ 3009	15-12	虎ノ門○○ マンション	鉄筋	10	PE- 50Ａ 2020.1.9	1975.1.23 埋設 白-50Ａ 供給管 取替 2020.1.9	腐食 調査 2-62	腐食 漏え い 20-1	7-737	
						白- 50Ａ 1975.1.23					

2.3　埋設環境情報の収集と管理方法

2.3.1　情報の種類

埋設環境情報は、地域の土壌の腐食性及び個々の供内管の腐食状況の把握のために収集・管理するものであり、これには収集方法により次の３種類がある。

(1)　地域土壌情報

地域の面的な区分（エリア）毎の土壌の腐食性に関する情報であり、代表的な情報として土壌抵抗率がある。

(2)　非掘削調査情報

個別の供内管の管対地電位、土壌比抵抗に関する情報であり、主として腐食リスク判定調査時に得られる。

(3)　露出時管体情報

供内管の腐食の状況、塗覆装の状況及び土質等から地域の土壌の腐食性を推定するための情報であり、主として自社工事、他工事等で管体が露出した機会をとらえて実施される管体調査によって得られる。

〔解　説〕

(1)　エリアの区分けは、行政区又は 1/500 導管図のメッシュ毎等の管理が容易な区分を単位とし、同一エリア内では土壌の腐食性がほぼ同一となるように、土壌の腐食性に影響する地理的条件（造成地、河川流域、埋立地等）や地質図等も参考にして決定することが望ましい。なお、エリア毎に番号（エリア番号）をつけておくと管理が容易になる。

(2)　地域土壌情報は、エリア毎の土壌腐食性の評価に最も適している。非掘削調査情報及び露出時管体情報は直接的には個々の管体の腐食状況に関する情報であるが、これらを多く収集し、エリア毎に整理することによって、地域土壌情報と同様にエリア毎の土壌腐食性の評価に活用できる。

2.3.2　収集方法

埋設環境情報のうち、地域土壌情報又は非掘削調査情報の収集は、非掘削で行い、露出時管体情報の収集は、自社工事、他工事等のため管が露出した機会に行う。

収集された情報は、あらかじめ定めた様式に記録する。

〔解　説〕

(1)　地域土壌情報は、エリア毎に必要に応じて収集する。特に重要な調査項目として、土壌抵抗率がある。地域土壌調査データの例を参考例 2-5 に示す。

参考例 2-5（地域土壌調査データの例）

地域土壌調査データ

エリア番号	エ　リ　ア　名	調査年月日
２００１	港区虎ノ門	２０２０．９．２０

調査番号	場　　所	土壌抵抗率	その他※	本支管導管図番号	備　考
１－１８	２丁目 25〇〇宅前	5,200Ω・cm		35149	歩道（深さ 0.5m）

※　例えば土質、腐食電位等がある。

(2)　非掘削調査情報は、計画的に建物毎（又は需要家毎）に収集する。主な調査項目として、管対地電位、土壌抵抗率がある（腐食リスクレベル判定調査における情報収集については、参考資料Ⅰ.1 参照）。非掘削調査データの例を参考例 2-6 に示す。また、非掘削調査実施を検討したが、実施できなかった場合（調査不可能な現地状況、需要家都合等）は、その旨記録しておく。

参考例 2-6（非掘削調査データの例）

腐食リスク判定調査データ

調査番号	2-62	建物番号(需要家番号)	524 (2990)	建物名(需要家名)	虎ノ門 ○○ﾏﾝｼｮﾝ	所在地	港区虎ノ門１丁目 15-12
調査年月日	2020 10.1	本支管導管図番号	35148	圧力	埋設年	備　考	
				低圧	1975	建物外壁を地中にて貫通	

調査番号	管種	口径	埋設延長	絶縁継手の有無	測定点	管対地電位(ｍＶ)	土壌抵抗率(Ω･cm)	埋設後の経過年数(年)	ｶﾞｽ管腐食度指数(CI)	腐食ﾘｽｸﾚﾍﾞﾙ(CRL)
1	白ｶﾞｽ管	50A			Ⅰ					
					Ⅱ					
					Ⅲ					

(1)　露出時管体情報は建物毎（又は需要家毎）に収集する。主な調査項目としては、管種と塗覆装の状態、管体の腐食の状況や腐食の部位、及び周囲の土質の湧水等がある。露出時管体調査データの例を参考例 2-7 に示す。

参考例 2-7（露出時管体調査データの例）

露出時管体調査データ

調査番号	3-38	建物番号(需要家番号)	9861 (1035)	建物名(需要家名)	○○ビル	所在地	港区虎ノ門１丁目 10-30
調査年月日	2020 9.1	本支管導管図番号	35148	調査位置	圧力	管種	口径	埋設年
				供給管・内管	低圧	ｼﾞｭｰﾄ巻管	80A	1965
塗覆装の状況	良好・少し劣化・悪い							
管体の腐食状況	きれい・凹凸あり　なし・さびこぶあり　なし							
土　質	粘土　普通土　砂　山土			湧水	なし　土が湿っている程度　少しあり　あり			
備考 ・土壌抵抗率：3,200Ω・cm ・調査延長：2m ・水道工事により露出 ・現場状況写真								

2.3.3　管理方法

埋設環境情報の管理は、目的に応じて次のとおり行うことが望ましい。

(1)　地域土壌情報、非掘削調査情報及び露出時管体情報に記載された地域の土壌の腐食性に係る情報の管理は、これらの情報を地域別のデータ（埋設環境データ）又は一覧性を有する管理図（埋設環境図）に整理して行う。

(2)　非掘削調査情報、露出時管体情報に記載された個々の供内管の腐食状況等に関する情報の管理は、対策の実施及び対策後の供内管の維持管理等に利用しやすいように整理して行う。

〔解　説〕

(1)　エリアの土壌腐食性の評価のため、地域土壌情報、非掘削調査情報、露出時管体情報の必要な項目をエリア別にデータ（埋設環境データ）又は図面（埋設環境図）の形に整理する。埋設環境図により整理する場合は、本支管の導管等埋設図を利用すると便利であり、可能であれば本支管の管体調査等で得られた情報も同時に整理しておくとさらに有効である。

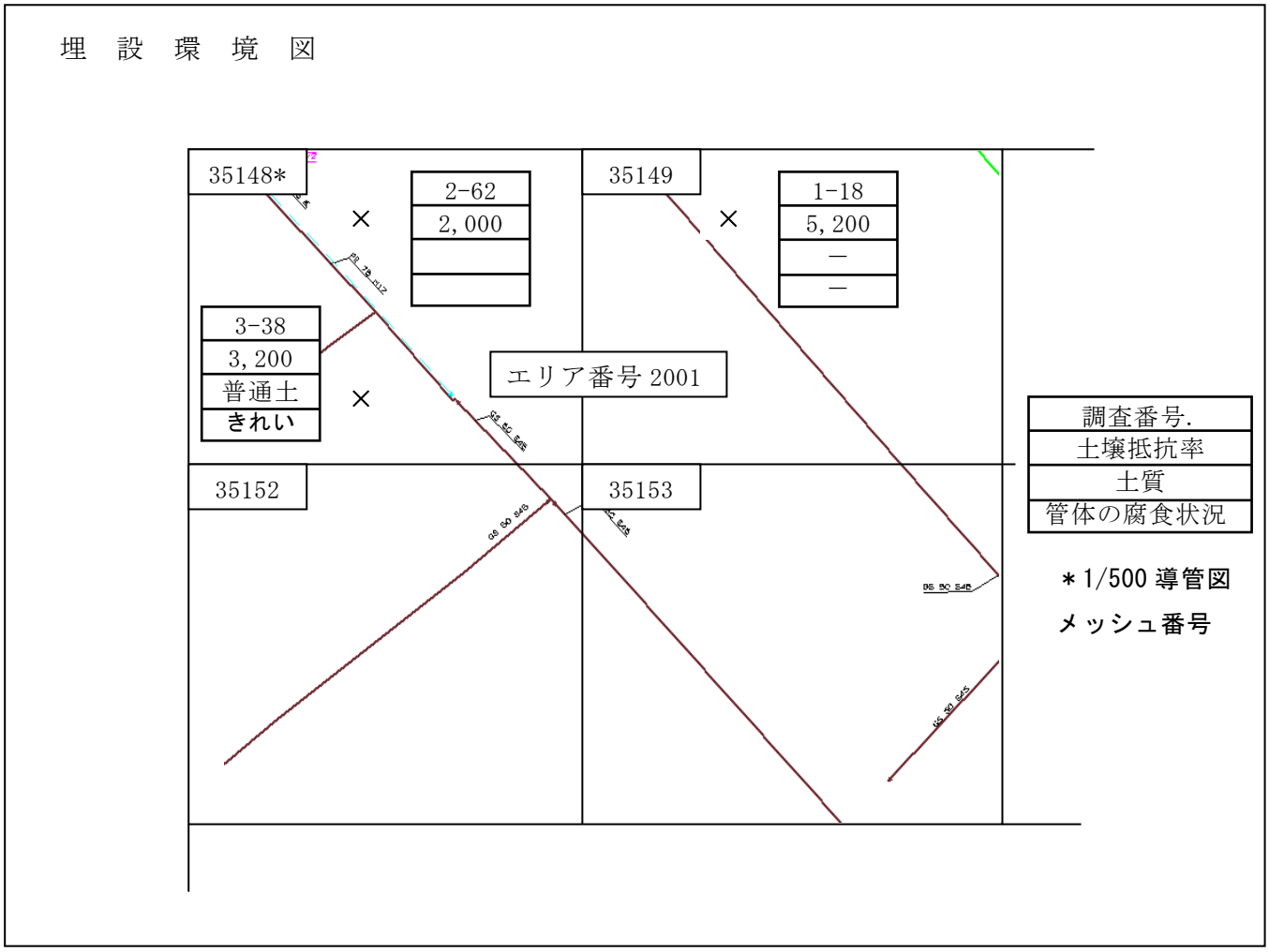
参考例 2-8、2-9 に埋設環境データ及び環境埋設図の例を示す。なお、例の中に示される情報は、参考例 2-5、2-6 及び 2-7 の各調査データの主要情報に基づくものである。

参考例 2-8（埋設環境データの例）

埋設環境データ　　港区虎ノ門(エリア番号 2001)

調査番号	所　在　地	情報源			土壌抵抗率	土質	管体の腐食状況	備　考
		地域土壌	非掘削調査	露出時管体				
3-38	虎ノ門1丁目10-30			○	3,200	普通土	きれい	湧水無
1-18	虎ノ門2丁目25	○			5,200	―	―	―
2-62	虎ノ門1丁目15-12		○		2,000	―	―	―

参考例 2-9（埋設環境図の例）



（注）例えば、土壌抵抗率が 2,000Ω･cm 以下の地域を赤で色分けするなどしておくと便利である。

(2)　非掘削調査情報及び露出時管体情報に基づく個々の供内管の調査結果は、対策実施後の経過状況の把握や維持管理等に利用しやすいように、エリア別又は行政区別等に調査データを整理し、管理することが望ましい。

2.4　故障情報の収集と管理方法

2.4.1　情報項目

故障情報として、個々の故障毎に収集し管理する項目は、次のものがある。

(1)　建物（又は需要家）の所在地、名称（需要家名）等
(2)　圧力
(3)　管種
(4)　口径
(5)　埋設年
(6)　建物構造（鉄筋コンクリート建物等、木造建物等）
(7)　建物区分
(8)　故障発生年月日
(9)　管区分（供給管、灯外内管、灯内内管等）
(10)　部位（管本体、継手部等）
(11)　故障箇所（屋外埋設管、屋外露出部、屋内埋設管、屋内露出部、厨房、浴室等）
(12)　故障形態（腐食、亀裂・破損、継手ゆるみ等）
(13)　故障原因（自然劣化、他工事、自然現象、ガス工作物の不備、地盤の不等沈下、交通量の激化等）
(14)　修理工法

〔解　説〕

(1)　「(1)建物（又は需要家）の所在地、名称（需要家名）等から（7）建物区分」までは、設備情報と共通するものであり、このうち「(1) 建物（又は需要家）の所在地、名称（需要家名）等」は、故障情報と設備情報を結合させるための項目となる。また、「(2) 圧力から（7）建物区分」までは、各種の故障分析を行う場合に必要なものである。

(2)　「(8) 故障発生年月日から（13）故障原因（自然劣化、他工事、自然現象、ガス工作物の不備、地盤の不等沈下、交通量の激化等)」までは、どのような原因で、どのような箇所に、どのような形態の故障が、埋設後どのくらいの期間で発生したかを把握することを目的とする。また、「(14) 修理工法」は、故障時の措置結果を知るための項目とする。

2.4.2　収集と管理方法

故障情報の収集と管理は、供内管に故障が発生し、修理を行うつど、修理伝票等から故障情報を収集し、あらかじめ定められた様式に記録する。

〔解　説〕

(1)　故障情報を収集・管理する場合は、次の要領で行うことが望ましい。

必要な故障情報がもれなく修理伝票等から入力できるような一覧性のある故障データを作成する。修理工法欄は、各事業者の標準的な修理工法に応じて分類する。

参考例 2-10（故障データの例）

故　障　デ　ー　タ

発生年月日　2020/1/9

港区	虎ノ門	1丁目	15	12	虎ノ門○○マンション	○○　○○

故障番号　20-1　　建物番号（需要家番号）　524 (2990)

圧力　低圧　　管種　白ガス管　　口径　５０Ａ　　埋設年　1975

建物構造　鉄筋コンクリート　　建物区分　集合住宅

管区分　供給管　　部位　管本体　　故障箇所　屋外埋設管

故障形態　腐食　　故障原因　自然劣化　　修理工法　取替

故障時の内容・修理結果

供給管白ガス管腐食のため、ＰＥ５０Ａに取替。

①　法定漏えい検査等で得られた故障情報を故障データに入力するとともに、故障の概要及び故障番号を設備データに入力する。

②　故障情報をデータベース化し、設備情報と結び付けておくと、故障状況を把握する場合に便利である。

第３章　供内管の評価と対策の実施

3.1　基本的考え方

供内管の腐食漏えい予防対策は、建物構造、建物区分、供内管の埋設経過年、管種、埋設環境等を総合的に勘案して行うが、まず主たる腐食原因により、Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策と一般腐食対策に大別し実施されてきた。このうち、Ｃ／Ｓマクロセル腐食は対策済みであるため、一般腐食のみを対象とする。一般腐食対策については、以下の考え方で実施することが効果的である。

供内管情報から腐食漏えい発生の可能性や漏えい発生時の影響度による対策の優先順位を定め、中・長期的な対策による総費用とリスク低減の程度を検討した上で、対策の実施時期、対策数量等に関する実施計画を策定する。対策の実施は、供内管をまとめて評価し必要な対策を講ずることを基本とし、需要家等の理解と協力に基づいて行う。

また、実施計画は適切な間隔で見直し、必要に応じて修正することが必要である。

〔解　説〕

(1)　一般腐食は、供内管と管近傍の埋設環境との関係によって発生するものであり、埋設環境の似通った地域に埋設された同一管種の供内管は、ほぼ同じような腐食傾向を示すと考えられる。従って、埋設地域の埋設環境や供内管の埋設経過年、管種、口径等による評価に加えて、建物構造等の条件による事故の発生可能性及び影響度から、優先順位を定めて対策を実施することを基本とした。

(2)　内管は需要家等の資産であるため、需要家等に対策の必要性等の理解と協力を得た上で対策を実施する。特に経年埋設内管に対し腐食対策の必要性を説明する手段の一つとして、ガス管腐食度指数（CI）に応じて分類した腐食リスクレベル（CRL）を活用することが有効である（3.2.7 及び参考資料Ｉ.1 参照）。

3.2　一般腐食対策

3.2.1　対策の進め方

供内管の一般腐食対策は、次の考え方により計画的に実施することが効果的である。

(1)　供内管の設備情報、埋設環境情報、故障情報等を整備し、腐食漏えい発生の可能性や、漏えい発生時の影響度等を勘案して対策の優先順位付けを行う。

(2)　中・長期的に対策を行う総費用とリスク低減の程度を合わせて検討し、対策の実施時期、対策数量等の計画を策定する。

(3)　対策を進めるに当たっては､供内管及び建物の状況に応じた効果的かつ経済性の高い工法を適用する。なお、内管については需要家等の資産であることから、需要家等の理解に基づき、その申し込みによって取替え等の対策を実施する。

(4)　対策の進捗状況は定期的に把握し、計画の有効性について評価・検証を行い、必要に応じて見直しを行う。

なお、上記に示した、対策の優先順位付け、計画策定、実施、有効性評価、改善について、意思決定のプロセスを含めた計画全体が有効に機能するような組織体制を構築し、維持することが望ましい。

〔解　説〕

(1)　一般腐食対策の必要性

土中における鋼の腐食は、その埋設環境によって支配される。腐食漏えい予防対策が施されていない埋設供内管は、その埋設経過年とともに腐食が進行し漏えいに至るため、事故防止の観点から事前の対策が重要なものとなる。

(2)　実施計画の策定及び実施後の効果の検証

一般腐食対策の実施計画は、長期的な予測に基づき、中期並びに短期的に実施する具体的な計画を策定する。計画実施後は定期的に、腐食漏えい発生状況、腐食漏えい修理費及び予防保全投資費用を評価すること等による計画の有効性を検証し、必要に応じて計画の見直しを行う。

(3)　計画実施体制とリスクマネジメント

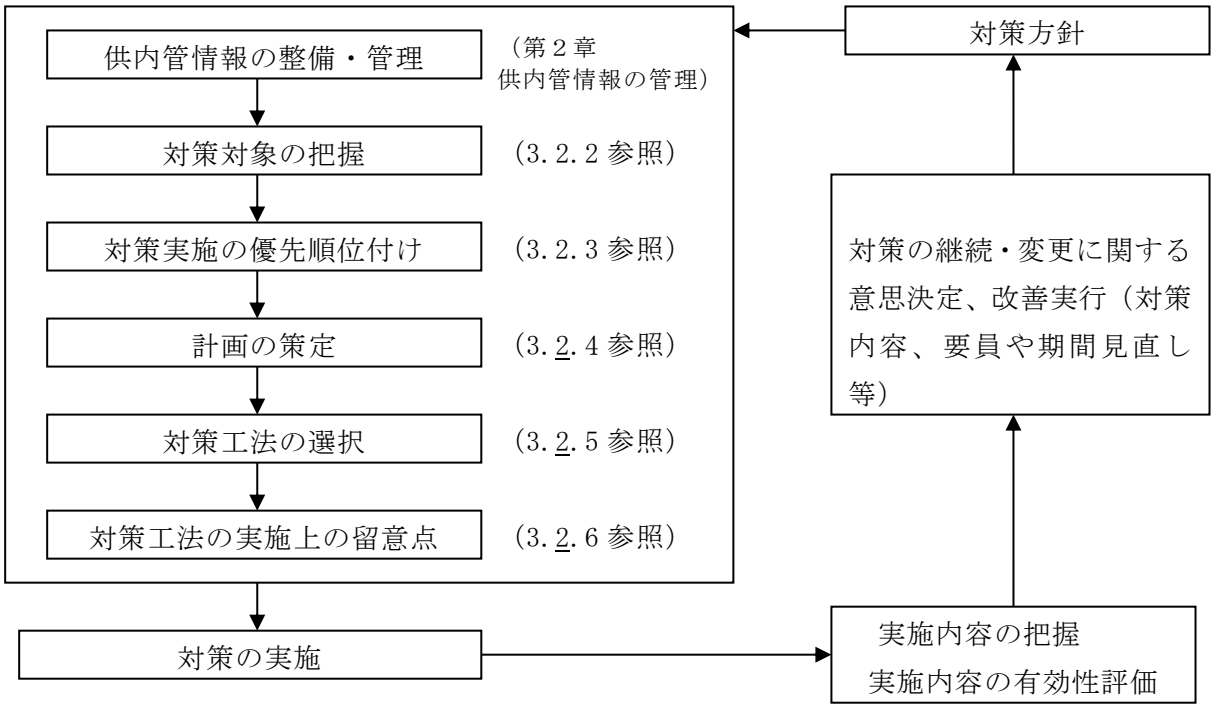
一般腐食対策は、埋設管の経時劣化による腐食漏えいの可能性や漏えい発生時の影響度を踏まえたリスク対策として、対策の優先順位も含めた計画を策定し、長期にわたり継続的改善を行いながら実行していくべきものである。従って、計画を適切に実行するためには、計画の方針決定や対策内容の検証等について、リスク管理（マネジメント）を実行する組織体制を整備することが有効で

ある。

リスクマネジメントについては JIS Q 31000(ISO 31000)にて規格化されている。組織が適切なリスクマネジメントを確立し充実させ、リスクに適正に対応できるようにしていくため、必要な原則及び要素を提供しているので参考にすると良い。

(4)　業務フローについて

標準的な一般腐食対策の業務フローについて下表に示す。



3.2.2　対象の把握

供内管の設備情報から対策対象を抽出し、設備情報、埋設環境情報、故障情報等を活用した識別・分類を行い、対策を行う上での優先順位付けの要素となる情報を把握する。

〔解　説〕

(1)　優先順位付けのポイントとなる要素の例を示す。

(a)　管種

(b)　埋設経過年

(c)　故障（腐食漏えい）履歴

(d)　埋設環境（土壌抵抗率、管対地電位）

(e)　ガス管腐食度指数（管種、口径、埋設延長、埋設経過年、管対地電位、土壌抵抗率から計算）

(f)　建物下埋設配管状況

(g)　建物構造（鉄筋コンクリート建物等・木造建物等）

(h)　建物区分

(i)　建物用途（飲食店、学校、病院、公共施設、商業ビル、住宅等）

(j)　メーター個数

3.2.3　実施の優先順位付け

対策対象となる供内管は、「腐食漏えいによる事故の発生確率」と「事故発生時の影響度」との組合せを勘案した上で、対策実施の優先順位付け及び実施時期の決定を行う。

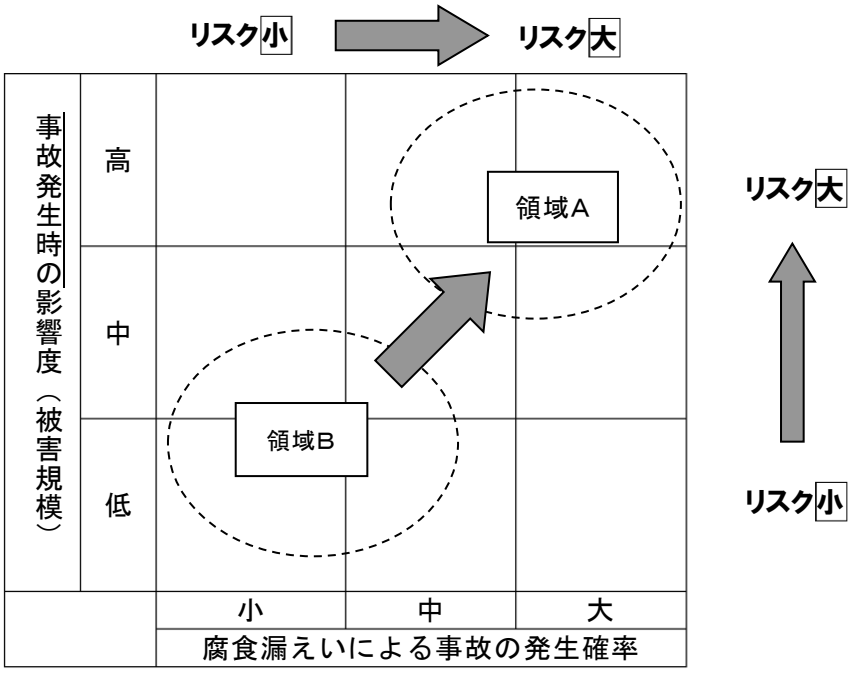
〔解　説〕

(1)　対策優先順位の考え方

一般腐食漏えいによる事故リスクについては、その性質上、腐食漏えい及び事故発生時期の不確定性や事故発生時の悪影響について認識する必要があり、「事故リスク＝（事故の発生確率）×（事故発生時の影響度)」と整理することができる。

事故リスクを最小化するため、一般腐食漏えい及び事故の発生確率、並びに事故発生時の被害の程度や社会的影響を指標として優先順位を設定し、優先順位が高いものから対策を実施する。

下図は、事故リスクの考え方をマトリックス形式で概念的に示したものであり、図中における右上部の事故リスクが高く、領域Ａの対策優先順位が高いことを表わしている。



(2)　優先順位の設定例

事故発生リスクの指標を 3.2.2〔解 説〕にて示した要素により分類した例を次に示す。

指標		要素	優先順位のポイント・目安
事故の発生確率	腐食漏えいの可能性	管種	黒ガス管、白ガス管、アスファルトジュート巻管等で区分する
		埋設経過年	埋設年の古いもの程、故障（腐食漏えい）発生率が高い傾向にある
		故障（腐食漏えい）履歴	故障（腐食漏えい）が発生した供内管の対策優先度を高める
		埋設環境	管対地電位、土壌抵抗率などの情報を参考にする
		ガス管腐食度指数	管種、口径、埋設延長、埋設経過年、管対地電位、土壌抵抗率から計算する
	漏えい後の事故発生の可能性	建物下埋設配管状況	漏えいしたガスの滞留し易さ（建物下に埋設された管の優先度大）
		建物構造	漏えいしたガスの滞留し易さ（気密性の高い鉄筋コンクリート系建物の優先度大）
事故発生時の影響度		建物区分	建物区分が上位の建物を優先する（例：特定地下街等～特定大規模建物を優先）
		建物用途	病院、学校等の公共性の高い用途の優先度大
		メーター個数	事故発生の影響を受ける対象数の目安

建物区分、建物用途、建物構造、および建物下埋設配管状況に着目し優先順位を設定した例を次に示す。

	建物下埋設配管	
	なし	あり
(1)　建物区分１～５	優先順位Ⅰ	
(2)　建物区分が６～10 で建物用途が学校・病院	優先順位Ⅲ	優先順位Ⅱ
(3)　建物区分が６～10 の鉄筋コンクリート系建物（(2)を除く）	優先順位Ⅳ	優先順位Ⅲ
(4)　上記以外	優先順位Ⅵ	優先順位Ⅴ

3.2.4　計画の策定

(1)　対策対象や現状の腐食漏えい状況を把握した上で、優先順位付けに基づき、具体的な実施計画を策定する。

(2)　計画策定に当たっては、対策方法とその効果並びに対策に要する費用に関する評価を行い、対策数量、要員・費用計画に反映する。

(3)　計画内容は、実施状況を把握し、その効果を分析・評価することにより、継続的に改善できる仕組みとする。

〔解　説〕

(1)　実施計画を円滑に進めるため次のような内容を踏まえて策定する。

(a)　対策対象の把握（3.2.2による）

(b)　対象物件の優先付け（3.2.3による）

(c)　対策工法の選択（3.2.5による）

(d)　撤去数の予測

建物の建替えにより撤去される数を予測する。

(e)　完了年次の設定

優先順位ごとに設定し、優先順位が高いものほど早期に完了するよう設定する。

(f)　年間の対策数量の設定

完了年次に至るまでの年度展開を検討する。

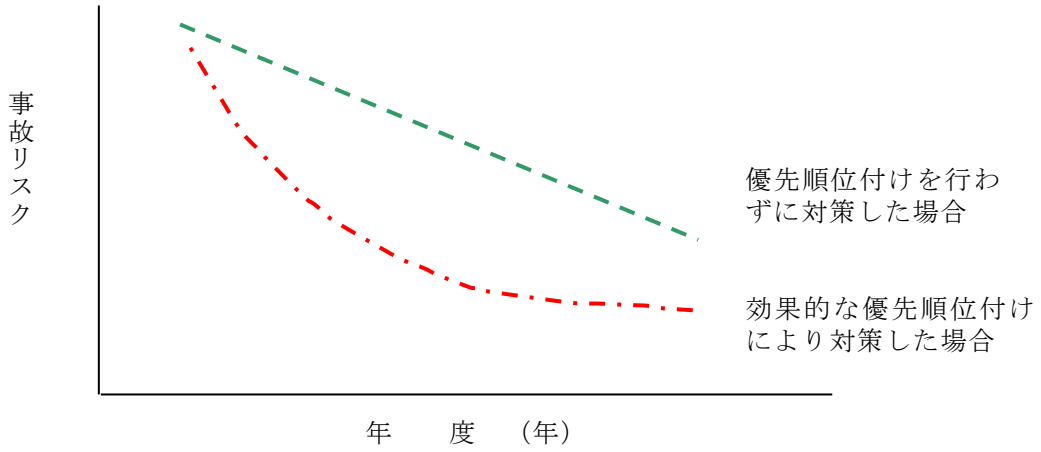
(g)　要員数・コストの算出

対策に必要な要員数・コストを算出する。

(2)　対策の実施によるリスクの低減

腐食対策を施さない場合、埋設供内管の埋設経過年が進むにつれ、腐食漏えいの発生が多くなり、事故に至るリスクが増加する。一方、腐食対策を行った場合、対策量に応じて事故リスクは低減される。更に効果的な優先順位に基づいた対策を実施することによって、短期間でリスクを低減させることが期待できる。

効果的な優先順位付けにより対策することによって早期にリスクが低減されるイメージを下図に示す。



年度別事故リスク（イメージ）

(3)　対策対象管の腐食漏えい発生状況・発生レベルの将来予測

(a)　供内管の数量の把握および腐食漏えい発生状況の分析

第２章で述べた手法で管理された供内管情報を有効に活用し、供内管の埋設経過年別、管種別の数量を、対策優先順位のグループ毎に把握する。

(b)　腐食漏えいの発生予測

設備情報から得られた現状の埋設経過年別、管種別の供内管本数及び故障情報より得られた埋設経過年別、管種別の腐食漏えい発生率より今後の腐食漏えい発生数の予測を行う。

ある年度における腐食発生数は次式で表わせる。

$$\text{腐食漏えい発生数} = \sum_{\text{経年別、管種別}} (\text{当該年度における供内管本数} \times \text{腐食漏えい発生率})$$

なお、管の取替えにより、当該管は対策対象から外れることに注意して算定する。

実際に予測を行う場合は、10～20 年程度の長期予測に基づき、5 年程度の具体的な実施計画を行うことが実用的である。その計算例を次に示す。

〔計算例〕

①　優先度別の建物数

本例では、建物用途・構造による優先度により区分し、保安上重要な建物と保安上重要な建物以外の建物ごとの対策対象管の数を計上した。なお、埋設経過年別の供内管本数データならびに腐食漏えい発生率についてもあわせて把握しておく。

② 建物優先度別の供内管本数の変化（例）

	現在の対策対象本数	５年間の計画･予測				５年後の対策対象本数
		計画対策数	腐食による取替	他工事等による取替	撤去	
保安上重要な建物	382	175	3	6	14	184
上記以外	19,300	100	260	20	4、000	14,920

５年後の供内管本数

＝現在の対策対象本数－（計画対策＋腐食による取替等＋他工事等による取替＋撤去）

（例：保安上重要な建物　382－（175＋3＋6＋14）＝184）

なお、対策対象本数の中には需要家都合により取替えができないものが含まれる。

ｉ）計画対策数m_1

長期的な目標から、５年間の計画対象数を計上する。

長期目標による優先度毎の対策を例示したものを下表に示す。

優先順位	建物概要		残存数	対策完了年（ｲﾒｰｼﾞ）	５年間の計画・予測数	５年間の計画対策数m_1
1	保安上重要な建物	灯外内管	382	→	198	175
2	上記以外		19,300	→	4,380	100

ⅱ）腐食による取替m_2

埋設経過年ｎ(年)の腐食漏えい発生率をa_n（件／本数・年）とし、これまでの実績等から５年後の発生数を推定する。この数に需要家に承諾を得て取替実施できる割合（ｂ）から計上する。

$m_2 = \Sigma(a_n \times$ ｎ年の対策対象数$) \times b$

ⅲ）他工事等による撤去

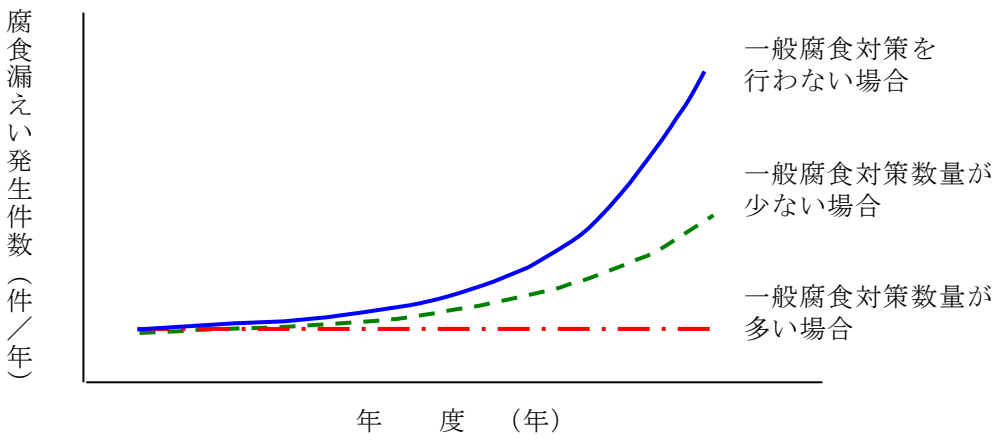
他工事等による取替及び撤去本数は、過去の実績及び今後５年間の都市計画等により推定を行う。

③ ５年後の腐食漏えい発生数

埋設経過年別腐食漏えい発生率と５年後の埋設経過年別供内管本数をかけ合わせる。

腐食漏えい発生数 ＝ $\Sigma(a_n \times n_{(5年後)}$年の対策対象数)

同様に５年後以降の推定も可能である。また、対策数量（計画的な対策実施）をいくつかのケースに設定して計算し、その効果を見ることができる。その例を下図に示す。

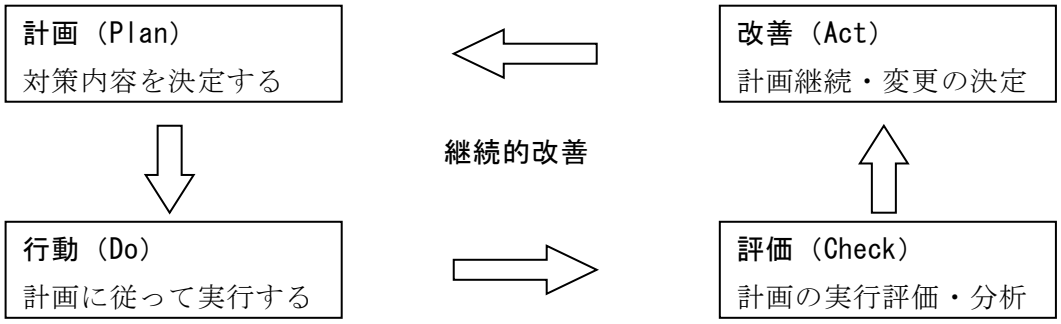


年度別腐食漏えい発生予測（例）

(4)　実施時期、対策数量の決定

腐食漏えい発生レベルの将来予測並びに対策の費用対効果の検討より、最も適切な腐食対策の実施時期、対策数量を決定し、5～10 年程度の実施計画を策定する。

(5)　計画を実効性のあるものとし、対策の継続的改善を推進する手法として、ＰＤＣＡサイクル（Plan-Do-Check-Act）による管理手法がある。



3.2.5　工法の選択

対策工法の選択にあたっては、供内管の腐食状況及び今後の使用予定年数を基とし、さらに供内管の配管状況、建物条件、需要家の状況及び意向等も考慮して、管の取替、更生修理工法、流電陽極法等から適切な工法を選択するものとする。

〔解　説〕

(1)　対策工法の選択は各工法の特性を十分考慮し、管の状況、環境条件に応じて１つあるいは幾つかの工法を組み合わせて最も適切な方法で行う。対策工法の選択例を以下に示す。対策工法の選択にあたっては、需要家等に対策の必要性、工法の特徴及び費用等に関して十分な説明を行い、理解と協力を得ることが肝要である。

〔対策工法の選択例〕

①「管の取替」

②「流電陽極法」*1

③「更生修理工法」*2

④「流電陽極法」*1＋「更生修理工法」*2

＊１　一般腐食対策の流電陽極法には、絶縁－流電陽極法、未絶縁－流電陽極法及び近接流電陽極法がある。

＊２　更生修理工法を土壌の腐食性が著しい箇所で、今後の使用予定年数が長期のものに使用する場合は、流電陽極法を同時に施工することが望ましい。

3.2.6　実施上の留意点

対策工法の実施に当たっては、配管状況に応じて適切な方法で設計・施工し、施工後は適切な施工がなされているかどうかを検査する。

また、施工状況を記録し、維持管理に役立てる。

なお、施工に際しては事前に需要家と折衝を行い、承諾を得る。

〔解　説〕

(1)　対策工法の実施等

流電陽極法、更生修理工法の設計・施工に関しては、本ガイドラインの 3.3.1（流電陽極法）、3.3.2（更生修理工法）を、さらに管の取替に関しては「供給管・内管指針（設計編）」及び「同（工事編）」（(一社) 日本ガス協会編）を参考とする。

(2)　検　　査

施工後の検査においては通常の検査のほか、以下の点に特に留意する。

①　流電陽極法を施工した場合には、管対地電位の測定を行い、内管の管対地電位が防食電位を達成していることを確認する。

②　更生修理工法を施工した場合は、閉そく等がなく正常に施工されたことを確認する。

(3)　記　　録

対策工法を実施した時期、施工範囲、対策工法の種類、検査結果等を記録し、施工後の維持管理に役立てる。

また、施工時に得られた情報（管体の腐食の程度等）は、第２章 2.3 で示した埋設環境データとして整理し活用することが望ましい。

(4)　施工後の工事

対策工法を施工した後、当該供内管に係る工事が行われる場合には、対策の効果が損なわれないように注意する。

3.2.7　対象導管の管理

供内管腐食漏えい予防対策における対策対象導管の管理は、次の考え方により実施することが望ましい。

(1)　内管は需要家資産であることを理解してもらい改善の必要性を認知していただけるよう、適宜周知を行う。

(2)　改善の同意を得られない場合は、需要家との折衝履歴等を記録・管理していく。また、各種業務機会を捉えた定期的な周知・ＰＲを継続的に実施する。

(3)　腐食漏えいが発見された場合は、腐食漏えいの再発可能性を踏まえ対策優先順位を高める。

〔解　説〕

(1)　資産区分および改善の必要性について周知

対象導管の改善に当たっては、需要家に対し、資産区分及びガス設備に対する維持管理、改善の必要性を認識していただき、改善に対する関心を高めていただく周知活動が重要である。

(2)　腐食リスクレベル判定結果の活用

対象導管の改善の必要性を説明する手段の一つとして、ガス管腐食度指数（CI）に応じて分類した４段階の腐食リスクレベル（CRL）を活用することが有効である（参考資料Ｉ.1 参照）。

腐食リスクレベル（CRL）		ガス管腐食度指数（CI）
Ⅳ	取替・改修の必要性が極めて高い	５０％以上
Ⅲ	取替・改修の必要性が大変高い	３０％以上～５０％未満
Ⅱ	取替・改修の必要性が高い	１０％以上～３０％未満
Ⅰ	取替・改修の必要性がある	１０％未満

(3)　改善の同意を得られない需要家に対しては、これまでの経過（折衝相手・訪問日・拒否理由・ＰＲ方法等）を記録・管理するとともに、リスクに応じて各種業務機会等を捉え定期的な周知・ＰＲ等を継続していくことが必要である。

〔対応方法の例〕

(a) 具体的理由の聞き出し及び記録

(b) 業務機会時の改善のお勧めパンフレットの配布

(c) 時期を捉えたダイレクトメールの発送

(d) ガス漏れ時の連絡先用紙の配布

(e) 長期修繕計画への組込みのお願い

(f) 時期を捉えた繰り返しの改善折衝

(4) 一般腐食に起因する漏えいが発生した場合は、再度漏えいが発生する可能性があるため、積極的な改善折衝を行う。なお、漏えい修理作業時に需要家等に腐食部分を提示することは改善促進に効果的である。

3.3　流電陽極法及び更生修理工法の適用と維持管理

3.3.1　流電陽極法の適用と維持管理

(1)　防食方式の選定と適用

流電陽極法の適用に当っては、適用の目的、建物構造、供内管の配管状況、塗覆装及び延長等を勘案して、以下の３種類の防食方式より目的に応じた方式を選定し、適切な方法で設計・施工する。

(1)　絶縁－流電陽極法

鉄筋コンクリート建物等と絶縁した後の供内管の一般腐食対策を目的に実施する方式で、建物と土中埋設供内管の絶縁が容易な場合に適用。

(2)　未絶縁－流電陽極法

①　鉄筋コンクリート建物等と土中埋設供内管の絶縁を行わずに腐食対策を目的に実施する方式で、建物との絶縁が困難で総合接地抵抗の比較的高い（５Ω程度以上）供内管に適用。

②　木造建物等の一般腐食対策を目的として適用。

(3)　近接流電陽極法

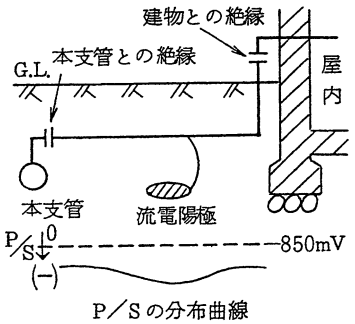
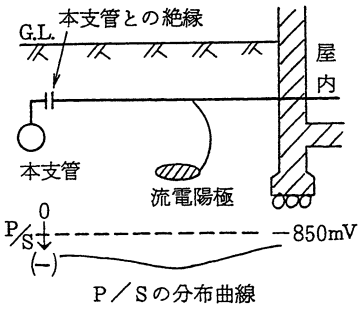
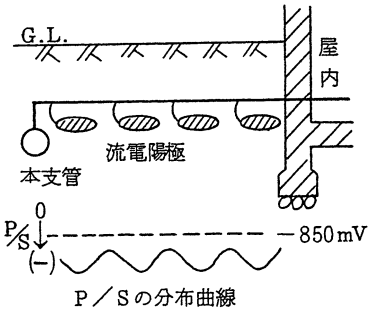
鉄筋コンクリート建物等と土中埋設供内管の絶縁を行わずに腐食対策を目的に実施する方式であり、建物との絶縁が困難で総合接地抵抗の低い供内管に適用。

〔解　説〕

(1)　流電陽極法は、対象供内管に腐食電位が鉄よりも低い金属を陽極として接続し、陽極から流出する電流（防食電流）を供内管の表面に流入させることによって、供内管の防食を図る方法である。陽極金属には有効電位差が大きく、安価で発生電気量の大きいマグネシウム合金を用いるのが一般的である。

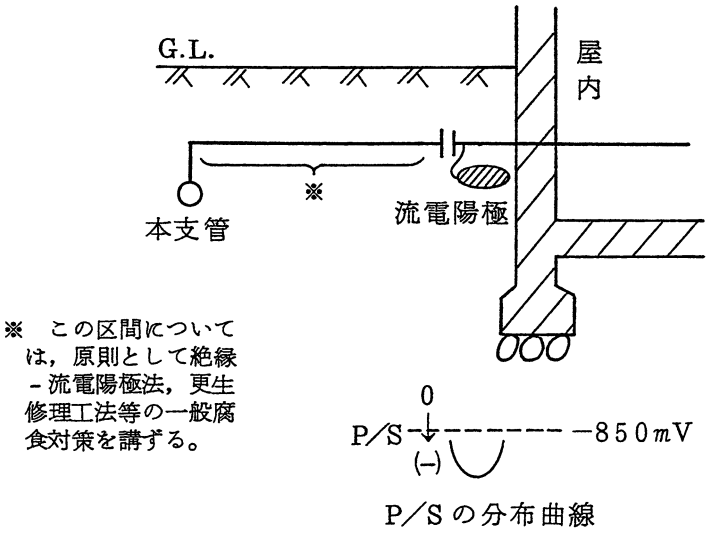
(2)　絶縁－流電陽極法、未絶縁－流電陽極法及び近接流電陽極法の各々の概念及び適用の可否等を次頁の表に示す。なお各方式の具体的な設計要領及び設計例を参考資料Ⅱ.１に、また設計を行うために必要となる管の接地抵抗の測定方法を参考資料Ⅲ.２に示す。

流　電　陽　極　法　に　よ　る　防　食　方　式

防食方式		(a)　絶縁－流電陽極法	(b)　未絶縁－流電陽極法	(c)　近接流電陽極法
定　　義		建物（屋内配管及び鉄筋基礎等）と電気的に絶縁された埋設供内管の全域を防食対象として、流電陽極を設置する方式。	建物と電気的に絶縁されていない埋設供内管の全域を防食対象として、流電陽極を設置する方式。	建物と電気的に絶縁されていない埋設供内管の局部を防食対象として、流電陽極を管に近接して設置する方式。
建物との絶縁		絶　縁　す　る	絶　縁　し　な　い	
適用対象		鉄筋コンクリート建物等で、建物との絶縁が容易な供内管。	①　鉄筋コンクリート建物等で、建物との絶縁が困難かつ絶縁しなくても、総合接地抵抗が５Ω以上ある供内管（通常は小規模な鉄骨プレハブ系建物等にのみ適用可）。 ②　木造建物等。	鉄筋コンクリート建物等で、建物との絶縁が困難かつ絶縁しない場合の総合接地抵抗が５Ω未満の供内管（大規模な鉄筋コンクリート建物にも適用可）。
主たる目的		鉄筋コンクリート建物等と絶縁した後の埋設供内管の一般腐食対策。	①　鉄筋コンクリート建物等と埋設供内管の絶縁を行わないで行う腐食対策。 ②　木造建物等の一般腐食対策。	同　左　①
設計目標基準		埋設供内管直上の全地点での管対地電位（Ｐ／Ｓ*）を－850mV より低い値に保持することを目標とする。なお建物の今後の使用年数等に応じてＭｇ陽極**の容量を設定する。 *　飽和硫酸銅電極基準の管対地電位（以下同じ） **　マグネシウム陽極をさす。（以下同じ）	完全防食を目的とする場合には、埋設供内管直上の全地点でのＰ／Ｓを－850mV より低い値に保持することを目標とする。 なお、建物の今後の使用年数等に応じてＭｇ陽極の発生電気量を設定する。	Ｍｇ陽極に近接する埋設供内管を局部的に完全防食することを目的とし、防食対象範囲内では埋設供内管直上の全地点でのＰ／Ｓを－850mV より低い値に保持することを目標とする。なお建物の今後の使用年数等に応じてＭｇ陽極の発生電気量を設定する。
本支管との絶縁の必要性		設計目標基準－850mV を維持するためには、通常本支管との絶縁を行う必要がある。但し、機械的継手等絶縁性の高い継手が介在する等により、絶縁しなくても接地抵抗が高い場合には、本支管との絶縁をしなくても目的が達成される場合がある。	同　左	必ずしも絶縁を行う必要はない。但し、絶縁しない場合には、通常多数の流電陽極を設置する必要がある。従って、本方式による防食範囲を限定するため、建物と近い位置で本支管と絶縁を行った方が効率的な場合が多い。
概念図				
特徴	長　所	Ｍｇ陽極の設置個数が少なくてよい。 小さな発生電気量のＭｇ陽極でも十分な寿命が期待できる。	建物との絶縁が不要。	建物との絶縁が不要。 いかなる配管でも防食効果が期待できる。
	短　所	建物との絶縁に費用を要する。	小規模な戸建や鉄骨プレハブ建物を除き、鉄筋コンクリート建物等には適用できない場合が多い。	Ｍｇ陽極の設置個数が多く、大きな発生電気量のＭｇ陽極が必要。

(3)　各方式に共通の完全防食のための設計目標基準（Ｐ／Ｓ≦－850mV）は、ＮＡＣＥ等で採用されている値である。

(4)　近接流電陽極法において、本支管との絶縁を建物近傍で行った場合の例を下図に示す。



(2)　施工後の効果の確認

工事完了後は、管対地電位等を測定し、設計・施工が適切になされ目的とする防食効果が得られていることを確認する。なお管対地電位等の測定値及び施工状況等を記録し、維持管理に役立てる。

〔解　説〕

(1)　防食効果の確認手順

参考資料Ⅳ.1.2に示す流電陽極法の評価試験において、マグネシウム陽極の効果は、設置直後よりも約１か月後の方が上昇し、その後は安定することが確認されている。従って防食効果の確認は、以下の手順で行うことが望ましい。

①　工事完了直後又はマグネシウム陽極が土になじんだ後、管対地電位の測定を行い、管対地電位が目標値を満足していれば合格とする。

②　①において目標値が満足されない場合は、約１か月後に管対地電位を再度測定し、目標値が満足されていれば合格とする。

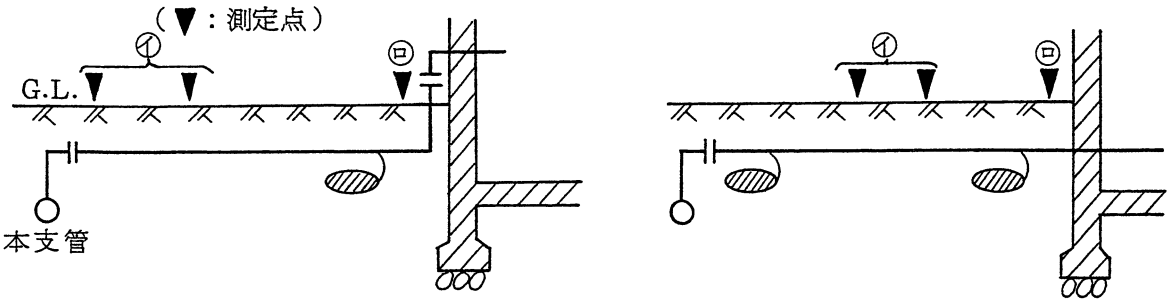
③　②においてもなお目的とする効果が得られない場合には、マグネシウム陽極の設置個数、設置方法等を変更するか、又は供内管と本支管・屋内管等の低接地物（鉄筋構造物とメタルタッチしている埋設鋼構造物などの接地抵抗の低い鋼構造物）との絶縁を行い管の総合接地抵抗を上げるか、あるいは流電陽極法以外の対策工法をとるか等の検討を行う。

(2)　管対地電位の測定上の留意点

①　絶縁－流電陽極法及び未絶縁－流電陽極法では、㋑管直上のできるだけマグネシウム陽極より離れた箇所及び㋺建物の外壁貫通部近傍を含む数箇所で、管対地電位を測定する。

測定箇所の例を次図に示す。

（マグネシウム陽極１個の場合）　　（マグネシウム陽極２個の場合）



②　近接流電陽極法においては、建物の外壁貫通部近傍を含め、管直上で１ｍ以内の間隔で管対地電位の測定を行う。特に供内管が建物の外壁近傍で外壁に沿って埋設されている箇所及び建物に引き込まれている水道管等の他の低接地物に接近している箇所等では入念に測定を行うことが望ましい。

③　①及び②のいずれにおいても、管対地電位の測定は、照合電極をできるだけ管に接近して行うことが望ましい。特に鉄筋コンクリート建物の外壁近傍で測定する場合は、コンクリート中の鉄筋の高い（貴な）電位を示しやすいので、なお一層照合電極を管に接近する必要がある。

(3)　維持管理

流電陽極法を施した供内管の維持管理については、通常実施されている法定漏えい検査等のほか、管対地電位の測定等を必要に応じて行い、防食効果が保持されていることを確認するとともに、測定結果を記録する。

〔解　説〕

(1)　建物と埋設供内管の絶縁を行わない未絶縁－流電陽極法及び近接流電陽極法の防食効果は、建物内のガス設備の変更等によって影響を受けることがある。従ってこれらの方式については、ガス設備の変更等によって防食効果が損なわれる恐れのある場合、管対地電位の測定等を行い、防食効果を確認する。

(2)　マグネシウム陽極は、設計耐用年数が来る前に更新あるいは追加を行う。

3.3.2　更生修理工法の適用と維持管理

(1)　工法の選定と適用

更生修理工法は、管の内面に樹脂膜を形成する内面ライニング工法としてピグライニング工法、管の内面に成形材料を貼りつける反転ライニング工法、気流ライニング工法の３工法に大きく分類される。

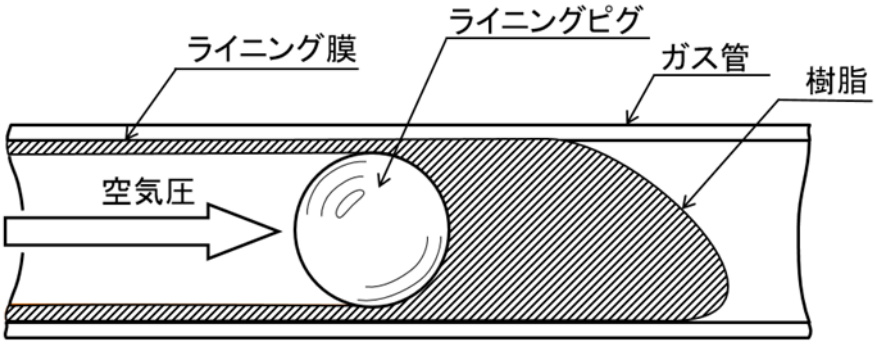
更生修理工法の適用にあたっては、上記３工法に分類される工法又は今後開発される工法より、以下の点に留意して適切な工法を選択し、設計、施工した後、気密検査等により工法が確実に施工されたことを確認する。

(1)　今後開発される工法については、更生修理工法として具備すべき特性を有していることを確認する。

(2)　工法の適用範囲、経済性及び作業性等の検討を行い、当該工法が適用しようとする供内管に適したものであることを確認する。

〔解　説〕

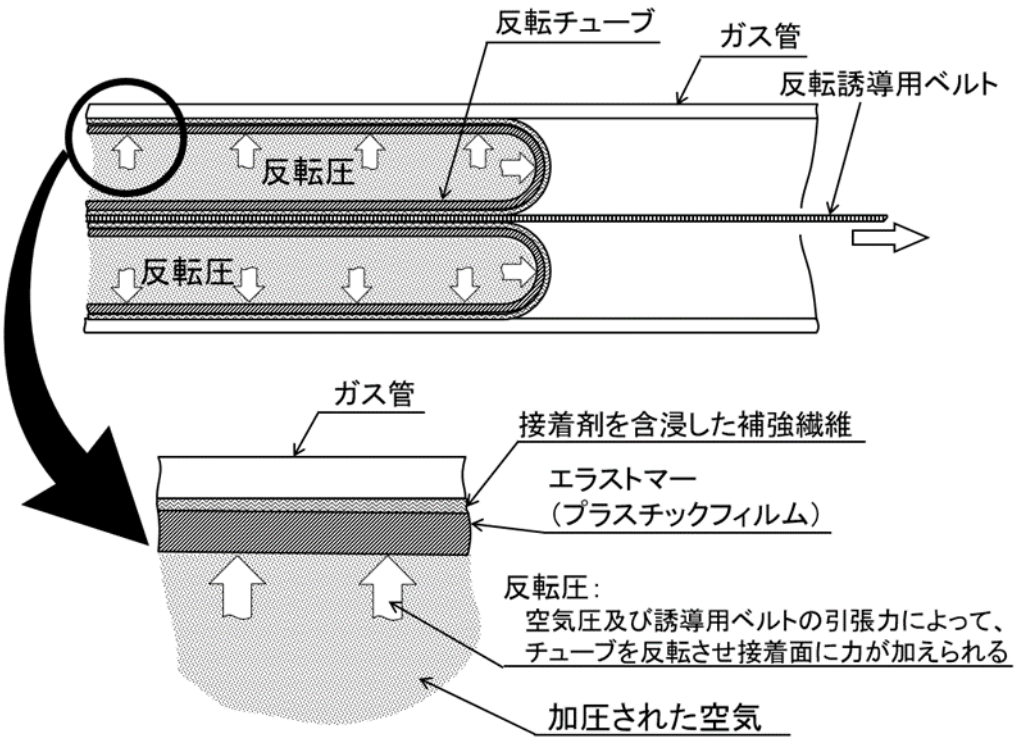
(1)　内面ライニング工法（ピグライニング工法（樹脂塗布法））は、管内にライニング樹脂を圧入した後、ピグを空気背圧等で推し進めることにより、管内壁に均一な厚さの滑らかな樹脂膜を形成する工法であり、供内管を一括してライニングできる。



(2)　反転ライニング、内面ライニング（気流ライニング工法）の概要を以下に示す。

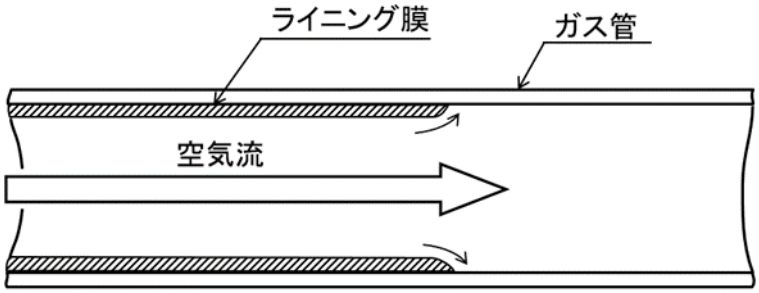
①　反転ライニング工法（成形材料によるライニング工法（反転法））

薄くて丈夫且つ気密性を持つ反転チューブを、反転圧により管の中に反転（裏返し）させ、接着剤を介し管内面全体に貼付ける工法で、エルボ等の急峻な曲り部でも連続した円筒状となるよう考慮されている。



②　内面ライニング工法（気流ライニング工法（樹脂吹付法））

連続的に供給されるライニング樹脂を高速気流（空気）によって管内壁に沿って搬送し、管内壁全面に連続した気密性のある樹脂膜を形成する工法であり、供内管及び支管を一括してライニングでき、配管系の途中に口径変化部があっても施工ができる。



(3)　更生修理工法の実施にあたっては、以下の項目について検討する。

①　施工可能口径及び延長、配管系に付属設備・異形管が存在する場合の施工可否、本支管との同時施工の可否等の適用範囲。

②　施工に要する費用と耐久性を考慮して取替と比較した更生修理工法の経済性。

③　その他、作業スペース、施工による需要家のガス停止時間、施工現場及び近隣に及ぼす影響の有無、材料の取扱い・貯蔵に関する事項等。

(2)　維持管理

更生修理工法を施した供内管は、通常実施されている法定漏えい検査等のほか、以下の項目に留意して維持管理を行う。

(1)　施工記録等の管理

(2)　耐久性の確認

(3)　ガスの種類・性状などの変更時の適応性確認

〔解　説〕

(1)　①　第２章 2.2「設備情報の収集と管理」及び 2.4「故障情報の収集と管理」に述べた方法に従って、施工・修理記録を管理・保管しておくことが必要である。

②　更生修理工法を施工した供内管に万一故障が発生した場合は、原因を確認し必要に応じて同工法を施工した他の供内管に対して適切な対応策を講ずる必要がある。

(2)　他工事や家屋改築等の機会で掘上げた更生修理工法施工済供内管について、モニタリングを実施し、材料の健全性や評価基準年数以降の供用期間延伸の妥当性について確認するものとする。（参考資料Ⅱ.3 参照）

(3)　熱量変更等でガスの種類及び性状などを変更する際は、変更後のガス中成分に対して、第４章 4.3 に述べる耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領書に定める試験に合格していることを確認することが必要である。

第４章　更生修理工法の開発と評価方法

4.1　基本的な考え方

更生修理工法には、既設供内管の腐食漏えい予防を目的とした工法と継手漏えい予防を目的とした工法があり、各工法ともその目的に合致した漏えい予防対策として有効な性能を具備している必要がある。従って工法の開発にあたっては、十分な施工性を有することのほか、耐久性の確認を行わなければならない。

〔解　説〕

(1)　更生修理工法は、既設供内管の腐食漏えい予防又は継手漏えい予防対策を実施するにあたり、取替が困難な場所にある供内管に対する対策を容易にし、また掘削工事量を少なくすることで、工事による需要家への迷惑を少なくすることができる等の有力な手段となることが必要である。また、管の取替に比べ経済的であることが望ましい。

開発された工法は、上記の開発目的を満足するとともに、施工品質が確保されることの他、工法を適用した供内管は長期間にわたり使用されるので、長期間の耐久性が必要である。

(2)　開発された工法が、腐食漏えい予防工法又は継手漏えい予防工法として具備すべき特性を満足しているかどうかを評価するための考え方及び手法は、4.2 及び 4.3 に述べる。しかし将来開発される工法全てを 4.3 の試験方法により画一的に試験することは必ずしも適切ではないので、必要な場合は 4.2 の考え方に準拠してさらに適切な方法で試験を行うことができる。

4.2　具備すべき特性

更生修理工法は、以下の特性を具備していなければならない。

(1)　施工性が良好なこと。

(2)　車両輪荷重によって管体部または継手部に生じる変位に対して気密性が保持されること。

(3)　腐食により管体に貫通孔が発生した後、貫通孔を介して作用する外圧に対して保形性を有すること。

(4)　ガス中に含まれる成分及び地下水等に含まれる環境成分に対し耐久性を有すること。

〔解　説〕

(1)　更生修理工法の機能が長期的に維持されるためには、施工性が良好なことの他、車両輪荷重による変位に対する耐久性、土圧又は水圧に対する保形性、ガス中成分及び環境成分に対する耐久性を有することが重要である。

(2)　供内管の更生修理工法は、腐食漏えい予防対策工法として具備すべき特性内容より、継手漏えい予防対策及び修理工法としても適用できる性能を有する。

(3)　施工性が良好であるとは、工法の基本事項（手順、工具等）があらかじめ確立されていること、既設の供内管に工法を適用した時に実用的な施工品質が確保できること及び更生修理工法を施した供内管に対して切断・連絡等の通常の導管工事を支障なく行うことができることをいう。

(4)　車両輪荷重により埋設供内管が受けるたわみ振動によって、工法の機能が長期的に損なわれず、気密性が保持されることが必要である。

(5)　保形性を有するとは、腐食により管体に貫通孔が発生した後、この腐食貫通孔を介して作用する土圧又は水圧によって、ライニング膜が長期にわたり圧壊しないことや、管内の流路を閉塞することがないことをいう。なお、継ぎ手漏えい予防を目的とした工法については、本特性は要求されない。

(6)　工法の機能を維持する主要材料は、曝されるガス中に含まれる成分及び地下水等に含まれる環境成分に対し、著しい強度の劣化、変形、クラック等の異常を長期にわたり生じないことが必要である。

4.3　特性試験および評価

更生修理工法が 4.2 に述べた具備すべき特性を有していることを確認するため、以下の特性試験を評価基準年数や工法により決定される試験条件で実施しなければならない。

① 施工性試験

② 繰返し曲げ特性試験

③ 保形性試験

④ 耐ガス性・耐薬品性試験

⑤ 熱加速試験

これらの特性試験および試験結果の評価は、原則として以下の要領に従って実施する。但し、工法の性質上、以下の方法に拠ることが適切でない場合は、以下の要領を参考としつつ 4.2 で述べた具備すべき特性を確認するための適切な特性試験・評価要領を新たに作成し、試験及び評価を行う。

施工性の確認	施工性試験・評価要領
繰返し曲げ特性	繰返し曲げ特性試験・評価要領
保形性	保形性試験・評価要領
耐ガス性・耐薬品性	耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領
熱加速試験	熱加速試験・評価要領

〔解　説〕

(1)　評価基準年数とは、特性試験により供用可能であることを性能評価した期間であり、工法に対する期待寿命ではない。

(2)　参考資料Ⅱ.2 に、更生修理工法特性試験・評価要領を示す。

(3)　施工性試験の概要

一部に堀上管を用いた所定の供試配管に試験対象の工法を施工し、あらかじめ定められた基本事項（手順、工具等）により、施工が可能であること、施工後の気密試験に合格すること及びライニング材料に異常が認められないこと、並びに切断、連絡等の通常の導管工事を支障なく行うことができることを確認する。

(4)　繰返し曲げ特性試験の概要

中央にソケットを有する供試管に内圧 10kPa 以上の圧力を加えた状態で、片振り曲げ角度 0.02°以上で所定回数の繰返し曲げを与え、試験終了後、気密試験に合格すること及びライニング材料に異常が認められないことを確認する。

なお、繰返し曲げ回数及び曲げ角度は、主要地方道の車道に埋設された供給管が評価基準年数に

わたって車両輪荷重によって受けるたわみ振動を想定したものであり、通常の埋設環境ではかなりの安全率を含んだ振動に相当するものと考えられる。

(5)　保形性試験の概要

評価基準年数を 11 年とする場合は直径 10㎜、40 年とする場合は直径 20㎜ のモデル貫通孔を有する供試管のライニング膜を、あらかじめ養生及び外面からの水で平衡膨潤させた後、外面より水で試験圧力（4 水準以上）を加えてライニング膜が破壊するまでの時間を測定し、破壊圧力と破壊時間の関係を求めることにより、ライニング膜が評価基準年数まで基準の外圧で破壊しないことを確認する。

モデル貫通孔は、供内管に発生した腐食孔（貫通孔）を介して作用する水圧等に対して評価基準年数以上の保形性を保証することを考慮し作成している。モデル貫通孔径は理論上評価基準年数の間に発生しうる直径であり、実際の腐食状態に比べ相当大きなものとしている。なお、継ぎ手漏えい予防を目的とした工法については、保形性試験は必要ない。

(6)　耐ガス性・耐薬品性試験の概要

ガス中及び環境を代表する成分を含む試験液にライニング材料を浸漬させ、一定期間毎に質量変化、引張強さ、伸びの測定及び外観観察を行い、浸漬前後を比較して、長期耐久性を確認する。

(7)　熱加速試験の概要

熱加速試験とは、エポキシ系以外の新たな樹脂材料を用いた更生修理工法について、評価基準年数を 40 年とする場合に、管内面の材料の物性が経年に対する長期耐久性を有するか擬似的に将来を予測して確認する試験をいう。

Ⅰ．腐食リスクレベル判定の概要

Ⅰ．１　腐食リスクレベル判定の進め方

経年埋設内管の腐食リスクレベル判定の進め方を図 1.1 に示す。

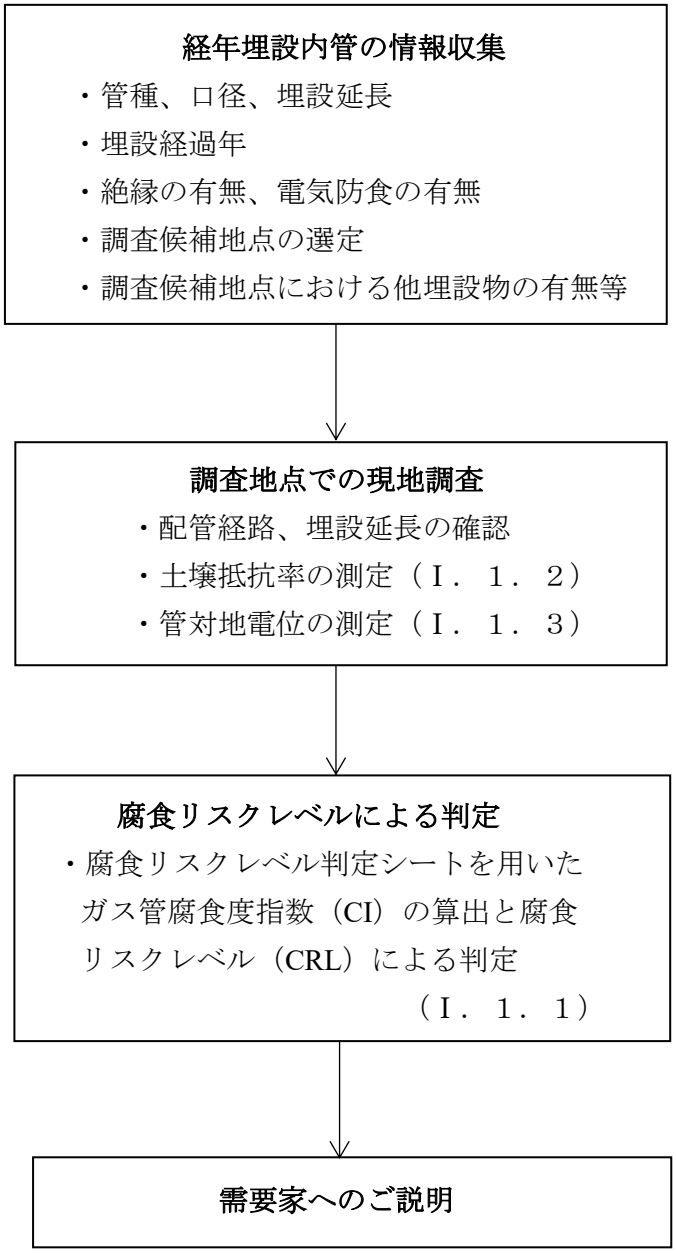


図 1.1 腐食リスクレベル判定の進め方

Ⅰ．１．１　腐食リスクレベル判定要領

（１）　腐食リスクレベル（CRL）による判定

経年埋設内管の腐食リスクは、表 1.1 に示す通り、判定対象内管のガス管腐食度指数（CI：Corrosion Index）の値で決定される 4 段階の腐食リスクレベル（CRL：Corrosion Risk Level）により判定する。

表 1.1　腐食リスクレベル（CRL）による判定

腐食リスクレベル（CRL）		ガス管腐食度指数（CI）
IV	取替・改修の必要性が極めて高い	50%以上
III	取替・改修の必要性が大変高い	30%以上～50%未満
II	取替・改修の必要性が高い	10%以上～30%未満
I	取替・改修の必要性がある	10%未満

ガス管腐食度指数（CI）は、対象となる経年埋設内管の最大腐食深さ推定値分布とその初期肉厚分布の関係から、信頼性解析手法で計算されるガス管貫通確率（Pf：Probability of Failure）の値を採用する。
最大腐食深さ推定値分布は、管種、口径、埋設延長、埋設経過年の情報に加え、土壌抵抗率及び管対地電位（飽和硫酸銅電極基準）の現地測定値から算出される。
なお、多くの内管の埋設深度は浅く、その土壌抵抗率は地中温度の影響を大きく受けるため、最大腐食深さ推定値分布に用いる土壌抵抗率は、地中温度に対する補正を行った値を適用する。

腐食リスクレベル（CRL）による判定を自動で行うため「腐食リスクレベル（CRL）判定シート」（別添資料）を作成した。「腐食リスクレベル（CRL）判定シート」における各入力項目と腐食リスクレベル（CRL）判定フローとの関係を図 1.2 に示す。図 1.2 の＜入力項目＞を入力・設定すれば、全ての計算と判定は EXCEL 上で行われ、腐食リスクレベルによる判定結果が表示される。

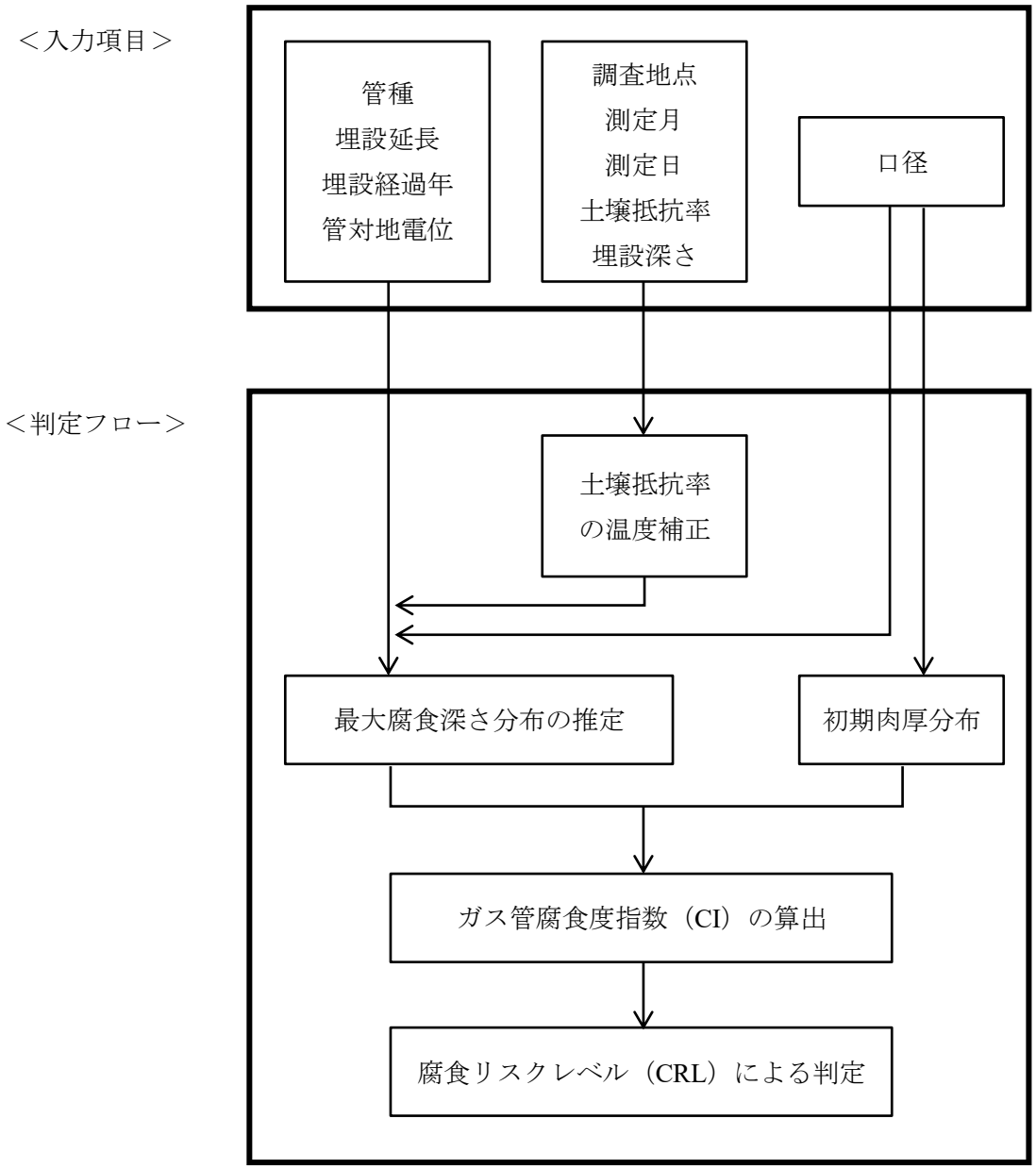


図 1.2　腐食リスクレベル（CRL）判定シートにおける入力項目と判定フローの関係
（判定フローの詳細についてはⅠ．２参照）

（２）　腐食リスクレベル（CRL）判定シート

表 1.2 に示す腐食リスクレベル（CRL）判定シートに、（３）項記載の 10 項目を入力・設定することにより腐食リスクレベル（CRL）を自動で求めることが可能である。

腐食リスクレベル（CRL）判定シートの入力条件及び出力形式を以下に示す。

(i)　入力条件

選択入力項目の８項目（黄色表示：　）はプルダウンより選択する。

土壌抵抗率と管対地電位の２項目（桃色表示：　）は数値入力項目であり、現地測定結果を各測定要領（Ⅰ．１．２及びⅠ．１．３）に従って決定し、その値を入力する。

(ii)　計算結果の出力形式

・測定月日の地中温度推定値、土壌抵抗率補正係数、及び地中温度補正後の土壌抵抗率が表示される。
・管対地電位は、入力した値がそのまま表示される。
・補正後の土壌抵抗率と管対地電位等から計算されるガス管腐食度指数（CI）が表示される。
・ガス管腐食度指数（CI）の値から、表 1.1 に示す分類により腐食リスクレベル（CRL）が決定され、　に着色された部分に表示される。

(iii)　腐食リスクレベル（CRL）判定表

腐食リスクレベル（CRL）判定表には、入力・設定した対象経年埋設内管と同じ条件下で、土壌抵抗率を 1,000Ω･cm～30,000Ω･cm の範囲で、管対地電位を－700mV～－300mV の範囲で各々1,000Ω・cm 単位及び 25mV 単位で変化させた場合のガス管腐食度指数（CI）を枠内に表示する。

各枠内はガス管腐食度指数（CI）の値により分類される各腐食リスクレベル（IV～I）にしたがい色分け表示される。なお、判定表内において、対象経年埋設内管のガス管腐食度指数（CI）の枠は、　で表示される。

（３）　腐食リスクレベル（CRL）判定入力リストのパラメータ設定

腐食リスクレベル（CRL）判定シートにおける選択入力項目及び数値入力項目について以下に概要を示す。また、同シートにおける選択入力項目（８項目）のパラメータを表 1.3 に示す。

① 地中温度計算用気象データ

調査地点における埋設深さの地中温度を計算するための気象データは、全国 47 都道府県主要都市（各都道府県ごとに１か所）の 2001 年から 2018 年の 18 年間の気象庁データの平均値とする。

② 管種と重回帰式の係数値、標準偏差

白ガス管とアスファルトジュート巻管のそれぞれについて、32A 以下の小口径と 40A 以上の大口径の２区分とする。

黒ガス管は、白ガス管として取扱い計算する。

③ 口径

20A、25A、32A、40A、50A、65A、80A 及び 100A の８区分とする。

100A を超える大口径管は適用対象外とする。

④ 埋設延長

２m 以下、５m 以下、10m 以下、20m 以下、30m 以下、50m 以下、100m 以下、及び 100m 超の 8 区分とする。

⑤ 埋設経過年

35 年以上～70 年以下（１年単位）、及び 70 年超の 37 区分とする。

⑥ 埋設深さ

15cm 以下、30cm 以下、40cm 以下、50cm 以下、60cm 以下、70cm 以下、80cm 以下、90cm 以下及び 90cm 超の９区分とする。

なお、深さが不明の場合は、30cm を入力する。

⑦ 土壌抵抗率測定月

土壌抵抗率を測定した月を入力する。

⑧ 土壌抵抗率測定日

土壌抵抗率を測定した日を入力する。

⑨ 土壌抵抗率

「Ⅰ．１．２　土壌抵抗率測定要領」にしたがい測定値を数値入力する。

⑩ 管対地電位

「Ⅰ．１．３　管対地電位測定要領」にしたがい測定値を数値入力する。

管対地電位測定値が－800mV より低い場合は判定対象外とする。

表1.2　＊＊＊　腐食リスクレベル（CRL）判定シート　＊＊＊

＜入力条件＞　　：選択入力　　：数値入力

都道府県　：　東京
（気象条件　：　TAVE=　16.6　℃, Tmax=　31.5　℃,　Tmin=　2.3　℃）

管種　：　白ガス管

口径　：　50A　　50　A
（A=　0.420　　B=　724　　C=　0.000492
（肉厚諸元　：　μr=　3.65　　σr=　0.163　）
（最大腐食深さ：　μs=　4.90　　σs=　0.163　）

埋設延長　：　≦2m　（延長係数　LG=　1.41　）

埋設経過年　：　≦50年　（埋設経過年　Y=　50　年）

埋設深さ　：　≦0.3m　（埋設深さ　DEP=　0.30　m）

土壌抵抗率測定値　：　10,000　Ω・cm
（土壌抵抗率　ρ=　10,000　Ω・cm）

測定月日　：　6月　6　21日　21
（n=　172　）

管対地電位測定値　：　−500　mV

＜計算結果＞

地中温度推定値　：　24.6　℃

土壌抵抗率補正係数　：　1.00

土壌抵抗率（補正後）　：　10,000　Ω・cm

管対地電位　：　−500　mV

ガス管腐食度指数（CI）　：　23%

腐食リスクレベル判定結果

腐食リスクレベル　Ⅱ

＜腐食リスクレベル（CRL）判定表＞

（判定結果枠は　●　で表示）

土壌抵抗率（Ω・cm）	管対地電位（mV） -700	-675	-650	-625	-600	-575	-550	-525	-500	-475	-450	-425	-400	-375	-350	-325	-300
1,000	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%
1,500	87%	89%	90%	91%	92%	93%	94%	95%	96%	96%	97%	97%	98%	98%	98%	98%	99%
2,000	66%	69%	71%	74%	76%	79%	81%	83%	84%	86%	88%	89%	90%	92%	93%	94%	94%
2,500	49%	52%	55%	58%	61%	64%	66%	69%	72%	74%	77%	79%	81%	83%	85%	86%	88%
3,000	38%	40%	43%	46%	49%	52%	55%	58%	61%	64%	67%	69%	72%	74%	77%	79%	81%
3,500	30%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	59%	62%	64%	67%	70%	72%	75%
4,000	25%	27%	30%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	58%	61%	64%	67%	70%
4,500	21%	23%	25%	28%	30%	33%	36%	39%	42%	45%	48%	51%	54%	57%	60%	62%	65%
5,000	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	59%	62%
5,500	16%	18%	20%	22%	24%	27%	30%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	58%
6,000	14%	16%	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%
6,500	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%	36%	39%	42%	45%	48%	51%	54%
7,000	12%	14%	15%	17%	19%	22%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	40%	43%	46%	49%	52%
7,500	11%	13%	14%	16%	18%	20%	23%	25%	27%	30%	33%	35%	38%	41%	44%	47%	50%
8,000	11%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	40%	43%	46%	49%
8,500	10%	11%	13%	15%	16%	18%	20%	23%	25%	28%	30%	33%	36%	38%	41%	44%	47%
9,000	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	34%	37%	40%	43%	46%
9,500	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	34%	36%	39%	42%	45%
10,000	9%	10%	11%	13%	15%	16%	18%	20%	●	25%	27%	30%	33%	35%	38%	41%	44%
10,500	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%	37%	40%	43%
11,000	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	40%	43%
11,500	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	33%	36%	39%	42%
12,000	7%	9%	10%	11%	13%	15%	16%	18%	20%	23%	25%	27%	30%	33%	35%	38%	41%
12,500	7%	8%	10%	11%	13%	14%	16%	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%	38%	41%
13,000	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	34%	37%	40%
13,500	7%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	40%
14,000	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	34%	36%	39%
14,500	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%	36%	39%
15,000	6%	7%	9%	10%	11%	13%	15%	16%	18%	20%	23%	25%	28%	30%	33%	36%	38%
15,500	6%	7%	8%	10%	11%	13%	14%	16%	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%	38%
16,000	6%	7%	8%	10%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%	38%
16,500	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%	37%
17,000	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	17%	19%	22%	24%	26%	29%	32%	34%	37%
17,500	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	29%	31%	34%	37%
18,000	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	34%	37%
18,500	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	33%	36%
19,000	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	31%	33%	36%
19,500	6%	6%	8%	9%	10%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%	36%
20,000	5%	6%	7%	9%	10%	11%	13%	15%	16%	18%	20%	23%	25%	28%	30%	33%	36%
20,500	5%	6%	7%	9%	10%	11%	13%	14%	16%	18%	20%	23%	25%	27%	30%	33%	35%
21,000	5%	6%	7%	8%	10%	11%	13%	14%	16%	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%
21,500	5%	6%	7%	8%	10%	11%	13%	14%	16%	18%	20%	22%	25%	27%	30%	32%	35%
22,000	5%	6%	7%	8%	10%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%
22,500	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%
23,000	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	27%	29%	32%	35%
23,500	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%	29%	32%	34%
24,000	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	16%	17%	19%	22%	24%	26%	29%	31%	34%
24,500	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	19%	22%	24%	26%	29%	31%	34%
25,000	5%	6%	7%	8%	9%	11%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	29%	31%	34%
25,500	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	14%	15%	17%	19%	21%	24%	26%	28%	31%	34%
26,000	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	34%
26,500	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	34%
27,000	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	33%
27,500	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	26%	28%	31%	33%
28,000	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	31%	33%
28,500	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%
29,000	5%	6%	6%	8%	9%	10%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%
29,500	5%	6%	6%	8%	9%	10%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	23%	25%	28%	30%	33%
30,000	5%	5%	6%	7%	9%	10%	11%	13%	15%	16%	18%	21%	23%	25%	28%	30%	33%

腐食リスクレベル　Ⅳ	腐食リスクレベル　Ⅲ	腐食リスクレベル　Ⅱ	腐食リスクレベル　Ⅰ
：CI≧50%	：30%≦CI＜50%	：10%≦CI<30%	：CI<10%

表1.3　＊＊＊　腐食リスクレベル（CRL）判定入力リスト　＊＊＊

＜入力項目＞

都道府県名	表1
管種	表2
口径	表3
埋設延長	表4
埋設深さ	表5
埋設経過年	表6
土壌抵抗率測定月	表7
土壌抵抗率測定日	表8
土壌抵抗率測定値	数値入力
管対地電位測定値	数値入力

表2　管種と重回帰式の係数値、標準偏差

管種		A	B	C	D
白ガス管	32A以下	0.371	551	0.000439	0.133
	40A以上	0.420	724	0.000492	0.163
ｱｽﾌｧﾙﾄｼﾞｭｰﾄ巻管	32A以下	0.391	197	0.000376	0.137
	40A以上	0.369	288	0.000324	0.161

（＊1）最大腐食深さ重回帰式　$H=\mu_s=(A+B/\rho+C*P/S)*\sqrt{Y}$

（＊2）最大腐食深さ重回帰式標準偏差　$\sigma_s=D*\sqrt{Y}$

表3　口径別平均肉厚値、標準偏差

口径	公称肉厚 t	平均肉厚 μ_r	標準偏差 σ_r
20A	2.80	2.66	0.106
25A	3.20	3.08	0.138
32A	3.50	3.40	0.170
40A	3.50	3.40	0.170
50A	3.80	3.65	0.163
65A	4.20	4.11	0.216
80A	4.20	4.11	0.216
100A	4.50	4.37	0.231

表7　測定月

1月	1
2月	2
3月	3
4月	4
5月	5
6月	6
7月	7
8月	8
9月	9
10月	10
11月	11
12月	12

表1　地中温度計算用気象データリスト　（℃）

都道府県	都市名	TAVE	Tmax	Tmin	ΔT
東京	東京	16.6	31.5	2.3	29.1
愛知	名古屋	16.3	33.2	0.8	32.4
福岡	福岡	17.4	32.8	3.6	29.2
大阪	大阪	17.1	33.8	2.7	31.0
北海道	札幌	9.3	26.6	−6.4	33.1
青森	青森	10.7	27.8	−3.7	31.4
秋田	秋田	12.1	29.3	−2.2	31.5
岩手	盛岡	10.6	28.5	−5.4	33.9
山形	山形	12.1	30.5	−3.4	33.8
宮城	仙台	12.8	28.3	−1.5	29.8
新潟	新潟	14.1	30.5	0.2	30.3
福島	福島	13.4	30.5	−1.8	32.3
栃木	宇都宮	14.4	30.9	−2.3	33.2
群馬	前橋	15.1	31.7	−0.7	32.4
富山	富山	14.6	31.5	0.0	31.6
石川	金沢	15.0	31.5	0.9	30.6
茨城	水戸	14.2	30.1	−2.0	32.1
埼玉	熊谷	15.5	32.4	−0.6	32.9
長野	長野	12.3	31.2	−4.3	35.4
岐阜	岐阜	16.2	33.4	0.4	33.0
福井	福井	14.8	32.2	0.1	32.1
千葉	千葉	16.3	31.1	2.3	28.8
神奈川	横浜	16.3	31.0	2.6	28.4
山梨	甲府	15.2	33.0	−2.4	35.5
静岡	静岡	17.0	31.4	1.8	29.6
三重	津	16.4	31.6	2.2	29.5
奈良	奈良	15.3	33.1	−0.1	33.2
滋賀	彦根	15.1	32.2	0.7	31.5
京都	京都	16.2	33.8	1.1	32.6
兵庫	神戸	17.1	32.3	2.9	29.3
和歌山	和歌山	16.9	32.6	2.6	30.0
岡山	岡山	16.4	33.2	1.0	32.2
鳥取	鳥取	15.2	32.7	0.8	31.9
広島	広島	16.5	32.9	1.6	31.3
島根	松江	15.3	31.8	1.2	30.6
山口	山口	15.8	32.8	0.3	32.5
香川	高松	16.8	33.2	2.0	31.2
徳島	徳島	16.9	32.3	2.6	29.7
愛媛	松山	16.8	32.8	2.3	30.5
高知	高知	17.4	32.3	1.9	30.4
佐賀	佐賀	17.0	33.2	1.6	31.6
大分	大分	16.9	32.5	2.4	30.1
長崎	長崎	17.4	32.2	3.6	28.5
熊本	熊本	17.3	33.6	1.5	32.2
宮崎	宮崎	17.8	31.8	2.8	29.0
鹿児島	鹿児島	18.9	33.0	4.6	28.4
沖縄	那覇	23.4	32.0	14.7	17.3

表4　延長係数（LG）

埋設延長	LG
≦2m	1.41
≦5m	1.67
≦10m	1.85
≦20m	2.04
≦30m	2.15
≦50m	2.28
≦100m	2.47
＞100m	2.65

表5　埋設深さ（m）

≦0.15m	0.15
≦0.3m	0.3
≦0.4m	0.4
≦0.5m	0.5
≦0.6m	0.6
≦0.7m	0.7
≦0.8m	0.8
≦0.9m	0.9
＞0.9m	1.0

表6　埋設経過年

≦35年	35
≦36年	36
≦37年	37
≦38年	38
≦39年	39
≦40年	40
≦41年	41
≦42年	42
≦43年	43
≦44年	44
≦45年	45
≦46年	46
≦47年	47
≦48年	48
≦49年	49
≦50年	50
≦51年	51
≦52年	52
≦53年	53
≦54年	54
≦55年	55
≦56年	56
≦57年	57
≦58年	58
≦59年	59
≦60年	60
≦61年	61
≦62年	62
≦63年	63
≦64年	64
≦65年	65
≦66年	66
≦67年	67
≦68年	68
≦69年	69
≦70年	70
＞70年	70

表8　測定日

1日	1
2日	2
3日	3
4日	4
5日	5
6日	6
7日	7
8日	8
9日	9
10日	10
11日	11
12日	12
13日	13
14日	14
15日	15
16日	16
17日	17
18日	18
19日	19
20日	20
21日	21
22日	22
23日	23
24日	24
25日	25
26日	26
27日	27
28日	28
29日	29
30日	30
31日	31

Ⅰ．１．２　土壌抵抗率測定要領

（１）測定機器

土壌抵抗率の現地測定機器（通称：土壌杖）の仕様（例）を以下に示す。

（例）土壌抵抗率測定機器の仕様：オーム・メーターIV型（図 1.3）

①　土壌抵抗計

測定範囲	300 ～ 999,999 Ω・cm
許容差	±５％
電池	UM-3（単三）４本
測定周波数	約 100 Hz
表示部	液晶パネル表示（16 文字×１行）
寸法	187 × 130 × 65 mm
質量	約 0.5 kg
付属品	接地棒接続プラグ（50 cm リード線付）

②　接地棒

K（セルコンスタント）	10.0 ± 0.5
測定深さ	30 cm ～ 90 cm
測定範囲	0 ～ 1,000,000 Ω・cm
寸法	長さ 1 m
重量	約 2.5 kg

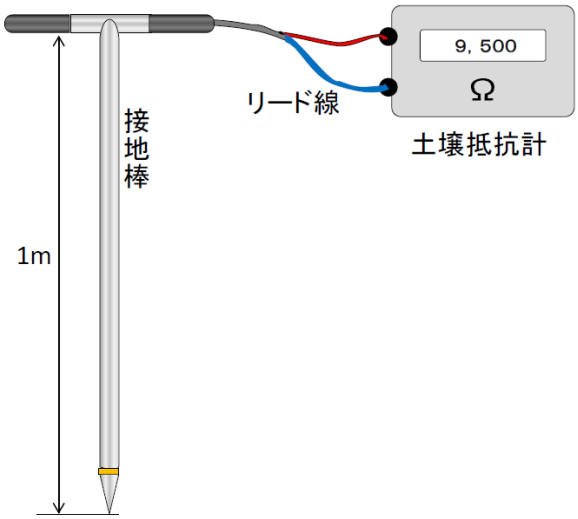


図 1.3　土壌抵抗率測定機器

（２）測定機器の校正

土壌抵抗計及び接地棒は、メーカー社内基準若しくはそれと同等の検査方法により、毎年検査・校正されたものを使用する。

（３）測定方法

① 配管図よりガス管の埋設位置を確認し、パイプロケーター等によりガス管平面位置を調査し、地表に巻き尺等で明示する。

② 口径別埋設延長を確認し、その延長に応じて、測定地点数を決定する。埋設延長に対する測定地点数は、原則表 1.4 の通りとする。

接地棒の差込み箇所は、対象の経年埋設内管直上近傍（ガス管損傷防止のため直上は避ける）の未舗装地盤を原則とし、ガス管直上近傍に未舗装地盤が存在しない場合は、近傍の未舗装地盤とする。

表 1.4　土壌抵抗率測定地点数

埋設延長	測定地点数	測定地点の選定
5m 以下	１地点	建物側
10m 以下	２地点	建物側、上流側
10m 超	３地点	建物側、上流側、中間付近

③ 測定深さは、原則 30cm とする。ただし、接地棒の差込みが困難な硬い地盤では、測定値が大きくばらつかないことが確認できれば、より浅い深さ（20cm 程度）でも可とする。接地棒を差込むことが困難な硬い地盤でも、近傍の柔らかい地盤を選定し測定を行う。

また、接地棒の差込みが困難な場合に限りボーリングバー等による事前穿孔を行う。ボーリングバーによる事前穿孔を行う場合先穿孔深さは 25cm 程度とし、その後接地棒を 30cm まで差込む。

測定時の接地棒又はボーリングバーの差込みに際しては、当該ガス管および他埋設物の損傷を避けるため、細心の注意を払う必要がある。

④ 接地棒の先端が砕石等に当たった場合には、接地棒の差込みが困難であるため、差込み位置を変更する。

⑤ １箇所の測定孔において初期測定と約 $50cm^3$ 水道水を注入した湿潤化後測定の２回の土壌抵抗率測定を実施する。各測定地点においては３箇所測定孔を設けて上記測定を実施する（土壌湿潤化についての詳細は参考資料－１を参照）。

⑥ 湿潤化後測定は、初期測定後、測定孔側壁土砂が崩壊しないように接地棒を測定孔からゆっくりと引き上げ、測定孔に漏斗等を用いて水道水約 $50cm^3$ を静かに注入する。

水道水を注入後、付着した土砂を除去した接地棒を再度差込んで測定する。この時、初期測定と同じ深さでの測定を行う必要があるので、接地棒を強く差込み初期測定時よりも深く差込まないように注意する。

（４）腐食リスクレベル（CRL）判定シート入力用土壌抵抗率の算定

土壌抵抗率測定記録表の例を表 1.5 に示す。

表 1.5 において経年埋設内管腐食リスクレベル（CRL）判定用の土壌抵抗率は以下の手順にしたがい算定する。

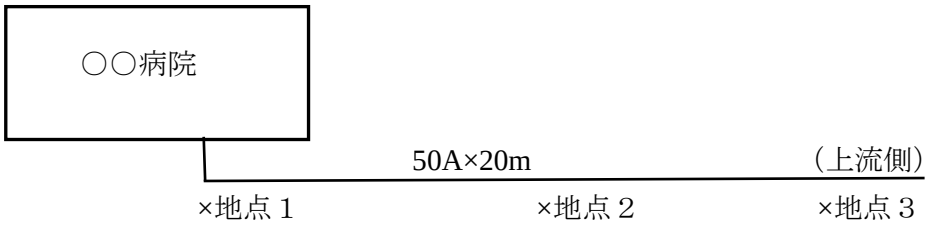
① (C)測定孔土壌抵抗率は、(A)初期測定値と(B)湿潤化後測定値の最小値とする。

② 測定孔①～③の(C)測定孔土壌抵抗率最小値を、その各測定地点の(D)最小土壌抵抗率とする。

③ 各測定地点１～３の(D)最小土壌抵抗率の平均値を当該経年埋設内管の(E)腐食リスクレベル判定シート入力用土壌抵抗率とする。

④ (E)腐食リスクレベル判定シート入力用土壌抵抗率をⅠ．１．１表 1.2 の「土壌抵抗率」欄に数値入力する。

表 1.5　土壌抵抗率測定記録表（例：埋設延長が 10m を超える場合）

<table>
<tr><td colspan="3">測定日</td><td>2019.10.25</td><td>天候</td><td>晴れ</td></tr>
<tr><td colspan="3">建物名</td><td>○○病院</td><td rowspan="2">特記事項</td><td rowspan="2">なし</td></tr>
<tr><td colspan="3">口径×埋設延長</td><td>50A　×　20m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">測定
地点</td><td rowspan="2">測定
No.</td><td rowspan="2">測定
深さ
(cm)</td><td colspan="4">土壌抵抗率（Ω・cm）</td></tr>
<tr><td>(A)初期
測定値</td><td>(B)湿潤化後
測定値</td><td>(C)測定孔
土壌抵抗率</td><td>(D)最小
土壌抵抗率</td></tr>
<tr><td rowspan="3">地点１
（建物側）</td><td>測定孔①</td><td>30</td><td>12,000</td><td>7,500</td><td>7,500</td><td rowspan="3">6,500</td></tr>
<tr><td>測定孔②</td><td>30</td><td>13,500</td><td>8,500</td><td>8,500</td></tr>
<tr><td>測定孔③</td><td>30</td><td>10,500</td><td>6,500</td><td>6,500</td></tr>
<tr><td rowspan="3">地点２
（中間）</td><td>測定孔①</td><td>25</td><td>22,000</td><td>11,500</td><td>11,500</td><td rowspan="3">10,500</td></tr>
<tr><td>測定孔②</td><td>25</td><td>18,500</td><td>12,000</td><td>12,000</td></tr>
<tr><td>測定孔③</td><td>25</td><td>15,500</td><td>10,500</td><td>10,500</td></tr>
<tr><td rowspan="3">地点３
（上流側）</td><td>測定孔①</td><td>30</td><td>9,000</td><td>8,000</td><td>8,000</td><td rowspan="3">7,600</td></tr>
<tr><td>測定孔②</td><td>30</td><td>8,500</td><td>7,600</td><td>7,600</td></tr>
<tr><td>測定孔③</td><td>30</td><td>10,500</td><td>9,000</td><td>9,000</td></tr>
<tr><td colspan="5">(E)腐食リスクレベル判定シート入力用土壌抵抗率</td><td>8,200</td></tr>
<tr><td colspan="6">＜測定位置図＞
 
</td></tr>
</table>

Ⅰ．１．３　管対地電位測定要領

（１）測定機器類

①　高感度自動電圧記録計、デジタルボルトメーター等*

②　照合電極（飽和硫酸銅電極）

③　測定リード線

④　測定リード線と調査対象ガス管を接続する治具（マグネット、クランプ等）

＊入力インピーダンス $10^6\Omega$ 以上を推奨

（２）測定準備

飽和硫酸銅電極は、図 1.4 に示す通り、飽和硫酸銅溶液に浸漬された銅棒、電解質、及び多孔性セラミック栓を有するプラスチック製円筒からなる。

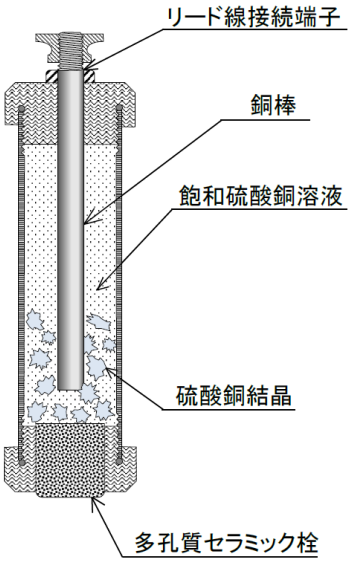


図 1.4　飽和硫酸銅電極

硫酸銅電極は、以下の点に注意して使用しなければならない。

・常に硫酸銅結晶がある事を確認する。

・事務所（室内）において新品で清浄な飽和硫酸銅電極を保管し、定期的にこの電極を基準としてフィールドで用いる電極を校正する。電位差が５mV を超えたらフィールドで用いる電極を清浄し、銅棒を研磨するとともに飽和硫酸銅溶液と硫酸銅結晶を新しいものに交換する。

・光で硫酸銅が変質するので、電極が直接日光に当たらないようにする。直射日光が当たった電極電位は、当たらない電極よりも 10～50mV 低下する。通常、飽和硫酸銅電極には、硫酸銅結晶と飽和硫酸銅溶液の存在の確認窓がある。測定時、この窓をテープで遮光する。また、電極を暗所で保管する。

・海水によって汚染されるので、測定中及び保管に気をつける。電極電位は、塩化物イオン濃度が５ppt で－20mV、10ppt で－95mV ずれる。

・汗にも塩化物イオンは含まれるため、電極をメンテナンスする際には直接手で触れないようにゴム手袋等を着用する。
・使用しない時は、多孔性セラミック栓をキャップする。

（３）測定手順

① ガスメーターへ通ずるガス管立上り部の位置、配管経路を確認する。

② ガス管立上り部の絶縁継手の有無を確認する。
・ガス管の測定リード線は、絶縁継手の上流側（埋設側）に取り付ける。

③ ガス管立上り部の配管材料が鋼管であることを確認する。
・目視だけではなく、磁石による非金属管との識別も有効である。

④ 需要家の承認を得た上で、電極を鋼管に直接接触し導通させるために、クランプ等の電極を接触させるガス管取り付け部のさび、塗装等を一時的に除去する。

⑤ クランプ等を用いてガス管と測定リード線を接続する。
・ガス管が未塗装あるいは亜鉛メッキの場合は面接触のクランプ等を使用し、塗装の場合は点接触（先端が鋭利で鋼管に直接接触できる）クランプ等を使用する。
・クランプ等によるガス管とリード線間が確実に導通していることをテスター等で確認する。

⑥ 飽和硫酸銅電極を管路直上近傍の地表面に設置する。
・設置場所は、原則建物側とする。土壌が乾燥している場合は、水をまき設置場所の土壌を適度に湿らせる。
・アスファルト舗装やコンクリート舗装上での測定は避けるべきではあるが、亀裂がある場合等十分な散水を行うことにより測定が可能となる場合もある。

⑦ 測定リード線を高感度自動電圧記録計等に接続する。
・ガス管の測定リード線は記録計のプラス端子に、飽和硫酸銅電極の測定リード線は記録計のマイナス端子に接続する。

高感度自動電圧記録計による測定要領の例を図 1.5 に示す。

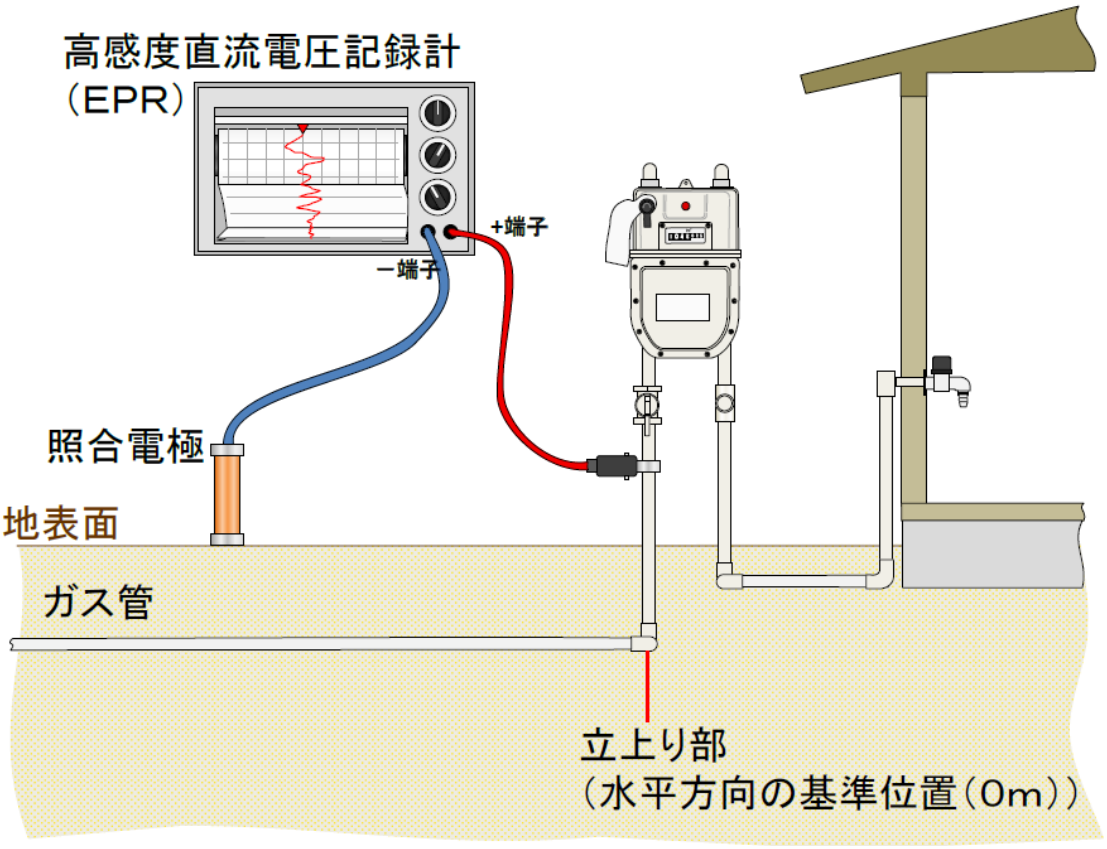


図 1.5　高感度自動電圧記録計による測定要領図（例）

（4）測定方法

高感度自動電圧記録計を使用した場合を以下に示す。その他の電圧記録計を使用する場合は下記に準じた方法により測定する。

① 高感度自動電圧記録計の「零点調整」を行った後、測定を開始する。

② 測定条件は原則として、以下の通りとする。

測定電圧レンジ　：　±1V

（測定時レンジオーバーした場合はレンジを変更すること）

測定時間　：　1 分

記録紙速度　：　20mm/分

③ 測定値が安定して一定の値を示すことを確認し、測定を終了する。

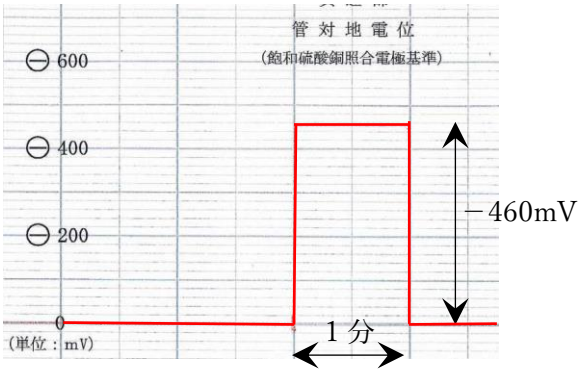
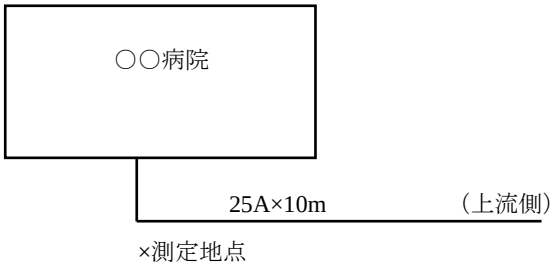
（5）　測定後のガス管塗装等の復旧

ガス管へのクランプ取り付け時に塗装等を一時的に除去した場合は、当初と同等の仕様で復旧する。同等の仕様での復旧が困難な場合は、事前に需要家へ復旧方法を説明し、了承を得た後復旧を行う。

（６）　測定記録の作成

測定日、建物名、住所、口径、埋設延長、塗装種別、測定条件、測定結果（測定チャートを含む）等を記載した管対地電位測定記録表を作成する。管対地電位測定記録表の例を表 1.6 に示す。

表 1.6　管対地電位測定記録表（例）

測定日	2019.10.25
建物名	○○病院
住所	東京都○○区○○
口径／埋設延長	25A／10m
管種	白ガス管
測定方法	高感度自動電圧記録計（レンジ：±1V、記録時間：1 分）
測定値	－460mV
測定チャート	
測定位置図	

Ⅰ．２　腐食リスクレベル判定の解説

腐食リスクレベル（CRL）判定シートにおける入力項目と判定フローの関係を図2.1に示す。判定フローにおける各項目について以下に記す。

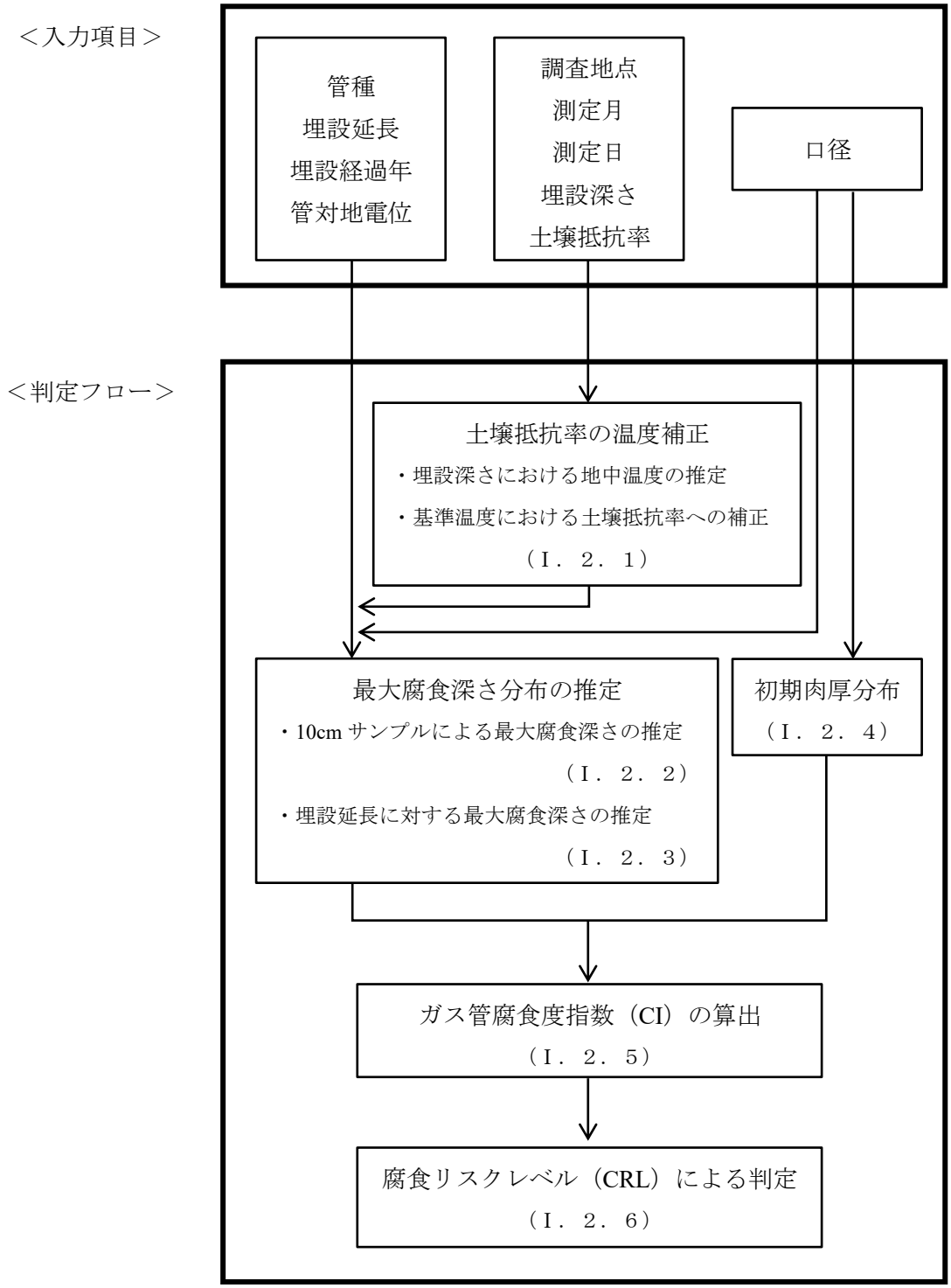


図 2.1　腐食リスクレベル（CRL）判定シートにおける入力項目と判定フローの関係

Ⅰ．２．１　土壌抵抗率の温度補正

内管が敷設される深度が浅い土壌における抵抗率は、地中温度の影響を受けるため季節によって変動し、その結果測定時期により土壌抵抗率の値が変化する懸念がある。したがって、土壌抵抗率測定時の地中温度を推定し、基準温度における土壌抵抗率への補正方法を考案・適用した。

（１）　地中温度の推定方法

土壌抵抗率測定時における地中温度は、気象庁外気温データにより推定する計算式 2.1（「パソコンによる空気調和計算方法」、宇田川光弘著、オーム社、1996）を採用した。

$$\mathrm{T_G} = \mathrm{T_{AVE}} + \frac{\Delta \mathrm{T}}{2} \times e^{-0.526 \times Z} \times \cos\{0.017214 \times (n - 213 - 30.556 \times Z)\} \cdots\cdots \quad (2.1)$$

ただし、$\mathrm{T_G}$　：　地中深さ Z（m）の地中推定温度（℃）
$\mathrm{T_{AVE}}$　：　対象地域の年平均気温（℃）
ΔT　：　ΔT = Tmax － Tmin（℃）
Tmax　：　対象地域の８月の日最高気温の平均値（℃）
Tmin　：　対象地域の１月の日最低気温の平均値（℃）
n　：　通日（１月１日を「１」として月日を連番表示）

図 2.2 に示すグラフは、東京（地中深さ 30cm）における 2001～2018 年の 18 年間の平均値で求めた地中推定温度と、2003 年、2004 年、2012 年及び 2013 年の単年度気温データで求めた地中推定温度の年間変動を示す。18 年間のうちで夏場の地中温度は 2003 年が最も低く、2013 年が最も高い。また、冬場の地中温度は 2012 年が最も低く、2004 年が最も高い。

図 2.2 より、平均値で求めた地中温度と単年度の気温データで求めた地中温度との差異は冬場で最大 1.2℃、夏場で最大 1.5℃程度であることがわかる。

したがって、式 2.1 における対象地域における気象データ（$\mathrm{T_{AVE}}$、Tmax 及び Tmin）は、気象庁データから得られる全国 47 都道府県代表地の 2001 年～2018 年（18 年間）の平均値を採用することとした。

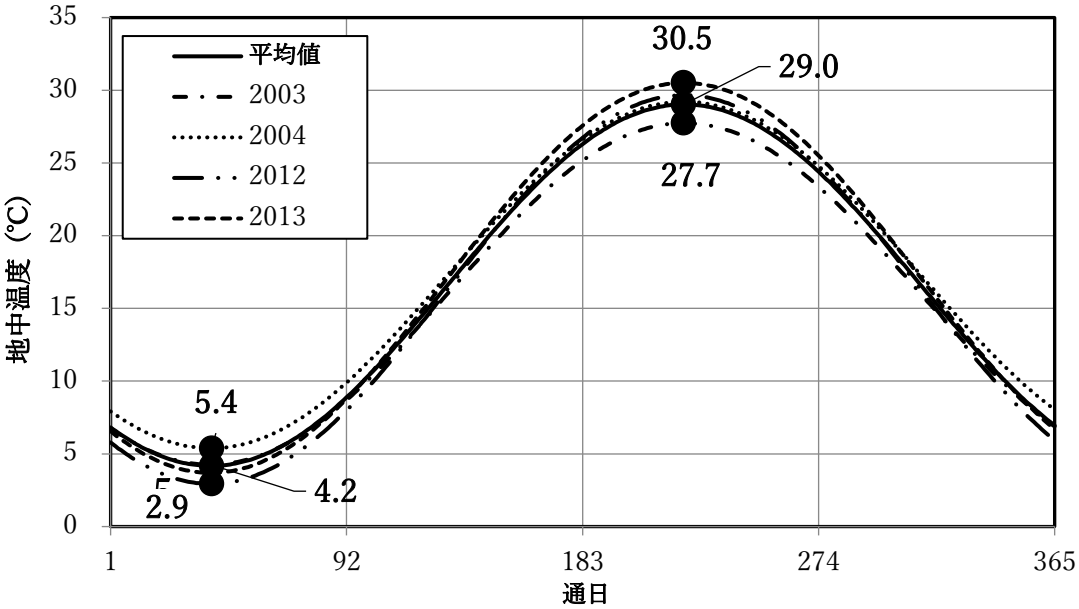


図2.2　地中推定温度の年間変動（東京：地中深さ30cm）

（２）　基準温度における土壌抵抗率への補正

基準温度における土壌抵抗率への補正式は、Hayley et al.（Geophysical Research Letters34, L.18042,2007.）による式 2.2 を採用した。

$$\rho_{STD} = \frac{m(T_G - 25) + 1}{m(T_{STD} - 25) + 1} \cdot \rho \cdots\cdots \quad (2.2)$$

ただし、ρ_{STD}　：　基準温度 T_{STD}（℃）における土壌抵抗率（Ω・cm）

m　：　温度係数（常温では≒0.02）

T_G　：　地中推定温度　（℃）

ρ　：　土壌抵抗率実測値（Ω・cm）

基準温度 T_{STD} は、重回帰分析に使用したサンプル（H29 年度事業及び H30 年度事業）採取時の地中推定温度平均値の 20℃を適用する。

以上より、式 2.2 における基準温度を 20℃とした場合の温度補正式を式 2.3 に示す。式 2.3 に示す 20℃の土壌抵抗率への換算係数を「土壌抵抗率補正係数（C_T）」と定義する（式 2.4）。

$$\rho_{STD} = C_T \times \rho \cdots\cdots \quad (2.3)$$

$$C_T = \frac{0.02T_G + 0.5}{0.9} \cdots\cdots \quad (2.4)$$

図 2.3 に土壌抵抗率測定時の地中推定温度 T_G と土壌抵抗率補正係数 C_T の関係を示す。

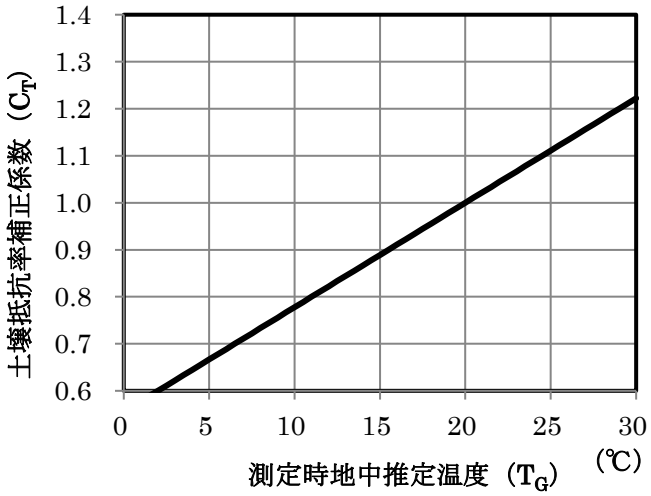


図2.3　式2.4による土壌抵抗率補正係数

（３）　腐食リスクレベル（CRL）判定シートで使用する土壌抵抗率補正係数

図 2.3 より、測定時における地中推定温度 T_G が基準温度 T_{STD} =20（℃）以上になると土壌抵抗率補正係数 C_T は 1.0 よりも大きくなり、土壌抵抗率は測定値よりも大きな値に補正される。その結果、最大腐食深さが小さく推定されるため、ガス管貫通の危険性を見逃す懸念が生じる。

したがって、腐食リスクレベル（CRL）判定時の土壌抵抗率補正係数 C_T は測定時における地中推定温度 T_G が基準温度 T_{STD} よりも高い場合には 1.0 とした式 2.5 を用いることにする。

図 2.4 に土壌抵抗率測定時の地中推定温度 T_G と式 2.5 適用後の土壌抵抗率補正係数 C_T の関係を示す。

$$\left.\begin{array}{ll} T_G < 20\ (℃)\ の時 & C_T = \frac{0.02T_G + 0.5}{0.9} \\ T_G \geqq 20\ (℃)\ の時 & C_T = 1.0 \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.5)$$

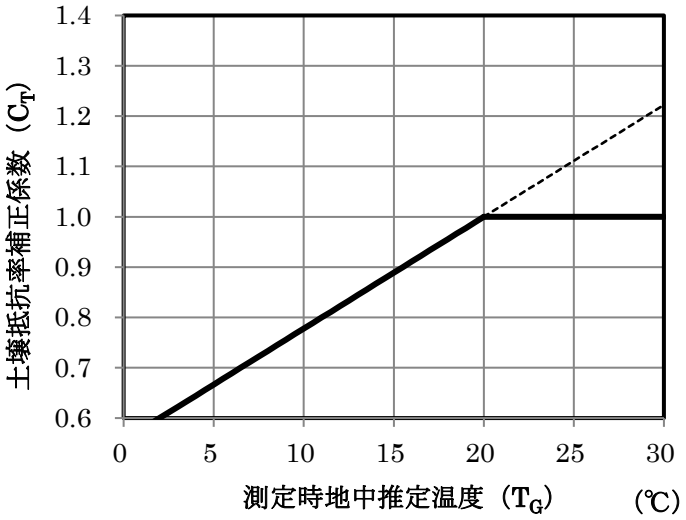


図2.4　式2.5による土壌抵抗率補正係数

Ⅰ．２．２　最大腐食深さ重回帰式

（１）白ガス管の最大腐食深さ重回帰式

平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度の 10cm サンプル管データ 168 本（参考資料－２）から求めた最大腐食深さ（H）を埋設経過年（Y）の平方根で除した値（$H/\sqrt{Y}$）を目的変数とし、管対地電位（P/S）と土壌抵抗率の逆数（$1/\rho$）を説明変数とした重回帰式を式 2.6 に示す。

式 2.6 は小口径（32A 以下）のデータが占める割合が高いため、32A 以下の小口径管を対象とした最大腐食深さ重回帰式とする。式 2.6 から得られる最大腐食深さ推定値と実測された最大値 Hmax の相関図を図 2.5 に示す。

また、全データ（168 本）のうち、40A 以上のサンプル管データ（46 本）から求めた重回帰式を式 2.7 に示す。式 2.7 は、40A 以上の大口径管を対象とした最大腐食深さ重回帰式とする。式 2.7 から得られる最大腐食深さ推定値と実測値の相関図を図 2.6 に示す。

なお、式 2.6 及び式 2.7 の重回帰式を求める際、土壌抵抗率はⅠ．２．１による地中温度補正後の値を用いた（ただし測定期日が不明な昭和 60 年度データは補正を行わずに使用）。

＜小口径白ガス管（20A～32A）の重回帰式＞

$$\frac{H}{\sqrt{Y}} = 0.371 + 551 \times \left(\frac{1}{\rho}\right) + 4.39 \times 10^{-4} \times (P/S) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.6)$$

＜大口径白ガス管（40A～100A）の重回帰式＞

$$\frac{H}{\sqrt{Y}} = 0.420 + 724 \times \left(\frac{1}{\rho}\right) + 4.92 \times 10^{-4} \times (P/S) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.7)$$

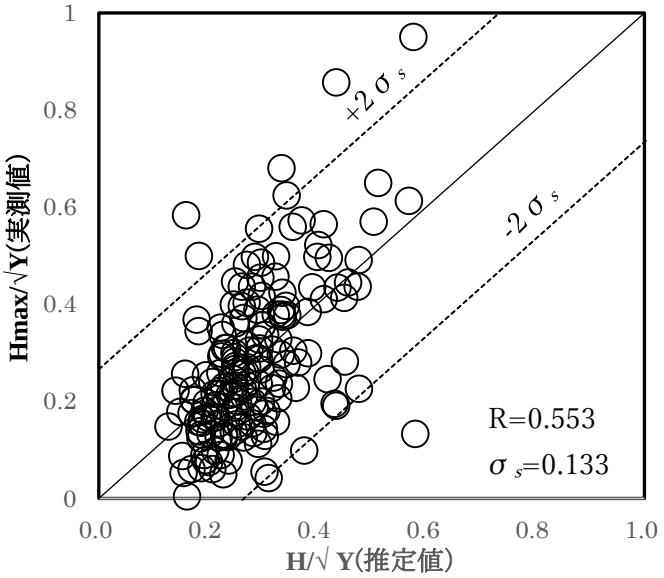


図2.5　小口径白ガス管相関図（n=168）

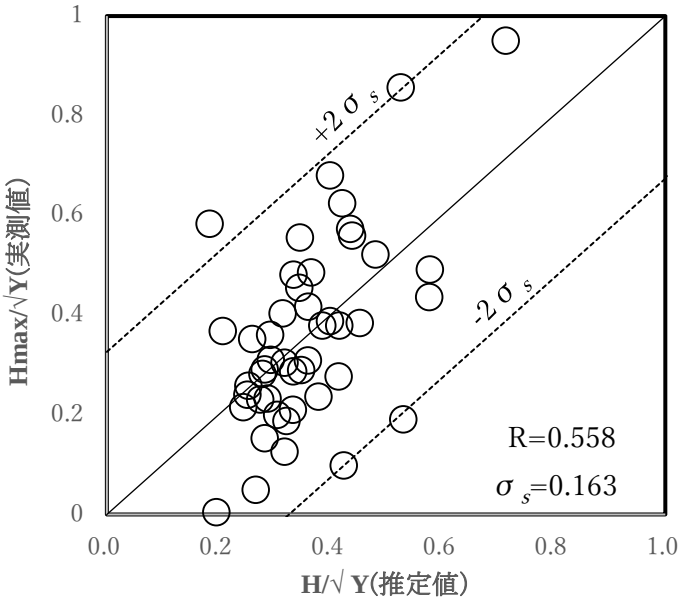


図2.6　大口径白ガス管相関図（n=46）

（２）アスファルトジュート巻管の最大腐食深さ重回帰式

平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度の 10cm サンプル管データ 105 本（参考資料－３）から求めた最大腐食深さ（H）を埋設経過年（Y）の平方根で除した値（$H/\sqrt{Y}$）を目的変数とし管対地電位（P/S）と土壌抵抗率の逆数（$1/\rho$）を説明変数とした重回帰式を式 2.8 に示す。

白ガス管と同様に、式 2.8 は小口径（32A 以下）のデータが占める割合が高いため、32A 以下の小口径管を対象とした最大腐食深さ重回帰式とする。式 2.8 から得ら

れる最大腐食深さ推定値と実測された最大値 Hmax の相関図を図 2.7 に示す。

また、全データ（105 本）のうち、40A 以上のサンプル管データ（44 本）のみの重回帰式を式 2.9 に示す。式 2.9 は、40A 以上の大口径管を対象とした最大腐食深さ重回帰式とする。式 2.9 から得られる最大腐食深さ推定値と実測値の相関図を図 2.8 に示す。

なお、式 2.8 及び式 2.9 の重回帰式を求める際、土壌抵抗率はⅠ．２．１による地中温度補正後の値を用いた（ただし測定期日が不明な昭和 60 年度データは補正を行わずに使用)。

＜小口径アスファルトジュート巻管（20A～32A）の重回帰式＞

$$\frac{\mathrm{H}}{\sqrt{Y}} = 0.391 + 197 \times \left(\frac{1}{\rho}\right) + 3.76 \times 10^{-4} \times (P/S) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.8)$$

＜大口径アスファルトジュート巻管（40A～100A）の重回帰式＞

$$\frac{\mathrm{H}}{\sqrt{Y}} = 0.369 + 288 \times \left(\frac{1}{\rho}\right) + 3.24 \times 10^{-4} \times (P/S) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.9)$$

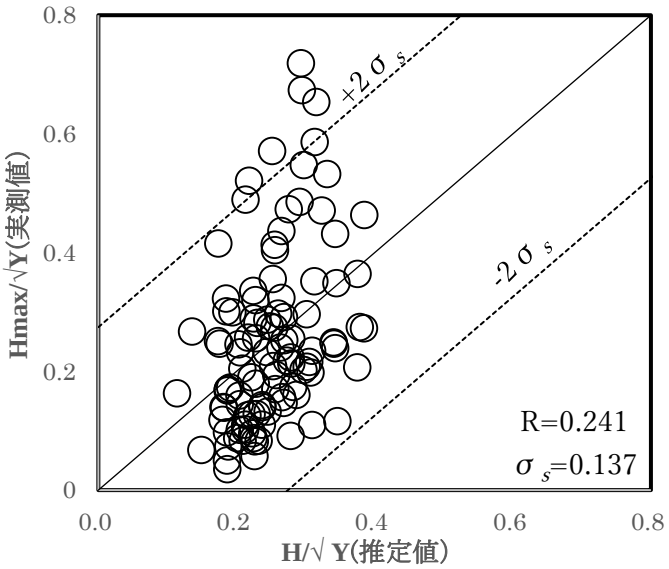


図2.7 小口径ｱｽﾌｧﾙﾄｼﾞｭｰﾄ巻管相関図（n=105）

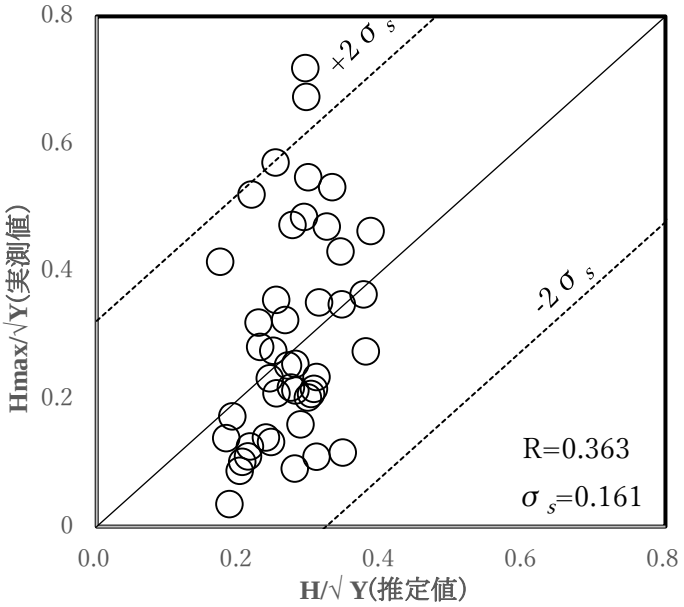


図2.8 大口径ｱｽﾌｧﾙﾄｼﾞｭｰﾄ巻管相関図（n=44）

Ⅰ．２．３　延長係数を用いた任意延長埋設管の最大腐食深さの推定

平成 29 年度事業では、現場にて約 50cm の経年埋設管をサンプル管として掘り上げ、ショットブラスト後に腐食量が最も大きいと思われる長さ 10cm のサンプルに対し腐食深さを精密測定し、最大腐食深さを求めた。しかし、腐食形態は全面腐食ではなく局部腐食であったため、その最大腐食深さは対象とする埋設管延長の影響を受ける可能性が大きい。

そこで、平成 29 年度採取した複数の長尺サンプル管の最大腐食深さが極値分布（Gumbel 分布）に従うことを極値統計解析で確認し、Gumbel 確率プロットから埋設延長を考慮した最大腐食深さ推定値を求める方法を導出した。

（１）長尺管の最大腐食深さ測定データの極値統計解析

平成 29 年度掘り上げた長尺管（全長：1.5m～２m）サンプル管 10 本について連続した 10cm サンプルの最大腐食深さを測定し、各長尺管の測定データについて極値統計解析を実施した。極値統計解析は、極値統計解析プログラム EVAN-IIを用い、分布パラメータ（α、λ）は MVLUE 法によって算定した。また、検定は χ^2 検定（有意水準 5%）を用いた。

サンプル管 No.01-101 の Gumbel 確率プロット（最大腐食深さ測定値を Gumbel 確率紙にプロットしたもの）を図 2.9 に示す。各測定値が直線上に並んでいることから、最大値分布が Gumbel 分布に従っていることが確認された。同様の確認法により、長尺管サンプル 10 本中サンプル管 No.01-102 を除いた９本の最大腐食深さは、Gumbel 分布に従うことが確認された。

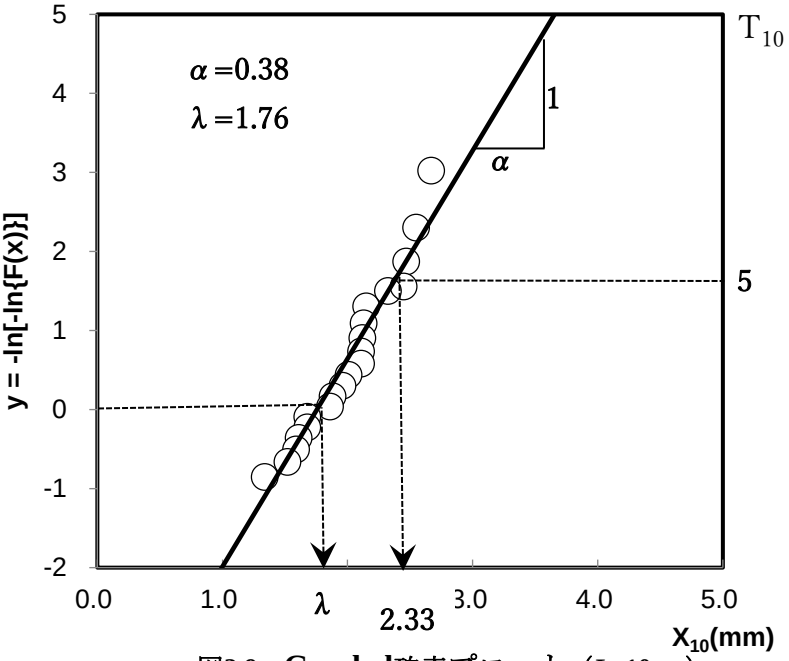


図2.9　Gumbel確率プロット（*L*=10cm）

図 2.9 の α、λ はそれぞれ Gumbel 分布における尺度パラメータ、位置パラメータであり、最大腐食深さ推定値（X_{10}）は、再起期間（T_{10}）を変数として式 2.10 で与えられる。

$$X_{10} = \lambda + \alpha \cdot \left[-ln\left\{-ln\left(1 - \frac{1}{T_{10}}\right)\right\}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.10)$$

ただし、　T_{10} ： 再起期間　（$= L／10$）

L ： 埋設延長（cm）

平成 29 年度事業では、採取された 50cm のサンプル管より取り出した長さ 10cm サンプルの最大腐食深さを実測したため、このデータから得られた最大腐食深さ推定重回帰式による推定値から長さ 50cm における最大腐食深さを推定する必要がある。

Gumbel 分布に従う最大腐食データより、図 2.9 第二軸（右側 Y 軸）の再起期間（T_{10}）と Gumbel 確率プロットとの交点のＸ座標の値より、長さ 10cm サンプルに対する T_{10} 倍の延長を有する配管の最大腐食深さが推定可能となる。したがって、図 2.9 の長さ 10cm サンプルの Gumbel 確率プロットより、長さ 50cm（T_{10}=５）の長尺管の最大腐食深さ推定値（X_{10}）は、X_{10}=2.33 となる。

図 2.10 に長さ 50cm サンプル管に対する Gumbel 確率プロットを実線で示す。図 2.10 は、図 2.9 の長さ 10cm サンプルの Gumbel 確率プロットと同じ傾き（α）を有し、λ'= 2.33mm としたグラフである。図 2.10 より、50cm サンプル管の最大腐食深さを基準とした任意延長埋設管の最大腐食深さ推定値（X_{50}）が式 2.11 により求められる。

$$X_{50} = \lambda' + \alpha' \cdot \left[-ln\left\{-ln\left(1 - \frac{1}{T_{50}}\right)\right\}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.11)$$

ただし、α’：　α’＝α（*L*=10cm の Gumbel 確率プロットと同一値）

λ’：　λ’＝X_{10}（*L*=10cm の Gumbel 確率プロットの T_{10}=５の時の X_{10} 値）

T_{50}：　再起期間（＝*L*/50）

L　：　埋設延長（cm）

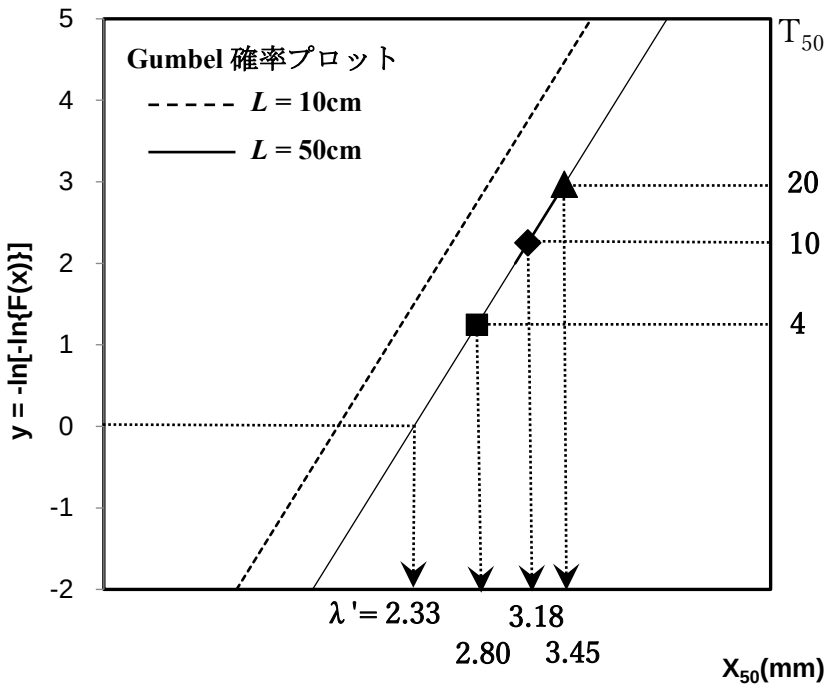


図 2.10　Gumbel 確率プロット（*L*=50cm）

図 2.10 より、サンプル管 No.01-101 と同じ腐食環境で、埋設延長が２m、５m 及び 10m における最大腐食深さ推定値は、T_{50} が各々４、10 及び 20 の時の X_{50} の値となる。表 2.1 に各埋設延長に対する最大腐食深さ推定値と、長さ 10cm サンプル管の最大腐食深さ実測値（Hmax=1.86mm）に対する比率を示す。

表 2.1　埋設延長毎の最大腐食深さ推定値（X_{50}）とその Hmax との比率

埋設延長（*L*）	2m	5m	10m
最大腐食深さ推定値（X_{50}）	2.80mm	3.18mm	3.45mm
Hmax に対する比率（X_{50}/Hmax）	1.50	1.71	1.86

同様の手順を用いることにより、サンプル管 No.01-101 と同じ腐食環境における任意埋設延長に対する最大腐食深さの推定値を求めることが可能になる。

（２）延長係数による任意延長埋設管の最大腐食深さの推定

長尺管９本の Gumbel 確率プロットより、埋設延長２m、５m、10m、20m、30m、50m、100m 及び 200m の場合の最大腐食深さ推定値（X_{50}）を求め、10cm サンプル管最大腐食深さ実測値（Hmax）に対する X_{50} の比率（X_{50}/Hmax）を表 2.2 に示す。

表 2.2 より、各埋設延長における X_{50}/Hmax 値の正規確率プロットは図 2.11 に示す通りとなり、X_{50}/Hmax 値は、どのケースもほぼ正規分布に従うことがわかる。

よって、「任意埋設延長の最大腐食深さ推定値」の「10cm サンプル管最大腐食深さ」に対する比率を、その埋設延長（L）における「延長係数 L_G（L）」と定義し、その値は、式 2.12 に示す通り正規分布における 99%信頼区間の X_{50}/Hmax 値とした。

$$\mathrm{L_G}(L) = \mu_L + 3 \times \sigma_L \cdots\cdots (2.12)$$

ただし、　$\mathrm{L_G}(L)$　：埋設延長 L（m）の時の延長係数

μ_L　：埋設延長 L（m）の時の X_{50}/Hmax の平均値

σ_L　：埋設延長 L（m）の時の X_{50}/Hmax の標準誤差

この延長係数と 10cm サンプル管最大腐食深さ推定値より、任意埋設延長の最大腐食深さ推定値は式 2.13 により求めることができる。

$$\mathrm{H_X}(L) = \mathrm{H_{10}} \times \mathrm{L_G}(L) \cdots\cdots (2.13)$$

ただし、　$\mathrm{H_X}(L)$　：埋設延長 L（m）の最大腐食深さ推定値

$\mathrm{H_{10}}$　：10cm サンプル管最大腐食深さ推定値（正規分布）

式 2.13 において、埋設延長 L（m）の最大腐食深さ推定値 Hx（L）は、正規分布である長さ 10cm サンプル管最大腐食深さ H_{10} に延長係数 L_G（L）を乗じた値となるので、その平均値、標準偏差は、それぞれ長さ 10cm サンプル管最大腐食深さ H_{10} の平均値、標準偏差に L_G（L）を乗じた値となる。

表 2.2　埋設延長 2m から 200m の時の X_{50}/Hmax 値

	口径	ｻﾝﾌﾟﾙ No.	Hmax (mm)	尺度ﾊﾟﾗﾒｰﾀ		X_{50}/Hmax							
				α	β	L=2m	L=5m	L=10m	L=20m	L=30m	L=50m	L=100m	L=200m
①	25A	01-101	1.86	0.38	2.33	1.50	1.71	1.86	2.00	2.08	2.19	2.33	2.47
②		03-101	1.88	0.52	1.82	1.31	1.59	1.79	1.98	2.10	2.24	2.43	2.62
③		05-121	1.34	0.30	1.33	1.27	1.50	1.66	1.82	1.91	2.03	2.19	2.34
④		06-101	1.79	0.23	1.23	0.84	0.97	1.07	1.16	1.21	1.27	1.36	1.45
⑤	40A	07-101	2.79	0.49	2.31	1.05	1.22	1.35	1.47	1.54	1.63	1.75	1.87
⑥	50A	08-103	3.18	0.78	3.06	1.27	1.51	1.69	1.86	1.96	2.09	2.26	2.43
⑦	32A	08-115	1.28	0.17	0.83	0.81	0.95	1.04	1.14	1.19	1.26	1.35	1.45
⑧		12-103	2.07	0.61	2.05	1.36	1.66	1.87	2.08	2.20	2.35	2.56	2.76
⑨	80A	09-122	2.86	0.58	2.54	1.14	1.34	1.49	1.63	1.71	1.82	1.96	2.10
L_G（X_{50}/Hmaxの平均値+3×標準偏差）						1.41	1.67	1.85	2.04	2.15	2.28	2.47	2.65

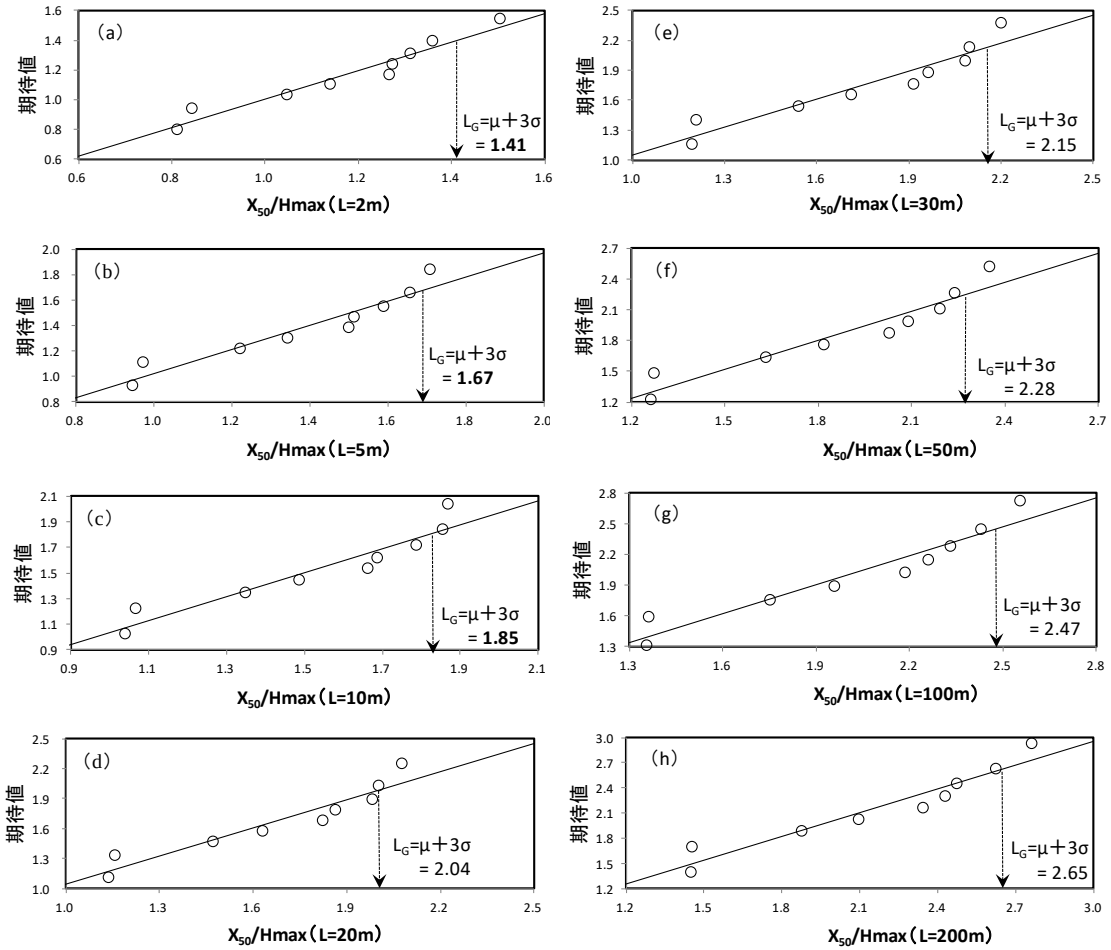


図 2.11　埋設延長毎の X_{50}/Hmax 値の正規確率プロットと延長係数 L_G

Ⅰ．２．４　経年埋設内管の初期肉厚分布

ガス管貫通確率（Pf）を算出する際に、経年埋設内管の初期肉厚分布が必要となる。そこで、平成 28 年度採取した長さ 10cm サンプル管（277 本）の最大肉厚値測定結果を活用し、経年埋設内管の肉厚分布を推定した。

平成 28 年度サンプル管の最大肉厚を口径別に正規確率プロットに図示した結果を図 2.12 に示す。図 2.12 より口径別の最大肉厚値は正規分布であると考えられる。

口径別の最大肉厚値の平均値（μ_{max}）、標準偏差（σ_{max}）を表 2.3 に示す。

表 2.3　口径別の最大肉厚値の分布（正規分布）

	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A
公称肉厚（t）	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2
平均値（μ_{max}）	2.92	3.34	3.61	3.93	4.29
標準偏差（σ_{max}）	0.106	0.138	0.170	0.163	0.216

（単位：mm）

この最大肉厚値の肉厚測定結果から、経年埋設内管の初期肉厚分布は以下の通りとした。表 2.4 に口径別初期肉厚の平均値と標準偏差を示す。

・口径別の経年埋設内管の初期肉厚は正規分布である。

・その標準偏差（σ_r）は最大肉厚値の標準偏差と等しい。

$$\sigma_r = \sigma_{max} \quad \cdots\cdots (2.14)$$

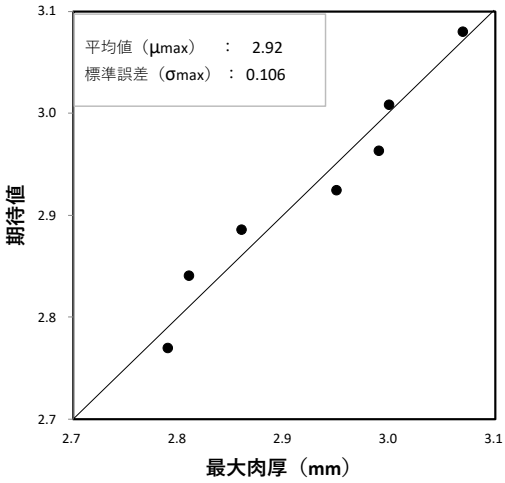
・平均値（μ_r）は、ガス管の肉厚公差（－12.5%）に標準偏差の 2 倍を加えた値とする。

$$\mu_r = (t \times 0.875) + 2 \times \sigma_r \quad \cdots\cdots (2.15)$$

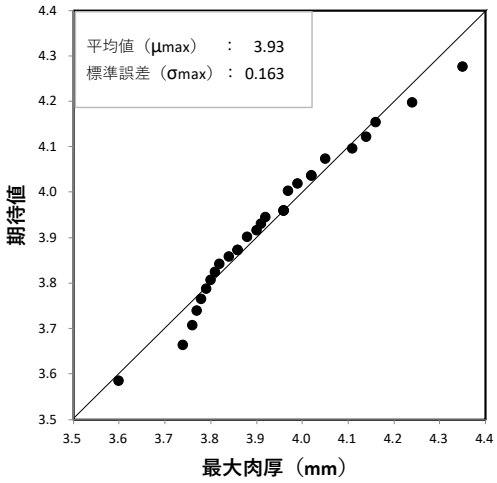
表 2.4　口径別初期肉厚の平均値と標準偏差（正規分布）

	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A
平均肉厚（μ_r）	2.66	3.08	3.40	3.65	4.11
標準偏差（σ_r）	0.106	0.138	0.170	0.163	0.216

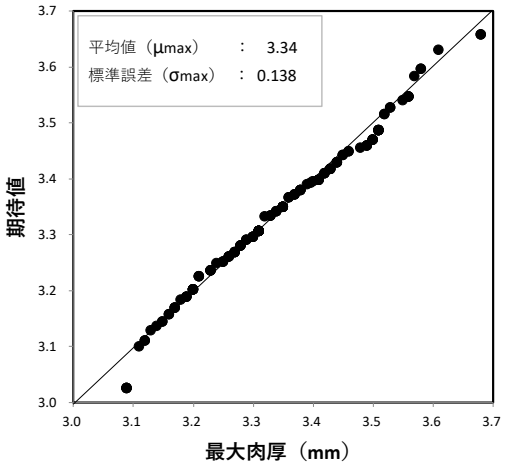
（単位：mm）



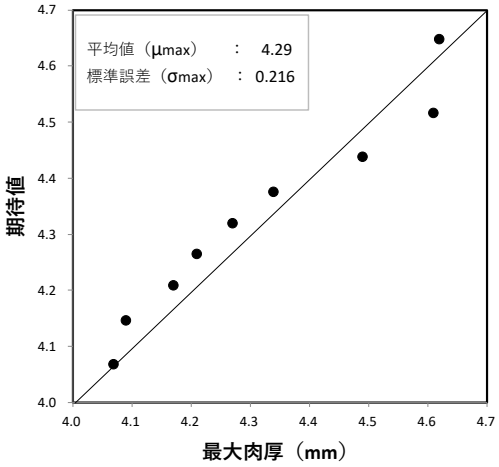
（a）20A正規確率プロット（N=7）



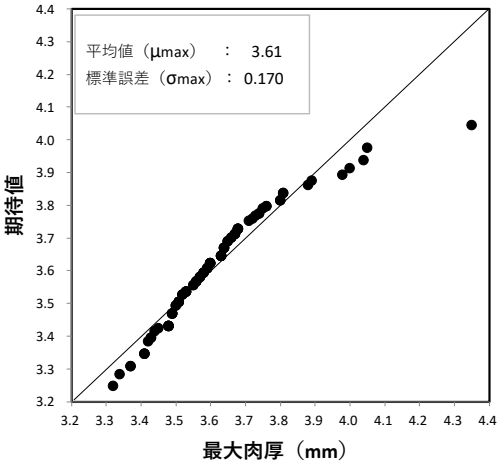
（d）50A正規確率プロット（N=29）



（b）25A正規確率プロット（N=139）



（e）65A,80A正規確率プロット（N=10）



（c）32A,40A正規確率プロット（N=92）

図 2.12　平成 28 年度サンプル管口径別の正規確率プロット

Ⅰ．２．５　ガス管腐食度指数（CI）

ガス管腐食度指数（CI）は、経年埋設内管の最大腐食深さ推定値分布と経年埋設内管の肉厚分布から信頼性解析により求めたガス管貫通確率（Pf）の値を採用する。

（１）　ガス管貫通確率（Pf）計算式

ガス管貫通確率（Pf）は、式 2.16 により求められる。

$$\mathrm{Pf} = 1 - \Phi\left[\frac{\mu_r - \mathrm{L_G}\cdot\mu_s}{\sqrt{\sigma_r^2 + (\mathrm{L_G}\cdot\sigma_s)^2}}\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.16)$$

ただし、Φ　：　標準正規分布（平均値 0、標準偏差 1）の確率分布関数

L_G　：　延長係数（表 2.5 参照）

μ_r　：　初期肉厚の平均値（mm）（表 2.6 参照）

σ_r　：　初期肉厚分布の標準偏差（mm）（表 2.6 参照）

μ_s　：　重回帰式（2.6）～（2.9）による最大腐食深さ推定値（mm）

$$\mu_s = \left\{\mathrm{A} + \mathrm{B} \times \left(\frac{1}{\rho}\right) + \mathrm{C} \times (P/S)\right\} \times \sqrt{Y} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.17)$$

ただし、A，B，C　は係数（表 2.7 参照）

σ_s　：　最大腐食深さ重回帰式の標準偏差（mm）

$$\sigma_s = \mathrm{D} \times \sqrt{Y} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2.18)$$

ただし、D　は係数（表 2.7 参照）

ρ　：　土壌抵抗率（Ω・cm）

P/S　：　管対地電位（mV）

Y　：　埋設経過年

表 2.5　埋設延長毎の延長係数（L_G）

埋設延長	2m	5m	10m	20m	30m	50m	100m	200m
L_G	1.41	1.67	1.85	2.04	2.15	2.28	2.47	2.65

表 2.6　ガス管肉厚の平均値（μ_r）と標準偏差（σ_r）

口径	20A	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A
μ_r	2.66	3.08	3.40	3.40	3.65	4.11	4.11	4.37
σ_r	0.106	0.138	0.170	0.170	0.163	0.216	0.216	0.231

表 2.7　重回帰式（式 2.17）と標準偏差（式 2.18）の係数

管種	口径	A	B	C	D
白ガス管	32A 以下	0.371	551	4.39×10^{-4}	0.133
	40A 以上	0.420	724	4.92×10^{-4}	0.163
ｱｽﾌｧﾙﾄ ｼﾞｭｰﾄ巻管	32A 以下	0.391	197	3.76×10^{-4}	0.137
	40A 以上	0.369	288	3.24×10^{-4}	0.161

（２）　ガス管貫通確率（Pf）と最大腐食深さ推定分布および肉厚分布の関係

例として白ガス管（口径：50A、埋設延長：２m、埋設経過年：50 年、土壌抵抗率：9,000Ω・cm、管対地電位：－500mV）のガス管貫通確率（Pf）は、式 2.16～2.18 より 24.6%と算出される。ガス管貫通確率（Pf）と最大腐食深さ推定分布および肉厚分布の関係を図 2.13 に示す。

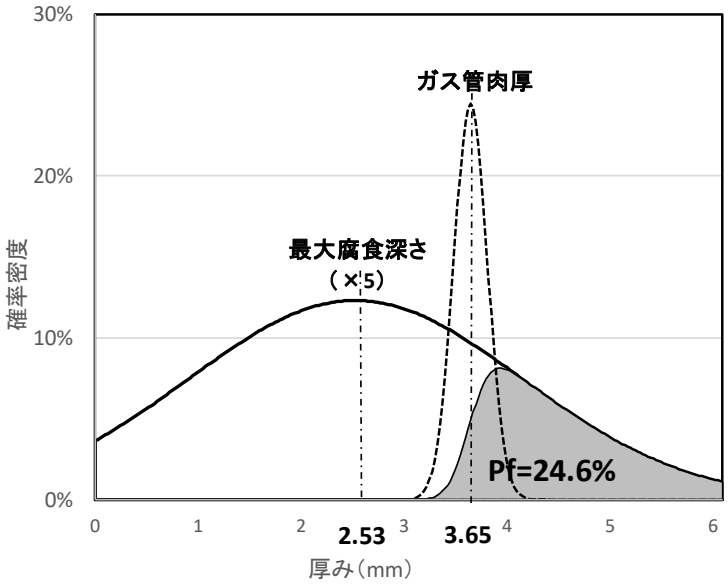


図 2.13　ガス管貫通確率（Pf）と最大腐食深さ推定分布および肉厚分布の関係
（例：白ガス管（口径：50A、埋設延長：２m、埋設経過年：50 年
土壌抵抗率：9,000Ω・cm、管対地電位：－500mV））

Ⅰ．２．６　腐食リスクレベル（CRL）による判定

（１）腐食リスクレベル（CRL）

経年埋設内管の腐食リスクは、Ⅰ．２．５で得られたガス管腐食度指数（CI）により４段階に分類される腐食リスクレベル（CRL）により判定する（表 2.8）。

表 2.8　腐食リスクレベル（CRL）による判定

腐食リスクレベル（CRL）		ガス管腐食度指数（CI）
IV	取替・改修の必要性が極めて高い	50%以上
III	取替・改修の必要性が大変高い	30%以上～50%未満
II	取替・改修の必要性が高い	10%以上～30%未満
I	取替・改修の必要性がある	10%未満

（2）平成 29 年度貫通サンプルと腐食リスクレベルの照査

平成 29 年度に採取したサンプル管のうち、今回対象としている局部腐食により貫通したと考えられる 7 本の口径、埋設経過年、管対地電位、土壌抵抗率の現場測定結果と湿潤化による土壌抵抗率の補正値及び基準温度における土壌抵抗率の補正値を表 2.9 に示す。

表 2.9　平成 29 年度貫通サンプル管データ

No.	平成 29 年度サンプル No.	口径	埋設経過年	地中温度（℃）	管対地電位（mV）	土壌抵抗率（Ω・cm）		
						現場測定	湿潤化	基準温度
1	03-103	25A	47	14.0	－455	51,000	15,300	13,261
2	05-111	25A	46	19.2	－400	2,800	2,800	2,751
3	05-166	25A	54	14.0	－440	2,667	2,667	2,311
4	07-103	40A	39	15.8	－540	23,667	11,833	10,720
5	08-106	32A	45	20.8	－590	1,417	1,417	1,417
6	09-128	25A	67	17.1	－486	4,467	4,020	3,763
7	09-134	32A	67	15.8	－536	2,867	2,867	2,597

平成 29 年度管対地電位は、ガス管立上り部から測定可能な距離までの記録が残っており、その記録の最長距離を埋設延長とした時のガス管腐食度指数（CI）と腐食リスクレベルは表 2.10 の通りとなる。

・貫通管 7 本のうち、6 本は腐食リスクレベルⅢあるいはⅣである。

・No. 4 のサンプル管は、土壌抵抗率の測定値が 20,000Ω・cm 以上の大きい値であり、且つ管対地電位も－540mV と比較的小さな値であるため、ガス管腐食度指数（CI）は 26%となり、腐食リスクレベルはⅡである。

表 2.10　平成 29 年度貫通サンプル管の推定腐食リスクレベル（CRL）

No.	平成 29 年度サンプル No.	口径	埋設延長（＊）	ガス管腐食度指数（CI）	腐食リスクレベル（CRL）
1	03-103	25A	5m	40%	Ⅲ
2	05-111	25A	10m	69%	Ⅳ
3	05-166	25A	2m	54%	Ⅳ
4	07-103	40A	5m	26%	Ⅱ
5	08-106	32A	10m	60%	Ⅳ
6	09-128	25A	2m	48%	Ⅲ
7	09-134	32A	10m	62%	Ⅳ

（＊）管対地電位測定記録におけるガス管立上り管からの最長距離とした

図 2.14 に貫通サンプル管 7 本の埋設延長とガス管腐食度指数（CI）、腐食リスクレベル（CRL）の関係を示す。表 2.10 のガス管腐食度指数（CI）は、管対地電位測定記録から比較的埋設延長が短い場合を推定しているが、図 2.14 に示すように埋設延長が長くなるほどガス管腐食度指数（CI）は、増加する傾向にあることがわかる。

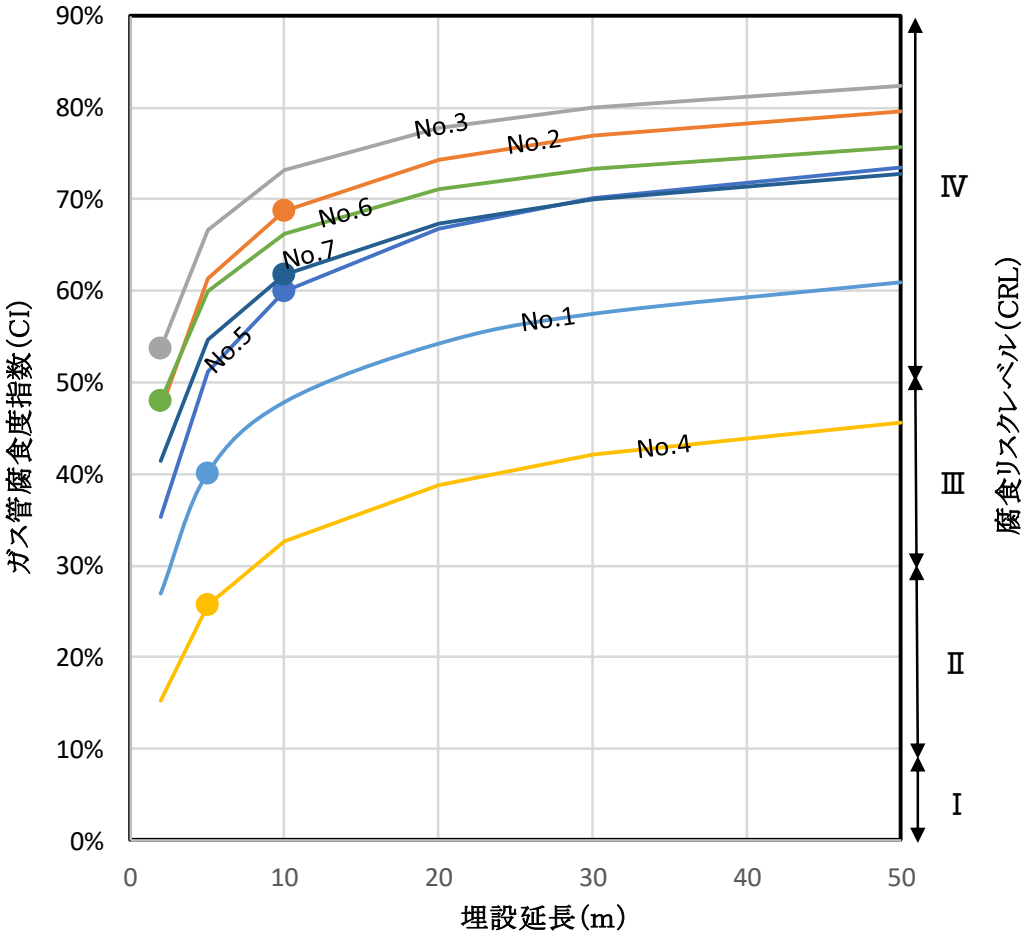


図 2.14　平成 29 年度貫通サンプル管のガス管腐食度指数
（●印は表 2.10 の推定値）

参考資料－１

土壌湿潤化による土壌抵抗率の補正

内管が敷設される深度が浅い土壌抵抗率は、土壌が非常に乾燥している場合や粒径の比較的大きな礫の存在等により接地棒と土壌の接触抵抗が過大となる場合には、異常に高い土壌抵抗率を示すことが考えられる。したがって、腐食環境を適切に反映するために、土壌抵抗率の土壌湿潤化による補正方法を考案した。

（１）土壌湿潤化による土壌抵抗率測定値への影響評価

土壌湿潤化の土壌抵抗率測定値への影響を評価するために、全国 300 か所で土壌抵抗率湿潤化試験を実施した。その試験条件及び試験結果は以下に示す。

① 試験条件

接地棒差込み深さを 20cm～30cm とし、以下の５条件で土壌抵抗率を測定した。

測定条件１　：　初期測定

測定条件２　：　25cm^3 水道水を注水後、湿潤化後測定

測定条件３　：　更に 25cm^3（計 50cm^3）の水道水を注水後、湿潤化後測定

測定条件４　：　更に 25cm^3（計 75cm^3）の水道水を注水後、湿潤化後測定

測定条件５　：　更に 25cm^3（計 100cm^3）の水道水を注水後、湿潤化後測定

② 試験結果

i）試験条件ごとの土壌抵抗率測定値の分布

図 1～図 5 は、水道水注入量 0cm^3（初期測定）、25cm^3、50cm^3、75cm^3、及び 100cm^3 の各条件での土壌抵抗率測定値の 2,000Ω・cm 間隔での分布を示す。

図 1 に示す初期測定時の測定値は、26,000Ω・cm 以上のデータが全体の 35%以上を占めており、全体の平均値も 28,200Ω・cm と大変大きな値である。

一方図 2 に示す水道水を 25cm^3 注入した条件では、土壌抵抗率の分布は大きく変化し 26,000Ω・cm 以上のデータは 6%に激減し、6,000～8,000Ω・cm のデータが最頻値となる。また、全体の平均値も初期測定時の 50%以下の 12,100Ω・cm となる。

また図 3 に示す水道水を更に注入した 50cm^3 の条件では、26,000Ω・cm 以上のデータは 2%と更に減り、また全体の平均値も 11,200Ω・cm と更に小さくなる。

しかし、水道水を更に注入した 75cm^3、100cm^3 の条件（図 4 及び図 5）では、土壌抵抗率の分布は 50cm^3 の分布とほとんど同じであり、また、全体の平均値も 50cm^3 の値とほとんど同じ 11,000Ω・cm である。

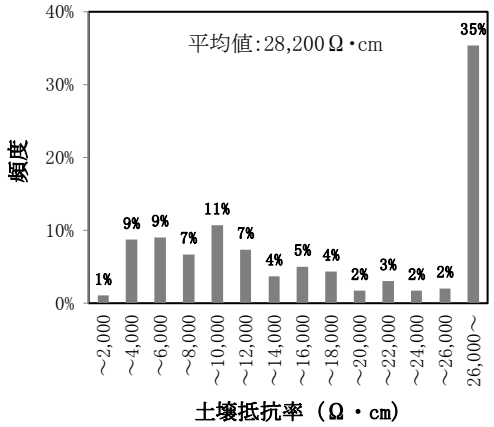


図1　土壌抵抗率の分布（初期測定）

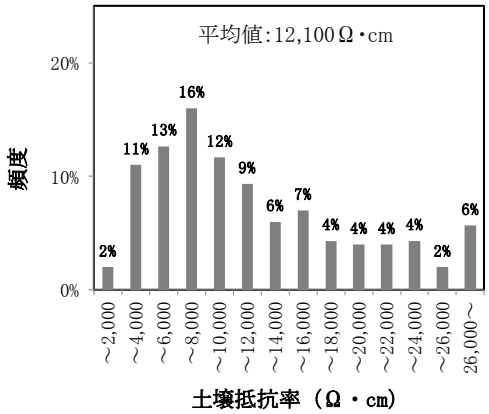


図2　土壌抵抗率の分布（25cm^{3}注水後）

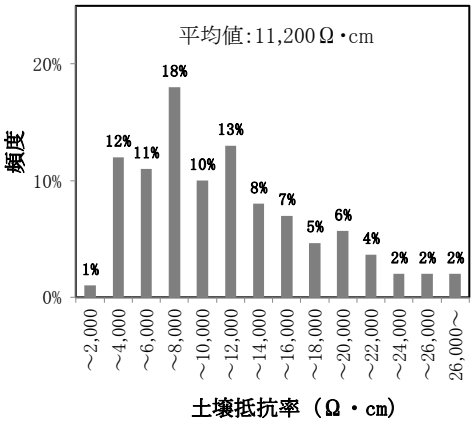


図3　土壌抵抗率の分布（50cm^{3}注水後）

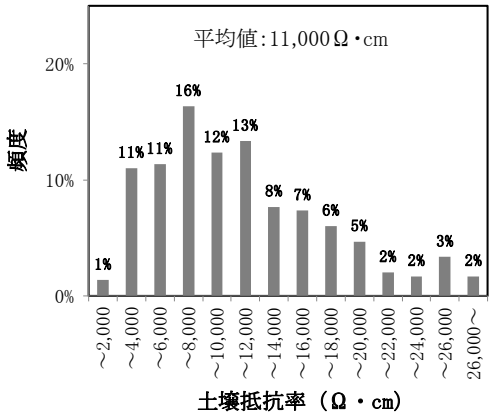


図4　土壌抵抗率の分布（75cm^{3}注水後）

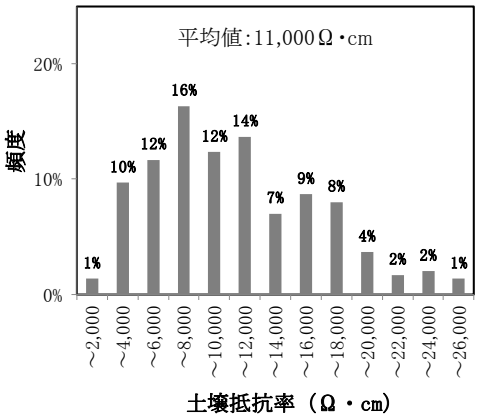


図5　土壌抵抗率の分布（100cm^{3}注水後）

ii）初期測定値でグループ分けした場合の土壌抵抗値の変化

水道水注入による土壌抵抗率の変化は、土壌抵抗率の初期測定値により差異が

あると考えられる。そこで、全データを初期測定値の大きさで６グループ分けした場合の各グループの土壌抵抗値平均値の変化を図６に示す。

グループ１：　初期測定土壌抵抗率 4,000Ω・cm 未満（29 か所）
グループ２：　初期測定土壌抵抗率 4,000～10,000Ω・cm（79 か所）
グループ３：　初期測定土壌抵抗率 10,000～20,000Ω・cm（66 か所）
グループ４：　初期測定土壌抵抗率 20,000～50,000Ω・cm（79 か所）
グループ５：　初期測定土壌抵抗率 50,000～100,000Ω・cm（34 か所）
グループ６：　初期測定土壌抵抗率 100,000Ω・cm 以上（13 か所）

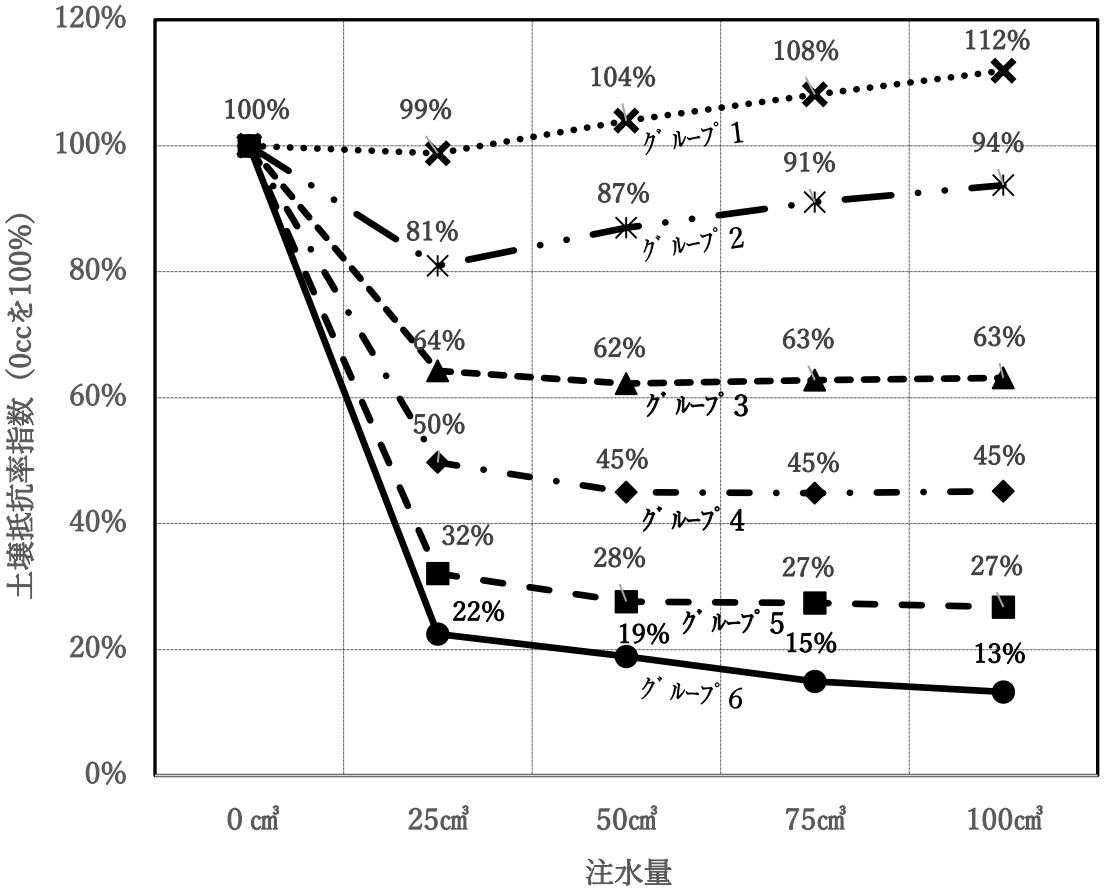


図６　初期測定値でグループ分けした場合の注水による土壌抵抗率の変化

図６より、水道水注入による土壌湿潤化後の土壌抵抗率平均値の変化は、以下のように要約できる。

・初期測定値 10,000Ω・cm を超える場合（グループ３～グループ６）は、初期測定値が大きい程、大幅に土壌抵抗率が低減する。土壌抵抗率は、ほぼ 50cm³ の湿潤化で最小値となり、それ以上の湿潤化ではあまり低減しない。これは、少量（50cm³ 程度）の湿潤化により接地棒と土壌の接触抵抗が低減され、また水道水の電気抵抗率の影響も小さいためであると考えられる。

・初期測定値が 10,000Ω・cm 以下の場合（グループ１、グループ２）は、土壌抵抗率は 25cm^3 で最小値となるが、それ以上の湿潤化を行うと土壌抵抗率は逆に増加する。初期測定値が 4,000Ω・cm 未満（グループ１）の場合は、50cm^3 以上の湿潤化を行うと、土壌抵抗率は初期測定値を上回る傾向になる。

これは、初期測定時に接地棒と土壌の接触抵抗は比較的小さく、また土壌抵抗率が水道水の電気抵抗率（5,000～10,000Ω・cm）よりも小さいので、水道水の影響が大きいためであると考えられる。

（２）腐食リスクレベル判定時の土壌抵抗率の湿潤化による補正方法

以上の結果より、土壌抵抗率の湿潤化による補正方法は以下の通りとした。

・土壌抵抗率の現地測定は、初期測定と 50cm^3 水道水注入後測定とする。

・両方の測定値を比較し、小さい値をその測定点における土壌抵抗率として採用する。

参考資料－２　　白ガス管統計基本データ(1/3)

年度	連番	サンプル No.	口径□	埋設年□	埋設経過年□	最大腐食深さ Hmax	土壌抵抗率				管対地電位 P/S
							ρ	C_T	ρ_{20}	$1/\rho_{20}$	
平成	1	01-101	25	1980	37	1.86	3,767	0.77	2,903	3.444E-04	-562
29	2	01-102	25	1980	37	1.82	5,667	0.86	4,902	2.040E-04	-540
年度	3	01-103	25	1973	44	0.87	57,667	0.75	43,519	2.298E-05	-350
(72本)	4	02-101	25	1965	52	0.89	9,327	1.01	9,456	1.058E-04	-555
	5	02-102	25	1973	44	0.41	11,300	0.92	10,360	9.653E-05	-540
	6	02-103	25	1970	47	1.39	6,743	0.90	6,069	1.648E-04	-660
	7	02-104	25	1969	48	0.91	16,900	0.76	12,892	7.757E-05	-515
	8	03-101	25	1980	37	1.88	25,167	0.96	24,268	4.121E-05	-370
	9	03-103	25	1970	47	3.42	51,000	0.87	44,205	2.262E-05	-455
	10	03-202	25	1972	45	1.96	24,667	0.90	22,201	4.504E-05	-390
	11	03-204	25	1976	41	2.86	7,667	0.91	6,973	1.434E-04	-460
	12	04-102	25	1978	39	1.26	9,800	0.99	9,692	1.032E-04	-580
	13	04-103	25	1979	38	0.96	5,617	0.92	5,140	1.946E-04	-665
	14	05-101	25	1979	38	1.11	6,133	0.82	5,035	1.986E-04	-400
	15	05-102	25	1967	50	2.38	11,567	0.92	10,673	9.370E-05	-270
	16	05-103	25	1957	60	2.09	6,167	0.97	5,976	1.673E-04	-440
	17	05-104	25	1954	63	2.41	2,933	0.88	2,583	3.872E-04	-530
	18	05-111	25	1971	46	3.37	2,800	0.98	2,751	3.635E-04	-400
	19	05-121	25	1966	51	1.34	10,000	1.01	10,092	9.909E-05	-450
	20	05-124	25	1967	50	1.65	13,000	0.90	11,751	8.510E-05	-340
	21	05-125	25	1955	62	2.34	14,333	0.89	12,755	7.840E-05	-430
	22	05-135	25	1972	45	1.48	13,000	0.78	10,168	9.835E-05	-465
	23	05-151	25	1971	46	1.18	14,667	0.85	12,440	8.039E-05	-260
	24	05-152	25	1967	50	0.55	21,000	0.78	16,425	6.088E-05	-380
	25	05-166	25	1963	54	3.64	2,667	0.87	2,311	4.327E-04	-440
	26	06-101	25	1969	48	1.79	43,000	1.09	46,741	2.139E-05	-260
	27	06-102	25	1973	44	0.98	13,167	1.09	14,313	6.987E-05	-340
	28	07-102	25	1983	34	1.24	8,333	0.95	7,935	1.260E-04	-460
	29	08-104	25	1957	60	1.96	8,300	1.08	8,934	1.119E-04	-540
	30	08-110	25	1977	40	1.37	18,333	0.92	16,891	5.920E-05	-360
	31	10-102	25	1970	47	0.67	15,667	1.14	17,918	5.581E-05	-430
	32	10-105	25	1971	46	1.13	16,833	1.03	17,325	5.772E-05	-465
	33	10-106	25	1968	49	1.34	21,667	0.82	17,868	5.596E-05	-430
	34	11-105	25	1973	44	1.32	18,167	0.77	13,924	7.182E-05	-260
	35	11-107	25	1968	49	1.26	16,167	1.17	18,857	5.303E-05	-470
	36	11-113	25	1962	55	0.83	4,050	1.04	4,197	2.383E-04	-485
	37	11-114	25	1972	45	1.32	12,333	0.89	10,924	9.154E-05	-512
	38	11-115	25	1982	35	0.74	32,667	0.84	27,307	3.662E-05	-390
	39	12-101	25	1977	40	1.03	17,333	1.11	19,284	5.186E-05	-480
	40	12-104	25	1969	48	1.56	2,200	0.86	1,887	5.299E-04	-440
	41	05-123	32	1969	48	3.01	6,000	0.91	5,452	1.834E-04	-190
	42	05-133	32	1967	50	1.09	9,300	0.83	7,677	1.303E-04	-510
	43	05-141	32	1972	45	1.49	11,333	0.89	10,032	9.968E-05	-580
	44	05-161	32	1966	51	2.01	1,800	1.13	2,032	4.922E-04	-450
	45	05-162	32	1965	52	1.79	6,533	1.01	6,621	1.510E-04	-310
	46	05-163	32	1956	61	1.30	23,000	0.95	21,864	4.574E-05	-420
	47	06-103	32	1981	36	0.77	3,500	1.01	3,537	2.828E-04	-515
	48	08-101	32	1971	46	0.97	3,730	1.13	4,218	2.371E-04	-460
	49	08-105	32	1957	60	1.37	15,000	1.05	15,678	6.378E-05	-360
	50	08-106	32	1972	45	3.82	1,417	1.02	1,441	6.940E-04	-590
	51	08-107	32	1955	62	1.24	4,700	0.99	4,665	2.144E-04	-380
	52	08-108	32	1975	42	0.39	15,733	0.98	15,380	6.502E-05	-540
	53	08-109	32	1966	51	2.46	21,333	0.96	20,422	4.897E-05	-490
	54	08-111	32	1980	37	0.84	18,333	0.91	16,702	5.987E-05	-500
	55	08-112	32	1973	44	2.36	5,467	0.88	4,812	2.078E-04	-430
	56	08-114	32	1976	41	0.85	13,167	0.80	10,534	9.493E-05	-500

ρ_{20} ：基準温度20℃の土壌抵抗率

参考資料－2　　白ガス管統計基本データ(2/3)

年度	連番	サンプル No.	口径□	埋設年□	埋設経過年□	最大腐食深さ Hmax	土壌抵抗率				管対地電位 P/S
							ρ	C_T	ρ_{20}	$1/\rho_{20}$	
平成29年度(72本)	57	08-115	32	1951	66	1.28	18,333	0.56	10,185	9.818E-05	-520
	58	10-103	32	1976	41	1.65	6,667	0.56	3,704	2.700E-04	-420
	59	10-104	32	1978	39	0.49	32,733	0.56	18,185	5.499E-05	-435
	60	12-102	32	1977	40	1.89	2,067	0.56	1,148	8.708E-04	-530
	61	12-103	32	1977	40	2.07	5,167	0.56	2,871	3.484E-04	-435
	62	07-101	40	1969	48	2.79	9,333	0.56	5,185	1.929E-04	-370
	63	03-104	40	1977	40	1.63	54,000	0.56	30,000	3.333E-05	-365
	64	05-112	40	1950	67	1.53	20,667	0.56	11,482	8.710E-05	-270
	65	05-122	40	1941	76	2.65	12,333	0.56	6,852	1.459E-04	-325
	66	05-131	40	1963	54	1.12	6,333	0.56	3,518	2.842E-04	-510
	67	05-165	40	1976	41	1.51	4,000	0.56	2,222	4.500E-04	-450
	68	07-103	40	1978	39	3.64	23,667	0.56	13,148	7.606E-05	-540
	69	08-102	40	1964	53	1.45	9,950	0.56	5,528	1.809E-04	-380
	70	08-103	50	1968	49	3.18	14,333	0.56	7,963	1.256E-04	-255
	71	08-113	50	1972	45	1.89	6,300	0.56	3,500	2.857E-04	-520
	72	11-108	80	1978	39	1.45	34,667	0.56	19,259	5.192E-05	-310
平成30年度(33本)	73	01-101	25	1968	50	0.89	17,000	0.56	9,444	1.059E-04	-385
	74	02-101	25	1969	49	1.08	2,643	0.56	1,468	6.810E-04	-715
	75	03-101	40	1975	43	1.88	41,333	0.56	22,963	4.355E-05	-210
	76	03-102	25	1982	36	1.19	50,333	0.56	27,963	3.576E-05	-225
	77	05-101	25	1967	51	2.65	7,933	0.56	4,407	2.269E-04	-400
	78	05-103	40	1926	92	0.94	3,067	0.56	1,704	5.869E-04	-470
	79	05-105	32	1964	54	2.47	7,117	0.56	3,954	2.529E-04	-505
	80	05-106	25	1967	51	1.2	17,333	0.56	9,629	1.038E-04	-295
	81	05-109	25	1964	54	2.93	14,333	0.56	7,963	1.256E-04	-360
	82	05-110	32	1972	46	2.8	1,900	0.56	1,056	9.474E-04	-460
	83	05-113	25	1961	57	1.71	5,267	0.56	2,926	3.418E-04	-380
	84	05-114	25	1956	62	1.06	7,267	0.56	4,037	2.477E-04	-380
	85	05-117	25	1972	46	0.86	5,233	0.56	2,907	3.440E-04	-540
	86	05-120	25	1984	34	1.2	3,500	0.56	1,944	5.143E-04	-525
	87	06-101	20	1974	44	0.59	25,333	0.56	14,074	7.105E-05	-380
	88	06-102	20	1980	38	0.37	7,167	0.56	3,982	2.512E-04	-555
	89	07-101	25	1975	43	1.61	4,767	0.56	2,648	3.776E-04	-160
	90	07-102	40	1972	46	1.97	10,333	0.56	5,741	1.742E-04	-420
	91	08-102	32	1970	48	3.02	9,663	0.56	5,368	1.863E-04	-330
	92	08-103	32	1966	52	1.91	3,800	0.56	2,111	4.737E-04	-510
	93	08-104	32	1981	37	1.49	6,167	0.56	3,426	2.919E-04	-495
	94	08-106	32	1977	41	0.85	1,450	0.56	806	1.241E-03	-510
	95	08-107	32	1980	38	0.32	19,667	0.56	10,926	9.152E-05	-565
	96	10-101	25	1970	48	1.63	27,667	0.56	15,371	6.506E-05	-215
	97	10-102	32	1979	39	1.7	31,167	0.56	17,315	5.775E-05	-310
	98	10-103	25	1969	49	0.52	40,333	0.56	22,407	4.463E-05	-420
	99	11-101	50	1974	44	1.39	5,767	0.56	3,204	3.121E-04	-430
	100	11-102	25	1963	55	1.3	18,067	0.56	10,037	9.963E-05	-530
	101	11-103	32	1971	47	0.94	16,467	0.56	9,148	1.093E-04	-360
	102	11-104	25	1963	55	0.66	17,033	0.56	9,463	1.057E-04	-480
	103	11-105	25	1966	52	1.85	12,267	0.56	6,815	1.467E-04	-605
	104	12-101	25	1972	46	0.59	11,333	0.56	6,296	1.588E-04	-610
	105	12-102	25	1965	53	1.94	84,000	0.56	46,667	2.143E-05	-290
昭和60年度(63本)	106		20	1954	30	2.32	2,870	1	2,870	3.484E-04	-526
	107		25	1974	10	0.59	3,800	1	3,800	2.632E-04	-612
	108		25	1970	14	0.83	6,410	1	6,410	1.560E-04	-724
	109		25	1970	14	1.63	5,610	1	5,610	1.783E-04	-476
	110		25	1970	14	1.48	5,750	1	5,750	1.739E-04	-471
	111		25	1970	14	1.41	3,360	1	3,360	2.976E-04	-440
	112		25	1970	14	1.86	3,540	1	3,540	2.825E-04	-556

ρ_{20} ：基準温度20℃の土壌抵抗率

参考資料－２　　白ガス管統計基本データ(3/3)

年度	連番	サンプルNo.	口径□	埋設年□	埋設経過年□	最大腐食深さ Hmax	土壌抵抗率				管対地電位 P/S
							ρ	C_T	ρ_{20}	$1/\rho_{20}$	
昭和	113		25	1970	14	2.43	1,550	1	1,550	6.452E-04	-508
60	114		25	1969	15	0.88	2,010	1	2,010	4.975E-04	-661
年度	115		25	1968	16	0.59	9,690	1	9,690	1.032E-04	-686
(63本)	116		25	1964	20	0.96	5,730	1	5,730	1.745E-04	-565
	117		25	1961	23	1.08	4,070	1	4,070	2.457E-04	-559
	118		25	1961	23	2.13	1,700	1	1,700	5.882E-04	-561
	119		25	1961	23	1.34	2,040	1	2,040	4.902E-04	-643
	120		25	1961	23	1.71	3,250	1	3,250	3.077E-04	-557
	121		25	1960	24	2.01	2,510	1	2,510	3.984E-04	-418
	122		25	1960	24	1.55	7,060	1	7,060	1.416E-04	-412
	123		25	1960	24	1.83	2,850	1	2,850	3.509E-04	-527
	124		25	1959	25	1.48	3,420	1	3,420	2.924E-04	-461
	125		25	1958	26	0.28	4,390	1	4,390	2.278E-04	-446
	126		25	1958	26	1.67	2,670	1	2,670	3.745E-04	-577
	127		25	1956	28	1.03	2,100	1	2,100	4.762E-04	-473
	128		25	1955	29	3.04	2,360	1	2,360	4.237E-04	-450
	129		25	1954	30	2.73	4,140	1	4,140	2.415E-04	-415
	130		25	1954	30	2.17	3,110	1	3,110	3.215E-04	-477
	131		25	1953	31	0.93	9,660	1	9,660	1.035E-04	-488
	132		25	1953	31	0.99	13,100	1	13,100	7.634E-05	-602
	133		25	1953	31	0.23	2,570	1	2,570	3.891E-04	-635
	134		25	1953	31	2.54	2,430	1	2,430	4.115E-04	-636
	135		25	1953	31	3.41	1,280	1	1,280	7.813E-04	-555
	136		25	1951	33	2.23	5,100	1	5,100	1.961E-04	-434
	137		32	1966	18	1.84	1,690	1	1,690	5.917E-04	-609
	138		40	1981	3	0.33	2,300	1	2,300	4.348E-04	-413
	139		40	1980	4	0.97	3,200	1	3,200	3.125E-04	-569
	140		40	1979	5	0.48	42,500	1	42,500	2.353E-05	-391
	141		40	1979	5	0.11	13,000	1	13,000	7.692E-05	-424
	142		40	1977	7	1.65	2,850	1	2,850	3.509E-04	-512
	143		40	1976	8	1.36	3,470	1	3,470	2.882E-04	-597
	144		40	1974	10	1.81	6,020	1	6,020	1.661E-04	-212
	145		40	1972	12	1.7	2,230	1	2,230	4.484E-04	-337
	146		40	1971	13	1.88	3,490	1	3,490	2.865E-04	-297
	147		40	1968	16	2.22	7,310	1	7,310	1.368E-04	-351
	148		40	1964	20	1.38	3,450	1	3,450	2.899E-04	-547
	149		40	1961	23	2.09	2,160	1	2,160	4.630E-04	-360
	150		40	1961	23	3.26	4,380	1	4,380	2.283E-04	-376
	151		40	1961	23	1.84	4,620	1	4,620	2.165E-04	-251
	152		40	1960	24	1.9	4,330	1	4,330	2.309E-04	-380
	153		50	1980	4	0.46	6,950	1	6,950	1.439E-04	-506
	154		50	1978	6	1.37	2,490	1	2,490	4.016E-04	-551
	155		50	1977	7	0.82	3,500	1	3,500	2.857E-04	-676
	156		50	1976	8	1.07	2,480	1	2,480	4.032E-04	-599
	157		50	1972	12	0.83	6,440	1	6,440	1.553E-04	-569
	158		50	1968	16	3.8	1,400	1	1,400	7.143E-04	-451
	159		50	1967	17	1.45	15,600	1	15,600	6.410E-05	-418
	160		50	1966	18	1.56	44,000	1	44,000	2.273E-05	-464
	161		50	1965	19	1.26	4,790	1	4,790	2.088E-04	-452
	162		50	1964	20	1.61	12,100	1	12,100	8.264E-05	-380
	163		50	1964	20	0.56	5,560	1	5,560	1.799E-04	-470
	164		50	1964	20	3.83	2,620	1	2,620	3.817E-04	-344
	165		50	1959	25	0.02	8,580	1	8,580	1.166E-04	-625
	166		50	1958	26	1.41	3,550	1	3,550	2.817E-04	-423
	167		50	1958	26	1.93	4,990	1	4,990	2.004E-04	-363
	168		50	1978	6	1.02	4,100	1	4,100	2.439E-04	-478

ρ_{20} ：基準温度20℃の土壌抵抗率

参考資料－3　　アスファルトジュート巻管統計基本データ(1/2)

年度	連番	サンプル No.	口径□	埋設年□	埋設経過年□	最大腐食深さ Hmax	土壌抵抗率				管対地電位 P/S
							ρ	C_T	ρ_{20}	$1/\rho_{20}$	
平成29年度(36本)	1	09-101	25	1962	55	0.50	32,333	1.16	37,371	2.676E-05	-656
	2	09-104	25	1965	52	0.92	4,267	1.10	4,715	2.121E-04	-540
	3	09-105	25	1974	43	1.88	3,367	1.10	3,720	2.688E-04	-530
	4	09-108	25	1966	51	0.59	4,567	1.10	5,009	1.996E-04	-526
	5	09-109	25	1963	54	1.23	35,000	1.06	37,177	2.690E-05	-556
	6	09-116	25	1959	58	2.28	28,667	1.04	29,792	3.357E-05	-540
	7	09-128	25	1950	67	3.38	4,467	0.94	4,181	2.392E-04	-486
	8	09-129	25	1962	55	1.98	9,400	0.94	8,799	1.137E-04	-738
	9	09-137	25	1960	57	1.89	12,667	0.90	11,346	8.813E-05	-625
	10	09-142	25	1961	56	1.53	17,000	0.87	14,804	6.755E-05	-520
	11	09-143	25	1963	54	0.70	17,667	0.87	15,385	6.500E-05	-480
	12	09-145	25	1964	53	2.44	5,667	0.87	4,907	2.038E-04	-550
	13	09-148	25	1962	55	1.72	29,000	0.84	24,403	4.098E-05	-515
	14	09-150	25	1953	64	1.96	8,333	0.83	6,893	1.451E-04	-575
	15	09-153	25	1952	65	1.37	15,667	0.80	12,523	7.985E-05	-400
	16	09-154	25	1964	53	0.36	18,333	0.80	14,655	6.824E-05	-580
	17	09-131	32	1961	56	1.42	7,883	0.93	7,339	1.363E-04	-522
	18	09-133	32	1964	53	0.74	18,333	0.93	17,068	5.859E-05	-504
	19	09-134	32	1950	67	3.57	2,867	0.91	2,597	3.851E-04	-536
	20	09-157	32	1966	51	1.95	37,000	0.77	28,598	3.497E-05	-380
	21	09-158	32	1957	60	1.53	4,967	0.77	3,818	2.619E-04	-360
	22	09-160	32	1960	57	2.27	7,367	0.76	5,632	1.776E-04	-640
	23	09-125	40	1963	54	1.60	14,667	0.97	14,172	7.056E-05	-350
	24	09-127	40	1959	58	3.16	21,000	0.94	19,657	5.087E-05	-604
	25	09-146	40	1966	51	1.54	5,133	0.87	4,445	2.250E-04	-345
	26	11-111	40	1976	41	1.50	24,167	0.92	22,269	4.491E-05	-240
	27	11-112	40	1976	41	2.23	15,167	0.92	13,976	7.155E-05	-160
	28	09-118	50	1959	58	3.60	6,867	1.04	7,137	1.401E-04	-380
	29	09-120	50	1962	55	1.58	3,433	1.02	3,486	2.868E-04	-446
	30	09-140	50	1964	53	1.51	6,167	0.87	5,370	1.862E-04	-335
	31	09-156	50	1956	61	0.71	31,000	0.79	24,502	4.081E-05	-320
	32	11-110	50	1976	41	2.25	10,833	0.92	9,982	1.002E-04	-260
	33	09-122	80	1973	44	2.86	5,800	0.99	5,748	1.740E-04	-218
	34	11-101	80	1976	41	0.74	11,667	0.86	10,091	9.910E-05	-170
	35	11-102	80	1976	41	2.33	6,133	0.86	5,304	1.885E-04	-140
	36	11-103	80	1976	41	0.70	7,267	0.86	6,285	1.591E-04	-300
平成30年度(14本)	37	09-103	32	1969	49	0.4	5,233	1.22	6,376	1.568E-04	-520
	38	09-106	25	1962	56	2.41	2,900	1.18	3,433	2.913E-04	-700
	39	09-115	50	1973	45	0.84	12,833	1.18	15,094	6.625E-05	-500
	40	09-116	25	1964	54	1.05	4,933	1.15	5,692	1.757E-04	-500
	41	09-118	80	1970	48	1.61	5,267	1.12	5,924	1.688E-04	-480
	42	09-119	32	1968	50	1.74	8733	1.12	9,823	1.018E-04	-626
	43	09-120	25	1961	57	1.2	7300	1.12	8,179	1.223E-04	-560
	44	09-123	40	1969	49	0.71	31333	1.09	34,105	2.932E-05	-510
	45	09-124	40	1962	56	0.82	3633	1.05	3,831	2.611E-04	-610
	46	09-125	50	1962	56	1.29	17667	1.05	18,628	5.368E-05	-560
	47	09-126	32	1959	59	1.97	13667	1.03	14,064	7.111E-05	-500
	48	09-127	25	1961	57	1.18	2733	1.02	2,784	3.592E-04	-520
	49	09-130	32	1970	48	1.77	12000	0.91	10,948	9.134E-05	-480
	50	09-131	40	1964	54	0.64	6700	0.91	6,113	1.636E-04	-590

ρ_{20} ：基準温度20℃の土壌抵抗率

参考資料－３　　アスファルトジュート巻管統計基本データ(2/2)

年度	連番	サンプルNo.	口径□	埋設年□	埋設経過年□	最大腐食深さ Hmax	土壌抵抗率				管対地電位 P/S
							ρ	C_T	ρ_{20}	$1/\rho_{20}$	
昭和	51	大阪	25	1967	17	1.19	7,270	1	7,270	1.376E-04	-514
60	52	大阪	25	1967	17	0.67	10,600	1	10,600	9.434E-05	-786
年度	53	大阪	25	1967	17	0.40	5,840	1	5,840	1.712E-04	-633
(55本)	54	大阪	25	1967	17	1.20	2,160	1	2,160	4.630E-04	-567
	55	大阪	25	1966	18	0.37	2,970	1	2,970	3.367E-04	-618
	56	大阪	25	1966	18	0.82	1,730	1	1,730	5.780E-04	-657
	57	大阪	25	1966	18	0.31	5,160	1	5,160	1.938E-04	-641
	58	大阪	25	1966	18	0.50	5,870	1	5,870	1.704E-04	-650
	59	大阪	25	1965	19	0.63	4,030	1	4,030	2.481E-04	-625
	60	大阪	25	1963	21	2.24	3,550	1	3,550	2.817E-04	-620
	61	大阪	25	1963	21	0.64	8,310	1	8,310	1.203E-04	-621
	62	大阪	25	1963	21	1.85	3,060	1	3,060	3.268E-04	-530
	63	大阪	25	1962	22	0.84	4,460	1	4,460	2.242E-04	-551
	64	東邦	25	1960	24	3.20	2,570	1	2,570	3.891E-04	-404
	65	東邦	25	1960	24	0.85	4,390	1	4,390	2.278E-04	-408
	66	東邦	25	1957	27	1.28	981	1	981	1.019E-03	-667
	67	大阪	25	1956	28	1.27	4,280	1	4,280	2.336E-04	-460
	68	大阪	25	1955	29	0.44	5,100	1	5,100	1.961E-04	-540
	69	大阪	25	1955	29	1.60	2,250	1	2,250	4.444E-04	-580
	70	大阪	25	1955	29	0.79	2,560	1	2,560	3.906E-04	-530
	71	大阪	25	1954	30	0.70	62,300	1	62,300	1.605E-05	-457
	72	大阪	25	1954	30	1.49	925	1	925	1.081E-03	-584
	73	大阪	25	1954	30	3.21	1,390	1	1,390	7.194E-04	-583
	74	大阪	25	1953	31	0.46	4,970	1	4,970	2.012E-04	-589
	75	大阪	25	1952	32	0.62	2,610	1	2,610	3.831E-04	-611
	76	大阪	25	1950	34	1.30	2,900	1	2,900	3.448E-04	-480
	77	大阪	32	1954	30	1.62	1,290	1	1,290	7.752E-04	-644
	78	大阪	32	1970	14	0.93	1,430	1	1,430	6.993E-04	-500
	79	大阪	32	1967	17	0.70	4,720	1	4,720	2.119E-04	-651
	80	大阪	32	1962	22	1.12	1,170	1	1,170	8.547E-04	-576
	81	大阪	32	1954	30	1.13	968	1	968	1.033E-03	-584
	82	大阪	40	1967	17	1.16	3,450	1	3,450	2.899E-04	-579
	83	大阪	40	1963	21	0.16	4,430	1	4,430	2.257E-04	-661
	84	大阪	40	1972	12	1.23	16,200	1	16,200	6.173E-05	-400
	85	大阪	40	1970	14	1.99	2,680	1	2,680	3.731E-04	-354
	86	大阪	40	1970	14	1.03	10,300	1	10,300	9.709E-05	-429
	87	大阪	40	1970	14	1.76	4,000	1	4,000	2.500E-04	-310
	88	大阪	40	1970	14	1.21	5,060	1	5,060	1.976E-04	-438
	89	大阪	40	1969	15	2.12	2,270	1	2,270	4.405E-04	-479
	90	大阪	40	1969	15	1.88	3,080	1	3,080	3.247E-04	-434
	91	大阪	40	1969	15	0.54	2,740	1	2,740	3.650E-04	-598
	92	大阪	40	1967	17	1.05	2,340	1	2,340	4.274E-04	-520
	93	大阪	40	1967	17	1.91	1,030	1	1,030	9.709E-04	-524
	94	大阪	40	1961	23	1.00	32,300	1	32,300	3.096E-05	-383
	95	大阪	50	1974	10	1.01	5,870	1	5,870	1.704E-04	-523
	96	大阪	50	1971	13	0.91	4,620	1	4,620	2.165E-04	-437
	97	大阪	50	1962	22	0.65	18,700	1	18,700	5.348E-05	-583
	98	大阪	50	1962	22	0.62	2,970	1	2,970	3.367E-04	-564
	99	大阪	50	1960	24	3.52	3,570	1	3,570	2.801E-04	-406
	100	大阪	50	1960	24	2.55	5,660	1	5,660	1.767E-04	-552
	101	東邦	50	1959	25	0.80	4,250	1	4,250	2.353E-04	-400
	102	東邦	50	1958	26	1.40	1,010	1	1,010	9.901E-04	-552
	103	東邦	50	1958	26	1.03	2,870	1	2,870	3.484E-04	-432
	104	大阪	50	1958	26	2.91	2,520	1	2,520	3.968E-04	-578
	105	大阪	50	1957	27	3.50	3,890	1	3,890	2.571E-04	-390

ρ_{20} ：基準温度20℃の土壌抵抗率

参考資料－4

「経年埋設内管のリスク評価手法・基準開発事業（平成 28 年度～令和元年度）」
の調査結果概要

「供内管腐食対策ガイドライン」参考資料「Ⅰ．腐食リスクレベル判定の概要」を策定するために、「経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業」では、平成28年度、平成29年度、平成30年度及び令和元年度の4年間にわたり、経年埋設内管の腐食調査・分析及び解析の検討を実施してきた。ここでは、その各年度報告書から、腐食リスクレベル判定に関連が深い項目に着目して、その調査結果概要を記載する。

1．　平成28年度調査結果概要

平成 28 年度事業では、白ガス管：201 本、アスファルジュート巻管：76 本の計 277 本の経年埋設内管とその周辺土壌をサンプリングし、以下の調査・分析を行った。

（1）サンプル管（長さ：10cm）の残存肉厚の精密測定

埋設内管（計 277 本）を堀上後、10cm 長さのサンプル管をサンドブラスト後 3D 形状計測器により、最大肉厚と最小肉厚を含む管軸方向 4 側線で、連続肉厚測定を実施した。

腐食深さは、サンプル管の公称肉厚と残肉厚測定結果との差より求めた。

（2）最大腐食深さとANSI A21.5-2010 土壌腐食性評価法との相関分析

埋設内管の腐食状況（腐食深さ、減肉率、腐食速度）とANSI 評価点、ANSI測定項目の土壌比抵抗、pH(H_20)、酸化還元電位、水分量含水比の関係については、相関が弱く評価できなかった。

（3）最大腐食深さとANSI A21.5-2010 測定項目以外の土壌因子との相関分析

埋設内管の腐食状況（腐食深さ、減肉率、腐食速度）と飽和透水係数、砂含量、シルト含量、粘土含量、有効水分保持量、土壌密度、pH(H_2O_2)との相関は弱かった。

なお、調査結果内容の詳細は、「平成28年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査事業（経年埋設内管対策促進事業）調査報告書　平成29年3月　一般社団法人 都市ガス振興センター」に記載されている。

2．　平成29 年度調査結果概要

平成 29 年度事業では、以下の項目についての調査・分析及び評価方法・基準の検討を行った。

（1）　他分野における腐食現象調査事例の調査

国内外の埋設管の腐食に関する過去の文献調査を実施した。ガス管の分野では、昭和 58 年度～59年度の調査結果をとりまとめた「日本ガス協会：ガス工作物設置基準調査について（供内管）昭和 60 年 3 月」の内容を精査した。

（2） 平成 28 年度事業で得られたデータの高度分析

平成 28 年度事業で得られた肉厚測定データより、経年埋設内管の最大腐食深さを初期肉厚とした腐食深さ算定方法を採用した。また、対策対象となる局部腐食を含むデータを選別し、最大腐食深さと、埋設経過年、土壌抵抗率、Redox 電位、pH(H_2O_2)等との相関分析を実施し、平成 28 年度の分析結果よりもやや強い相関が得られた。

（3） 管対地電位測定を利用した新規サンプル管の腐食状況調査

管対地電位測定を追加した現地測定データにより、新規サンプル管の相関分析を実施した。その結果、アスファルトジュート巻管では、最大腐食深さ（Hmax）を埋設経過年（Y）の平方根で除した腐食速度（Hmax/√Y）と管対地電位（P/S）及び土壌抵抗率（ρ）の逆数(1/ρ)には強い相関があり、白ガス管では Hmax/√Y と 1/ρに強い相関があった。

（4） 埋設ガス管の腐食に関する総合分析及び評価方法・基準の検討

（3）の結果より、Hmax/√YとP/S、1/ρの重相関分析を行い、重回帰式を求めた。

なお、調査結果内容の詳細は、「平成29年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査事業（経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業）報告書　平成30年3月　一般財団法人　日本ガス機器検査協会」に記載されている。

3. 平成 30 年度調査結果概要

平成 30 年度事業では、以下の項目についての調査・分析及び評価方法・基準の検討を行った。

（1） 腐食深さの回帰式の精度向上及び腐食深さの回帰式に必要な因子の明確化

・埋設経過年が約 30 年以上の平成 29 年度データと約 30 年未満の昭和 60 年度データの比較を行い、両データによる相関分析が腐食深さの回帰式の精度向上に有効であることを確認した。

・数値解析により土壌杖による土壌抵抗率測定範囲が土壌杖接地棒の先端約 5cm 程度と大変狭いことを確認した。

・平成 29 年度既採取サンプル管の腐食深さ、腐食速度と管表面電位との関係を室内で調査した結果、両者は強い相関があることを確認した。よって、土壌の影響で相関が弱くなっているが、腐食深さ、腐食速度と管対地電位は相関があると考えられる。

（2） 新規サンプル管の腐食状況の調査・分析

平成 30 年度も、新たなサンプル管腐食調査を行い、相関分析のデータ数を増強した。

（3） 腐食深さの推定式、リスク評価方法・判定基準の検討及び適用性の検証

最大腐食深さの推定方法、リスク評価方法・判定基準に関して以下の方法を策定した。

・10cm サンプル管最大腐食深さデータから求まる最大腐食深さ重回帰式の分布とガス管初期肉厚測定データの分布から、信頼性解析によるガス管貫通確率（Pf）を求める。

・極値統計解析による「延長係数」の導出により、任意延長埋設管のガス管貫通確率（Pf）を求める。

（4）「供内管腐食対策ガイドライン」改訂に資する骨子案の検討

（3）の考え方で、ガス管貫通確率（Pf）による腐食リスク判定（案）を作成した。

なお、調査結果内容の詳細は、「平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策調査事業（経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業）報告書　平成31年3月　一般財団法人　日本ガス機器検査協会」に記載されている。

4.　令和元年度調査結果概要

令和元年度事業では、平成 28 年度から平成 30 年度事業での調査実績を総括し、最終目的である「供内管腐食対策ガイドライン」改訂のための検討を行った。

その内容は以下の通りであり、「供内管腐食対策ガイドライン」改訂案に反映されている。

（1）　土壌抵抗率の温度補正

地中温度 20℃を基準とした土壌抵抗率温度補正係数を策定した。

（2）　土壌抵抗率の温度補正を考慮した重回帰分析

平成 29 年度、30 年度のサンプル管データの土壌抵抗率を地中温度補正した重回帰式を求めた。また、重回帰式は、32A 以下の小口径と 40A 以上の大口径の 2 式とした。

（3）　土壌抵抗率の土壌湿潤化による補正

全国 300 か所で土壌湿潤化試験を実施し、土壌抵抗率測定時に、初期測定値とその後約 50cm^3 水道水を注入後の測定値の最小値を腐食リスクレベル計算に採用することとした。

（4）　ガス管貫通確率（Pf）の予測

平成 29 年度、平成 30 年度データの埋設経過年、管対地電位、土壌抵抗率及びその測定日から、ガス管貫通確率（Pf）を予測した。

（5）　腐食リスクレベル（CRL）による腐食リスクの判定

ガス管貫通確率（Pf）をガス管腐食度指数（CI）と定義し、そのガス管腐食度指数（CI）から決定される4段階の腐食リスクレベル（CRL）による判定を策定した。

また、その判定を行うための「腐食リスクレベル（CRL）判定シート」（EXCEL）を作成した。

（6）　腐食リスクレベル（CRL）判定の現地デモンストレーション

（5）で策定した腐食リスクレベル（CRL）判定を、全国 26 か所の現場に適用した。

なお、調査結果内容の詳細は、「令和元年度石油・ガス供給等に係る保安対策調査等事業（経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業）報告書　令和 2 年 3 月　一般財団法人日本ガス機器検査協会」に記載されている。

Ⅱ 流電陽極法及び更生修理工法に関する要領類

Ⅱ.1 流電陽極法設計要領

1．設 計 方 法

流電陽極としてマグネシウム陽極（以下Mg陽極という）を使用した場合の各方式の設計方法の例を以下に示す。

なお本設計例は、経時的に現われる埋設管のカソード分極現象（流電陽極を接続した後、埋設管の管対地電位が徐々に低い方向にシフトする現象）を無視して策定したものである。

(1) 絶縁－流電陽極法

① 埋設供内管の管種、口径、延長から、建物及び本支管と絶縁後の供内管の接地抵抗R_{pipe}（Ω）を推定する。

$$R_{pipe} = \frac{\omega}{\pi \times d \times \ell} = \frac{\omega}{A \times \ell}$$

ω：単位面積当りの接地抵抗（Ω・㎡）

以下に管種毎の目安を示すが、自社での測定データがある場合には、その値を使用する。

（亜鉛メッキ管 20（Ω・㎡）、アスファルト・ジュート巻き管 100（Ω・㎡）
プラスチック被覆鋼管 1000（Ω・㎡））

d：口径（m） ℓ：延長（m）

A：管の単位長さ当りの表面積（㎡／m）（表１参照）

なお建物及び本支管と絶縁後のR_{pipe}を測定した場合は、その値を使用する。

② 絶縁後の埋設供内管の管対地電位P/S（mV：飽和硫酸銅電極基準）は、－500mV と仮定する。

なお建物及び本支管と絶縁後のP/Sを測定した場合は、その値を使用する。

③ Mg陽極の許容接地抵抗R_{Mg}（Ω）を算出する。

$$R_{Mg} = \frac{\{P/S - (-1550)\} \times R_{pipe}}{P/S - (-850)} - R_{pipe}$$

④ Mg陽極の総合接地抵抗$R_{Mg(total)}$（Ω）が③で求めたR_{Mg}より小さくなるように、Mg陽極のサイズ、設置個数m及び設置方式を選択する。表２にMg陽極のサイズ、設置個数及び設置方式に対応するMg陽極の総合接地抵抗$R_{Mg(total)}$を示す。

なおMg陽極の設置位置は、２箇所に設置する場合は両端に近い位置、３箇所に設置する場合は両端及び中央とすることが望ましい。

⑤ Mg陽極１個当りの所要発生電気量Q（mA・Yr）を算出する。

$$Q = I_{Mg} \times \frac{Y}{0.85 \times m} = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)} + R_{pipe}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

I_{Mg}：防食電流量（mA） m ：Ｍｇ陽極の個数

Y ：設計耐用年数（Yr） $R_{Mg(total)}$ ：Ｍｇ陽極の総合接地抵抗（Ω）

0.85：Ｍｇ陽極の有効利用率 R_{pipe} ：埋設供内管の接地抵抗（Ω）

⑥ ⑤で求めた所要発生電気量Qより大きい発生電気量を有するマグネシウム重量を選択する。（表３にマグネシウムの発生電気量を示す。）

(2) 未絶縁－流電陽極法

① 建物側の接地抵抗を含む埋設供内管の総合接地抵抗$R_{pipe(total)}$（Ω）を測定する。なお測定しない場合は、過去の実績により建物構造、規模及び供内管の管種、延長等に応じた$R_{pipe(total)}$の推定値を使用してもよい。

② 埋設供内管の管対地電位P/Sを測定する。

なお測定しない場合は、鉄筋コンクリート建物では－300mV、木造建物では－500mV と仮定してもよい。

③ Mg陽極の許容接地抵抗R_{Mg}を算出する。

（完全防食を目的とする場合）

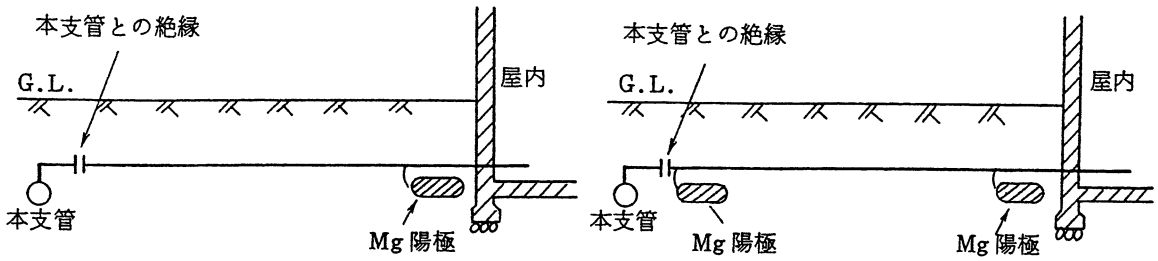
$$R_{Mg} = \frac{\{P/S - (-1550)\} \times R_{pipe(total)}}{P/S - (-850)} - R_{pipe(total)}$$

（Ｃ／Ｓマクロセル腐食の解消のみを目的とする場合）

$$R_{Mg} = \frac{\{P/S - (-1550)\} \times R_{pipe(total)}}{P/S - (-700)} - R_{pipe(total)}$$

④ (1)の④と同様にMg陽極のサイズ、設置個数m及び設置方式を選択し、$R_{Mg(total)}$を求める。なお鉄筋コンクリート建物でＣ／Ｓマクロセル腐食のおそれのある場合は、Mg陽極の１つはできるだけ建物に近い位置に設置することが望ましい（次頁参照）。また建物内に埋設配管がある場合は、その部分にもMg陽極を設置する。

設置例１（１箇所に設置した例）　　設置例２（２箇所に設置した例）



⑤　Mg陽極１個当たりの所要発生電気量Q（mA・Yr）を算出する。

$$Q = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)} + R_{pipe(total)}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

⑥　(1)の⑥と同様に必要な所要発生電気量を有するマグネシウム重量を選択する。

⑦　建物外壁の貫通箇所近傍を防食テープ巻き等の簡易な方法で塗覆装を行うと、すき間より水が入ったりしてそこで腐食が集中する可能性がある。従って塗覆装を行う場合は、熱収縮チューブやペトロラタム系のテープ等で完全に行う必要がある。

(3)　近接流電陽極法

①　埋設供内管のうち防食対象とする延長ℓ（m）を決定する。

②　供内管の管対地電位P/S（mV）を測定する。（測定しない場合は(2)の②と同様）

③　Mg陽極設置個数mを算出する。なおMg陽極は 200φ×1,000 以上のものを使用した場合は以下の式を用いる。

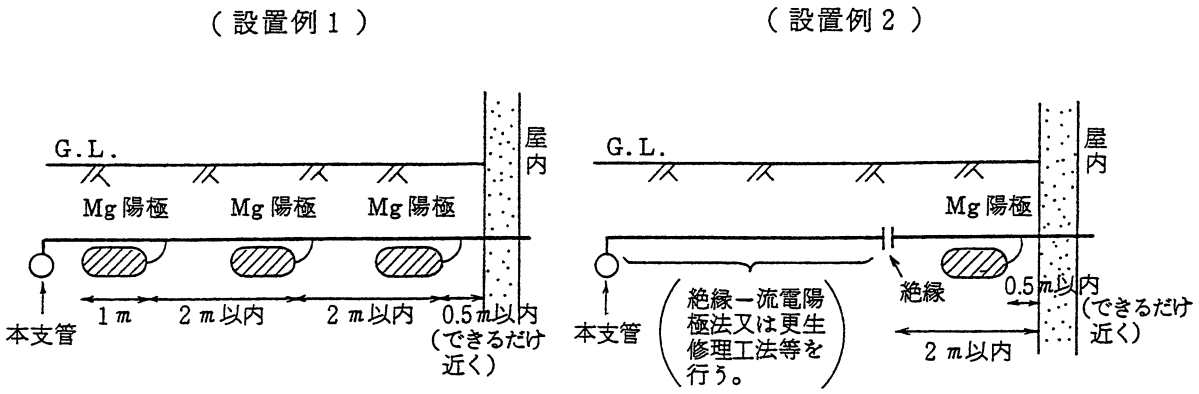
$$m = \frac{\ell}{2}$$ （小数点以下繰り上げ）

④　Mg陽極１個当たりの所要発生電気量Q（mA・Yr）を算出する。（安全率を見込んで$R_{pipe(total)}$は計算には考慮しない。）

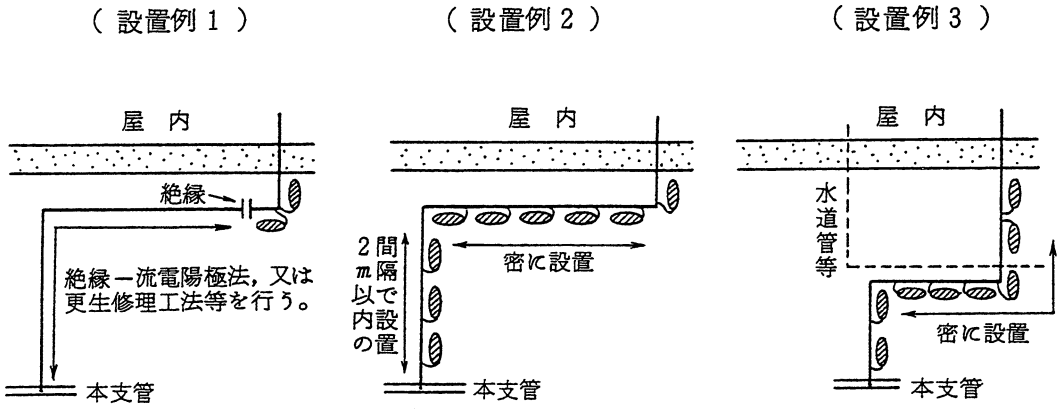
$$Q = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

⑤　(1)の⑥と同様に必要な所要発生電気量を有するマグネシウム重量を選択する。

⑥　Mg陽極の設置は、できるだけ管に近接させ管路に並行に２m以内の間隔で行う。また建物に最も近いMg陽極は建物外壁のできるだけ近く（0.5m以内）に設置する（次頁参照）。



⑦　⑥の方法では供内管が建物の外壁近傍で外壁に沿って埋設されている場合、又は建物に引き込まれている水道管等の他の低接地物に接近している等の場合は、十分な防食効果が得られないことがある。従ってこのような場合には当該部分においてＭｇ陽極が接する程度に間隔を小さくして設置するか、又は外壁貫通部近傍で絶縁し防食対象の範囲を限定する。



⑧　建物外壁の貫通箇所近傍の塗覆装については、(2)⑦と同様の注意が必要である。

表１　導管の単位長さ当りの表面積

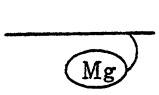
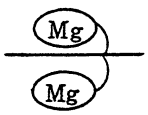
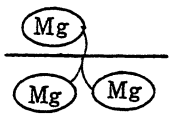
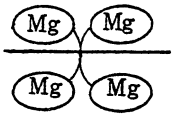
管　　径	表面積
1　B(25A)	0.11 ㎡/m
1 1/4B(32A)	0.13 ㎡/m
1 1/2B(40A)	0.15 ㎡/m
2　B(50A)	0.19 ㎡/m
3　B(80A)	0.28 ㎡/m

表３　マグネシウムの発生電気量

マグネシウム重　量(kg)	発生電気量(mA・Yr)
16	2,000
8	1,000
6	750
4	500
2	250
1	130
0.5	60

表２　Mg陽極の総合接地抵抗$R_{Mg(total)}$

単位(Ω)

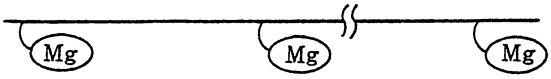
Mg陽極のサイズ(バックフィルのサイズ、mm)	単独設置 m＝1	2個を集中設置 m＝2	3個を集中設置 m＝3	4個を集中設置 m＝4
				
200φ×1,200	20	13	10	9
200φ×1,000*	25	16	13	12
200φ×650	40	25	21	19
200φ×425	55	35	28	26
130φ×350	100	64	52	47

単独又は集中設置を何ヶ所かで行う場合

$$R_{Mg(total)} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_{Mg}(i)}}$$

$R_{Mg}(i)$：単独設置又は集中設置１ケ所当りの総合接地抵抗

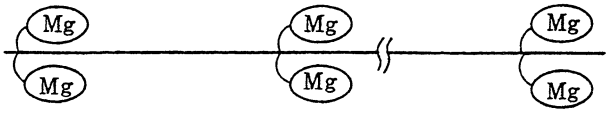
（例１）　200φ×1,000のMg陽極を１ケ所１個ずつ，ｎケ所に設置



$R_{Mg(1)}=25$　　$R_{Mg(2)}=25$ …… $R_{Mg(n)}=25$

$$R_{Mg(total)} = \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{25}+\frac{1}{25}+\cdots\cdots+\frac{1}{25}}_{n}} = \frac{25}{n}$$

（例２）　200φ×1,000のMg陽極を１ケ所２個ずつ，ｎケ所に設置



$R_{Mg(1)}=16$　　$R_{Mg(2)}=16$ …… $R_{Mg(n)}=16$

$$R_{Mg(total)} = \frac{1}{\underbrace{\frac{1}{16}+\frac{1}{16}+\cdots\cdots+\frac{1}{16}}_{n}} = \frac{16}{n}$$

＊Ⅳ.1.2の流電陽極法評価試験結果により得られた値（その他のサイズの値は試験結果より推定した値。）

２．設　計　例

(1) 絶縁－流電陽極法

〔設計条件〕

目　　的：一般腐食対策（完全防食）

建物種別：鉄筋コンクリート建物

埋設供内管の管種：亜鉛メッキ管

〃　　口径：40φ

〃　　延長：15m

絶縁箇所：建物側と埋設供内管及び本支管側と埋設供内管との絶縁

〔設　　計〕

①　埋設供内管の接地抵抗R_{pipe}（Ω）

$$R_{pipe} = \frac{\omega}{A \times \ell} = \frac{20}{0.15 \times 15} = 8.9\ (\Omega)$$

ただしω（単位面積当りの接地抵抗）＝20（Ω・㎡）、

A（管の単位長さ当り表面積）＝0.15（㎡／m）（表１より）

②　絶縁後の埋設供内管の管対地電位P/S（mV、飽和硫酸銅電極基準）

P/S＝－500mV と仮定する。

③　Mg陽極の許容接地抵抗R_{Mg}（Ω）

$$R_{Mg} = \frac{\{P/S - (-1550)\} \times R_{pipe}}{P/S - (-850)} - R_{pipe}$$

$$= \frac{\{-500 - (-1550)\} \times 8.9}{-500 - (-850)} - 8.9$$

$$= 17.8\ (\Omega)$$

④　Mg陽極の設置方式の選択

Mg陽極のサイズを200φ×1,000と仮定すると、表２より以下のa.又はb.の設置方式となる。

a.　２個のMg陽極を２箇所に単独設置　$\left(\frac{25}{2} = 12.5\Omega\right)$

b.　２個のMg陽極を１箇所に集中設置（16Ω）

⑤ Mg陽極１個当りの所要発生電気量Q（mA・Yr）

設計耐用年数Y（Yr）は 30 年とする。

a. ２個のMg陽極を２箇所に単独設置

$$Q = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)} + R_{pipe}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

$$= \frac{-500 - (-1550)}{12.5 + 8.9} \times \frac{30}{0.85 \times 2}$$

$$= 866 \text{（mA・Yr）}$$

b. ２個のMg陽極を１箇所に集中設置

$$Q = \frac{-500 - (-1550)}{16 + 8.9} \times \frac{30}{0.85 \times 2}$$

$$= 744 \text{（mA・Yr）}$$

⑥ マグネシウム重量の選択

⑤で求めたMg陽極１個当りの所要発生電気量Qよりマグネシウム重量を表３から選択する。

a. ２個のMg陽極を２箇所に単独設置

マグネシウム重量：８（kg／個）

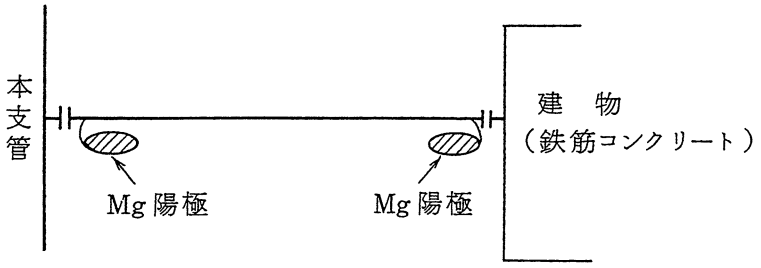
b. ２個のMg陽極を１箇所に集中設置

マグネシウム重量：６（kg／個）

⑦ 設 置 方 法

下図の２方法となるが、a. の方が高い防食効果を得ることができる。

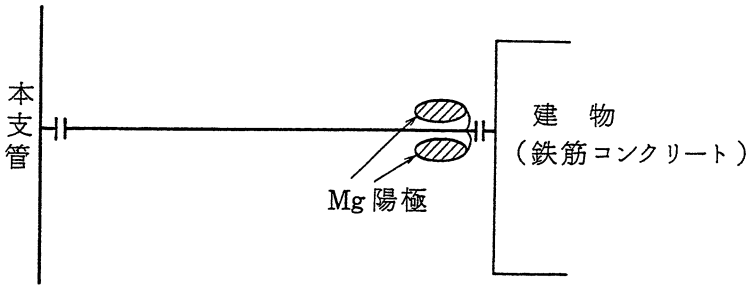
a. ２個のMg陽極を２箇所に単独設置



Mg 陽極：マグネシウム重量　　８ kg／個

バックフィルのサイズ　２００φ×1,０００

b. ２個のＭｇ陽極を１ヶ所に集中設置



Mg 陽極：マグネシウム重量　　6 kg／個

バックフィルのサイズ　２００φ×1,０００

(2) 未絶縁－流電陽極法

〔設計条件〕

目　　的：完全防食

建物種別：戸建鉄骨プレハブ系建物

絶縁箇所：本支管側と埋設供内管との絶縁

〔設　　計〕

① 埋設供内管の総合接地抵抗$R_{pipe(total)}$（Ω）

$R_{pipe(total)}$ ＝8（Ω）（測定値）

② 埋設供内管の管対地電位P/S（mV）

P/S ＝ −300（mV）（測定値）

③ Mg陽極の許容接地抵抗R_{Mg}（Ω）

$$R_{Mg} = \frac{\{P/S - (-1550)\} \times R_{pipe(total)}}{P/S - (-850)} - R_{pipe(total)}$$

$$= \frac{\{-300 - (-1550)\} \times 8}{-300 - (-850)} - 8$$

$$= 10.2\ (\Omega)$$

④ Mg陽極の設置方式の選択

Mg陽極のサイズを 200φ×1、000 と仮定すると、表２より以下の a. 又は b. の設置方式となる。

a. ３個のMg陽極を３箇所に単独設置　　（$\frac{25}{3}$＝8.3Ω）

b. ４個のMg陽極を２個づつ２箇所に集中設置　　（$\frac{16}{2}$＝８Ω）

⑤ Mg陽極１個当りの所要発生電気量Q（mA・Yr）

設計耐用年数Y（Yr）は 30 年とする。

a. ３個のMg陽極を３箇所に単独設置

$$Q = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)} + R_{pipe}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

$$= \frac{-300 - (-1550)}{8.3 + 8.0} \times \frac{30}{0.85 \times 3}$$

$$= 902 \text{（mA・Yr）}$$

b. ４個のMg陽極を２個づつ２箇所に集中設置

$$Q = \frac{-300 - (-1550)}{8.0 + 8.0} \times \frac{30}{0.85 \times 4}$$

$$= 689 \text{（mA・Yr）}$$

⑥ Mg陽極の選択

⑤で求めたMg陽極１個当りの所要発生電気量Qより大きいマグネシウム重量を表３から選択する。

a. ３個のMg陽極を３箇所に単独設置

マグネシウム重量：８（kg／個）

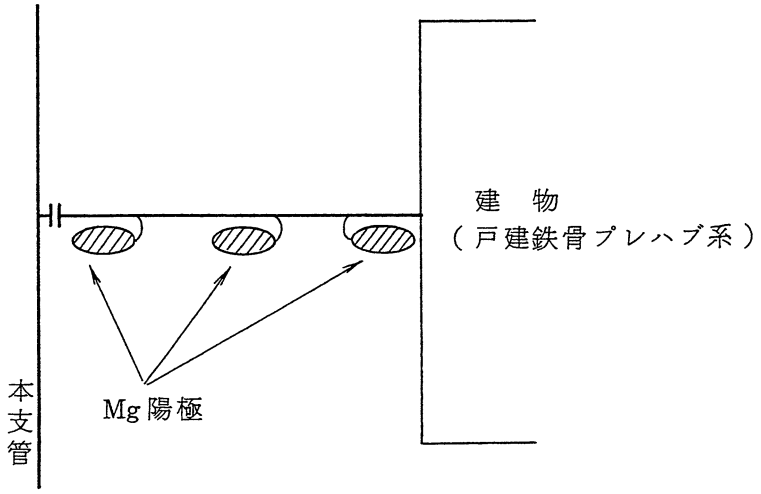
b. ４個のMg陽極を２個づつ２箇所に集中設置

マグネシウム重量：６（kg／個）

⑦ 設 置 方 法

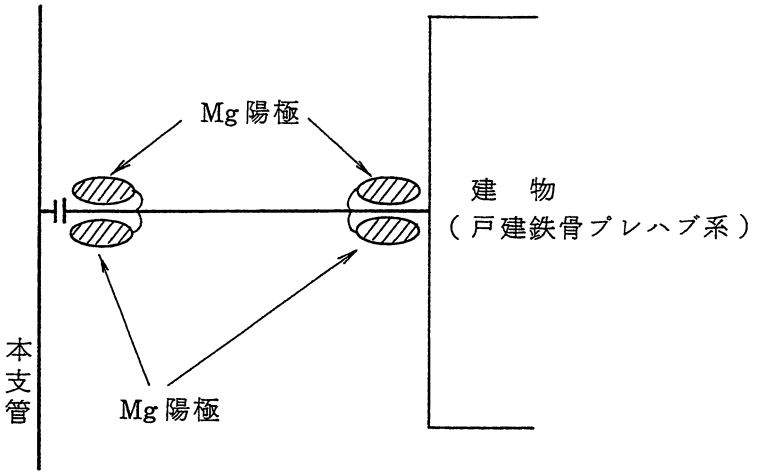
下図の２方法となる。

a. ３個のＭｇ陽極を３箇所に単独設置



Mg 陽極： マグネシウム重量 ８kg／個
バックフィルのサイズ 200φ×1,000

b. ４個のＭｇ陽極を２個づつ２箇所に集中設置



Mg陽極：マグネシウム重量　　６kg／個
バックフィルのサイズ　２００φ×1,０００

(3) 近接流電陽極法

〔設計条件〕

目　　的：完全防食

建物種別：鉄筋コンクリート建物

絶縁箇所：建物貫通部からガスの上流側（本支管側）３ｍの箇所で絶縁

〔設　　計〕

① 防食対象とする延長 ℓ（m）

l＝3（m）

② 供内管の管対地電位P/S（mV）

P/S＝－300（mV）（測定値）

③ Mg陽極の設置個数ｍの算出

$$m \geq \frac{\ell}{2}$$

$$= \frac{3}{2}$$

m　＝2（個）

（Mg陽極のサイズは200φ×1,000とする。）

④ Mg陽極１個当りの所要発生電気量Q（mA・Yr）

設計耐用年数Y（Yr）は30年とする。

$$Q = \frac{P/S - (-1550)}{R_{Mg(total)}} \times \frac{Y}{0.85 \times m}$$

$$= \frac{-300 - (-1550)}{12.5} \times \frac{30}{0.85 \times 2}$$

$= 1765$（mA・Yr）

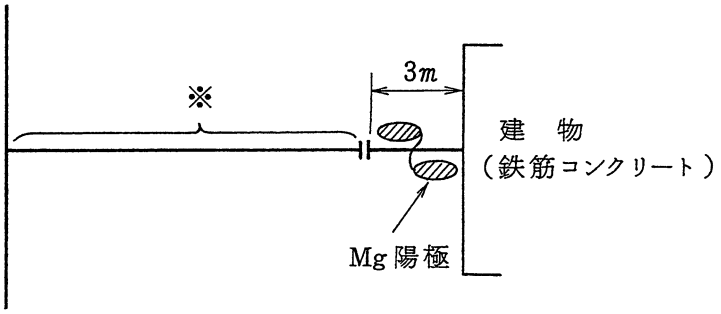
⑤ マグネシウム重量の選択

④で求めたMg陽極１個当りの所要発生電気量よりマグネシウム重量を表３から選択する。

マグネシウム重量：16（kg／個）

⑥ 設 置 方 法

下図の方法となる。



Mg 陽極：マグネシウム重量　　１６kg／個

バックフィルのサイズ　２００φ×1,０００

※ 別途一般腐食対策を検討する（略）。

Ⅱ.2　更生修理工法特性試験・評価要領書

更生修理工法は、腐食漏えい予防工法及び継手漏えい予防工法に分類される。

各漏えい予防工法は、表－1 に示すように、故障の現象・原因に応じ各々具備すべき特性が異なるが、施工性試験、繰返し曲げ特性試験、耐ガス性・耐薬品性試験、熱加速試験は各漏えい予防工法に共通するので、特性試験項目として、①施工性試験、②繰返し曲げ特性試験、③保形性試験、④耐ガス性・耐薬品性試験、⑤熱加速試験の５項目に要約され、各々について特性試験・評価要領書を定めた。

また、各漏えい予防工法の評価基準年数を表－2 に示した。

表－1　ガス導管の故障形態の概要およびその対策工法が具備すべき特性と試験項目

腐　食　漏　え　い　予　防　工　法

腐食の現象，原因	目　　的	具備すべき特性	考慮すべき条件	試 験 項 目
亜鉛メッキ等コーティング材の劣化と土壌腐食因子が相まって腐食により，管体に貫通孔が発生し漏えいが発生する。漏えい量としては少量である。	管体に生じる貫通孔からのガス漏れを未然に防止する。 ⇧ 対象管 ○鋼管	外力による管体の変位に対して，気密性を保持できること。	車両荷重による管体の変位	繰返し曲げ特性試験
		貫通孔を介して作用する外圧等に耐えること。	貫通孔を介して作用する外圧（土圧，水圧）	保 形 性 試 験
		ガスおよび地下水等に対する耐久性があること。	ガスに含まれる成分及び周囲の土壌環境に含まれる成分	耐ガス性・耐薬品性試験
		施工品質が確保でき、通常のガス工事に支障が無いこと。	切取り，連絡工事等	施 工 性 試 験
		主要材料が長期にわたって安定した物性を保持すること。	主要材料の経年劣化	熱加速試験※

※　腐食漏えい予防工法に合格するためには，「繰返し曲げ試験」，「保形性試験」，「耐ガス性・耐薬品性試験」，「施工性試験」の4試験に合格すればよい。「熱加速試験」は，エポキシ系以外の新たな樹脂材料を用いた工法について，40 年の評価基準年数を設定する場合にのみ行うものである。

継　手　漏　え　い　予　防　工　法

継手漏えいの現象，原因	目　　的	具備すべき特性	考慮すべき条件	試 験 項 目
○　車両走行等の振動による継手部の緩み等により継手漏えいが発生するが，その漏れ量は少量である。	継手気密性能低下による継手からの漏れを未然に防止あるいは修理する。 ⇧ 対象管 ○鋼管	外力による管体の変位に対して，気密性を保持できること。	車両荷重による継手部の変位	繰返し曲げ特性試験
		ガスおよび地下水等に対する耐久性があること。	ガスに含まれる成分及び周囲の土壌環境に含まれる成分	耐ガス性・耐薬品性試験
		施工品質が確保でき，通常のガス工事に支障が無いこと。	切取り，連絡工事等	施 工 性 試 験
		主要材料が長期にわたって安定した物性を保持すること。	主要材料の経年劣化	熱加速試験※

※　継手漏えい予防工法に合格するためには，「繰返し曲げ試験」，「耐ガス性・耐薬品性試験」，「施工性試験」の 3 試験に合格すればよい。「熱加速試験」は，エポキシ系以外の新たな樹脂材料を用いた工法について，40 年の評価基準年数を設定する場合にのみ行うものである。

表－2 各漏えい予防工法と評価基準年数

工法名	試験項目	評価基準年数
腐食漏えい予防工法	施工性試験	40 年*1)
	繰返し曲げ試験	
	保形性試験	
	耐ガス性・耐薬品性試験	
	熱加速試験*3)	
継手漏えい予防工法	施工性試験	15 年*2)
	繰返し曲げ試験	
	耐ガス性･耐薬品性試験	
	熱加速試験*4)	

＜参　考＞

＊1）エポキシ系樹脂ライニング工法については、更生修理材料として 40 年以上の長期耐久性が証明されていることから[1)]、評価基準年数を 40 年と設定する。また、それ以外の工法についても熱加速試験を実施し、40 年以上の長期耐久性が証明された場合は、評価基準年数を 40 年と設定することが可能である。但し、ライニング樹脂の組成の影響により、熱加速試験から有意な結果が得られない場合や､熱加速試験そのものを実施しなかった場合は､評価基準年数を 11 年と設定する。

＊2）「継手漏えい予防工法」であると同時に、「腐食漏えい予防工法」でもある場合における評価基準年数は、「腐食漏えい予防工法」の評価基準年数に従うものとする。

＊3）「腐食漏えい予防工法」に合格するためには、「施工性試験」「繰返し曲げ試験」「保形性試験」「耐ガス性・耐薬品性試験」の 4 試験に合格すればよい。上述の通り「熱加速試験」は、エポキシ系以外の新たな樹脂材料を用いた工法について、40 年の評価基準年数を設定する場合にのみ行うものである。

＊4）「継手漏えい予防工法」に合格するためには、「施工性試験」「繰返し曲げ試験」、「耐ガス性・耐薬品性試験」の 3 試験に合格すればよい。上述の通り「熱加速試験」は、エポキシ系以外の新たな樹脂材料を用いた工法について、40 年の評価基準年数を設定する場合にのみ行うものである。

（参考文献）

1）更生修理工法技術研究会：更生修理工法技術研究会最終報告書、社団法人日本ガス協会、2006

Ⅱ.2-1 施工性試験・評価要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　試験要領

2. 1 供試配管

2. 2 試験方法

2. 3 外観観察

3.　評価

1. 適用

開発された工法が、更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一項目として、管内面に材料が正常に装着・塗布等の施工ができることのほか、施工後発生する切取り、連絡等の導管工事を、支障なく行うことができることを確認する試験および評価方法について定める。*1)

＜解　説＞

＊1)　継手部分のみに施工する工法については、繰返し曲げ特性試験における供試配管の製作、気密試験及び外観観察をもって施工性試験にかえることができる。

2. 試験要領

2. 1 供試配管

供試配管は、原則として更生修理工法を適用しようとする実際の配管系の特徴(延長、口径、継手数等)を考慮して決定する。図－1は、標準的な供内管に比較して延長及び継手数を若干増やした供試配管(例)である。

原則として供試配管の一部に掘上管を用い、継手部に1箇所以上の漏えいを作っておく。

2. 2 試験方法

(1)　供試配管に含まれる継手部の漏えいの状況を確認する。

(2)　当該工法を所定の施工手順に基づいて施工し、施工後気密試験を行う。

(3)　気密試験は低圧の通ガス状態（空気）の圧力で行う。

気密試験は、5分間以上上記圧力を保持し、水柱ゲージ又は同等以上の圧力計により、その始めと終りとの測定圧力差が許容誤差内にあることを確認する方法か、あるいは発泡液を塗布し判定する方法による。

(4)　部分的に切取り連絡する工事試験

試験施工後、充分な養生を行った後、部分的に切取り連絡する工事の試験を次の手順に従って行う。

(a)　切取りする区間の両端を切断し、新管を用いて再連絡する。

(b)　通気後、連絡部の気密性を確認する。気密性の確認は通ずるガスの圧力（空気）で発泡液を塗布し判定する方法による。

2. 3　外観観察

2.2 項の試験を行った後、外観観察を行う。

外観観察は、観察箇所を周方向又は軸方向に切断し、肉眼観察することによって行う。

観察箇所は、直管部 1 箇所以上、継手部 3 箇所以上とする。

3.　評価

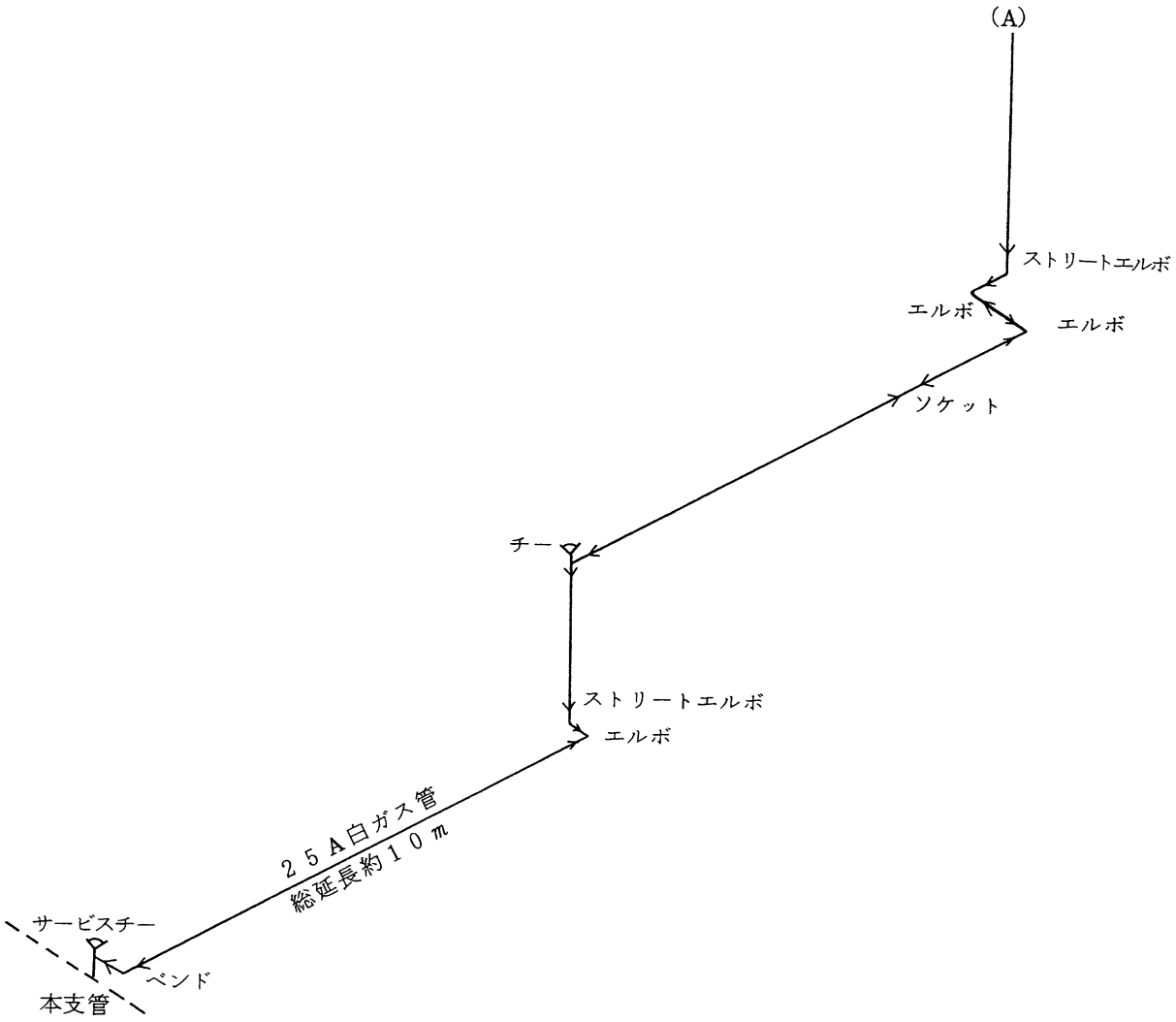
下記の全て満足する場合、合格とする。

(1)　予め定められた基本事項(手順、工具等)により、所定の配管系に施工ができること。

(2)　施工後の気密試験に合格すること。

(3)　施工後の管の外観観察において、ライニング材料等に亀裂・切断・剥離等の異常が認められないこと。

(4)　施工後の切断及び連絡等の通常の導管工事を支障なく行うことができること。



(1) 供試配管には一部既使用管を使用する。

(2) あらかじめ１箇所以上の継手漏れを作る。

(3) A部と供給管取出部の高低差は１ｍ程度とする。

(4) 内面の観察を容易にするため，配管の一部に透明管を使用してもよい。

図－１ 供 試 配 管 （例）

Ⅱ.2-2 繰返し曲げ特性試験・評価要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　試験要領

2．1 供試管仕様

2．2 試験方法

2．3 試験条件及び装置

3.　評価

＜参考資料＞繰返し曲げ特性試験条件の検討

1. 適用

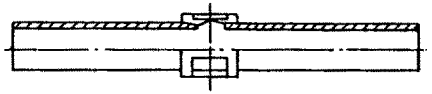
開発された工法が更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一環として，埋設管が受ける車両輪荷重によるたわみ振動に対する特性を確認する試験及び評価方法について定める。

2. 試験要領

2. 1 供試管仕様

供試管仕様は表－1による。

表－1 供試管仕様

供試材					供試管	供試管の数	備考
管種	材料	管径	接続方法	作製方法			
鋼管	原則として掘上げ管	代表管径とする	・鋼管に加工するねじ JIS B 0203 に規定する管用テーパーねじ。 ・ねじ込み条件 締付トルクは 80N－m程度とする。 ・ねじシール材は使用しない。	 ・ソケットねじ部に軸方向にスリットをいれ，ライニングに先立って漏えいテスト（内圧 10kPa）を行いソケット継手部から漏れがあることを確認しておく。 ・供試材の長さは試験機の構造を考慮して決めてよい。	左記供試材に工法を施したもの。	3本以上	・スリット位置はソケットにペンキ等で明示のこと。

2. 2 試験方法

(1) 繰返し曲げ特性試験の開始前に供試管の気密試験を行う。

気密試験の条件は次による。

(a) 圧力：10kPa とする。

(b) 保持時間：10 分以上とする。

(c) 検査方法：発泡液による。

(2) 繰返し曲げ試験は供試管に内圧 10kPa 以上の圧力を加えた状態で行い、繰返し曲げ回数が所定回数＊1）に達するまで試験する。試験終了後、前記(1)の気密試験を行う。試験中の温度は常温とする。

(3) 試験終了後、供試管を切断し、ライニング材料等について異常の有無を観察する。

＜解 説＞

＊1）試験条件は“繰返し曲げ特性試験条件の検討”（参考資料）によった。

本所定回数は、評価基準年数に比例するので、一般的には以下に示す式に従って算出する。参考として、評価基準年数が 11 年、15 年、40 年それぞれの場合の大よその所定回数を表－2 に示す。なお、本繰返し曲げ回数は重車両の交通量の多い道路での試算結果に基づくものであり、一般道路ではかなりの安全率を含んだ回数である。

$$B = 2.0 \times 10^4 \times E$$

B:繰返し曲げ回数

E：評価基準年数

表－2 評価基準年数と所定回数の関係

評価基準年数	所定回数
11 年	2.20×10^5
15 年	3.00×10^5
40 年	8.00×10^5

2. 3 試験条件及び装置

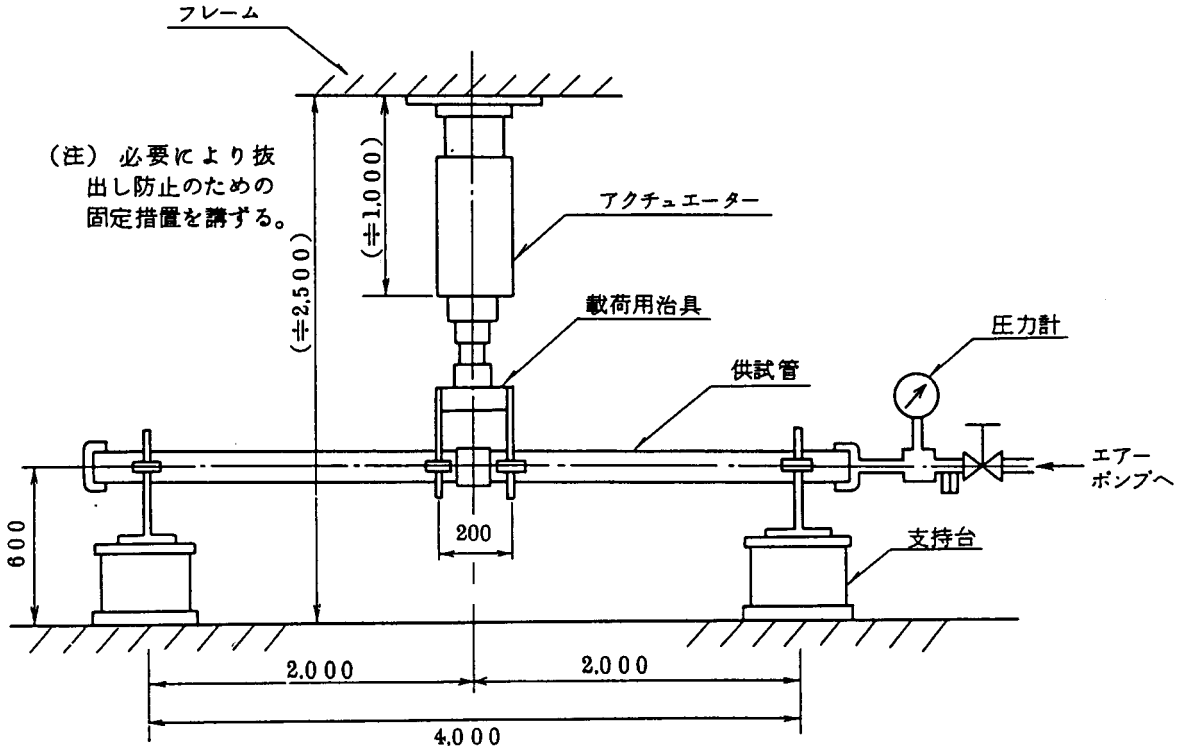
繰返し曲げ特性試験の条件は次による。

片振り曲げ角度：0.02° 以上

繰返し曲げサイクル：0.5 回/秒以上＊2)

＜解　説＞

試験装置の例を図－1 に示す。



図－1　鋼管の例

＊2)　繰返し曲げサイクルは試験中供試管の温度が異常に上がらぬ回数で決めてよい。

3.　評価

全ての供試管が、下記の全てを満足する場合、合格とする。

(1)　所定の繰返し曲げ試験終了後の気密試験に合格すること。

(2)　繰返し曲げ試験終了後、供試管内面のライニング材料等に亀裂・破断・剥離等の異常が認められないこと。

なお、試験中に供試管に異常が認められ、その原因が試験装置の不備であった場合は、再試験して評価することができる。

＜参考資料＞

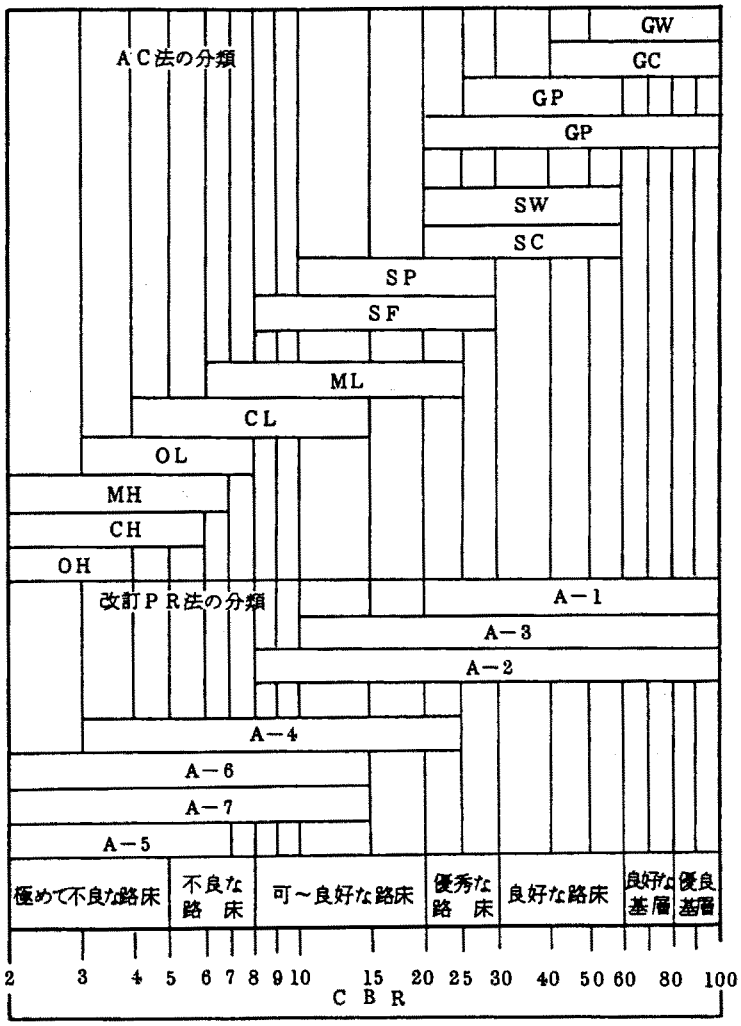
繰返し曲げ特性試験条件の検討

埋設された導管の継手に変位を与えるものとして車両輪荷重を考慮した。その継手の挙動は、埋設地条件、車両輪荷重、交通量によって決まる。したがって、次のような根拠にもとづき試験条件を決定した。

1. 前提条件

(1) 埋設地盤条件

図－1の土の種類とＣＢＲの関係において、極めて不良な路床を選び路床ＣＢＲ＝2.0をとった。



図－1 土の種類とCBRとの関係[1)]

この値に対する地盤係数（K_{76}）を図－2から求め、K_{76}＝2.0 kg／cm^{3}を得た。

さらに、載荷板の大きさと地盤係数の関係（図－3）からK_{30}／K_{76}＝2.0を求め

$K_{30}=K_{76}\times 2.0$

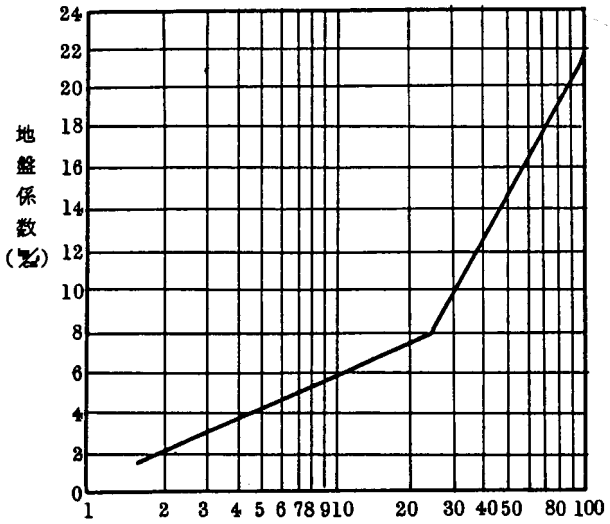
$=4.0\ kg/cm^3$ を得た。

また、地盤を弾性体と仮定した有限要素法による計算より次式の関係が確認されている。

$K_{150}=K_{30}$　　K150：口径 150mm の管の K 値

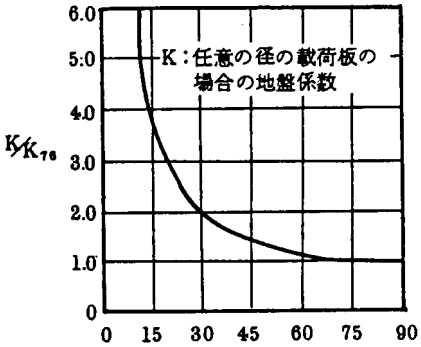
$$K=K_{150}\times\left(\frac{D}{170}\right)^{-\frac{3}{4}}$$　K:管の外径 D(mm)の時の地盤係数

従って、口径 25mm では、K=13.5kg/cm³ となる。



CBR(水浸)

図－2　地盤係数(径 76 cm、沈下 0.125 cm)と CBR との関係 1)



載荷板の径(cm)

図－3　載荷板の大きさが地盤係数に及ぼす影響 1)

(2)　車両輪荷重

車両輪荷重として、ガス事業法技術基準に規定されている 20t 車（後輪荷重 8,000 kg）を考慮する。

(3)　埋設管に影響を及ぼす車両の通行量

通行量については、国土交通省の 17 年度の道路交通センサス(表－1)に基づき、平成 29 年度の 1 日当りの片側 2 車線の主要地方道の平均交通量を

$5,101\times 1.32\times 1.02^2\leqq 7,500$ 台/日 *1)

と推定した。このうち、車両輪荷重が 5t 以上の車両の年間交通量は設計交通荷重分布(表－2)より

$$N=7,500\times\frac{1.41}{100}\times\frac{1}{2}\times 365\text{ 日}=19,300\text{ 台/年}$$

となる。

＜参　考＞

＊1)　1.32 は昼間 12 時間の交通量を 1 とした場合の、1 日の交通量の比率を示しており、1.02 は表－1 中の平成 17 年度における前回(平成 11 年度)調査時からの 6 年毎の交通量の伸び率を示している。すなわち、本計算は平成 17 年度の昼間の交通量から 1 日の交通量を計算し、さらに今後予想される 6 年毎の交通量の伸び率 1.02 を乗じて、将来的な(平成 29 年度)交通量を予測したものである。

表－1　全国道路交通情勢の推移 [2)]

年度	平均交通量(片側 2 車線)	
	台/12h	前回比
昭和 43	2,390	－
昭和 46	3,006	1.26
昭和 49	3,300	1.10
昭和 52	3,405	1.03
昭和 60	3,747	1.10
平成 2	4,360	1.16
平成 6	4,613	1.06
平成 9	4,906	1.06
平成 11	5,008	1.02
平成 17	5,101	1.02

表－2　交通荷重の分布 [3)]

荷 重 群(P_1)	一日交通量率(%)
0 ～ 1.0	80.63
1.1～ 2.0	9.70
2.1～ 3.0	5.21
3.1～ 4.0	1.97
4.1～ 5.0	1.08
5.1～ 6.0	0.76
6.1～ 7.0	0.39
7.1～ 8.0	0.18
8.1～ 9.0	0.07
9.1～10.0	0.01

2.　試験条件

(1)　繰返し曲げ角度

車両輪荷重による埋設管の継手の曲げ変位を、後述する弾性床上の梁の式を用いて、下記の計算条件のもとで計算した。

計　算　条　件

○後　輪　荷　重：8,000 kg（後輪間隙 1mとして 2 台同時走行とする…図－4)

○衝　撃　係　数：0.5

○地　盤　係　数：13.5 kg f ／cm^3

○土　　被　　り：0.6m

○管のヤング率：2.05×10^{2}GPa

計算式

$$EI \cdot \frac{d^4y}{dx^4} = P(x)D_0 - K \cdot y \cdot D_0$$

E:管のヤング率

I:管の断面二次モーメント

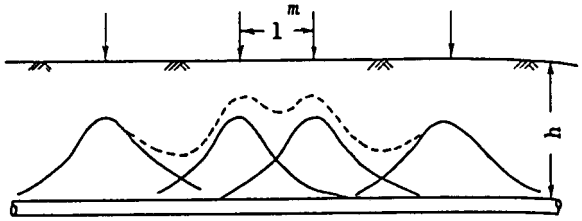
P(x):ブシネスクの式による土圧

x:荷重点からの管軸方向の距離

y:管のたわみ量

D_0:管　外　径

K:地盤反力係数

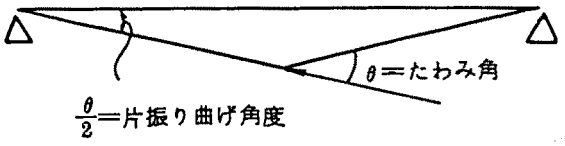


図－4 車両輪荷重による土圧分布

計 算 結 果

計算結果は次の通りである。

口径 25mm:片振り曲げ角度 0.02°（たわみ角度 0.047°）



図－5 片振り曲げ角度とたわみ角の関係

(2) 繰返し曲げ回数

前述の条件の道路に埋設された導管を更生修理工法施工後 15 年間にわたって使用するものとすれば、この間に受ける繰返し曲げ回数は

19,300 回/年×15 年=289,000≒3.0×10^5 回/年

となる。

所定回数は、評価基準年数に比例するので、以下に示す式に従って所定回数を算出するものとする。なお、本繰返し曲げ回数は重車両の交通量の多い道路での試算結果に基づくものであり、一般道路ではかなりの安全率を含んだ回数である。

$$B = 2.0\times10^4 \times E$$

B:繰返し曲げ回数

E:評価基準年数

(3) 繰返し曲げサイクル

0.5 回／秒　以上とした。

（参考文献）

1) 内田一郎：森北出版“道路工学”(1967)

2) 国土交通省“道路交通センサス”(2006)

3) 綿谷正承他：“埋設導管の挙動試験（第１報)”、大阪ガス総研、Vol.1 2、
1973、pp44～56

Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　試験要領

2．1 試験の概要

2．2 試験要領１

2．3 試験要領2

3.　評価要領

3．1 評価手順

3．2 加圧圧力と破壊時間の関係の把握

3．3 評価基準年数における破壊圧力の推定

3．4 使用状態における外圧

3．5 評価

＜参考資料-1＞保形性試験におけるモデル貫通孔径と評価基準年数の考え方

＜参考資料-2＞「埋設管腐食孔に加わる土圧」に関する実験結果

1. 適用

開発された工法が、腐食漏えい予防工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一環として、工法を適用した管に後天的に発生する可能性のある部分的孔食を介して作用する外圧（ 土圧、水圧 ）に対するライニング膜の保形性を確認する試験および評価方法について定める。

2. 試験要領

2. 1 試験の概要

ライニング膜の特性に応じた試験要領に従って保形性試験を行う。

(1) 試験要領 1 の概要

液状樹脂を管内面に充填塗布または吹付け塗布するような工法にあっては、モデル貫通孔を有する管体及び継手供試管について、あらかじめ養生及び外面より水でライニング膜を平衡膨潤させた後、外面より水で試験圧力（4 水準以上）を加え、ライニング膜が破壊するまでの時間を測定する。

(2) 試験要領 2 の概要

成形材料を管内面に貼付ける工法のように、ライニング膜が継手部の内面全体に接着されない工法にあっては中央にチーを有する供試管を用いて、試験要領 1 と同様の試験を行う。

2. 2 試験要領 1

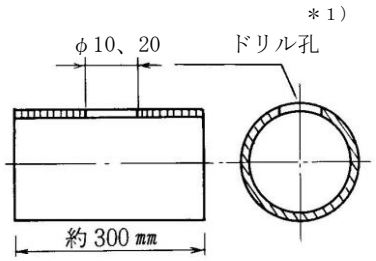
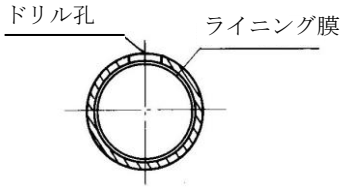
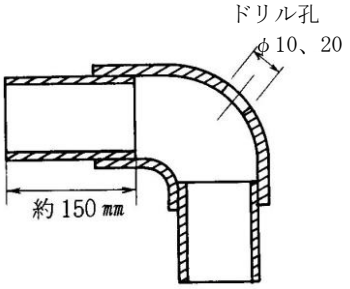
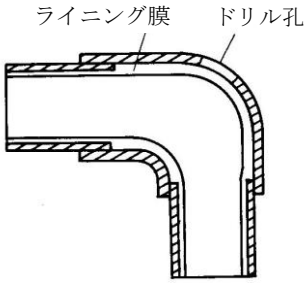
2.2.1 適用

液状樹脂を管内面に充填塗布または吹付け塗布する工法のように、配管継手においてもライニング材料が管壁に塗布または接着される工法について適用する。

2.2.2 供試管

表－1に供試管の仕様を示す。なお加圧試験に用いる供試管は、2.2.3項の前処理をしたものを用いる。

表－1　供試管の仕様

供試材			供試管*2)	供試管数*4)（各試験圧力に対して）
種類	口径	供試材		
管体	代表管径とする			３本以上
継手*3)	代表管径とする			３個以上

ライニング膜厚は施工時標準膜厚とする。

＜解　説＞

＊1)　通常、入替あるいは修理時に見られる腐食孔の孔径は数㎜程度以下である。評価基準年数が 11 年の場合はφ10、40 年の場合はφ20 のモデル貫通孔を供試管に設けることとする（参考資料-1 参照）。この条件は実際の状態に比べ、相当に厳しい試験条件を定めている。

＊2)　供試管の作成方法（参考）

供試管に設けたドリル孔を粘土等でふさいだ後にライニングを行い、ライニング材料を充分硬化養生させた後に、上記粘土等を除去する。

＊3)　継手供試管

継手部の供試管例としてエルボの例を示す。工法の特性に応じ、より適切なときは他の形状の供試材を用いてもよい。

＊4)　供試管の数

管体または継手のいずれか一方が予備試験等の結果により他方より保形性があると明確に確認された場合は、保形性があると確認された種類の試験の一部を省略することができる。

2.2.3 ライニング膜の前処理

(1) 供試管の養生

(a) 供試管養生の意義

更生修理工法には、施工後一定の期間、時間の変化と共に物性が変化する*5)材料を使用しているものも存在するため、供試管の養生条件を決定しなければ試験の再現性が得られず、正確な試験及び比較ができない恐れがある。そこで、保形性試験を実施するにあたって、以下に示す予備試験(供試管養生条件決定試験)を実施し、保形性試験で使用する供試管の養生条件を決定するものとする。なお、接着剤に熱硬化性樹脂を使用している反転シール系工法については、樹脂部分のみに対し、養生条件を決定すればよいものとする。*6)

＜解　説＞

＊5) 時間の経過と共に材料物性が変化するものとしては、エポキシ樹脂を使用した樹脂ライニング工法などが存在する。通常は、数年でその変化は収束する。

＊6) 反転シール系工法における保形性能は、主に樹脂部分により担保されていると考えられるため、樹脂部分についてのみ熱加速試験を実施すればよいこととした。

(b) 供試管養生条件の概要

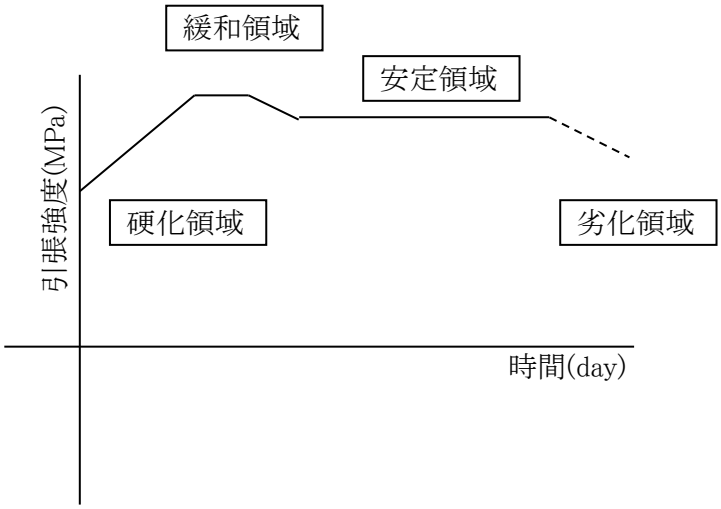
樹脂材料のライフパターンには、「硬化領域」、「緩和領域」、「安定領域」、「劣化領域」の 4 つの領域が存在するが、本保形性試験においては、供試管を「安定領域」に達するまで養生した後、試験を実施するものとする。*7)

＜解　説＞

＊7) 樹脂材料のライフパターンは、通常表－2、図－1 に示す通りとなる。なお、通常の使用環境下では、樹脂材料は「安定領域」に存在する可能性が高いことから、供試管を「安定領域」に達するまで養生した後、試験を実施するものとする。

表－2　樹脂塗膜のライフパターン

硬化領域	樹脂の硬化反応が進行し、樹脂の強度が向上する領域
緩和領域	樹脂の硬化反応に伴い発生した架橋構造の不安定さを解消し、より安定的な架橋構造に変化する領域 (化学反応を伴った変化ではなく、物理的な変化により現れる領域)
安定領域	架橋構造が安定した状態に達し、樹脂に物理的変化及び化学的変化が発生しない領域
劣化領域	架橋構造が変化し、樹脂の強度が低下する領域*8)



図－1 樹脂塗膜のライフパターン

＊8) 劣化領域は、施工後 40 年程度では現れない可能性が高いため、供試管養生にあたっては、劣化領域まで加速しないよう注意する。

(c) 供試管養生条件決定試験

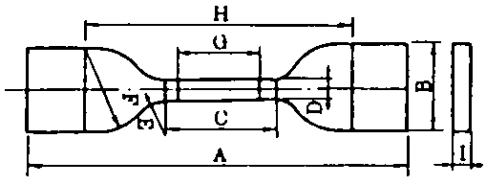
以下に示す条件で熱加速試験を実施し、安定領域に達する試験温度、養生日数を決定する。

（ｉ）試験片仕様

表－3 に示すJIS K 7113(プラスチックの引張試験方法)に規定する 2 号形試験片など、JIS、ASTM 規格から適切な試験片を選択することができる＊9)

表－3 供試管養生条件決定試験で使用する試験片の一例

JIS K 7113 の 2 号試験片



試験片の種類	2 号試験片(通常)	2 号試験片(1/2)	2 号試験片(1/3)	2 号試験片(1/5)
A:全長(最小)	115	60	57	30
B:両端の幅	25±1	12±1	8±0.5	5±0.5
C:平行部分の長さ	33±2	16±2	11±1	6.5±0.5
D:平行部分の幅	6±0.4	3±0.2	2±0.2	1.2±0.2
E:小半径	14±1	7±0.5	4.7±0.5	3±0.4
F:大半径	25±2	12±1	8±0.5	5±0.4
G:標線間距離	25±1	12±0.5	8±0.5	5±0.4
H:つかみ具間距離	80±5	40±2	27±2	16±2
I:厚さ	2±0.15	2±0.15	2±0.15	2±0.15

単位:mm

（ii）試験温度、養生日数

樹脂の性状にあわせて適宜選択するが、試験温度は 1 種類でよい。＊10)、＊11)

（ⅲ）測定項目

熱加速試験後、表－4 に示す条件で、引張強度及び伸びを測定する。

表－4 測定物性項目及びその測定条件

物性項目	測定条件	N 数
引張強度 伸び	引張速度:25mm/min 測定環境:23℃±2℃ (その他は JIS K 7113 準拠)	3

（ⅳ）試験雰囲気

本試験は、窒素雰囲気下で実施する。*12)

（ｖ）解析方法

図－1 に示すように、時間－引張強度及び伸びのグラフを作成し、安定領域に達するまでの養生日数を導出する。*13)

＜解　説＞

＊9)　適切な試験片は、JIS、ASTM 規格に指定された各種引張試験片を指すが、ここでは一例として JIS K 7113 に規定されている 2 号試験片の形状を示す。なお、本試験片は一例であるため、その他 JIS 規格等引張試験片を適宜選択してもよい。

＊10)　樹脂のライフパターンは、使用樹脂の性状によって大きく異なる。従って、一義に試験温度と試験片取出し時間を決定することは不可能である。

＊11)　表－5 に標準的な試験温度及び試験片の取出し時間を示す。本試験温度及び試験片取出し時間、あくまで標準的な設定値を示したものであり、適宜試験温度、試験片取出し日数の変更を行っても良いが、樹脂のガラス転移点付近の温度は避け、また導管と樹脂の線膨張係数の相違による供試管への影響にも配慮する方が好ましい。なお、本試験により試験片が変形等した場合は、試験温度設定が高すぎた可能性が高いので、再度より低い温度で試験を実施する必要がある。

表－5 試験温度と試験片取出し時間の関係

試験温度(℃)	サンプル取出し時間(日)
100	3、6、9、13、15

＊12)　空気環境下で熱加速試験を実施すると、樹脂が高温で酸素と接することから、本来の供用下で発生するはずのない異常な酸素との反応を誘発する恐れがある。そこで、酸素との反応を考慮する必要がなく、より現実の使用環境下に近い窒素雰囲気下で実施することとする。

＊13)　安定領域に達すると引張強度、伸び共にほぼ一定の値を示すようになる。従って、引張強度、伸びの経時変化がほとんどなくなったことが確認できた最短の養生日数を、安定領域に達するまでの養生日数と定義する。

(d)　供試管養生の実施

以上の供試管養生条件決定試験により導出された養生温度及び安定領域に達するまでの養生日数により、供試管養生条件決定試験と同じく窒素雰囲気下で供試管を養生し次節に示す浸漬を実施した後、保形性試験を実施する。

(2)　浸漬

水と接触する部分（ 2.2.5(3)の図－2 のＡ部 ）をあらかじめ外面より水に浸漬し、ライニング膜を膨潤させておく。[*14)]

浸漬時間は下記に示す時間以上とする。

〔 浸漬時間 〕

膨潤が平衡状態に達するまでとし、次のいずれかの方法で浸漬時間を決める。なお、膨潤が平衡に達するのに長時間を要する場合は、材料に影響を与えない範囲内で加温してよい。

①　施工時の標準膜厚にライニングした平板を、供試管と同一温度条件で水中に浸漬し質量変化が一定になる時間を確認する。

②　耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領書に定める蒸留水の浸漬試験（ 質量変化 ）で求めた平衡膨潤時間（ Ｔｓ ）より、次式から浸漬時間（ Ｔ ）を決定する。[*15)]

浸漬温度が異なる場合は、同一温度条件下で改めて行う必要がある。

$$T \geqq 4 \cdot Ts \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

但し、d_1:供試管のライニング膜の厚さ

d_2:試験片の厚み

＜解　説＞

＊14)　供内管に腐食漏えい予防工法を施工後、腐食貫通孔が発生した場合に、その貫通孔を介して土中の地下水とライニング膜とが接し膨潤するため、その部分をあらかじめ水で膨潤させておく。

＊15)　ライニング膜が平衡膨潤の状態に達する時間は、膜厚の２乗に比例する。また供試管の場合、水はモデル貫通孔からのみ浸透するのに対し、耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領書に定める試験片では両面から水が浸透してくるため、同試験片の厚さは片面から浸透する場合の$^1/_2$と考える必要がある。

以上のことから、供試管のモデル貫通孔部のライニング膜が平衡膨潤の状態に達するまでの時間は次式で表わすことができる。

$$T \geqq 2^2 \times T_S \times \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$$

2.2.4　試験方法

(1)　各供試管に所定の圧力を加え終ってから、ライニング膜が破壊する*16)までの時間を測定する。3か月経過しても破壊しない時は、3か月で試験を終了させることができる。

ただし、少なくとも3水準で各々少なくとも1本が破壊するまで試験を継続する。

(2)　加圧はすみやかに行い、加圧後は所定の圧力に維持する。

＜解　説＞

＊16)　ガス供給上支障がある状態にまでライニング膜が変形したときは、ライニング膜の破壊とみなす。

2.2.5　試験条件及び装置

(1)　試験温度

23±2℃とする。

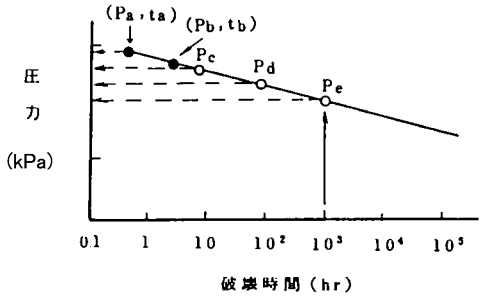
(2)　試験圧力

試験圧力は4水準以上とする。*17)

＜解　説＞

＊17)　試験期間内で、長時間の結果が得られ、かつ片寄らないように試験圧力を決める。以下に試験圧力の決め方の一例を示す。

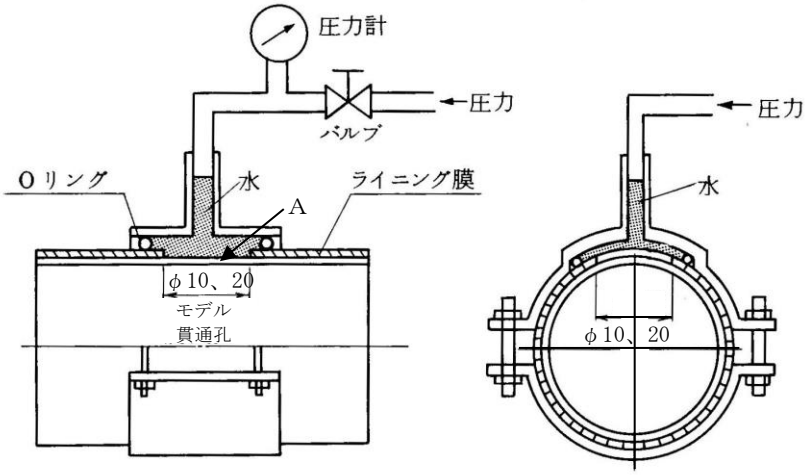
試験圧力の決め方（例）

手　　順	試　験　方　法	備　　考
最　大　圧　力 （ Pmax ）の 決 定	2.2.5(3)の加圧装置を用いて段階的に昇圧し，ライニング膜が破壊する最大圧力Pmax を求める。	1）時間をかけて昇圧させると低い圧力で破壊するので，1時間以内で昇圧させる。 2）Pmax は 2 本以上の供試管の破壊圧力の平均値を用いる。
長時間(10^3時間) で破壊する圧力の推定	Pmax をもとに，ライニング膜が短時間で破壊すると思われる2水準の圧力(Pa, Pb)で保形性試験を行い，破壊時間(ta, tb)を求め 10^3時間程度で破壊する圧力(Pe)を推定する。	3）Pa, Pb は，Pmax に低減係数を乗じて任意に定めればよい。 （例） Pa ＝ 0.9 Pmax Pb ＝ 0.7 Pmax 4）破壊時間 ta, tb は，圧力Pa, Pb での平均破壊時間(3本以上の供試管の破壊時間の平均値)を用いる。 5）(Pa, ta)，(Pb, tb)を両対数方眼紙上にプロットし，両点を通る直線を描き 10^3時間で破壊する圧力Pe を求める。
試験圧力の選定	Pa～Pe を均等に分割し，試験圧力を選定する。	6）　〈4試験水準の場合〉  Pa とPe の間を 3 分割し，試験水準 Pc, Pd を決める。 但しPb ≒ Pc の場合，Pc はPd で代替する。

(3) 加圧装置

供試管のモデル貫通孔部のライニング膜（ 図－2 のＡ部 ）を、一定の圧力で加圧できる装置を用いる。図－2 に加圧方法の例を示す。

なお、加圧試験時は、供試管のモデル貫通孔部のライニング膜と水が常に接するようにする。水は適宜補給する。



図－2 加 圧 方 法(例)

2. 3 試 験 要 領 2

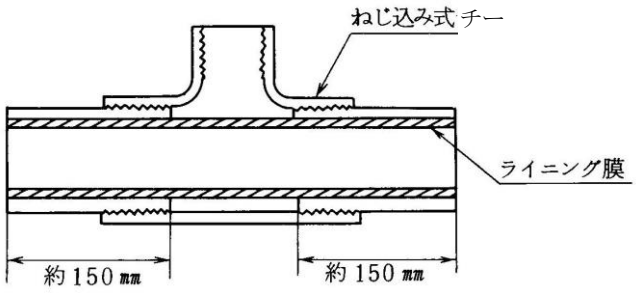
2.3.1 適用

成形材料を管内面に貼付ける工法のように、ライニング膜が継手部の内面全体に接着されない工法について適用する。

2.3.2 供試管

表－6 に供試管の仕様を示す。

表－6 供試管仕様

口 径	供 試 管	供 試 管 数 〔各試験圧力に対して〕
代 表 管 径 とする		３本以上

＜解　説＞

実配管において、チーにこのようなライニングを施工することはないが、配管の継手（ソケット、エルボ等）を代表し、かつ供試管の製作上の容易さを考慮し、本方法を採用する。

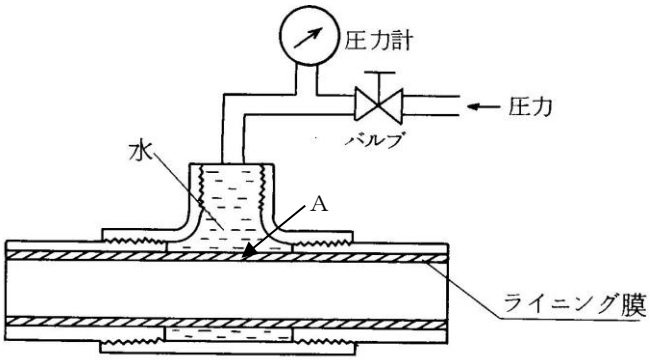
チーの分岐径は、ライニング膜が水と接触する部分（ 2.3.4　図－3のＡ部 ）の面積を評価基準年数が11年の場合はφ10以上、40年の場合はφ20以上となるように選定すること。

2.3.3　ライニング膜の前処理

2.2.3 の規定に準ずる。

2.3.4　試験方法

2.2.4 の規定に準ずる。



図－3 加 圧 方 法(例)

3. 評価要領

3. 1 評価手順

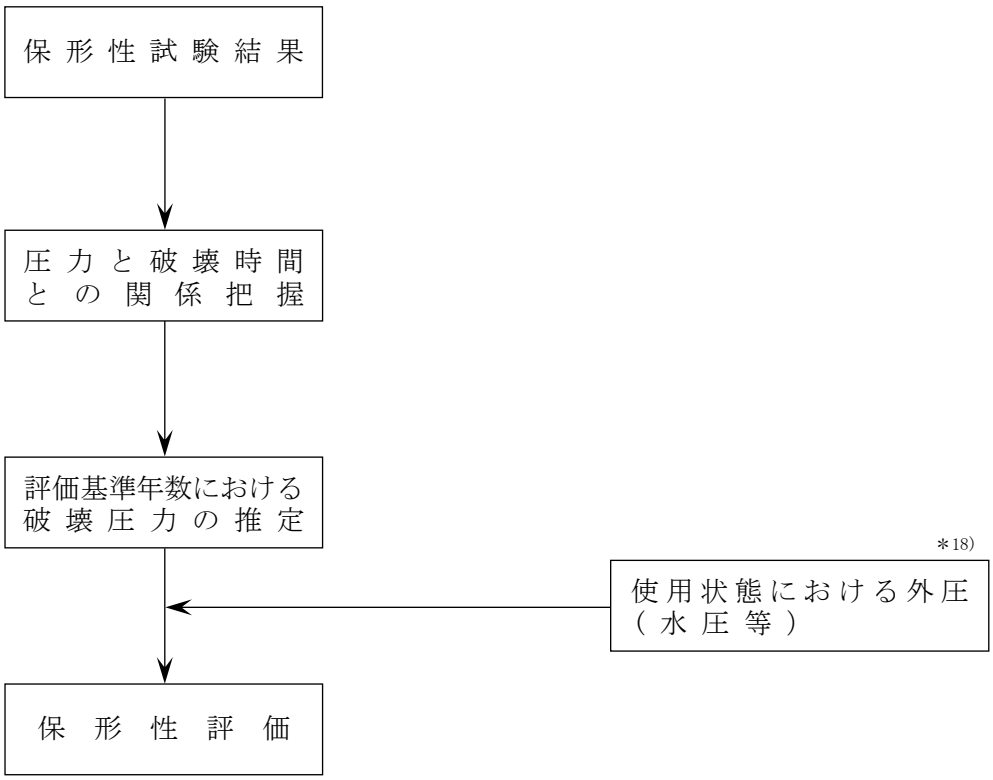
(1) 保形性試験の結果から、圧力と破壊時間との関係を求める。

(2) 評価基準年数におけるライニング膜の破壊圧力を推定する。

(3) 工法施工後の供内管に後天的に発生する可能性のある腐食貫通孔を介してライニング膜がうける外圧（ 土圧、水圧 ）を定める。

(4) (2)の破壊圧力と(3)の外圧を比較して、ライニング膜の保形性を評価する。

以上の手順を図－4 に示す。



図－4 評価手順フロー

＊18) 使用状態にある導管に腐食によって貫通孔が生じたとき、モデル貫通孔を介してライニング膜にかかるものと想定される外圧をいう。

3. 2 加圧圧力と破壊時間の関係の把握

(1) 試験圧力を縦軸に、破壊時間を横軸にとり、試験結果を片対数方眼紙又は両対数方眼紙にプロットする。＊19)

(2) 試験圧力とライニング膜の破壊時間の結果から、最小二乗法を用いて回帰直線を求める。

(3) 回帰直線から95%信頼区間の下方信頼限界線を求める。

＜解　説＞

＊19) 直線性の高い方を用いる。

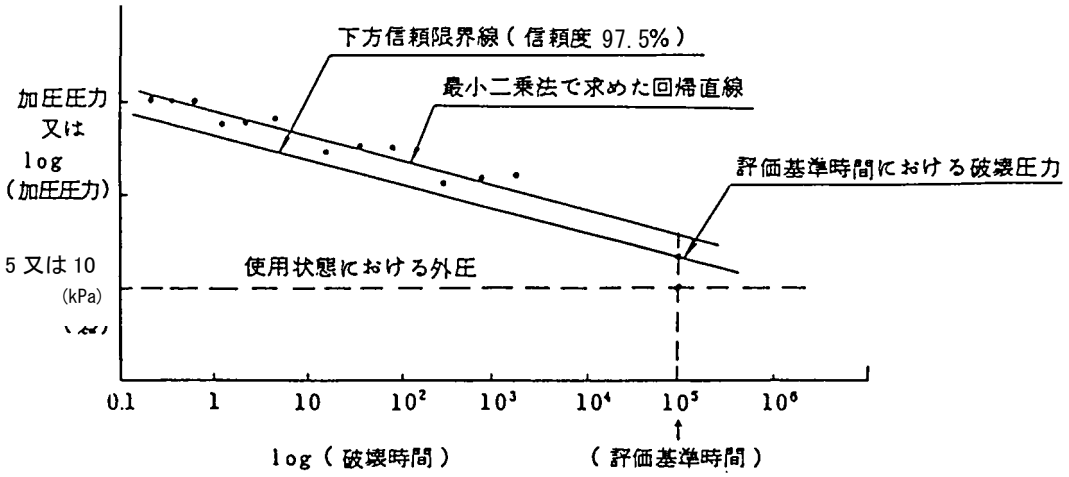
試験要領1においては、管体供試管及び継手供試管のデータのうち、いずれか下方にプロットされるものについて評価するものとする。

3. 3 評価基準年数における破壊圧力の推定

3.2.(3)で得られた下方信頼限界線にもとづいて、評価基準年数における破壊圧力を推定する。[*20)、*21)]

＜解　説＞

＊20) 回帰直線に対してデータのプロットは正規分布するものと考えて、－２σ（ 信頼度 97.5% ）の下方信頼限界線を評価線とする。



図－5 評価基準年数における破壊圧力の推定

＊21) 本試験は、工法を適用した供内管に後天的に発生する腐食貫通孔を介してライニング膜にかかる外圧（ 土圧、水圧 ）を想定して、ライニング膜が外圧に対して長期にわたり圧壊したり、管断面を閉塞させたりしないかどうか確認するものである。

試験は実管で行っており、実際の腐食状態に比べ相当大きなモデル貫通孔を用い、またライニング膜はあらかじめ水で膨潤させる等厳しい試験条件としている。

＊20)の例では、保形性の判定の目安として評価基準年数は約 11 年（10^5時間）としている。クリープ特性試験・評価要領書に示されている Uncertainty factor は試験条件に含まれているものと考える。

3. 4　使用状態における外圧

使用状態における外圧の基準は以下の通りとする。

試験要領 1 に基づく試験　　10kPa*22)

試験要領 2 に基づく試験　　5kPa

＜解　説＞

*22)　試験要領 1 に対する基準外圧は、本支管維持管理対策ガイドラインの保形性試験・評価要領書と同様に、土圧と水圧の影響を考慮し 10kPa とした（参考資料-2 参照）。

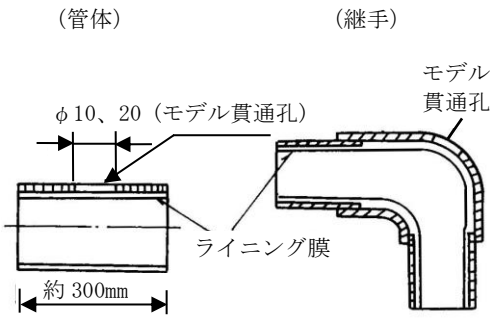
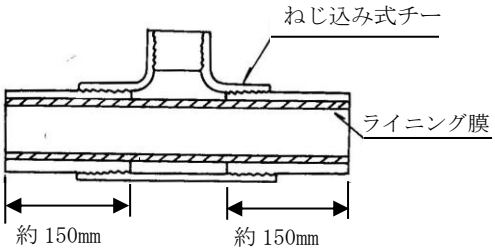
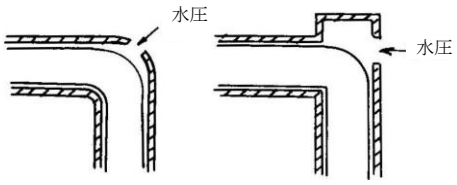
試験要領 2 に対する基準外圧は、このような形態の継手部のライニング膜に土圧が直接作用することは考えられないため、水圧のみを考え 5kPa とした。なお試験要領 2 における受圧面積は継手部のライニング膜と管壁の形状を考慮して、試験要領 1 に比較して 10 倍以上となっている。このことからφ10 又はφ20 の腐食貫通孔を介して土圧及び水圧が同時に作用する場合でも、試験要領 2 を満足していれば十分な保形性を有すると考えてよい。

3. 5　評価

3.3 で推定した評価基準年数における破壊圧力が、3.4 で定めた使用状態における外圧より大きいとき十分な保形性があると評価する。

＜参　考＞

試験要領1と試験要領2の比較

試験要領 試験・評価	試　験　要　領　1	試　験　要　領　2
適用対象	管本体、継手、内面の全面にわたってライニング膜が密着している工法(液状樹脂を管内面に充填塗布または吹付け塗布する工法)	継手部の一部においてライニング膜が継手内面と密着しない可能性のある工法(成形材料を管内面にはりつける工法)
供試管		
試験法	モデル腐食孔又はチーより、水圧(4水準)をかけ、ライニング膜が破壊するまでの時間を測定(「破壊」とはライニング膜の破損又は供給上支障のある変形をいう)。	
評価 評価基準時間 外圧の基準 (理由)	管体、継手のいずれか弱い方で評価 10^5 時間 10kPa 腐食孔を介して作用する土圧(最高5kPa)及び水圧(5kPa)を考慮	10^5 時間 5 kPa ① 継手部等ライニング膜が密着していない場合、水圧は腐食孔を介してライニング膜にかかるが土圧はかからない(土のブリッジ現象のため)。  ② 管体部分でライニング膜が内面に密着している場合は、水圧、土圧ともにかかる。しかし、φ10又はφ20の腐食孔を介してかかる土圧、水圧10kPaは、上記の供試管における5kPaよりはるかにゆるやかな条件であるため、継手部における試験で代替できる。 (受圧部面積 ： 受圧部外周 ≒1(φ10) ： 7～10(チー))

＜参考資料－1＞

「保形性試験におけるモデル貫通孔径と評価基準年数の考え方」

1. 目的

保形性試験は、実際の腐食状態に比べ相当大きなモデル貫通孔（φ10、φ20）を用い、またライニング材はあらかじめ水で膨潤させる等厳しい試験条件としている。したがって保形性の判定の目安として評価基準年数はまずφ10 では約 11 年（10^5時間）とし、同じ腐食速度で腐食が進行するものとしてφ20 では約 40 年（3.6×10^5時間）とする。以下にその考え方の概要を示す。

2. 腐食孔の成長モデル

腐食孔の中心断面形状モデルを図－１に示し、次式で表せるものとする。

$y = ax^m$（a、m:定数）　　・・・〔1．1〕

腐食孔の容積は、次式で表せる。

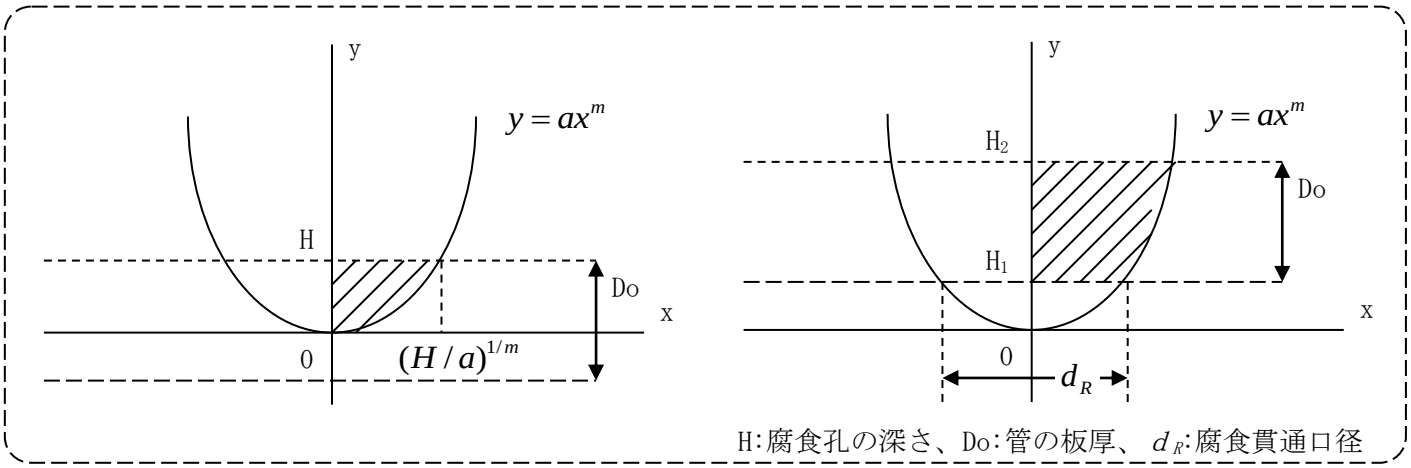
$$V = \int_0^H \pi x^2 dy = AH^{m'} \qquad (A = \frac{\pi m}{a^{2/m}(m+2)}, m' = \frac{m+2}{m}) \quad H \le D_0 \qquad \cdots〔1.2〕$$

$$V = A(H_2^{m'} - H_1^{m'}) \qquad (H_1 = a(d_R/2)^m, H_2 = D_0 + a(d_R/2)^m) \quad H > D_0 \qquad \cdots〔1.3〕$$

また経過時間 T については単位時間あたりの金属溶出量αを一定とすると、

$$T = \frac{A}{\alpha} H^{m'} \quad H \le D_0 \qquad \cdots〔1.4〕$$

$$T = \frac{A}{\alpha}(H_2^{m'} - H_1^{m'}) \quad H > D_0 \qquad \cdots〔1.5〕$$



図－1　腐食孔の成長モデル

一方、同じ腐食速度環境下で腐食貫通孔が発生するまでの時間T_0と、貫通してから孔径d_Rとなるまでの時間$(T_{d_R}-T_0)$の比$\phi_{d_R}=(T_{d_R}-T_0)/T_0$は次式で表される。

$$\phi_{d_R}=\frac{H_2^{m'}-H_1^{m'}}{D_0^{m'}}-1 \qquad \cdots〔1.6〕$$

３．評価基準年数の考え方

1984 年に実施した経年鋼管の管体調査結果（口径 50A）をもとに、腐食貫通孔がφ10 まで成長する期間$(T_{10}-T_0)$を10^5時間とし、モデル貫通孔径φ10 での評価基準年数を約 11 年（10^5時間）とする。一方、更生修理工法の適用は、経年鋼管の最終埋設年（1970 年）と更生修理工法導入年（1985 年）から、少なくとも埋設後 15 年は経過したものが対象となっており、T_0は最短でも 15 年となる。これらをもとに算出した各腐食孔径の成長に関する時間比$\phi_{d_{10}}$および$\phi_{d_{20}}$を表－1 に示す。

表－1 各配管口径の腐食孔径成長に関する時間比

	25A	50A	80A
$\phi_{d_{10}}$	0.911	0.761	0.689
$\phi_{d_{20}}$	3.417	2.852	2.568

（各口径の肉厚は t_{25}=3.2mm、t_{50}＝3.8mm、t_{80}＝4.2mm 、 $y=ax^m$:a=0.07、m=1.83）

上表の結果をもとにT_0=15 とし、腐食貫通孔がφ20 まで成長する期間$(T_{20}-T_0)$を算出すると工法適用後最短で約 40 年となる（$\phi_{d_{20}}$は最小（最短）値である 80A の値を用いた）。この値は更生修理工法施工済路線の管体モニタリング結果における腐食状況と比べると極めて厳しい条件であり、全体を網羅するに十分な期間であるものと考えられる。

（参考文献）

1） 更生修理工法技術研究会：更生修理工法技術研究会最終成果報告書、社団法人日本ガス協会、2006

＜参考資料-2＞

「埋設管腐食孔に加わる土圧」に関する実験結果

1. 目的

埋設後、長期経過した管に腐食孔が生じた時に、その腐食孔に加わる土圧はどのように変化するかを実験で確認する。

2. 前提

対象としている管は外径 30～80 ㎜と非常に小さな管で、これらが土中に埋設されている深度は概ね 0.6～2.0mである。土中で管が占めている体積は僅かであり、管の剛性は殆ど無視しうるものと考えられる。即ち、上載荷重などによって管に作用する土圧は周辺の地盤に作用する土圧と同等と考えられ、力の集中は殆どないものと思われる。

従って、実験ではモールド底板に腐食孔相当の降下板を設け、そこに発生する土圧を測定することにした。また、トンネルの緩み領域は通常1d～2d（ dはトンネル径 ）と言われているので、腐食孔径を 10 ㎜、20 ㎜とすれば土層厚としては 10 ㎝あれば充分であると考えられる。

3. 実験方法

(1) 静的実験

a. モールド底部に腐食孔を想定した降下板を作る。

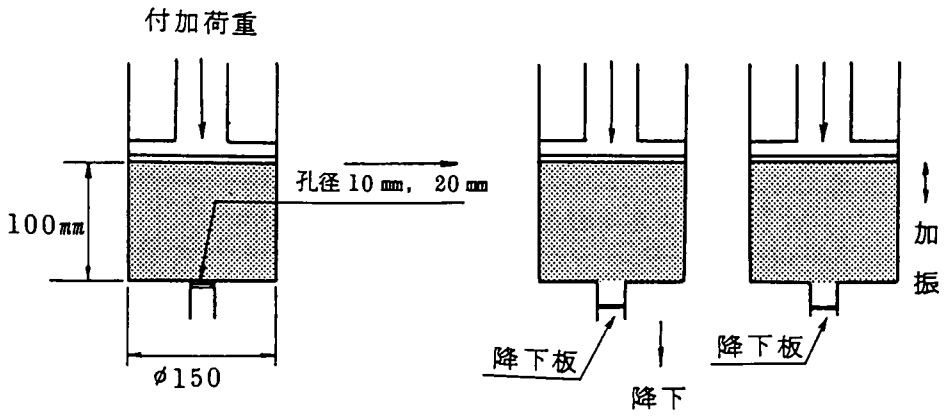
b. モールドに所定の密度、飽和度の砂を充填し、種々の埋設深さ相当の荷重を加える。

c. 降下板に加わる初期土圧を確認後、降下板を1.0㎜／㎜の速度で2㎜ずつ下げていき、降下板に加わる土圧を測定する。

d. 測定土圧がゼロの場合、その確認のため降下終了後、降下板に堆積した砂の量を測定する（ 一部の試料のみ ）。

(2) 動的実験

(1)c.の実験後（ 走行テストで確認した車両走行による地中発生加速度を参考にして ）種々の加速度を加えて、振動により降下板に加わる土圧を測定する。



図－1 実験方法

(3) 実験条件

a. 降 下 板　円形、直径 10 ㎜、20 ㎜

b. 土　質　豊浦標準砂、山砂、生駒真砂土(シルト・粘土分 24.5%、均等係数Uc ＝ 150、最大乾燥密度 γ dmax ＝ 1793kg／m^3)、ガラスビーズ(直径1㎜)

c. 飽 和 度　標準砂 Sr ＝ 0、30%、100%、山砂Sr ＝ 0、50～80%、100%ガラスビーズ Sr ＝ 0、30、100%

d. 密　度　標準砂、相対密度 Dr ＝ 30、70%、山砂 γ dmax の 90%、ガラスビーズ、相対密度 Dr ＝ 50%

e. 初期土圧　土圧が大きい場合、小さい場合のいずれが腐食孔土圧として大きく生じるかは不明であるため、下記の3つの土圧を用いることにした。

(なお、参考として下記に示したように管の埋設深さが 0.5m～2.0mでは 43～64kPa の土圧が加わると考えられる。)

イ) Pi ＝ 75kPa

ロ) Pi ＝ 50kPa

ハ) Pi ＝ 25kPa

＜参　考＞

表－1　埋設管と深さと管に加わる土圧

	深 度 0.5m	深 度 1.0m	深 度 2.0m
土　　圧*1)	9kPa	18kPa	36kPa
輪　　圧*2)	55kPa	25kPa	9kPa
合計土圧	64kPa	43kPa	45kPa

＊1）土の単位体積重量　$\gamma = 1.8g/cm^3$

＊2）輪圧T－20、後輪1軸、2 輪が 30°で地中に分散すると仮定する。

P ＝ 4000kg

埋設深さ 0.5mでは　$\delta 1 = 4000 \times 1.5 / (118/2)2 \times \pi = 55kPa$

埋設深さ 1.0mでは　$\delta 2 = 4000 \times 1.5 / (175/2)2 \times \pi = 25kPa$

埋設深さ 2.0mでは　$\delta 3 = 4000 \times 1.5 / (290/2)^2 \times \pi = 9kPa$

f. 降 下 量　　Z＝2、4、6、8、10、12、14 ㎜

g. 測 定 時 間　　1降下量につき 15 分

h. 加振加速度　　100gal ～ 1500gal

i. 加速周波数　　100Hz ～ 500Hz

走行テストでは、15～20Hz。本実験では装置の制約上低い周波数の振動発生が不可能であるので最大加速度のみをパラメーターとした。

車両走行による地中発生加速度

イ)T－20　　40 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度　　(実測値) 117gal

(深度 0.6m、段差 2.0cm)

ロ) 〃　　50 ㎞／hr～60 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度　(推 定) 160gal

(深度 0.6m、段差 2.0 ㎝)

ハ)T－30　　50 ㎞／hr～60 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度（推 定）190gal

(深度 0.6m、段差 2.0 ㎝)

二)T－20　　40 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度　　（実測値）67gal

(深度 1.0m、段差 2.0 ㎝)

ホ) 〃　　50 ㎞／hr～60 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度　（推 定）90gal

(深度 1.0m、段差 2.0cm)

ヘ)T－30　　50 ㎞／hr～60 ㎞／hr での地中上下方向最大加速度（推 定）108ga1

(深度 1.0m、段差 2.0 ㎝)

4. 実験結果

(1) 静的実験

a. 降下板には、かなりのばらつきはあるものの大きな土圧は発生しなかった。

全　　体:Pp ＝-0.5～4.6kPa　Pp ave.＝0.87kPa(孔径10㎜、20㎜)

標 準 砂:Pp ＝-0.5～4.6kPa　Pp ave.＝1.42kPa(孔径10㎜)

Pp ave.＝0.22kPa(孔径20㎜)

山　　砂:Pp ＝-0.2～0.5kPa　Pp ave.＝0.10kPa(孔径20㎜)

ガラスビーズ:Pp ＝0～2.1kPa　Pp ave.＝0.24kPa(孔径10㎜)

Pp ave.＝1.22kPa(孔径20㎜)

降下板を逐次下げていってもこの土圧が増加する傾向は見られなかった。これは局部的なアーチング作用により、降下の影響が周囲地盤へは殆ど及ばず、またアーチング内は局部的な間隙比の増加によって空隙が埋められ、地盤全体としてはバランスしていることによると考えられる。

b. 初期土圧、土の密度による降下板土圧の差は見られなかった。

c. 飽和および乾燥試料では降下板土圧の差はみられなかったが、不飽和試料では小さい土圧が得られた。これはメニスカスの影響によるものである。

d. 降下板径による降下板土圧の差は、ばらつきが大きく明瞭な差異は認めがたい。ただ、ガラスビーズでは口径20㎜での値は口径10㎜での値に比べて、僅かに大きい傾向が認められた。

(2) 動的実験

a. 振動による降下板土圧は、最大1500galの加速度を加えても新たには殆ど発生しなかった。(実際の車両走行では、せいぜい100～200galの加速度)

加振直後の土圧は、全体的に1.0～2.0kPa減少しているが、これは振動により降下装置に摩擦力が働いている為と思われる。(キャリブレーション結果による。)

b. 約3000回の繰り返し加振による降下板土圧の変動も見られなかった。

(加振30秒後土圧と加振終了時土圧との差が殆どなかった。)

5. 結論

実験結果によれば、静的、動的載荷状態共にばらつきはあるものの降下板には大きな土圧は発生しなかった。

実験回数は各ケース合わせて約70個あり、90％以上が3.0kPa以下である。最大の測定値でも4.6kPaである。これらの土圧は局部的な土質、その他の条件によって支配されるものと考えられている。今回行った実験条件にはガラスビーズなど実地盤と比べてかなり厳しいと思われる条件でも実験を行ったので、実地盤で発生するかなりの悪条件を満足しているであろう。設計土圧としては、最大値を包括するものと考えると約5.0kPaとなり、地下水圧を加えてもせいぜい10kPa程度と考えられる。

（参考文献）

1） 石原 研而：土質動力学の基礎
2） 土質工学会：土と構造物の動的相互作用
3） 村山 朔郎・松岡 元：砂質土中のトンネル土圧に関する基礎研究
土木学会論文報告集 第187号・1971年3月
4） 村山 朔郎・松岡 元：粒状地盤の局所沈下現象について
土木学会論文報告集 第172号・1969年12月
5） 村山 朔郎・松岡 元：砂層内局所沈下部にかかる垂直土圧
京大防災研究所年報 第11号B・昭和43年3月
6） Zvi Getzler : Analysis of Arching Pressures in Ideal Elastic Soil
Journal of the Soil Mechanis and Foundations Division
7） 環境庁大気保全局特殊公害課：道路交通振動マニュアル

Ⅱ.2-4 耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　試験要領

2．1 試験の概要

2．2 試験片

2．3 試験液

2．4 装置および器具

2．5 試験方法

2．6 計算

2．7 結果のまとめ

3.　評価要領

3．1 評価の考え方

3．2 各試験液に対する材料の適合性評価

3．3 総合評価

＜参考資料-1＞定伸張型疲労における疲労限界伸びと引張伸びとの関係

＜参考資料-2＞継手部の最大振動歪（事例）

＜参考資料-3＞実短管及びテストピースの大きさ

1. 適用

開発された工法が、更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一環として、ガス中及び環境を代表する成分に対する当該工法の機能維持に不可欠な主要材料の長期耐久性を明らかにする試験及び評価の方法について定める。

2. 試験要領

2. 1 試験の概要

工法の機能維持に不可欠な主要材料から作成した供試材料を、各種環境を代表する試験液に浸漬し、定められた期間の後、その材料特性に応じた方法に従って、①引張強度、②伸び、③質量の測定*1)及び、④外観の観察を行い、主要材料の試験液による影響度を調べる。

＜解　説＞

＊1)　質量の測定は、空隙に試験液が保持されるような材料（ウレタンフォーム等の多孔質材料や織物等）については測定しなくてもよい。

(1) 材料の分類

供試材料は、その材料の種類に応じて、表－1 の通り分類する。*2)、*3)

表－1　材料の分類

材 料 の 分 類		準拠する主要JIS
Ⅰ （ゴム系材料）	◦ ゴ ム ◦ エラストマー （常温でゴム状弾性を持つ樹脂 ）	JIS K 6250 〔ゴム－物理試験方法通則〕
Ⅱ (プラスチック材料)	◦ プラスチックフィルム ◦ 各種樹脂	JIS K 7113 〔プラスチックの引張試験方法〕 JIS K 7114 〔プラスチック―液体薬品への浸漬効果を求める試験方法〕
Ⅲ （繊　　維）	◦ 織 物	JIS L 1096 〔一般織物試験方法〕

＜解　説＞

＊2)　分類は、供試材料の試験において、依るべき規格を明らかにするために行う。

＊3)　今後開発されるもので、表－１に該当しない材料は、その材料特性に応じて新たに分類してもよい。

(2) 関連JISの準用

試験片の形状、質量、引張強度及び伸びの測定方法は、材料の特性が適合する日本工業規格（ＪＩＳ）に原則として準拠する。[*4)]（ 表－1 参照 ）

＜解　説＞

＊4)　今後開発し、別に分類した材料は、その材料特性に適合するＪＩＳに準拠する。

2. 2　試験片

(1) 試験片形状

試験片は、主要材料の当該 JIS が有る場合は、当該 JIS が規定する試験片とする。JIS に規定が存在しない場合には、JIS K 7113（ プラスチックの引張試験方法 ）に規定する 2 号形試験片など、JIS、ASTM 等各種規格から適切な試験片を選択することができる。[*5)]

(2) 試験片形状測定方法

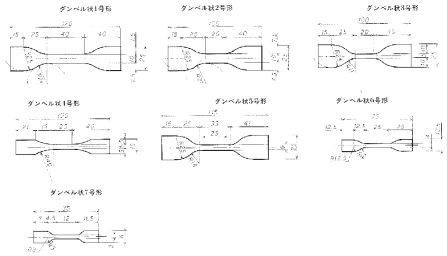
試験片は、試験前に標線間において、少なくとも 3 点以上の箇所で幅及び厚さを測定する。

＜解　説＞

＊5)　適切な試験片は、使用材料により異なるため、一概に指定することは不可能であるが、以下に、JIS等各種規格に指定されている試験片を例示する。なお、以下の試験片は一例であるため、これ以外でも、各種規格から適宜選択することができる。

表－2　試験片の形状・個数及び作成方法

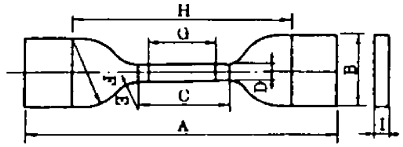
供試材料	測定項目	試験片 形状	厚さ*6)	個／水準*8)	作製方法	備考
分類Ⅰ（ゴム系材料）	質量変化	長さ50㎜×幅20㎜	2±0.2㎜*7)	3	製品又は製品と同一条件で成形し，24時間以上経過したシートから作成する。	JIS K 6250 8項参照 JIS K 6251 6項参照 JIS K 6258 5項参照
	引張強度・伸び変化	JIS K 6251の各号試験片	2±0.2㎜*7)	3		



形状	主要部分の寸法 平行部分の幅	平行部分の長さ	平行部分の厚さ	標線間距離
ダンベル状1号試験片	10±0.1	40	2.0±0.2	40
ダンベル状2号試験片	10±0.1	20	2.0±0.2	20
ダンベル状3号試験片	5±0.1	20	2.0±0.2	20
ダンベル状4号試験片	5±0.1	20	1.0以下	20
ダンベル状5号試験片	6+0～6+0.4	33	2.0±0.2	25
ダンベル状6号試験片	4±0.1	25	2.0±0.2	20
ダンベル状7号試験片	2±0.1	12	1.0±0.1	10

単位:mm

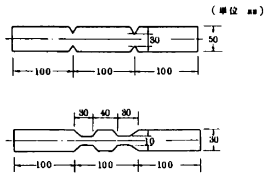
分類Ⅱ（プラスチック材料）	質量変化	直径50±1㎜	2±0.15㎜*7)	3	実使用状態と同一条件で混合し，シート状で硬化させた成形品から作製するか又は，モールドで作成する。	JIS K 7114 4項参照
		長さ50±1㎜，幅50±1㎜				
		長さ60±1㎜×幅60±1㎜	1.0～1.1㎜*7)			
	引張強度・伸び変化	JIS K 7113の2号試験片	2±0.15㎜*7)	5		JIS K 7113 5項参照



試験片の種類	2号試験片(通常)	2号試験片(1/2)	2号試験片(1/3)	2号試験片(1/5)
A:全長(最小)	115	60	57	30
B:両端の幅	25±1	12±1	8±0.5	5±0.5
C:平行部分の長さ	33±2	16±2	11±1	6.5±0.5
D:平行部分の幅	6±0.4	3±0.2	2±0.2	1.2±0.2
E:小半径	14±1	7±0.5	4.7±0.5	3±0.4
F:大半径	25±2	12±1	8±0.5	5±0.4
G:標線間距離	25±1	12±0.5	8±0.5	5±0.4
H:つかみ具間距離	80±5	40±2	27±2	16±2
I:厚さ	2±0.15	2±0.15	2±0.15	2±0.15

単位:mm

分類Ⅲ（繊維）	引張強度・伸び変化	又は，	製品厚	軸方向5 周方向5	製品の軸，周方向から作成する。*9),*10)	



＜解　説＞

＊6)　試験片の厚さについては、材料又は試験液によって変化の速度が遅いものもあるので、試験期間中に影響度が明らかになるような厚みを定めてもよい。また試験期間中に影響度が明らかになる場合は、製品厚でもよい。

＊7)　製品、成形品から作成する試験片の厚さの公差は±0.3 ㎜としてよい。

＊8)　引張強度・伸びの変化測定用の試験片の数は、原則としてシートから作成するものは３個、製品から作成するもの及び測定値に大きな幅があると考えられるものは５個とした。但し、ゴムの場合は、JIS K 6251 により製品でも３個とした。

＊9)　軸方向と周方向とで特性が同一の場合は、どちらか一方でよい。

＊10) 織物がエラストマー、あるいはフィルム等と一体化されているときは、エラストマーあるいはフィルム等を剥さないで作成してよい。

(3) 試験片養生条件

更生修理工法には、施工後一定の期間、時間の変化と共に物性が変化する*11)材料を使用しているものも存在するため、試験片の養生条件を決定しなければ試験の再現性が得られず、正確な試験及び比較ができない恐れがある。そこで、上記材料に対しては、耐ガス性・耐薬品性試験を実施する前に、以下に示す予備試験(試験片養生条件決定試験)を実施し、耐ガス性・耐薬品性試験で使用する試験片の養生条件を決定するものとする。

＜解　説＞

＊11) 時間の経過と共に材料物性が変化するものとしては、エポキシ樹脂などが存在する。通常は、数年でその変化は収束する。

(a) 試験片養生条件の概要

樹脂材料のライフパターンには、「硬化領域」、「緩和領域」、「安定領域」、「劣化領域」の４つの領域が存在するが、本耐ガス性・耐薬品性試験においては、試験片を「安定領域」に達するまで養生した後、試験を実施するものとする。*12)

＜解　説＞

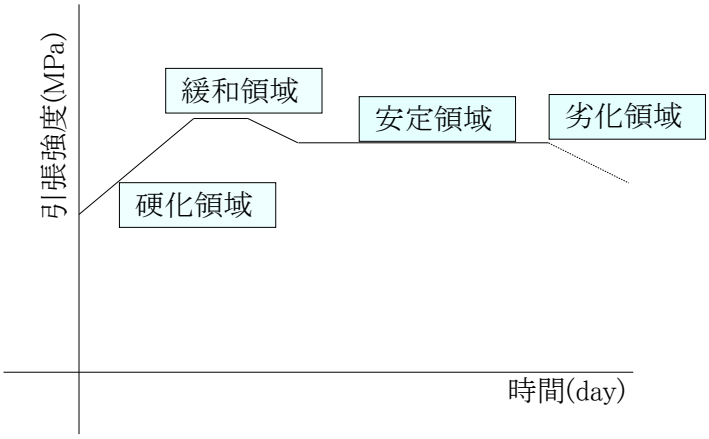
＊12) 樹脂材料のライフパターンは、通常表－3、図－1 に示す通りとなる。なお、通常の使用環境下では、樹脂材料は「安定領域」に存在する可能性が高いことから、試験片を「安定領域」に達するまで養生した後、試験を実施するものとする。

表－3 樹脂塗膜のライフパターン

硬化領域	樹脂の硬化反応が進行し、樹脂の強度が向上する領域
緩和領域	樹脂の硬化反応に伴い発生した架橋構造の不安定さを解消し、より安定的な架橋構造に変化する領域 (化学反応を伴った変化ではなく、物理的な変化により現れる領域)
安定領域	架橋構造が安定した状態に達し、樹脂に物理的変化及び化学的変化が発生しない領域
劣化領域	架橋構造が変化し、樹脂の強度が低下する領域*13)

＜参 考＞

＊13) 劣化領域は、施工後 40 年程度では現れない可能性が高いため、試験片養生にあたっては、劣化領域まで加速しないよう注意する。



図－1 樹脂塗膜のライフパターン

(b) 試験片養生条件決定試験

以下に示す条件で熱加速試験を実施し、安定領域に達する試験温度、養生日数を決定する。

（ｉ）試験片仕様

表－2 に示すいずれかの試験片を使用する。

（ⅱ）試験温度、養生日数

樹脂の性状にあわせて適宜選択するが、試験温度は 1 種類でよい。*14)、*15)

＜参 考＞

＊14) 樹脂のライフパターンは、使用樹脂の性状によって大きく異なる。従って、一義に試験温度と試験片取出し時間を決定することは不可能である。

＊15) 表－4 に標準的な試験温度及び試験片の取出し時間を示す。本試験温度及び試験片取出し時間は、あくまで標準的な設定値を示したものであり、適宜試験温度、試験片取出し日数の変更を行ってもよいが、樹脂のガラス転移点付近の温度は避ける方が好ましい。なお、本試験により試験片が変形等した場合は、試験温度設定が高すぎた可能性が高いので、再度より低い温度で試験を実施する必要がある。

表－4 試験温度と試験片取出し時間の関係

試験温度(℃)	サンプル取出し時間(日)
100	3、6、9、13、15

（iii）測定項目

熱加速試験後、表－5 に示す条件で、引張強度及び伸びを測定する。

表－5 測定物性項目及びその測定条件

物性項目	測定条件	N 数
引張強度 伸び	引張速度:25mm/min 測定環境:23℃±2℃ (その他は JIS K 7113 準拠)	3

（iv）試験雰囲気

本試験は、窒素雰囲気下で実施する。*16)

＜解　説＞

＊16）空気環境下で熱加速試験を実施すると、樹脂が高温で酸素と接することから、本来の供用下で発生するはずのない異常な酸素との反応を誘発する恐れがある。そこで、酸素との反応を考慮する必要がなく、より現実の使用環境下に近い窒素雰囲気下で実施することとする。

（ｖ）解析方法

図－1 に示すように、時間－引張強度及び伸びのグラフを作成し、安定領域に達するまでの養生日数を導出する。*17)

＜解　説＞

＊17）安定領域に達すると引張強度、伸び共にほぼ一定の値を示すようになる。従って、引張強度、伸びの経時変化がほとんどなくなったことが確認できた最短の養生日数を、安定領域に達するまでの養生日数と定義する。

(c) 養生条件

以上の試験片養生条件決定試験により導出された養生温度及び安定領域に達するまでの養生日数により、試験片を養生した後、耐ガス性・耐薬品性試験を実施する。

2. 3 試験液

試験液の種類、濃度及び調整方法は表－6 による。

表－6 試験液

試験液*18)		濃度	調整方法	備考
耐ガス性試験	流動パラフィン	100%	―――	JIS K 2231(流動パラフィン)に規定するISO VG15 又はこれと同等のもの
	ターシャリブチルメルカプタン・流動パラフィン混合液 *19)	1v／v%	ターシャリブチルメルカプタン 10 mlと流動パラフィン 990 ml の割合に調整	―――
	エチレングリコール	100%	―――	JIS K 8105〔 エチレングリコール(グリコール)(試薬) 〕
	ベンゼン・流動パラフィン混合液 *19)、*20)	5v／v%	ベンゼン 50 ml と流動パラフィン 950 mlの割合に調整	JIS K 8858 〔 ベンゼン(試薬) 〕
		10v／v%	ベンゼン 100 ml と流動パラフィン 900 mlの割合に調整	
		20v／v%	ベンゼン 200 ml と流動パラフィン 800 ml の割合に調整	
	n－ペンタン	100%	―――	―――
耐薬品性試験	蒸留水	100%	―――	新しく作った蒸留水又はイオン交換水(導電率2×$10^{-6}\Omega^{-1}cm^{-1}$(25℃)以下のもの)
	硫酸水溶液 *20)、*21)	pH 1	硫酸 4.9gを蒸留水に加え総量が 1、000 ml になる割合に調整	JIS K 8951 〔 硫酸(試薬) 〕
		pH 3	硫酸 0.049gを蒸留水に加え総量が 1、000 ml になる割合に調整	
	水酸化ナトリウム水溶液 *20)、*21)	pH 11	水酸化ナトリウム 0.04gを蒸留水に加え総量が 1、000 ml になる割合に調整	JIS K 8576 〔 水酸化ナトリウム(試薬) 〕

試験液*18)		濃度	調整方法	備考
耐薬品性試験	水酸化ナトリウム水溶液*20)、*21)	pH 13	水酸化ナトリウム4gを蒸留水に加え総量が 1.000 ml になる割合に調整	JIS K 8576〔 水酸化ナトリウム（ 試薬 ）〕
	塩化ナトリウム水溶液	5w／w%	蒸留水 95%に塩化ナトリウム5gを溶解させた割合に調整	JIS K 8150〔 塩化ナトリウム（ 試薬 ）〕

試験液	考慮した環境と成分		左記成分の一般的な含有・存在状態	備考
流動パラフィン	天然ガス	機械油	ごく微量（ 霧状又はガス状、工場近傍のみ ）	JIS K 6774〔 ガス用ポリエチレン管 〕の規定参照
ターシャリブチルメルカプタン・流動パラフィン混合液		付臭剤	10 mg／Nm^3（ ガス状 ）	1v／v%は 10 mg／Nm^3 の 4,000 倍に相当
エチレングリコール		調湿剤	50 mg／Nm^3 程度（ フォギングする場合ガス状、ただしフォガー近傍のみ霧状となることがある。）	JIS K 6774〔 ガス用ポリエチレン管 〕の規定参照
ベンゼン・流動パラフィン混合液	製造ガス	（上記天然ガス3成分に加えて）芳香族炭化水素	5g／Nm^3 程度（ ガス状 ）	5v／v%は5g／Nm^3 の約 40 倍に相当
n－ペンタン	液化石油ガス	（上記天然ガス3成分に加えて）鎖状炭化水素	ブロパン/ブタン（ ガス状 ）	―――

試験液	考慮した環境と成分		左記成分の一般的な含有・存在状態	備考
蒸留水	土壌及び地下水	水	地下水	
硫酸水溶液		酸・アルカリ	pH4～10	
水酸化ナトリウム水溶液				
塩化ナトリウム水溶液		塩	海水 3.5w／w%程度（海岸付近のみ）	

＜解　説＞

＊18）試験液の種類及び濃度は、ガス、土壌、地下水等の環境中に一般的に含まれる成分及びその含有・存在状態を考慮して定めた。なお、特殊な環境に適用するときは、その環境を代表する成分について試験を追加する必要がある。

＊19）供試材料が流動パラフィンによって影響を大きく受ける場合は、影響の少ない他の希釈剤でもよい。

＊20）濃度と変化率との関係から、実用状態における影響を推定する為に、2または3種類の濃度の異なった試験液を設けた。

＊21）正確にpH4及びpH10における値を求めるため、pH1、pH3、蒸留水（pH7）、pH11、pH13において本試験を実施し、内挿によりpH4及びpH10における値を求めることとした。従って、pH1、pH3、pH11、pH13では試験液と異常な反応を起こす恐れがあり、正確にpH4及びpH10における値を求めることができない場合は、異常な反応を起こす恐れがある領域(pH)を除き、それ以外の4水準(pH)における値を用いて内挿を行うことにより、pH4及びpH10における値を求めてもよい。

2. 4　装置及び器具

試験に用いる装置及び器具は表－7 による。

表－7　試験装置及び器具

分類		分類I（ ゴム系材料 ）	分類Ⅱ（ プラスチック材料 ）	分類Ⅲ（ 繊維 ）
寸法測定器	長さ及び幅の測定器	JIS B 7507（ ノギス ）に規定するノギスで最小読取値0.05㎜以下のもの。	① 質量測定用試験片には JIS B 7502（ 外側マイクロメータ ）又はこれと同等以上の精度のもの（JIS K 7114 の5項参照 ）。 ② 引張強度、伸び測定用試験片の長さ、幅の測定には JIS B 7507 に規定するノギスで最小読取値 0.05 ㎜のノギス又はこれと同等以上の精度を有するもの若しくは JIS B 7502 に規定する外側マイクロメータ又は同等以上の精度を有するもの（JIS K 7113 の 4.2 項参照 ）	JIS B 7507 に規定するノギスで最小読取値の 0.05 ㎜のノギス又はこれと同等以上の精度のもの。

分類		分類Ⅰ(ゴム系材料)	分類Ⅱ(プラスチック材料)	分類Ⅲ(繊維)
寸法測定器	厚さの測定器	0.01 ㎜の目盛をもち、かつ、プランジャーに直角で、測定台と平行な面積約100mm2の平滑な円形の接触面を持つダイヤルゲージ(JIS K 6258の5項参照)。	JIS B 7502 又はこれと同等以上の精度のもの。	——
質量測定器		感量1mgのてんびん		——
引張強度、伸び測定試験装置		JIS K 6251の5項を満足するもの。	JIS K 7113の4.1項を満足するもの。	JIS L 1096 付属書7-Aの定速伸長形試験機
容　器		試験液によって侵されない材料で作られたものであって、試験片を完全に浸漬できる大きさで、かつ密封できるもの。		
試験片ホルダー		試験片を試験液中に完全に浸漬させるためのもので、試験液によって侵されない材料で作られ、試験片に接触する面積がなるべく小さい形状のもの。		
恒温・恒湿装置		温度23±2℃に保持できる恒温装置	① 質量測定には温度 23±2℃に保持できる恒温装置 ② 引張強度・伸び測定には温度 23±2℃、相対湿度 50±5%に保持できる恒温・恒湿装置	温度23±2℃、相対温度50±5%に保持できる恒温・恒湿装置

2. 5　試験方法

2. 5. 1　試験期間及び測定時期

質量変化の測定は、試験片を試験液に浸漬する前及び浸漬した後、下表に定める期間の経過後ごとに行う。

引張強度及び伸びの測定は、試験液に浸漬しない試験片及び下表に定める期間浸漬した試験片について行う。

表－8　浸漬期間 ＊22)、＊23)、＊24)

期間 測定の種類	1 日	3 日	1週間	2週間	1か月	2か月	3か月
質量変化の測定	○	○	○	○	○	○	○
引張強度及び伸びの測定			○	○	○	○	○

＜解　説＞

＊22)　プラスチック標準試験方法研究会(現　一般財団法人化学研究評価機構　高分子試験・評価センター)では１か月以上を長期間試験としている。[1)]

＊23)　ターシャリブチルメルカプタン浸漬試験にあっては、引張強度及び伸びの測定は１か月、２か月、３か月とすることができる。

＊24)　変化率の値が一定になったと見なせるときは、その時点で試験を終了してもよい。３か月経過しても変化率の値が一定にならないときは、さらに試験を継続するか、もしくは、厚さの薄い試験片を用いる、又は試験液の温度を上げる等の促進条件下で追加試験を行い、一定となる変化率の値を確認することが望ましい。

2. 5. 2　浸漬温度

試験液の温度は、原則として 23±２℃に保持する。

2. 5. 3　質量変化測定方法

質量変化測定方法は、表－9 による。

表－9 質量変化測定方法

分類 操作	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分類Ⅱ(プラスチック材料)
① 状態調整	試験前3時間以上標準状態(23±2℃)の室温中に置く。 (JIS K 6250 8.3 項参照)	試験片の表面の汚れを適当な方法でぬぐい取った後、温度23±2℃、相対湿度50±10%の大気中で48時間以上状態調整を行う。 (JIS K 7114 4.5 項参照)
② 浸漬前の測定	試験片の質量及び各部寸法を測定する。 質量については、1mgまで測る。 寸法測定は、下記の箇所を0.1mmまで測る。 外観観察 色、光沢、その他観察記録する。 (JIS K 6258 5.5 項参照、JIS K 7114 5 項参照)	
③ 浸漬	2.2 項に規定される数の試験片を、少なくとも試験片の全体積の15倍以上で、かつ、全試験片が完全に液中に浸漬できるだけの量の試験液を用いて浸漬する。 必要に応じ試験液を補充するか、又は取替える。 (JIS K 6258 5.5 項参照)	2.2 項に規定された試験片を2.3 項の試験液8mλ 以上(試験片の表面積1㎠ あたり)入れた容器の中に浸漬する。 必要に応じ試験液を補充するか、又は取替える。 (JIS K 7114 4.6 項参照)
④ 一定期間経過後の測定	(1) 2.5.1 項に定める期間の経過後、試験片を試験液から取出し、試験片から余分の試験液を取除きはかりびんに入れ質量を量る。 試験液体が揮発性の場合は、はかりびんを密せんし速やかに行う。 (JIS K 6258 5.5 項参照)	(1) 2.5.1 項に定める期間の経過後、試験片を試験液から取出し、速やかに流水又は適当な液ですすぎ表面に付着している液をぬぐい取り直ちにはかりびんに入れて質量を量る。 (JIS K 7114 5.4 項参照)

分類 操作	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分類Ⅱ(プラスチック材料)
	(2) 測定期間終了時に、 ① (浸漬前の測定)の寸法測定箇所について寸法を測る。 ② 試験片の外観を観察し溶解、粉末化、鱗状化、亀裂、破断、ふくれ、ねばり、変色、光沢の損失等の有無を調べる。 ③ 試験液の外観を観察し、透明性、色調などの変化又は濁り、沈殿物などの有無を調べる。 (JIS K 7114 5.6 項参照) (3) 継続して行う場合には、すみやかに元の試験液中にもどし試験を続行する。 (JIS K 6258 4.5 項参照)	

2. 5. 4 引張強度及び伸びの変化測定方法

引張強度及び伸びの変化測定方法は、表－10 による。

表－10　引張強度および伸びの変化測定方法

分類 / 操作	分類 Ⅰ(ゴム系材料)	分類 Ⅱ(プラスチック材料)	分類 Ⅲ(繊　維)
① 状態調整	試験前1時間以上標準状態(23±2℃)の室温中に置く。(JIS K 6250〔ゴム－物理試験方法通則〕8.3 参照)	試験片の表面の汚れを適当な方法でぬぐいとった後，温度 23±2℃，相対湿度 50±10%の大気中で 48 時間以上状態調整を行う。 (JIS K 7114〔プラスチック－液体薬品への浸漬効果を求める試験方法〕4.5 項参照)	
② 浸漬前の寸法測定	厚さ，幅とも，平行部分の数箇所を 0.0lmm まで測定し，最低値をその試験片の厚さとする。	平行部分の幅と厚さは，標線間中央部1箇所とそれぞれの標線から5mm 内側の1箇所で，0.0lmm まで測定する。 (JIS K 7113 7.1 項参照)	幅は，0.1 ㎜まで測定する。
③ 浸漬前の引張強度及び伸びの測定 *25)，*26)	(1) 引張強度は，試験片の切断時に至るまでの最大荷重を読み取る。 (2) 伸びは，適当な方法により切断時の標線間距離を1mm まで測定する。なお，伸びが微小な材料を使用している場合は，装置のつかみ具間距離で代用してもよい。 (3) (1)，(2)の測定は，標準状態の室温(原則として23±2℃)中で行う。(JIS K 6250 5.1 項参照) (4) 引張速度は，JIS に定める通りとするが，定めのない場合は，500±50mm／min とする。 (5) 平行部分内で破断しない試験片の値は捨て，この分の試験片を追加して試験する。 (JIS K 7113 5.3.3 項参照)	(1) 引張強度は，試験片の切断時に至るまでの最大荷重を読み取る。 (2) 伸びは，適当な方法により切断時の標線間距離を1mm まで測定する。なお，伸びが微小な材料を使用している場合は，装置のつかみ具間距離で代用してもよい。 (3) (1)，(2)の測定は原則として，温度 23±2℃，相対湿度 50±5%の室内で行う。(JIS K 7113 3.2 項参照) (4) 引張速度は，JIS に定める通りとするが，定めのない場合は，50mm／min±10%，100mm／min±10%，200mm／min±10%及び，500mm／min±10%の中から1つ選ぶ。 (5) 平行部分内で破断しない試験片の値は捨て，この分の試験片を追加して試験する。 (JIS K 7113 5.3.3 項参照)	(1) 引張強度は，試験片の切断時に至るまでの最大荷重を読み取る。 (2) 伸びは，適当な方法により切断時の標線間距離を1 mm まで測定する。なお，伸びが微小な材料を使用している場合は，装置のつかみ具間距離で代用してもよい。 (3) (1)，(2)の測定は原則として，温度 23±2℃，相対湿度 50±5%の室内で行う。(JIS K 7113 3.2 項参照) (4) 引張速度は，約 200mm／min とする。 (JIS L 1096 8.12 項参照。) (5) つかみ具から1㎝以内で切れたもの，又は異常に切れたものを除き，この分の試験片を追加して試験する。*27)

分類 / 操作	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分 類 Ⅱ(プラスチック材料)	分 類 Ⅲ(繊　維)
④ 浸漬	(1) 23±2℃の温度の試験液中に浸漬後，容器を封じ，23±2℃の温度に調整した空気浴中あるいは液体浴中に浸漬する。 (JIS K 6250 5.1 参照) (2) 試験液は，最初の1週間は1日1回，その後は 1 週間ごとに 1 回かき混ぜる。 (JIS K 7114 4.6 項参照) (3) 2.2 項に規定される数の試験片を，少なくとも試験片の全体積の 15 倍以上で，かつ，全試験片が完全に液中に浸漬できるだけの量の試験液を用いて浸漬する。 必要に応じ試験液を補充するか，又は取替える。 (JIS K 6258 5.5.項参照)	(1) 23±2℃の温度の試験液中に浸漬後容器を封じ，23±2℃の温度に保持した恒温装置内に静置する。 (JIS K 7114 4.2 項参照) (2) 試験液は，最初の1週間は1日 1 回，その後は1週間ごとに 1 回かき混ぜる。 (JIS K 7114 4.6 項参照) (3) 試験液量は試験片の表面積1㎠ あたり 8mℓ 以上とする。 (JIS K 7114 4.6 項参照)	
⑤ 浸漬後の引張強度，伸びの測定及び外観観察	(1) 規定時間浸漬後，試験片を取出し，適当な方法で余分の試験液をぬぐい取った後，直ちに伸び測定用の標線を付け，③(浸漬前の引張強度及び伸びの測定)に従い同一条件で引張強度及び伸びを測定する。 (2) 引張試験時の試験片を観察し，切断具合及び破断面の状態を調べる。		

＜解　説＞

＊25)　伸びの小さい材料は，適当な方法により，切断時の標線間の長さを 0.1mm まで測定する必要がある。

＊26)　標線間の長さを測定することが困難な場合は，つかみ具間距離の変化量を標線間距離の変化量としてよい。

＊27)　繊維の引張試験では，繊維が抜け出る等のため測定値が下方にばらつき易いので試験片のつかみ方法に特別な工夫が必要である。

2. 6　計算

2. 6. 1　質量変化測定

質量変化の測定値の計算と結果の表し方は、表－11 による。

表－11　質量変化の測定値の計算と結果の表し方

項目＼分類	分　類　Ⅰ(ゴム系材料)	分　類　Ⅱ(プラスチック材料)
①　計　　算	○次式によって計算する。 $\triangle W = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$ ここに、△W:質量変化率(%) W_1:浸漬前の空気中の質量(g) W_2:浸漬後の空気中の質量(g) (JIS K 6258〔加硫ゴム及び熱可塑性ゴム－耐液性の求め方〕5.6 項参照) ○計算値は小数点以下1ケタに丸める。 丸め方はJIS Z 8401〔数値の丸め方〕による。	○次式によって計算する。 $M = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$ ここに、M:質量変化率(%) M_1:試験片の試験前の質量(g) M_2:試験片の試験後の質量(g) (JIS K 7114〔プラスチック－液体薬品への浸漬効果を求める試験方法〕5.4 項参照) ○計算値は小数点以下 1 ケタに丸める。 丸め方はJIS Z 8401 による。
②　結果の表し方	○結果は、①(計算)で規定した方法で計算した測定値3個の平均によって表す。 ○計算値は小数点以下1ケタに丸める。 丸め方はJIS Z 8401 による。	○結果は、①(計算)で規定した方法で計算した測定値3個の平均によって表す。 ○計算値は小数点以下 1 ケタに丸める。 丸め方はJIS Z 8401 による。

2. 6. 2 引張強度及び伸び変化測定

引張強度及び伸び変化測定値の計算と結果の表し方は表－12

表－12 引張強度，伸びの変化の測定値の計算と結果の表し方

分類 / 項目	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分 類 Ⅱ(プラスチック材料)	分 類 Ⅲ(繊 維)
① 計 算	○ 引張強度及び伸びは次式によって計算する。 1)引張強度 $T_B = \frac{F_B}{A}$ ここに， T_B：引張強度(MPa) F_B：最大荷重(N) A ：試験片の断面積（mm^2） なお，Aの計算は次式とする。 A＝厚さ(mm)×平行部の幅(mm) 2)伸 び*28) $E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$ ここに， E_B：伸び（%） L_0：標線距離（mm） L_1：切断時の標線間距離（mm） (JIS K 6251 8 項参照) ○有効数字は，引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。計算値の丸め方は JIS Z 8401 による	○ 引張強度及び伸びは次式によって計算する。 1)引張強度 $\sigma = \frac{F}{A}$ ここに， σ：引張強度(MPa) F：最大荷重(N) A：試験片の元の最小断面積（mm^2） 2)伸 び*28) $\ell = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ ここに， ℓ ：引張破壊伸び（%） L ：破壊時標線間距離（mm） L_0：元の標線間距離（mm） (JIS K 7113〔プラスチックの引張試験方法〕8 項参照) ○有効数字は，引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。計算値の丸め方は JIS Z 8401 による (JIS K 7118， 8.6 項，8.7 項を参考とした。)	○ 引張強度及び伸びは次式によって計算する。 1)引張強度(単位巾あたり) $K_B = \frac{F}{B}$ ここに， K_B：引張強度(N／cm) F ：切断時荷重(N) B ：平行部の幅（cm） 2)伸 び*28) $\ell = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$ ここに， ℓ ：引張破壊伸び（%） L ：破壊時標線間距離（mm） L_0：元の標線間距離（mm） (JIS L 1096〔一般織物試験方法〕8.14 項を参考とした。) ○有効数字は，引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。計算値の丸め方は JIS Z 8401 による

分類 項目	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分 類 Ⅱ(プラスチック材料)	分 類 Ⅲ(繊 維)
② 結果の表し方	○ 結果(変化率)の表し方は下記による。 1)引張強度の変化率 浸漬前の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{R1}(T_B)=\frac{1}{n}\sum T_{B1}$ 各浸漬時間の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{RL}(T_B)=\frac{1}{n}\sum T_{BL}$ 引張強度の変化率を計算する。 $S_D(T_B)=\frac{S_{RL}(T_B)-S_{R1}(T_B)}{S_{R1}(T_B)}\times 100$ ここに, T_{B1}:浸漬前の各試験片の引張強度(MPa) T_{BL}:浸漬後の各試験片の引張強度(MPa) S_{R1}:浸漬前の平均引張強度(MPa) S_{RL}:浸漬後の平均引張強度(MPa) S_D:引張強度の変化率 n:試験片の数 2)伸びの変化率*28) 浸漬前の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{R1}(E_B)=\frac{1}{n}\sum E_{B1}$ 各浸漬時間の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{RL}(E_B)=\frac{1}{n}\sum E_{BL}$ 伸びの変化率を計算する。 $S_D(E_B)=\frac{S_{RL}(E_B)-S_{R1}(E_B)}{S_{R1}(E_B)}\times 100$ ここに, E_{B1}:浸漬前の各試験片の伸び(%) E_{BL}:浸漬後の各試験片の伸び(%) S_{R1}:浸漬前の平均伸び(%) S_{RL}:浸漬後の平均伸び(%) S_D:伸びの変化率(%)	○ 結果(変化率)の表し方は下記による。 1)引張強度の変化率 浸漬前の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{R1}(\sigma)=\frac{1}{n}\sum \sigma_1$ 各浸漬時間の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{RL}(\sigma)=\frac{1}{n}\sum \sigma_L$ 引張強度の変化率を計算する。 $S_D(\sigma)=\frac{S_{RL}(\sigma)-S_{R1}(\sigma)}{S_{R1}(\sigma)}\times 100$ ここに, σ_1:浸漬前の各試験片の引張強度(MPa) σ_L:浸漬後の各試験片の引張強度(MPa) S_{R1}:浸漬前の平均引張強度(MPa) S_{RL}:浸漬後の平均引張強度(MPa) S_D:引張強度の変化率 n:試験片の数 2)伸びの変化率*28) 浸漬前の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{R1}(\ell)=\frac{1}{n}\sum \ell_1$ 各浸漬時間の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{RL}(\ell)=\frac{1}{n}\sum \ell_L$ 伸びの変化率を計算する。 $S_D(\ell)=\frac{S_{RL}(\ell)-S_{R1}(\ell)}{S_{R1}(\ell)}\times 100$ ここに, ℓ_1:浸漬前の各試験片の伸び(%) ℓ_L:浸漬後の各試験片の伸び(%) S_{R1}:浸漬前の平均伸び(%) S_{RL}:浸漬後の平均伸び(%) S_D:伸びの変化率(%)	○ 結果(変化率)の表し方は下記による。 1)引張強度の変化率 浸漬前の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{R1}(K_B)=\frac{1}{n}\sum K_{B1}$ 各浸漬時間の試験片より得られた引張強度を平均する。 $S_{RL}(K_B)=\frac{1}{n}\sum K_{BL}$ 引張強度の変化率を計算する。 $S_D(K_B)=\frac{S_{RL}(K_B)-S_{R1}(K_B)}{S_{R1}(K_B)}\times 100$ ここに, K_{B1}:浸漬前の各試験片の引張強度(N／cm) K_{BL}:浸漬後の各試験片の引張強度(N／cm) S_{R1}:浸漬前の平均引張強度(N／cm) S_{RL}:浸漬後の平均引張強度(N／cm) S_D:引張強度の変化率 n:試験片の数 2)伸びの変化率*28) 浸漬前の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{R1}(\ell)=\frac{1}{n}\sum \ell_1$ 各浸漬時間の試験片より得られた伸びを平均する。 $S_{RL}(\ell)=\frac{1}{n}\sum \ell_L$ 伸びの変化率を計算する。 $S_D(\ell)=\frac{S_{RL}(\ell)-S_{R1}(\ell)}{S_{R1}(\ell)}\times 100$ ここに, ℓ_1:浸漬前の各試験片の伸び(%) ℓ_L:浸漬後の各試験片の伸び(%) S_{R1}:浸漬前の平均伸び(%) S_{RL}:浸漬後の平均伸び(%) S_D:伸びの変化率(%)

分類 項目	分 類 Ⅰ(ゴム系材料)	分 類 Ⅱ(プラスチック材料)	分 類 Ⅲ(繊 維)
	○ 有効数字は，引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。数字の丸め方はJIS Z 8401 による。	○ 有効数字は，引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。数字の丸め方はJIS Z 8401 による。	○ 有効数字は引張強度にあっては3けた，伸びにあっては2けた求めるものとする。数字の丸め方は，JIS Z 8401 による。

＜参 考＞

＊28）但し，つかみ具間距離の変化量で伸びを測定した場合は，標線間距離をつかみ具間距離と読み替えて計算を行ってよい。

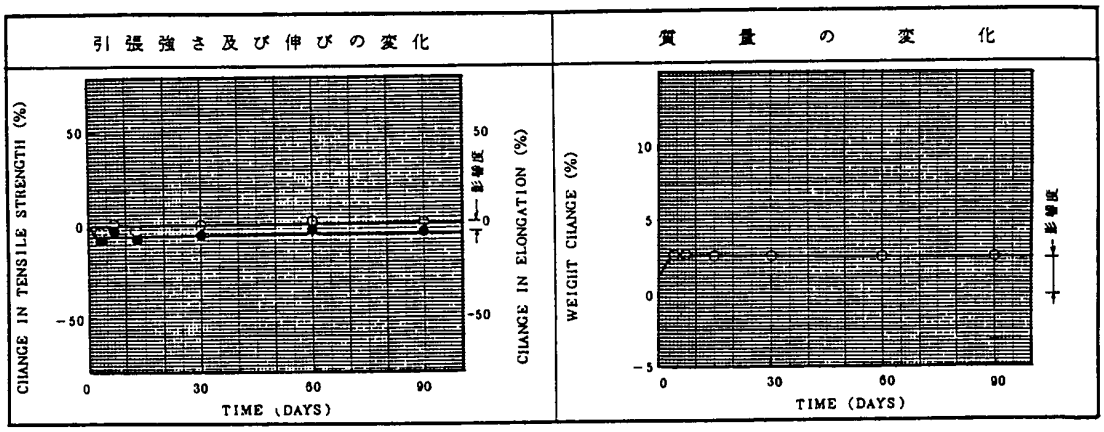
2. 7　結果のまとめ

浸漬期間ごとの引張強度、伸び又は質量の変化率を縦軸、時間（日）を横軸にプロットし滑らかな曲線を描く。

このグラフに基づいて、試験液によって材料の各物性（引張強度、伸び、質量）の変化率が変化する程度（以下影響度という）を求める。

＜解　説＞

＊29）曲線の描き方及び影響度の求め方：一例を下に示す。



図－2　引張強度、伸び及び質量の変化率曲線

＊30）滑らかな曲線を描くため必要であれば移動平均法を用いてもよい。一つの変化率の値が前後の値と比べて大きな相異を示すときは他の物性のグラフも参考にし、誤差として除いて滑らかな曲線を描いてよい場合もある。

＊31）物性値の変化が飽和していないと見られるときには更に継続して試験を行うか、あるいは厚さの薄い試験片を用いる。又は試験液の温度を上げる等の促進条件下で確認試験を行うかして影響度を確認することが望ましい。また、文献や他の類似の試験結果があれば参考にしてよい。

また、物性値の変化の程度が小さく、かつ緩やかなときは 90 日間浸漬した後の値を影響度としてよい。

3. 評価要領

3. 1 評価の考え方

試験結果について、試験液ごとに

○ 材料特性（外観、引張強度、伸び、質量）の変化の程度が小さい材料は、材料として安定しており、工法の初期特性*32)を長期に維持できると評価する。（一次評価）

○ 他方、変化の程度が比較的大きな材料については、更生修理工法の種類に応じて具備すべき特性及び材料の使用状態*33)を勘案して評価する。（二次評価）

つづいて、

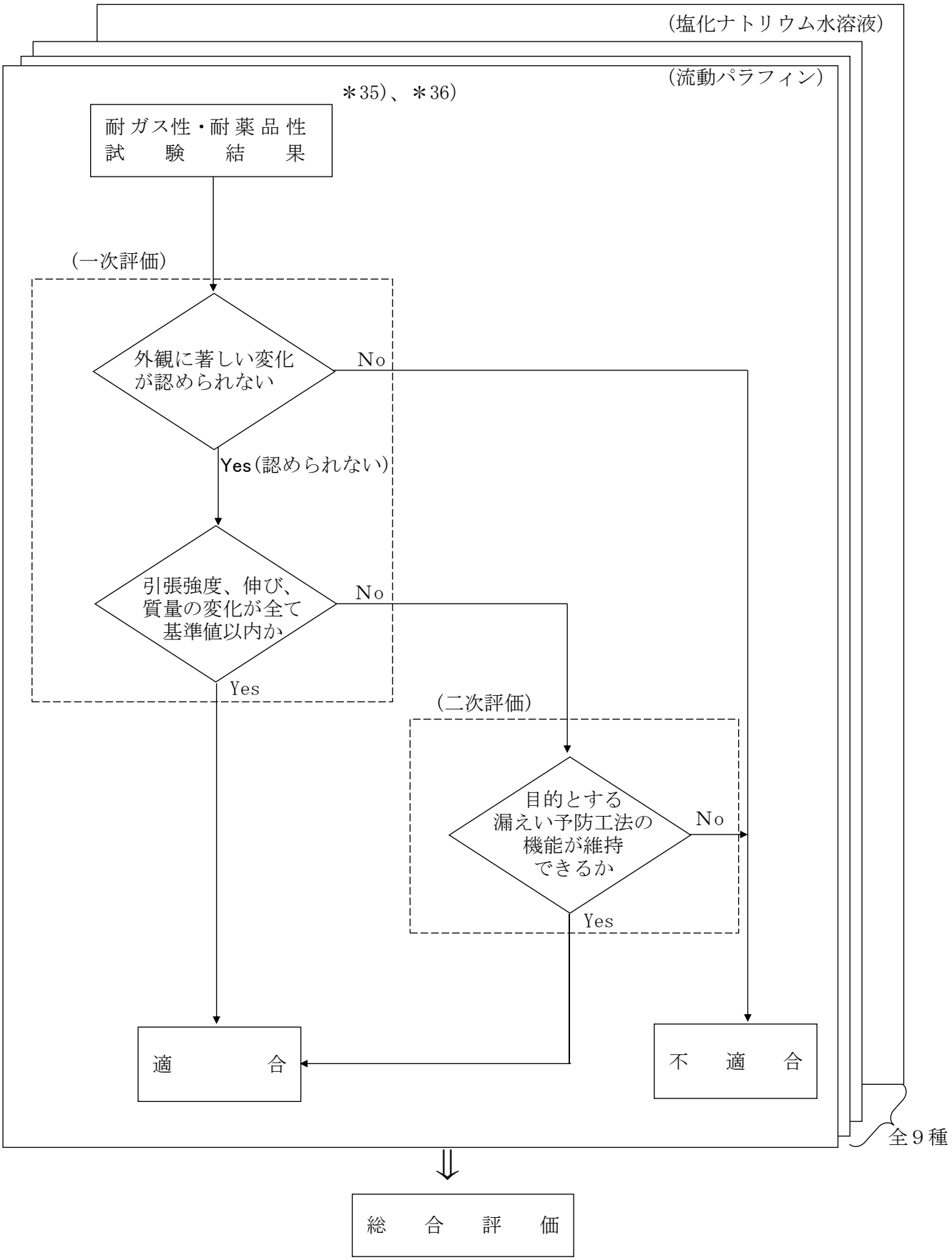
○ 試験液ごとの評価結果に基づいて総合的に評価する。*34)（総合評価）

＜解 説＞

＊32）別に定める繰返し曲げ特性試験、保形性試験、熱加速試験はいずれも材料がガス中成分及び環境成分にさらされていない状態での特性を明らかにするものである。

＊33）材料に期待する特性は、更生修理工法の種類によって大きく異なっている。腐食漏えい予防工法については、材料の強度と伸びのバランスが重要になるが、継手漏えい予防工法については、材料の強度よりも伸びの特性が重要となってくる。

＊34）ある試験液に対して、材料の適合性が認められなかった場合であっても、その試験液が代表するガス中の成分または周囲の土壌環境成分が存在しない状態で使用される場合には、適合と評価できる。



図－3 耐ガス性･耐薬品性評価手順

＜解　説＞

＊35)　ベンゼンの試験結果

ガス中のベンゼン濃度は最大のものでも５ｇ／Ｎ㎥程度である。これはベンゼン流動パラフィン混合液 0.5v／v%に相当する。[2)]

試験液　流動パラフィン 100%、ベンゼン・流動パラフィン混合液のベンゼン 5v／v%、10v／v%、20v／v%における影響度をプロットし、内挿法によりベンゼン 0.5v／v%における値を求める。この値と流動パラフィン 100%における値との差をベンゼンにおける影響度とする。

＊36)　酸・アルカリの試験結果

導管が埋設されている土壌の pH は、通常 4～10 の範囲であるので pH4、pH10 の値をそれぞれ酸、アルカリにおける影響度とする。

pH4 及び pH10 の値は、試験液 pH1、pH3、蒸留水（pH7）、pH11、pH13 における影響度をプロットし、内挿法により求めるものとする。但し、pH1、pH3、pH11、pH13 では、試験液と異常な反応を起こす恐れがあり、正確に pH4 及び pH10 における値を求めることができない場合は、異常な反応を起こす恐れがある領域(pH)を除き、それ以外の 4 水準(pH)を用いて内挿を行うことにより、pH4 及び pH10 における値を求めてもよい。

3. 2　各試験液に対する材料の適合性評価

3. 2. 1　一次評価基準

材料の外観に著しい変化が認められるか否かを観察し、著しい変化が認められる場合は不適合とする。(外観観察)

次に、外観に著しい変化が認められないものについて、各物性(引張強度、伸び及び質量)の変化を判定する。各物性の影響度の値がすべて基準値以内にある場合には適合とし、一つでも基準値を外れる場合には判定保留とする(物性項目の判定)。

(1) 外観変化の評価基準

溶解、粉末化及び破断が観察される場合を、「著しい変化」とする。[＊37)]

(2) 物性項目の影響度の基準値

表－13　物性項目影響度の基準値

変　　化		
引張強度[＊38)]	伸　び[＊39)]	質　量[＊40)]
増加又は 減少　－20%以内 （＋　～　－20%）	増加又は 減少　－20%以内 （＋　～　－20%）	増加　＋　14%以内 減少　　－3%以内 （＋14%～－3%）

＜解　説＞

＊37)　外観変化には試料の溶解、粉末化、鱗状化、亀裂、破断、ふくれ、ねばり、変色、光沢の損失などの変化が考えられるが、その状態を定量的に規定することは困難である。しかし、これらの変化を受けるものは引張強度、伸び又は、質量に著しい変化を伴うと考えられるので、ここでは溶解、粉末化、破断を著しい変化とした。

＊38)　引張強度の変化

引張強度が増加する場合は、特性の向上につながると考えられる。

また、引張強度が減少する場合は、特性の劣化につながるが、材料のバラツキ、測定の精度等を勘案し、20%までの減少は、特性に及ぼす影響は小さいと考える。

なお、Atkinson は曲げ強さの減少を指数化し、評価することを試みており、これも考慮した。

表－14　Atkinson による耐薬品試験評価の指数化 [3)]

指数	曲 げ 強 さ 指 数	
10	強さ減少率((%))	0～10
9	〃	11～20
8	〃	21～30
7		－
6	〃	31～40
5		－
4	〃	41～50
2	〃	51～60
0	〃	60 以上

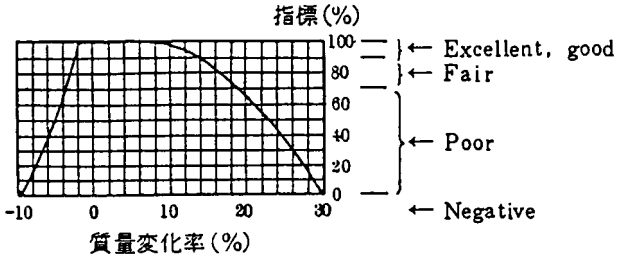
＊39)　伸びの変化

引張強度と同様の考え方にもとづく。

＊40)　質量の変化については、W. H. Adams の評価基準がよく使用されている。[4)、5)]

表－15　W. H. Adams による質量変化の評価基準

評　価	Excellent 優	Good 良	Fair 可	Poor 不　可	Negative ×
質量変化率	±2%	＋2～＋14% －2～－3%	＋14～＋19% －3～－4%	＋19～＋30% －4～－10%	＋30%以上 －10%以下



図－4 評価基準の導出イメージ

3. 2. 2 二次評価基準

一次評価で判定保留となった物性項目ごとに、更生修理工法の種類に応じて具備すべき特性及び材料の使用状態を考慮し、長期にわたり工法の機能が損なわれないかを判定する。判定保留となった物性項目すべてが、漏えい予防工法の種類ごとに以下に定める二次評価基準を満足する場合適合とする。

(1) 継手漏えい予防工法

表－16 継手漏えい予防工法における二次評価基準

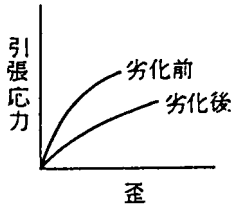
判定保留となった物性項目	考慮する内容	評価基準
引張強度	車両輪荷重による繰返し曲げに対する材料の耐久性が損なわれないか。	(a) 下記のいずれかに該当するとき合格とする。*41) (イ) 伸びの変化が表－13の基準値以内にあるとき。*42) (ロ) 材料が受ける繰返し伸びと比較して相当大きな伸びの残留値を有しているとき。*43)
伸び		(b) 上記(ロ)に準ずる。
質量	膨潤、収縮によって材料に亀裂破断が生じないか。	(c) 下記に該当するとき合格とする。 ○ 工法を適用した短管又は平板テストピースの浸漬試験*44)を行い、材料に亀裂・破断等が認められないとき。

＜解　説＞

＊41)　実管もしくは試験片を試験液で浸漬処理した後、繰返し曲げ特性試験を行うのは直接的ではあり好ましいが、実験条件の設定等に困難を伴うので上記の方法とした。

＊42)　繰返し曲げ特性試験のような定伸長型疲労では、材料の弾性率が小さくなると寿命が長くなる傾向にある。

引張強度が低下しても、伸びは変化しない、もしくは増加する材料は、一般的に弾性率が小さくなる傾向がある。



図－5　劣化前後における引張強度の変化イメージ

＊43)　定伸張型疲労の場合、疲労限界伸びは、引張伸びの 1／5～1／40（繊維類）、1／5～1／15（ゴム類）程度であり、試験液浸漬後の伸びの残留値が車両輪荷重により継手部が受ける最大振幅時の材料の伸びの 40 倍以上（繊維、プラスチック類）または 15 倍以上（ゴム類）あればよい。（参考資料 1、2 参照）

なお、同等の材料で引張伸びと疲労限界伸びの関係が既知のものにあっては、その関係以上の伸びの残留値があればよい。

＊44) 浸漬方法の例

下記①または②の方法で、供試材料の質量変化が飽和するまで浸漬し、材料に亀裂、破断等が認められないことを確認する。

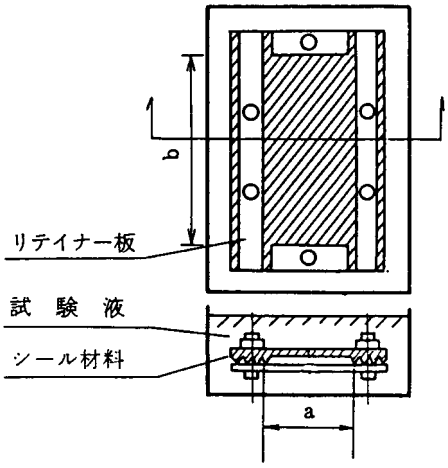
① 実短管の場合:実際に更生修理工法を施工した短管に当該試験液を充満させ、浸漬する。なお、管の長さl、半径r、および膜厚tとの間に

$$\left(\frac{l}{r}\right)^2 \bullet \left(\frac{r}{t}\right) > 200$$

の関係が満たされる様な長さにする。(参考資料 3 参照)

② テストピースの場合:実際の工法に順じた方法で、平板にセットまたはライニングして下記の様な方法で浸漬する。

例)



図－6 ライニング材料の浸漬方法(例)

なお、テストピースの大きさは次の条件を満たすものとする。

$\frac{b}{a} = 2.5$ (参考資料 3 参照)

(2) 腐食漏えい予防工法

表－17 腐食漏えい予防工法における二次評価基準

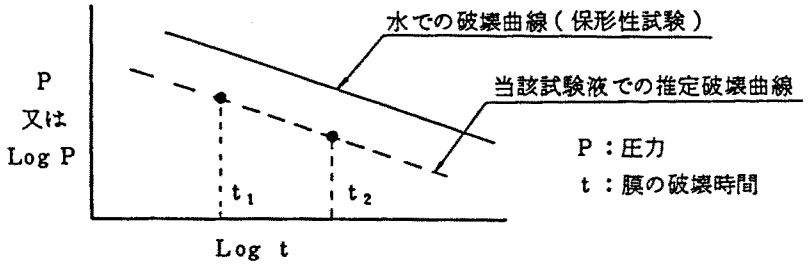
判定保留となった物性項目	考慮する内容	評価基準
引張強度	車両輪荷重による繰返し曲げに対する耐久性が損なわれないか。	(a) 継手漏えい予防工法におげる評価基準(a)に準ずる。
	貫通孔を介して働く外圧に対する保形性が損なわれないか。	(b) 下記のいずれかに該当するとき合格とする。 (ｲ) 試験液に浸漬後の引張強度の残留値が蒸留水における値より大きいか又は同等であり、別に行った保形性試験で長期耐久性があると評価されているとき。 (ﾛ) 試験液に浸漬後の引張強度の残留値が蒸留水における値より小さいときは別に示す方法(注 1)で保形性が確認されるとき。 なお、数種の試験液が該当する場合には最も引張り強さの残留値が小さくなる試験液で確認されれば他の試験液では確認されるものとみなすことができる。
伸び	車両輪荷重による繰返し曲げに対する耐久性が損なわれないか。	(c) 継手漏えい予防工法における評価基準(a)(ﾛ)に準ずる。
質量	膨潤、収縮によって材料に亀裂・破断が生じないか。	(d) 継手漏えい予防工法における評価基準(c)に準ずる。 但し上記(b)(ﾛ)に示す試験により保形性が確認されているとき、合格とみなすことができる。

（注 1）

＜保形性能確認方法＞*45)

当該試験液または試験液が代表する環境成分が含有もしくは存在する状態でライニング膜を膨潤させた後、保形性試験・評価要領書に定める保形性試験方法に準じて2水準の圧力での破壊時間を求める。

次に保形性試験で得られた水の場合の破壊曲線をベースに下図の方法により当該試験液における破壊曲線を求める。



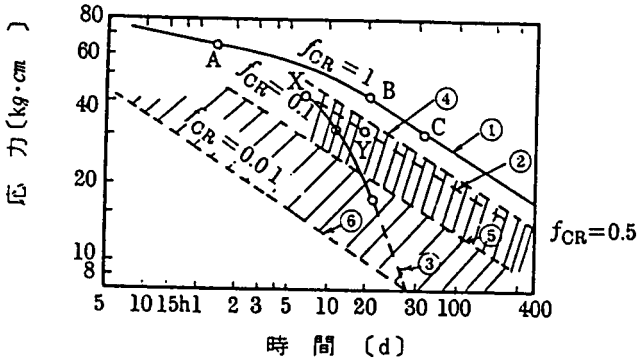
図－7 二次評価における保形性能確認方法

使用状態における荷重条件に対し、長期にわたりライニング膜が圧壊したり、管断面を閉塞したりすることがないと推定できるとき合格とする。

（評価の要領は、保形性試験・評価要領に準じる。）

＜解　説＞

＊45)　Ⅰ．Ehrbar[6)]は下図に示したように、水中におけるクリープ破断曲線を基準として、このB点C点までの時間をt_B、t_cとし、これに対応した薬液中でのt_x、t_Yを求め、その比f_{CR} ＝ t_x／t_B、t_Y／t_cで耐薬品性を表わすことを試みており、この考え方をもとに、判定保留と評価された試験液での劣化度合を評価することにした。



図－8　クリープ破断曲線による耐薬品性評価

①:80℃の水中における高密度ポリエチレンのクリープ破断曲線

②:80℃の腐食性液中における低密度ポリエチレンのクリープ破断曲線

③:同上。ただし、引張り応力の大きさでf_{CR}が変わる場合

耐薬品性評価

①～④間:	f_{CR} ＝ 1～0.5	耐薬品性大
④～⑤間:	f_{CR} ＝ 0.5～0.1	経済上使用可
⑤～⑥間:	f_{CR} ＝ 0.1～0.01	耐薬品性なし
⑥以下　:	f_{CR} ≦ 0.01	短期間で脆性破壊

3. 3 総合評価

試験液ごとの適合性評価結果に基づいて、ガスの種類ごとに下表に示すすべての試験液に対して適合と評価されているとき、当該ガスに適合するものと評価する。

表－18 試験液と使用するガスの関係

ガスの種類	考慮する試験液								
	ガス中の成分を代表する試験液					環境を代表する試験液			
	流動パラフィン*	ターシャリブチルメルカプタン・流動パラフィン混合液	エチレングリコール*	ベンゼン・流動パラフィン混合液	n－ペンタン	蒸留水	硫酸水溶液	水酸化ナトリウム水溶液	塩化ナトリウム水溶液*
天然ガス	○	○	○			○	○	○	○
製造ガス	○	○	○	○		○	○	○	○
液化石油ガス	○	○	○		○	○	○	○	○

但し、＊印を付した試験液が代表するガス中成分又は環境成分は存在しないことがあり得るので＊[46]、これらが存在しないことが確認できるときは、当該試験液に対して必ずしも適合と評価されなくてもよい。

＜解　説＞

＊46)　試験液とそれが代表するガス中成分、環境成分

表－19　試験液とそれが代表するガス中成分及び環境成分の関係

環境		考慮すべき成分	左記成分の一般的な含有・存在状態	試験液の名称	試験液の濃度
耐ガス性	天然ガス	機械油	ごく微量（霧状又はガス状、工場近傍のみ）	流動パラフィン	100％
		付臭剤	10mg／Nm³程度（ガス状）	ターシャリブチルメルカプタン（TBM）・流動パラフィン混合液	1v／v％
		調湿剤	50mg／Nm³程度（フォギングする場合ガス状、ただしフォガー近傍のみ霧状となることがある）	エチレングリコール	100％
	製造ガス	（上記天然ガス3成分に加えて）芳香族炭化水素	5g／Nm³程度（ガス状）	ベンゼン・流動パラフィン混合液	5、10.20v／v％
	液化石油ガス	（上記天然ガス3成分に加えて）鎖状炭化水素	プロパン／ブタン（ガス状）	n－ペンタン	100％
耐薬品性	土壌及び地下水	水	地下水	蒸留水	100％
		酸・アルカリ	pH4～10	硫酸水溶液	pH1、pH3
				水酸化ナトリウム水溶液	pH11、pH13
		塩	海水 3.5wt％程度（海岸付近のみ）	塩化ナトリウム水溶液	5w／w％

＜参考資料-1＞

定伸張型疲労における疲労限界伸びと引張伸びとの関係

添付の表は，標題の2つの伸びを比較したもので，2つの間に次のような関係がある。

$$\frac{\text{疲労限界伸び}}{\text{引張伸び}} = \underset{(\text{繊維系})}{1/5 \sim 1/40},\ \underset{(\text{ゴム系})}{1/3 \sim 1/15}$$

したがって，ライニング膜の継手部の最大振動歪が分かれば，材料の伸びと比較する事で，繰返し曲げに対する耐久性を評価する事が出来ると考えられる。即ち，次の関係が成立すれば繰返し曲げに対する耐久性があると評価出来る。

$$[\text{繊維、プラスチック類}]\quad \frac{1}{40}\times(\text{引張伸び}) = \text{疲労限界伸び} > \text{継手部の最大振動歪}$$

又は

$$[\text{ゴム類}]\quad \frac{1}{15}\times(\text{引張伸び}) = \text{疲労限界伸び} > \text{継手部の最大振動歪}$$

表－1 定伸張型疲労における疲労限界伸びと引張伸びとの関係

材料	疲労限界伸び ε_c(%) N＝10^4回	N＝10^5回	N＝10^6回	引張伸び ε(%)	$\varepsilon_c/\varepsilon$ N＝10^6回
ビスコース	2.3*1)	1.7*1)	(1.1)*1), *2)	19*1)	1／17
アクリル	3.4	2.3	(1.2)	37～48	1／30～1／40
ポリエステル 52	5.1	4.1	(3.1)	35～60	1／11～1／19
ポリエステル 420	5.6	4.4	(3.2)		1／11～1／19
ナイロン 66	7.8	6.2	(4.6)	38～42	1／ 8～1／ 9
ナイロン 6	8.7	7.0	(5.3)	25～60	1／ 5～1／11
天然ゴム（NR）	280	150	80	600～1200	1／7.5～1／15
スチレンゴム（SBR）	200	130	90	300～350	1／ 3～1／ 4
ニトリルゴム（NBR）	150	110	80	500	1／ 6
ブチルゴム（IIR）	200	125	85	600	1／7

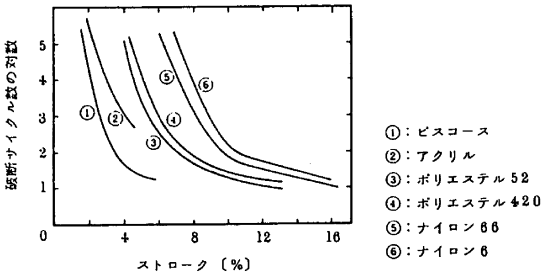
＊1) 表中の値は，添付のデータ集の表あるいは図から読み取り引用した。

＊2) ( )は，ε_cとlogNとが，直線関係にあるとして，N＝10^4，10^5のε_cからN＝10^6のε_cを推定した値である。

データ集

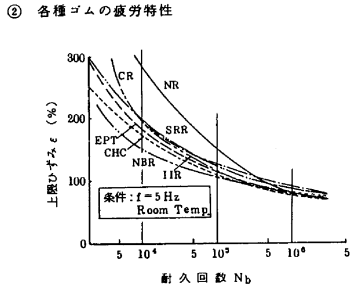
データ1 定伸張型疲労

① 各種繊維の疲労特性



図－1 各種繊維の伸張疲労性

②各種ゴムの疲労特性



図－2 引張振動耐久

データ2 各種材料の機械的特性

① ビスコースレーヨン

表－2 各種繊維の機械的性能[3)]

	ポリノジック	スーパーポリノジック	ハイウエットモジュラス	普通レーヨンステーブル	強力レーヨンテーブル	木綿
乾強度〔g／d〕	3.6～5.0	7.2	4.4	2.5	3.5	3.4
湿強度〔g／d〕	2.5～4.5	7.0	3.1	1.5	2.4	3.9
乾湿強度比〔%〕	70～80	97	71	60	70	115
乾伸度〔%〕	8～12	7	15	19	22	10
湿伸度〔%〕	10～18	8	18	24	28	12
乾湿伸度比〔%〕	110～130	115	120	130	140	120
乾結節強度〔g／d〕	1.1～2.4	2.1	1.8	1.5	1.9	2.9
5%伸張時の湿潤強度〔g／d〕	1.0～1.5	3.7	0.8	0.3	0.3	1.0
0.5g／d荷重時の湿伸度〔%〕	2.1～2.8	1.2	3.9	7.0	8.0	3.0
5%アルカリ処理後						
湿強度〔g／d〕	2.2～4.0	6.2	2.3	1.3	1.2	4.3
湿伸度〔%〕	15～23	9	44	35	56	12
0.5g／d荷重時の湿伸度〔%〕	3.0～5.0	1.4	9.1	16	16	3.8

②アクリル繊維

表－3 エクスランの主要糸質[4)]

比重	1.17
引張強度(乾)〔g／d〕	3.0～3.8
〃 (湿)〔g／d〕	2.6～3.5
結節強度〔g／d〕	2.5～3.4
伸度(乾)〔%〕	37～48
〃 (湿)〔%〕	40～51
ヤング率〔kg／㎟〕	400～650
弾性率(3%伸張時)〔%〕	90～95
瞬間弾性率(3%伸張時)〔%〕	60～68

③ポリエステル繊維

表－4 東洋紡エステルの一般的性質[5)]

		ステーブル	フィラメント
引張強度〔g／d〕	乾燥	4.5～5.5	4.0～5.0
	湿潤	4.5～5.5	4.0～5.0
引張強度〔g／d〕		7.0～9.5	6.5～9.0
結節強度〔g／d〕		3.8～5.0	3.5～4.5
伸度〔%〕	乾燥	35～60	17～25
	湿潤	35～60	17～25
伸び弾性回復率〔%〕 3%伸長時		85～95	93～100
初期引張抵抗度〔g／d〕		25～50	90～160
ヤング率〔kg／㎟〕		310～620	1100～2000
水分率(標準状態)〔%〕		0.35～0.45	
軟化点〔℃〕		215～225	
溶融点〔℃〕		215～245	
比重		1.38	

④ ナイロン

表－6 ナイロン6およびナイロン66の力学的性質[6)]

種類 / 項目		フィラメント				ステーブル		モノフィラメント
		普通糸		強力糸				
		ナイロン6	ナイロン66	ナイロン6	ナイロン66	ナイロン6	ナイロン66	ナイロン6
引張強度 (g／d)	乾	4.8～6.4	4.5	6.4～9.5	7.0～9.2	4.5～7.5	4.0～4.7	4.5～6.5
	湿	4.2～5.9	3.6～4.1	5.9～8.0	5.9～7.9	3.7～6.4	3.7～4.2	3.8～5.9
乾湿強力比 (%)		84～92	80～90	84～92	85～90	88～90	83～90	85～90
伸度 (%)	**乾**	**28～42**	**25～40**	**16～25**	**14～22**	**25～60**	**38～42**	**39～40**
	湿	**35～52**	**30～50**	**20～30**	**18～28**	**27～63**	**42～46**	**35～45**

⑤ゴム

表－5 各種ゴム材料の物性[7)]

ゴム名称	天然ゴム	イソプレンゴム	スチレンゴム	ニトリルゴム	ブタジエンゴム	クロロプレンゴム	ブチルゴム	アクリルゴム	ウレタンゴム
略号(*印は正式)	NR*	IR*	SBR*	NBR*	BR*	CR*	IIR*	AR	UR*
化学名	おもにシス1,4ポリイソプレン	シス1,4,ポリイソプレン	スチレン－ブタジエン共重合体	ブタジエン－アクリロニトリル共重合体	シス1,4ポリブタジエン	ポリクロロプレン	イソブチレン－イソプレン共重合体	アクリル酸エステルまたはアクリロニトリル共重合体	ポリウレタン, AU(エステル) EU(エーテル)
原料ゴムの比重	0.92	0.92～0.93	0.93～0.94	0.96～1.00	0.91～0.94	1.15～1.23	0.91～0.93	1.09～2.00	1.00～1.30
臭気	△～○	○	△～○	△	○	○	○	△～○	○
加工性	◎	◎	◎	△	○	○	○	△	△
硬さ範囲(JIS－A)	10～100	10～100	10～100	10～100	10～100	10～95	10～95	30～95	10～100
反発弾性〔%〕	80～90	70～90	60～80	20～65	70～95	70～85	20～50	30～40	40～90
気密性	△	△	×～△	△～○	○	○	◎	○	○
接着性(対金属)	◎	◎	◎	◎	－	◎	○	－	◎
引張強度〔kg／㎠〕 純ゴム配合	200～400	50～200	15～70	30～70	10～40	150～210	105～210	15～120	200～550
引張強度〔kg／㎠〕 カーボン配合	30～350	－	100～350	50～350	20～200	100～350	100～180	110～180	300～1000
伸び〔%〕 純ゴム配合	600～1200	300～1000	300～350	500	50～200	600	600	100～600	300～1000
伸び〔%〕 カーボン配合	100～600	－	100～800	250～700	200～800	400～1000	400～800	200～320	—
圧縮永久ひずみ	○	○	△～○	△～○	○	△～○	△	○	△
引裂強さ	○	○	×～△	△～○	△～○	△～○	○	△	◎

(参考文献)

1)W. J. Lyons, “Textile, ”Res. J. , 40, 60, 1970

2)吉沢司“資料 防振ゴムの設計と材料の選定(その2)”日本ゴム協会誌, 第49巻, 第4号, P321, 1976

3)繊維学会編“繊維便覧原料編”丸善, P480, 1976

4)3)のP745

5)3)のP853

6)3)のP627

7)宇佐美民雄, 大石不二夫, “ゴム材料の選び方・使い方”オーム社, P160, 1980

＜参考資料-2＞

継手部の最大振動歪（事　例）

事例1. 鋳鉄管継手ライニング工法

図－1の様なモデルで表され，図中のⒶ部が振動によって疲労を受ける。
Ⓐ部の間隙Cは，表－1から80％の確率で2.3mm以上あると考えられる。
また，Ⓐ部は，振動によって次の様な振幅を受ける。

$$\Delta C = 2 \times \frac{D}{2} \tan\theta \qquad D:\text{管径 mm}$$

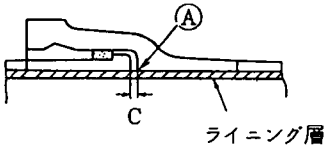
θ :継手の曲げ角度

よってⒶ部のライニング層には，次の歪の繰り返しを受ける。

$$\varepsilon_{max} = \frac{\Delta \ell}{C} = \frac{D \cdot \tan\theta}{C}$$

ここで，D＝150mm　θ ＝0.05°　とすると，

ε_{max}＝0.057＝5.7％



図－1　鋳鉄管継手部の拡大図(例 1)

（上記モデルは継手部の曲げ剛性を無視している。
実際には，継手の間隙の振幅は継手部の曲げ剛性が寄与して更に小さいと考えられる。）

表-1　φ150 印ろう型継手の間隙調査結果

No.	埋設年代	継手の間隙(C)
1	大正 2 年	3.5 mm
2	昭和 2 年	1.3
3	昭和初期	3.3
4	明治	3.3
5	昭和 2 年	2.5
6	明治 42 年	6.0
7	昭和 6 年	2.4
8	昭和 8 年	4.0
9	昭和 3 年	1.9
10	明治 42 年	7.0
11	昭和初期	5.3
12	明治 42 年	4.3
13	昭和 41 年	2.0
14	明治 42 年	4.5
15	昭和 26 年	2.5
16	昭和 2 年	10.5
17	昭和初期	6.8
18	昭和初期	10.0

平均 4.5mm
分散 2.6mm

事例2. 本管継手シール工法

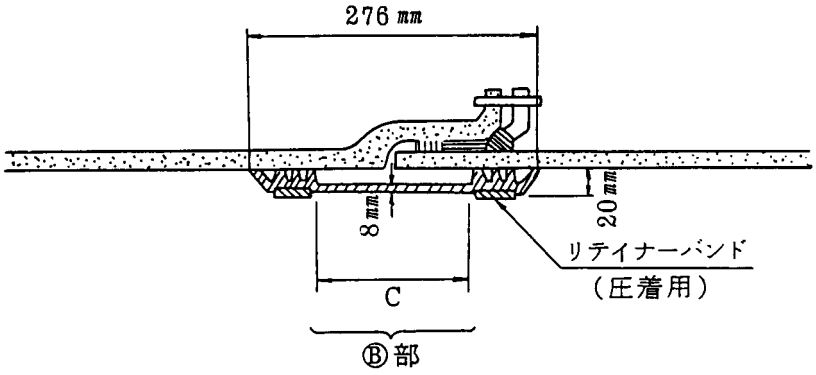
この工法は、図－2 の様なモデルで表され、図中のⒷ部が振動によって疲労を受ける。

この場合も事例1. と同様、Ⓑ部のシール層は、次の歪を繰り返し受ける。

$$\varepsilon_{max} = \frac{D \cdot \tan\theta}{C}$$

ここで、D＝600mm　θ＝0.025°、C＝100mm とすると、

ε_{max}＝0.0026 ≒ 0.3%



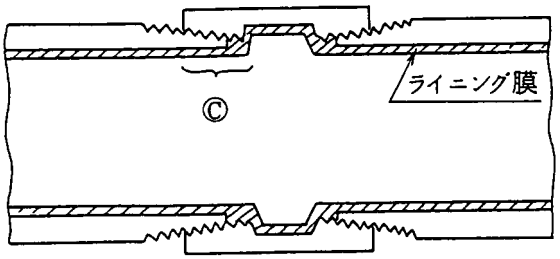
図－2 鋳鉄管継手部拡大図(例 2)

事例3. 支管継手ライニング工法

この工法は、図－3 の様なモデルで表され、図中の©部が振動によって疲労を受ける。

ライニング膜に歪ゲージを貼り付け、歪を実測したデータによると、0. 02° の曲げ角度に対し、約 30μの歪が発生する。安全率 2.5 を取ると、継手部の最大振動歪は次の様になる。

ε_{max} ＝ 75μ ≒ 100μ＝0.01%



図－3 ねじ継手部拡大図

＜参考資料-3＞

実短管及びテストピースの大きさ

(1) 実 短 管

管の内面にライニングされた膜が膨潤すると圧縮の内部応力が働き，あたかも，円管に外部より静水圧が加わっている状態になる。その結果，ある状態で座屈し大変形を起こす。

そこで，今回の実短管長さの設定は，円管モデルで，無限長とみなせる長さ((1)式)により決定した。

$$\left(\frac{l}{r}\right)^2 \bullet \left(\frac{r}{t}\right) > 200 \qquad (1)$$

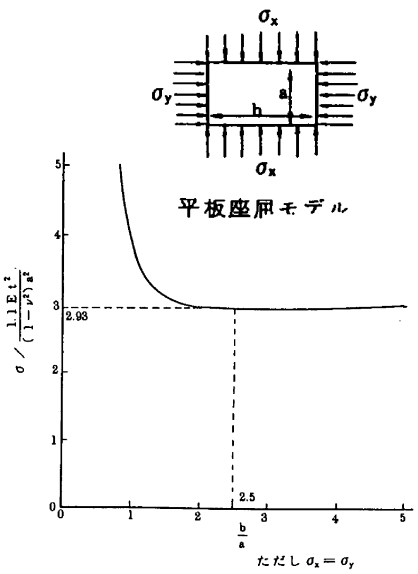
l:管の長さ
r:管の半径
t:膜の厚さ

(2) テストピース

ライニングされた膜の膨潤による座屈は，平板の座屈と類似しており，四辺固定の時の座屈応力は(2)式で表される。そこで，均等に膨潤したとして，σ_x と σ_y を等しく取り，この時の座屈応力が最小となるb／a を求めると 2.5 となる。よって，これをテストピースの大きさとした。

$$\sigma_x + \frac{a^2}{b^2}\sigma_y = 1.1\frac{Et^2a^2}{1-\nu^2}\left(\frac{3}{a^4} + \frac{3}{b^4} + \frac{2}{a^2b^2}\right) \qquad (2)$$

$$\left(\text{ただし}\ \frac{a}{t} > 10\right)$$



図－1 b/a と座屈応力の関係

(参考文献):Raymond J. Roark, Warren C.Young,
"Formulas for Stress and Strain", fifth edition, McGraw －Hill Kogakusha, LTD.

（参考文献）

1）奥田　聰：“プラスチックによる防食技術”、日刊工業新聞社 1982.

2）錦織　彰・大石幹男：“硬質塩ビ管の耐ベンゼン性試験”、大阪瓦斯総研、Vol. 5、№2、pp179－186、1966.

3）H. E. Atkinson：ASME 冬期年次大会、1961.

4）W. H. Adams and H. H. Ledach：“New C orrosion Test for Plastics”、Chemical Engineering. pp98－108 July、1949.

5）伊藤　公正：“プラスチックデータハンドブック”、工業調査会、1980.

6）J. Ehrbar:“Kunststoffe”、53⑪、845、1963.

7）ASTM D2 552－69：“Standard Test Method for Environmental Stress Rupture of Type Ⅲ Polyethlenes Under Constant Tensile load”.

8）若林　一民・安藤　弘道・大久　一考：“構造接着に期待されるエポキシ樹脂接着剤ダイヤモンド№2700 シリーズ特性と性能”、接着、271 巻 1 号、pp19－26、1983.

9）R. A. Gledhill and A. J. Kinloch：“Weathering of Epoxy Resin Adhensive” The Weathering of Plastics and Rubbers ppD.1～D.12.

Ⅱ.2-5 熱加速試験・評価要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　試験要領

2．1 試験概要

2．2 試験片仕様

2．3 試験温度と養生時間

2．4 試験雰囲気

2．5 測定物性項目及び測定条件

3.　評価要領

3．1 解析モデル

3．2 解析手順

3．3 評価

＜参考資料＞熱加速試験の試験結果(事例)

1. 適用

開発された工法が、更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを確認する一環として、経年による物性変化に対する当該工法の主要材料(熱硬化性樹脂)の長期耐久性を明らかにする試験及び評価の方法について定める。*1) *2) なお、本試験を実施したが、主要材料の組成等の影響により、有意な結果が得られない場合*3)は、通常の評価基準年数(腐食漏えい予防工法:11 年、継手漏えい予防工法:15 年)を設定するものとする。

＜解 説＞

＊1) 本試験は、更生修理材料としての長期耐久性が確認されているエポキシ系樹脂を除く、新たな樹脂材料（主に熱硬化性樹脂）について実施するものである。エポキシ系樹脂については、40 年以上の長期耐久性が確認されていることから、本試験を実施する必要はない。

＊2) 反転シール系工法においては、その機能は主に樹脂部分により担保されていると考えられるため、樹脂部分についてのみ熱加速試験を実施すればよいこととした。

＊3) 2 種類以上の系統からなる配合を施した樹脂等については、一部にこのような傾向を示すものがある。

2. 試験要領

2.1 試験概要

本試験は評価基準年数満了に至るまで、樹脂塗膜が安定した物性を保持し続けるか確認するために実施するものである。以下に示す試験条件に従い、試験片を加速養生した後、引張強度の測定を行う。得られたデータよりアレニウスプロットを行い、樹脂塗膜のライフパターンを導出する。

2.2 試験片仕様

(1) 試験片形状

JIS K 7113(プラスチックの引張試験方法)に規定する 2 号形試験片など、JIS、ASTM 規格から適切な試験片を選択することができる。*4)

(2) 試験片形状測定方法

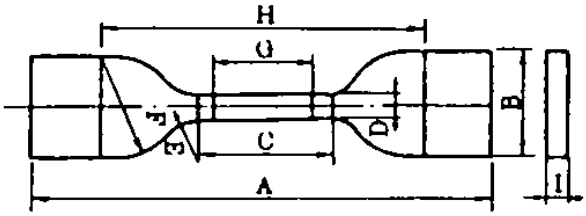
試験片は試験前に標線間において、少なくとも 3 点以上の箇所で幅及び厚さを測定する。

＜解 説＞

＊4) 適切な試験片は、JIS、ASTM規格に指定された各種引張試験片を指すが、ここでは一例としてJIS K 7113に規定されている2号試験片の形状を示す。なお、本試験片は一例であるため、その他JIS規格等引張試験片を適宜選択してもよい。

表－1 熱加速試験で使用する試験片仕様

(JIS K 7113 2 号試験片)



	試験片種類		
	2 号	2 号(1/2)	2 号(1/3)
A:全長	115	60	57
B:両端の幅	25±1	12±1	8±0.5
C:平行部分の長さ	33±1	16±1	11±1
D:平行部分の幅	6±0.4	3±0.2	2±0.2
E:小半径	14±1	7±0.5	4.7±0.5
F:大半径	25±1	12±1	8±0.5
G:標線間距離	25±1	12±0.5	8±0.5
H:つかみ具間距離	80±5	40±2	27±2
I:厚さ	2±1	2±1	2±1

2.3　試験温度と養生時間

試験温度及び試験片の取出し時間は、40 年相当までの加速を行うことができるよう、任意に設定を行う。*5)、*6)

＜解　説＞

＊5)　樹脂の加速率は、使用樹脂の性状によって大きく異なる。従って、一義に試験温度と試験片取出し時間を決定することは不可能である。

＊6)　表－2 に標準的な試験温度及び試験片の取出し時間を示す。本試験温度及び試験片取出し時間は、あくまで標準的な設定値を示したものであり、適宜試験温度、試験片取出し日数の変更を行ってもよいが、樹脂のガラス転移点付近の温度は避ける方が好ましい。なお、加速率を「1.6」と仮定すると、「120℃×140 日」及び「130℃×85 日」は 40 年に相当する。

表－2 試験温度と試験片取出し時間の関係

試験温度(℃)	サンプル取出し時間(日)
60	20、40、60、80、100、120
70	14、28、40、52、64、78、98
80	8、16、24、32、40、48、56、63、77
90	5、10、14、20、25、30、41、50、61
100	3、6、9、13、15、17、23、33、48
120	14、28、56、140
130	14、28、49、85

2.4 試験雰囲気

本試験は、窒素雰囲気下で実施する。*7)

＜解　説＞

＊7) 空気環境下で熱加速試験を実施すると、樹脂が高温で酸素と接することから、本来の供用下で発生するはずのない異常な酸素との反応を誘発する恐れがある。そこで、酸素との反応を考慮する必要がなく、より現実の使用環境下に近い窒素雰囲気下で実施することとする。

2.5 測定物性項目及び測定条件

以下に、本試験で取得するべき物性項目、その測定条件及び必要となる試験片の数を示す。

表－3 測定物性項目及びその測定条件

物性項目	測定条件	N 数*9)
引張強度 伸び*8)	引張速度:25mm/min 測定環境:23℃±2℃ (その他は JIS K 7113 準拠)	7

＜解　説＞

＊8) 伸びが極めて小さい樹脂の場合は、精度の確保が難しいことから、伸びについては評価しなくともよい。なお、エポキシ系の樹脂の場合、基本的に伸びが少ないため、評価が難しいケースが多い。

＊9) N 数は、1 水準あたりに必要となる試験片の数を示す。なお、試験の精度を担保するため、データの上下を削除し、残りの 5 本で平均を取ることとする。

3. 評価要領

3.1 解析モデル

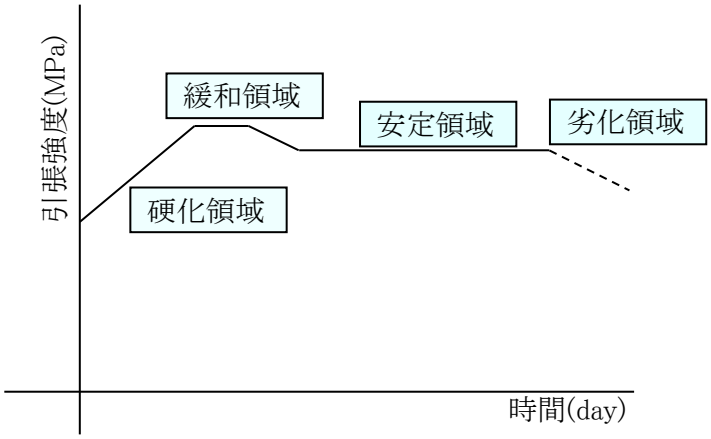
樹脂塗膜のライフパターンは、表－4 に示すように、「硬化領域」、「緩和領域」、「安定領域」、「劣化領域」の 4 つの領域に分類することが可能である。本評価においては、この 4 つの領域ごとに評価を行い、それを取りまとめ、当該樹脂塗膜のライフパターンを明確にする。*10)

表－4 樹脂塗膜のライフパターン

硬化領域	樹脂の硬化反応が進行し、樹脂の強度が向上する領域
緩和領域	樹脂の硬化反応に伴い発生した架橋構造の不安定さを解消し、より安定的な架橋構造に変化する領域 (化学反応を伴った変化ではなく、物理的な変化により現れる領域)
安定領域	架橋構造が安定した状態に達し、樹脂に物理的変化及び化学的変化が発生しない領域
劣化領域	架橋構造が変化し、樹脂の強度が低下する領域*9)

＜参　考＞

＊10)　表－4 のライフパターンを図－1 に示す。なお、通常のエポキシ樹脂であれば、施工後 40 年程度の年月で劣化領域が現れる可能性は低いと考えられる。



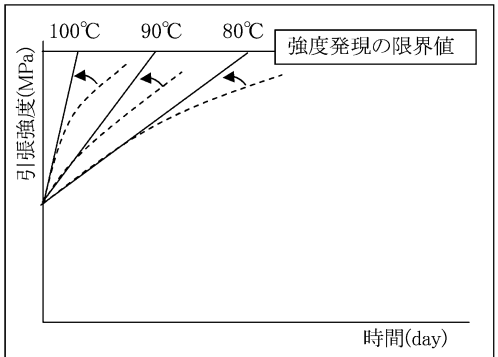
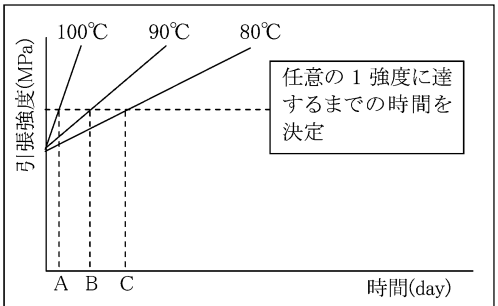
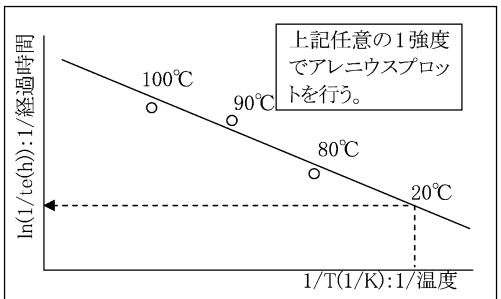
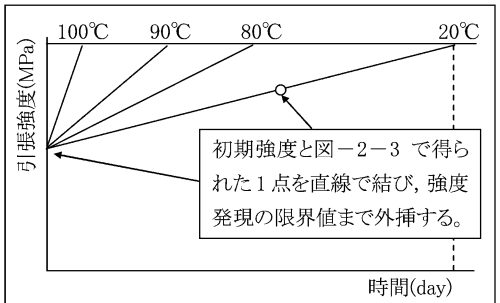
図－1 樹脂塗膜のライフパターン

3.2 解析手順

領域ごとにアレニウスプロットを行うことにより、実使用環境温度下(20℃)におけるライフパターンを作成する(図－1 参照)。以下に領域ごとの解析手順を示す。なお、以下の例は 3 温度水準で記述しているが、7 温度水準であっても同様の処理となる。

（ｉ）硬化領域解析手順

表－5 硬化領域の解析手順

手順	解析手順	イメージ
1	現実には硬化反応と緩和反応は同時並行的に進行するために，引張強度は直線的に変化せず最高強度(=強度発現の限界値)に達するが，本評価においては右図のように直線近似を行う。	 図－2－1 時間と引張強度の関係
2	引張強度を一つ選択し，その引張強度に達するまでの時間を温度毎に読み取る。本解析においては強度変化を直線近似していることから，選択する引張強度については解析者が任意に選択してもかまわず，得られる結果は同一となる。	 図－2－2 時間と引張強度の近似モデル
3	アレニウスプロットを行う。*11)	 図－2－3 アレニウスプロット
4	初期強度とこの 1 点を直線で結び，強度発現の限界値まで外挿する。*12) これが硬化領域のライフパターンとなる。	 図－2－4 通常使用温度環境下における強度変化

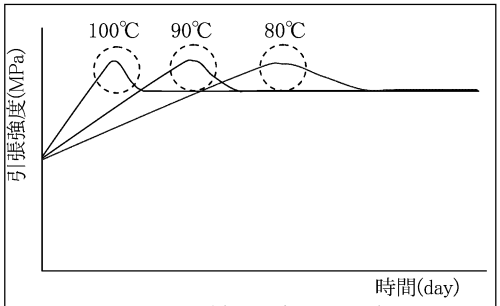
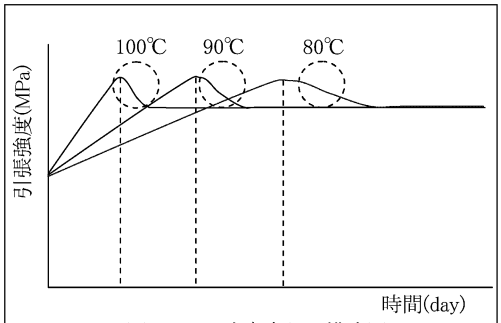
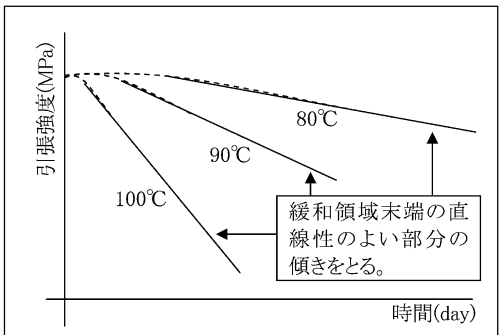
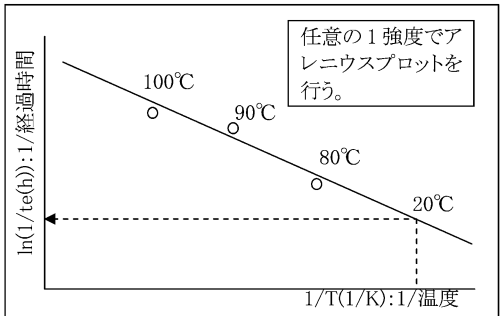
＜参　考＞

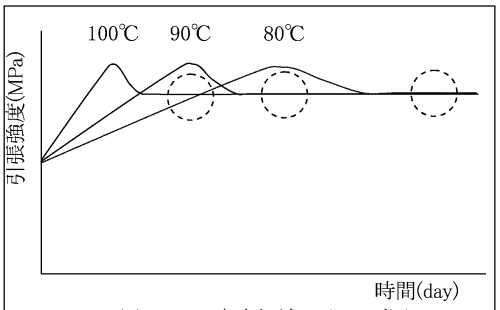
＊11)　アレニウスプロットとは，横軸が「温度の逆数」，縦軸が「経過時間の逆数の対数」であるグラフにプロットすることをいう。通常試験が正確に行われた場合には，ほぼ同一直線上に乗るものである。

＊12)　本領域の解析においては，引張強度は直線的に変化すると近似したことから，図－2－2 でどの引張強度を選択したとしても，同一の直線が得られる。

（ⅱ）安定・緩和領域解析手順

表－6 緩和領域の解析手順

手順	解析手順	イメージ
1	引張強度が低下に転じる点(以下，緩和開始点)について，アレニウスプロットを行う。これにより，実使用環境温度下における緩和開始点を明確にする。*13)	 図－3－1 緩和領域のイメージ図
2	緩和開始点から安定領域に転ずるまでの部分を切り出す。	 図－3－2 強度変化の模式図
3	緩和開始点を０日としたグラフを作成し，直線近似を行う。*14)	 図－3－3 強度劣化の模式図
4	任意の１強度を選択し，アレニウスプロットを行う。これにより，実使用環境温度下における，緩和領域の強度変化を明確にする。	 図－3－4 アレニウスプロット

5	安定領域に存在する全ての測定点の平均値をとり，安定領域での引張強度を導出する。	 図－3－5 安定領域のイメージ図

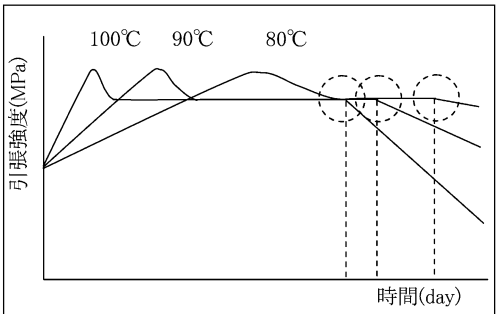
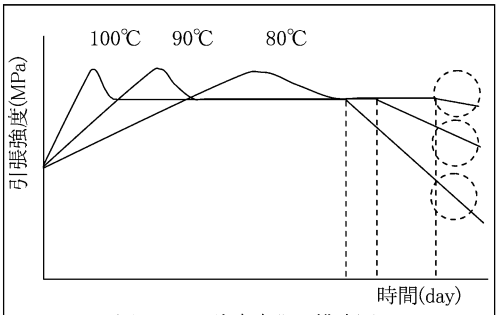
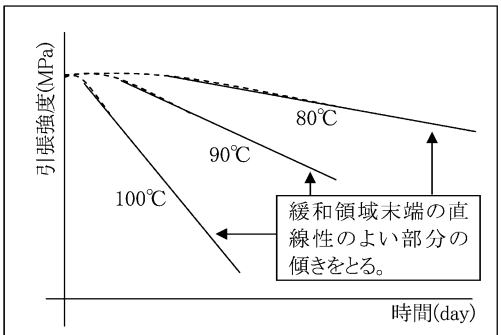
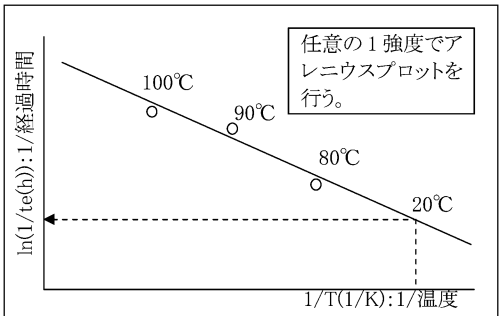
＜参　考＞

＊13)　アレニウスプロットの手法については，硬化領域と同様の処理を行う。

＊14)　本評価においては，取り扱いの容易さから，「硬化領域」，「緩和領域」，「安定領域」，「劣化領域」を明確に分離し，解析を行っている。しかし，現実には各領域が同時並行的に進行することから，各領域の境目においては前領域の影響を受けている可能性が高く，その領域の解析を行う場合，当該領域の境目を使用することは適当ではない。そこで，緩和領域の解析においても，硬化領域との境目(=グラフ上の０日)付近でなく最も直線性のよい部分，即ち，最もその領域の特徴を示している部分を使用することとした。

（iii）劣化領域解析手順

表－7 劣化領域の解析手順

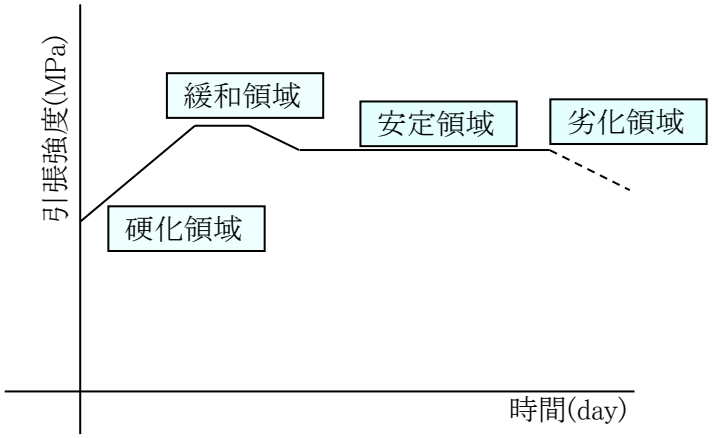
手順	解析手順	イメージ
1	劣化領域に到達し，引張強度が低下に転じる点(以下，劣化開始点)を明確にする。	 図－4－1 劣化領域のイメージ図
2	劣化開始点以降を切り取る。	 図－4－2 強度変化の模式図
3	劣化開始点以降の部分を切り出し，劣化開始点を0日としたグラフを作成する。*15)	 図－4－3 強度劣化の模式図
4	任意の 1 強度でアレニウスプロットを行い，実使用環境温度下における，劣化領域の強度変化を明確にする。	 図－4－4 アレニウスプロット

＜参　考＞

＊15)　本評価においては，取り扱いの容易さから，「硬化領域」，「緩和領域」，「安定領域」，「劣化領域」を明確に分離し，解析を行っている。しかし，現実には各領域が同時並行的に進行することから，各領域の境目においては前領域の影響を受けている可能性が高く，その領域の解析を行う場合，当該領域の境目を使用することは適当ではない。そこで，劣化領域の解析においても，安定領域との境目(=グラフ上の0日)付近でなく，最も直線性のよい部分，即ち，最もその領域の特徴を示している部分を使用することとした。

（ⅳ）ライフパターンの作成

最終的に、硬化領域から劣化領域に至る解析結果を取りまとめ、図－5 に示す通り、樹脂のライフパターンを作成する。＊16)、＊17)



図－5 樹脂塗膜のライフパターン

＜参　考＞

＊16）　手順は以下の通りである。

① 図－2－4 で得られた硬化領域の引張強度変化直線を記入する。

② 強度発現の限界値まで達したら、そのまま緩和開始点まで直線を引く。

③ 緩和開始点から、緩和領域の強度変化直線を引く。

④ 安定領域の引張強度をそのままに、劣化開始点まで直線を引く。

⑤ 劣化開始点から、劣化領域の引張強度変化直線を引く。

＊17）　劣化領域は、施工後 40 年程度の期間では、現れない可能性が高い。

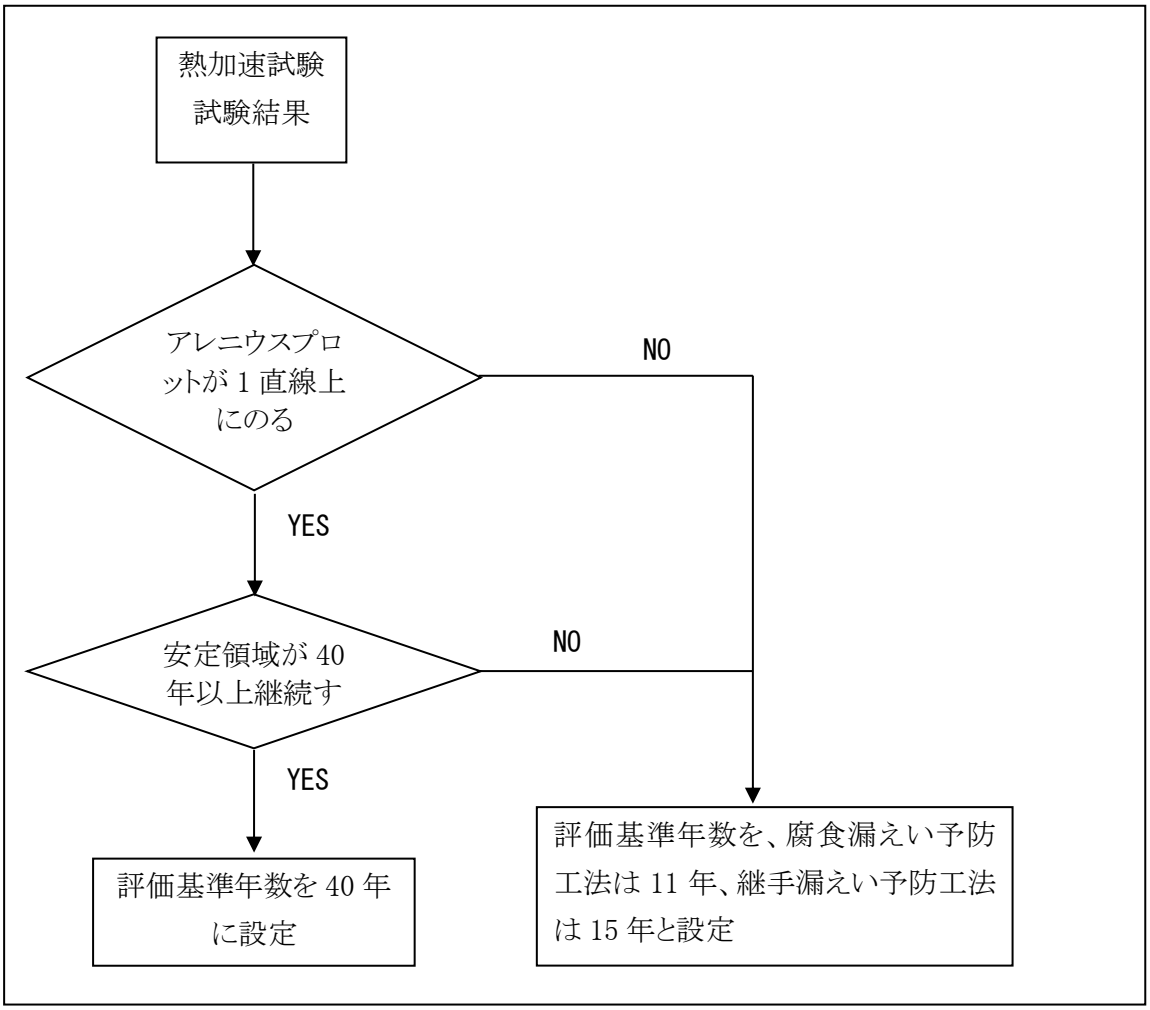
3.3 評価

評価は図－6 のフローに従い行う。

まず第一に、各領域のアレニウスプロットがほぼ同一直線上に乗っているといえるか確認を行う。全く同一直線上に乗っていない場合は、当該樹脂には正確な加速促進ができなかったと判断して、通常の評価基準年数を採用するものとする。*18)

一方、アレニウスプロットがほぼ同一直線上に乗った場合は、得られた樹脂塗膜のライフパターンから判断を行う。即ち、安定領域が更生修理工法施工後 40 年以上続くことが明らかな場合は、次章（Ⅰ.4 更生修理工法モニタリング実施要領書）で示す通り、評価基準年数を 40 年と設定することができる。

それ以降については、次章（Ⅰ.4 更生修理工法モニタリング実施要領書）に基づき、モニタリングを定期的に実施し、安全性が確認できる間は、運用を継続できるものとする。



図－6 評価のフロー図

＜参　考＞

＊18)　アレニウスプロットが、同一直線上に全くのらない場合は、温度の影響などにより、実使用環境温度下では起こりえない反応が発生した可能性が高い。このような場合は、ライフパターンの確認を行えないことから、腐食漏えい予防工法は 11 年、継手漏えい予防工法は 15 年の評価基準年数を採用するものとする。

＜参考資料＞

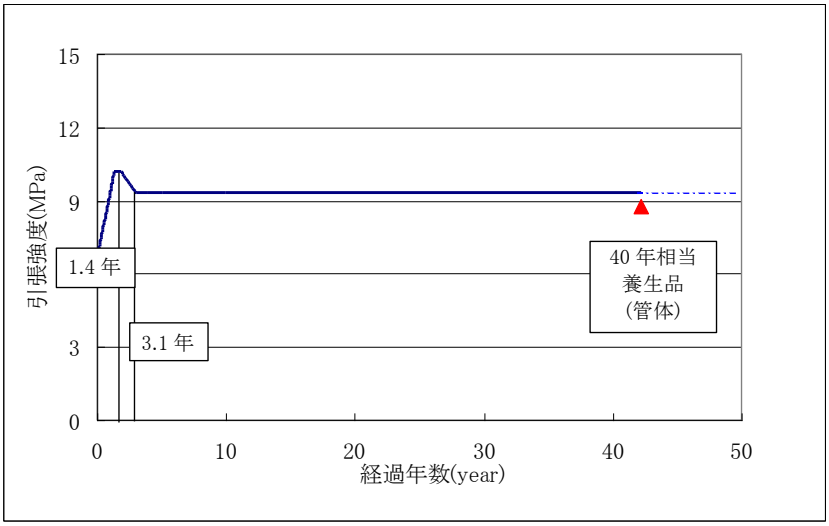
熱加速試験の試験結果（事例）

1. 概要

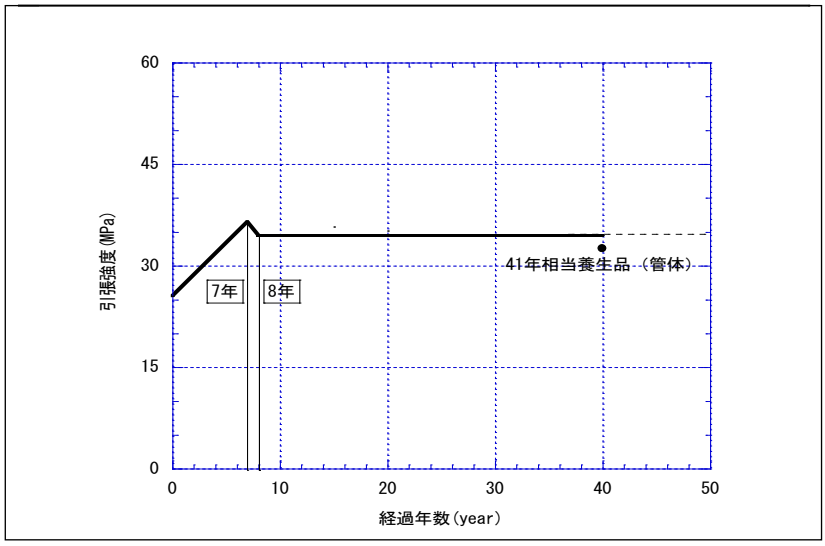
現在運用されている液相法(支管用)と液相法(供内管用)の樹脂に対し熱加速試験を行い、ライフパターンを明確にした。以下に、その結果を参考として示す。

2. 評価結果

液相法(支管用)及び液相法(供内管用)の両工法の樹脂とも、「硬化領域」、「緩和領域」、「安定領域」が存在することが確認された。なお、両工法の樹脂とも施工後 40 年以内には、劣化領域が存在しないことが確認されたため、評価基準年数を 40 年に設定した。



図－1 熱加速試験による推定ライフパターン(液相法(支管用))



図－2 熱加速試験による推定ライフパターン(液相法(供内管用))

（参考文献）

1） 更生修理工法技術研究会：更生修理工法技術研究会最終報告書、社団法人日本ガス協会、2006

Ⅱ.3　更生修理工法モニタリング実施要領書

— 目 次 —

1.　適用

2.　モニタリング実施要領

2.1 モニタリングの概要

2.2 モニタリング方法

2.3 検査・試験概要

3.　材料評価試験実施要領

3.1 評価試験概要

3.2 １次判定試験

3.2.1 強伸度測定

3.2.2 ＩＲ(赤外線分光)分析

3.3 ２次判定試験

3.3.1 分子量測定試験

3.3.2 保形性試験

3.3.3 動的粘弾性試験

4.　管体調査実施要領

4.1 概要

4.2 調査方法

4.3 結果の判定方法

5.　モニタリング結果の記録・保管

＜参考資料-1＞　引張試験片作製方法（事例）

＜参考資料-2＞　掘上品の引張強度に関する換算について（事例）

＜参考資料-3＞　ＩＲ(赤外線分光)分析測定（事例）

＜参考資料-4＞　分子量測定（事例）

＜参考資料-5＞　保形性試験供試管作製方法（事例）

1.　適用

更生修理工法適用後、当該路線の更生修理材料の物性値や、配管の状態について確認することにより、更生修理工法毎に、健全性や評価基準年数*1)以降の供用期間延伸の妥当性について、技術的に検証するモニタリング方法について定める。

＜解　説＞

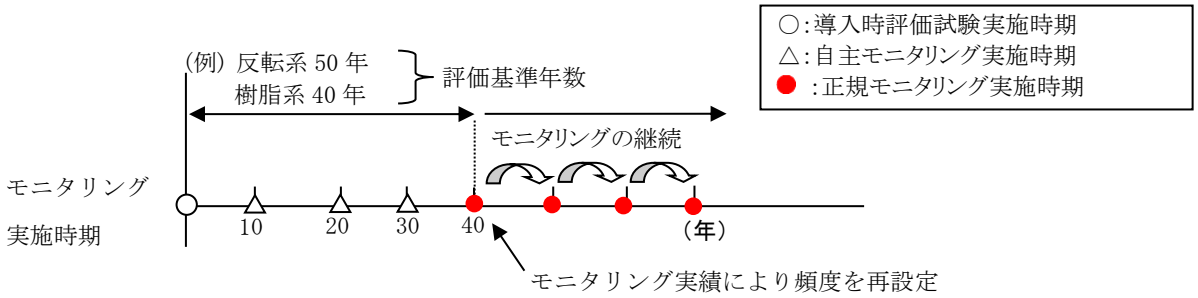
＊1)　評価基準年数とは、工法に対する期待寿命ではなく、供用可能であることを性能評価した期間である。

2.　モニタリング実施要領

2.1　モニタリングの概要

モニタリングは更生修理工法を適用した路線における更生修理材料の適用時（初期品*2)）と比べた経年劣化の程度を確認（材料評価試験）することにより、供用期間延伸の妥当性について技術的に立証する目的で行われる。さらに、腐食漏えい予防工法を適用した路線は、配管そのものの劣化状況についても併せて確認（管体調査）するものとする。

評価基準年数までは、事業者が自主的に熱加速試験等により予測した樹脂材料の物性に関するライフパターンの妥当性を検証する目的で他工事機会などを捉え 10 年程度を目安に自主モニタリングを実施することを推奨する。評価基準年数以降は、供用期間の延伸とその妥当性の検証のため正規モニタリングを継続的に実施する必要があり、その頻度は、それまでに実施したモニタリング評価結果をもとに臨機かつ適切に設定する。



図－1　モニタリングのイメージ

＜解　説＞

＊2)　初期品とは、経年していない（経年数 0 年）材料サンプルを示す。ただし、樹脂ライニング系工法については、Ⅱ.2-5 熱加速試験・評価要領書の 3.1 解析モデルにおいて示した、安定領域の物性に達した材料サンプルのことを指す。

2.2　モニタリング方法

モニタリングで実施する材料評価試験及び管体調査について、下表のとおりまとめる。

表－1　モニタリング実施内容

種類	概要	実施者*3)
材料評価試験	更生修理工法材料について初期品と比較した経年劣化の有無を各種試験により確認するもの。	原則開発事業者
管体調査	管体の腐食状況が、埋設年とモニタリング実施年から予測される腐食の程度*4) に対し、著しい差異があるかどうか確認するもの。	腐食漏えい予防工法を適用した全事業者

＜解　説＞

＊3)　材料評価試験については、事業者間でガス成分の大きな差がないことから、原則として工法を開発した事業者が代表して実施する。管体調査については、埋設環境が地域によって異なることから、腐食漏えい予防工法を適用した全事業者が実施する。

＊4)　予測される腐食の程度については、Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書の参考資料-1「保形性試験におけるモデル貫通孔径と評価基準年数の考え方」に従うものとする。

モニタリングは自主モニタリングと正規モニタリングに分類される。それぞれの頻度と数量は下表のとおりである。

表－2 モニタリングの分類

	自主モニタリング	正規モニタリング
目的	熱加速試験等により予測した樹脂材料の物性に関するライフパターンを検証する目的で他工事機会などを捉え、自主的に実施する。	供用期間延伸の妥当性を検証する目的で他工事機会などを捉えて実施する。
実施時期	評価基準年数以前	評価基準年数以降
頻度・数量	工法毎に10年程度を目安に１箇所以上実施。	実施したモニタリング結果を踏まえて頻度・数量を設定する（概ね10年程度を目安に１箇所以上実施）。
掘上方法	他工事機会等を利用する。機会対応等による実績がない場合は別途サンプリングを実施する。*5) 材料評価試験に関しては、適用箇所が少なく、設置場所の掘削が困難な場合や継手部へ適用する更生修理工法*6) 等、実地におけるサンプリング取得が合理的でないものについては、テストフィールドにおけるモニタリングも可能とする。	

＜解　説＞

＊5)　管体調査については、更生修理工法施工路線またはその近傍で実施するものとする。

＊6)　継手部へ適用する更生修理工法は、モニタリングを実施すると評価試験のため更生修理材料が無くなってしまうことから、テストフィールドにおけるモニタリングも可能とする。

実施にあたっては、実現場環境に近い条件（管内はガスで充満、圧力は運用圧力）で実施する必要がある。ただし、口径については、設置スペース等の制限から実現場が大口径であっても、テストフィールドにおけるモニタリング管は小口径でも良い。

2.3　検査・試験概要

自主モニタリングおよび正規モニタリングで実施する検査・試験の一覧を下表に示す。

表－3　検査・試験一覧

種類		検査･試験項目
材料評価試験	1次判定試験	強伸度測定
		IR(赤外線分光)分析
	2次判定試験*7)	分子量測定試験*8)
		保形性試験(腐食漏えい予防工法のみ)
		動的粘弾性試験*9)
管体調査		管体調査(腐食漏えい予防工法のみ)

＜解　説＞

＊7)　２次判定試験については、１次判定試験の結果が不適合であった場合、追加して実施するものである。詳細についてはⅡ.2-5 熱加速試験・評価要領書の 3.材料評価試験実施要領を参照とする。

＊8)　本試験は主に反転シール系工法を対象とする試験である。しかし、これ以外の工法についても、熱可塑性樹脂を使用している工法など分子量測定試験が可能な工法に対しては､反転シール系工法と同様に本試験を実施するものとする。

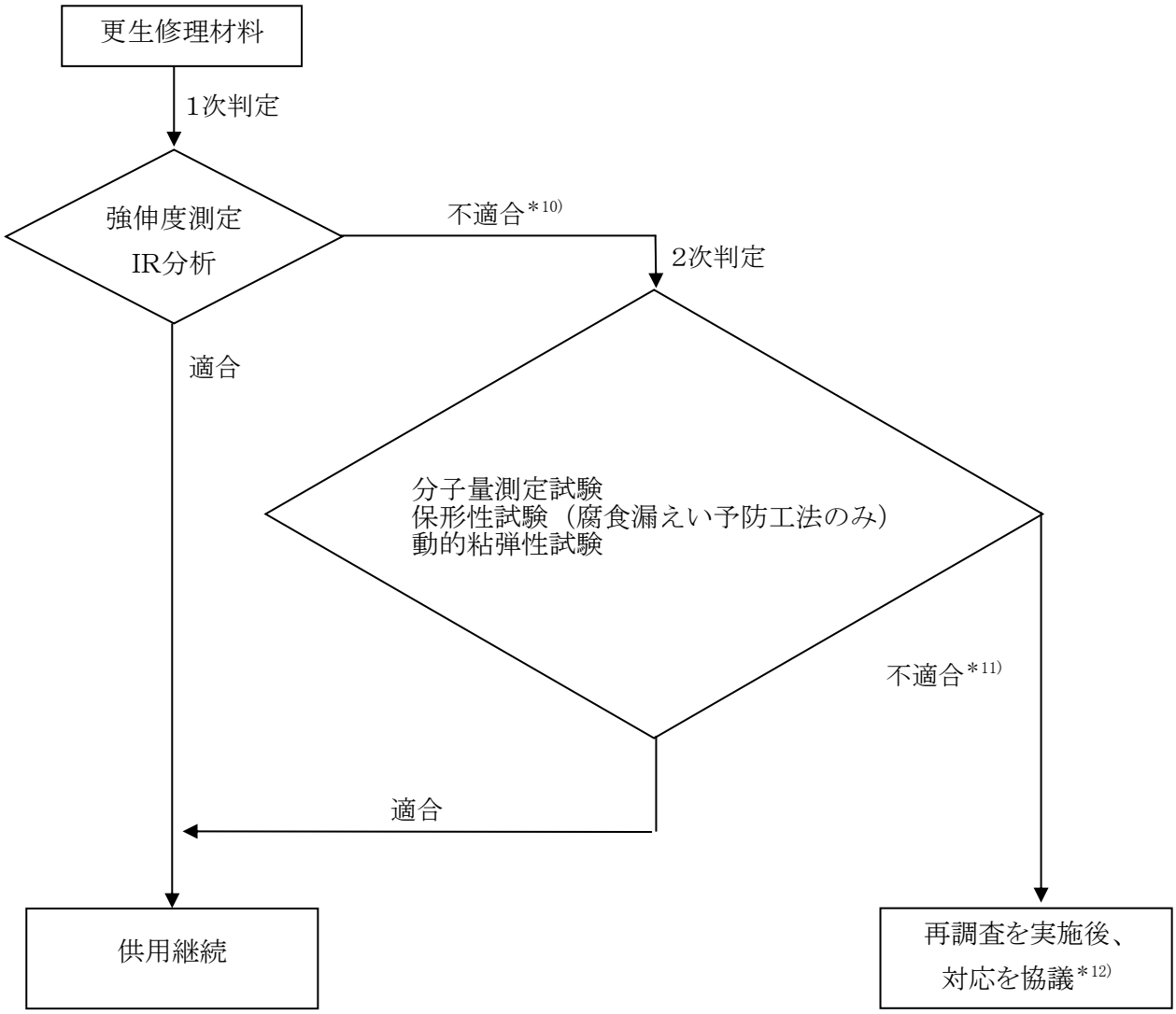
＊9)　本試験は主に樹脂ライニング系工法を対象とする試験である。しかし、これ以外の工法についても、各構成材料を分離でき、動的粘弾性の測定ができる場合には、樹脂ライニング系工法と同様に本試験を実施するものとする。

Ⅱ.2-4 耐ガス・耐薬品性試験評価要領書の 2.2 試験片に準ずる

3.　材料評価試験実施要領

3.1　評価試験概要

材料評価試験については、モニタリングした更生修理材料について、強伸度及びＩＲ(赤外線分光)分析を実施し、導入時評価試験における初期値からの変化率により材料評価試験の合否を１次判定する。１次判定の結果が不適合であった場合は、より詳細な健全性評価に関する２次判定試験を実施する。２次判定においても不適合となった場合は、他の施工箇所からのサンプリングを行い、不適合箇所が局所的なものか否かを判別し、対応を協議する。



図－2　材料評価試験フロー

＜解　説＞

＊10)　材料特性に関する「不適合」との判断は、強伸度測定とＩＲ分析の結果における相関性を考慮し、総合的にくだすべきものである。例えば、強伸度に変化がみられないものの、ＩＲ分析において変化が認められた場合は、その変化が本質的な樹脂の劣化に起因するものなのかそうではないのかを明確にする。その結果、樹脂の劣化反応に起因する変化でないことが確認でき、かつ、強伸度測定の変化が「3.2.1.3 結果の判定方法」に示す規定値以内である場合は、適合と判断してよい。

*11)　１次判定の場合と同様に、２次判定における最終的な「不適合」の判断は、すべての試験結果の相関性を考慮し、総合的にくだすべきものである。例えば、分子量測定試験や動的粘弾性測定試験に変化の兆候が観察されたものの、更生修理工法の漏えい予防性能上もっとも重要な要素である保形性の試験結果が良好な場合は、工法の安全性に特段の問題はないと考えられる。そのためこの場合の判断は「適合」とし、次回モニタリングにおいて当該変化の進行等に特に着目した分析を行うものとする。

*12)　再調査の結果、工法全体の劣化が確認された場合、事業者にて施工箇所の今後の対応について協議するものとする。

3.2　１次判定試験

3.2.1　強伸度測定

3.2.1.1　適用

本試験は１次判定試験であり、初期品と掘上品の樹脂材料の強伸度を測定し、経年による機械的物性の変化を調べることにより、劣化の有無を判定する。

3.2.1.2　試験方法

(1) 試験片仕様

Ⅱ.2-4 耐ガス・耐薬品性試験評価要領書の 2.2 試験片に準ずる。ただし、樹脂ライニング系工法で熱加速試験を実施した場合は、Ⅱ.2-5 熱加速試験・評価要領書の 2.2 試験片仕様に準ずる。また、掘上管から試験片を採取する場合、ライニング管を短冊状に切り出し、ライニング材料を剥がした後、定められた試験片形状に成型する。なお、試験片の表面は凹凸の無いよう研磨する。(参考資料－1 参照)

(2) 試験方法

(a) 反転シール系工法の場合

掘上管から試験片を採取し、Ⅱ.2-4 耐ガス・耐薬品性試験評価要領書の 2. 試験要領に従って、シールホース及び被覆材の引張強度と伸びを測定する。

(b) 樹脂ライニング系工法の場合

下記の試験条件に基づき、掘上品から取得した試験片を用いて、(1)-4 耐ガス・耐薬品性試験評価要領書の 2. 試験要領に従って、引張強度と伸び*13)の測定を実施する。ただし、熱加速試験を実施した場合は、Ⅱ.2-5 熱加速試験・評価要領書の 2. 試験要領に準ずる。

＜解　説＞

＊13)　伸びが極めて小さい樹脂の場合は、精度の確保が難しいことから、伸びについては評価しなくともよい。なお、更生修理工法に多く用いられているエポキシ系樹脂は基本的に伸びが少ないものが多い。

3.2.1.3　結果の判定方法

(1) 反転シール系工法の場合

シールホース（繊維＋接着剤付き）の周方向、筒長方向及び被覆材の強伸度が、初期品の－20%*14)以内であれば、初期品と比較して顕著な変化は認められないと判断する。

(2) 樹脂ライニング系工法の場合

引張強度が安定領域と比較して初期品の－20%*14)以内であれば、初期品と比較して顕著な変化は認められないと判断する。引張強度の値は脱泡処理の有無と試験片の湾曲等に起因する強度への影響を実測に基づいて得た換算係数により処理したものを用いる。(参考資料－2 参照)

＜解　説＞

＊14)　この値については、Ⅱ.2-4 耐ガス・耐薬品性試験評価要領書の 3.2 各試験液に対する材料の適合性評価によるものとする。

3.2.2　ＩＲ(赤外線分光)分析

3.2.2.1　適用

本試験は１次判定試験であり、初期品と掘上品の樹脂材料のＩＲ分析を実施することにより、酸化や加水分解等、供用環境下における想定外の化学変化の同定を行い、劣化の有無を判定する。詳細な判定事例については、参考資料－3 を参照するものとする。

3.2.2.2　試験方法

(1) 概要

ＩＲ分析は、物質の分子構造により赤外線内の一部の波長を吸収する性質を利用し、分子構造の同定を行う分析手法である。具体的には試料に赤外線を照射し、反射光や透過光を集めて分光し、そのスペクトルを取得するものである。波長スペクトルからその物質の分子構造の一部を解析することで、酸化や加水分解等の劣化の有無を判断することができる。

(2) 試験方法

経年ライニング管から採取したサンプルの表面に対し、ＩＲスペクトルを測定する。そのスペクトルと初期品との差スペクトルをとり、ピークの変化を観察することにより、加水分解等の進行による劣化の有無を判断する。試験方法は JIS K 0117 赤外分光分析方法通則に準ずる。

3.2.2.3　結果の判定方法

(1) 評価手順

初期品に存在しないスペクトルピークの増大が見られなければ、劣化は発生していないものと判断する。図－3 に評価手順のフローを示す。

(a) 初期品のＩＲスペクトルを測定する。*15)

(b) 掘上品のＩＲスペクトルを測定する。

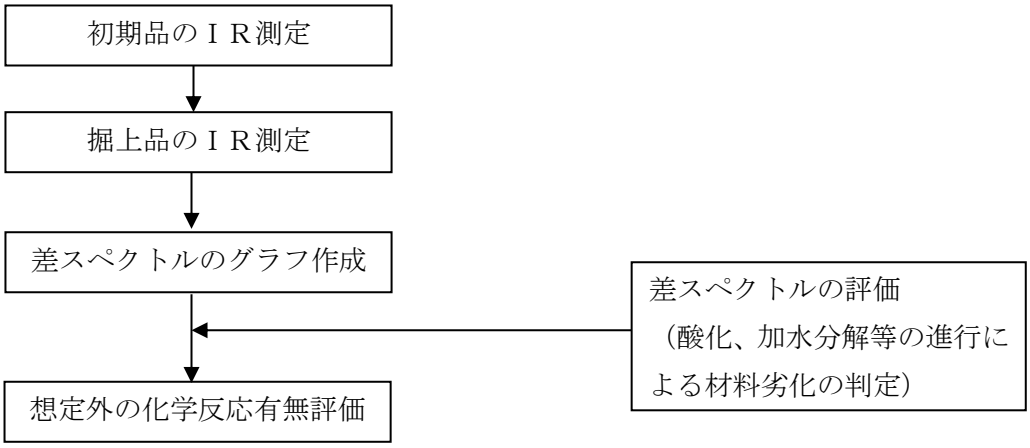
(c) 上記(a) (b)スペクトルの差を取り、グラフ化する。*16)

(d) 酸化や加水分解等、材料劣化に影響する波長の差スペクトルに著しいピークが見られないことを確認する。

＜解　説＞

＊15)　ＩＲスペクトルの測定にあたっては、材料供給元等にヒアリングを行い、劣化の代表的なパターンとその同定に際して着目すべき波長について、事前に把握しておくものとする。

＊16)　差スペクトルは、初期品と掘上品のスペクトルのうち、経年の影響を受けにくい波長（以下、基準波長という）について、初期品および掘上品の透過率（T）のレベルを合わせた後、掘上品の値から初期品の値を引くことにより導出する。



図－3　評価手順フロー

⑵ 評価

酸化や加水分解など、材料劣化に影響する波長の差スペクトルに著しいピークが見られない場合、適合と判断する。一方、特定の波長でピークが発生した場合においては、さらに強伸度測定の結果を加味して、劣化の有無を総合的に判断する。その変化が本質的な樹脂の劣化に起因するものなのかそうではないのかを明確にする。その結果、樹脂の劣化反応に起因する変化でないことが確認でき、かつ、強伸度測定の変化が 3.2.3 結果の判定方法に示す規定値以内である場合は、一次評価適合と判断してよい。

3.3　２次判定試験

3.3.1　分子量測定試験（参考資料－3 参照）

3.3.1.1　適用

本試験は１次判定試験で不適合となった場合に行う２次判定試験であり、主に反転シール系工法に対して実施する評価試験である。*17)分子量の低下を劣化形態の代表的なものと捉え、初期品と掘上品の樹脂材料の分子量を測定することで、劣化の有無を判断する。

＜解　説＞

＊17)　これ以外の工法についても、熱可塑性樹脂を使用している樹脂ライニング系工法のように、分子量測定試験が可能な工法に対しては、同様に本試験を実施するものとする。

図－4　試験装置例（溶液粘度法）

3.3.1.2　試験方法

(1) 概要

一定量の試料（被覆樹脂）を一定量の溶媒に溶かし、一定温度でその溶液の粘性を測定することにより、その樹脂の分子量の変化を調べる溶液粘度法や一定量の試料（被覆樹脂）を一定量の溶媒に溶かし、一定温度で充填剤の詰まったカラムの通過時間（溶媒中における試料分子サイズ（三次元空間を占める体積）の差に基づいて変化する）を計測し、標準物質の分子量と比較することにより、試料の分子量および分子量分布を調べるゲル浸透クロマトグラフ（GPC）がある。上記方法により分子量を測定し、樹脂材料の劣化の有無を判断する。

(2) 試験方法

溶液粘度法試験は、基本的に JIS K 7367-1　プラスチックー毛細管形粘度計を用いたポリマー希釈溶液の粘度の求め方に規定されている方法に準じて実施されるが、測定温度や試料濃度、粘度管形状等の測定条件は試料に応じて任意に調整可能とする。

ゲル浸透クロマトグラフ（GPC）試験は、基本的に JIS K 0124　高速液体クロマトグ　ラフィー通則　に規定されている方法に準じて実施されるが、溶媒、測定温度や試料濃度、カラム充填剤等の測定条件は試料に応じて任意に調整可能とする。

3.3.1.3　結果の判定方法

分子量が標準品の規格値*[18]と比べてその許容誤差範囲内にある場合は、経年による分子量の低下は認められないと判断する。

＜解　説＞

*18)　規格値は更生修理工法の材料供給元に確認するものとする。

3.3.2　保形性試験

3.3.2.1　適用

本試験は１次判定試験で不適合となった場合に行う２次判定試験であり、腐食漏えい予防工法に対してのみ実施する評価試験である。後天的に発生する可能性のある部分的腐食を介して作用する外圧（土圧、水圧）に対する掘上品のライニング膜の保形性を確認し、当初予測した更生修理材料の長期耐久性および供用期間延伸の妥当性を評価する。

3.3.2.2　試験方法

実施方法はⅡ.2-3 保形性試験・評価要領書に準ずる。

(1) 供試管仕様

Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書の 2.2.2 供試管仕様に準ずる。ただし、更生修理工法施工済み掘上管を用いて保形性試験を実施するためには、樹脂塗膜部分を傷つけることなく、掘上管の金属部分のみに擬似腐食孔をあける必要がある。（参考資料－5 参照）

(2) 試験方法

掘上品から製作した供試管を用いて、Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書の 2. 試験要領に従って試験を実施する。

3.3.2.3　結果の判定方法

Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書の 3. 評価要領に従って評価を実施する。

(1) 評価手順

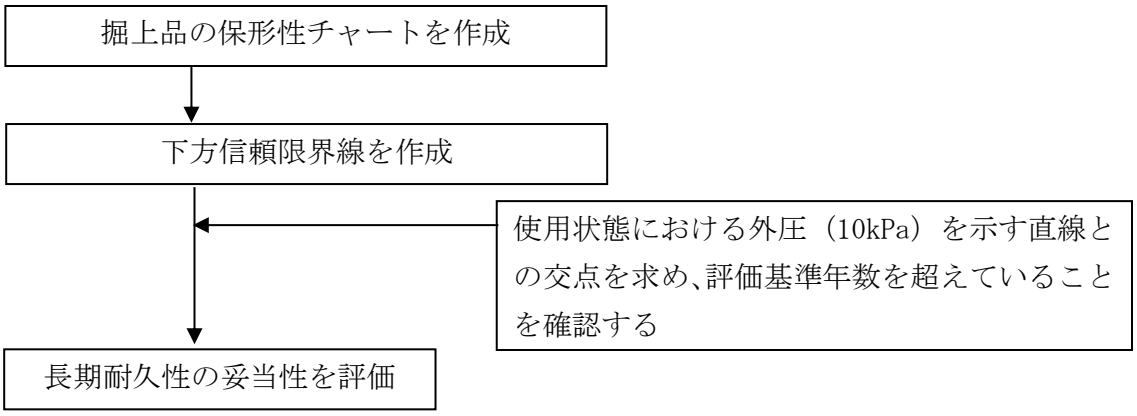
評価基準年数（自主モニタリング）までは、掘上品の加圧圧力と破壊時間との関係を比較し、予測した更生修理材料の長期耐久性が妥当なものであるか判断する。評価基準年数以降（正規モニタリング）は、掘上品の破壊圧力が使用状態で材料が受ける圧力を上回っていることを確認し、供用期間延伸の妥当性を判断する。

(a) 評価基準年数以前（自主モニタリング）*19)

（ｉ）掘上品の圧力と破壊時間の関係を示すチャートを作成し、さらに 95%信頼区間の下方信頼限界線をひく。

（ⅱ）下方信頼限界線と使用状態における外圧（10kPa）を示す直線との交点を求める。

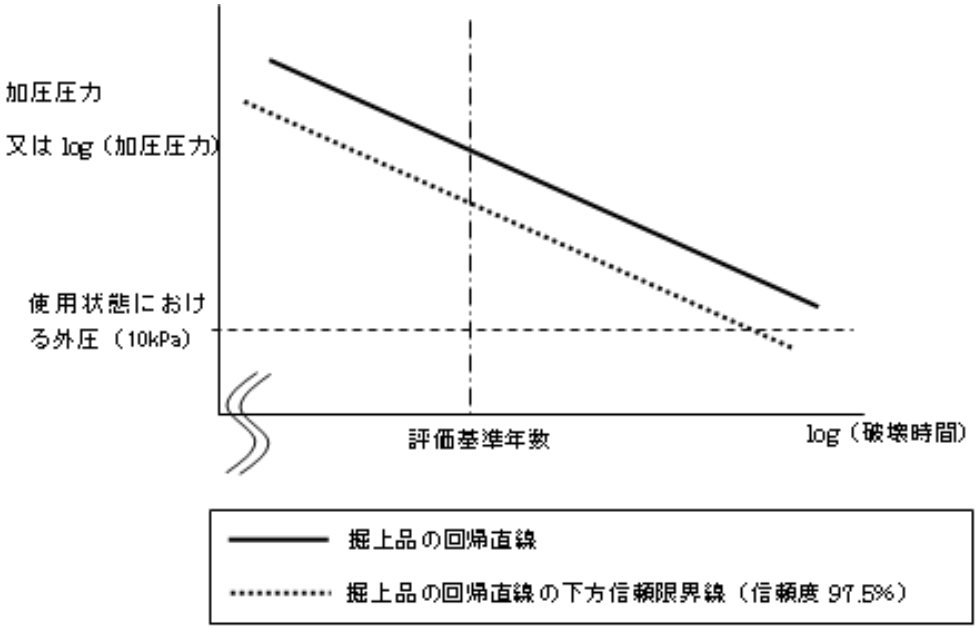
（ⅲ）その交点が評価基準年数を超えていることを確認する。



図－5　評価手順フロー（評価基準年数以前）

＜解　説＞

＊19）　長期耐久性の妥当性評価における、チャートの作成イメージを下図に示す。



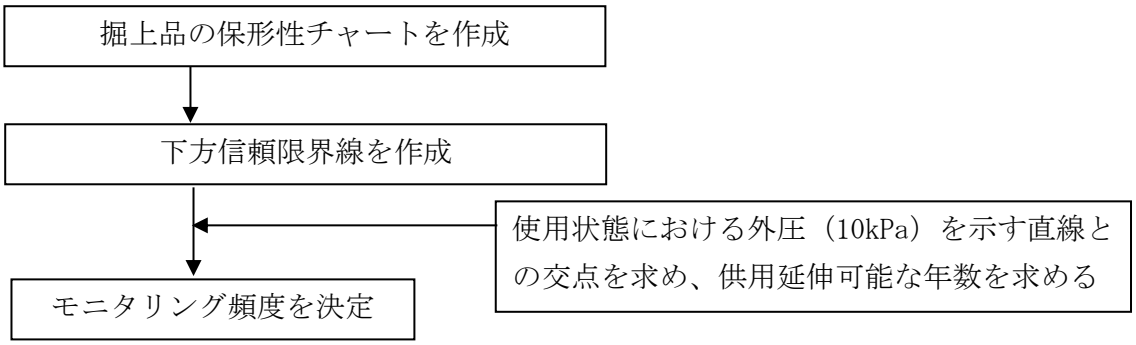
図－6　保形性チャートの作成イメージ（自主モニタリング時）

(b) 評価基準年数以降（正規モニタリング）*20)

（ｉ）掘上品の圧力と破壊時間の関係を示すチャートを作成し、さらに95%信頼区間の下方信頼限界線をひく。

（ⅱ）下方信頼限界線と使用状態における外圧（10kPa）を示す直線との交点を求め評価基準年数からその交点までの期間を供用延伸可能な年数とする。

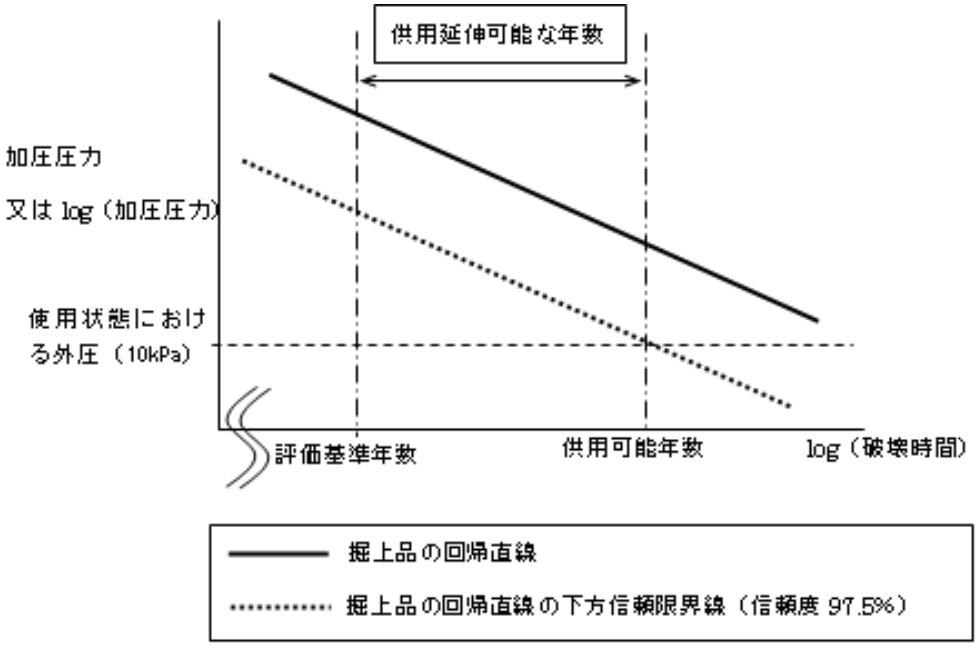
（ⅲ）供用延伸可能な年数から臨機かつ適切にモニタリング頻度を決定する。



図－7　評価手順フロー（評価基準年数以降）

＜解　説＞

＊20)　供用延伸可能な年数の算定にあたり必要となるチャートの作成イメージを下図に示す。



図－8　保形性チャートの作成イメージ（正規モニタリング時）

(2) 評価

評価基準年数（自主モニタリング）までは、掘上品の加圧圧力と破壊時間との関係を比較し、当初の長期耐久性評価が妥当なものであるか判断する。評価基準年数以降（正規モニタリング）は、(1)評価手順に示すとおり、掘上品の破壊圧力が使用状態における外圧（10kPa）より大きいことを確認し、供用延伸可能な年数の推定を行う。

なお当初の長期耐久性評価の予測に反し、著しい相違が観察される場合は、掘上品のサンプル数を増やすなどして、十分な検証を行った上で、その後の対応を協議する。

3.3.3　動的粘弾性試験

3.3.3.1　適用

本試験は１次判定試験で不適合となった場合に行う２次判定試験であり、主に樹脂ライニング系工法に対して実施する評価試験である。*21)経年による樹脂の硬化反応の進行の結果生じた粘弾性の変化を捉えることにより、著しい脆化等の発生による劣化の有無を判定する。

＜解　説＞

＊21)　これ以外の工法についても、各構成材料を分離でき、動的粘弾性の測定ができる場合には、同様に本試験を実施するものとする。

3.3.3.2　試験方法

(1) 概要

動的粘弾性試験とは、試料に対し時間によって振動する歪みまたは応力を与えて、それによって発生する歪みまたは応力を測定することで、試料の力学的性質を把握する方法である。

具体的な測定においては、温度変化を加えつつ、歪みまたは応力を与えることにより、物質の硬さの程度（貯蔵弾性率 E’）、物質の粘りの程度（損失弾性率 E”）、及び硬さと粘りの比（tan δ（E”/E’））を取得し、粘弾性の変化から樹脂材料の劣化の有無を判断する。

表－4 動的粘弾性試験における評価項目

貯蔵弾性率 E’	外力に対して動くまいとする力、つまり試料の硬さの程度を示す。試料が硬さを保持していると 10^8Pa より上に位置する。10^8 Pa 近辺が物性の分岐点で、ガラス状からゴム状へ変化する指標となっている。
損失弾性率 E”	試料に掛けた応力が戻らず吸収される程度を示す。振動等の運動エネルギーを受けた時、どの程度熱エネルギーに変換できるかの程度を示す。イメージとしては、外力を受けた時のアブソーバーとしての性能であり、換言すると「壊れまいとする能力の程度」「外力を逃がす能力の程度」といえる。
損失係数 tanδ（E”/E’）	ピークの位置は見かけのガラス転移点と呼ばれる。時間の経過つまり、硬化の進行（三次元の架橋の進行）と共にピークは右に動く。加熱することで硬化を進めても同様であり、またピークの裾野の広さは分子量分布の広さを示す。

(2) 試験方法

掘上品からサンプルを採取し、ライニング樹脂の動的粘弾性を測定する（DMA）。試験方法は JIS K 7244 プラスチックー動的機械特性の試験方法ーに準ずる。

本試験には、「ねじり」「曲げ」「引張り」「せん断」の 4 種類の変形モードがあるが、一般的な「曲げ」モードを選択する。下表に試験条件を示す。

表－5 試験条件

項目	内容
N数	N＝2 とする
試験条件	・ 変形モード：3 点曲げ ・ スキャン温度：－20℃～120℃

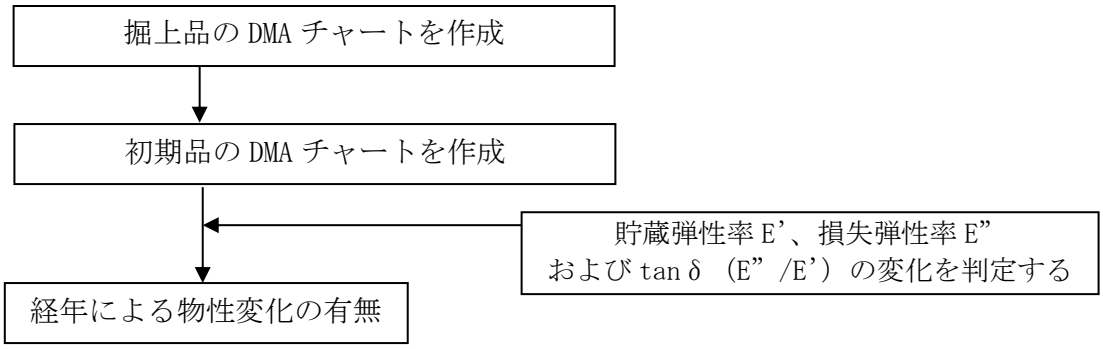
3.3.3.3 結果の判定方法

初期品と掘上品の動的粘弾性特性（DMA）を比較し、経年による貯蔵弾性率 E’、損失弾性率 E”および tanδ（E”/E’）の変化を判定する。

（ⅰ）掘上品の DMA チャートを作成する。

（ⅱ）初期品の DMA チャートを作成する。

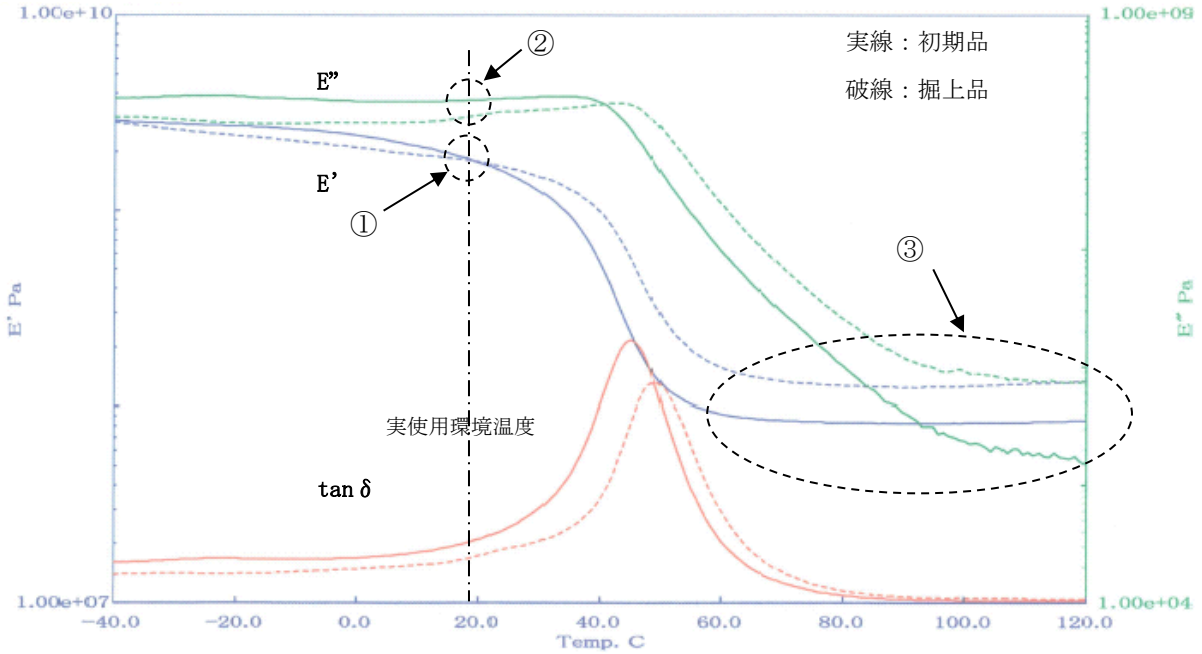
（ⅲ）上記（ⅰ）（ⅱ）より、経年による貯蔵弾性率 E’、損失弾性率 E”および tanδ（E”/E’）の変化を判定する。*22)


掘上品の DMA チャートを作成
初期品の DMA チャートを作成
貯蔵弾性率 E'、損失弾性率 E"
および tanδ（E"/E'）の変化を判定する
経年による物性変化の有無

図－9　評価手順フロー

＜解　説＞

＊22)　DMA チャートによる劣化の有無に関する具体的な判定方法について以下に示す。



図－10　掘上品と初期品のＤＭＡ測定結果例

1)　実使用環境温度下（20℃）において、E’曲線に大きな変化が見られない。また同様に E”曲線についても大きな変化が見れらない（上図の①、②参照）。したがって、掘上品の粘弾性は初期品と同レベルに保持されている。

2)　掘上品の E’は 60℃以上の高温域での挙動がほぼ横ばいであり、急激な低下は見られない（上図の③参照）。

3)　掘上品において貯蔵弾性率 E’の低下する位置や tan δ のピークの高温側へのシフトが見られる。これは施工後、時間経過とともに、架橋が進行したことによるものであり、劣化を示すものではない。

以上の結果より、掘上品は初期品と同等の性能を有していると判断され、劣化は発生していないと判断する。

4.　管体調査実施要領

4.1　概要

本調査は、腐食漏えい予防工法に対してのみ実施するものである。更生修理工法を適用した路線、または適用箇所近傍路線の管体についての腐食状況（腐食の程度及び貫通孔径）を確認し、腐食の進行度合いや予測した腐食速度との乖離に関するデータから、当該路線における更生修理工法の供用の継続に関する妥当性を判断する。

4.2　調査方法

4.2.1　調査長さ

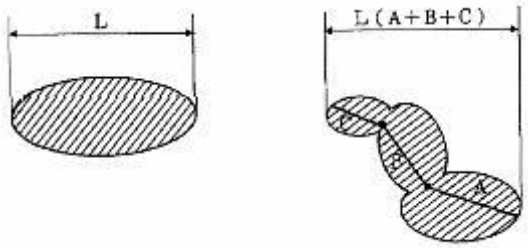
更生修理済み路線の管体を掘削溝に露出させ、腐食の進んでいる部分の 60cm を標準とする。ただし、掘削溝内が狭い場合は、60cm 未満でもよいものとする。

4.2.2　腐食調査

調査箇所表面の泥、土、さびなどを清掃、除去したのち、管表面を検分し、腐食の程度および貫通孔の有無を判断する。なお貫通孔が存在した場合は、その面径*23)を測定するものとする。

＜解　説＞

＊23)　下図に示すとおり、最大面腐食の長手方向の径(L)をスケールで測定する。



4.3　結果の判定方法

腐食の実測値が、想定した腐食速度*24)から予測される値と比べ、著しい差異が無く、その程度も軽微であれば、当該路線における更生修理工法の供用の継続に問題はないものと判定する。

＜解　説＞

＊24)　腐食速度については、Ⅱ.2-3 保形性試験・評価要領書の参考資料を参照のこと。

（参考文献）

1）管体調査情報収集のわかりやすい手引き、社団法人日本ガス協会　1990

5.　モニタリング結果の記録・保管

モニタリングを実施した事業者は、その結果を記録・保管する（書式例を様式１に示す）。

（様式１）

項目	内容
１．事業者名	
２．モニタリング実施日	年　　月　　日
３．モニタリング場所	
４．更生修理工法名及び施工年	①工法名： ②施工年：
５．更生修理工法を適用した供内管の仕様	①圧力： ②管種： ③口径： ④接合方法： ⑤埋設年：
６．検査・試験結果	＜1 次判定＞ ①強伸度測定　（良・否） ②ＩＲ(赤外線分光)分析　（良・否） ＜2 次判定＞ ③分子量測定試験　（良・否） ④保形性試験　（良・否） ⑤動的粘弾性試験　（良・否）
７．管体腐食状況	①腐食程度　（良・否） ②貫通孔　（有・無） ③貫通孔の面径
８．特記事項	

〔報告書作成者名　　〕

備考）モニタリング実施場所が分かる供内管図などを添付すること。検査･試験結果及び管体腐食状況についてはデータ表、写真なども添付すること。

＜参考資料-1＞

引張試験片作製方法（事例）

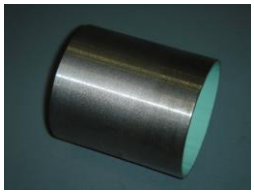
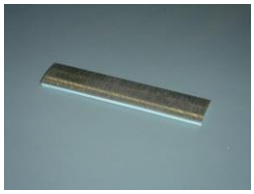
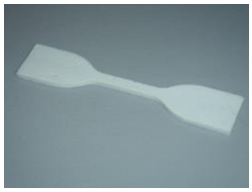
1.　概要

掘上品樹脂材料の強伸度を測定するにあたっては、測定値の精度を確保するため、所定の試験片形状に正確に加工することが極めて重要である。しかし、通常樹脂材料は、管内面に良好に接着しており、初期品のように簡単に試験片を採取することはできない。そこで、本資料においては、参考として、樹脂ライニング系工法における試験片作製事例を採り上げ、その詳細を紹介することとする。

2.　手順

引張試験片作製手順の概略を以下に示す。

表－1　引張試験片作製手順の概略

	手順	イメージ写真
1	管を所定の長さに切断する。	
2	掘上管の外面を、旋盤等を用いて、鋼管部分の厚さが数 mm になるまで、切削を行う。	
3	電動糸鋸、ウォータージェット等を用いて、短冊状に加工する。	
4	同様に、所定の試験片形状に加工する。	
5	残っている鋼管部分を、ペンチなどの工具を用いて、引き剥がす。	
6	試験片の両面を研磨加工し、両面の凹凸や湾曲を除去し、均一な厚さを持つ試験片を取得する。	

＜参考資料-2＞

掘上品の引張強度に関する換算について（事例）

1.　背景と目的

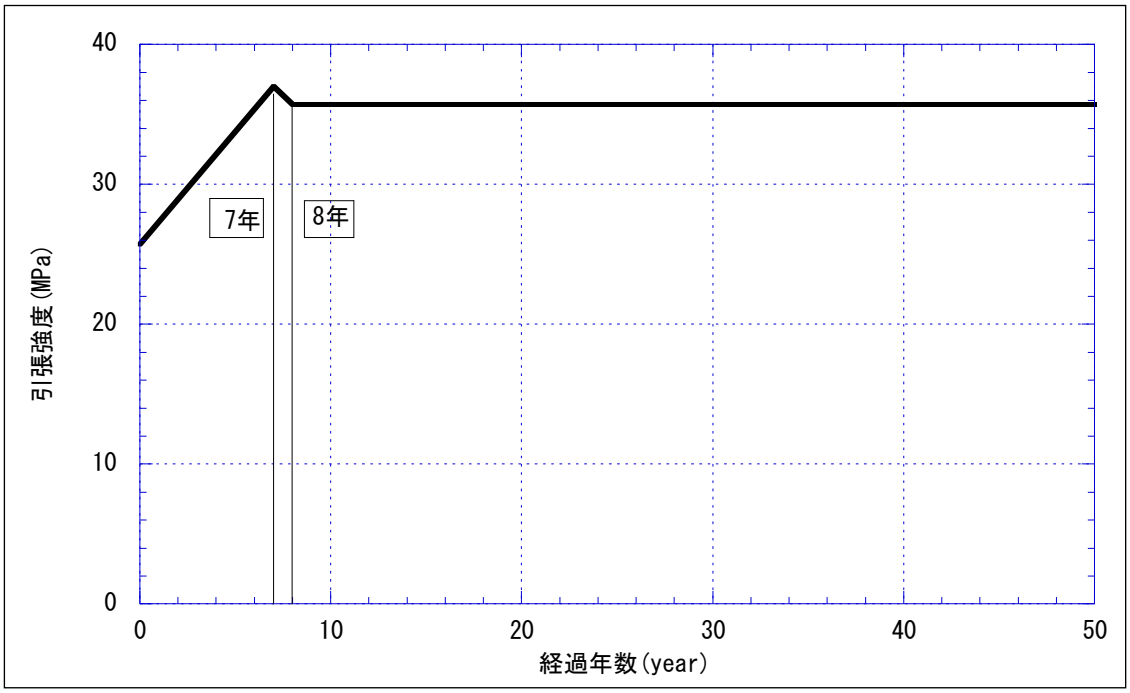
ライニング樹脂は、施工前に主剤と硬化剤とを十分混合攪拌することが重要であるが、成膜性を向上させるため粘度やチクソ性を高く設計しているものが多いため、ライニング膜内に気泡を含有しやすい。実際、掘上管から採取したライニング膜を引張試験片に成形し、引張試験を行った試験片の破面には気泡が多数確認されている。本来、気泡を有する破面をもつ引張試験結果は削除して評価するべきであるが、気泡を有しない試験片は稀有である。また、掘上品からのサンプルは、管体から採取するため、試験片が薄くかつ湾曲している。

一方、熱加速試験に用いた試験片は脱泡処理を施した平板から採取しており、引張試験片の破面には気泡はまったく確認されていない。したがって掘上管から採取した樹脂の引張強度を、熱加速試験から得られた推定強度と比較するためには、ライニング樹脂の引張特性に及ぼす試験片厚みの影響、湾曲の影響、脱泡の効果を評価し、掘上管から気泡を有しない平板の試験片が採取できたと仮定した場合の引張強度を推算する必要がある。

以下に具体的な換算事例として、供内管用液相法での評価結果を示す。

2.　熱加速試験時の引張特性

熱加速試験時の引張特性から長期的な引張強度を評価した結果を示す。



図－1　引張強度の経時変化について

脱泡処理を施した平板から採取した試験片の引張強度は当初 25.7Pa であったが、その後約 7 年間の硬化反応の進行に伴い強度が増し、約 36MPa で飽和強度に達した。その後、緩和過程を経て、強度は安定化する。

3. 掘上管の引張特性

ライニング施工後 15 年間埋設された掘上管の引張試験を行ったところ、引張強度が 25.6MPa であり、熱加速試験から予想される 15 年後の引張強度 36MPa よりも小さい値を示した。この掘上管と熱加速試験時の引張強度の違いは、試験片厚みの影響、湾曲の影響、脱泡の効果の影響によるものと考えられる。そこで以下に示す試験を実施することにより、気泡や湾曲の影響を明らかにし、気泡や湾曲を有しない平板が採取できた場合の引張強度を推算した。

以下に本試験で用いた試験条件を示す。

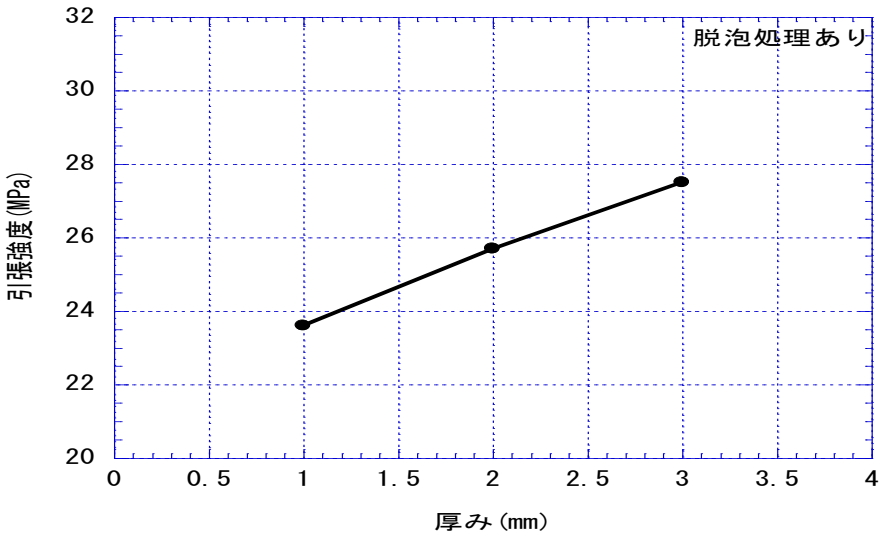
表－1 引張試験条件

	熱加速試験時	掘上管*1)
試験片形状	2 号*2)	2 号(ﾊｰﾌｻｲｽﾞ)*2)
	平板	湾曲あり*3)
試験片厚み	2mm	1.4mm
引張速度	50mm/min	25mm/min
脱泡処理	あり	なし

＜解 説＞
＊1) 15 年間埋設
＊2) JIS K 7113
＊3) 32A 管から採取

3.1 試験片厚みの影響評価

図－2 に本樹脂の引張強度の試験片の厚み依存性を示す。試験片は、熱加速試験と同様に脱泡処理を施した平板試験片を用いた。本樹脂の引張強度は厚み依存性を示し、この範囲の厚みでは、厚みの増加とともに引張強度が大きくなった。

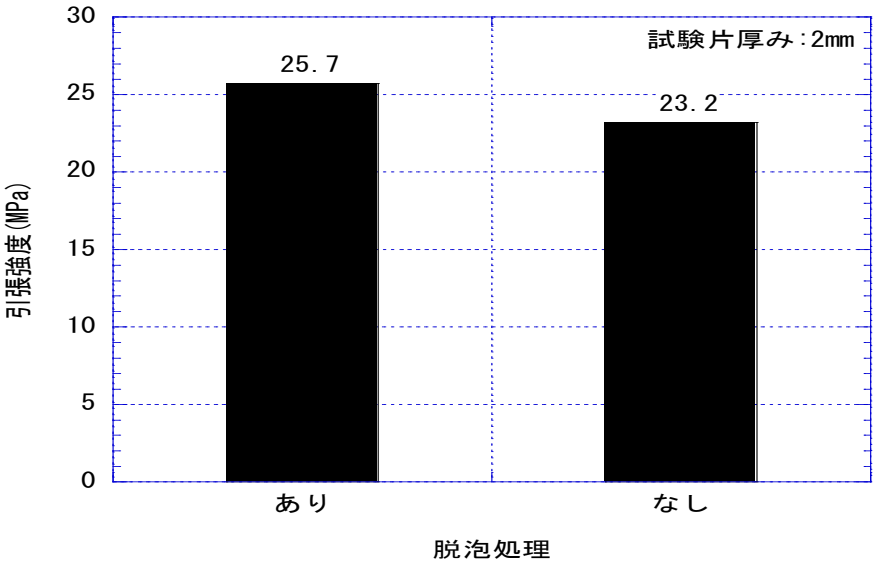


図－2　引張強度の厚み依存性

掘上管の厚みは 1.4mm であり、これを熱加速試験の厚みである 2mm に換算した場合、掘上管の引張強度は、25.6+(0.2×6)＝26.8MPa と推算される。

3.2　脱泡処理の影響評価

図－3 に本樹脂の引張強度の脱泡処理の有無による比較を示す。この樹脂の引張強度は脱泡処理の有無に依存性を示す。脱泡処理を行った平板の引張強度は 25.7MPa を示すのに対し、脱泡処理を行わなかった場合は、気泡の存在により強度が 23.2MPa に低下した。



図－3 引張強度の脱泡処理比較

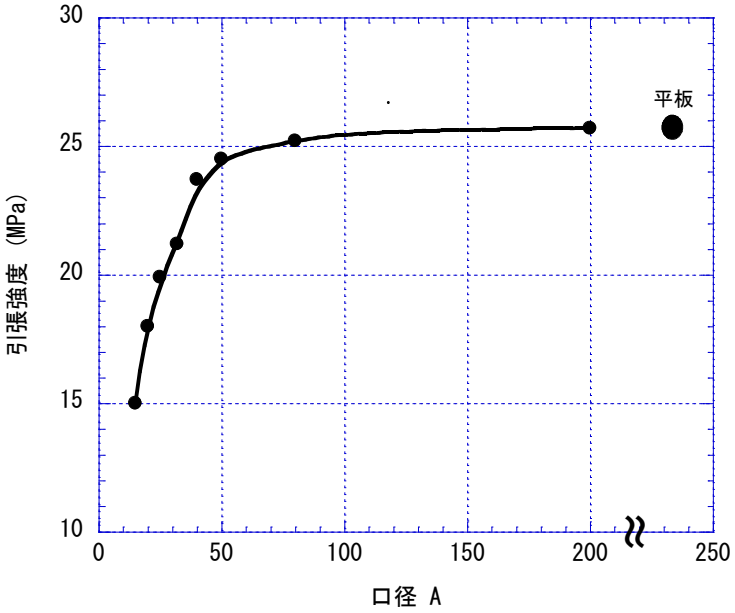
2mm の厚みを有する掘上管が脱泡処理を施されていた場合の引張強度は、26.8×25.7/23.3＝29.6MPa と推算される。

3.3　湾曲の影響評価

図－4 に本樹脂の引張強度の湾曲度合いによる比較を示す。この樹脂の引張強度は湾曲率依存性を示

す。湾曲の大きい（口径の小さい）試験片の引張強度は小さく、湾曲が小さく（口径の大きい）試験片になるにつれ強度が大きくなり、湾曲がほとんど見られない試験片では、ほぼ平板と同じ強度を示した。

2mm の厚みを有する脱泡処理された掘上管が平板であった場合の引張強度は、29.6×25.7/21.2＝35.8MPa と推算される。



図－4　引張強度の湾曲率依存性

4.　まとめ

掘上管から採取した試験片による引張強度は脱泡および湾曲の影響により見かけ上低下しているため、換算係数を算出し補正する必要がある。具体的な換算係数の算出については、上述で示すように、初期品において気泡や湾曲がない JIS 規格に準拠した試験片と、ライニング管から採取した試験片の比率をとることによって導出可能である。

＜参考資料-3＞

ＩＲ(赤外線分光)分析測定（事例）

1.　試験概要

ＩＲ分析は、物質の分子構造により赤外線内の一部の波長を吸収する性質を利用し、分子構造の同定を行う分析手法である。具体的には試料に赤外線を照射し、反射光や透過光を集めて分光し、そのスペクトルを取得するものである。波長スペクトルからその物質の分子構造の一部を解析することで、酸化や加水分解等の劣化の有無を判断することができる。

以下にフェニックス工法用シールホースの被覆樹脂（ポリエステルエラストマー）における測定事例を示す。

2.　試験条件

経年ライニング管（掘上品）から採取したサンプルに対し、ＩＲスペクトルを測定する。そのスペクトルと初期品の差スペクトルをとり、ピークの変化を観察することにより、加水分解等による劣化状況を推察する。本試験は JIS K 0117 赤外分光分析方法通則に準拠する。

以下、試験条件について表－1 に示す。

表－1　試験条件

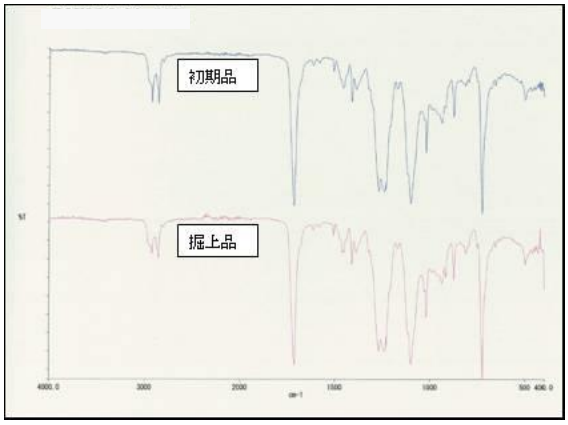
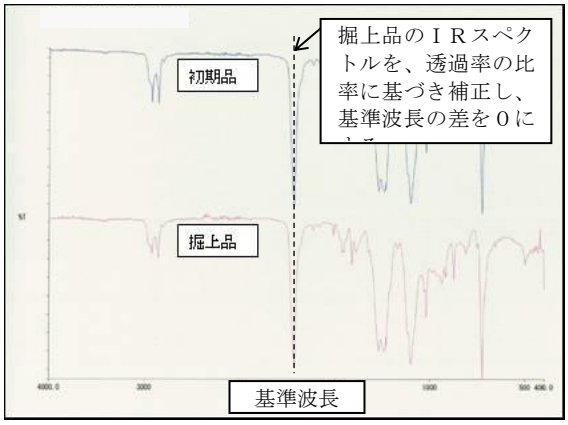
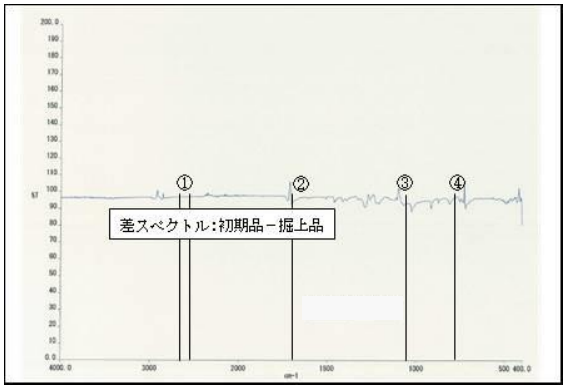
項目	内容
試験片形状	経年ライニング管から採取したサンプルから２ｍｍ角程度の試験片を切り出す。
試験片のＮ数	Ｎ＝2 とする。
測定条件	1 回反射ダイヤモンドＡＴＲ法（表面多重反射法）にて測定。 ・測定波長分解能：8cm-1 ・積算回数：16 回 ・スキャン周波数：4600～400cm-1

3.　測定結果

上記試験条件に基づいた測定結果とその判定手順を以下に示す。

初期品と掘上品のIRスペクトルおよび差スペクトルを表－2 に示す。

表－2 IR分析の判定手順

チャート例	判定手順
	(1) 劣化の代表的なパターンとその同定に際して着目すべき波長について、事前に把握する。 被覆材における劣化形態は、加水分解などが考えられるため、フタル酸基、水酸基の増加を示す、以下の5つのピークに着目する。 ① －ＣＯＯＨの－ＯＨに起因する 2670cm-1、2540cm-1 付近のピークの増大の有無 ② －COOHのC＝O二重結合に起因する 1690cm-1 付近のピークの増大の有無 ③ C－OHアルコール伸縮に起因する 1050cm-1 付近のピークの増大の有無 ④ テレフタル酸のベンゼン環に起因する 780cm-1 付近のピークの増大の有無 (2) 初期品のIRスペクトルを測定する。 (3) 掘上品のIRスペクトルを測定する。
	(4) 初期品のIRスペクトルと掘上品のIRスペクトルを重ね合わせる。 (5) 基準波長に着目し、初期品と掘上品の透過率の差を確認し、その比率を求める。 (6) 掘上品のIRスペクトルを、透過率の比率に基づき補正し、基準波長の差を 0 にする。
	(7) 上記(6)の差スペクトルを取り、チャート化する。 (8) 酸化や加水分解等、材料劣化に影響する波長の差スペクトルに著しいピークが見られないことを確認する。 ① －ＣＯＯＨの－ＯＨに起因する 2670cm-1、2540cm-1 付近のピークの増大。 ② －ＣＯＯＨのＣ＝Ｏ二重結合に起因する 1690cm-1 付近のピークの増大。 ③ C－OHアルコール伸縮に起因する 1050cm-1 付近のピークの増大。 ④ テレフタル酸のベンゼン環に起因する780cm-1付近のピークの増大。 (9) 本事例のIRスペクトルはいずれもこれらのピークの増大は見られないため、加水分解は進んでいないものと判断する。 よって、掘上品は初期品と同等の性能を有していると判断され、劣化は発生していないと判断する

＜参考資料-4＞

分子量測定（事例）

1.　試験概要

溶液粘度法は、一定量の試料（被覆樹脂）を一定量の溶媒に溶かし、一定温度でその溶液の粘性を測定することにより、その樹脂の分子量の変化を調べる方法である。

以下に、フェニックス工法（反転シール系工法）用シールホースの被覆樹脂（ポリエステルエラストマー）に対し実施した測定事例を示す。

2.　試験条件

本試験はJIS K 7367-1　プラスチックー毛細管形粘度計を用いたポリマー希釈溶液の粘度の求め方ーに準拠する。

以下、試験条件について表－1に示す。

表－1　試験条件

項目	内容
試験片形状	試料は約 0.5mm以下の粒径に粉砕し、20mｇのペレット状とする。
試験片のN数	N＝2とする。
試験条件	・加熱条件：60±2℃　80分以下 ・混合溶媒：フェノール／四塩化エタン＝6／4で混合したもの

3.　試験手順

1）　試料を10mｌの混合溶媒に加熱溶解*1)し、ガラスフィルターで濾過*2)する。

2）上記溶液を30℃の恒温水槽中に保持し温度調節をおこなう。溶液が30℃になった時点で、5mｌをピペットアップし、恒温水槽内に保持したOstwald粘度計中に注入し、粘度を測定する。

3）溶液粘度は次式で求める。

溶液粘度＝(T1-T0)/T0/C

T1=溶液の落下秒数

T0=溶媒の落下秒数

C=濃度

＜解　説＞

＊1)　加熱条件：本材料は基本的に加熱しなくても溶解するが、必要な場合のみ60℃に加熱する。

＊2)　濾過条件：不溶分等がある場合のみ3G4ガラスフィルターを用いて濾過する。

4. 測定結果

溶液粘度法によるフェニックス工法用シールホースの被覆樹脂（ポリエステルエラストマー）の測定結果を表－2 に示す。

掘上品（サンプル１）及び掘上品（サンプル２）とも溶液粘度は標準品の規格値内に入っており、経年による分子量の低下は認められない。

以上より、掘上品は初期品と同等の性能を有しており、劣化は発生していないと判断する。

表－2 溶液粘度測定結果

	標準品 （製品規格値）	掘上品 （サンプル１）	掘上品 （サンプル２）
溶液粘度 （dl/g）	1.50±0.1	1.45	1.46

＜参考資料-5＞

保形性試験供試管作製方法(事例)

1.　概要

更生修理工法施工済み掘上管を用いて保形性試験を実施するためには、樹脂塗膜部分を傷つけることなく、掘上管の金属部分のみに擬似腐食孔をあける必要がある。ここでは、擬似腐食孔作製方法の一例として、放電加工による作製方法を紹介する。

2.　原理

放電加工とは、金属加工手段の一つであり、微細な加工を行う場合に頻繁に用いられる加工方法である。電極と加工対象の間でアーク放電させ、加工対象箇所を蒸発若しくは溶かすことで、所定の形状を得る加工方法であることから、加工対象は電気を通ずる金属類に限られる。従って、今回のようなケースにおいては、電気を通さない樹脂塗膜に対しては影響を与えることなく、金属である掘上管金属部のみを取り除くことができる。

3.　手順

加工手順の概略を以下に示す。

表－1　加工手順の概略

	手順	イメージ写真
1	加工台に掘上管を設置する。	
2	加工箇所、即ち、擬似腐食孔作製部にオイルを噴射しつつ、放電加工を行う。	
3	切削粉などを取り除く。 石鹸水などで放電加工時に付着したオイルを洗い流す。*1) 蒸留水を用いて、石鹸水を十分洗い流す。*1)	

＜参　考＞

＊1)　オイル、石鹸水が樹脂塗膜に影響を与えないよう、蒸留水による洗い流しを十分に行う。

更生修理工法一覧

令和２年３月時点で、供内管腐食対策ガイドラインに定められている工法は下表の通り。

工法名	工法の分類	
	腐　食 漏えい 予　防	継　手 漏えい 予　防
反転ライニング工法	○	
供内管大口径反転ライニング工法	○	
非掘削供内管反転ライニング工法	○	○
簡易反転シール工法	○	○
液相法	○	○
ＮＥＸＴライニング工法	○	○
Ｈｉ－ＮＥＸＴ工法	○	○
シャトルライニング工法	○	○
シャトルⅡライニング工法	○	○
シャトルⅢライニング工法	○	○
プラスライニング工法	○	○
ワンウェイライニング工法	○	○
ピグライニング工法	○	○
ハンディピグライニング工法	○	○
ＢＤ工法	○	○
気流ライニング工法	○	○
ＨＩＴライニング工法	○	○
ＳＨＯＴライニング工法	○	○
ＦＲＰライニング工法	○	○

Ⅲ　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の概要

Ⅲ.1　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策

1　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の進め方

Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策は、この対策のとられていない鉄筋コンクリート建物等に係る供内管のうち、比較的埋設経過年の短いもの（20 年程度以下）に対し、以下の考え方で計画的に実施する。

(1)　建物毎にＣ／Ｓマクロセル腐食及び一般腐食の両者を勘案して、非掘削又は掘削により診断を行う。

(2)　診断結果等に基づき対策の必要性の有無を評価する。

(3)　対策が必要と評価されたものには、建物と土中埋設配管との絶縁措置等によるＣ／Ｓマクロセル腐食対策のほか、必要な一般腐食対策をも実施し、将来にわたって腐食漏えい予防対策の必要がないようにする。

〔解　説〕

(1)　鉄筋コンクリート建物等に係る供内管で、埋設後長期間（20 年程度以上）を経過したものは、Ｃ／Ｓマクロセル腐食の影響は少ないと考えられるので、一般腐食対策の対象とする。

(2)　Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の標準的な実施の手順は以下のとおりである。

①　建物重要度等を考慮して、診断実施の優先順位付けを行う。

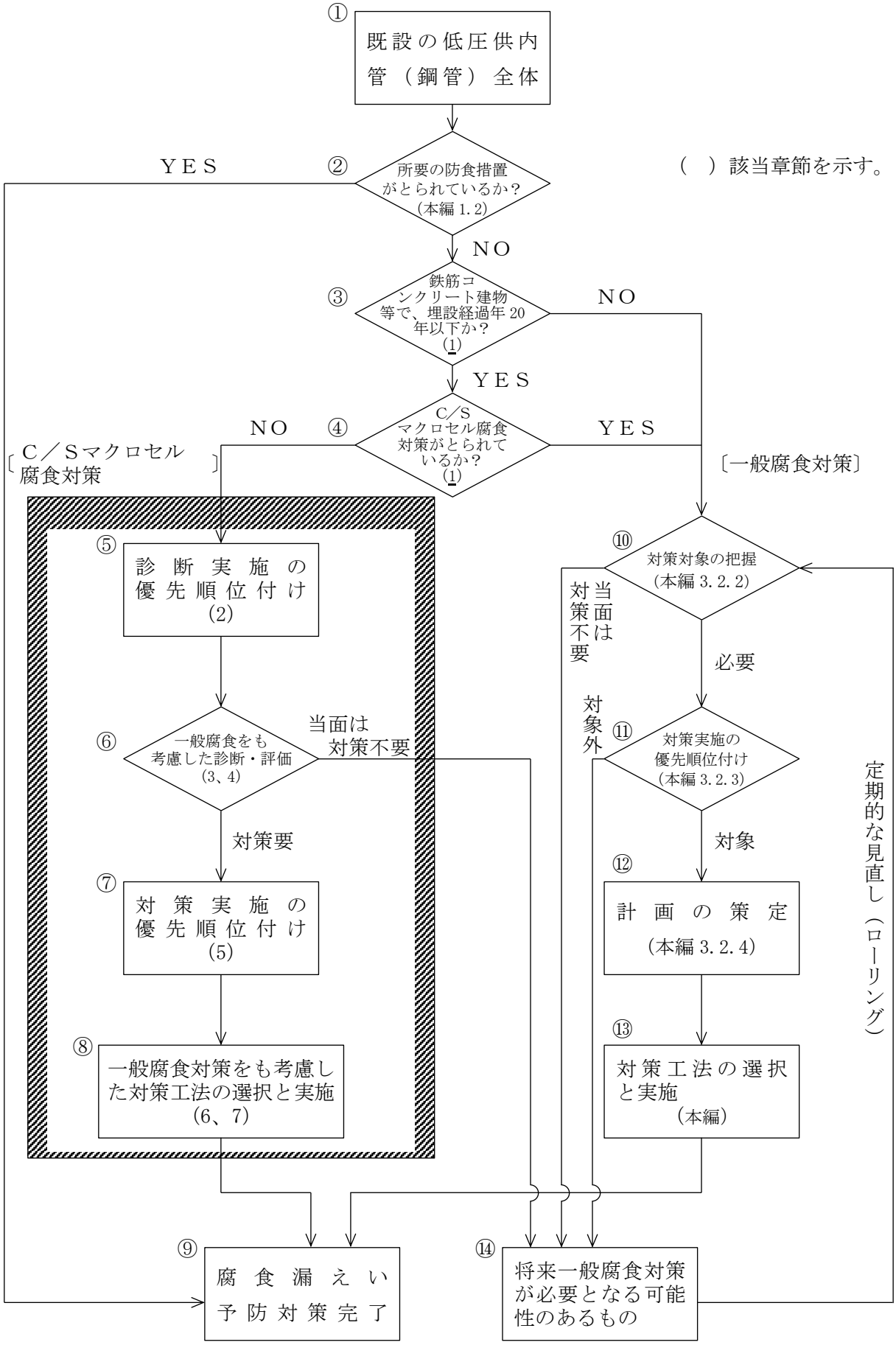
②　建物毎に診断し、その結果に基づき対策の必要性を評価する。

③　対策が必要と評価されたものについては、対策実施の優先順位付けを行う。

④　Ｃ／Ｓマクロセル腐食及び一般腐食の両者を勘案した適切な対策工法を選択し、需要家の了解のものに改善を実施する。

供内管腐食漏えい予防対策フローにおけるＣ／Ｓマクロセル腐食対策の標準的な実施フローを次の図の斜線の枠内に示す。

＜供内管腐食漏えい予防対策フロー＞



2 診断実施の優先順位付け

診断の実施に当たっては、腐食漏えい発生時の影響の大きさを考慮した建物重要度のほか、土壌の腐食性等の埋設環境等を勘案して実施の優先順位付けを行い、優先順位の高いものから順次診断をすることが望ましい。

〔解 説〕

(1) 診断実施の優先順位付けは、供内管が引き込まれている建物及び埋設環境等について、以下の事項を考慮して行う。

① 建 物 重 要 度

建物重要度については、建物区分の特定地下街等・特定地下室等・超高層建物及び特定大規模建物に係る建物を最重要とし、次いで高層建物・特定中規模建物・特定公共用建物、工業用建物及び一般業務用途建物、一般集合住宅に係る建物及び一般住宅とする。

② 埋 設 環 境

供内管が埋設されている土壌の腐食性の強弱または腐食漏えいが発生した場合の事故に至る可能性の大小等により埋設環境の良否を判断する。埋設環境の悪いものとしては、例えば造成地等であって土壌抵抗率の小さい地域または床下に土中埋設管のある建物等である。

③ そ の 他

過去の実績や塗覆装の有無等を考慮する。塗覆装鋼管は、一般的に腐食が発生する確率は低いが、万一供内管とコンクリート建物中の鉄筋が接触し、しかも塗覆装の一部に欠陥が生じた場合は、C／Sマクロセル腐食がその欠陥部に集中する可能性があるため順位付けに際しては、塗覆装鋼管に注目することが望ましい。

〔診断実施の優先順位付け例〕

<table>
<tr><td>建物区分
埋設環境</td><td>特定地下街等
特定地下室等
超高層建物
特定大規模建物</td><td>高層建物
特定中規模建物
特定公共用建物
工業用建物
一般業務用建物
一般集合住宅</td><td>一般住宅</td></tr>
<tr><td>埋設環境の悪いもの</td><td rowspan="2">優先度
ランクⅠ</td><td></td><td rowspan="2">優先度
ランクⅢ</td></tr>
<tr><td>〃 の良いもの</td><td>優先度ランクⅡ</td></tr>
</table>

(2) 調査対象物件が少なく、短期間で調査を実施できる場合は、必ずしも診断実施の優先順位付けを行う必要はない。

3 診 断 の 方 法

供内管の最大腐食深さを推定することを目的として行う診断方法には、以下に示す非掘削診断法と掘削診断がある。診断は、通常、非掘削診断法によることが効果的であるが、需要家への説明や詳細調査等のために必要がある場合は、掘削診断を行う。

(1) 非掘削診断方法

供内管の腐食に影響を与える環境因子を非掘削で測定し、環境因子と最大腐食深さの相関関係を表す推定式により最大腐食深さの推定を行う方法。

(2) 掘削診断法

掘削して管体を露出させ、露出箇所の最大腐食深さを測定する方法。

〔解 説〕

(1) 最大腐食深さとは、１本の供内管のうちで最も深く腐食している箇所の腐食深さである。供内管の腐食状況を定量的に示す腐食量としては、最大腐食深さの他に重量測定等によって得られる平均的な肉厚減等があるが、腐食漏えい予防対策の必要性を判断するためには、最も腐食の著しい箇所における腐食深さを採用することが適切である。

(2) 非掘削診断法は、最大腐食深さを実用上必要な信頼性をもって推定できることが確認されており（参考資料Ⅳ.1.1 参照)、しかも経済性、作業性に優れた効果的な方法である。これに対して掘削診断法は、掘削した範囲内における管体の腐食状況は正確に把握できるが、Ｃ／Ｓマクロセル腐食のように腐食が局部的に生ずる可能性の高い場合に当該供内管全体の最大腐食深さを推定するためには、通常多くの箇所で掘削を行う必要がある。

(3) 非掘削診断法としては、プローブ電位差測定法、プローブ電流測定法及び簡易測定法の３方式がある。各方式における測定項目、最大腐食深さ推定式及び特徴等を下表に示す。方式の選定に当っては、保有する計器及び作業性等を考慮し、適宜方式を選定し測定を実施する。

最大腐食深さの推定式は、参考資料Ⅳ.1.1に示す管体調査の結果及び既存のデータ、知見等により策定又は検証されたものであり、Ｃ／Ｓマクロセル腐食及び一般腐食の両者を合わせた最大腐食深さの推定式となっている。これについては今後各ガス事業者において実用に供しつつ、データを収集・検証することによってさらに確度を高めていくことが望ましい。

なお、この式は pH やレドックス電位が通常の値と異なる場合には検証されていないので、そのような可能性のある工場跡地、温泉地帯、泥炭地、沼地等では別途に検討する必要がある。

〔非掘削診断法の例〕

方式／内容	プローブ電位差測定法	プローブ電流測定法	簡　易　測　定　法
測定項目（注1）	分極抵抗（R_P）、管対地電位（P／S） 土壌抵抗率（ρ）、腐食電位（E_{CORR}）	プローブ電流（I_{PR}） 土壌抵抗率（ρ）	管対地電位（P／S） 土壌抵抗率（ρ）
最大腐食深さ推定式（注2）	$H=\{\frac{130}{R_P \cdot S_P}+K_1\frac{(-E_{CORR}+1.25P/S+75)^{1.1}}{\rho^{0.6}}\}\times\frac{1-e^{-0.1Y}}{0.1}$	$H=(4.42/\sqrt{\rho}+K_2 \cdot I_{PR})\sqrt{Y}$	$H=(a+b/\sqrt{\rho}+c \cdot P/S)\sqrt{Y}$
必要な計測機器類	分極抵抗測定計 電位差計 土壌抵抗率計 （上記３計器を複合した専用計器有り） 炭素鋼製プローブ 飽和硫酸銅照合電極	電流計 土壌抵抗率計 炭素鋼製プローブ	電位差計 土壌抵抗率計 飽和硫酸銅照合電極
診断の確度	優	優	良
作業性	専用計器を使用すれば良好	良　好	良　好
適用	亜鉛メッキ管、アスファルトジュート巻き管及びプラスチック被覆鋼管の全て	同　左	プラスチック被覆鋼管は適用外 （参考資料Ⅳ.1.1 に示す管体調査において、プラスチック被覆鋼管の調査対象には腐食が発生していないものが多かったため、推定式を策定することができなかった。）

注１）各測定項目の定義及び測定方法等は、参考資料Ⅲ.2に示す。

注２）最大腐食深さ推定式に用いた記号の定義、単位及び係数等を以下に示す。なおE_{CORR}及びP／Sは飽和硫酸銅電極を用いて測定した値である。

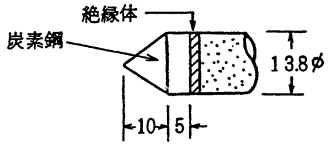
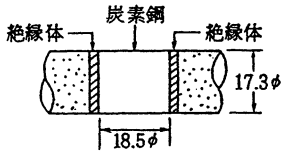
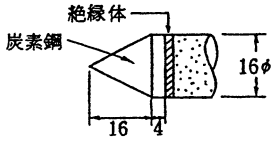
定　義〔単位〕

H	：最大腐食深さ推定値〔mm〕
R_P	：分極抵抗の平均値〔Ω〕
S_P	：分極抵抗測定用プローブの表面積〔㎠〕
E_{CORR}	：腐食電位の平均値〔mV〕
P／S	：管対地電位の最高値（最貴値）〔mV〕
ρ	：土壌抵抗率の最小値〔Ω・cm〕
I_{PR}	：プローブ電流の最大値〔mA〕
Y	：経　過　年　数〔年〕
K_1、K_2、a、b、c	：係数

（係　数）

方　式	係数	管種 亜鉛メッキ管	アスファルト・ジュート巻き管	プラス*チック被覆鋼管	プローブの型式
プローブ電位差測定法	K_1	0.05	0.06	0.11	－
プローブ電流測定法	K_2	0.8	0.9	1.4	Ⅰ
		1.0	1.1	1.7	Ⅱ
		0.8	0.9	1.4	Ⅲ
簡易測定法	a	0.62	0.78	－	－
	b	21.3	8.17	－	
	c	0.00083	0.00093	－	

（プローブの形状等）

型式	表面積（㎠）	形　状
Ⅰ	4.8	
Ⅱ	10.0	
Ⅲ	6.5	

＊　プラスチック被覆鋼管のK_1、K_2が大きいのは、腐食が継手部（テープ巻き）等の塗覆装欠陥部に集中する傾向があるためである。

(4)　非掘削診断は以下の手順に従って行う。

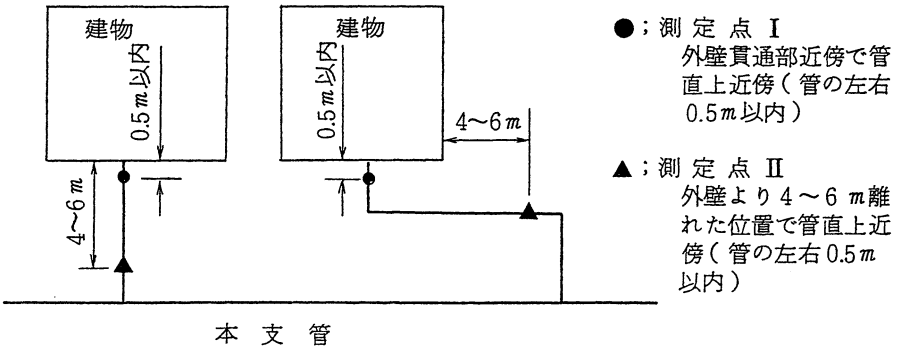
①　配管状況の調査

当該建物に係る土中埋設供内管の配管系統、管種、口径及び埋設経過年等を本編2.2に記した設備情報等を活用して調査する。

②　測　　定

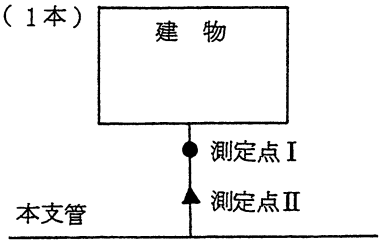
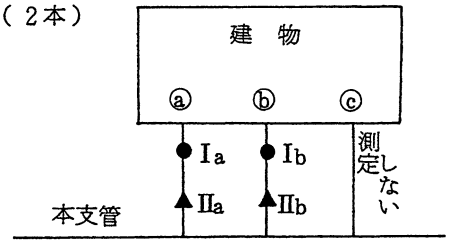
建物への引込み管の外壁貫通部近傍を含む２箇所以上において、管直上近傍で所要の測定項目を測定する。各測定項目の測定方法の詳細を、参考資料Ⅲ.2に、供内管毎の測定箇所の例を以下に示す。なお当該建物への引込管が複数ある場合は、そのうち２本程度につき測定を行うことが望ましい。

（測定箇所の例）



③ 最大腐食深さの推定

測定値を最大腐食深さの推定式に適用して、最大腐食深さの推定値を計算する。計算は、測定する引込管の本数及び測定方式に応じて下表のように行う。

測定本数 / 方式	（1本）  	（2本） 
プローブ電位差測定法	測定点Ⅰ及びⅡの２点における測定値より ・R_P、E_{CORR}は平均値 ・Ｐ／Ｓは最高値（最貴値） ・ρは最小値 を推定式に適用し、当該供内管の最大腐食深さ推定値を計算する。	① 測定点$Ⅰ_a$、$Ⅱ_a$、$Ⅰ_b$、$Ⅱ_b$の４点における測定値より ・R_P、E_{CORR}は平均値 ・Ｐ／Ｓは最高値（最貴値） ・ρは最小値 を推定式に適用。 ② ①で求めた最大腐食深さの推定値を引込管ⓐ、ⓑ及びⓒの共通の推定値とする。
プローブ電流測定法 簡易測定法	測定点Ⅰ及びⅡの２点における測定値より ・ρは最小値 ・$Ⅰ_{PR}$は最大値 ・Ｐ／Ｓは最高値（最貴値） を推定式に適用し、当該供内管の最大腐食深さ推定値を計算する。	① 測定点$Ⅰ_a$、$Ⅱ_a$の２点における測定値より ・ρは最小値 ・$Ⅰ_{PR}$は最大値 ・Ｐ／Ｓは最高値（最貴値） を推定式に適用し、引込管ⓐの最大腐食深さの推定値を計算する。 ② 測定点Ⅰｂ、Ⅱｂの測定値より①と同様の方法で、引込管ⓑの最大腐食深さの推定値を計算する。 ③ 引込管ⓒの最大腐食深さの推定値は、引込管ⓐ又はⓑのいずれか大きな値と同一とみなす。

④ 記 録

以上の結果を本編 2.3 で記した非掘削診断調査台帳に記入する。

(5) 掘削による管体調査

なるべく建物の近傍で掘削し、管に付着したサビ等をワイヤブラシ等で除いた後、デプスゲージ等を用いて腐食深さを測定する。なお塗覆装鋼管では塗覆装部に欠陥がなければ腐食は発生しないので、継手部等の塗覆装欠陥の発生しやすい箇所を選んで掘削し、調査する必要がある。

4 診断結果の評価

診断の結果得られた最大腐食深さ及び元の管厚より腐食指数を算出し、その腐食指数と埋設経過年より腐食度区分を求め、対策の必要性の大小を評価する。なお１つの建物に複数の引込管がある場合は、腐食度区分は引込管１本毎に求め、それらの引込管のうちで対策の必要性の最も大きいものにより当該建物に係る供内管全体を評価する。

〔解　説〕

(1)　評価は、以下の手順で行う。

①　建物に引込まれている引込管１本毎に、最大腐食深さＨを管の元肉厚Ｄで除すことにより、現状の腐食状況を示す腐食指数（Ｈ／Ｄ）を求める。

②　腐食指数及び埋設経過年より腐食度区分を求める。下表に示す腐食度区分の設定例においては、同一の腐食度区分に属するものは今後ほぼ同じような腐食の進行を示すように区分が設定されている。

〔腐食度区分の設定例〕

<table>
<tr><th>埋設経過年
腐食指数</th><th>５年以下</th><th>６～１０</th><th>１１～１５</th><th>１６～２０</th></tr>
<tr><td>0.95　以 上</td><td colspan="4">腐 食 度 区 分 A</td></tr>
<tr><td>以上　　未満
0.90　～　0.95</td><td></td><td colspan="3">腐 食 度 区 分 B</td></tr>
<tr><td>0.80　～　0.90</td><td></td><td></td><td colspan="2">腐 食 度 区 分 C</td></tr>
<tr><td>0.70　～　0.80</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>0.60　～　0.70</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>0.40　～　0.60</td><td></td><td colspan="3">腐 食 度 区 分 D</td></tr>
<tr><td>0.40　未 満</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

(2) 求められた腐食度区分によって、対策の必要性の有無及び大小を判断する。上記の腐食度区分の設定例においては、腐食度区分Ａが対策の必要性の最も大きいものであり、以下Ｂ、Ｃの順となる。腐食度区分Ｄの管に対しては、Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策は不要であり、同時に勘案することとした一般腐食対策も当面は必要がないと考えられる。

なお、１つの建物に複数の引込管が引込まれている場合は、それらのうちで最も対策の必要性の大きい腐食度区分に属するものにより、他の引込管に対する対策の必要性の有無及び大小の判断を行う。

5 対策実施の優先順位付け

診断・評価の結果、対策の必要があると判断された供内管は、腐食度区分及び建物重要度等を考慮して対策実施の優先順位付けを行う。

〔解 説〕

対策実施の優先順位付けの手順を以下に示す。

① 腐 食 度 区 分

前記の評価基準における腐食度区分Ａ、Ｂ、Ｃのものに対策を実施する場合、腐食度区分のＡを最優先とし、以下Ｂ、Ｃの順とする。

② 建 物 重 要 度

建物重要度に関する考え方は3.2.2に準ずる。

上記①及び②による対策順位付けの例を下表に示す。なお優先順位が同程度の場合は、床下に土中埋設配管がある建物に係る供内管より対策を実施することが望ましい。

〔対策実施の優先順位付けの例〕

<table>
<tr><th>建物区分
腐食度区分</th><th>特定地下街等
特定地下室等
超高層建物
特定大規模建物</th><th>高層建物
特定中規模建物
特定公共用建物
工業用建物
一般業務用建物
一般集合住宅</th><th>一般住宅</th></tr>
<tr><td>A</td><td colspan="2" rowspan="2">優先順位Ⅰ</td><td>優先順位Ⅱ</td></tr>
<tr><td>B</td><td>優先順位Ⅱ</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>C</td><td>優先順位Ⅱ</td><td colspan="2">優先順位Ⅲ</td></tr>
</table>

6 対策工法の選択

対策工法の選択は、建物と土中埋設管の絶縁等によりＣ／Ｓマクロセル腐食の解消を図ることを基本として行うが、あわせて現状の腐食状況（腐食指数）を考慮して適切な一般腐食対策をも講ずることを目的として行う。選択の手順を以下に示す。

(1) Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策としては、現状のまま又は一部配管変更をして建物と土中埋設管との絶縁措置を施すことを基本とする。但し絶縁措置を施すことが困難な場合には、供内管の接地抵抗に応じて未絶縁－流電陽極法又は近接流電陽極法のいずれかを選択する。

(2) 原則として上記の工法とあわせて、腐食状況（腐食指数）に応じた適切な一般腐食対策工法（管の取替、絶縁－流電陽極法、更生修理工法等）を選択する。

〔解 説〕

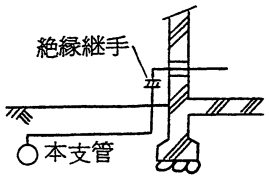
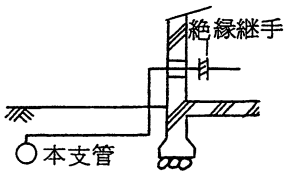
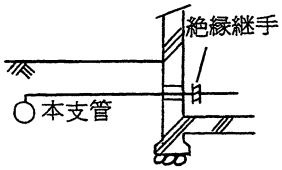
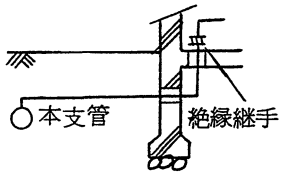
(1) 対策工法の種類と特性

対策工法の種類と特性を以下に示す。選択に当っては各工法の特性を十分考慮し、管の状況、環境条件等に応じて１つあるいは幾つかの工法を組合せて、最も適切な方法で行う。

〔対策工法の種類と特徴〕

種類	主たる目的	特徴	適用範囲
建物と土中埋設管の絶縁	Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策	建物と土中埋設管を電気的に絶縁するために、配管の立上り部又は建物外壁貫通部直前等に絶縁継手を設置するものであり、適切に施工することによりＣ／Ｓマクロセル腐食は解消される。但し工法施工後も一般腐食は進行する。	Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策の基本であり、可能な限り本工法を適用することが望ましい。 絶縁継手の適切な設置箇所の例は、次表に示す。
管の取替	一般腐食対策	既設管に替えて塗覆装等の必要な防食措置を施した管を新設基準に基づいて設置するものであり、需要家の使用状況に合わせた増径、位置替又は絶縁継手の設置がしやすいような配管統の変更等が可能である。	管の腐食程度が大きく全面にわたっており、建物が今後長期に使用される場合に適する。 鉄筋コンクリート建物においては上記の建物との絶縁と組合わせることにより、完全な防食措置となる。
流電陽極法	Ｃ／Ｓマクロセル腐食対策及び一般腐食対策	マグネシウム陽極等の設置により、電気化学的に腐食の進行を抑制するものであり、供内管に対する当工法としては、絶縁－流電陽極法、未絶縁－流電陽極法及び近接流電陽極法の３方式に分類できる。	管体の腐食程度が比較的小さい場合は流電陽極法を単独で用いるが、腐食程度が大きい場合は、更生修理工法等と組合せて施工することが望ましい。
		（詳細については、3.4.1(1)を参照のこと）	
更生修理工法 （反転ライニング工法 液相法 ＢＤ工法等）	一般腐食対策	既設管の内面に膜を形成することにより気密性を確保する工法であり、一般的に経済性に富み施工性に優れている。	管の腐食が全面に及んでいる供内管の延命をはかる場合に適する。 また、流電陽極法と組合せることにより、管体の腐食を抑制し、さらに長期の延命をはかることができる。

〔絶縁継手の設置例〕

ケ　ー　ス	設 置 場 所	設　　置	施 工 上 の 注 意
１．地上で建物外壁を貫通する配管	①　貫通直前の露出部		
	②　貫通直後の露出部		貫通部での鉄筋との接触を完全に防止する。
２．地中で建物外壁を貫通する配管	貫通直後の露出部		同　　上
３．建物内の埋設配管	建物屋内側の露出部		同　　上

注）絶縁継手のガスの上流側（本支管側）に支持金具がある場合は、ガス管と支持金具を絶縁する。

(2)　診断・評価を実施した鉄筋コンクリート建物等は、埋設経過年 20 年以下であり、今後とも長期間使用されるものと想定される。今後長期間使用されるとの想定のもとに、(1)で記述した各工法の特徴及び前記の腐食度区分を考慮した対策工法の選択例を次頁に示す。なお表中において『　』の工法はC／Sマクロセル腐食対策を、「　」はC／Sマクロセル腐食対策と同時に行う一般腐食対策を目的としたものであり、〔　〕は両者を目的とした工法である。

〔対策工法の選択例〕

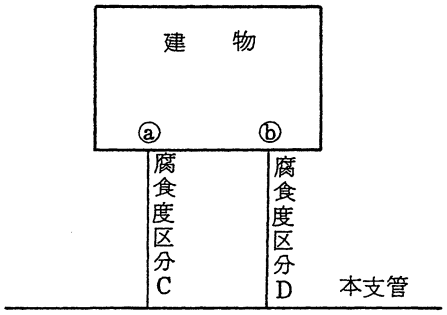
腐食度区分	対　策　工　法
A	①『建物と土中埋設管の絶縁』＋「管の取替注1)」又は ②『建物と土中埋設管の絶縁』＋「絶縁－流電陽極法注1)」＋「更生修理工法注1)」
B、C	原則として③『建物と土中埋設管の絶縁』＋「絶縁－流電陽極法注1)、注4)」又は ④『建物と土中埋設管の絶縁』＋「更生修理工法注1)、注2)」 建物と土中埋設管の絶縁が困難な場合は ⑤〔近接流電陽極法注4)〕又は ⑥〔未絶縁－流電陽極法注3)、注4)〕
D	C／Sマクロセル腐食対策は不要であり、同時に勘案することとした一般腐食対策も当面は不要。

注１）腐食指数が 0.7 未満であり、かつ土壌の腐食性が著しくない場合、又はプラスチック被覆鋼管を使用している場合は、C／Sマクロセル腐食対策のみを講ずれば今後長期の耐久性を期待できるので、一般腐食対策を目的としたこれらの工法は省略することができる。
注２）土壌の腐食性が著しい場合には、④の更生修理工法と同時に絶縁－流電陽極法を施工することが望ましい。
注３）⑥の未絶縁－流電陽極法において完全防食（P／Sが－850mV より低い値）を達成できない場合は、腐食指数が 0.7 未満、かつ土壌の腐食性が著しくない場合、又はプラスチック被覆鋼管を使用している場合を除き一般腐食対策としての更生修理工法等をあわせて行う必要がある。
注４）「絶縁－流電陽極法」、「未絶縁－流電陽極法」及び「近接流電陽極法」については本編 3.3.1 を参照のこと。

(3)　同一建物に複数の引込管がある場合の留意点

１つの建物に複数の引込管が引き込まれている場合、上表のうちC／Sマクロセル腐食対策は全ての引込管について行う必要があるが、一般腐食対策は各々の引込管の腐食度区分に応じて対策の必要性の判断及び対策工法の選択を行えばよい。

例えば右図の例において２本の供内管ⓐ、ⓑが同一建物に引込まれており、ⓐの腐食度区分はC、ⓑの腐食度区分はDとすると、上表よりⓐはC／Sマクロセル腐食対策及び一般腐食対策ともに必要、ⓑは両者とも必要ないことになるが、上記のようにC／Sマクロセル腐食対策は全ての引込管について行う必要があるため、工法の選択例は以下のようになる。



ⓐ：『建物と土中埋設管の絶縁』＋「絶縁－流電陽極法」

ⓑ：『建物と土中埋設管の絶縁』

特に建物に多数の引込管がある場合は、全ての引込管に対して絶縁措置が実施されるよう、設計・施工に十分注意する必要がある。

(4)　対策工法の選択に当たっては、需要家に対策の必要性、工法の特徴及び費用等に関して十分な説明を行い、理解と協力を得ることが肝要である。

7 対策工法の実施上の留意点

対策工法の実施に当たっては、選択した工法に応じて適切な方法で設計・施工し、施工後は適切な施工がなされているかどうかを検査する。

また施工状況を記録し、維持管理に役立てる。

なお施工に際しては、事前に需要家と折衝を行い、承諾を得る。

〔解　説〕

(1)　対策工法の実施等

流電陽極法及び更生修理工法の設計・施工に関しては、本編 3.3.1（流電陽極法）、3.3.2（更生修理工法）を、さらに管の取替及び絶縁継手の設置に関しては、「供内管・内管指針（設計編）」及び「同（工事編）」（(一社)日本ガス協会編）を参考にする。

(2)　検　　査

施工後の検査においては、通常の検査の他以下の点に特に留意する。

①　絶縁継手を設置した場合は、絶縁継手の設置が適切になされていることを目視で確認する。なお複雑な配管又は、埋設部に外壁、内壁あるいは床の貫通箇所がある場合は、各絶縁継手の土中埋設側のガス管の管対地電位が建物側のそれより低い電位であることを確認する。

②　流電陽極法を施工した場合は管対地電位の測定等を行い、実施した工法が完全に機能していることを確認する。

③　更生修理工法を施工した場合は閉そく等がなく正常に施工されたことを確認する。

(3)　記　　録

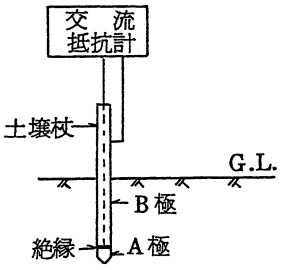
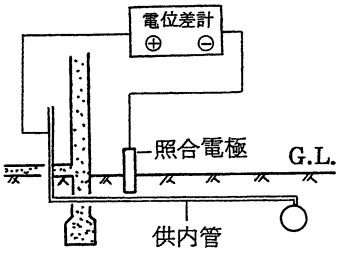
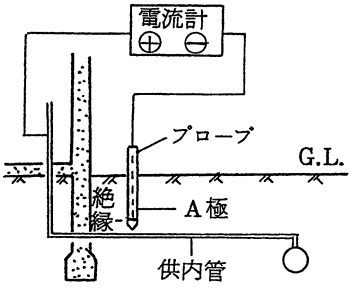
対策工法を実施した時期、施工範囲、対策工法の種類、検査結果等を設備台帳及び非掘削診断調査台帳に記録し、施工後の維持管理に役立てる。

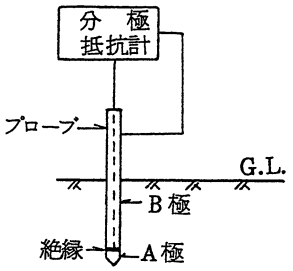
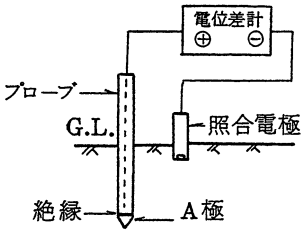
また施工時に得られた情報（管体の腐食状況等）を整理、検討することにより、診断及び評価方法の精度の向上をはかることが望ましい。

(4)　施工後の工事

対策工法を施工した後、当該供内管に係る工事が行われる場合には、対策の効果が損なわれないよう注意する。

Ⅲ.2　供内管腐食診断等における各測定項目の作業要領

測定項目	土壌抵抗率ρ ・単位面積・長さ当りの土壌の抵抗〔Ω・cm〕 ・土壌の電流の流れやすさを示す指標	管対地電位Ｐ／Ｓ ・埋設管と土壌間の電位差〔mV〕 ・Ｃ／Ｓマクロセル腐食の状況、流電陽極法による防食状況等を示す指標	プローブ電流 I_{PR} ・埋設管と埋設管の一部を仮想した鋼試料（プローブ）間の電流〔mA〕 ・Ｃ／Ｓマクロセル腐食の状況、流電陽極法による防食状況等を示す指数
測定方法	供給管近傍の土壌に差し込んだ土壌杖で、Ａ・Ｂ極間の抵抗を交流抵抗により測定する。  〔注意点〕 土壌杖の設置法は注１を参照。	供内管直上に接地した照合電極と供内管の間の電位差を測定する。  〔注意点〕 ①照合電極の設置法は注２を参照。 ②端子の設置法は注３を参照。 ③電位差計への接続は照合電極を⊖、供内管を⊕に接続する。	供給管近傍の土壌に差し込んだ鋼製プローブのＡ極と供内管の間の電流値を測定する。  〔注意点〕 ①プローブの設置法は注１を参照。 ②端子の設置法は注３を参照。 ③電流計への接続はパイプを⊕、プローブを⊖に接続する。 ④測定は接続後１分以上たった後実施する。 ⑤電流計の指示値が⊕の場合は流入、⊖の場合は流出である。
注4）計測機器	・土壌抵抗率計 （土壌杖、交流抵抗計）	・高感度電位差計 （入力インピーダンス１ＭΩ以上のデジタルボルトメータ、ペンレコーダ等） ・飽和硫酸銅照合電極	・零抵抗電流計 ・炭素鋼製プローブ

測定項目	分極抵抗R_P ・埋設した鋼試料（プローブ）の腐食反応抵抗〔Ω〕 ・ミクロセル腐食の状況を示す指標	腐食電位E_{CORR} ・埋設した鋼試料（プローブ）と土壌間の電位差〔mV〕 ・ミクロセル腐食の状況を示す指標	接地抵抗R ・埋設管、鉄筋等と土壌間の接触抵抗〔Ω〕 ・埋設管の塗覆装状況、埋設管と鉄筋・本支管等との接触状況を示す指標
測定方法	供内管近傍の土壌に差し込んだ鋼製プローブで、A・B極間の分極抵抗を分極抵抗計により測定する。  〔注意点〕 プローブの設置法は注１を参照	供内管近傍の土壌に差し込んだ鋼製プローブのA極と、プローブの近傍に接地した照合電極との電位差を測定する。  〔注意点〕 ①プローブの設置法は注１を参照 ②照合電極はプローブから 30 cm以内に設置する。 ③照合電極の設置法は注２を参照 ③電位差計への接続は照合電極を⊖、プローブを⊕に接続する。	建物外壁から５m及び10m程度離れた地点に打ち込んだ接地極２本と供内管を、接地抵抗計に接続し、接地抵抗を測定する。 〔注意点〕 接地極２本、供内管の接地抵抗計への接続を正確に行う。
注4）計測機器	・分極抵抗計 ・炭素鋼製プローブ	・高感度電位差計 入力インピーダンス１MΩ以上のデジタルボルトメータ、ペンレコーダ等 ・炭素鋼製プローブ ・飽和硫酸銅照合電極	・接地抵抗計 接地抵抗の低い領域で高い精度を有するものが望ましい ・接地極２本

注１）　プローブ及び土壌杖を設置する際の注意点

(1)　プローブは変形や錆の発生していないものを使用する。

(2)　プローブは 30 ㎝以上土壌中に挿入し、電極表面を管体近傍の土壌に確実に密着させる。

・調査点の地表面が硬い場合や、コンクリート等で覆われている場合には、ボーリングバー、ハンドドリル等により 20 ㎝程度まで穴をあけた後、プローブを差し込む。

・プローブの先端が石等にあたった場合には､打ち込み位置を変更し先端が土壌に密着するようにする。

(3)　ボーリングバー、ハンドドリルによって穴をあける場合には、ガス管、水道管等を損傷しないように注意する。

注２）　照合電極を設置する際の注意点

(1)　照合電極に飽和硫酸銅溶液が2/3以上入っていることを確認する。

(2)　照合電極の先端は土壌に確実に密着させる。

・地表面が砂利、芝生等で覆われている場合には､これらを除去し土壌に確実に密着させる。

・地表面がコンクリート、アスファルト等で覆われている場合には、ハンドドリル、ボーリングバー等により穴をあけ、ロッド状の照合電極を使用し先端が土壌と密着するまで差し込む。

・土壌が乾燥している場合には、水を散布する等により、土壌との液絡を保つようにする。

(3)　照合電極内の飽和硫酸銅溶液は１か月に１回程度交換する。

注３）　供内管から端子を取り出す際の注意点

(1)　端子は管体の金属表面に確実に接触させる。

・管体がペイント、テープ、モルタル等によって覆われている場合には、ヤスリ等によって金属表面を露出させた後、端子を取出す。

・管体が腐食している場合には、ヤスリ等によって錆を除去した後端子を取出す。

(2)　リード線を延長する場合には、コネクタ及びリード線の損傷に注意する。

注４）　計　測　機　器

計測機器は最も一般的なものを示したが、この他にプローブ電位差測定法に便利な複合計測機器（ρ、E_{CORR}、R_P、Ｐ／Ｓ、Ｒが測定可能)、あるいはプローブ電流測定法に便利な複合計測機器（ρ、I_{PR}、E_{CORR}、Ｐ／Ｓ、Ｒが測定可能）も市販されている。

Ⅳ　「ガス工作物設置基準調査について（昭和 58 年度～59 年度）」の概要

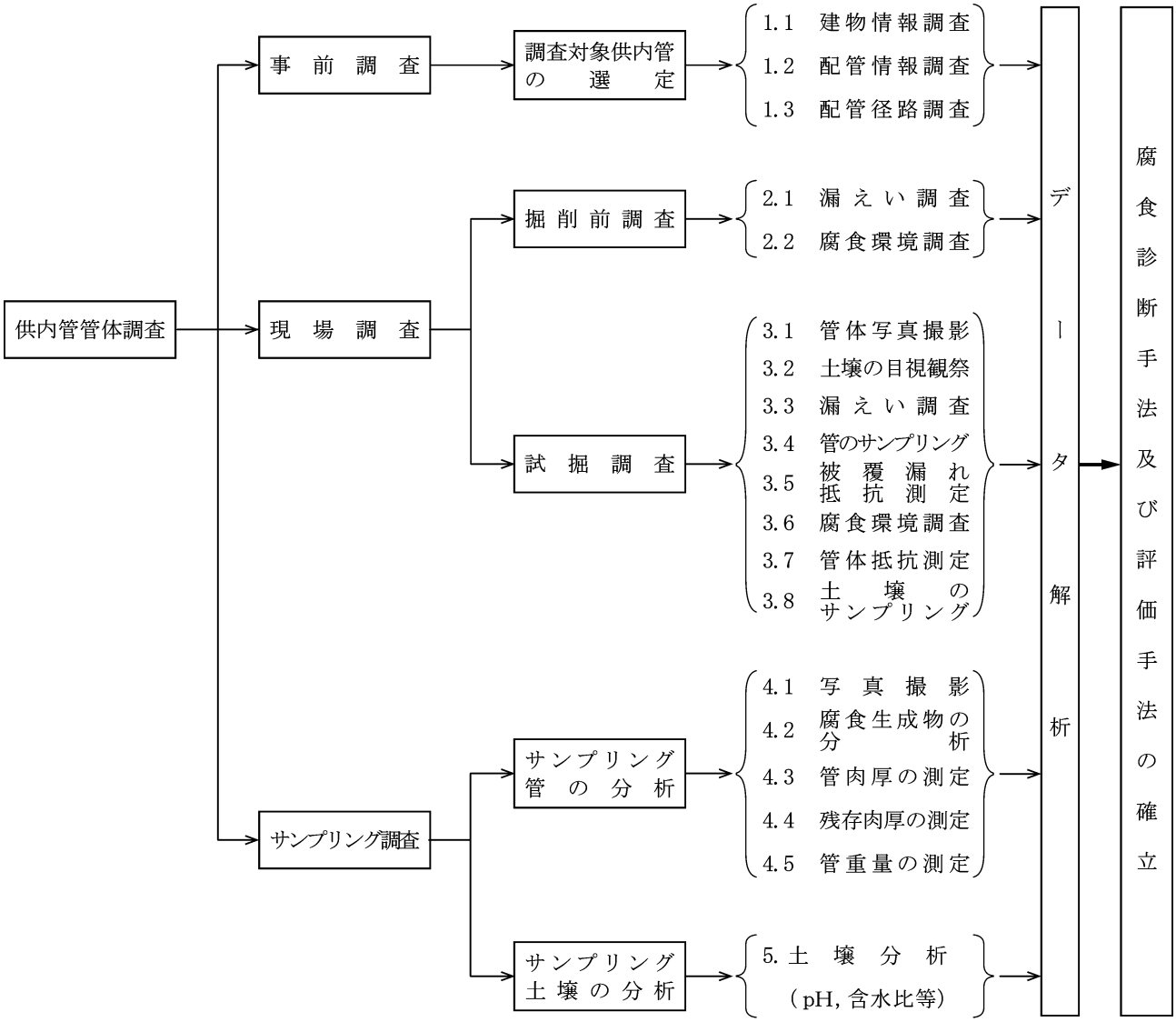
Ⅳ.1　試験結果の概要

Ⅳ.1.1　管体調査結果の概要

１．目　　的

既設供内管の腐食状況の調査を行い、腐食状況と環境因子（土壌、建物、塗覆装、年代等）との相関を把握することにより、供内管の腐食診断手法及び評価手法確立の用に供する。

２．調 査 の 方 法



調 査 の 概 要 図

3．調　査　結　果

3.1　調査対象供内管

調査対象供内管一覧表

建物構造 / 塗覆装 / 口径 / 環境 / 年代別	木造建物						
	亜鉛メッキ管（25A～30A）			アスファルト・ジュート巻き管（25A～30A）			計
	通常の腐食環境	腐食性の強い環境	小計	通常の腐食環境	腐食性の強い環境	小計	
昭和 30 年以前	4	6	10	3	8	11	21
昭和 30 年代	4	8	12	6	5	11	23
昭和 40 年代	4	6	10	6	5	11	21
昭和 50 年代	－	－	－	－	－	－	－
計	12	20	32	15	18	33	65

建物構造 / 塗覆装 / 口径 / 環境 / 年代別	鉄筋コンクリート建物									
	亜鉛メッキ管（40A～50A）			アスファルト・ジュート巻き管（40A～50A）			プラスチック被覆鋼管（40A～50A）			計
	通常の腐食環境	腐食性の強い環境	小計	通常の腐食環境	腐食性の強い環境	小計	通常の腐食環境	腐食性の強い環境	小計	
昭和 30 年以前	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
昭和 30 年代	7	4	11	4	6	10	－	－	－	21
昭和 40 年代	7	3	10	6	6	12	－	－	－	22
昭和 50 年代	4	9	13	－	－	－	2	10	12	25
計	18	16	34	10	12	22	2	10	12	68

3.2 測　定　項　目

(1) 腐　食　量

腐食量の評価項目の定義

腐食量の評価項目（腐食評価量）	記　号	単　位	内　　容
腐　食　深　さ　最　大　値	H^{MAX}	mm	１路線中の最大腐食深さ（継手部分も含む）
腐　食　深　さ　平　均　値	$\overline{H}$	mm	１路線を５cm毎の区間に区切り、各区間で測定された最大腐食深さの平均値（継手部も５cm相当の直管部として扱う）
平均肉厚減（重量法）（直管部）	$\overline{D_W}$	mm	腐食による重量減少量より求めた直管部の平均肉厚減 $\overline{D_W} = \left(D_0 - \sqrt{\frac{4W}{7.86\pi\ell} + D_i^2}\right) \times \frac{1}{2}$ 但しW：ブラスト後の管重量〔g〕 D_0：健全部外径〔mm〕 D_i：管内径〔mm〕 ℓ：管　長〔cm〕
平均肉厚減（レーザー法）（直管部）	$\overline{D_L}$	mm	レーザー式管厚自動測定機で求めた直管部の平均肉厚減

(2) 腐食環境因子

腐食環境因子の定義

腐食環境因子	記号	単位	内容
管対地電位	P/S^{NOB}	−mV（注１）	（注２） 各調査箇所で測定した管対地電位の最高値（最貴値）
	$\overline{P/S}$	−mV（注１）	各調査箇所で測定した管対地電位の平均値
	P/S_{IN}	−mV（注１）	Ａ点切断後の建物側の管対地電位
	P/S_{A-C}	−mV（注１）	Ａ、Ｃ点切断後のＡＣ間の供内管の管対地電位
	P/S_{MAIN}	−mV（注１）	Ｃ点切断後の本支管の管対地電位
管対地電位勾配	△P/S	mV	調査箇所Ｃの管対地電位から調査箇所Ａの管対地電位を引いた値
プローブ電流	I_{PR}^{MAX}	mA	各調査箇所で測定したプローブ（4.76 ㎠）からの流出電流の最大値
	$\overline{I_{PR}}$	mA	各調査箇所で測定したプローブ（4.76 ㎠）からの流出電流の平均値
管内電流	I_{PIPE}	mA	クリップオン電流計で測定した切断前の管内電流（建物側から本支管方向への電流を＋とする。）
	I_{PIPE}^{A}	mA	ゼロシャント電流計で測定した切断後の管内電流（建物側から本支管方向への電流を＋とする。）
接地抵抗	R_{TOTAL}	Ω	切断前の接地抵抗
	R_{IN}	Ω	Ａ点切断後の建物側の管の接地抵抗
	R_{MAIN}	Ω	Ｃ点切断後の本支管の接地抵抗
	$\overline{R_{A-C}}$	Ω・㎡	Ａ、Ｃ点切断後のＡＣ間の供内管の単位面積当りの接地抵抗
被覆漏れ抵抗	ω	Ω・㎡	切断後のサンプル管の被覆漏れ抵抗の最小値
土壌比抵抗	ρ^{MIN}	Ω・cm	各調査箇所で測定したプローブ土壌比抵抗の最小値
	$\overline{\rho}$	Ω・cm	各調査箇所で測定したプローブ土壌比抵抗の平均値
	ρ_{BOX}^{MIN}	Ω・cm	各調査箇所でサンプリングした土壌の土壌箱による土壌比抵抗の最小値
分極抵抗	R_{P}^{MIN}	Ω	各調査箇所で測定したプローブ（4.76 ㎠）の分極抵抗の最小値
	$\overline{R_{P}}$	Ω	各調査箇所で測定したプローブ（4.76 ㎠）の分極抵抗の平均値
腐食電位	$E_{CORR}^{LESSNOB}$	−mV（注１）	各調査箇所で測定したプローブの腐食電位の最低値（最卑値）
	$\overline{E_{CORR}}$	−mV（注１）	各調査箇所で測定したプローブの腐食電位の平均値
湧水	WATER	−	各調査箇所における湧水の分類コード（０；無、１；有、２；多い）の最大値
土質	SQ	−	各調査箇所における土質分類コード（１；砂、２；砂質シルト、３；シルト、４；シルト質粘土、５；粘土）の最大値
土の色	SCL	−	各調査箇所における土の色の分類コード（１；茶、２；灰、３；黒、４；青灰）の最大値
酸化還元電位	ORP	mV（注３）	各調査箇所で測定した酸化還元電位の最小値
レドックス換算値	RED	mV	（注４） 各調査箇所で測定した酸化還元電位の pH 補正値の最小値
pH	PH	−	各調査箇所でサンプリングした土壌の pH の最小値
含水比	WR	%	各調査箇所でサンプリングした土壌の含水比の最大値
細粒分	SP	%	各調査箇所でサンプリングした土壌の 74μm 標準網ふるい通過質量百分率の最大値

注１）管対地電位、腐食電位は飽和硫酸銅基準。

２）各調査箇所とは、建物飛込部(A)、供給管取出部(C)、及びＡとＣとの中間点(B)の三箇所をいう。

３）酸化還元電位は銀－塩化銀電極を使用。

４）レドックス換算値＝酸化還元電位＋60×（「pH」－7.0）＋204

3.3　管体腐食状況

(1)　調査時の漏えい検査では、全物件とも漏えいは認められなかった。

(2)　建物構造、管種、埋設年代別に 12 グループに分類し、各グループの中で腐食深さが最大及び最小の路線について腐食状況を評価した。これらの結果から以下のことがいえる。

・いずれのグループにおいても腐食深さが最小の路線では腐食はほとんど認められない。

・亜鉛メッキ管では、全体的に腐食が進行している傾向が見られる。

・アスファルト・ジュート巻き管では、局部的に腐食が進行している傾向が見られる。

・プラスチック被覆鋼管の直管部には腐食は認められない。

(3)　プラスチック被覆鋼管については、12 路線中８路線では腐食は全く認められず、腐食が認められた４路線においても腐食箇所は継手部に限られていた。

(4)　腐食生成物はα－ＦｅＯ(ＯＨ)が特に多く、次いでFe_3O_4、$FeCO_3$、γ－Fe_2O_3も認められたが、これらはいずれも埋設管で一般的に見られる腐食生成物である。なお、$FeSO_4$及び硫酸塩還元バクテリアによる腐食生成物であるＦｅＳｘは全く認められなかった。

４．腐 食 評 価 量

(1)　H^{MAX}（腐食深さ最大値）と$\overline{H}$（腐食深さ平均値）、及び$\overline{D_W}$（平均肉厚減（重量法））と$\overline{D_L}$（平均肉厚減（レーザー法））の相関は比較的高いが、H^{MAX}と$\overline{D_L}$、及びH^{MAX}と$\overline{D_L}$の相関は低い。

(2)　腐食評価量のうち、$\overline{D_W}$、$\overline{D_L}$は、最大値でも 0.47 ㎜、0.57 ㎜と極めて小さいこと、及び建物構造、塗覆装、年代別に比較すると顕著な差がないことから、解析に用いる腐食評価量としては適切でないと考えられる。

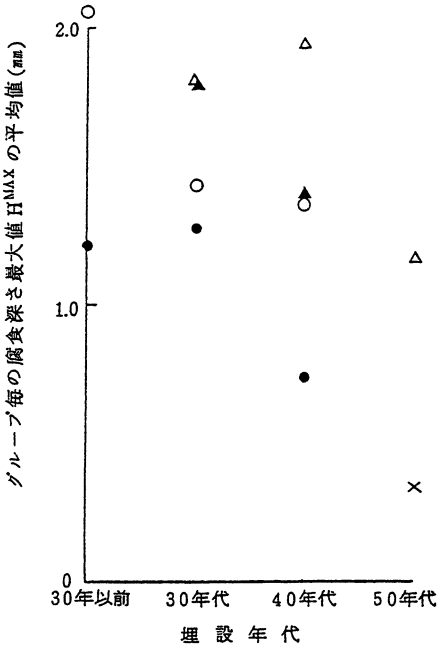
(3)　腐食評価量のうち、H^{MAX}、$\overline{H}$については、以下のことがいえる。

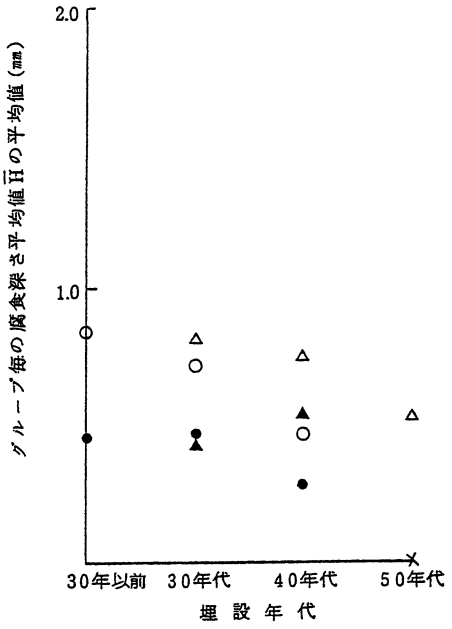
・木造建物における腐食評価量は、鉄筋コンクリート建物に比較して小さい。

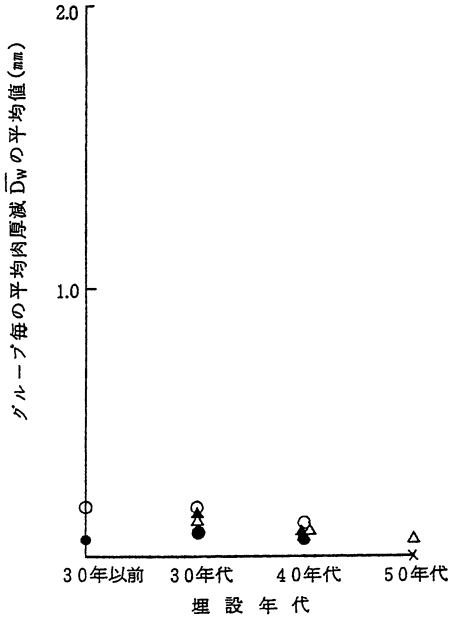
・アスファルト・ジュート巻き管の腐食評価量は、亜鉛メッキ管に比較して小さい。

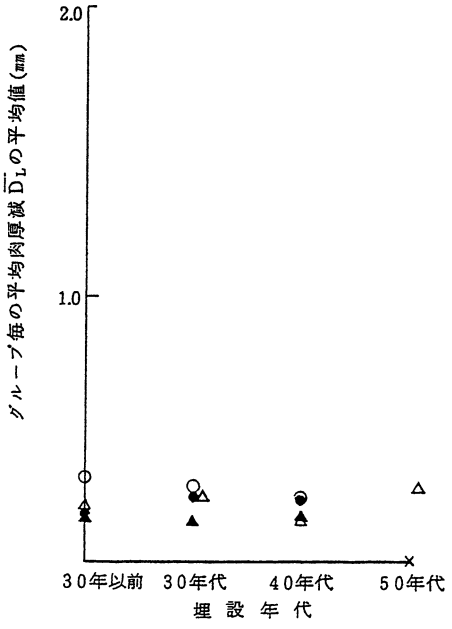
・年代別の腐食評価量は、埋設年度が古くなるほど大きくなる傾向がある。

(4)　鉄筋コンクリート建物における腐食評価量は、建物飛込近傍で大きな値を示す傾向があり、特に 40 年代以降の亜鉛メッキ管ではこの傾向が顕著である。









木造建物	亜鉛メッキ管	○
	アスファルト・ジュート巻き管	●
鉄筋コンクリート建物	亜鉛メッキ管	△
	アスファルト・ジュート巻き管	▲
	プラスチック被覆鋼管	×

各グループ毎の腐食評価量（H^{MAX}、$\overline{H}$、$\overline{D_W}$、$\overline{D_L}$）の平均値

５．腐食環境因子

5.1　腐食環境因子相互の相関

・プローブ電流は、管対地電位及び土壌の腐食性を示す諸因子（土壌比抵抗、分極抵抗、腐食電位、土質）のいずれとも相関を有する。

・土壌の腐食性を示す諸因子の中で、土壌比抵抗、分極抵抗、腐食電位、含水比、土質の５因子は相互に比較的良い相関を有する。

腐食環境因子相互の相関

◎：強い相関を示す。　$|\bar{r}|$＝0.5以上
○：やや強い相関。　$|\bar{r}|$＝0.4～0.499
△：相関がかなり示されるもの。　$|\bar{r}|$＝0.220～0.399
$\bar{r}$：グループ間相互の単相関係数の平均値

	管対地電位	プローブ電流	管内電流	接地抵抗	土壌比抵抗	分極抵抗	腐食電位	含水比	土質	レドックス・PH
管対地電位		－△					△			
プローブ電流					－△	－△	△	△	△	
管内電流										
接地抵抗										
土壌比抵抗						◎	－◎	－△	－△	
分極抵抗							－△	－△	－△	
腐食電位									△	
含水比									△	
土質										
レドックス・PH										

5.2　腐食環境因子に及ぼす建物構造の影響

・管対地電位（P/S^{NOB}）に－400mV 以上の高い電位が現れる頻度は、木造建物で０％せあるのに対し、鉄筋コンクリート建物では 37％である。

・プローブ電流（I_{PR}^{MAX}）が 0.7mA 以上流出する頻度は、木造建物で 12％であるのに対し、鉄筋コンクリート建物では 27％である。

・切断後の建物側の管の接地抵抗（R_{IN}）に５Ω以下の低い値が現れる頻度は、木造建物で９％であるのに対し、鉄筋コンクリート建物では 75％である。

６．腐食評価量と腐食環境因子の相関

6.1　腐食速度及び腐食評価量と腐食環境因子の相関

腐食速度（H^{MAX}／Y、$\overline{H}$／Y）及び腐食評価量（H^{MAX}、$\overline{H}$）と
腐食環境因子との相関

腐食評価量	H^{MAX}／Y、$\overline{H}$／Y		H^{MAX}、$\overline{H}$	
解析対象物件	全　物　件		30・40年代物件	
	亜鉛メッキ管	アスファルト・ジュート巻き管	亜鉛メッキ管	アスファルト・ジュート巻き管
データ数	66	55	43	44
腐食環境因子				
管対地電位	逆相関がある	逆相関が強い	逆相関が強い	逆相関が強い
プローブ電流	正相関が強い	正相関がある	正相関が強い	正相関がある
管内電流		正相関が強い		
接地抵抗				
土壌比抵抗	逆相関がある		逆相関がある	
分極抵抗	逆相関が強い		逆相関が強い	逆相関がある
腐食電位				
含水比	正相関がある		正相関がある	正相関がある
土質				
PH レドックス	正相関がある	正相関がある		正相関がある

6.2　海外文献との比較

海外文献との比較結果

腐食環境因子	腐食評価量との相関　注1）					注2）今回の調査結果と海外文献との比較結果
	今回の調査結果	海外文献				
		ＤＩＮ	ＡＮＳＩ A21.5－1972	ＴＲｂＦ408	Corrosion Science (Vol.19、1979)	
注3）管対地電位	－			－		○
土壌比抵抗	－	－	－	－		○
含水比	＋	＋			＋(≦20～35%) －(＞20～35%)	○
レドックスＰＨ	＋	－	－			△
プローブ電流	＋					
分極抵抗	－					

注１）＋：正相関　　－：逆相関

注２）○：海外文献と相関の傾向が一致する。　　△：海外文献と相関の傾向が異なる。

注３）単位は－mV である。

6.3　相関の強い環境因子

今回の調査結果で腐食評価量との相関が認められ、かつ一般的にも相関があるといわれている腐食環境因子は次の５因子である。

管対地電位、プローブ電流、土壌比抵抗、分極抵抗、含水比

7．腐食環境因子による腐食評価量の定量化

7.1　概　　要

腐食環境因子による腐食評価量の定量化の概要

No.	目　　的	解析手法	解析対象物件	腐食評価量	腐食環境因子
1	供内管の腐食深さの推定及び寄与率の高い腐食環境因子の抽出	数量化理論Ⅰ類	＜全物件＞（プラスチック被覆鋼管を除く）	H^{MAX}	建物構造、塗覆装、埋設年代、管対地電位Ｐ／S^{NOB}、土壌抵抗比ρ^{MIN}の５因子
			＜木造建物＞	H^{MAX}	塗覆装、埋設年代、土壌比抵抗ρ^{MIN}の３因子
2	供内管の腐食深さの推定	重回帰分析	＜全物件＞ ・亜鉛メッキ管 ・アスファルト・ジュート巻き管	H^{MAX}	経過年$Y^{0.5}$、管対地電位Ｐ／S^{NOB}、土壌比抵抗$(\rho^{MIN})^{-0.5}$の３因子
			＜木造建物＞ ・亜鉛メッキ管 ・アスファルト・ジュート巻き管	H^{MAX}	経過年$Y^{0.5}$、土壌比抵抗$(\rho^{MIN})^{-0.5}$の２因子
3	理論的、経験的に策定されている腐食深さ推定式の妥当性の検証	相関分析	＜全物件＞ ・亜鉛メッキ管 ・アスファルト・ジュート巻き管 ・プラスチック被覆鋼管	H^{MAX}	経過年Ｙ、管対地電位Ｐ／S^{NOB}、土壌比抵抗ρ^{MIN}、腐食電位$\overline{E_{CORR}}$、分極抵抗$\overline{R_P}$の５因子
			＜全物件＞ ・亜鉛メッキ管 ・アスファルト・ジュート巻き管 ・プラスチック被覆鋼管	H^{MAX}	経過年Ｙ、プローブ電流I_{PR}^{MAX}、土壌比抵抗ρ^{MIN}の３因子

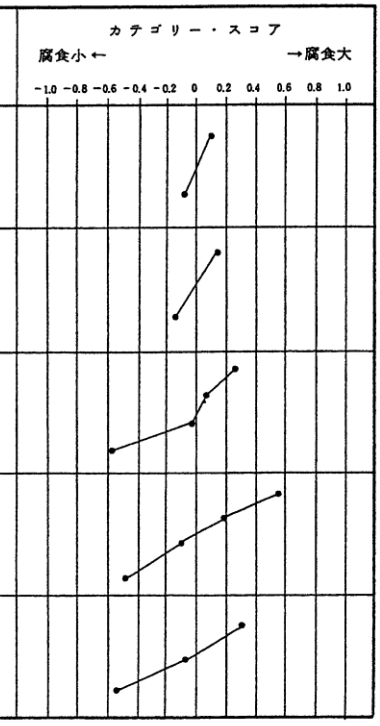
7.2 数量化理論Ⅰ類による解析

(1) 全物件を対象とした解析結果

数量化理論Ⅰ類によるカテゴリー・スコア

対象物件	全物件（プラスチック被覆鋼管を除く）
データ数	121
目的変数	H^{MAX}
相関係数	0.590
平均	1.451

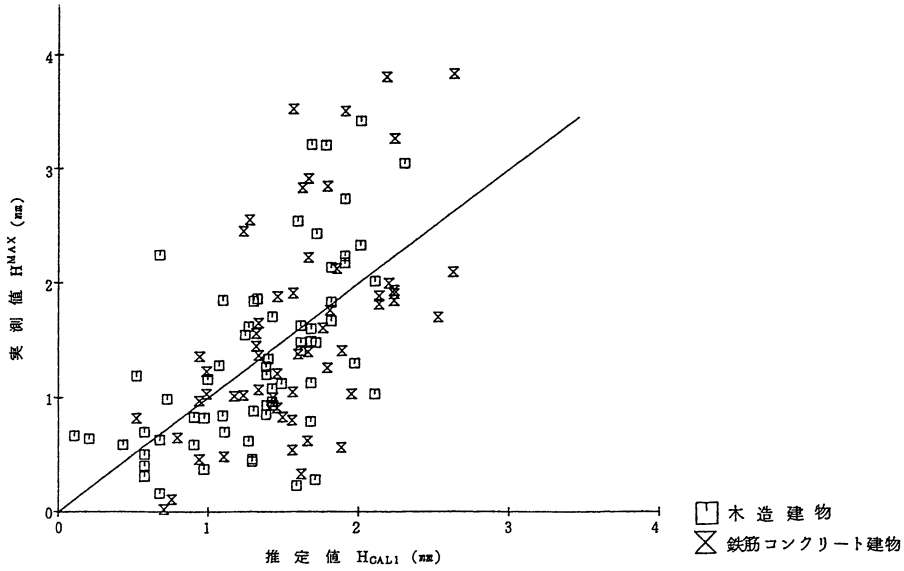
No.	アイテム	カテゴリー	カテゴリー・スコア
1	建物構造	鉄筋コンクリート建物	0.093
		木造建物	−0.080
2	塗覆装	亜鉛メッキ管	0.149
		アスファルト・ジュート巻き管	−0.178
3	埋設年代	昭和30年以前	0.265
		昭和30年代	0.072
		昭和40年代	−0.027
		昭和50年代	−0.582
4	管対地電位 P/S^{NOB} (−mV)	<400	0.543
		400≦ <500	0.198
		500≦ <600	−0.091
		600≦	−0.507
5	土壌比抵抗 ρ^{MIN} (Ω・cm)	<3,000	0.313
		3,000≦ <7,000	−0.078
		7,000≦	−0.549



（計算例）

推定値（H_{CAL1}）＝平均値＋建物構造（木造建物）＋塗覆装（亜鉛メッキ）＋埋設年代（昭和30年代）＋管対地電位（−460mV）＋土壌比抵抗（2,000Ωcm）

2.103mm＝1.451 − 0.080 ＋ 0.149 ＋ 0.072 ＋ 0.198 ＋ 0.313



カテゴリー・スコアより求めた推定値と実測値との関係

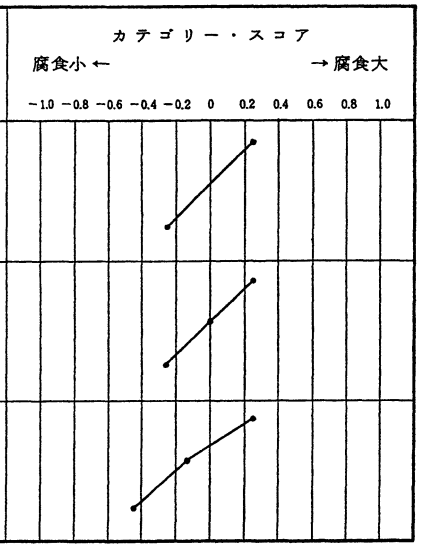
（実線は $H^{MAX}=H_{CAL1}$ ）

(2) 木造建物のみを対象とした解析結果

数量化理論Ⅰ類によるカテゴリー・スコア

対象物件	木造建物
データ数	65
目的変数	H^{MAX}
相関係数	0.541
平均	1.337

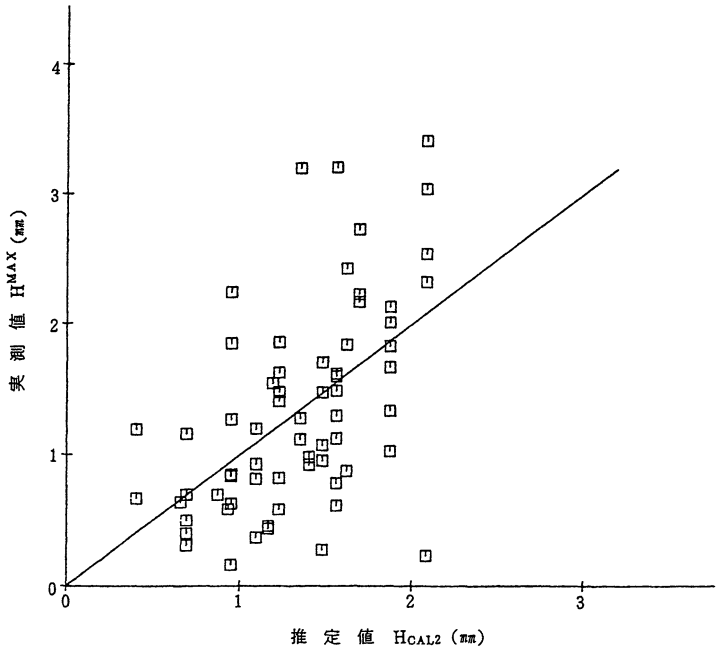
No.	アイテム	カテゴリー	カテゴリー・スコア
1	塗覆装	亜鉛メッキ管	0.267
		アスファルト・ジュート巻き管	−0.259
2	埋設年代	昭和30年以前	0.226
		昭和30年代	0.013
		昭和40年代	−0.240
3	土壌比抵抗 ρ^{MIN} (Ωcm)	＜3,000	0.255
		3,000≦ ＜7,000	−0.141
		7,000≦	−0.431



（計算例）

推定値（H_{CAL2}）＝ 平均値＋塗覆装（亜鉛メッキ）＋埋設年代（昭和30年代）＋土壌比抵抗（5,000Ω・cm）

1.476mm＝ 1.337＋ 0.267 ＋ 0.013 − 0.141



カテゴリー・スコアより求めた推定値と実測値の関係
（実線は $H^{MAX}=H_{CAL2}$ ）

7.3 重回帰分析

(1) 全物件を対象とした解析結果

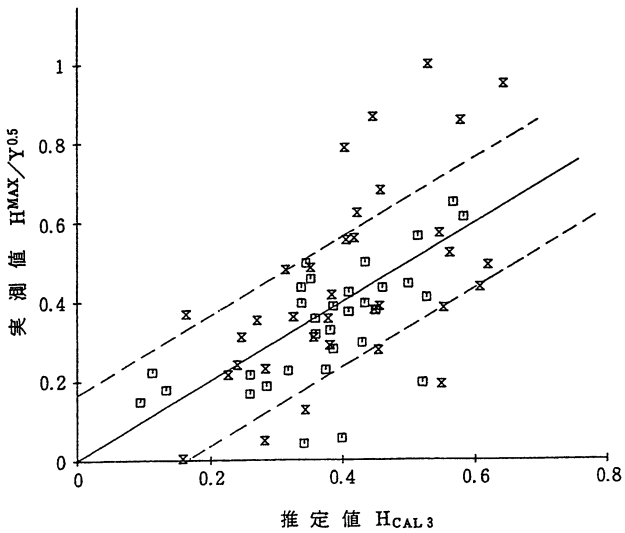
重回帰分析結果（木造および鉄筋コンクリート建物を解析対象）

重回帰式；$H^{MAX}/Y^{0.5}=A_1+B_1\cdot P/S^{NOB}+C_1\cdot(\rho^{MIN})^{-0.5}$

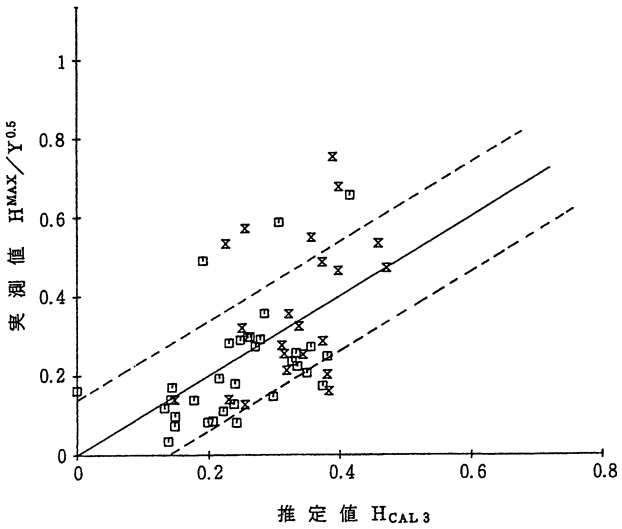
P/S^{NOB}：管対地電位（－mV）
ρ^{MIN}：土壌比抵抗（Ω・cm）

回帰係数 ＼ 解析対象	A_1	B_1	C_1	相関係数	標準偏差 σ_1
全亜鉛メッキ管	0.447	-8.30×10^{-4}	21.33	0.593	0.171
全アスファルト・ジュート巻き管	0.630	-9.30×10^{-4}	8.17	0.556	0.146

（全亜鉛メッキ管）



（全アスファルト・ジュート巻き管）



□ 木造建物
⧗ 鉄筋コンクリート建物

推定値（H_{CAL3}）と実測値（$H^{MAX}/Y^{0.5}$）の関係

$H_{CAL3}=A_1+B_1\cdot P/S^{NOB}+C_1\cdot(\rho^{MIN})^{-0.5}$

（実線は$H^{MAX}/Y^{0.5}=H_{CAL3}$、破線は$H^{MAX}/Y^{0.5}=H_{CAL3\pm\sigma1}$）

(2)　木造建物を対象とした解析結果

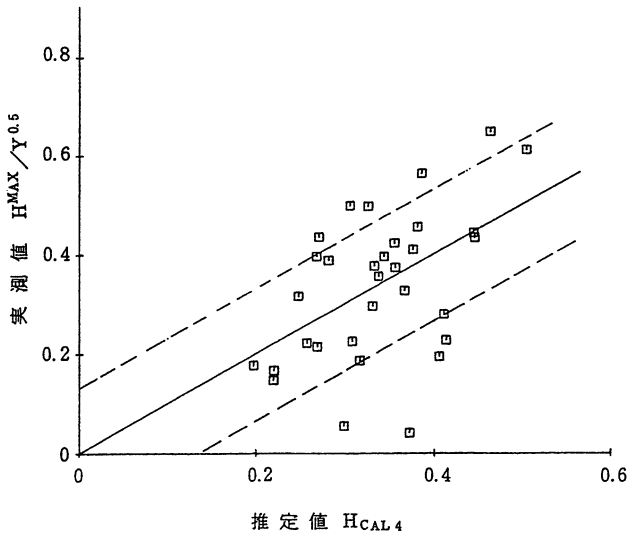
重回帰分析結果（木造建物を解析対象）

重回帰式；$H^{MAX}/Y^{0.5}=A_2+B_2\cdot(\rho^{MIN})^{-0.5}$

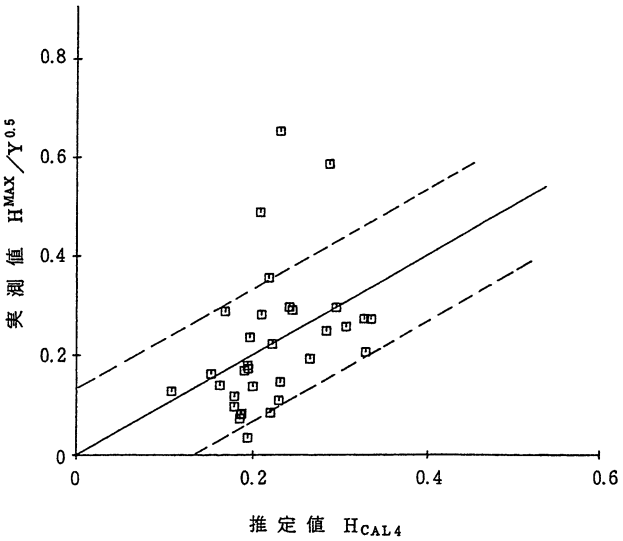
ρ^{MIN}：土壌比抵抗(Ω・cm)

回帰係数 ＼ グループ	A_2	B_2	相関係数	標準偏差 σ_2
木造・亜鉛メッキ管	0.058	15.96	0.497	0.133
木造・アスファルト・ジュート巻き管	0.076	7.87	0.386	0.132

（木造・亜鉛メッキ管）



（木造・アスファルト・ジュート巻き管）



推定値（H_{CAL4}）と実測値（$H^{MAX}/Y^{0.5}$）との関係

$H_{CAL4}=A_2+B_2\cdot(\rho^{MIN})^{-0.5}$

（実線は$H^{MAX}/Y^{0.5}=H_{CAL4}$、破線は$H^{MAX}/Y^{0.5}=H_{CAL4\pm\sigma 2}$）

7.4 半理論式の測定データによる検証

最大腐食深さ推定式

最大腐食深さ推定式	測定項目	式の構成要素の考え方			最大腐食深さ推定式	係数
		ミクロセル腐食速度	マクロセル腐食速度	経過年指数		
H_{CAL9}	$\overline{R_P}$ ：分極抵抗（Ω） P/S^{NOB} ：管対地電位（−mV） $\overline{E_{CORR}}$ ：腐食電位（−mV） ρ^{MIN} ：土壌比抵抗（Ω・cm） Y ：経過年（yr）	$\dfrac{27.3}{\overline{R_P}}$	$K_1\dfrac{(\overline{E_{CORR}}-1.25P/S^{NOB}+75)^{1.1}}{(\rho^{MIN})^{0.6}}$	$\dfrac{1-e^{-0.1Y}}{0.1}$	H_{CAL9} 注1） $=\left\{\dfrac{27.3}{\overline{R_P}}+K_1\dfrac{(\overline{E_{CORR}}-1.25P/S^{NOB}+75)^{1.1}}{(\rho^{MIN})^{0.6}}\right\}\cdot\dfrac{1-e^{-0.1Y}}{0.1}$	$K_1=\begin{cases}0.05\text{（亜鉛メッキ管）}\\0.06\text{（アスファルト・ジュート巻き管）}\\0.11\text{（プラスチック被覆鋼管）注2）}\end{cases}$
H_{CAL10}	ρ^{MIN} ：土壌比抵抗（Ω・cm） I_{PR}^{MAX} ：プローブ電流（mA） Y ：経過年（yr）	$4.42(\rho^{MIN})^{-0.5}$	$K_2\cdot I_{PR}^{MAX}$	$Y^{0.5}$	H_{CAL10} $=\{4.42(\rho^{MIN})^{-0.5}+K_2\cdot I_{PR}^{MAX}\}\cdot Y^{0.5}$	$K_2=\begin{cases}0.8\text{（亜鉛メッキ管）}\\0.9\text{（アスファルト・ジュート巻き管）}\\1.4\text{（プラスチック被覆鋼管）注2）}\end{cases}$

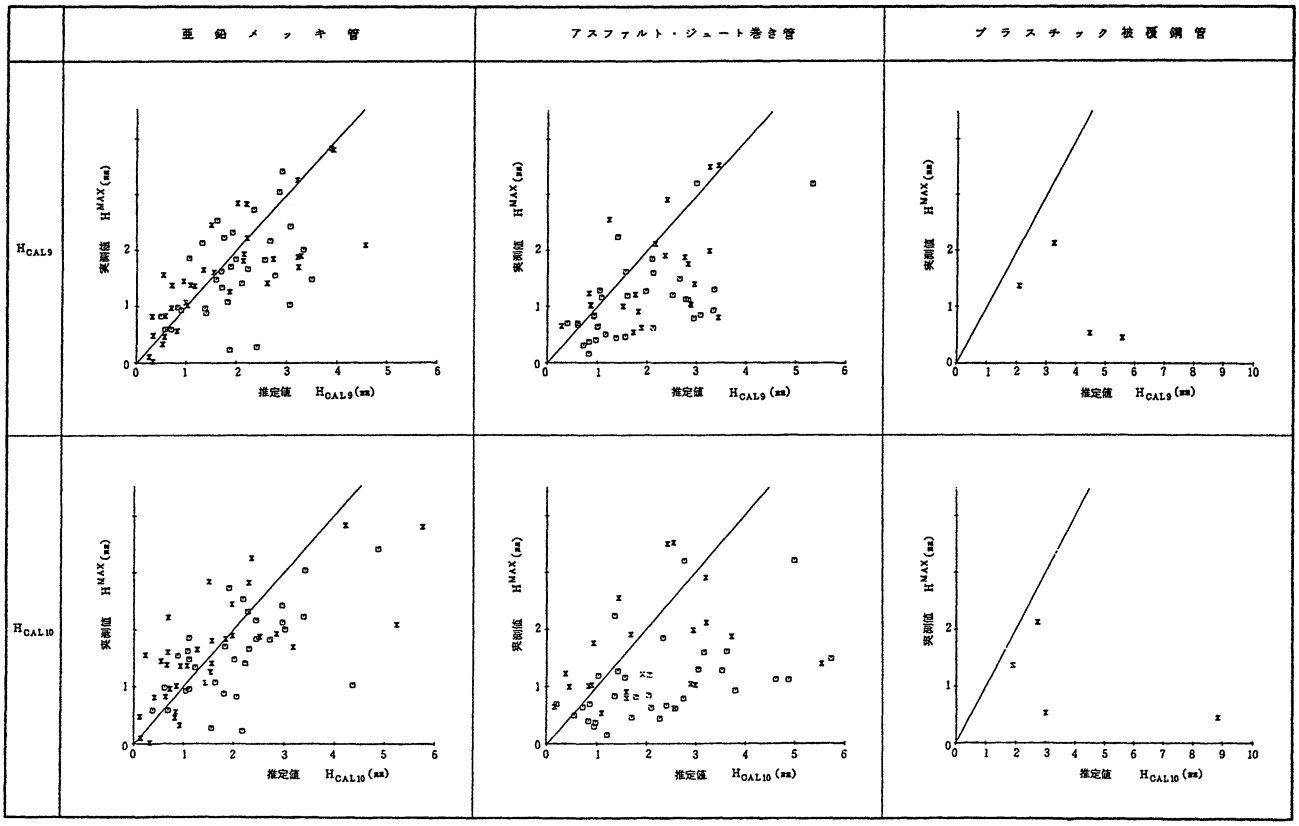
注1）$(\overline{E_{CORR}}-1.25P/S^{NOB}+75)$ の項が負の場合は，この項を零として扱う。

注2） プラスチック被覆鋼管において係数が最も大きいのは，プラスチック被覆あるいは継手部の覆装に傷が存在する場合を想定して係数を定めているためである。

最大腐食深さの推定値（H_{CAL9}、H_{CAL10}）と実測値（H^{MAX}）との相関

グループ			データ数	H_{CAL9}			H_{CAL10}		
建物構造	塗覆装	略称	N	相関係数	回帰係数A	回帰係数B	相関係数	回帰係数A	回帰係数B
木造建物	亜鉛メッキ管	WZ	32	0.469	0.728	0.446	0.590	0.701	0.436
	アスファルト・ジュート巻き管	WA	33	0.626	0.332	0.413	0.490	0.505	0.253
鉄筋コンクリート建物	亜鉛メッキ管	CZ	34	0.781	0.533	0.612	0.732	0.785	0.510
	アスファルト・ジュート巻き管	CA	22	0.456	0.648	0.429	0.330	1.111	0.226
	プラスチック被覆鋼管	CP	4	−0.717	2.565	−0.376	−0.591	1.725	−0.147
全亜鉛メッキ管			66	0.668	0.573	0.556	0.667	0.751	0.466
全アスファルト・ジュート巻き管			55	0.564	0.410	0.445	0.372	0.784	0.226
全アスファルト・ジュート巻き、亜鉛メッキ管			121	0.600	0.515	0.496	0.488	0.813	0.322
全物件			125	0.490	0.711	0.372	0.385	0.966	0.231

注）回帰係数A、B　　$H^{MAX}=A+B\times H_{CAL}$



推定値（H_{CAL9}，H_{CAL10}）と実測値（H^{MAX}）との関係

□ 木造建物
⧖ 鉄筋コンクリート建物

（実線は$H^{MAX}=H_{CAL}$）

８．本調査結果からの現場への適用

8.1　最大腐食深さ推定式

最大腐食深さ推定式として、理論的、経験的に策定されている腐食深さ推定式及び重回帰式から導き出した腐食深さ推定式を採用する。

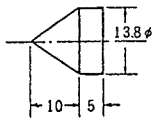
8.2　適用するにあたっての留意事項

① 最大腐食深さ推定式は今後、データを収集・検証することによって、確度を高めていくことが望ましい。

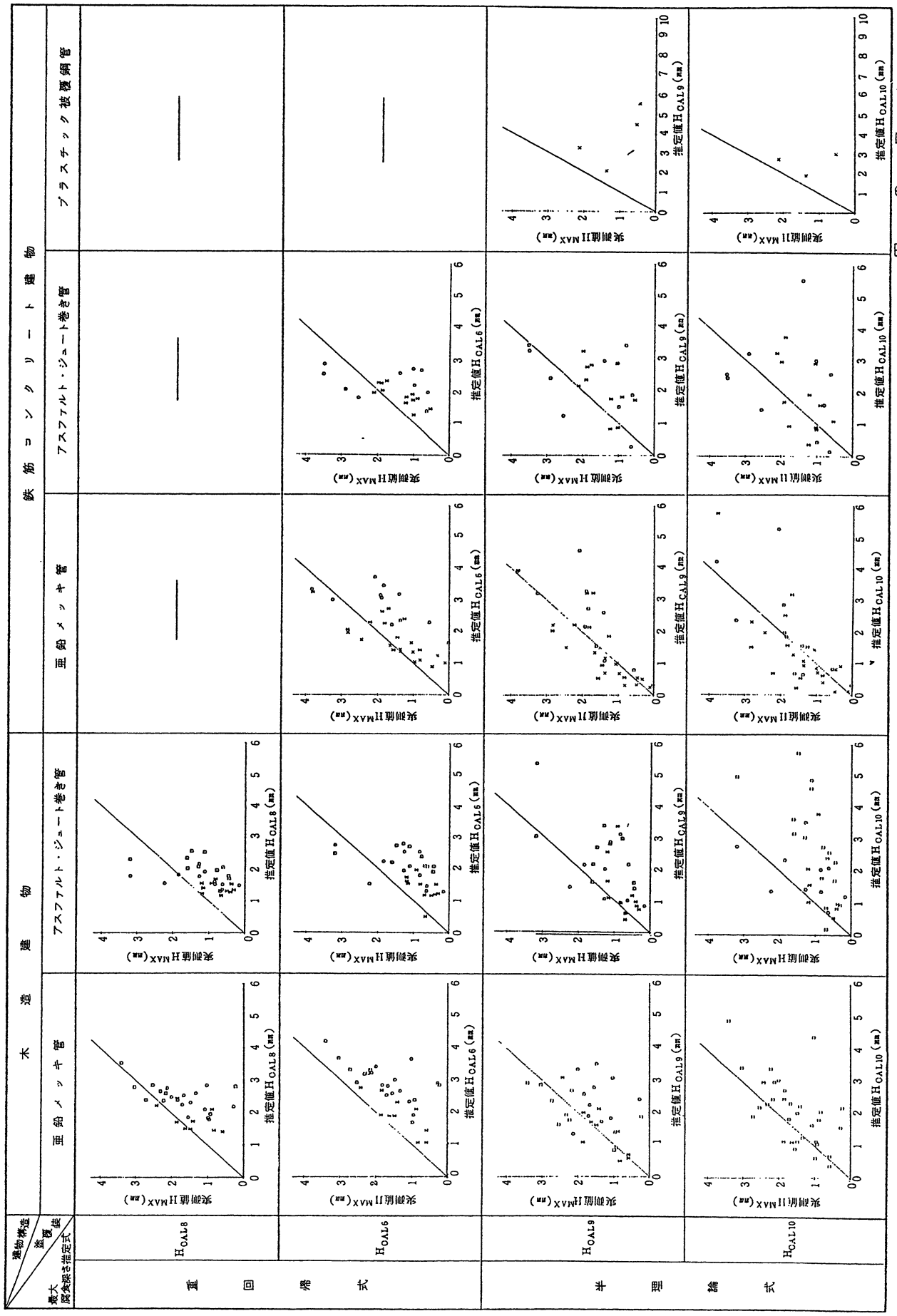
② プラスチック被覆鋼管については、腐食が発生している路線が少なかったため、半理論式においては実績のある係数を転用したが、重回帰式においては係数を決定することができなかった。したがって今後データを収集・検証することによって、重回帰式の係数を定めることが望ましい。

③ 今回の調査結果には、腐食性が強いと言われている pH が４以下（化学工場、温泉地等）のデータ、またドレックス電位が負（泥炭地、沼地等）のデータが含まれていないので、これらについては、別途データを収集・検証する必要がある。

最大腐食深さ推定式の一覧表

最大腐食深さ推定式		測定項目	測定条件	最大腐食深さ推定式	式の策定法	適用範囲 C/S系マクロセル腐食診断 建物単位	適用範囲 一般腐食診断 地域単位	適用範囲 一般腐食診断 建物単位	確度	注意点
重回帰式	H_{CAL8}	ρ：土壌比抵抗の最小値〔Ω・cm〕 Y：経過年〔yr〕		＜木造亜鉛メッキ管＞ $H_{CAL8}=(0.19+16.0/\sqrt{\rho})\sqrt{Y}$ ＜木造アスファルト・ジュート巻き管＞ $H_{CAL8}=(0.21+7.87/\sqrt{\rho})\sqrt{Y}$	・重回帰分析結果に，標準偏差分を加えて式を変形。	×	○	×	△	・診断確度は低いが，一般腐食の地域単位の診断には適用可能。 ・今回の調査データから最適係数を定めたものであるため，今後データを収集，検証する必要がある。
重回帰式	H_{CAL6}	P／S：管対地電位の最高値（最貴値）〔mV〕(注) ρ：土壌比抵抗の最小値〔Ω・cm〕 Y：経過年〔yr〕	P／S測定には飽和硫酸銅照合電極を使用。	＜亜鉛メッキ管＞ $H_{CAL6}=(0.62+0.00083P/S+21.3/\sqrt{\rho})\sqrt{Y}$ ＜アスファルト・ジュート巻き管＞ $H_{CAL6}=(0.78+0.00093P/S+8.17/\sqrt{\rho})\sqrt{Y}$	・亜鉛メッキ管，アスファルト・ジュート巻き管について，重回帰分析結果に標準偏差分を加えて式を変形。	○	×	○	○	・プラスチック被覆鋼管については適用外。 ・今回の調査データから最適係数を定めたものであるため，今後データを収集，検証する必要がある。
半理論式	H_{CAL9}	R_P：分極抵抗の平均値〔Ω〕 S_P：分極抵抗測定用プローブの表面積〔cm²〕 P／S：管対地電位の最高値（最貴値）〔mV〕(注) ρ：土壌比抵抗の最小値〔Ω・cm〕 E_{CORR}：腐食電位の平均値〔mV〕(注) Y：経過年〔yr〕	P／S，E_{CORR}測定には飽和硫酸銅照合電極を使用。	$H_{CAL9}=\left\{\frac{130}{R_P\cdot S_P}+K_1\frac{(-E_{CORR}+1.25P/S+75)^{1.1}}{\rho^{0.6}}\right\}\frac{1-e^{-0.1Y}}{0.1}$ 管種／係数 K_1： 亜鉛メッキ管 0.05 アスファルト・ジュート巻き管 0.06 プラスチック被覆鋼管 0.11	・理論的，経験的に策定されている半理論式を採用。 ・プラスチック被覆鋼管については，本試験データだけでは検証不可能なため，実績のある係数を転用。	○	×	○	◎	
半理論式	H_{CAL10}	I_{PR}：プローブ電流の最大値〔mA〕 ρ：土壌比抵抗の最小値〔Ω・cm〕 Y：経過年〔yr〕	表面積 4.76 cm²，下図の形状のプローブを使用。 	$H_{CAL10}=(4.42/\sqrt{\rho}+K_2\cdot I_{PR})\sqrt{Y}$ 管種／係数 K_2： 亜鉛メッキ管 0.8 アスファルト・ジュート巻き管 0.9 プラスチック被覆鋼管 1.4	・理論的，経験的に策定されている半理論式を採用。 ・プラスチック被覆鋼管については，本試験データだけでは検証不可能なため，実績のある係数を転用。	○	×	○	◎	・プローブの表面積，形状が異なると，係数を変更する必要がある。

(注) 第７章までの解析においては絶対値で扱ってきたが，現場への適用においては実データを直接代入できるようにしている。



最大腐食深さの推定値（H_{CAL}）と実測値（H_{MAX}）との関係

（実線は $H_{MAX} = H_{CAL}$）

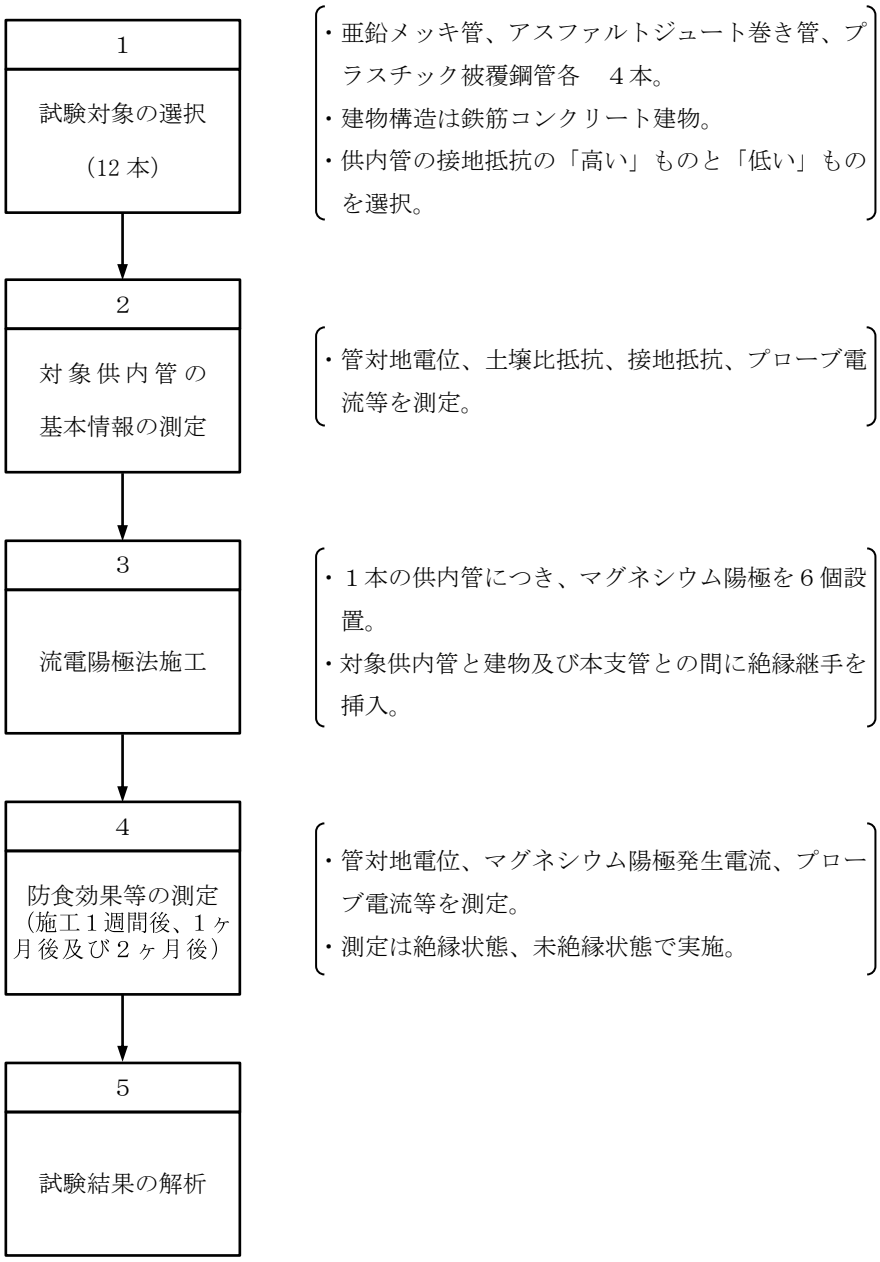
Ⅳ.1.2　流電陽極法評価試験結果の概要

１．目　　的

既設の供内管に流電陽極法を施工し、配管状況、管種等による防食効果の違いを測定し、建物や配管状況に応じた適正な設計法及び防食効果の評価手法を確立する。

２．試 験 の 方 法

12 本の試験対象供内管に対し、以下のフローで試験を実施し、解析を行った。



試験を行った供内管の概要を以下に示す。

No.	管種	接合形式	接地抵抗（Ω）＊1） 本支管	ON−ON	OFF−ON	ON−OFF	OFF−OFF	屋内管	表面積＊2）（㎡）	単位面積当りの接地抵抗（Ω・㎡）	プローブ土壌比抵抗＊3）（Ω・cm） A	B	C	本支管の状況	屋内管側の状況＊4）（〔 〕内は貫通部の状況を示す）
1	亜鉛メッキ管	ネジ	64.0	0.7	6.5	0.7	6.0	1.1	5.32	32	10,900	8,270	9,900	本管（100㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，無塗装）	亜鉛メッキ管〔3〕口径80㎜，延長19.0m
2	〃	〃	17.0	3.1	4.5	3.7	5.9	12.0	2.28	13	3,810	53,100	14,000	本管（100㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，タールエポキシ塗装）	亜鉛メッキ管〔1〕口径32㎜，延長17.0m
3	〃	〃	17.0	1.7	17.0	1.7	31.0	1.7	0.70	22	9,830	8,930	3,380	本管（100㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，タールエポキシ塗装）	亜鉛メッキ管〔2〕口径25㎜，延長6.0m
4	〃	〃	1.8	0.2	1.6	7.0	10.1	20.2	0.28	23	11,500	9,980	20,800	本管（300㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，無塗装）	亜鉛メッキ管〔4〕口径50㎜，延長12.0m
5	アスファルト・ジュート巻き管	〃	0.3	0.3	1.5	1.2	4.3	1.2	8.17	35	2,660	6,620	7,930	本管（100㎜，鋳鉄管，ガス型接合，タールエポキシ塗装）	亜鉛メッキ管〔2〕口径80㎜，延長29.2m
6	〃	〃	0.1	0.3	0.4	0.5	9.5	0.5	8.92	85	3,350	3,030	3,540	本管（80㎜，鋼管，ネジ接合，アスファルト・ジュート巻き管）	亜鉛メッキ管〔2〕口径 80㎜ 28.5m，50㎜ 延長 5.0m
7	〃	〃	1.1	0.8	1.0	1.2	23.0	1.2	7.61	175	4,070	4,580	29,500	本管（100㎜，鋳鉄管，ガス型接合，タールエポキシ塗装）	亜鉛メッキ管〔4〕口径80㎜，延長27.2m
8	〃	〃	11.2	5.6	5.6	9.4	9.6	165.0	11.00	105	8,930	9,430	8,690	本管（80㎜，鋼管，ネジ接合，アスファルト・ジュート巻き管）	亜鉛メッキ管〔2〕口径 80㎜ 28.7m，50㎜ 延長 3.0m，32㎜ 17.3m
9	プラスチック被覆鋼管	メカニカル	620.0	4.3	400.0	4.5	790.0	4.5	3.97	3,140	3,640	6,510	13,800	本管（50㎜，鋼管，メカニカル接合，プラスチック被覆鋼管）	プラスチック被覆鋼管〔2〕口径40㎜，延長26.0m
10	〃	ネジ	9.3	0.5	9.0	0.5	220.0	0.5	3.59	790	10,400	14,600	2,520	本管（100㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，タールエポキシ塗装）	プラスチック被覆鋼管〔2〕口径65㎜，延長15.0m
11	〃	メカニカル	13.1	6.2	13.5	13.1	330.0	10.7	3.88	1,280	10,200	5,820	8,820	本管（200㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，無塗装）	プラスチック被覆鋼管〔2〕口径50㎜，延長20.4m
12	〃	ネジ	0.6	0.5	0.7	9.4	470.0	9.4	4.55	2,140	17,500	5,980	10,400	本管（100㎜，鋳鉄管，メカニカル接合，タールエポキシ塗装）	プラスチック被覆鋼管〔4〕口径65㎜，延長19.3m

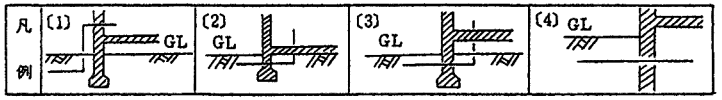
（注）試験した供内管に漏えいは無かった。

＊1）本支管側（測定箇所A）及び建物側（測定箇所C）に設置した絶縁継手の両側から取出した端子を，短絡あるいは開放した状態を表わす，すなわち，「ON」とは，絶縁継手を短絡（通電）した状態，「OFF」とは，絶縁継手を有効（絶縁）にした状態を表わす。従って管が建物の鉄筋とつながっているときは，鉄筋をも含んだ接地抵抗を示している。

＊2）OFF−OFF状態での管の表面積を示す。

＊3）Aは建物近傍，Cは本支管側（供給管取出部），BはAとCの中間の測定位置を表わす。

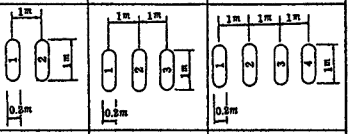
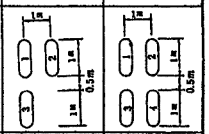
＊4）



３．試　験　結　果

試験の結果を，文献等で既知の知見と比較して下表に示す。

目　　的	確　認　事　項	文献等で既知の知見	本試験結果で得られた知見	備　　考
防食効果の評価基準を策定	完全防食（Ｃ／Ｓ系マクロセル腐食及びミクロセル腐食の防止）のために必要な管対地電位レベル	－850mV 以下 （ＮＡＣＥ Standard ＲＰ－01－69（1983，Revision），B.S.Ｉ ＣＰ－1021 Code of Practice for Cathodic Protection）	管対地電位が－850mV 以下に保持されている場所では，プローブ電流が必ず流入していることから－850mV 基準は妥当であると考えられる。	3.5 節参照
	Ｃ／Ｓ系マクロセル腐食の防止のために必要な管対地電位レベル	――――	管対地電位の最高値（最貴値）が－700mV 以下にあれば，その路線ではプローブ電流は零もしくは流入状況にある。また一般的にいわれている土壌中の管の自然電位は－700mV より高い電位（貴）であることから，管対地電位の最高値（最貴値）が－700mV 以下にあればＣ／Ｓ系マクロセル腐食は少くとも防止されていると考えられる。	3.5 節参照
防食設計法確立に係る諸因子の特性把握	マグネシウム陽極の自然電位	－1550mV （Control of Pipeline Corrosion，Ｐ118（1967），Ａ．Ｗ．Peabody，ＮＡＣＥ）	－1550mV	2.5 節参照
	１本のマグネシウム陽極の接地抵抗	$R_{Mg}=\frac{0.1588\rho}{L}\left(2.3\log\frac{8L}{D}-1\right)$ R_{Mg}＝Ｍｇ陽極の接地抵抗（Ω） ρ ＝土壌比抵抗（Ω・cm） Ｌ ＝Ｍｇ陽極の長さ（cm） Ｄ ＝Ｍｇ陽極の径（cm） （Control of Pipeline Corrosion，Ｐ95（1967）Ａ．Ｗ．Peabody，ＮＡＣＥ） ＜Ｌ＝100，Ｄ＝20 の場合の計算例＞ $R_{Mg}=0.004\rho$	＜Ｄ＝20，Ｌ＝100 の場合＞ 土壌比抵抗にかかわらず 25Ω程度である。	2.4 節，3.1 節参照
	マグネシウム陽極個数と接地抵抗との関係	$R_{Mg\,(total)}=\frac{0.1588\rho}{mL}\left\{2.3\log\frac{8L}{D}-1+\frac{2L}{S}2.3\log(0.656m)\right\}$ ｍ＝Ｍｇ陽極個数 Ｓ＝Ｍｇ陽極の間隔（cm） （Control of Pipeline Corrosion，Ｐ95（1967），Ａ．Ｗ．Peabody，ＮＡＣＥ） $R_{Mg\,(total)}=n\times\left(\frac{1}{\sum^{m}\frac{1}{R_{Mg}}}\right)$ ｎ＝修正係数		3.2 節参照

目　　的	確　認　事　項	文献等で既知の知見	本試験結果で得られた知見	備　　考
		＜L＝100，D＝20，S＝100の場合＞ マグネシウム陽極個数 m：1 / 2 / 3 / 4 マグネシウム陽極配置法：  修正係数 n：1.0 / 1.19 / 1.49 / 1.70	＜L＝100，D＝20，S＝100の場合＞ マグネシウム陽極個数 m：1 / 2 / 3 / 4 マグネシウム陽極配置法：  修正係数 n：1.0 / 1.27 / 1.55 / 1.88	
	マグネシウム陽極発生電流と管対地電位変化量	オームの法則より，理論的に下式が考えられる。 $\Delta P / S = I_{Mg} \times R_{PIPE}$ $\Delta P / S$；管対地電位変化量（mV） I_{Mg}　；Ｍｇ陽極発生電流（mA） R_{PIPE}　；管の接地抵抗（Ω）	$\Delta P / S = I_{Mg} \times R_{PIPE}$が成り立つことを確認	5.5(1)参照
	管の単位面積当りの接地抵抗		今回の調査対象（管種毎各４本づつ）での概略値 管種：亜鉛メッキ管 / アスファルト・ジュート巻き管 / プラスチック被覆鋼管 管の単位面積当りの接地抵抗（Ω・m²）：20 / 100 / 1,000	
	マグネシウム陽極設置後の管対地電位の経時変化		管対地電位は１週間後より１ヶ月後の方が低い電位となり，１ヶ月後以降の変化はあまり無い。	
防食可能な接地抵抗レベルの把握	管対地電位を－850mV 以下まで変下させることが可能な管の接地抵抗レベル	――――	管種：亜鉛メッキ管 / アスファルト・ジュート巻き管 / プラスチック被覆鋼管 Mg陽極個数： 1：25Ω以上 / 10Ω以上 / 10Ω以上 2（集中設置）：19 / 8 / 8 3（集中設置）：18 / 7 / 7 4 集中設置：17 / 7 / 7 4 分散設置：13 / 5 / 6	5.5(2)参照
接地抵抗の低い管で，絶縁が困難な場合の，代替防食法の確立	マグネシウム陽極近傍の管対地電位分布	・管の接地抵抗がどんなに低くてもＭｇ陽極から８～10ft以内は防食可能である。 〔“Close” Ground Bed Anode Method〕 （Control of Pipeline Corrosion，P24（1967） A．W．Peabody，ＮＡＣＥ）	・埋設管を鉄筋，本支管等の接地抵抗の低い埋設物から切り離さなくても，Ｍｇ陽極を２ｍ間隔で管に近接して設置すれば，管を防食状態とすることができる。この防食方式での防食の評価基準は，管対地電位＝－850mV である。	5.6 参照

４．現場への適用

本試験結果から得られた知見より流電陽極法を現場に適用するため、埋設供内管と建物との絶縁の有無、管の総合接地抵抗等を考慮し、以下の３方式を提案し、同時にその設計要領を作成した。

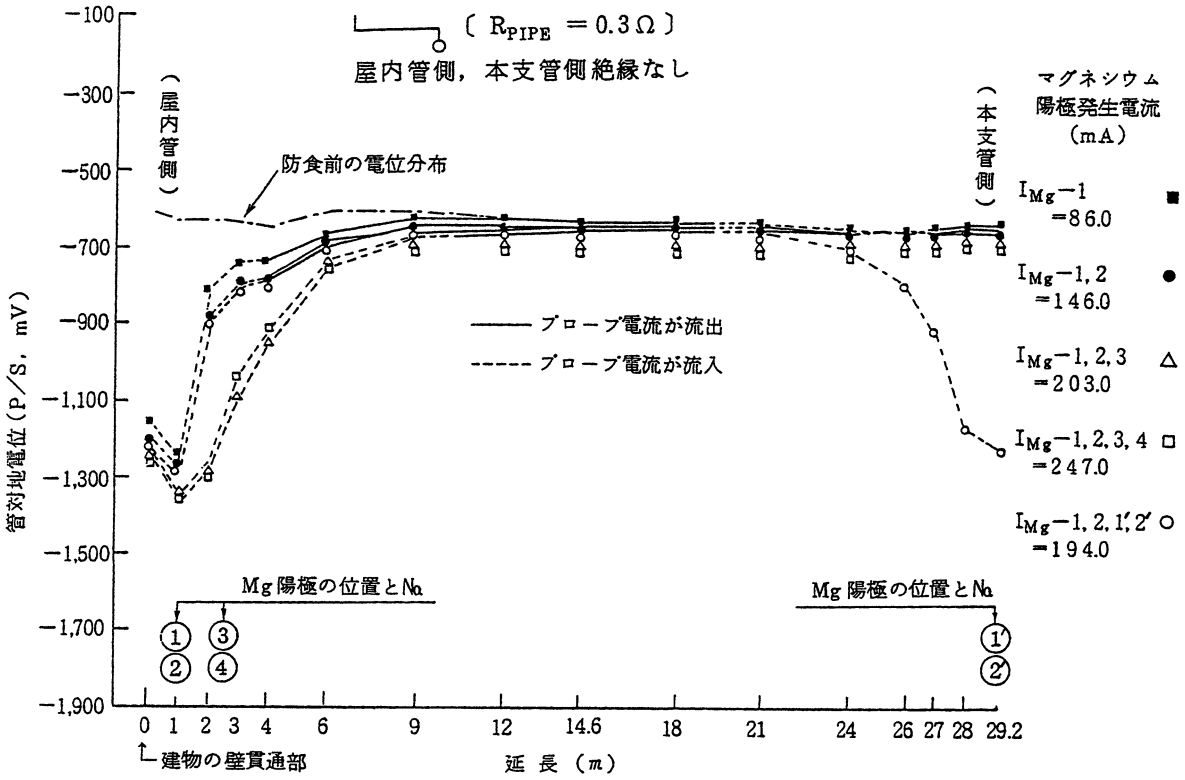
① 絶縁－流電陽極法

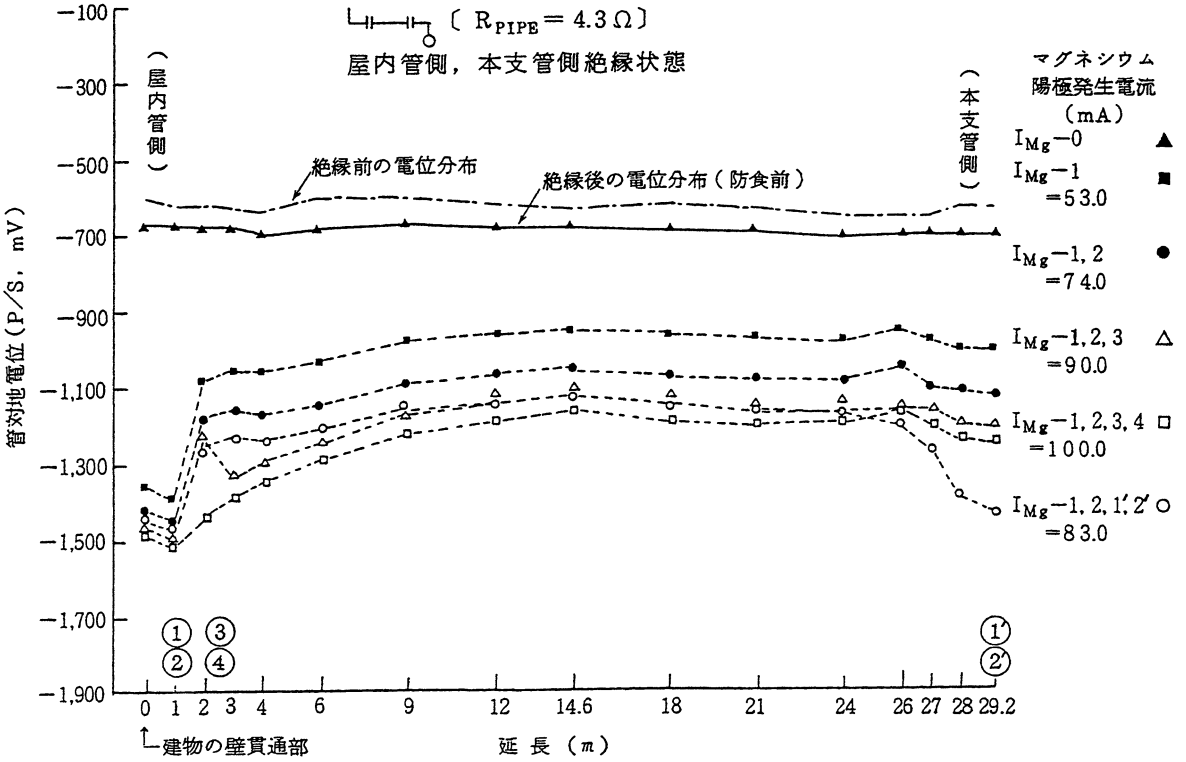
② 未絶縁－流電陽極法

③ 近接流電陽極法

5．データの抜粋

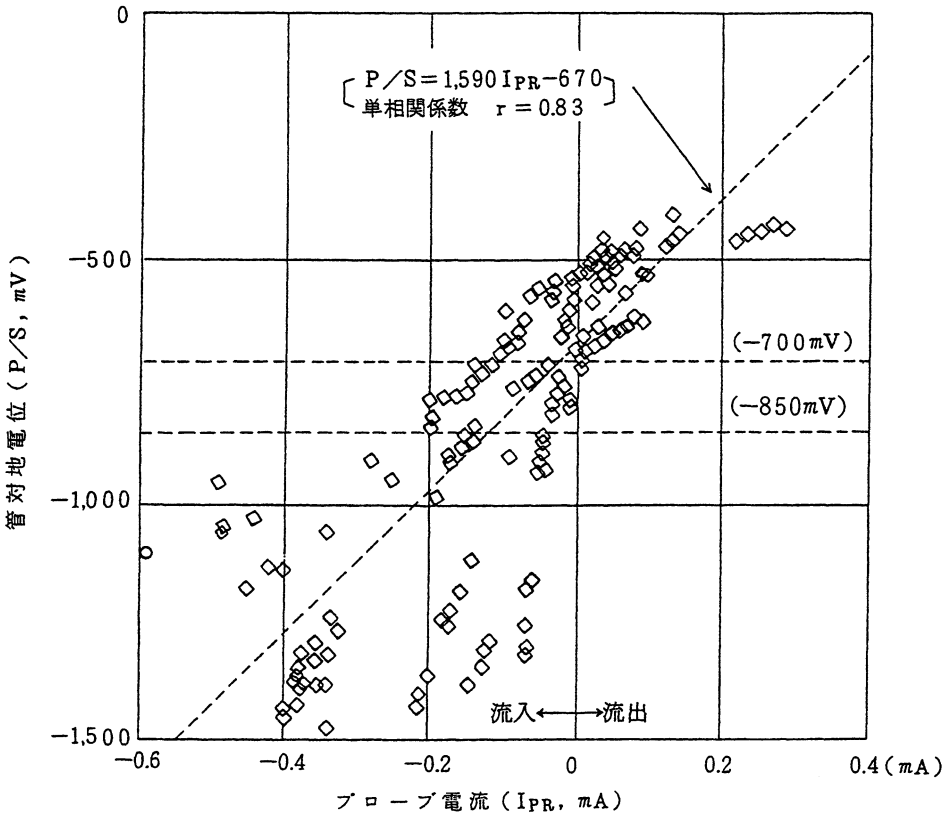
5.1 防食時の管対地電位分布例（No.5－アスファルトジュート巻き管）



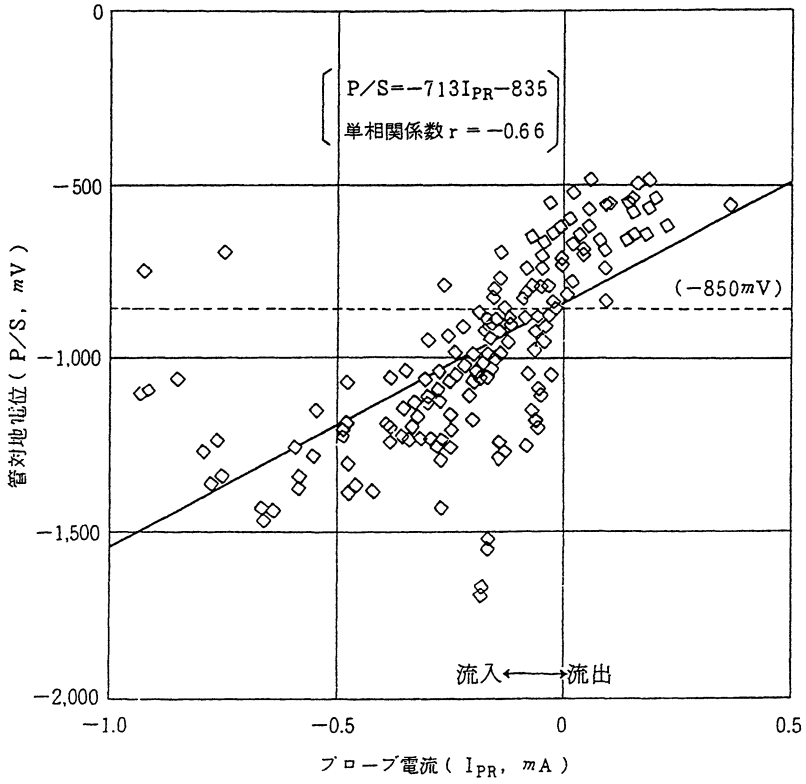


5.2 プローブ電流と管対地電位

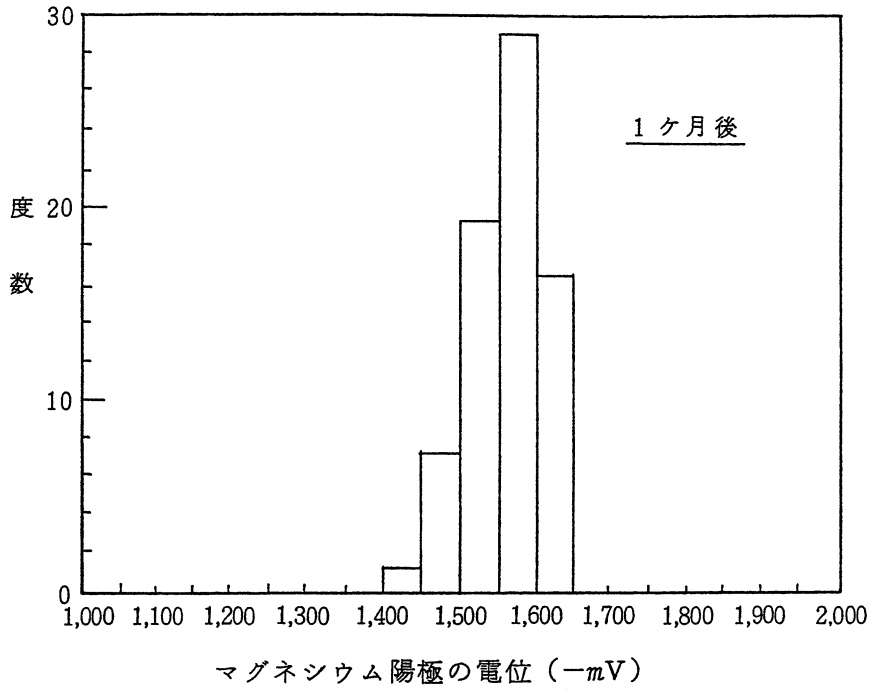
(1) マグネシウム陽極より離れた箇所でのプローブ電流と管対地電位（全管種）



(2) 陽極近傍におけるプローブ電流と管対地電位（全管種）

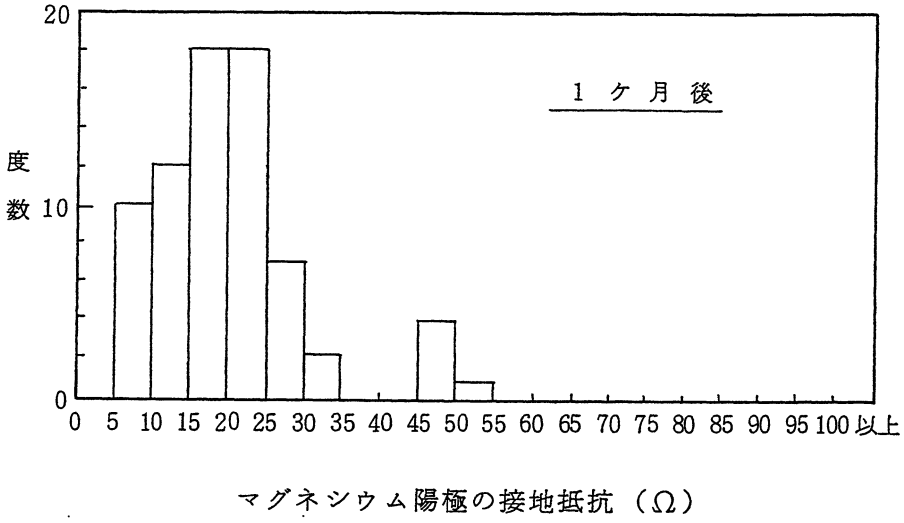


5.3　マグネシウム陽極の自然電位の分布

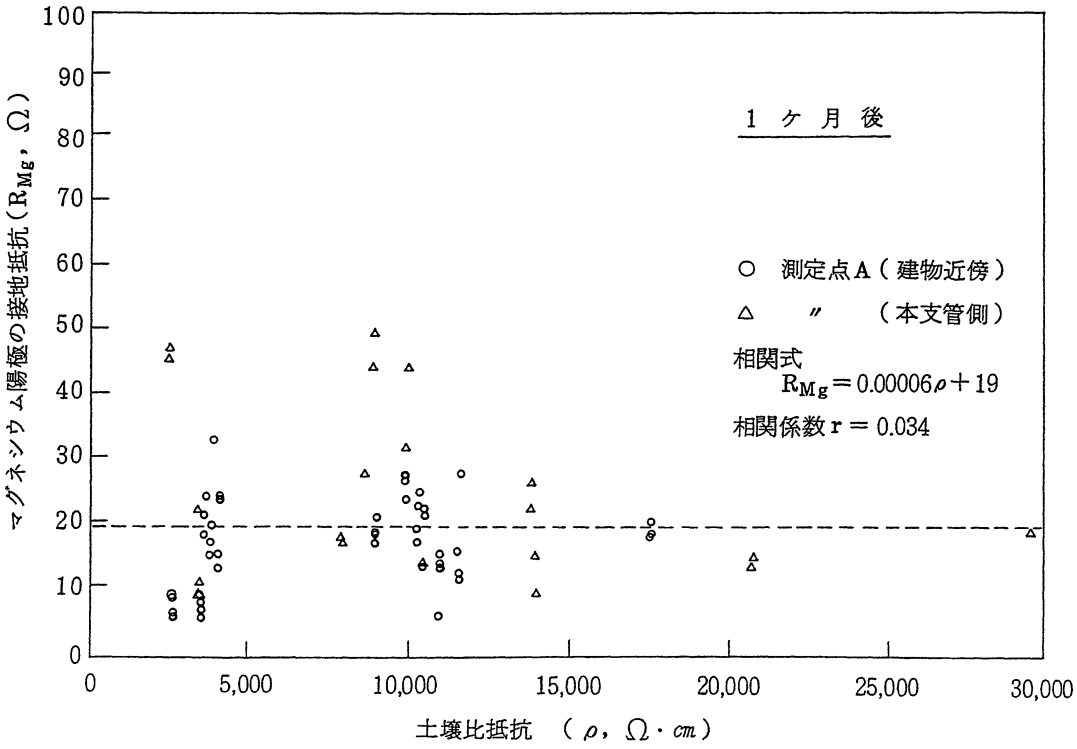


5.4 マグネシウム陽極の接地抵抗

(1) マグネシウム陽極の接地抵抗の分布

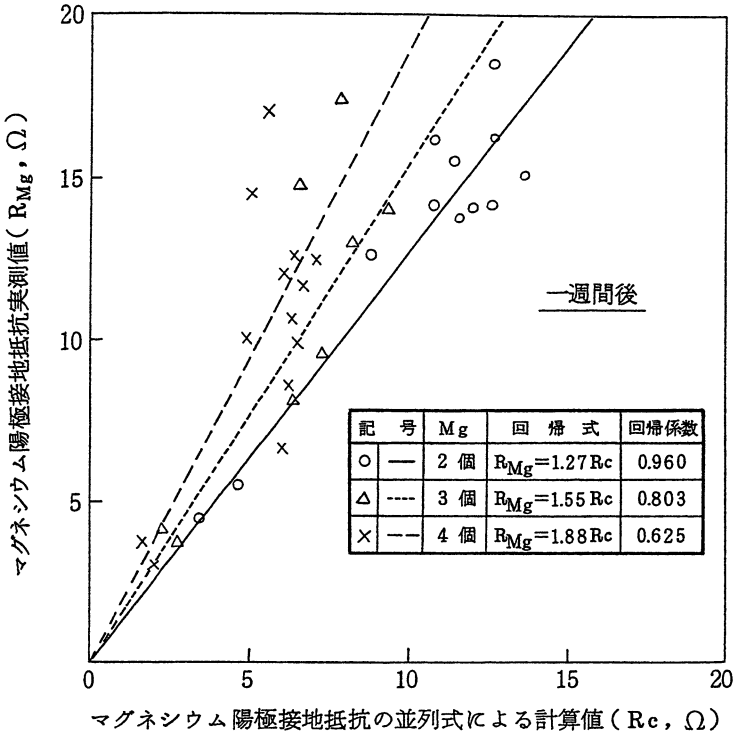


(2) 土壌比抵抗とマグネシウム陽極の接地抵抗との関係



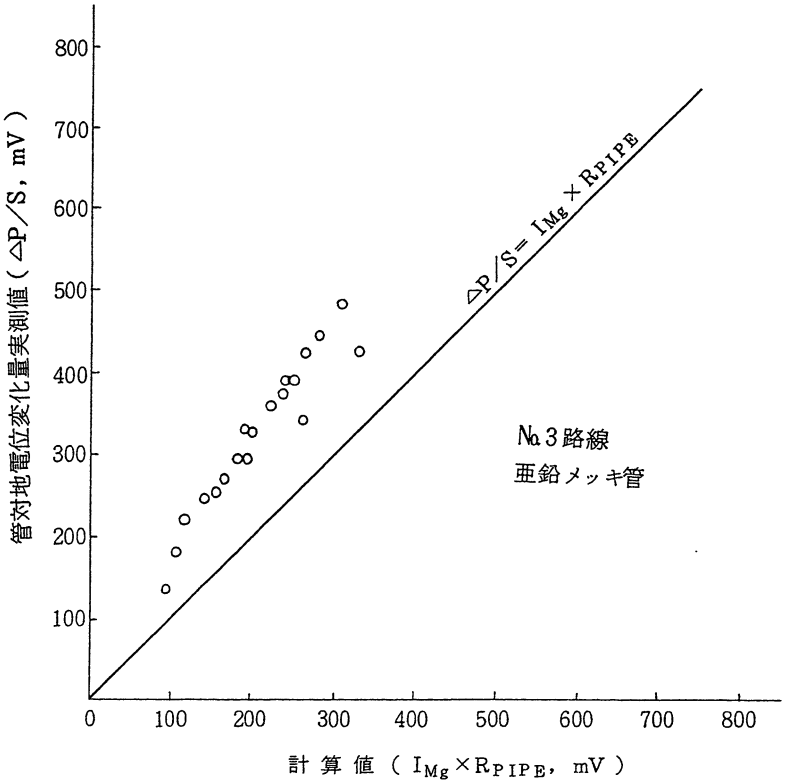
(3) 集中設置したマグネシウム陽極の合成抵抗

（マグネシウム陽極接地抵抗の並列式による計算値と実測値の関係）



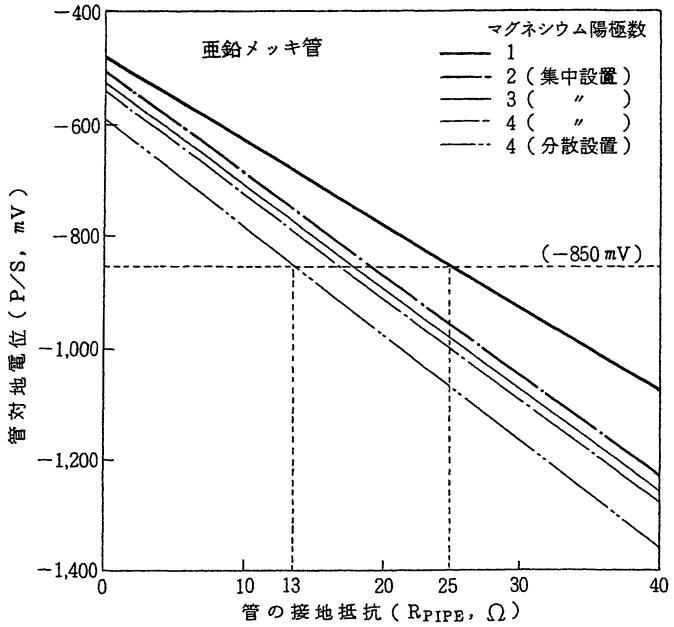
5.5 管の接地抵抗と防食効果との関係

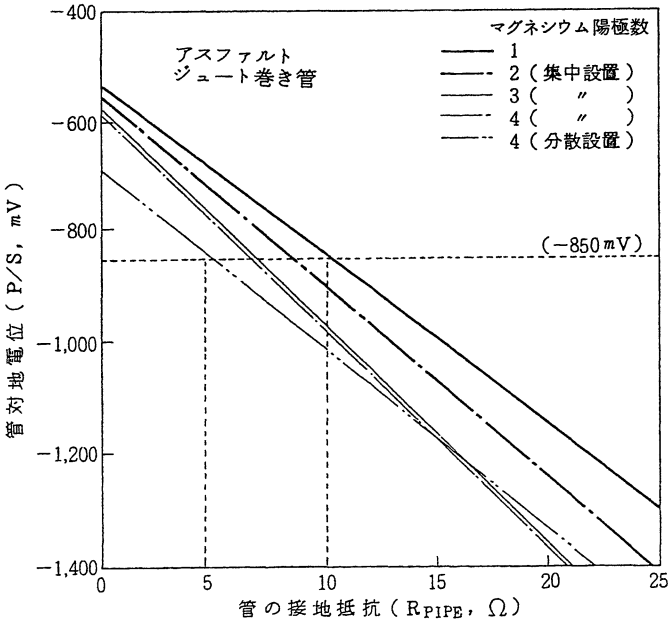
(1) 管対地電位の変化量

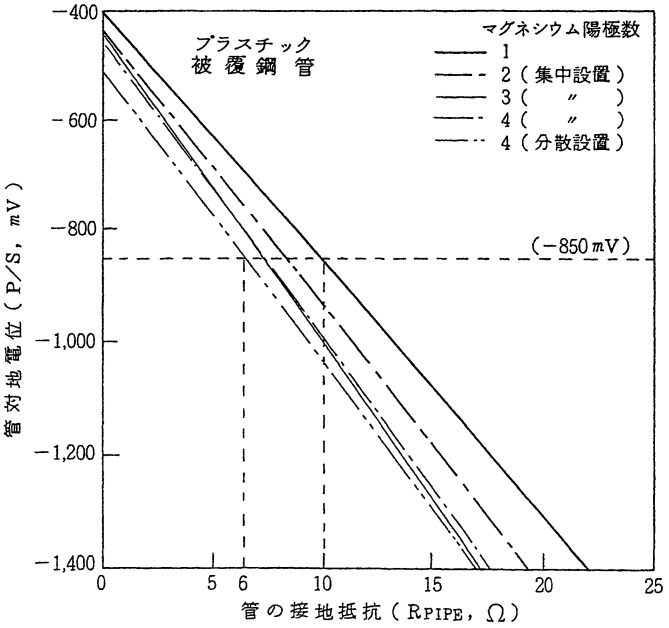


(2) 管の接地抵抗と管対地電位との関係

(防食電位－850mV を得るための管の接地抵抗の目安)

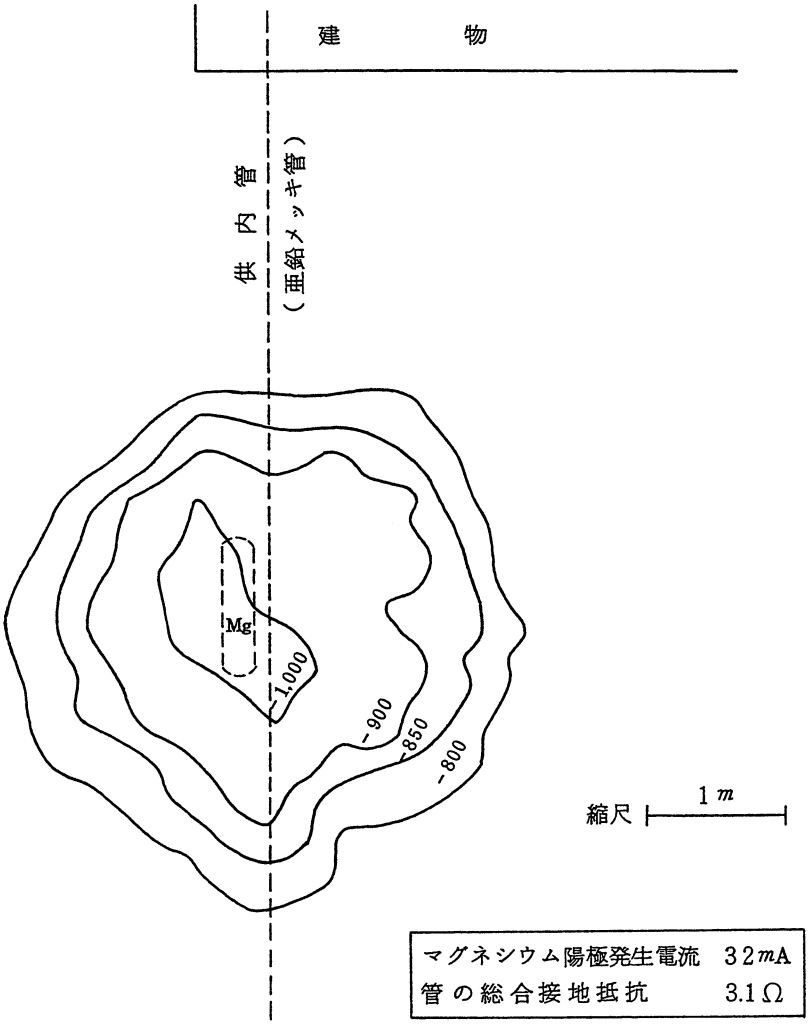




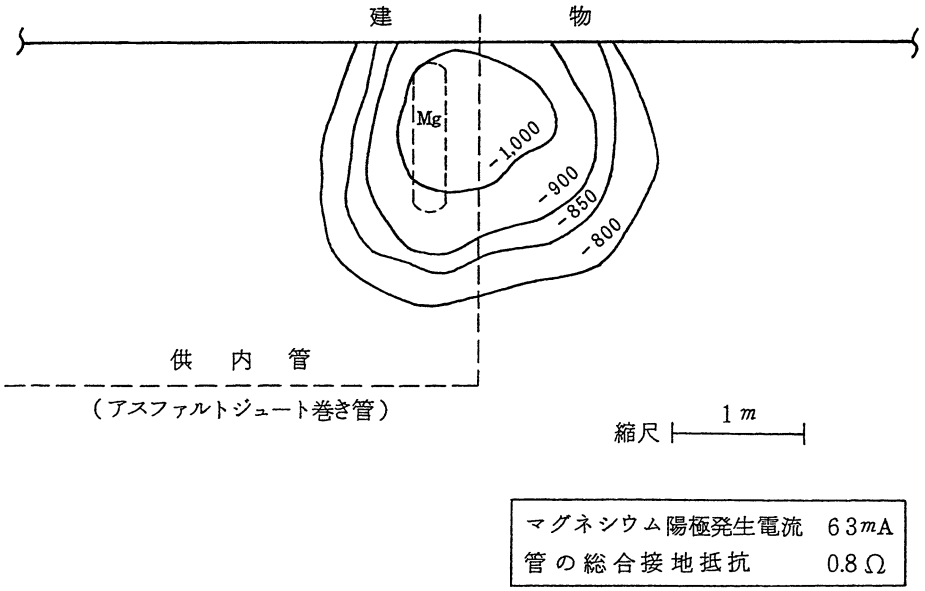


5.6 陽極近傍地表面の管対地電位分布

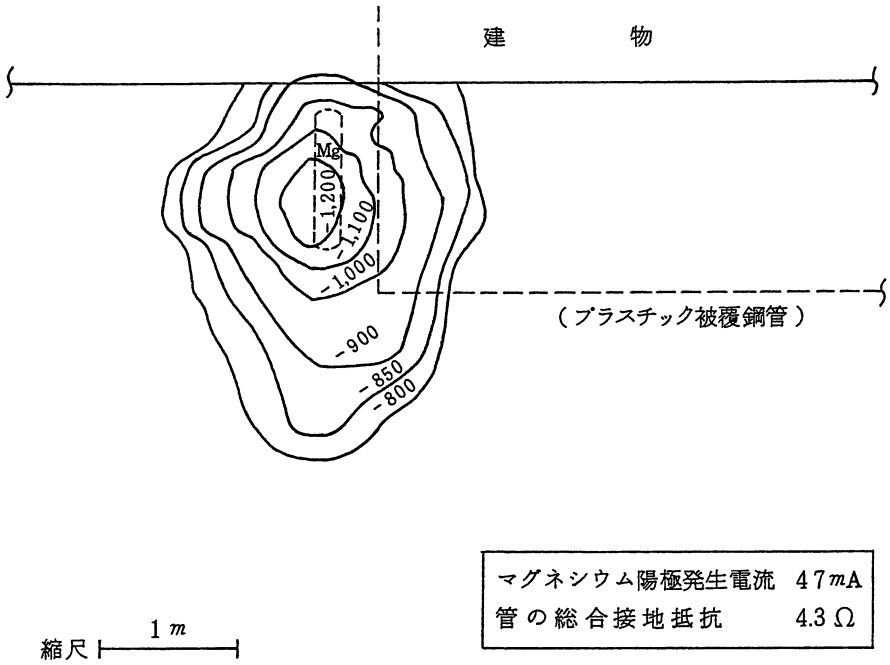
(1) 亜鉛メッキ管の例（No.2）



(2) アスファルトジュート巻き管の例（No.7）



(3)　プラスチック被覆鋼管の例（No.9）



Ⅳ.1.3　更生修理工法特性試験・評価結果の概要

１．目　　的

現在開発中の更生修理工法が、供内管の腐食漏えい予防対策として具備すべき特性を有しているかを評価するため、更生修理工法を施した導管に起こりうる現象を考慮し各種試験を実施した。

２．試験対象工法及び試験項目

現在開発中の３工法（反転ライニング工法、液相法、ＢＤ工法）について、繰返し曲げ特性試験、保形性試験、耐ガス性・耐薬品性試験及び施工性試験を行った。ただし本支管維持管理対策調査委員会において、すでに試験が実施され、その性能が確認されている液相法及びＢＤ工法については耐ガス性・耐薬品性試験は省略した。

○：今回実施した項目

工法＼試験項目		繰返し曲げ特性試験	保形性試験	耐ガス性・耐薬品性試験	施工性試験
反転ライニング工法		○	○	○	○
＊1 液相法	樹脂Ａ	○	○	－＊2	○
	樹脂Ｂ	○	○	－＊2	○
ＢＤ工法		○	○	－＊2	○

＊１　樹脂Ａ……夏期施工用

　　樹脂Ｂ……冬期施工用

＊２　本支管維持管理対策調査において確認ずみ。（「本支管維持管理対策ガイドライン」参照。）

３．試 験 期 間

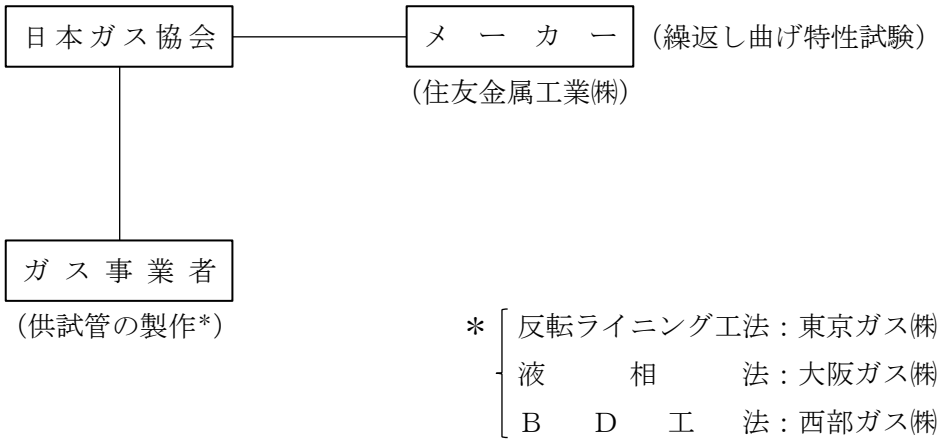
昭和 59 年６月より昭和 60 年１月にかけて、試験及び評価を実施した。

４．試験方法及び試験実施者

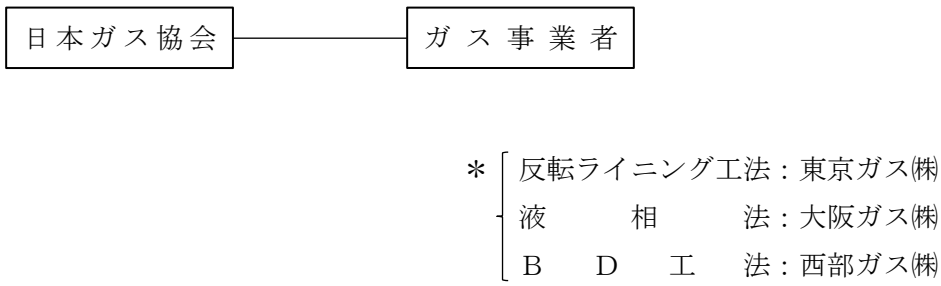
試験及び評価は、各試験項目毎に別に定める更生修理工法特性試験・評価要領（参考資料Ⅱ.2）に従って実施した。

試験の実施は、原則としてそれぞれの工法を開発したガス事業者が担当したが、繰返し曲げ特性試験は、住友金属工業㈱が実施した。なお試験結果の評価は供内管維持管理対策調査委員会及び同専門委員会で行った。

(1)　繰返し曲げ特性試験



(2)　保形性試験、耐ガス性・耐薬品性試験及び施工性試験



５．試験・評価結果

試験を実施した３工法は、下記の全ての種類の試験に合格し、供内管の腐食漏えい予防対策工法として具備すべき特性を有していることが確認された。

5.1　繰返し曲げ特性試験

(1)　目　　的

開発された工法が更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一項目として、埋設管が受ける車輌荷重によるたわみ振動に対する特性を確認するため、更生修理工法を施した供試体に繰返し曲げ変位を与え、ライニング材の耐久性を確認する試験を行った。

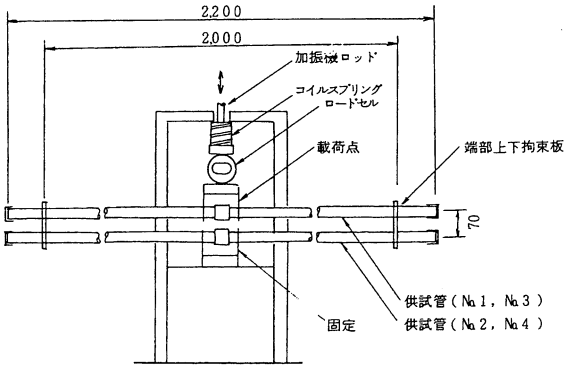
(2)　試 験 方 法

試験は、繰返し曲げ特性試験・評価要領に基づき各工法毎に４本の供試管について行った。

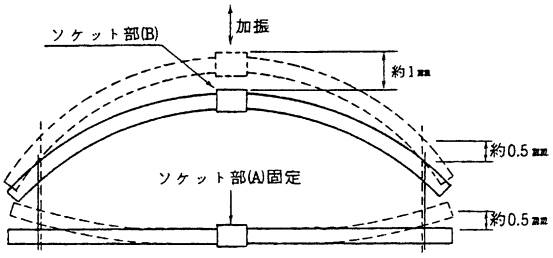
試　験　条　件	
片振り曲げ角度	0.02°以上
繰返し曲げサイクル	0.5回／秒以上
繰返し曲げ回数	300,000回以上

装置は下図のものを使用し、同時に２本ずつ繰返し曲げ変位を与えた。

２本の供試管（φ25×2,200）は端部において互いに拘束されており、下方の供試管は中央ソケット部(A)で固定されている。上方の供試管の中央ソケット部(B)に約１㎜の変位を与えることにより、２本の供試管は下図のように変形し、片振り曲げ角度は約0.03°となる。



試験装置概略



変形状況

(3)　試 験 結 果

試験結果の概要を以下に示す。なお片振り曲げ角度、保持圧力は試験中の最小値を示す。また繰返し曲げサイクルは1.4回／秒で実施した。

<table>
<tr><th colspan="3">項目
供試管No.
工法</th><th>供試管</th><th>繰返し曲げ試験前の気密試験</th><th colspan="4">繰返し曲げ試験</th><th>繰返し曲げ試験後の気密試験</th><th>内面観察</th></tr>
<tr><th colspan="3"></th><th></th><th></th><th>片振り曲げ角度</th><th>曲げ回数</th><th>保持圧力</th><th>漏えいの有無</th><th></th><th></th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">反転ライニング工法</td><td>1、2</td><td rowspan="8">鋼管
φ25
2，200 mm</td><td rowspan="8">試験圧力
0.4 kg/cm²
保持時間
10 分以上
結果
合格</td><td>0.030°</td><td>38 万回</td><td rowspan="8">0.4 kg/cm²</td><td>無</td><td rowspan="8">試験圧力
0.4 kg/cm²
保持時間
10 分以上
結果
合格</td><td rowspan="8">異常なし</td></tr>
<tr><td>3、4</td><td>0.030°</td><td>60 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td rowspan="4">液相法</td><td rowspan="2">樹脂A</td><td>1、2</td><td>0.030°</td><td>48 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td>3、4</td><td>0.030°</td><td>35 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td rowspan="2">樹脂B</td><td>1、2</td><td>0.030°</td><td>61 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td>3、4</td><td>0.030°</td><td>33 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">BD工法</td><td>1、2</td><td>0.029°</td><td>58 万回</td><td>無</td></tr>
<tr><td>3、4</td><td>0.029°</td><td>35 万回</td><td>無</td></tr>
</table>

(4)　評 価 結 果

試験を行った３工法（４種類）は、下記の項目をすべて満足し合格した。

①　所定の繰返し曲げ試験終了後の気密試験に合格すること。

②　繰返し曲げ試験終了後、供試管内面のライニング材等に亀裂・破断・はくり等の異常が認められないこと。

5.2　保形性試験

(1)　目　　的

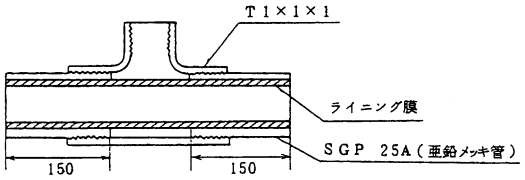
開発された工法が、更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一項目として、工法適用後の供内管に後天的に発生する可能性のある部分的腐食孔（貫通孔）を介して作用する外圧（土圧、水圧）に対するライニング膜の耐久性（以下保形性という）を確認する試験を行った。

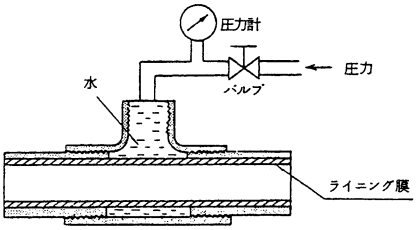
(2) 試 験 方 法

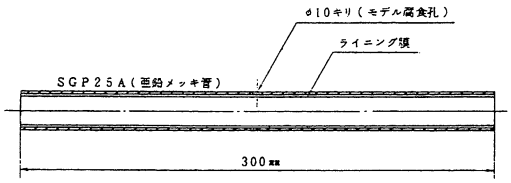
試験は保形性試験・評価要領書に基づき行った。

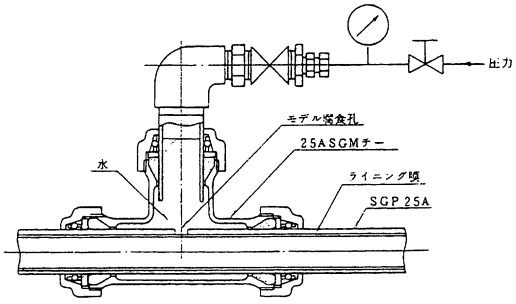
反転ライニング工法	試験要領２に基づく試験
液相法、ＢＤ工法	試験要領１に基づく試験

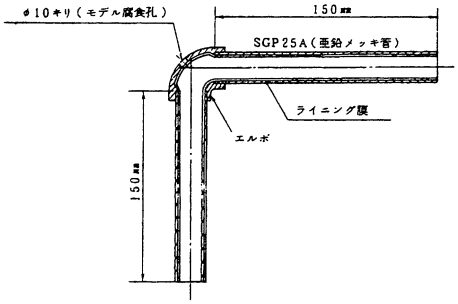
試験に用いた供試管及び加圧装置を下表に示す。

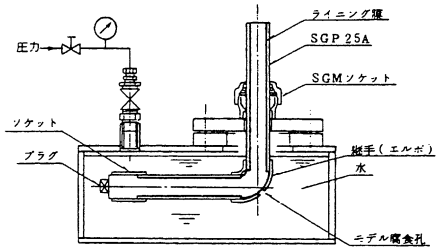
<table>
<tr><th>工　　法</th><th colspan="2">供 試 管 及 び 加 圧 方 法</th></tr>
<tr><td>反転ライニング工法</td><td colspan="2"> 

（供 試 管）


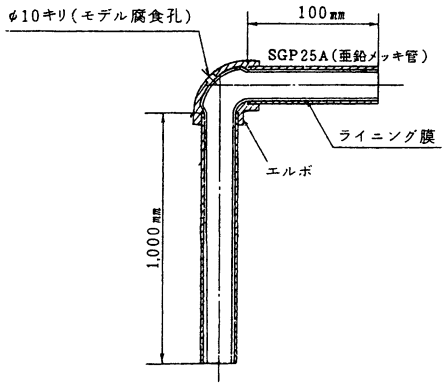
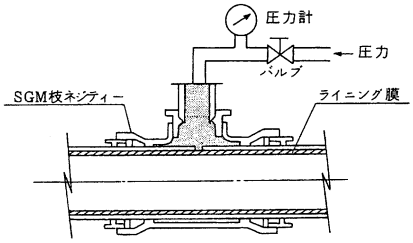
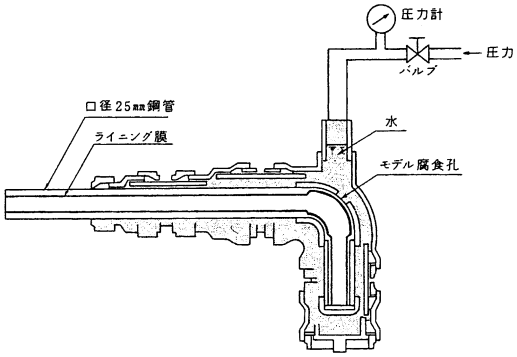
（加圧方法）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">液 相 法</td><td>〔管　体〕


（供 試 管）


（加圧方法）</td><td>〔継　手〕


（供 試 管）


（加圧方法）</td></tr>
</table>

工　　法	供　試　管　及　び　加　圧　方　法	
	〔管　体〕	〔継　手〕
ＢＤ工法	液相法と同じ。 （供 試 管）	 （供 試 管）
	 （加圧方法）	 （加圧方法）

(3)　試験及び評価結果

破壊時間と破壊圧力の関係を次頁以降のグラフで示す。

また評価基準時間（10^5時間）における破壊圧力の評価推定値（95%下方信頼限界値）を下表に示す。なお上記の推定値は管体又は継手のいずれか弱い方での推定値、即ち液相法では管体、ＢＤ工法では継手での推定値である。

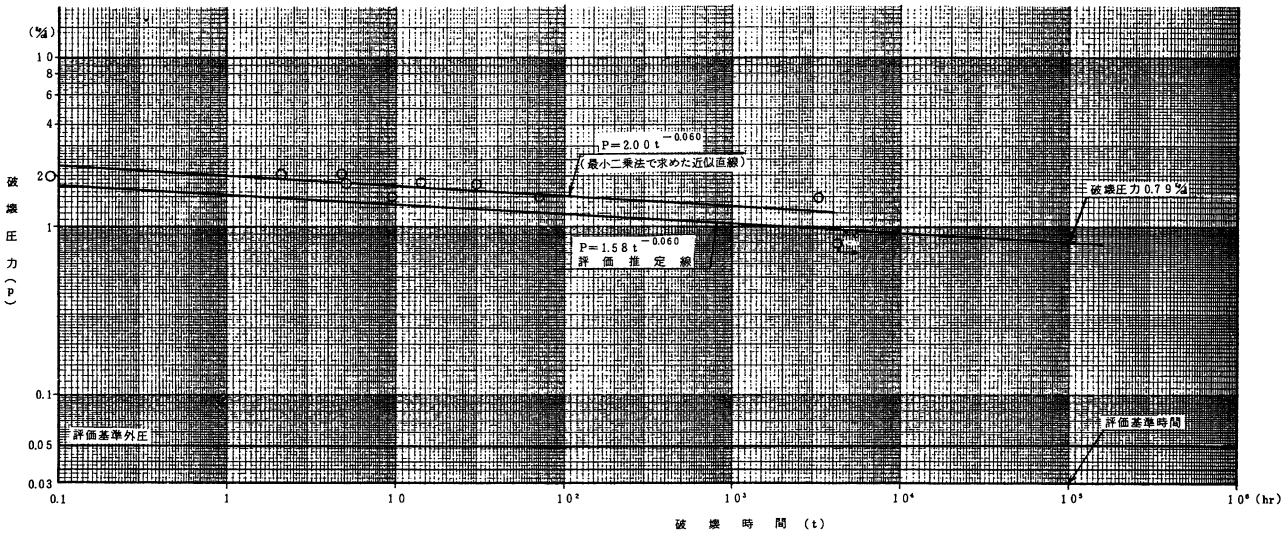
<table>
<tr><th colspan="2">工　　法</th><th>破　壊　の　形　態</th><th>評価基準時間における破壊圧力推定値（kg/cm²）</th><th>基準外圧（kg/cm²）</th><th>評　価</th></tr>
<tr><td colspan="2">反転ライニング工　　法</td><td>全てライニング膜の変形により管端に水が達した。</td><td>0.79</td><td>0.05</td><td>合　格</td></tr>
<tr><td rowspan="2">液相法</td><td>樹　脂　A</td><td rowspan="2">ライニング膜の破壊又はライニング膜の変形により管端に水が達した。</td><td>0.44</td><td rowspan="3">0.1</td><td>合　格</td></tr>
<tr><td>樹　脂　B</td><td>0.59</td><td>合　格</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ｂ　Ｄ　工　法</td><td>全てライニング膜の破損</td><td>0.30</td><td>合　格</td></tr>
</table>

各工法でも評価基準時間における破壊圧力の評価推定値が基準外圧を上まわっている。従って工法を施工した後に、後天的に生じる可能性のある腐食孔を介して作用する外圧に対して充分な保形性を有するものと判定できる。

〔反転ライニング法〕

試験圧力(%)	供試管数	破壊時間(hr)	備考
2.2	3	0.02, 0.02, 0.08	( )内は，継続中。近似直線の計算には試験圧力が2.0～1.5%のデータを使用した。
2.0	3	0.02, 2.2, 4.8	
1.8	3	5.0, 14, 30	
1.5	3	9.5, 72, 1,220	
0.8	3	(1,320),(1,320),(1,320)	

凡例
○ 測定値
○→ 試験継続中



〔液相法（樹脂A)〕

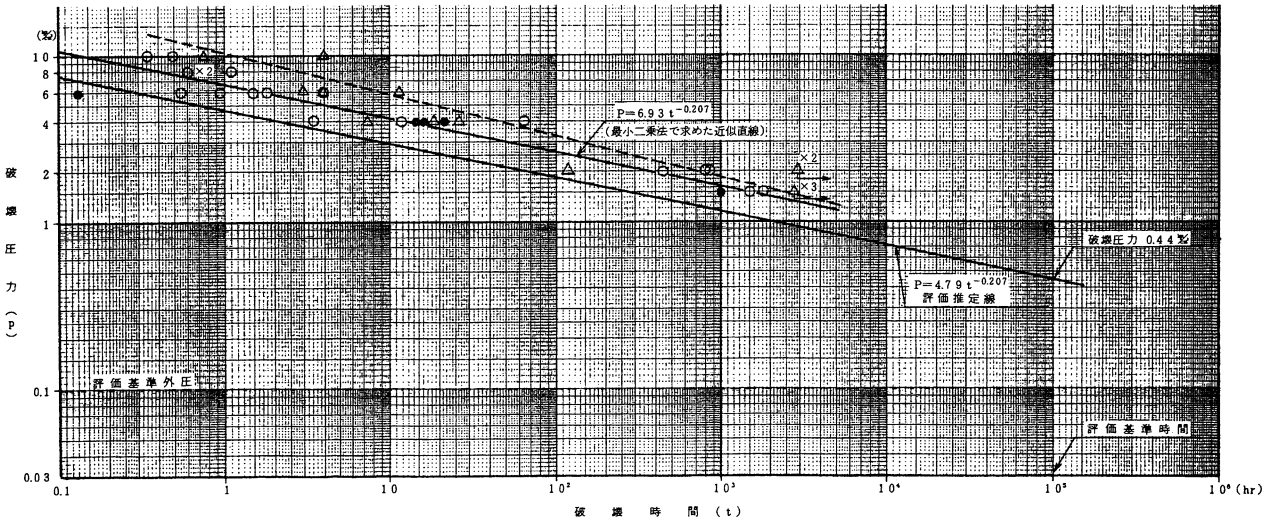
管体供試管

試験圧力(%)	供試管数	破壊時間(hr)	備考
10	2	0.35, 0.50	
8.0	3	0.58, 0.60, 1.1	
6.0	6	0.13, 0.56, 0.96, 1.5, 1.8, 4.0	
4.0	6	3.5, 12, 15, 16, 21, 65	
2.0	3	447, 813, 855	
1.5	3	1,016, 1,511, 1,856	

継手供試管

試験圧力(%)	供試管数	破壊時間(hr)	備考
10	2	0.75, 4.0	( )内は，継続中であるが近似値線の計算データに使用した。
6.0	3	3.0, 4.0, 12	
4.0	3	7.4, 19, 28	
2.0	3	118, (2,946), (2,946)	
1.5	3	(2,787), (2,787), (2,787)	

凡例
○ 管体供試管 測定値
● 〃 〃 (水が管端に達したもの)
△ 継手供試管 試験測定値
▲ 〃 〃 (水が管端に達したもの)
△→ 〃 試験継続中
——— 管体 供試管近似直線及び評価推定線
- - - 継手 供試管近似直線



〔液相法（樹脂B）〕

管体供試管

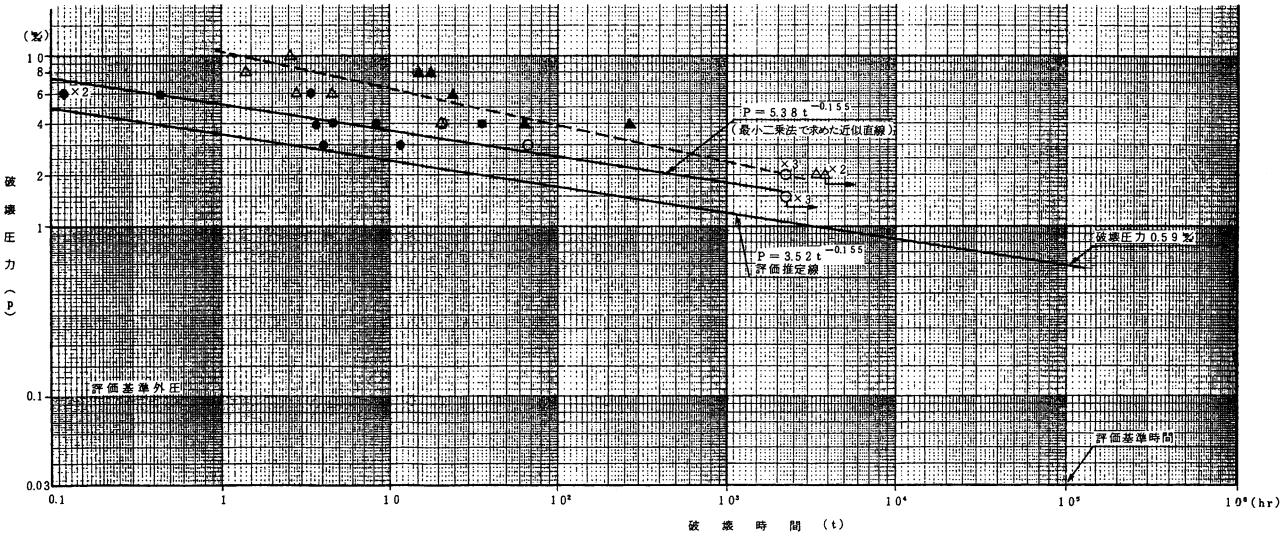
試験圧力(%)	供試管体	破壊時間 (hr)	備考
6.0	4	0.12, 0.12, 0.44, 3.3	（　）内は継続中であるが近似直線の計算データに使用した。
4.0	5	3.7, 4.5, 8.2, 21, 35	
3.0	3	4.0, 12, 66	
2.0	3	(2,200), (2,200), (2,200)	
1.5	3	(2,200), (2,200), (2,200)	

継手供試管

試験圧力(%)	供試管体	破壊時間 (hr)	備考
1.0	1	2.5	（　）内は，継続中であるが近似直線の計算データに使用した。
8.0	3	1.4, 16, 18	
6.0	3	2.8, 4.5, 24	
4.0	3	20, 64, 262	
2.0	3	3,372, (3,675), (3,675)	

凡例

○ 管体供試管　測定値
● 〃　〃（水が管端に達したもの）
○ 〃　試験継続中
△ 継手供試管　測定値
▲ 〃　〃（水が管端に達したもの）
△ 〃　試験継続中
—— 管体　供試管近似直線及び評価推定線
--- 継手　供試管近似直線



〔BD工法〕

管体供試管

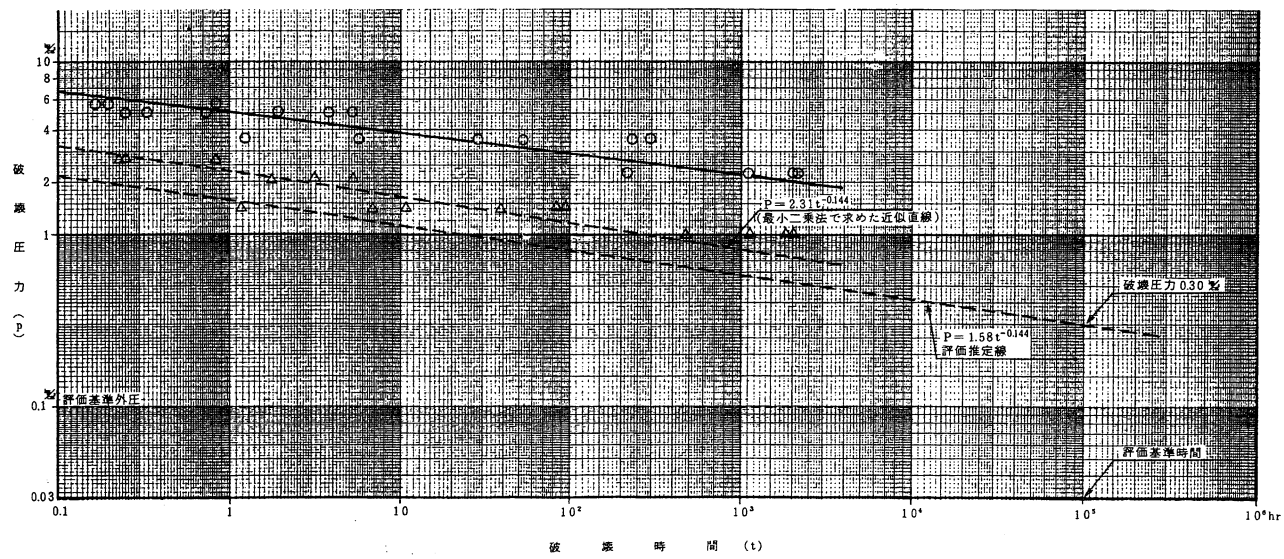
試験圧力(%)	供試管数	破壊時間 (hr)
5.6	3	0.17, 0.20, 0.83
5.0	6	0.25, 0.33, 0.75, 1.9, 3.9, 5.2
3.5	6	1.3, 5.8, 29, 52, 231, 290
2.5	4	216, 1,104, 2,016, 2,184

継手供試管

試験圧力(%)	供試管数	破壊時間 (hr)
2.7	3	0.23, 0.25, 0.83
2.1	3	1.8, 3.2, 5.3
1.4	6	1.2, 6.8, 10.8, 39, 83, 95
1.0	4	480, 1,152, 1,848, 2,016

凡例

○ 管体供試管測定値
△ 継手供試管測定値
—— 管体供試管近似直線
---- 継手供試管近似直線及び評価推定線



5.3　耐ガス性・耐薬品性試験

(1)　目　　的

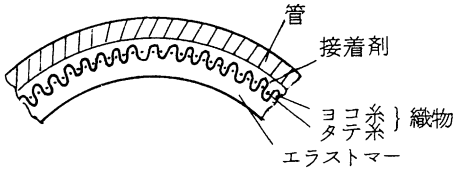
開発された工法が、更生修理工法として具備すべき特性を有しているかを評価する一項目として、ガス中及び環境を代表する成分に対する素材の長期耐久性を確認するため、各種試験液に素材を浸せきさせ、引張強さ、伸び、質量変化及び外観観察等の試験を行った。

液相法及びＢＤ工法については、すでに本支管維持管理対策調査委員会において十分な耐ガス性・耐薬品性を有することが確認されており、かつ供内管で使用される素材が本支管の場合と全く同一であるため、今回は反転ライニング工法についてのみ試験を行った。

(2)　試 験 方 法

試験は、耐ガス性・耐薬品性試験・評価要領に基づき、エラストマー（分類Ⅱ（プラスチック材料））及び織物軸方向（分類Ⅲ（繊維））、織物周方向（分類Ⅲ（繊維））の各々に対し、定められた試験片を作成して行った。

なお参考として反転ライニング工法のライニング膜の構造を下図に示す。



(3)　試験及び評価結果

各試験液に対する試験結果を次頁の表に示す。結果はｎ－ペンタンを除く全ての試験液に対して、下記の一次評価基準を満足し一次評価において適合と判定された。ｎ－ペンタンに対しては、エラストマーの質量変化が基準値（＋14%）より若干大きい（＋15%）ため、一次評価においては判定保留となったが、二次評価において適合と判定された。

従って総合評価の結果、当素材は全ての種類のガス及び環境に対して適合性を有すると判定された。

〔一次評価基準〕

外　観　変　化	引張強さの変化率	伸びの変化率	質量の変化率
溶解、粉末化及び破断等の著しい変化がないこと	増加又は 減少－20%以内 （＋～－20%）	増加又は 減少－20%以内 （＋～－20%）	増加＋14%以内 減少－３%以内 （＋14%～－３%）

耐ガス性・耐薬品性試験結果

試験液		エラストマー（ポリエステル）〔初期値〕引張強さ 150kg 伸び 750%					織物（ポリエステル）〔初期値〕引張強さ 30kg 伸び 60% <周方向>				織物（ポリエステル）〔初期値〕引張強さ 20kg 伸び 174% <軸方向>				備考
		最高浸せき時間	外観検査	引張強さの変化率	伸びの変化率	質量の変化率	最高浸せき時間	外観検査	引張強さの変化率	伸びの変化率	最高浸せき時間	外観検査	引張強さの変化率	伸びの変化率	
流動パラフィン 100%		90日	異常なし	+2%	−3%	+5%	90日	異常なし	0%	+10%	90日	異常なし	−13%	−4%	*1. 内挿法による値（流動パラフィン100%の変化率も使用した。） *2. 内挿法による値（蒸留水100%の変化率も使用した。） *3. 一次評価基準+14%を超えているため，評価要領書3.2.2(d)の膜の膨潤変形評価により確認し，二次評価で適合と判定した。
ターシャリブチルメルカプタン・流動パラフィン混合液 1v/v%		〃	〃	−13%	−8%	+4%	〃	〃	+1%	+1%	〃	〃	+5%	0%	
エチレングリコール 100%		〃	〃	+1%	−3%	+1%	〃	〃	0%	+18%	〃	〃	−8%	−7%	
ベンゼン・流動パラフィン混合液	5v/v%	〃	〃	+2%	−9%	+9%	〃	〃	−3%	+27%	〃	〃	−1%	+13%	
	10v/v%	〃	〃	+5%	−4%	+13%	〃	〃	0%	+35%	〃	〃	−2%	+10%	
	20v/v%	〃	〃	+4%	−2%	+20%	〃	〃	+3%	+18%	〃	〃	−2%	+7%	
	0.5v/v%*1	−	−	0%	−3%	+1%	−	−	0%	+3%	−	−	+2%	+4%	
n−ペンタン 100%		90日	異常なし	+9%	0%	*3 +15%	90日	異常なし	0%	−10%	90日	異常なし	−6%	+13%	
蒸留水 100%		〃	〃	+1%	−3%	+1%	〃	〃	0%	+10%	〃	〃	−4%	−2%	
硫酸水溶液	pH1	〃	〃	+1%	0%	0%	〃	〃	+3%	+7%	〃	〃	−4%	+6%	
	pH3	〃	〃	−1%	−7%	+1%	〃	〃	0%	+5%	〃	〃	−6%	+7%	
	pH4*2	−	−	0%	−5%	+1%	−	−	0%	+8%	−	−	−5%	+2%	
水酸化ナトリウム水溶液	pH10*2	−	−	−1%	−10%	+1%	−	−	−2%	+4%	−	−	−12%	−2%	
	pH11	90日	異常なし	−3%	−15%	+1%	90日	異常なし	−3%	+7%	90日	異常なし	−13%	−1%	
	pH13	〃	〃	−1%	−14%	0%	〃	〃	−3%	−3%	〃	〃	−17%	0%	
塩化ナトリウム水溶液 5w/w%		〃	〃	+1%	0%	+1%	〃	〃	0%	+5%	〃	〃	−5%	+7%	

5.4　施工性試験

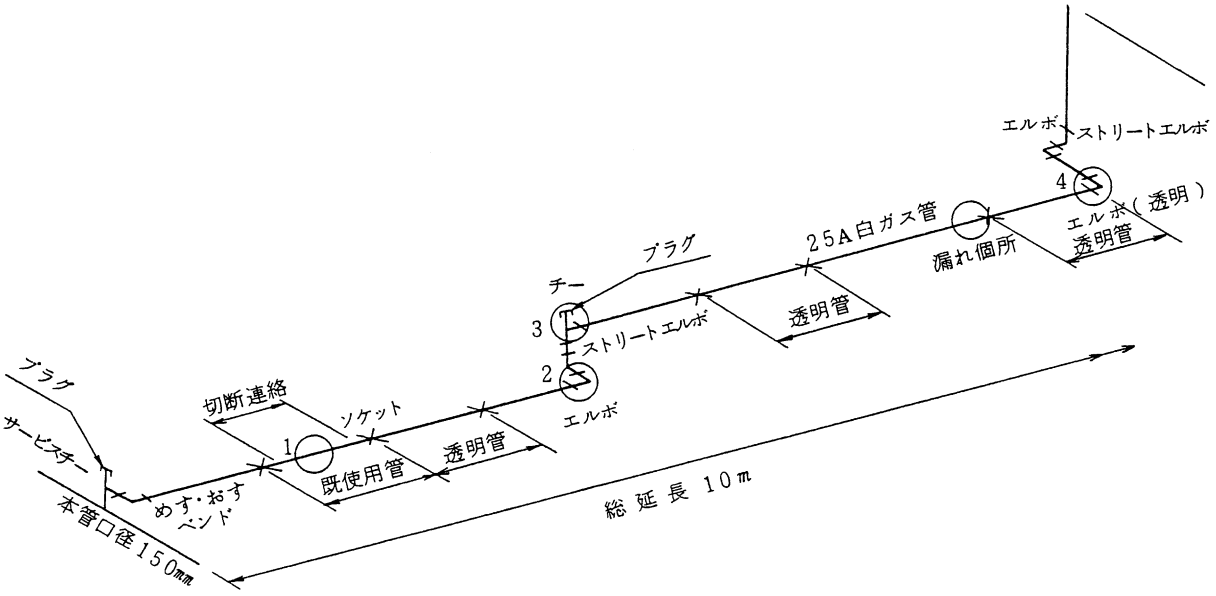
(1)　目　　的

開発された工法が更生修理工法として、具備すべき特性を有しているかを評価する一項目として、管内面に材料が正常に装着・塗布等の施工ができることのほか、施工後発生する切取り、連絡等の導管工事が支障なく行うことができることを確認する試験を行った。

(2)　試 験 方 法

施工性試験・評価要領に基づき、下図に示す通りの供試管を地上に配管し、施工性試験を行った。

〔供試配管〕



なお試験条件は以下のとおりである。

① 配管はすべて地上配管とし、総延長を10m、高低差を１mとした。

② 継手部のうち１箇所のネジ部（ソケット）に管軸方向にスリットをいれ、漏れ個所とした。

③ 試験はガスのかわりに空気で行った。

④ 内面観察は、直管部１箇所（上図中の１）及び継手部３箇所（上図中の２～４）で行った。

(3)　試験結果

供試配管に対する各工法の施工結果及び施工後の気密試験、切断・連絡工事、内面観察等の結果を下表に示す。

試験内容		反転ライニング工法	液相法		ＢＤ工法	備考
			（樹脂Ａ）	（樹脂Ｂ）		
予め定められた基本事項（手順、工具等）による施工		良好	良好	良好	良好	
施工後の気密試験		合格	合格	合格	合格	発泡液にて確認
施工後の切断・連絡工事		良好	良好	良好	良好	
切断・連絡工事後の気密試験		合格	合格	合格	合格	発泡液にて確認
内面の観察	直管部	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	
	継手部	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	

(4)　評価結果

試験を行った３工法（４種類）は、下記の項目をすべて満足し合格した。

①　予め定められた基本事項（手順、工具等）により、所定の配管系に施工ができること。

②　施工後の気密試験に合格すること。

③　施工後の管の内面観察において、ライニング材等に亀裂・破断・はくり等の異常が認められないこと。

④　施工後の切断及び連絡等の通常の導管工事が支障なく行えること。

Ⅳ.2　調査データ類

Ⅳ.2.1　全国供内管の設置実態

供内管の年代別、材質別、建物構造別の設置実態（昭和 57 年度末現在）に関して調査を行った。調査は全国のガス事業者（248 事業者）を対象に行ったが、以下はそのうち回答の得られた 184 事業者についてまとめたものである。この 184 事業者は、事業者数ベースでは 74%であるが、需要家数ベースでは 96%に達している。なお、供内管は、延長が短く、その施工、維持管理等は建物又は供内管 1 本毎に行われるためその取扱いについては、延長ではなく本数で数えることとした。

調査結果をまとめると以下のとおりである。

① 材質では供内管の殆んどが鋼管である。即ち供給管及び灯外内管*）の約 99.7%、灯内内管*）のほぼ全量が鋼管である。

鋼管以外では、主として大口径用の供給管及び灯外内管用として鋳鉄管が使用されている。

（*）内管のうち敷地境界からメーターまでの部分を「灯外内管」、メーターよりガス栓までの部分を「灯内内管」と呼ぶ。

② 設置年次では、昭和 30 年以前に設置されたものの比率は供給管、内管ともに約６%、昭和 40 年以前のものは約 30%であり、殆んどが昭和 40 年以降に設置されたものである。これは本支管の設置年次（昭和 30 年以前約７%、昭和 40 年以前約 30%）とほぼ同様の傾向を示している。

③ 埋設供内管鋼管の塗覆装は、昭和 40 年以前は亜鉛メッキ又はアスファルトジュート塗覆装が主流であったが、昭和 40 年代よりプラスチック被覆鋼管が使用されはじめ、昭和 50 年以降はこのプラスチック被覆鋼管が主流になっている。

④ 建物種別では、供給管及び灯外内管においては木造建物と鉄筋コンクリート建物の比率は約 1.7 対１となっている。これは、鉄筋コンクリート建物においては、集合住宅等のように１本の供給管又は灯外内管で多数の需要家に供給している場合が多いためである。

(1) 年代別、材質別供内管本数(昭和57年度末、184事業者)

単位：千本

種類		年代	S20年以前	S21～S30	S31～S35	S36～S40	S41～S45	S46～S50	S51～S55	S56～S57	合計
供給管	鋼管	白黒管	108	337	549	808	1,212	1,284	613	113	4,956
		PLP以外の塗覆装管		78	372	575	601	64	11	11	1,713
		PLP (注1)					154	634	1,341	547	2,676
		小計	108	415	922	1,383	1,966	1,982	1,965	671	9,345
	鋳鉄管				1	1	3	6	7	4	24
	その他 (注2)					1	1	4		2	8
	合計		108	415	923	1,385	1,970	1,992	1,972	677	9,377
(百分率)			(1.2)	(4.4)	(9.8)	(14.8)	(21.0)	(21.2)	(21.0)	(7.2)	(100%)
灯外内管(埋設部)	鋼管	白黒管	119	395	582	909	1,264	1,308	683	171	5,433
		PLP以外の塗覆装管		78	370	572	602	63	6	10	1,701
		PLP					153	630	1,274	471	2,528
		小計	119	473	953	1,481	2,019	2,002	1,963	652	9,661
	鋳鉄管				1	1	3	6	8	5	24
	その他				1	1	1			2	4
	合計 (注3)		120	473	954	1,484	2,022	2,008	1,970	659	9,690
(百分率)			(1.2)	(4.9)	(9.8)	(15.3)	(20.9)	(20.7)	(20.3)	(6.8)	(100%)
灯内内管	鋼管		284	771	1,452	2,236	3,435	3,891	3,445	1,169	16,683
	鋳鉄管							1	1		2
	その他				1	1			1	2	6
	合計 (注4)		284	771	1,452	2,237	3,435	3,892	3,447	1,171	16,691
(百分率)			(1.7)	(4.6)	(8.7)	(13.4)	(20.6)	(23.3)	(20.7)	(7.0)	(100%)

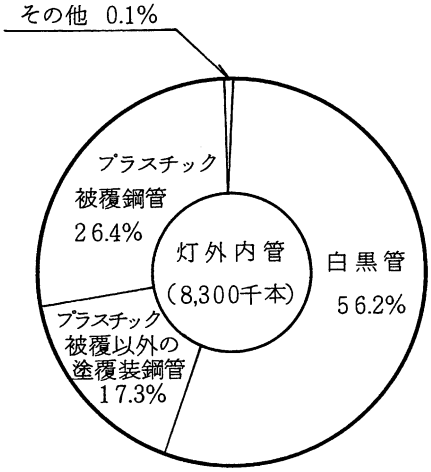
(注1) 「PLP」とは「プラスチック被覆鋼管」の総称として使用している。
(注2) 「その他」はポリエチレン管及び硬質塩化ビニル管である。
(注3) 1本の供給管から複数の灯外内管が分岐しているケースがあるため供給管本数より灯外内管本数が若干多くなる。
(注4) 集合住宅等では1本の供給管を複数の需要家が共用しているため，供給管本数より灯内内管本数が圧倒的に多くなる。なお，灯内内管本数はほぼ需要家戸数とみなしてよい。

(2) 建物構造別・材質別灯外内管本数（材質は埋設部での使用材料）

昭和 57 年度末（184 事業者）

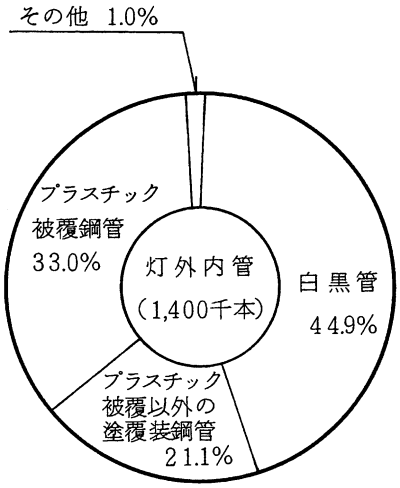
木造建物（建物数 8,300 千棟（85%）、

需要家数 10,400 千件（62%））



鉄筋コンクリート建物（建物数 1,100 千棟（15%）、

需要家数 6,300 千件（38%））



Ⅳ.2.2　供内管の腐食による故障実態

腐食による鋼管の故障発生率の解析を、全国各地の９事業者*に対する調査により行った。結果は供給管の平均の故障発生率を 100 とした指数表示により以下に示す。

（＊　北海道ガス、盛岡ガス、北陸ガス、東京ガス、東邦ガス、大阪ガス、広島ガス、四国ガス、西部ガス）

１．管区分別、材料別、年代別故障発生率（指数）

材料＼年代		昭和20年以前	昭和20年代	昭和30年代	昭和40年代	昭和50年代	平均
供給管	白黒ガス管	770	420	290	88	26	183
	アスファルト・ジュート巻き管	－	380	87	59	13	92
	プラスチック被覆鋼管	－	－	－	2	1	1
	小計	770	410	180	60	8	100
灯外内管	白黒ガス管	380	180	120	44	33	87
	アスファルト・ジュート巻き管	－	170	38	29	15	42
	プラスチック被覆鋼管	－	－	－	2	2	2
	小計	380	180	80	31	10	49

２．管区別、建物構造別故障発生率（指数）

管区分＼建物構造	木造建物	鉄筋コンクリート建物	平均
供給管	102	90	100
灯外内管	43	86	49

調査結果をまとめると以下のとおりである。

①　供給管と灯外内管を比較すると供給管が約２倍の発生率を示している。

②　塗覆装別に見ると、塗覆装のない白黒ガス管が、アスファルト・ジュート巻き管にくらべて、供給管、灯外内管ともに約２倍の発生率を示している。又、プラスチック被覆管はアスファルト・ジュート巻き管にくらべてもほとんど問題とならない比率になっている。

③　埋設経年別に見ると、埋設期間の長い管のほうが発生率が高いという傾向が管区分、塗覆装にかかわらず見られる。例えば供給管の白黒ガス管において、昭和 20 年代に埋設されたものは、昭和 40 年代に埋設されたものに比較すると、約５倍の発生率を示している。

④　建物構造別に見ると、鉄筋コンクリート建物が木造建物にくらべて、灯外内管では約２倍の発生率であるが、供給管ではほぼ同じ値となっている。

Ⅳ.2.3　更生修理工法の概要

(1)　反転ライニング工法

1．概　　要

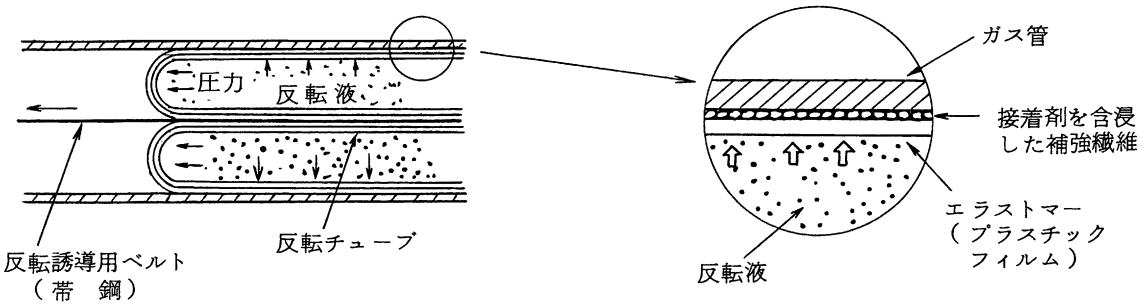
本工法は、供給管取出部からガスメーター取付部までの供給管及び灯外内管内面に、気密性を持つプラスチック製の成形膜を反転ライニング法により貼付ける工法である。

反転ライニング法とは、事前に内面に接着剤を塗布した薄くて丈夫、かつ気密性を持つ反転チューブを、反転液を介して１～２kg/cm²の圧力を掛けることにより管の中に反転（裏返し）させつつ押出し、管内面に接着剤を介し装着する方法をいう。

反転は、反転液の圧力のみによって行うことができるが、反転の誘導補助のため反転誘導用ベルト（帯鋼）を併用することにより、曲管が多い管路でもスムーズに反転ライニングを行うことができる。

管内に反転チューブを装置した後、チューブ内に温水（65～70℃）を循環させ、接着剤を硬化させ完全接着を行う。

なお、反転チューブは、エルボ等の急峻な曲り部でも連続した円筒状となるよう考慮されている。



＜反転ライニングの原理＞

2．特　　徴

①　短時間で施工できる。（約 2.5 時間）

②　管内面において、接着剤の硬化によりチューブが連続して円筒状に成形される。

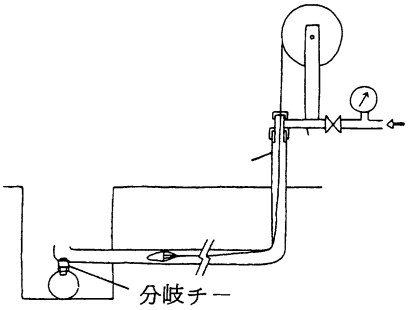
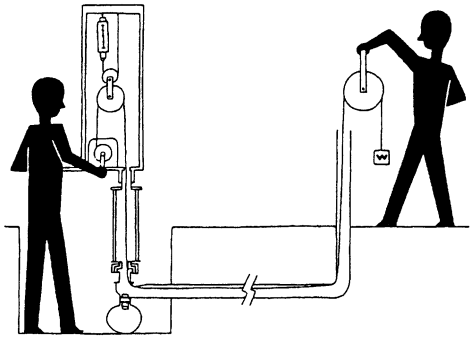
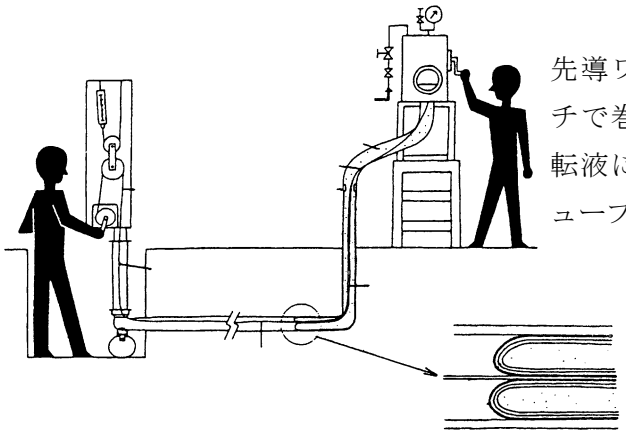
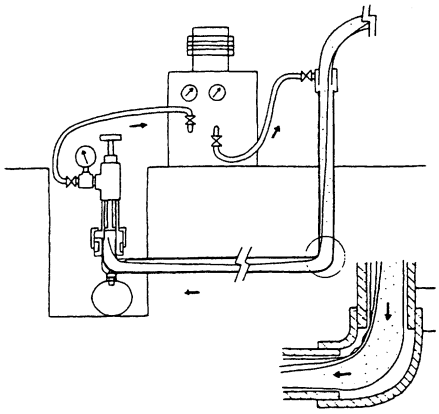
③　管路の曲りが多く（12～14 曲り）、また管端にバリがある配管に対しても施工できる。

④　道路の掘削面積は 100 cm×80 cm程度で施工できる。

⑤　適用口径は 20 mm～50 mmである。

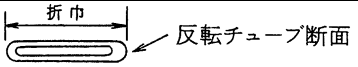
⑥　口径変化部及び同径分岐部は事前の処置が必要。

3．作業工程

工程		作業内容
1.	ガスのしゃ断	分岐チーにストッパーを挿入しガスをしゃ断する。
2.	通線	 供内管内の落下傘ピグを圧縮空気を利用して通線する。
3.	張力伝達度の測定	 供内管の経路の状況（曲り他）を把握するために張力伝達度の測定をする。
4.	チューブ内に接着剤を注入	現場にて必要量の接着剤をチューブ内に注入し、ローラを使って均一にする。
5.	反転	 先導ワイヤーをウインチで巻き上げながら反転液に圧力を加えてチューブの反転を行う。
6.	加熱硬化	 接着剤を速やかに硬化させるために温水を循環させ加熱を行う。
7.	完成検査・ガス開通	気密検査と検査玉の挿通チェックを行い、ガスを開通する。

4．仕　　様

①　反転チューブ（φ25）

構　　造	補強繊維付プラスチックフィルム
寸　　法	折巾：32 ㎜　  厚さ：0.4 ㎜（プラスチックフィルムのみ）
材　　質	ポリエステル系エラストマー（補強繊維；ポリエステル）
重　　量	50 g／m
耐　　圧	２kg/㎠以上（補強繊維を外側にした状態での耐圧）

②　接着剤

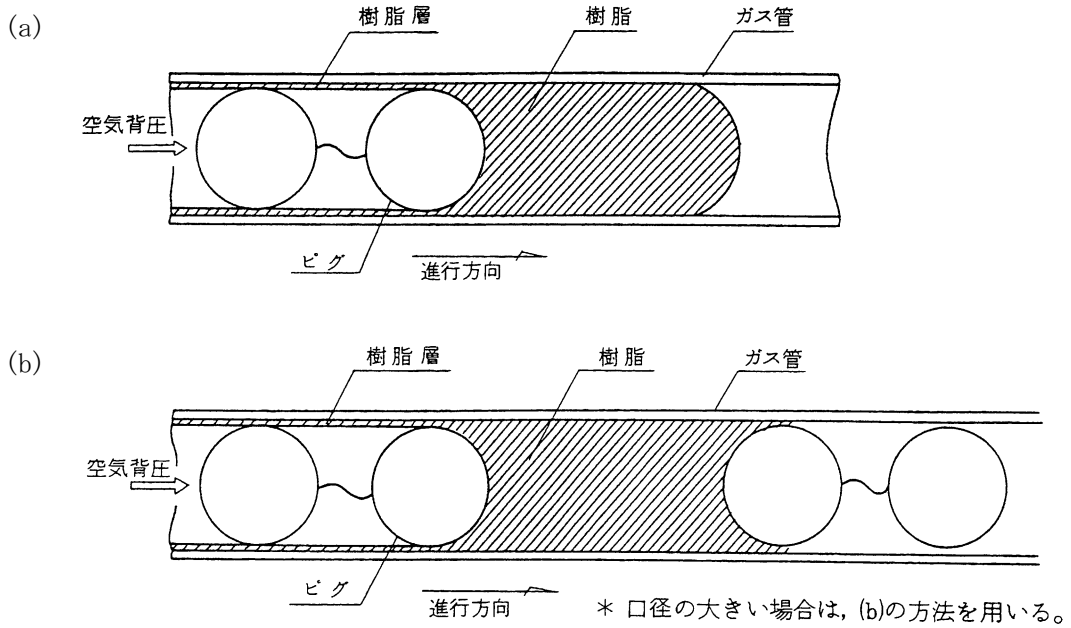
材　　質	２液混合エポキシ樹脂
粘　　度	15～20PS（20℃）
使　用　量	40～50 g／m（φ25）
二液混合後の作業可能時間	１時間

(2)　液　相　法

1．概　　要

本工法は管内壁にピグによって、エポキシ樹脂を塗布するものである。

まず、管内に樹脂（二液混合常温硬化型エポキシ樹脂）を圧入し、次に二連球のピグを入れ、空気背圧で押し進め、管壁に均一な厚さの滑らかな樹脂層を形成させる。



工法の原理

2．特　　徴

① 短時間で施工できる。

② 曲管にも施工できる。

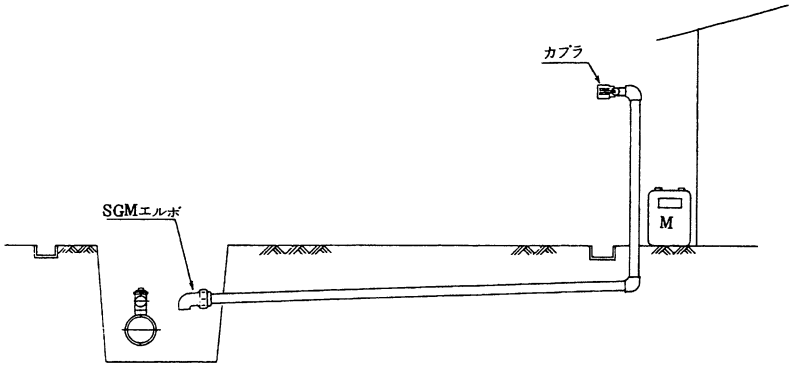
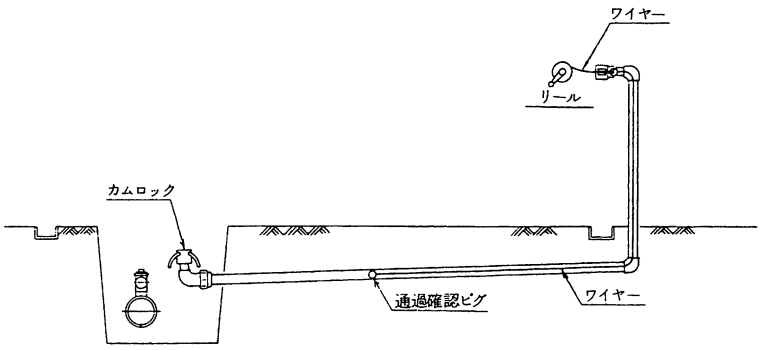
③ 管内の周囲に均一の厚さの膜が形成される。

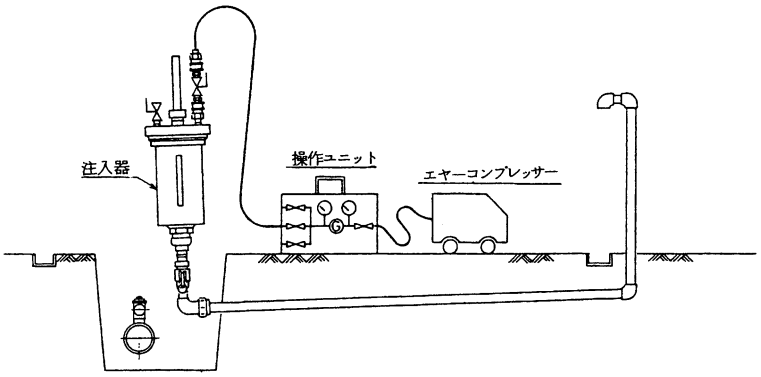
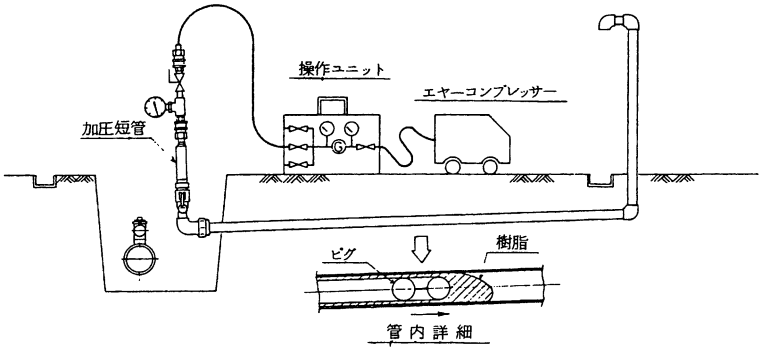
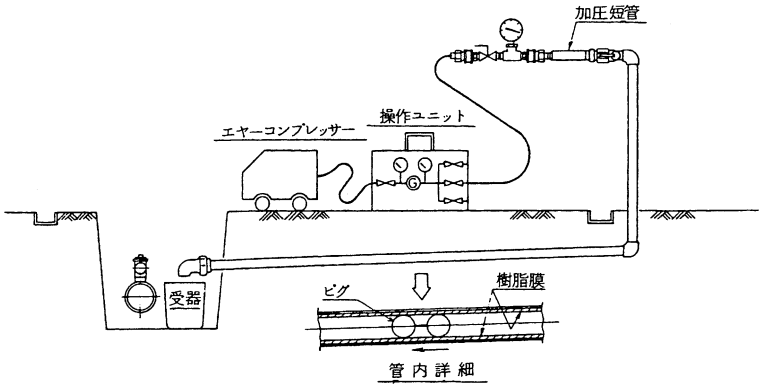
④ 比較的簡単な道工具で施工できる。

⑤ 適用口径は 25 ㎜～80 ㎜である。

⑥ 口径変化部、同径分岐部及びサービスコックは事前の処置が必要。

3．作 業 工 程

工　　程	作　　業　　内　　容
1. 掘 削 ・ 切 断	 ・供給管取出し部を掘削し、切断する。 ・メーターコックを取外す。
2. エ ア ー ブ ロ ー	・高速空気を流し、管内に堆積、又は付着しているダストを除去する。
3. 通 過 確 認	 ・通線装置を用い通線した後、ピグの通過確認を行う。
4. ライニング前流量確認	・一定量の空気を流し、管入口における圧力を測定する。

工　　程	作　　業　　内　　容
5. 加　圧　確　認	・施工区間に空気圧によりライニング施工圧力をかけ、施工可能であることを確認する。
6. 樹脂の計量・混合	・所定の混合比で樹脂を計量し、均一になるまで攪拌混合する。
7. ラ　イ　ニ　ン　グ	・樹脂注入；供給管に樹脂を圧入する。  ・ライニング；ピグを入れ、空気背圧で管内を走行させ、ライニングする。  ・ならしライニング；ライニングとは逆方向にピグを走行させる。 
8. 完成検査・ガス開通	・空気による流量確認、気密検査を行い、ガスを開通する。

４．仕　　様

本工法では、年間通して施工できるよう粘度、反応性をかえた２種類の樹脂がある。

項目＼種類		樹脂Ａ（夏期施工用）	樹脂Ｂ（冬期施工用）
樹脂のタイプ		２液混合・常温硬化型エポキシ樹脂	
液状物性	混合比（主剤／硬化剤）	10／６	10／４
	混合時の粘度	200PS／35℃ 600PS／15℃	200PS／25℃ 800PS／０℃
	混合時の比重	1.2	1.4
	可使時間	２時間以上／35℃	２時間以上／25℃
	たれ度*1	５㎜以下	５㎜以下
硬化物性	引張強さ	280～450 kg/㎠	350～500 kg/㎠
	伸び	５～20%	５～20%

＊１　垂直かべに樹脂を５㎜の厚みで塗った時の樹脂の流れ落ちる長さ。

使用範囲

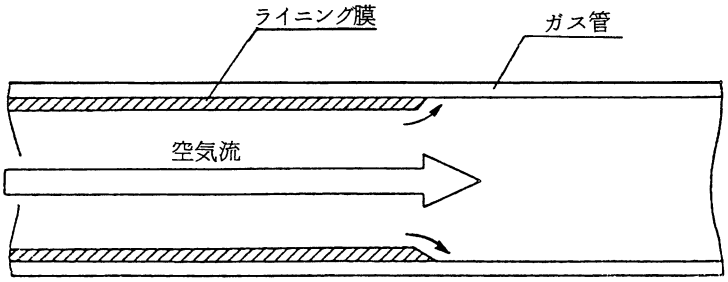
樹脂Ａ（夏期施工用）：15～35℃

樹脂Ｂ（冬期施工用）：０～25℃

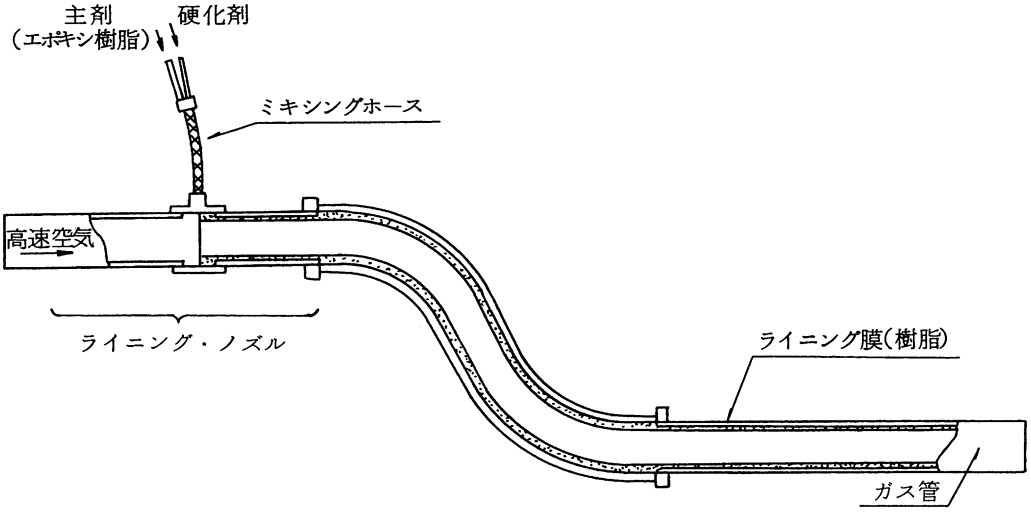
(3) ＢＤ工法

１．概　　要

ＢＤ工法は、連続的に供給されるライニング樹脂（２液混合常温硬化型エポキシ樹脂）を高速空気によって管内壁に沿って搬送し、管内壁全面に連続した気密性のあるライニング膜を形成する工法である。



まず、エアーコンプレッサーからの圧搾空気を所定の圧力に低下させライニング・ノズルを介して管内に送り込み、管内に高速の空気流を生じさせ、次に樹脂ポンプから送られてくる樹脂を、ライニング・ノズルに連続的に供給することにより、樹脂を高速の空気流によって管内壁に沿って搬送し管内面全体に均一な厚さの樹脂層を連続形成させる。



２．特　　徴

① 本工法は本管の更生修理工法（ＳＧ－Ｋ工法：継手漏えい予防工法）と同時に施工することができるのが最大の特徴であり、本管からの分岐取出部分を切断することなく、灯外内管から本管までの更生が非開削で施工可能である。

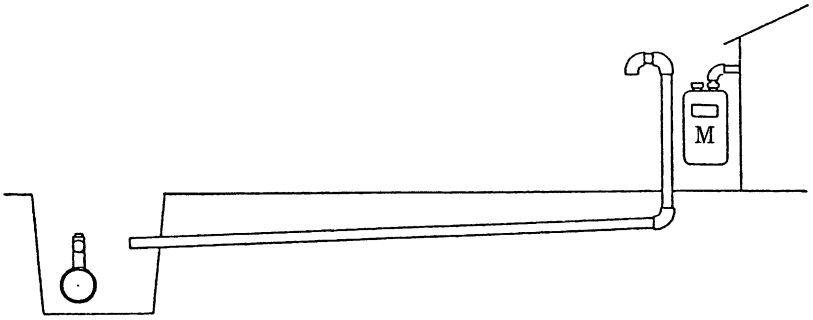
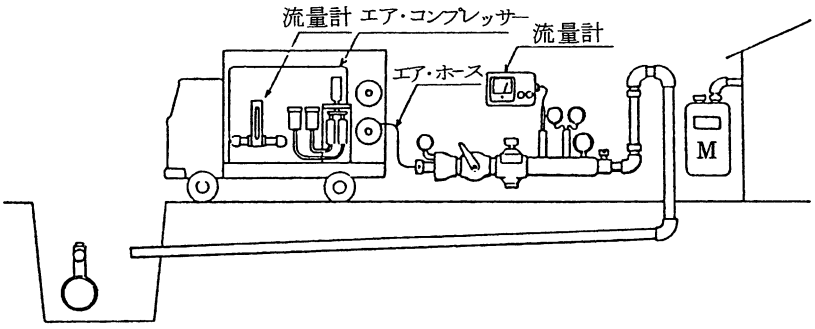
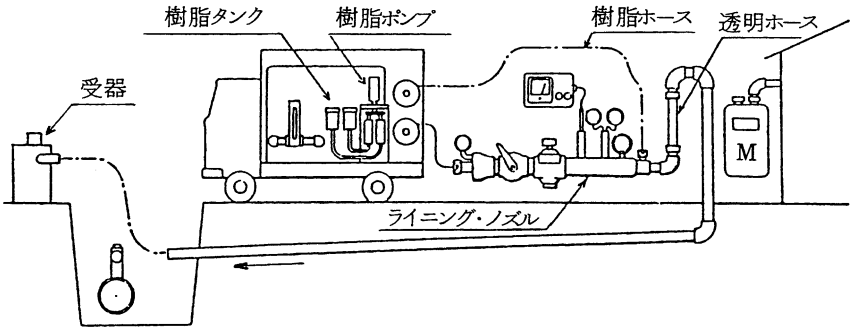
② 配管系の途中に口径変化部があっても施工できる。

③ エルボ・チーズ等の曲管部があっても施工できる。

④ 短時間で施工できる。

⑤ 適用口径は 20 ㎜～50 ㎜である。

3．作業工程

工程		作業内容
1.	掘削・切断 ガスのしゃ断	 ・供給管取出部を掘削し、切断する。 ・分岐チーにストッパーを挿入し、ガスをしゃ断する。 ・メーターコックを取外す。
2.	エア・ブロー	・高速空気を流し、管内に堆積、又は付着しているダストを除去する。
3.	ライニング前 流量・流速確認	 ・一定量の空気を流し、管入口に於ける流量及び流速を測定する。
4.	加圧確認	・空気圧により、ライニング施工圧力をかけ、施工可能であることを確認する。
5.	樹脂の吐出量確認	・主剤及び硬化剤の混合比、吐出量を計量し、確認する。
6.	ライニング	 ・高速空気流により、樹脂を管内壁に沿って搬送させ、ライニングする。
7.	完成検査	・樹脂層の硬化後、空気による流量確認、気密検査を行う。
8.	連絡工事・ガス開通	・供給管取出部及びメーターコックを各々連絡した後、ガスを開通する。

４．仕　　様

本工法に使用する樹脂の仕様を下記に示す。

項　　目	内　　容
主　成　分	二液混合常温硬化型エポキシ樹脂
比　　重	1.40～1.42
粘　　度	50～130PS
混　合　比	主剤：硬化剤＝１：１（重量比）
指触硬化時間	100 分
実用硬化時間	180 分
引張強さ	35 kg/cm²
伸　　び	120%