経済産業省 産業保安グループ ガス安全室 御中

## 平成 30 年度

# 地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業 (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

目 次

1. 事業目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2. 事業内容
<ul> <li>3. 体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
4. 経年管の残存状況等調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
<ul> <li>5. 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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>6. 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価・・・・・・15</li> <li>6. 1 土壌抵抗率の変動影響調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>7.新規サンプルガス管の腐食状況の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>8. 新規サンプルガス管の腐食状況の分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>
<ul> <li>9. 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・・・・・51</li> <li>9. 1 平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度データによる最大腐食深さ重回帰式         <ul> <li>・・・51</li> <li>9. 2 信頼性解析によるガス管貫通確率・・・・・58</li> <li>9. 3 長延長ガス管貫通確率・・・・・60</li> </ul> </li> </ul>
10.「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・・・・・・・・・・・62
<ul> <li>11. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・</li></ul>

参考資料1

平成30年度経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録…………70

参考資料2

平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業における総合分析 実施報告書・・・・87

参考資料3

平成30年度 経年埋設ガス管のリスクに関する分析・・・・・・・・・・・・・・135

1. 事業目的

土中に経年埋設された灯外内管(以下、経年埋設内管)は、土壌成分などの影響により、腐食が進行しガス漏れが発生する可能性がある。

産業構造審議会のガス安全小委員会で策定されたガス安全高度化計画(平成23年5月) においては、過去のガス事故や事故発生時の社会的影響度の観点から、学校、病院など不 特定多数の人が利用する「保安上重要な建物」に埋設された経年埋設内管については20 20年度までの改善完了に努めることとし、このうち公的施設については2020年度ま での改善完了を目指すとする削減目標を掲げている。

経年埋設内管の削減については、これまで国による広報周知活動、補助事業の実施、ま た、都市ガス事業者による対象需要家への注意喚起、改善交渉により、経年埋設内管の交 換・改修が促進され、保安上重要な建物における経年埋設内管の残存本数は、平成15年 度末の約38万本から平成28年度末の約5万8千本まで大幅に削減されてきた。他方、 経年埋設内管の交換・改修に同意しない需要家が一定数存在することなどにより、平成2 9年度末においても保安上重要な建物における経年埋設内管は約5万3千本が残存する見 込みである。

平成29年4月に施行された改正ガス事業法では、需要家敷地内に埋設された需要家所 有のガス工作物(敷地内に引き込まれた内管からガス栓まで)の漏えい検査・緊急保安は ガス導管事業者が行うとともに、ガス事業者が行う保安業務に協力する責務が内管の所有 者にあることを明確にし、技術基準適合していない経年埋設内管について、適合命令が発 出されたガス事業者の保安業務(経年埋設内管の交換等)に需要家が協力しない場合には、 当該需要家は経済産業大臣による協力勧告を受ける可能性がある。この際、風評被害にな らない慎重な対応を図るため、需要家への要請及び対外公表を行う上で精緻な基準等を策 定することが必要である。

また、科学的根拠に基づき経年埋設管の危険性等を精緻な形で需要家に示して需要家の 自主的な行動を促すことも必要である。

本事業においては、外観で判断できない土中に埋設された経年埋設内管の腐食状況について、全国規模でリスク状況等を調査し、分析し、経年埋設内管からのガス漏れの可能性の評価手法・判断基準を検討、策定することにより、経年埋設内管を保有する需要家への科学的根拠を踏まえた協力要請、協力勧告、公表の実施、「供内管腐食対策ガイドライン」の改訂等に資することを目的とし、本年度は、平成28年度から継続実施してきた3か年 事業の最終成果を総括、取りまとめることとする。 2. 事業内容

平成28年度、29年度調査事業により、腐食深さの回帰式の支配環境因子は、土壌抵抗 率と管対地電位であることが確認できた。本年度の調査事業では、平成28年度、29年度 に得られたデータ及び昭和60年度(前回調査)で得られたデータ、知見を精査し、平成2 9年度に得られた腐食深さの回帰式の精度を向上させるとともに、支配環境因子に対する季 節、気候、測定方法等の影響調査及びその支配環境因子の現地測定方法の評価を行う。

その成果を最大限活用し、現地での支配環境因子の測定値のばらつきも考慮して、平成 29年度に得られた腐食深さの回帰式の精度を更に向上させることを検討し、経年埋設内 管の腐食深さの推定式を策定する。

策定された腐食深さの推定式を基に、ガス管の種類、管径毎の肉厚の違いを考慮したガス 漏えいのリスク評価手法・判断基準を検討し、その信頼性を検証する。

(1) 経年管の残存状況等調査

経済産業省及び関係団体が実施した経年管対策の調査データに基づき、経年管の残存状 況等を集計し整理する。

- (2) 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
- ① 平成29年度及び昭和60年度データの精査
  - 平成29年度事業において、経年埋設ガス管の腐食評価は、昭和60年度に実施された 前回調査と平成29年度の調査を合算して行うことが妥当であることが確認された。これ を踏まえ、本年度は、腐食深さの回帰式の精度の向上を目的として、この平成29年度及 び昭和60年度のデータを精査する。
- ②土壌抵抗率の現場測定特性の把握と腐食深さの回帰式への適用

平成29年度事業において、腐食深さの支配環境因子である土壌抵抗率は、季節、気候 等によりその値は変化し、現場測定結果の腐食深さの推定式へ適用の際には、その現場測 定特性を十分に反映する必要があることが確認された。これを踏まえ、本年度は、土壌抵 抗率の現場測定特性を把握することにより、腐食深さの回帰式の精度向上を検討する。

③管延長の影響評価

平成29年度事業において、採取したサンプル管の最大腐食量から、交換対象となる埋 設管の延長内に存在する最大腐食深さを想定した腐食深さの推定式を検討する必要があ ることが確認された。これを踏まえ、本年度は、採取済みの長尺サンプル管の残管を用い て極値統計解析手法により管延長時の最大腐食深さの推定手法を検討する。

④亜鉛メッキの有効期間及びアスファルトジュートの耐用期間の検討

平成29年度事業において、亜鉛メッキの有効期間及びアスファルトジュートの耐用期 間が腐食速度に与える影響を検討する必要性があることが指摘された。これを踏まえ、本 年度は、腐食深さの回帰式の精度向上を目的として、亜鉛めっきの有効期間及びアスファ ルトジュートの耐用期間を調査し、腐食深さの回帰式への導入について検討する。

- (3) 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価
- 土壌抵抗率の変動影響調査

土壌杖により現地で測定される土壌抵抗率の値が、土質、土被り、気候(温度、降水量 等)によりどの程度影響を受けるかを調査し、その結果を現地測定及び腐食深さの回帰式 へ反映する最適な手法を検討する。

②腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査

平成29年度事業において、腐食生成物が固着した埋設環境下での埋設管の管対地電位 と腐食深さの関係を詳細に調査する必要があることが指摘された。これを踏まえ、本年度 は、その関係を調査・確認するための評価試験を実施し、腐食深さの回帰式への管対地電 位の影響度を検討する。

- (4) 新規サンプルガス管の腐食状況の調査
  - ①現場調査(管対地電位、土壌抵抗率の測定、埋設ガス管サンプリング、埋設状況等写真 撮影)
  - ②管体分析調査(サンプルガス管の外観観察、元肉厚調査、ショットブラスト、管肉厚測 定)
- (5) 新規サンプルガス管の腐食状況の分析

上記(4)で得られた埋設ガス管のデータについて、埋設ガス管の腐食量と管対地電位、 土壌抵抗率の相関分析を行う。

(6) 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

上記(2)、(3)で得られた成果を総合評価し、経年埋設内管の腐食深さの推定式を策 定する。また、交換対象埋設管延長内に存在する最大腐食深さを想定した埋設延長別腐食 深さの推定式を策定する。

この腐食深さの推定式から、ガス管の種類、管径毎の肉厚の違いを考慮したガス漏えい のリスク評価手法・判断基準を検討する。

また、その信頼性を(4)、(5)で得られた分析結果で検討する。

(7)「供内管腐食対策ガイドライン」改正に向けた資料作成

平成28年度から継続実施してきた3か年事業の総括として、「供内管腐食対策ガイド ライン」改訂に資する骨子案を検討する。

(8) 技術委員会の設置、運営

上記(1)~(7)を効率的かつ円滑に進めるため、専門家からなる技術委員会を設置、 運営し、調査・分析方法の決定、調査・分析結果の評価及び埋設ガス管の腐食に関する評 価方法・判定基準を検討する。 3. 体制

3.1 事業実施体制

本事業の実施にあたっては、一般財団法人日本ガス機器検査協会が事業実施の主体となり、 ガス事業に関する知識・知見のある人材にて効率的かつ円滑に実施した。

事業実施体制を図で示したものは以下のとおりである。



3.2 技術委員会の設置・運営

本調査及び評価を効率的かつ円滑に進めるため、土壌及び腐食等の専門家からなる技術 委員会を設置・運営し、調査方法・調査計画の決定、調査結果の評価、リスク評価方法・ 判断基準等の検討を実施した。

委員会開催実績

- 第1回 平成30年8月24日(金) 13時~15時
   一般財団法人日本ガス機器検査協会 3階第1会議室
   ・委員会規約及び事業計画について承認を得た。
- 第2回 平成30年11月13日(火)15時~17時

一般財団法人日本ガス機器検査協会 3階第1会議室

- ・各業務の進捗状況を確認し、今後の事業の方向性を検討した。
- 第3回 平成31年1月18日(金) 15時~17時

一般財団法人日本ガス機器検査協会 3階第1会議室

- ・影響調査業務の測定報告、分析業務報告について議論した。
- 第4回 平成31年2月20日(水) 15時~17時

一般財団法人日本ガス機器検査協会 3階第1会議室

・各業務の報告を確認、今年度事業のまとめについて議論した。

委員長	豊田 政男 名誉教授
	大阪大学
委員	安藤 広和 技術部長
	一般社団法人 日本ガス協会
委員	倉敷 哲生 教授
	大阪大学 大学院工学研究科 ビジネスエンジニアリング専攻
	テクノロジーデザイン講座
委員	佐藤 弘隆 室長
	新日鉄住金エンジニアリング(株)
	技術本部 技術開発研究所 溶接・防食・材料評価技術室
委員	杉森 毅夫 技術部長
	一般社団法人 日本コミュニティーガス協会
委員	妹尾 啓史 教授
	東京大学 大学院農学生命科学研究科 応用生命化学専攻
	土壤圈科学研究室
委員	中里 直人 チームリーダー
	東京ガス(株)デジタルイノベーション本部
	基盤技術部 基礎技術研究所 構造健全性チーム
委員	西川 明伸 シニア・リサーチャー
	大阪ガス(株)導管事業部(供給部)部長付(兼)供給技術チーム
委員	藤本 愼司 教授
	大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻

(五十音順)

4. 経年管の残存状況等調査

平成29年度末時点での都市ガス事業者における保安上重要な建物範囲及び経年管の残存 量を表1.1に、経年管残存量実績及び今後の残存量見込みを表1.2に示す。

建物区分		中美(壮轨)	/ J _ 23	年度末残存量(本)			
		上我(扳杆)	1,7-9	H29 年度	(参考)H28 年度		
1	特定地下街等	1,000 m <sup>*</sup> 以上の地下街	商業施設がある大規模地下街				
2	特定地下室等	1,000 ㎡以上の地下室	地階がある大規模商業施設				
3	超高層建物	高さ60mを超える建物	超高層ビル(20 階以上の建物)	<u>*5 400</u>	<u>%5 400</u>		
4	高層建物	高さ31mを超える建物	高層ビル(10 階以上の建物)	赤 3 400	赤り 400		
Б	性空土坦塔建物	ガスメーター合計 180 号以上			1		
5	特定入观候建物	の建物	ショッピンクセンター寺				
6	特宁市相横建物	ガスメーター合計 30 号以上	商業ビル・ホテル等	約1300	<u>終</u> 5 1 <i>4</i> 00		
0	付足甲烷候建物	の建物	同来しル、小ノル寺	<b>ም</b> ህ 1, 300	יינית, איז דעס		
7	特宁公共田建物	病院、幼稚園等でガスメータ		<u> </u>	<b>約</b> 4 300		
	特定公共用建物	ー合計 30 号以上の建物	焼候の入さい、納阮、幼稚園寺	赤り 200	ሰያ 000		
Q	工業用建物	工業用メーターが合計 90 号	工坦生	<u> </u>	<b>※</b> 5 E00		
0	(うち鉄筋系建物)	以上の建物	│ 上 场 <del>寸</del>	₩J 000	承9 500		
0	一般業務用建物	住居用以外の建物(1~8を	小相増ビル、受技生	<u> </u>	<u> </u>		
9	(うち鉄筋系建物)	<b>除く</b> )	小焼族ビル、子牧寺	承9 50, 000	赤り 59,000		
10	一般集合住宅	住居用でガスメーターが2以		約16,000	<b>約</b> 17 000		
10	(うち鉄筋系建物)	上の建物		赤J TO, 000	<u></u>		
	(※)一般ガス事業	者と簡易ガス事業者の合計	合計	約 54, 000	約 58, 000		

表1.1 都市ガス事業者\*における保安上重要な建物範囲及び経年管の残存量

表 1.2 都市ガス事業者<sup>\*1</sup>における残存量実績および見込み

(保安上重要な建物に関する灯外内管)

		2015	2016	2017	2018	2020
		1107 左由	1100 左由	1100 左由	H30 年度	H32 年度
		日27 年度	H26 年度	H29 午皮	(見込み)	(見込み)
	年度末残存量(本)	約 64 000	約 58 000	約 54 000	<u>終</u> 5 49 000	<b>約</b> 5 38 000
(H2	27~29 年度末は実績)	赤り 04,000	ምብ 20,000	赤り 54,000	承到 49,000	ምባ 38,000
-	前年度からの減小量	_	▲ 約5 6 000	▲ 約 4 000	▲ 約5 000	<b>※</b> 2
н	可午後からの減少重		▲ハシ 0,000	▲ハシ 4,000	▲ハシ 3,000	▲約 11,000
	年度末残存量(本)	\$5 C EOO	約5100	<u> </u>	<u>終</u> 力 2 700	0
(内数)	(H27~29 年度末は実績)	承り 0,500	承到 5,100	承到 3,900	赤り 2,700	U
公的施設	前年度からの減小量			▲ 約1 200	▲ 約1 200	<b>※</b> 2
	前牛皮がらの減少里	_	▲ 東ງ 1,400	▲ ټງ 1,200	▲፹ງ 1,200	▲約 2,700

(※1) 一般ガス事業者と簡易ガス事業者の合計

(※2) 左欄の年度末の残存量からの減少量

- 5. 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
- 5.1 平成29年度及び昭和60年度データの精査
- (1) 平成29年度サンプル管の腐食データの精査
  - サンプル管の外観調査により、その腐食形態を以下の a.b.の区分で分類・整理した。
    - a. 未腐食部(健全部)の有無 : 健全部有無の2分類

b. 腐食形態 : 全面腐食、局部腐食、全面腐食+局部腐食の3分類 亜鉛メッキ管及びアスファルトジュート巻き管の分類結果の要約結果を表 2.1 に示す。

表 2.1 平成 29 年度サンプルの腐食形態分類結果

	腐1	貧形態∶健全き	『有	腐1	<del>_</del> +		
	全面のみ	全面+局部	局部のみ	全面のみ	全面+局部	局部のみ	āΙ
亜鉛メッキ管	13	38	0	1	20	1	73
アスファルトジュート巻き管	1	14	5	0	16	0	36
全体	14	52	5	1	36	1	109

- ・亜鉛メッキ管では、全面腐食のみのサンプル管が、計14本存在した。特に健全部有(塗 装が残っている)サンプル管では、13本(全体の約25%)と数多く存在した。
- ・一方、アスファルトジュート巻き管では、全面腐食のみのサンプル管は健全部有の1本のみ(全体の5%)と数少なかった。
- ・ガス管の腐食深さが大きくなる原因は、全面腐食ではなく、局部腐食であり、その局部 腐食が全体の約9割のサンプル管で確認された。
- ・貫通管は、亜鉛メッキ管では 6P(全体の約 8%)、アスファルトジュート巻き管では 2P (全体の約 6%)、全データでは 8P(全体の約 7%)であった。
- ・腐食速度は、亜鉛メッキ管では0.01~0.09mm/Y、アスファルトジュート巻き管では0.01~0.07mm/Yの範囲であった。
- (2) 平成 29 年度と昭和 60 年度のサンプル管データの比較
- 亜鉛メッキ管

亜鉛メッキ管に関する、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対地電位、土壌 抵抗率及び腐食速度を比較した結果は、以下の通りである。

- ・ガス管サイズは、昭和 60 年度は平成 29 年度と比較して、40A、50A の大口径管の比率 が高かった。平成 29 年度は、40A、50A のデータが数少なかった。
- ・ 埋設経過年は、昭和 60 年度は 3 年~33 年、平成 29 年度は 34 年~76 年と全く異なる年 代のデータであり、埋設経過年は両データで補間できることが確認できた。
- ・最大腐食深さは、昭和 60 年度、平成 29 年度ともに平均値は約 1.6mm とほぼ等しく、 また、その分布もあまり差異がなかった。
- ・管対地電位は、平均値は約-450mVとほぼ等しく、その分布もあまり差異がなかった。
- ・土壌抵抗率は、昭和 60 年度の平均値は約 5,700 Ω・cm と小さく、平成 29 年度の約 14,000 Ω・cm と大きな差異があった。
   土壌抵抗率が 30,000 Ω・cm 以上の特別大きな値を除いた平均値でも、昭和 60 年度は約
  - 4,500Ω・cm、平成 29 年度は約 11,000Ω・cm と大きな差異があった。
- ・腐食速度は、平成 29 年度はすべてのデータが 0.10mm/Y 以下であるのに対し、昭和 60 年度は 0.10mm/Y を超えるデータが全体の約 43%を占めており、明らかに昭和 60 年度 の方が大きな値であった。

② アスファルトジュート巻き管

アスファルトジュート巻き管に関する、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管 対地電位、土壌抵抗率及び腐食速度を比較した結果は、以下の通りである。

- ・ガス管サイズは、昭和60年度と平成29年度はほぼ同じ分布であった。
- ・埋設経過年は、昭和 60 年度は 12 年~34 年、平成 29 年度は 41 年~67 年と全く異なる 年代のデータであり、埋設経過年は両データで補間できることが確認できた。
- ・最大腐食深さは、平成 29 年度(平均値:1.74mm)の方が昭和 60 年度(平均値: 1.28mm)よりも大きかった。
- ・管対地電位は、平成 29 年度(平均値:約-450mV)は昭和 60 年度(平均値:約-530mV)よりもやや大きな(貴な)データが多かった。
- ・土壌抵抗率は、昭和 60 年度の平均値は約 5,800 Ω・cm と小さく、平成 29 年度の約 13,700 Ω・cm と大きな差異があった。
   土壌抵抗率が 30,000 Ω・cm 以上の特別大きな値を除いた平均値でも、昭和 60 年度は約

4,200Ω・cm、平成 29 年度は約 11,000Ω・cm と大きな差異があった。

・腐食速度は、昭和 60 年度(平均値: 0.063mm/Y)は平成 29 年度(平均値:
 0.033mm/Y)よりも大きいが、亜鉛メッキ管のような大きな腐食速度の差は見られなかった。

5.2 土壌抵抗率の現場測定特性の把握と腐食深さの回帰式への適用

本項目については、別途報告書「現地測定法を確立するための支配環境因子の調査及び 現地測定法の評価」(日鉄住金テクノロジー(株))にて詳述されている。

土壌杖による土壌抵抗率に関する知見と対応は以下のように要約できる。

①土壌抵抗率は、地盤の含水率の影響を受けるため、以下の点を考慮する必要がある。

- ・長期間の連続降雨、台風等の直後の測定は避ける。(通常よりも過小評価される)
- ・ 浅い深度の乾燥状態では、異常に高い値が測定される危険性が高いため、水分を供給 し適度な含水率で測定することが望ましい。
- ・測定深度は、30cm 程度(以深)が望ましい。
- ②土壌抵抗率は、地中温度の影響を受ける。地中温度が低い程土壌抵抗率は大きくなる。 その影響率は約2%℃であり、土壌杖測定結果の温度補正が必要となる。

また、管対地電位に関する知見と対応は以下のように要約できる。

- ①管対地電位も地盤の含水率の影響を受ける。よって、降雨直後の測定は避けることが望ましい。
- ②降雨直後に測定を実施した場合は、過小評価の危険性があるため、測定結果に50mV ~100mVを加算する等の補正を行うことが望ましい。
- 5.3 管延長の影響評価

平成 29 年度事業では、現場にて約 50cm の経年埋設管を掘り上げ、サンドブラスト後に 腐食量が最も大きいと思われる 10cm 長さのサンプル管の腐食深さを精密測定し、最大腐 食深さを求めた。しかし、最大腐食深さは、全面腐食ではなく、局部腐食であるため、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、全長を10cm ピッチで腐食深さを精密測定した長尺サンプル管(長さ:最大 2m、計10P)に極値統計解析を適用し、グンベル確率プロットより埋設延長を考慮した 最大腐食深さ推定値を求めた。グンベル分布は、最大値分布が従う分布として適用され、 各種配管、タンク等の最大腐食深さの推定への適用例が数多く報告されている。

さらに、その推定値より、10cm 長さサンプル管の最大腐食深さ(実測値)から、延長係 数を導入することにより、任意延長のガス管の最大腐食深さを求めた。

(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)10本について、10cm 毎のサンプル 管最大腐食深さを測定し、それぞれ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( $\alpha$ 、 $\lambda$ )の 算定は、MVLUE 法によって行い、検定は $\chi^2$ 検定(有意水準 5%)を用いた。

その結果、長尺管 10P のうち、サンプル管(01-102) を除いた 9P の最大腐食深さは、 グンベル分布に従うことが確認された。

図 1.1 には、その一例として、サンプル管(01-101)のグンベル確率プロット(最大腐 食深さ測定値をグンベル確率紙にプロットしたもの)を示す。この各測定値が直線上に並 んでいることから、最大値分布がグンベル分布に従っていることが検証できる。また、同 図の第二軸(右軸)の再起期間(T<sub>10</sub>)とグンベル確率プロットとの交点のX座標の値よ り、10cmのT倍の長尺管の最大腐食深さが推定できる。

よって、この 10cm サンプル管のグンベル確率プロットより、長さ 50cm の長延長管の 最大腐食深さ推定値(X<sub>10</sub>)を求めた。



同図中のα、λはそれぞれグンベル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<sub>10</sub>)は、再起期間(T<sub>10</sub>)により次式で与えられる。

$$X_{10} = \lambda + \alpha \cdot [-\ln \{-\ln (1 - 1/T_{10})\}]$$
  
ここで、  $T_{10}$ : 再起期間 (= L/10)  
L:ガス管延長 (cm)

図 1.2 は、10cm グンベル確率プロットと同じ傾きを持ち、 $\lambda$ '=2.33mm(T<sub>10</sub>=5)となる 50cm グンベル確率プロットである。同図より、任意長さの長尺管の最大腐食深さ推定値 (X<sub>50</sub>) が再起期間 (T<sub>50</sub>) により次式で与えられる。

図 1.2 より、サンプル管(01-101)と同じ腐食環境におけるガス管延長 1m、5m 及び 10m の最大腐食深さの推定値は以下の通りとなる。

ガス管延長	1m	$5 \mathrm{m}$	10m	Hmax( <b>10cm 実測値</b> )
最大腐食深さ	2.46mm	3.18mm	3.45mm	1.86mm



(2) 延長係数による長延長ガス管の最大腐食深さの推定

長尺管 9P の 50cm グンベル確率プロットでのガス管延長 1m、5m 及び 10m の時の最大腐 食深さ推定値(X<sub>50</sub>)をとりまとめた結果は、表 2.2 の通りである。

同表には、平成 29 年度 10cm サンプル管の最大腐食深さ実測値(Hmax)と最大腐食深さ 推定値(X<sub>50</sub>)と Hmax の比を、ガス管の延長係数(L<sub>G</sub>)と定義して併記している。

	口尔	ロ経 #ンプル.N。	X <sub>50</sub> (mm)			Hmax	L <sub>G</sub> =X <sub>50</sub> /Hmax		
		9 <i>77 1</i> /100.	L=1m	L=5m	L=10m	(mm)	L=1m	L=5m	L=10m
1		01-101	2.46	3.18	3.45	1.86	1.32	1.71	1.85
2	25A	03-101	2.01	2.99	3.36	1.88	1.07	1.59	1.79
3		05-121	1.44	2.01	2.23	1.34	1.07	1.50	1.66
4		06-101	1.31	1.74	1.91	1.79	0.73	0.97	1.07
5	40A	07-101	2.49	3.41	3.76	2.79	0.89	1.22	1.35
6	50A	08-103	3.34	4.81	5.37	3.18	1.05	1.51	1.69
Ø	204	08-115	0.89	1.21	1.33	1.28	0.70	0.95	1.04
8	32A	12-103	2.27	3.43	3.87	2.07	1.10	1.66	1.87
9	80A	09-122	2.75	3.84	4.25	2.86	0.96	1.34	1.49

表 2.2 長尺管最大腐食深さ推定値(X)と延長係数(LG)

ガス管延長 L=1m、5m、及び 10m の時の延長係数の値(表 2.2)を、それぞれ正規確率プロットに図示した結果が図 1.3 である。延長係数は、どのケースもほぼ正規分布に従い、また標準誤差も 0.06~0.11 となり、比較的バラツキも小さかった。



図 1.3 延長係数(LG)の正規確率プロット

ここで、安全サイドの考え方(99%信頼区間)を採用し、ガス管延長 1m、5m、及び 10m のそれぞれについて、延長係数( $L_G$ )の平均値+標準誤差×3の値を、そのガス管延長にお ける延長係数  $L_G(L)$ とした。この延長係数を用いることにより、任意ガス管延長での最大腐食 深さ推定値は、10cm サンプル管の最大腐食深さ推定値から次式で求められる。

Hx (L) = H × L<sub>G</sub> (L)
ここで、 Hx (L):ガス管延長L (m) における最大腐食深さ推定値(推定式)
H : 10cm サンプル管の最大腐食深さ推定値(推定式)
L<sub>G</sub> (L):ガス管延長L (m) の時の延長係数
L<sub>G</sub> (L) = µL + 3×σL
ただし、µL:ガス管延長L (m) の時の延長係数平均値 σL:ガス管延長L (m) の時の延長係数標準誤差
ガス管延長 1m の時 L<sub>G</sub>(1) = 1.18
ガス管延長 5m の時 L<sub>G</sub>(5) = 1.67
ガス管延長 10m の時 L<sub>G</sub>(10) = 1.85 5.4 亜鉛メッキの有効期間及びアスファルトジュートの耐用期間の検討

ガス管の腐食深さ及び腐食速度はその塗装・塗覆装の防食効果が有効な耐用年数の影響を受けると考えられる。その防食効果が有効な耐用年数を考慮した重回帰分析を検討した。

(1) 検討方法

亜鉛メッキ及びアスファルトジュートの防食効果が有効な耐用年数(X 年)を変数とし、サン プル管データの埋設経過年(Y 年)からこの年数を差し引いた年数(Y-X 年)が、ガス管の 腐食が進行する実質的な埋設年数であると想定し、その年数を用いて重回帰分析を実施した。 重回帰分析結果から、耐用年数の影響を評価する手順は以下の通りとした。

- ・重回帰分析時の有意 F 値の値が、有意水準(0.05)よりも小さく、回帰分析が有意で あることを確認する。
- ・相関図より、実測値と推定値の相関関係と重相関係数の値を対比し、重相関係数及び 標準誤差の値の妥当性を確認する。
- ・重相関係数が大きく、また標準誤差の小さい耐用年数を、最大腐食深さの重回帰式の 精度の最も良好な耐用年数として採用する。
- 亜鉛メッキ管



図 1.4 は、耐用年数(X)と重相関係数、標準誤差の関係を図示したグラフである。

同図より、耐用年数が重回帰分析結果に与える影響は以下のように要約できる。

- ・耐用年数が7年程度までの重回帰分析では、重相関係数が徐々に減少し、標準誤差は徐々に増加する。この間、データ数は139P(耐用年数:0年)から130P(耐用年数:7年)へ漸減する。
- ・更に耐用年数を増加させると、耐用年数9年で重相関係数は一度増加するが、更に増加すると、重相関係数は減少していく。また、標準誤差も大きくなり、データ数は、耐用年数15年、23年でそれぞれ113P、94Pとなり、初期のデータ数から20~30%大きく減少する。

この結果より、亜鉛メッキ管に関しては、最も重相関係数が大きく、また標準誤差も小さい亜鉛メッキの耐用年数は、「0年」と判断した。

#### ② アスファルトジュート巻き管

図 1.5 は、耐用年数と重相関係数の関係を図示したグラフである。



重回帰分析結果から、アスファルトジュート巻き管に関して耐用年数が重回帰分析 結果に与える影響は以下のように要約できる。

- ・耐用年数が10年程度までの重回帰分析では、耐用年数4年の時の重相関係数が最大となるが、その期間では重相関係数のは値はほとんど差がない。しかし、標準誤差は徐々に 増加する。この間、データ数は91P~90Pであり、ほとんど差異がない。
- ・更に耐用年数を15年まで増加させると、重相関係数は減少し、また、標準誤差も大きくなる。データ数は、耐用年数13年、15年でそれぞれ88P、83Pとなり、初期のデータ数から減少する。
- ・耐用年数を17年以上まで増加させた場合は、有意F値が有意水準(5%)を超えるため、 重回帰式の信頼性がなくなる。

この結果より、アスファルトジュート巻き管に関しても、重相関係数が大きく、また標 準誤差も小さいアスファルトジュートの耐用年数は、「0年」であると判断した。

- 6. 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価
- 6.1 土壌抵抗率の変動影響調査

土壌抵抗率の値が土質、土被り、気候(温度、降水量等)によりどの程度影響を受ける かを調査するため、試験ヤードで土壌抵抗率を含む各種パラメータを連続測定長期モニタ リングした。調査の結果得られた内容を次に示す。

- (1) 土壌抵抗率の特性
- ①電気伝導率(土壌抵抗率の逆数)と雨量の関係を図2.1に示す。図2.1に示すように降 雨があるとその直後、土壌抵抗率の値は小さくなり、降雨が少なく乾燥が続くと値は 大きくなった。
- ②図 2.1 に示すように土被りが大きくなると降雨・乾燥の影響は小さくなった。ただし、砂分が多い土壌では、GL-300cm においても降雨・乾燥の影響が大きかった。



図 2.1 降雨後の電気伝導率の推移(富津地区)

③図 2.2 に示すように土被りが大きい場合でも、地下水位が高い土壌では、降雨の影響 が大きくなった。地下水位が GL-2.0m, GL-3.0m 程度の土壌において、GL-500cm の 値が台風などの激しい降雨の影響を受けて極端に小さくなる現象が確認された。



④図 2.3、図 2.4 にセンサーで測定した土壌抵抗率と土壌杖で測定した土壌抵抗率の相関関係を示す。温度変化による土壌抵抗率の変化は、2%/℃とされている。今回の調査で得た測定値に 2%/℃の温度補正を適用すると、温度補正無の相関関係より温度補正有の相関関係のほうが大きくなっていた。また、土壌含水率が変動しない期間、各深さについてほぼ一定の土壌抵抗率を示した。





図 2.4 センサーと土壌杖の相関関係(温度補正有)

総評:①~③により、測定前の降雨状態、土被り、地下水位が土壌抵抗率に大きく影響を 及ぼすことが確認できた。また、④により土壌抵抗率は温度により変動することが 確認できた。

(2) 土壌杖の特性

①図 2.5 に土壌抵抗率と貫入深さの関係を示す。図 2.5 に示すように土壌杖を地表面から 20cm 以上差し込むと測定値の誤差は 5%以内となった。また、実験では土壌杖を地表 面から 30cm 程度まで差し込むことで安定的に測定できることが確認された。



図 2.5 表示土壌抵抗率と貫入深さ



②図 2.6 に構造物からの距離と土壌抵抗率の関係を示す。図 2.6 に示すように障害物から 10cm 以上離れて測定すれば、測定値の誤差は 10%以内となった。

図 2.6 構造物からの距離の影響

総評:①により土壌杖の貫入は一定の深さが必要であることが確認できた。②により土壌 杖の貫入位置は障害物から一定距離離す必要があることが確認できた。

6.2 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査

腐食生成物が固着した埋設環境下での埋設内管の管対地電位と腐食深さの関係を定量的 かつ長期的に調査し、管対地電位の腐食深さの回帰式に対する影響度を評価した。調査の 結果得られた内容を次に示す。

- (1) 管対地電位の特性
- ①図 2.7 に腐食生成物が付着したサンプル管の管表面電位と最大減肉量の関係を、図 2.8 に腐食生成物が付着したサンプル管の管表面電位と腐食速度の関係を示す。図に示すように高い相関が認められた。



図 2.7 管表面電位と最大減肉量



図 2.8 管表面電位と腐食速度

②図 2.9 に埋設試験後、室内で測定した管表面電位と最大減肉量の関係、図 2.10 に埋設 試験後、室内で測定した管表面電位と腐食速度の関係を示す。図に示すように高い相 関が認められた。





図 2.9 埋設試験後の管表面電位と最大減肉量

図 2.10 埋設試験後の管表面電位と腐食速度

③図 2.11 に試験片電位の推移を示す。図に示すように新規試験片の埋設試験において、 腐食の進行に伴い、わずかな電位上昇の傾向が認められた。



図 2.11 試験片電位の推移(富津)

- 総評:①、②により管の表面電位と腐食量、腐食速度との間に相関が認められたことによ り、管対地電位が腐食量、腐食速度と相関があることは肯定された。しかしなが ら、測定対象である埋設管と照合電極の間に土壌があることで、そのバラツキが大 きくなり、相関を弱めている要因だとも考えられる。③により、腐食が進行するこ とで表面電位が上昇傾向となることを改めて確認できた。
  - (2) 管対地電位の測定
  - ①図 2.12 に亜鉛メッキ管の電位の推移を示す。図に示すように降雨が継続すると電位は 低下し、降雨が少なくなると上昇する傾向があった。



図 2.12 亜鉛メッキ管の電位の推移(富津)

②図 2.13 に降雨直後の亜鉛メッキ管の電位推移を示す。図に示すように降雨直後、電位は上昇あるいは降下を示し、数日を経て元の電位に戻る傾向があった。その電位降下量は、50~100mV程度であった。この降下量がリスク評価の最大減肉量推定値に及ぼす影響は、7%~23%であった。



図 2.13 降雨直後の電位の推移(富津)

総評: ①と②により、管対地電位は降雨の影響を受けることがわかった。

- 7. 新規サンプルガス管の腐食状況の調査
- 7.1 調査概要
- (1) 現地での管対地電位の測定

サンプリング対象のガス管は、以下の条件で管対地電位を測定した。

表 3.1 <b>省対地電位</b> 測
----------------------

No	項目	条件	備考
1	測定箇所数	14箇所	
	測定位置	立上がり部を 0m とし、0m、0.5m、1.0m、1.5m、	管路が 50m よ
2		2.0m, 2.5m, 3.0m, 4.0m, 5.0m, 10m, 20m,	り短い場合は、
		30m, 40m, 50m	全長対象
9	測定装置	高感度自動記録計(EPR)及び飽和硫酸銅電極	
0		(Cuso4)	
4	測定時間	1分(チャート速度 20mm/分)	
5	測定レンジ	1Vフルスケール	
	管との接続	電圧計からのリード線は原則、立ちあがり管に接	
6		続する。接続部に錆が有る時はヤスリ等で除去し	
		鋼面を光らせて接続する。	
	電極の設置	設置はガス管直上の地表面を原則とする。地表面	原則以外は測定
		に設置できない場合は 50cm 程度までなら管直	詳細を記録表に
7		角方向にずらす。それも無理なら管軸方向にずら	記録する。
		す。更に無理なら、原則の位置で周囲に水を撒い	
		た上で濡れウエス等を置いて設置する。	
		電極がふらつかないようにすること。	
	データの整理	チャートから平均値を読み記録表に記入する。	
8		ただし、変動が大きい(電位の5%程度)場合は、	
		最貴値、最卑値も記録する。	
	その他	データ及び個々のデータ採取条件は記録表に記	
9		載して提出する。原紙データは測定日、測定時間、	
		レンジを記入(手書き可)し、PDF 化して記録表	
		に添付する。測定状況写真を撮影する。	

(2) 現地での土壌抵抗率の測定

サンプリング対象ガス管の周囲について、以下の条件で土壌抵抗率を測定した。

No	項目	条件	備考
1	測定箇所数	7か所(撤去長さが長延長 2mの場合は管対地電	
		位と同じ位置)	
	測定位置	立上がり部を 0m とし、配管延長が 0~5m 未満	測定した位置は
0		の場合は両端2か所、5~10m 未満の場合は両端	記録表のm数を
		と中央の3箇所、10m以上の場合は0m、5m、	修正して記録す
		10m、20m、30m、40m、50m とする。	る。
3	測定装置	オームメータ及び土壌杖	
4	測定回数	同一測定位置で3回	
	測定条件	土壤杖の差し込み深さは地表面の砕石を避け、か	測定時のふらつ
		つ、ガス管への接触も避けるために 15cm を原則	きは測定値に影
		とする。ガス管を傷つける恐れがある場合は位置	響を与えるので
		をずらして測定し、測定条件を具体的に記録す	容易に動かない
		る。	ようにする。
		土壌杖は差し込んだときにふらつきが無いこと。	
5		ふらつく場合は、近傍で差し直すこと。	
		地表面に差し込むことができない場合は 50cm	
		程度までなら管直角方向にずらす。それも無理な	
		ら管軸方向にずらす。それでも困難な場合は、記	
		録表にその状況を記録する。	
		前後の測定値と比べて大幅(2倍以上・半分以下	
-		を目安)に異なる場合は、再度測定する。	
	データの整理	測定値を記録表に記入する。再測定を含めて全て	
6		の測定値を記録する。標準以外の測定や再測定は	
		その詳細も具体的に明記する。測定状況写真を撮	
		影する。	

表 3.2 土壤抵抗率測定

(3) サンプリング調査の実施

①サンプリング数

51 箇所(亜鉛メッキ管35本、アスファルトジュート管16本) ②サンプリングの対象エリア

北海道、宮城県、新潟県、千葉県、埼玉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、大阪 府、兵庫県、広島県、香川県、徳島県、福岡県

③サンプリング対象のガス管

以下の灯外内管を対象とする。

- イ)管種について
  - ・白ガス管
  - アスファルトジュート管

※ただし、テープ巻き管は除く。

- ロ) 管径について
  - ・原則として 80A 以下
- (4) サンプル管の調査
  - (3) で採取したサンプル管について、以下の項目を測定した。
- ①埋設状況及びサンプル管の写真撮影
- 腐食状況を確認するため、埋設状況及びサンプル管の外観状況を撮影した。
- ②サンプル管の外観写真撮影
- さび落とし前後のサンプル管の写真撮影を行った。
- ③サンプル管の肉厚測定
  - 3D 形状測定器を用いて、さび落とし後のサンプル管の全周を調査し、サンプル管の最大 肉厚、最小肉厚について、測定を行った。

7.2 サンプリング時の管対地電位及び土壌環境因子の測定結果

経年埋設管サンプリング時に管対地電位、土壌抵抗率及び接地抵抗を測定した。測定 結果については、表 3.3 に示す。

連番	サンプルNo	重業者	口径 (A)	サンプル		管対地電	[位(mV)	,,,,,	土壌担	〔抗率(Ω・	·cm)	接地抵抗
	///////////////////////////////////////	+**	HE (II)	採取位置	直近値	最大値	平均値	最小値	最小値(N=3 平均値)	最小値(全測 定)	平均値	(Ω)
1	01-101	北海道	25	6m	-420	-385	-398	-420	17,000	15,000	26,667	36.0
2	02-101	仙台	25	0.5~1m	-730	-715	-738	-770	2,643	2,640	5,213	43.0
3	02-102	仙台	50	0~0.5m	-300	-290	-322	-350	-	-	-	0.9
4	03-101	北陸	40	1.9m	-210	-210	-267	-350	41,333	38,000	50,333	15.0
5	03-102	北陸	25	0~0.5m	-260	-225	-275	- 300	50,333	48,000	63,292	13.0
6	04-101	京葉	25	10m	-1110	-1045	-1065	-1110	3,800	3,600	4,311	9.5
7	05-101	東京	25	2m	-445	-400	-436	-460	7,933	7,700	7,933	19.7
8	05-103	東京	40	9m	-520	-470	-496	-520	3,067	2,600	5,517	6.0
9	05-105	東京	32	10m	-515	-505	-515	-520	7,117	6,750	10,106	3.1
10	05-106	東京	25	10m	-365	-295	-349	-390	17,333	17,000	26,111	18.5
11	05-109	東京	25	2.5~3m	-370	-360	-373	-380	14,333	11,000	14,333	16.5
12	05-110	東京	32	8m付近	-460	-460	-465	-470	1,900	1,500	2,689	4.0
13	05-113	東京	25	3~4m	-475	-380	-448	-480	5,267	4,500	9,700	18.0
14	05-114	東京	25	15m付近	-405	-380	-394	-425	7,267	7,300	8,111	17.0
15	05-117	東京	25	9m	-575	-540	-551	-575	5,233	4,800	10,489	12.3
16	05-120	東京	25	5m	-540	-525	-541	-550	3,500	2,700	3,633	3.5
17	06-101	静岡	20	1m	-415	-380	-408	-440	25,333	22,000	30,333	9.0
18	06-102	静岡	20	3m	-560	-560	-580	-605	7,167	1,000	9,380	8.9
19	07-101	中部	25	0.5m	-180	-160	-171	-180	4,767	4,400	9,300	60.0
20	07-102	中部	40	18m	-490	-420	-482	-510	10,333	10,000	30,111	38.0
21	08-102	東邦	32	0.5m	-340	-330	-338	-345	9,633	8,800	14,744	310.0
22	08-103	東邦	40	1.5m	-560	-510	-552	-560	3,800	3,400	3,944	52.0
23	08-104	東邦	32	4m	-495	-495	-510	-520	6,167	6,000	17,222	19.0
24	08-106	東邦	32	0.5m	-560	-510	-580	-680	1,450	1,100	5,428	4.5
25	08-107	東邦	32	1m	-760	-565	-645	-765	19,667	17,000	28,167	70.0
26	09-103	大阪	32	3m	-540	-520	-546	-600	5,233	5,200	5,744	6.4
27	09-104	大阪	32	1.7m	-1016	-910	-999	-1075	2,733	2,000	6,117	1.4
28	09-106	大阪	25	0.8m	-700	-700	-710	-720	2,900	2,700	3,750	9.0
29	09-112	大阪	25	4.5m付近	-962	-925	-992	-1180	2,000	2,000	3,617	1.5
30	09-115	大阪	50	2.5m	-544	-500	-530	-577	12,833	12,000	13,083	23.0
31	09-116	大阪	25	0.7m	-540	-500	-530	-550	4,933	4,700	4,933	2.5
32	09-118	大阪	80	15m	-546	-480	-521	-570	5,267	4,000	5,267	6.3
33	09-119	大阪	32	5.5m	-626	-626	-644	-664	8,733	7,100	8,733	-
34	09-120	大阪	25	1.2m	-560	-560	-640	-710	7,300	7,000	7,300	-
35	09-123	大阪	40	4m	-520	-510	-527	-590	31,333	26,000	33,000	32.0
36	09-124	大阪	40	1.7m	-620	-610	-650	-690	3,633	3,500	3,633	99.0
37	09-125	大阪	50	2m	-570	-560	-572	-610	17,667	16,000	17,667	-
38	09-126	大阪	32	0.8m	-520	-500	-517	-530	13,667	11,000	13,667	170.0
39	09-127	大阪	25	1m	-580	-520	-563	-590	2,733	2,500	2,733	7.3
40	09-130	大阪	32	9m	-520	-480	-534	-560	12,000	10,000	19,111	0.7
41	09-131	大阪	40	1.8m	-590	-590	-640	-720	6,700	6,200	6,700	-
42	10-101	広島	25	1.5m	-235	-215	-223	-235	27,667	24,500	32,111	137.0
43	10-102	広島	32	5.5m	-390	-310	-370	-480	31,167	31,000	38,389	2.8
44	10-103	広島	25	8.5m	-500	-420	-468	-500	40,333	40,000	40,333	14.1
45	11-101	四国	50	0m	-500	-420	-468	-500	5,767	5,750	7,625	2.6
46	11-102	四国	25	0.8~1m	-530	-530	-542	-570	18,067	18,000	21,567	20.0
47	11-103	四国	32	9.3m付近	-540	-360	-535	-620	16,467	16,400	17,222	26.0
48	11-104	四国	25	2~2.5m	-490	-490	-502	-525	17,033	4,000	26,022	31.0
49	11-105	四国	25	0.8m	-630	-605	-626	-660	12,667	12,000	332,800	17.0
50	12-101	西部	25	0m	-610	-610	-623	-630	11,333	10,000	21,333	6.7
51	12-102	西部	25	7m	-350	-290	-368	-430	84,000	75,000	91,000	130.0

表 3.3 土壤環境因子現地調査結果

現地測定

#### 7.3 ガス管サンプリング結果

サンプリング対象の需要家敷地内にて、経年埋設管を採取した。経年埋設管及び周辺 土壌のサンプリングを実施した場所、サンプリングしたガス管の口径、埋設年について は、表 3.4 に示す。

No	サンプル 場所					埋設年
INO.	No.	都道府県名	行政市区	町名等	口1至	(西暦)
1	01-101	北海道	札幌市南区	真駒内南	25A	1968
2	02-101	宮城県	仙台市泉区	将監	25A	1969
3	02-102	宮城県	仙台市青葉区	片平	50A	1973
4	03-101	新潟県	新潟市江南区	亀田本	40A	1975
5	03-102	新潟県	長岡市	新	25A	1982
6	04-101	千葉県	市川市	大洲	25A	1977
7	05-101	東京都	中野区	南台	25A	1967
8	05-103	東京都	品川区	北品川	40A	1926
9	05-105	東京都	世田谷区	桜新	32A	1964
10	05-106	東京都	国分寺市	東恋ヶ窪	25A	1967
11	05-109	東京都	文京区	弥生	25A	1964
12	05-110	東京都	荒川区	南千住	32A	1972
13	05-113	埼玉県	川口市	西川口	25A	1961
14	05-114	埼玉県	さいたま市浦和区	東沖	25A	1956
15	05-117	神奈川県	横須賀市	二葉	25A	1972
16	05-120	神奈川県	大和市	上和田	25A	1984
17	06-101	静岡県	静岡市清水区	三保	20A	1974
18	06-102	静岡県	沼津市	大岡駅前	20A	1980
19	07-101	愛知県	豊橋市	東田	25A	1975
20	07-102	静岡県	浜松市中区	上島	40A	1972
21	08-102	愛知県	名古屋市緑区	大高	32A	1970
22	08-103	愛知県	名古屋市名東区	植園	40A	1966
23	08-104	愛知県	名古屋市緑区	桶狭間北	32A	1970
24	08-106	愛知県	名古屋市名東区	平和が丘	32A	1977
25	08-107	愛知県	名古屋市名東区	高針原	32A	1980
26	09-103	大阪府	堺市西区	上野芝	32A	1967
27	09-104	大阪府	大阪市生野区	新今里	32A	1967
28	09-106	兵庫県	西宮市	東鳴尾	25A	1962

表 3.4 埋設管サンプリング箇所一覧

No.	サンプル	場所				埋設年
	No.	都道府県名	行政市区	町名等		(西暦)
29	09-112	大阪府	堺市西区	鳳西	25A	1963
30	09-115	大阪府	堺市西区	浜寺諏訪森	50A	1973
31	09-116	大阪府	大阪市平野区	西脇	25A	1964
32	09-118	大阪府	堺市東区	日置荘西	80A	1970
33	09-119	大阪府	堺市東区	西野	32A	1968
34	09-120	大阪府	大阪市平野区	瓜破	25A	1961
35	09-123	兵庫県	西宮市	今津大東	40A	1969
36	09-124	大阪府	大阪市住吉区	長居	40A	1962
37	09-125	大阪府	大阪市大正区	三軒家西	50A	1962
38	09-126	大阪府	大阪市大正区	平尾	32A	1959
39	09-127	大阪府	大阪市都島区	都島本通	25A	1961
40	09-130	大阪府	大阪市淀川区	三津屋南	32A	1970
41	09-131	大阪府	松原市	南新	40A	1964
42	10-101	広島県	広島市西区	三條北	25A	1970
43	10-102	広島県	広島市佐伯区	五日市駅前	32A	1979
44	10-103	広島県	広島市東区	中山西	25A	1969
45	11-101	徳島県	徳島市	新蔵	50A	1974
46	11-102	香川県	坂出市	横津	25A	1963
47	11-103	香川県	丸亀市	塩屋	32A	1971
48	11-104	香川県	丸亀市	幸	25A	1963
49	11-105	香川県	善通寺市	文京	25A	1966
50	12-101	福岡県	福岡市城南区	七隈	25A	1972
51	12-102	福岡県	福岡市早良区	西新	25A	1965

### 7.4 サンプル管の外観観察及び管厚測定結果

サンプリングしたガス管の肉厚測定結果を表 3.5 に示す。

No.	<b>公</b> 社夕	識別番号	口径	測定結果(mm)		
	云杠石			最大肉厚	最小肉厚	減肉量
1	北海道ガス	01-101	25A	3.24	2.35	0.89
2	仙台市ガス局	02-101	25A	3.34	2.26	1.08
3	仙台市ガス局	02-102	50A	4.10	1.08	3.02
4	北陸ガス	03-101	40A	3.66	1.78	1.88
5	北陸ガス	03-102	25A	3.34	2.15	1.19
6	京葉ガス	04-101	25A	3.36	2.64	0.72
7	東京ガス	05-101	25A	3.25	0.60	2.65
8	東京ガス	05-103	40A	3.71	2.77	0.94
9	東京ガス	05-105	32A	3.67	1.20	2.47
10	東京ガス	05-106	25A	3.52	2.31	1.21
11	東京ガス	05-109	25A	3.32	0.39	2.93
12	東京ガス	05-110	32A	3.71	0.91	2.80
13	東京ガス	05-113	25A	3.41	1.70	1.71
14	東京ガス	05-114	25A	3.51	2.45	1.06
15	東京ガス	05-117	25A	3.53	2.67	0.86
16	東京ガス	05-120	25A	3.38	2.18	1.20
17	静岡ガス	06-101	20A	2.87	2.28	0.59
18	静岡ガス	06-102	20A	3.47	3.10	0.37
19	中部ガス	07-101	25A	3.54	1.93	1.61
20	中部ガス	07-102	40A	3.44	1.47	1.97
21	東邦ガス	08-102	32A	3.62	0.60	3.02
22	東邦ガス	08-103	40A	3.71	1.80	1.91
23	東邦ガス	08-104	32A	3.60	2.11	1.49
24	東邦ガス	08-106	32A	3.53	2.68	0.85
25	東邦ガス	08-107	32A	3.51	3.19	0.32
26	大阪ガス	09-103	32A	3.57	3.17	0.40
27	大阪ガス	09-104	32A	3.59	1.30	2.29
28	大阪ガス	09-106	25A	3.50	1.09	2.41
29	大阪ガス	09-112	25A	3.40	2.92	0.48
30	大阪ガス	09-115	50A	3.82	2.98	0.84
31	 大阪ガス	09-116	25A	3.26	2.21	1.05
32	大阪ガス	09-118	80A	4.28	2.67	1.61
33	 大阪ガス	09-119	32A	3.59	1.85	1.74
34	 大阪ガス	09-120	25A	3.58	2.38	1.20

表 3.5 サンプル管の測定結果一覧

No.		識別番号	口径	測定結果(mm)		
	云杠石			最大肉厚	最小肉厚	減肉量
35	大阪ガス	09-123	40A	3.66	2.95	0.71
36	大阪ガス	09-124	40A	3.81	2.99	0.82
37	大阪ガス	09-125	50A	4.07	2.78	1.29
38	大阪ガス	09-126	32A	3.58	1.61	1.97
39	大阪ガス	09-127	25A	3.43	2.25	1.18
40	大阪ガス	09-130	32A	3.75	1.98	1.77
41	大阪ガス	09-131	40A	3.67	3.03	0.64
42	広島ガス	10-101	25A	3.22	1.59	1.63
43	広島ガス	10-102	32A	3.47	1.77	1.70
44	広島ガス	10-103	25A	3.39	2.87	0.52
45	四国ガス	11-101	50A	4.10	2.71	1.39
46	四国ガス	11-102	25A	3.52	2.22	1.30
47	四国ガス	11-103	32A	3.46	2.52	0.94
48	四国ガス	11-104	25A	3.43	2.77	0.66
49	四国ガス	11-105	25A	3.43	1.58	1.85
50	西部ガス	12-101	25A	3.27	2.68	0.59
51	西部ガス	12-102	25A	3.11	1.17	1.94

- 8. 新規サンプルガス管の腐食状況の分析
- 8.1 現地測定結果
  - 1) 亜鉛メッキ管

図 3.1~図 3.5 には、平成 29 年度サンプル管、平成 30 年度サンプル管、及び平成 29 年 度+平成 30 年度サンプル管の、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対地電位、 及び土壌抵抗率のデータ分布を示す。

平成 29 年度と平成 30 年度のサンプル管データの比較結果は、以下のとおりである。 ①ガス管サイズは、平成 30 年度は平成 29 年度と同様の口径分布であり、25A が過半数を

占め、以下 32A、40A、20A, 50A の順である。80A のデータはなかった。

②埋設経過年は、平成 30 年度(平均値:48.5年)は平成 29 年度(平均値:47.2年)と ほぼ同様であるが、45年以下のデータ割合は小さく、45年~55年のデータが全体の約 60%を占めていた。

③最大腐食深さは、平成 30 年度(平均値:1.44mm)は 2mm 以下が約 85%であり、 平成 29 年度(平均値:1.67mm)よりもかなり小さい値であった。

- ④管対地電位は、平成 30 年度(平均値:-425mV)は平成 29 年度(平均値:-439mV)とほぼ同様であるが、-250mV 超の大変貴なデータが 10%以上を占めていた。
- ⑤土壌抵抗率は、平成 30 年度(平均値:16,300Ω・cm)は、30,000Ω・cm以上のデー タが約 18%と数多い。しかし、30,000Ω・cm以下のデータでは、平成 29 年度(平均 値:10,900Ω・cm)とほぼ同じ平均値(10,300Ω・cm)であった。







図 3.1 亜鉛メッキ管のガス管サイズ別本数分布







図 3.2 亜鉛メッキ管の埋設経過年分布







図 3.3 亜鉛メッキ管の最大腐食深さ分布








図 3.4 亜鉛メッキ管の管対地電位分布



2) アスファルトジュート巻き管

図 3.6~図 3.10 には、平成 29 年度サンプル管、平成 30 年度サンプル管、及び平成 29 年度+平成 30 年度サンプル管の、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対地電 位、及び土壌抵抗率のデータ分布を示す。

平成 29 年度と平成 30 年度のサンプル管データの比較結果は、以下のとおりである。 ①ガス管サイズは、平成 30 年度のサンプル数は少ないが、平成 29 年度と同様に 25A、 32A、40A、50A、及び 80A の 20A を除く全サイズが含まれていた。

②埋設経過年は、平成 30 年度は平成 29 年度と同様に 41 年~60 年のデータであるが、60 年以上のデータはなかった。

③最大腐食深さは、平成 30 年度(平均値:1.26mm)は平成 30 年度(平均値:1.74mm) よりもかなり小さく、1.5mm 以下のデータ割合が 66%(平成 29 年度:36%)であった。

④管対地電位は、平成 30 年度(平均値: -547mV)は、平成 29 年度(平均値: -445mV) と異なり、-450mV を超える貴なデータが全く含まれていなかった(平成 29 年度:

45%).

よって、平成 30 年度は平成 29 年度と比較すると、腐食環境は厳しくはなかった。①の最 大腐食深さが小さい原因の一つであると考えられる。

 ⑤土壌抵抗率は、平成 30 年度(全平均値: 9,640Ω・cm、30,000Ω・cm以下平均値: 7,970 Ω・cm)は、2,000~20,000Ω・cmのデータが主であり、平成 29 年度(全平均値: 13,700 Ω・cm、30,000Ω・cm以下平均値: 11,200Ω・cm)よりも約4,000Ω・cm平均値が小 さい値であり、平成 29 年度よりも腐食環境は厳しかった。







図 3.6 アスファルトジュート巻き管のガス管サイズの本数分布







図 3.7 アスファルトジュート巻き管の埋設経過年分布







図 3.8 アスファルトジュート巻き管の最大腐食深さ分布







図 3.9 アスファルトジュート巻き管の管対地電位分布







8.2 平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度データによる単相関分析

最大腐食深さ(Hmax/√Y)と電気伝導率(1/ρ)及び管対地電位(P/S)の平成29年度、 平成30年度及び昭和60年度データによる単相関分析を行った。

- (1) 亜鉛メッキ管
- ① Hmax/√Yと1/ρの単相関分析

平成 29 年度データ (データ数:73P) では、Hmax/ $\sqrt{Y}$ と 1/ $\rho$ の単相関分析では、図 3.11 のように相関係数 R=0.441 (有意 F 値:9.54E-05) であり、強い相関があった。図 3.12、 図 3.13 及び図 3.14 には、平成 30 年度 (データ数:33P)、平成 29 年度+平成 30 年度 (デ ータ数:106P) 及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度 (172P) の Hmax/ $\sqrt{Y}$ と 1/  $\rho$ の単相関分析結果 (散布図と相関係数、有意 F 値) を示す。







平成 30 年度データは、サンプル数が少ないこともあり、相関が弱い結果となった。しか し、平成 29 年度+平成 30 年度のデータ、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度の データでは、強い相関が認められた。

### ② Hmax/√YとP/Sの単相関分析

平成 29 年度データでは、Hmax/√Y と P/S の単相関分析では、図 3.15 のように強い相関 が得られなかった。図 3.16、図 3.17 及び図 3.18 には、平成 30 年度、平成 29 年度+平成 30 年度、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度の Hmax/√Y と P/S の単相関分析結 果を示す。





平成 30 年度データ及び平成 29 年度+平成 30 年度では、有意水準 10%での相関が認めら れた。しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、強い相関は認めら れなかった。

(2) アスファルトジュート巻き管

① Hmax/√Yと1/ρの単相関分析

平成 29 年度データ (データ数: 36P) では、Hmax/√Yと1/ρの単相関分析では、図 3.19 のように相関係数 R=0.302 (有意 F 値: 0.07) であり、有意水準 10%で相関があった。図 3.20、 図 3.21 及び図 3.22 には、平成 30 年度 (データ数: 14P)、平成 29 年度+平成 30 年度 (デ ータ数: 50P) 及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度(データ数: 105P) の Hmax/  $\sqrt{Y}$ と 1/ $\rho$ の単相関分析結果(散布図と相関係数、有意 F 値)を示す。

平成 30 年度データは、サンプル数が少ないが、平成 29 年度よりも相関が弱い結果となった。また、平成 29 年度+平成 30 年度を合わせたデータでも、平成 29 年度よりも相関が弱い結果となった。 しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、有意水準 5%での相関が認められた。





② Hmax/√YとP/Sの単相関分析

平成 29 年度データでは、Hmax/√Y と P/S の単相関分析では、図 3.23 のように強い相関 が得られなかった。図 3.24、図 3.25 及び図 3.26 には、平成 30 年度、平成 29 年度+平成 30 年度、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度の Hmax/√Y と P/S の単相関分析結 果を示す。

平成 30 年度データでも、データ数は少ないが、平成 29 年度と同様に強い相関は得られ ず、また、平成 29 年度+平成 30 年度では、平成 30 年度の管対地電位が小さなデータが H29 年度データを補完し、相関係数はやや増加したが強い相関は得られなかった。

しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、有意水準 5%での相関が 認められた。





8.3 平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度データによる重相関分析

(1) 亜鉛メッキ管

平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(172P) について最大腐食深さと土壌 抵抗率及び管対地電位の重相関分析を行い、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(139P) によ る重相関分析結果との比較を行った。

両ケース共に、強い相関が認められた。

図 3.27、図 3.28 はそれぞれ、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(139P)及び平成 29 年度 +平成 30 年度+昭和 60 年度データ(172P)における重回帰式による推定値と実測値の相関図 である。両者には、ほとんど差異はなかった。



また、図 3.29 は、平成 29 年度+昭和 60 年度データによる H/√Y と平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データによる H/√Y 推定値の比較を示している。この図からも、後者 の方がやや小さい推定値となっているが、両者にはほとんど差異がなかった。



以上の比較検討結果より、亜鉛メッキ管については、平成 30 年度データは、平成 29 年度 +昭和 60 年度データによる重回帰式で推定する範囲内であった。

(2) アスファルトジュート巻き管

平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(105P)について最大腐食深さと土壌 抵抗率及び管対地電位の重相関分析を行い、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(91P)による 重相関分析結果との比較を行った。

両ケース共に、強い相関が認められた。

図 3.30、図 3.31 はそれぞれ、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(91P)及び平成 29 年度 +平成 30 年度+昭和 60 年度データ(105P)における重回帰式による推定値と実測値の相関図 である。両者には、ほとんど差異はなかった。





以上の比較検討結果より、アスファルトジュート巻き管も、平成 30 年度データは、平成 29 年度+昭和 60 年度データによる重回帰式で推定できる範囲内であった。

9. 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

9.1 平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度データによる最大腐食深さ重回帰式 平成 30 年度得られた土壌抵抗率、管対地電位データによる最大腐食深さの単相関・重相関 分析結果より、平成 30 年度データは、平成 29 年度のデータと同一母集団からサンプリング されたデータとしての取扱いが妥当であることが確認された。

よって、亜鉛メッキ管、アスファルトジュート巻き管共に、平成29年度、平成30年度、 及び昭和60年度データを採用しデータ数を最大化した最大腐食深さ重回帰式を採用し、その 精度を高めた。また、重回帰式の正当性を確認し、その精度を高めるために残差分析を実施 した。

(1) 亜鉛メッキ管

亜鉛メッキ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 年度のデータから求められる最大腐食深さの重回帰式は以下の通りである。

H 
$$/ \sqrt{Y} = 0.380 + 565 \times (1/\rho) + 4.41E-04 \times (P/S)$$
  
N 数: 172P, R=0.549,  $\sigma$ =0.149, 有意 F 値: 6.64E-14

また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図 4.1 の通りである。



② 重回帰式の残差分析

重回帰式の正当性と、外れ値の存在有無を確認するために、実測値(Hmax/ $\sqrt{Y}$ )と重回 帰式による推定値 (H/ $\sqrt{Y}$ ) との差 (残差)に関して以下のような分析を行った。 i)残差分布

残差は、図 4.2 の棒グラフのような分布であり、ほぼ正規分布(図中破線、平均値: 0、標準偏差:0.148)に従っていることから、重回帰式の正当性が確認できた。



# ii)残差と目的変数、説明変数との独立性

図 4.3~図 4.5 は、残差を標準偏差で除した値(標準化残差)と目的変数  $(H/\sqrt{Y})$  及び説 明変数  $(1/\rho, P/S)$  の散布図を示す。この図より特別の傾向は認められず、独立性があ り、重回帰式の正当性が確認できた。ただし、WZ40-14 の確認は必要であった。







iii)残差の極めて大きいデータの確認

図 4.6 は、標準化残差の散布図であり、残差の極めて大きい標準化残差「3」を 超えるデータが 3P 存在した。



iv)外れ値のデータ特性の確認

残差分析より、CZ00-10、CZ00-11、CZ10-05 及び WZ40-14 の 4P が、重回帰式の精度 を損なう外れ値である可能性が高く、そのデータ特性を再調査した結果が、表 4.1 であ る。同表に示す通り、この 4P は、そのデータ特性から、外れ値として重回帰式のデータか ら除外することが妥当であると判断できた。

連番	サンプル No.	外れ値の内容	データ特性(除外根拠)
1	CZ00-10	標準化残差: 3.76	腐食速度:0.2mm/Y以上
			の昭和 60 年度のデータである。
2	CZ00-11	標準化残差: 3.50	(埋設後 8~13 年で撤去されて
			おり、他の腐食要因の可能性大)
3	CZ10-05	標準化残差: 3.18	
4	WZ40-14	土壤抵抗率 : 945Ω・cm	同一地点での測定結果
			945、4,000、7,850、19,000 と
			バラツキが甚大で、945の値は
			異常値の可能性大

表 4.1 外れ値のデータ特性と重回帰式からの除外根拠

③ 外れ値を除外した亜鉛メッキ管の最大腐食深さ重回帰式

外れ値 4P を除外した亜鉛メッキ管の最大腐食深さの重回帰式は以下の通りである。

H 
$$/ \sqrt{Y} = 0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E-04 \times (P/S)$$
  
N 数: 168P, R=0.564,  $\sigma$  =0.132, 有意 F 值: 1.80E-14



また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図4.7の通りである。

(2) アスファルトジュート巻き管

① アスファルトジュート巻き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 年度のデータから求められる最大腐食深さの重回帰式は以下の通りである。

 $H / \sqrt{Y} = 0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E-04 \times (P/S)$ 

N数:105P, R=0.388, σ=0.137, 有意 F 値: 2.38E-04 また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図 4.8 の通りである。



重回帰式の残差分析

重回帰式の正当性と、外れ値の存在有無を確認するために、実測値(Hmax/√Y)と重 回帰式による推定値(H/√Y)との差(残差)に関して以下のような分析を行った。 i)残差分布

残差は、図 4.9 のような分布となるが、データが増すとより正規分布に近くなると考 えられること、また、安全サイドの考え方となることより、亜鉛メッキと同様に正規分 布(図中破線、平均値:0、標準偏差:0.136)として取扱った。



ii)残差と目的変数、説明変数との独立性

図 4.10~図 4.12 は、残差を標準偏差で除した値(標準化残差)と目的変数 (H/ $\sqrt{Y}$ ) 及び 説明変数 (1/ $\rho$ 、P/S)の散布図を示す。この相関に特別の傾向は認められず、独立性があ り、重回帰式の正当性が確認できた。



iii)残差の極めて大きいデータの確認

図 4.13 は、標準化残差の散布図であり、残差の極めて大きい標準化残差「3」を 超えるデータが 1P 存在した。



iv)外れ値のデータ特性の確認

i) ~iii)の残差分析より、CA20-04 が、外れ値である可能性がある結果が得られた が、このデータについては、そのデータ特性が他と比較して特殊であることは確認でき なかった。

よって、アスファルトジュート巻き管については、外れ値のない重回帰式(105P)を そのままアスファルトジュート巻き管の重回帰式に適用した。 9.2 信頼性解析によるガス管貫通確率

(1) 信頼性解析によるガス管貫通確率の評価

構造物の安全性評価手法として、作用荷重及び材料強度を確定量ではなく、確率量として取扱う「信頼性理論、信頼性解析」の適用は、約60年前から研究が進められている。

経年埋設ガス管の腐食は様々な要因によりバラツキの大きい現象であることから、このガス 管の腐食現象による腐食深さを作用荷重(S)、ガス管の肉厚を材料強度(R)として、この信 頼性理論・信頼性解析を適用することにより、ガス管貫通確率を安全性評価指標として採用す ることを検討した。

この理論におけるガス管貫通確率(Pf)は次式で求められる。

 Pf
 =
 P(R/S<1)</th>
 (図 4.14 参照)

 腐食深さ及びガス管肉厚の分布が、正規分布に従う場合には、Pf は次式で計算できる。

Pf = 1 - 
$$\Phi$$
 ( ( $\mu r - \mu s$ ) /  $\sqrt{(\sigma r^2 + \sigma s^2)}$  )

ここで、 Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数

µr:ガス管肉厚の平均値,µs:回帰式で求められる最大腐食深さ

Or:ガス管肉厚の標準偏差, Os:最大腐食深さ回帰式の標準偏差



図 4.14 ガス管貫通確率(Pf)

(2) ガス管肉厚の平均値の分布

平成 28 年度実施した経年管(277P)の肉厚測定データより、その最大肉厚値の肉厚分布 はガス管別にほぼ正規分布に従っていることが確認できた。ガス管径別の最大肉厚値の平均 値(μmax)、標準偏差(σmax)を表 4.2 に示す。

表 4.2 ガス管の最大肉厚値の分布(正規分布)

(単位:mm)

	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

このガス管の最大肉厚値の肉厚測定結果を活用し、Pfを計算するために必要なガス管 肉厚(平均肉厚:μr)及びガス管肉厚の標準偏差(σr)を次式で算出した。

平均肉厚 ( $\mu \mathbf{r}$ ) :  $\mu \mathbf{r}$  = (t × 0.875) + 2×  $\sigma \mathbf{r}$ 標準偏差 ( $\sigma \mathbf{r}$ ) :  $\sigma \mathbf{r} = \sigma \max$ 



表 4.3 に、各サイズガス管の平均肉厚値と最小肉厚値を示す。

表 4.3 ガス管の平均肉厚値の分布(正規分布) (単位:mm)									
	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A				
公称肉厚(t)	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2				
平均肉厚值 (µr)	2.66	3.08	3.40	3.65	4.11				
最小肉厚値 (t×0.875)	2.45	2.80	3.06	3.33	3.68				

表 4.3 ガス管の平均肉厚値の分布(正規分布)

(3)回帰式で求められる最大腐食深さの分布

最大腐食深さの実測値(Hmax/√Y)と重回帰分析により求めた最大腐食深さの推定値(H/ √Y)の差は、正規分布に従う。

よって、重回帰分析結果から、その平均値(µs)及び標準偏差(σs)は、土壌抵抗率 (ρ)、管対地電位 (P/S) 及び埋設経過年(Y)により、以下のように計算した。

 $\mu \mathbf{s} = \mathbf{H} = (\alpha + \beta \times (1/\rho) + \gamma \times P/S) \times \sqrt{Y}$  $\sigma \mathbf{s} = \sigma \times \sqrt{Y}$ ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 及び $\sigma$ は重回帰分析により求めた定数 亜鉛メッキ管: *α*=0.371, *β*=565, *γ*=0.000440, *σ*=0.132 アスファルトジュート巻き管: α=0.394, β=197, γ=0.000382, σ=0.137 9.3 長延長ガス管貫通確率

平成 29 年度事業では、現場にて約 50cm の経年埋設管を掘り上げ、サンドブラスト後に腐 食量が最も大きいと思われる 10cm 長さのサンプル管の腐食深さを精密測定し、最大腐食深 さを求めた。しかし、最大腐食深さは、全面腐食ではなく、局部腐食であるため、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。

グンベル分布は、最大値分布が従う分布として適用され、各種配管、タンク等の最大腐食 深さの推定への適用例が数多く報告されている。そこで、全長を10cm ピッチで腐食深さを 精密測定した長尺サンプル管(長さ:最大2m、計10P)に極値統計解析を適用し、グンベル 確率プロットより埋設延長を考慮した最大腐食深さ推定値を求めた。

さらに、その推定値と10cm 長さサンプル管の最大腐食深さ(実測値)から、ガス管延長 係数(Lg)を求めた。

これにより長延長ガス管の最大腐食深さの分布は、10cm サンプル管の最大腐食深さの平均 値及び標準偏差を、それぞれ Lg 倍した正規分布に従う。

よって、延長係数(LG)の長延長管のガス管貫通確率は次式で計算される。

Pf =  $1 - \Phi [(\mu r - LG \cdot \mu s) / \sqrt{(\sigma r^2 + (LG \cdot \sigma s)^2)}]$ 

Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数

LG:ガス管延長係数(ガス管延長:Lm)

L=1m の時、LG=1.18、L=5m の時、LG=1.67、L=10m の時、LG=1.85 <亜鉛メッキ管>

 $\mu s = H = [0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

 $\sigma s = 0.132 \times \sqrt{Y}$ 

<アスファルトジュート巻き管>

 $\mu s = H = [0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

$$\sigma s = 0.137 \times \sqrt{Y}$$

亜鉛メッキ管及びアスファルトジュート巻き管の平成 29 年度サンプル貫通管のガス管貫通 確率(ガス管延長 5m時)は、それぞれ表 4.4 及び表 4.5 の通りである。

		最大履	腐食深さ(	mm)		説明変数			
No	サンフ゜ル	<i>μ</i> A. B. B/A		$\mathbf{D}\mathbf{f}$	P/S	ρ			
10.	No.	実測値	判値 推定値 PI (mV)		(mV)	(Ω •			
							cm)		
1	WZ40-14	3.58	8.71	243%	100%	-415	945		
2	WZ40-19	3.82	5.72	150%	94.0%	-590	1,417		
3	WZ50-11	3.64	4.78	131%	90.4%	-440	2,667		
4	WZ40-21	3.37	4.50	134%	82.8%	-400	2,800		

表 4.4 貫通管の最大腐食深さと 5m 亜鉛メッキ管長延長管貫通確率 (Pf)

表 4.5 貫通管の最大腐食深さと 5m アスファルトジュート巻き長延長管貫通確率 (Pf)

		最大概	腐食深さ(	mm)		説明変数				
No	サンフ゜ル	А.	B.	B/A	Df	P/S	ρ			
INO.	No.	実測値 推定値			F1	(mV)	(Ω •			
							cm)			
1	WA60-4	3.38	3.45	102%	58.0%	-486	4,467			
2	WA60-5	3.57	3.53	99%	52.7%	-536	2,867			

亜鉛メッキ管 No.4 及びアスファルトジュート巻き管 No.1 のガス管貫通確率イメージ 図をそれぞれ図 4.15 及び図 4.16 に示す。





10.「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

新たなガイドラインにおける一般腐食リスクの判定基準として、「経年埋設内管腐食リスク 判定表」の作成方法を示し、その一例として「経年埋設内管腐食リスク判定(案)」を検討し た。

- (1) 基本的な考え方と手順
  - ・ガス管貫通確率(Pf)を指標とするガス管延長に応じたガス管貫通確率表を作成する。
  - ガス管延長は、内管の延長実績値を調査、集計した結果より選定する。
     ここでは、1m、5m及び10mで検討を進める。
     <ガス管延長毎の延長係数(LG) >

1m : LG=1.18, 5m : LG=1.67, 10m : LG=1.85

② Pf 値は、最大腐食深さ重回帰式、ガス管肉厚分布を用いた信頼性解析を適用して算 出する。

Pf =  $1 - \Phi [(\mu r - LG \cdot \mu s) / \sqrt{(\sigma r^2 + (LG \cdot \sigma s)^2)}]$ 

 Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数

 $\mu s = H = [0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

 $\sigma s = 0.132 \times \sqrt{Y}$ 

<アスファルトジュート巻き管>

 $\mu s = H = [0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ os = 0.137 × \sqrt{Y}

- ③ 重回帰式 (H=µs) の各パラメータの計算範囲は、以下のとおりとする。
   埋設経過年(Y) : 40年 ~ 60年
   土壌抵抗率 (ρ) : 1,000Ω・cm ~ 30,000Ω・cm
   管対地電位 (P/S) : -700mV ~ -300mV
- ④ ガス管肉厚は、本事業で測定した 20A~80A の実測データに基づく平均値、標準偏 差を有する正規分布として取扱う。

	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A
公称肉厚(t)	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2
平均肉厚值(µr)	2.66	3.08	3.40	3.65	4.11
標準偏差(or)	0.106	0.138	0.170	0.163	0.216

・腐食リスクを適切なガス管貫通確率 Pf の閾値で区分し、ガス管貫通確率表にその閾値に より識別した腐食リスク区分を行い、「経年埋設内管腐食リスク判定表」を作成する。

Pfの閾値は、平成29年度事業で得られた貫通ガス管の実績Pf値、最大減肉率等を参照して決定する。

 ・実適用に際しては、実際に入手できるパラメータ(埋設経過年、土壌抵抗率、管対地電位)の情報、精度を考慮して、「経年埋設内腐食リスク判定表」の区分メッシュを適切に 再設定することを考慮する。

- (2) 経年埋設内管腐食リスク判定表(案)
  - 1. 前提条件
  - ① ガス管管種 : 亜鉛メッキ管及びアスファルトジュート巻き管
  - ② ガス管延長 : 5m
  - ③ ガス管口径 : 25A、50A
  - ④ 経年埋設内管腐食リスク区分 Pf 閾値

平成 29 年度サンプル管の貫通管のガス管貫通確率値(亜鉛メッキ管:82.4%、アス ファルトジュート巻き管:58.0%)を基準に腐食リスクAの閾値を決定し、以下 10% 刻みで5段階のリスク区分分けとした。

亜鉛メッキ管

- : 経年管腐食リスクA 80%<Pf
  - 経年管腐食リスクB 70%<Pf≦80%
  - 経年管腐食リスクC 60%<Pf≦70%
  - 経年管腐食リスク D 50% < Pf ≦60%
  - 経年管腐食リスク E Pf≦50%
- アスファルトジュート巻き管
  - : 経年管腐食リスクA 60%<Pf</li>
     経年管腐食リスクB 50%<Pf≦60%</li>
     経年管腐食リスクC 40%<Pf≦50%</li>
     経年管腐食リスクD 30%<Pf≦40%</li>
     経年管腐食リスクE Pf≦30%
- ⑤ 判定表表示方式
  - 以下の2種類の表示方式とした。
  - i) 設定管対地電位における埋設経過年、土壌抵抗率のパラメータ表示方式 Pf 値の経年埋設年数による変化を確認する時には有効である。
  - ii)設定埋設経過年における管対地電位、土壌抵抗率のパラメータ表示方式
     現地測定項目である管対地電位と土壌抵抗率による Pf 値の変化を確認できるので
     この表示方式の方が、実用的であると考えられる。

11. まとめ

平成28年度、平成29年度事業により、経年埋設内管の腐食深さの回帰式の支配環境因子 は、土壌抵抗率と管対地電位であることが確認できた。今年度の事業では、平成28年度、平 成29年度及び昭和60年度(前回調査)データ、知見を精査し、平成29年度事業で得られ た腐食深さの回帰式の精度を向上させるとともに、支配環境因子に対する季節、気候、測定方 法等の影響調査及びその支配環境因子の測定方法の評価を行った。

その成果を最大限活用し、現地での支配環境因子の測定値のばらつきも考慮して、平成29 年度事業で得られた腐食深さの回帰式の精度向上を検討し、経年埋設内管の腐食深さの推定式 を策定した。

策定された腐食深さの推定式を基に、今年度事業で新たにサンプリングした経年埋設内管の データと合わせて総合的に分析し、ガス管の種類、管径ごとの肉厚の違いを考慮したガス漏れ のリスク評価方法・判断基準を検討し、信頼性の検証を行った。

以下に、実施計画書の項目に基づき、今年度の成果と今後の課題を報告する。

- 11.1 今年度の成果
  - (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 ①回帰式の精度向上
    - ・平成29年度及び昭和60年度データを精査し、外れ値を除外し、回帰式の精度向上を 図った。
    - ・(3) で後述する 10cm 配管の最大腐食深さ推定値 H を基に、実際に埋設されている管の腐食深さ推定値を算出することを検討した。極値統計を用いて埋設されている長さごとの延長係数を導出し、推定式で算出される推定値に延長係数を乗算することとした。
    - ・今年度事業でサンプリングした管の測定データを平成29年度及び昭和60年度データ に加えて、再分析し精度の高い腐食深さの推定式を導出した。
    - ・亜鉛メッキ及びアスファルトジュートによる耐用期間を想定し、経過年数から定数を減 算して腐食深さの回帰式の相関関係を分析したが、精度向上にはつながらなかった。そのため、これらの耐用期間は考慮しないこととした。

2腐食深さの推定式に必要な因子の明確化

- ・今年度事業で得られたデータで腐食深さと土壌抵抗率の関係を分析した結果、相関が認められた。土壌抵抗率は腐食深さの評価に有効な環境因子であることが再確認できた。
- ・平成29年度事業において指摘された管対地電位と腐食深さの関係について分析した結果、腐食生成物が付着している経年埋設内管の腐食深さと管の表面電位には高い相関が認められた。管対地電位は管と測定電極の間に土壌があるため、土壌により相関が低くなるものの腐食深さを評価する上で、管対地電位は有効であることが確認できた。
- (2) 現場測定方法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現場測定法の評価
- ・現場で測定する土壌抵抗率は、降雨などで土壌含水率が上がると抵抗率は小さく、乾燥 が続いて土壌含水率が下がると抵抗率は大きくなることが確認できた。また土壌温度が 下がると抵抗率が上がることも確認できた。土被りが大きくなれば抵抗率は小さくなる ものの土被りが大きいと地下水位の高さの影響を受けることが確認できた。

- ・土壌杖を用いた土壌抵抗率の測定は、貫入深さが深くなれば測定誤差が小さくなり、障害物からの距離が近いと測定誤差が大きくなることが確認できた。
- ・管対地電位は、降雨の影響を受けて 50~100mV 程度測定値が変動することが確認できた。
- (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信頼性の検証
- ・今年度事業により腐食深さの推定式を策定した。推定式は次のとおりである。
   亜鉛メッキ管 H = [0.371 + 565 × (1/ρ) + 4.40E-04 × (P/S)] ×√Y
   アスファルトジュート巻き管 H = [0.394 + 197 × (1/ρ) + 3.82E-04 × (P/S)] × √Y
   ここで、H: 10cm 配管の最大腐食深さ推定値 (mm)
  - Y:埋設経過年数(年)
  - $\rho : 土壤抵抗率 (\Omega \cdot cm)$
  - P/S:管対地電位 (mV)
- ・腐食深さの推定値と管径に応じた平均肉厚からガス管貫通確率と最大減肉率をそれぞれ 算出し、ガス管貫通確率と最大減肉率に閾値を設定することでリスク区分を設定するこ ととした。
- (4)「供内管腐食対策ガイドライン」改正に向けた資料の作成
- ・経過年数、土壌抵抗率、管対地電位を使用したガス管貫通確率、最大減肉率の推定値に 埋設内管の長さに応じた延長係数を乗算した。推定値に対する閾値を仮に設定し、閾値 ごとにリスク区分を設定した「経年埋設内管リスク判定表」の案を策定、供内管腐食対 策ガイドラインの骨子案とした。また、土壌抵抗率、管対地電位の現場測定における手 順案をまとめた。

11.2 供内管腐食対策ガイドラインの骨子案

供内管腐食対策ガイドラインにおける一般腐食リスクの判定基準として「経年埋設内管リス ク判定表」の案を作成した。ガス漏れリスク判定に使用する土壌抵抗率及び管対地電位は、「土 壌抵抗率、管対地電位の現場測定における手順案」に従い、現場測定を行う。

「経年埋設内管リスク判定表」の次の条件での一例を示す。

- ① ガス管管種 : 亜鉛メッキ管
- ② ガス管延長 : 5m
- ガス管口径 : 25A
- ④ 管対地電位 : -300mV
- ⑤ 経年埋設内管腐食リスク区分 Pf 閾値

ガス管貫通確率と平成29年度事業でサンプルしたガス管の貫通実態を照らし合わ せて腐食リスクAの閾値を決定した(亜鉛メッキ管:80%、アスファルトジュート巻 き管:60%)。今年度事業ではリスク区分をAからEの5段階と仮に設定し、腐食リ スクAの閾値から10%刻みで区分分けした。

管刘	地電位	-3	00	m٧			Pf信	に	よる	腐食	度リ	スク	判定	È表	(KS	25A	<b>P</b> /	S=-	300	mV)		
埋設	離過年	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	1,000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1005	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	2,000	96%	96%	96%	97%	97%	97%	97N	97%	97%	97%	98%	96%	98%	96%	98%	98%	98%	98%	96%	98%	96%
	3,000	85%	85%	86%	87%	87%	88%	88%	89%	89%	89%	90%	90%	90%	91%	91%	91%	92%	92%	92%	92%	92%
	4,000	75%	76%	77%	77%	78%	79%	79%	80%	81%	81%	82%	82%	83%	83%	84%	84%	85%	85%	85%	86%	86%
	5,000	68%	69%	70%	71%	715	72%	73%	74%	74%	75%	76%	76%	77%	77%	78%	78%	79%	79%	80%	80%	81%
	6,000	63%	64%	65%	65%	66%	67%	68%	69%	70%	70%	71%	72%	72%	73%	73%	74%	75%	75%	76%	76%	77%
	7,000	59%	60%	61%	62%	63%	63%	64%	65%	66%	67%	67%	68%	69%	69%	70%	715	71%	72%	72%	73%	73%
	8,000	56%	57%	58%	59%	60%	61%	61%	62%	63%	64%	65%	65%	66%	67%	67%	68%	69%	69%	70%	70%	71%
	9,000	53%	54%	55%	56%	57%	58%	59%	60%	61%	62%	62%	63%	64%	64%	65%	66%	66%	67%	68%	68%	69%
	10,000	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	58%	59%	60%	61%	61%	62%	63%	63%	64%	65%	65%	66%	66%	67%
	11,000	50%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	57%	58%	59%	60%	60%	61%	62%	63%	63%	64%	64%	65%	66%
+	12,000	49%	50%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	57%	58%	59%	59%	60%	61%	61%	62%	63%	63%	64%	64%
亩	13,000	47%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	57%	58%	59%	60%	60%	61%	62%	62%	63%	63%
100	14,000	47%	48%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	57%	58%	59%	59%	60%	61%	61%	62%	62%
195	15,000	46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	55%	56%	56%	57%	58%	59%	59%	60%	60%	61%	62%
九	16,000	45%	46%	47%	48%	495	50%	51%	52%	53%	53%	54%	55%	56%	56%	57%	58%	59%	59%	60%	60%	61%
率	17,000	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	57%	57%	58%	59%	59%	60%	60%
(Q•	18,000	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	51%	52%	53%	54%	55%	55%	56%	57%	57%	58%	59%	59%	60%
cm)	19,000	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	53%	53%	54%	55%	56%	56%	57%	58%	58%	59%	59%
	20,000	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%	57%	58%	58%	59%
	21,000	43%	44%	45%	46%	47%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	55%	55%	56%	57%	57%	58%	58%
	22,000	42%	43%	445	45%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%	57%	58%	58%
	23,000	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	49%	50%	51%	52%	53%	53%	54%	55%	55%	56%	57%	57%	58%
	24,000	42%	43%	445	45%	46%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%	57%	58%
	25,000	41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	50%	51%	52%	53%	53%	54%	55%	55%	56%	57%	57%
	26,000	41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%	57%
	27,000	41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	47%	48%	49%	50%	51%	51%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%	57%
	28,000	41%	42%	43%	44%	45%	45%	46%	47%	48%	49%	50%	50%	51%	52%	53%	53%	54%	55%	55%	56%	57%
	29,000	40%	41%	42%	43%	445	45%	46%	47%	48%	49%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%
	30,000	40%	415	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	48%	49%	50%	51%	52%	52%	53%	54%	54%	55%	56%	56%

腐食リスクA(判定表の	部分)	:Pf>80%
腐食リスクB(判定表の	部分)	: $80\% \ge Pf > 70\%$
腐食リスクC(判定表の	部分)	: $70\% \ge Pf > 60\%$
腐食リスクD(判定表の	部分)	: $60\% \ge Pf > 50\%$
腐食リスクE(判定表の	部分)	: 50%≧Pf

「土壌抵抗率、管対地電位の現場測定における手順案」は次のとおりである。



土壌杖を用いた土壌抵抗率測定

- A.土壤抵抗率測定当日以前の気候状況を確認する。
  - ・降雨が長期に継続している場合、もしくは台風等で豪雨が直前にあった場合は測定を 避ける。
  - ・降雨のない状況が続いているようであれば、土壌抵抗率が高く測定される傾向にある ため測定に際して注意が必要である。
- B.土壌杖を土表面から 30cm 程度に貫入し土壌抵抗率を測定する。
  - ・構造物等の障害物が近くにないかを確認し、ある場合は 10cm 以上離して測定する。
  - ・降雨のない状況が続いている場合で土が乾いている場合は、例えば貫入した測定孔に 水道水を適量注ぎ、土壌抵抗率を測定する。
- C.土壌の温度を測定し、温度補正を行う。
  - ・温度測定は、一例として土壌杖を引き抜いた穴から土壌抵抗率の測定点の温度を測定 する。
  - ・温度補正は温度変化と土壌抵抗率の関係が一般的に 25℃の土壌抵抗率を基準値として 2%/℃とされている。例えば測定点の温度が 25℃より低い場合に温度補正を行う等が 考えられる。



- ② 管対地電位の測定
- A.管対地電位測定当日以前の気候状況を確認する。
  - ・降雨の多い梅雨の時期や、降雨が継続している時期には測定を避ける。
  - ・降雨後4日間程度は測定を避ける。止むを得ず測定する場合には、測定の際にB.の内容 を実施する。
- B.気候状況に応じて、管対地電位の補正を行う。
  - ・降雨後、数日以内に電位を測定する場合はその条件等を報告書に記載した上で、例えば、 50~100mV 程度を加える等の電位補正を行う。

供内管腐食対策ガイドラインの改訂に際しては、上記の内容を踏まえて実運用方法を検討する 必要がある。

- 11.3 今後の課題
- (1) 経年埋設内管腐食リスク評価基準の策定
  - ・経年埋設内管リスク判定表の土壌抵抗率等について、土壌杖での現場測定の精度を考慮した適切な閾値での区分を検討する必要がある。
  - ・今年度事業では腐食リスクの閾値Aを平成29年度サンプル管で貫通していた管のデータから決定した。この閾値を高く設定すれば腐食リスクAの範囲が狭くなり、腐食リスクA と判定される需要家数は少なくなる。また、閾値を低く設定すれば腐食リスクAの範囲が 広くなり、腐食リスクAと判定される需要家数は多くなる。これを踏まえ、腐食リスクの 閾値は、ガス事業者の運用面を考慮し、需要家への腐食リスクA~Eの示し方を十分に検 討して決定する必要がある。
- (2) 土壌抵抗率、管対地電位の現場測定基準と手法の確立

土壌抵抗率、管対地電位それぞれにおいて、現場測定の最適な手法の検討及び確立と必要 に応じて環境影響への配慮を検討する必要がある。

(3) 供内管腐食対策ガイドラインの改訂

上記(1)、(2)で検討した内容を踏まえた適切な改訂が必要である。

# 参考資料1

- 平成 30 年度第1回経年埋設ガス管のリスク評価手法・ 基準開発等委員会議事録 ・・・・・・ 71
- 平成 30 年度第 3 回経年埋設ガス管のリスク評価手法・ 基準開発等委員会議事録 ・・・・・・ 80
- 平成 30 年度第4回経年埋設ガス管のリスク評価手法・ 基準開発等委員会議事録 ・・・・・・ 84

#### 参考資料2

平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業における 総合分析 実施報告書 ・・・・・・ 87

# 参考資料3

平成30年度 経年埋設ガス管のリスクに関する分析

····· 135
## 平成 30 年度

## 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録

## 平成30年度

## 第1回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録

日		時	:	平成:	30年8月	$24 \exists (\pounds) 13:00 \sim 14:30$						
場		所	:	一般財団法人日本ガス機器検査協会3階 第1、2会議室								
出	席	者	:	(敬称略・順不同)								
委	員	長	:	豊田	政男	大阪大学 名誉教授						
委		員	:	安藤	広和	一般社団法人日本ガス協会						
				倉敷	哲生	大阪大学 教授						
				佐藤	弘隆	新日鉄住金エンジニアリング株式会社						
				杉森	毅夫	一般社団法人日本コミュニティーガス協会						
				妹尾	啓史	東京大学 教授						
				中里	直人	東京ガス株式会社						
				西川	明伸	大阪ガス株式会社						
				藤本	愼司	大阪大学教授						
関	係	者	:	義経	浩之	経済産業省 産業保安グループ ガス安全室						
				丹波	了	`						
				笠井	隆司	日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社						
				富田	修	8						
				松岡	和巳	日鉄住金テクノロジー株式会社						
				岩松	智浩	一般社団法人日本ガス協会						
				佐藤	勇大	日本防蝕工業株式会社						
事	務	局	:	丹羽	哲也	一般財団法人日本ガス機器検査協会						
				圓福	貴光	8						
				橋	洋三	8						
				齋藤	良裕	8						
				山本	純平	*						
				古松	清人	\$						
						以上22名						

- 議 題 1. 事務局挨拶及び委員紹介
  - 2. 委員長の選出
  - 3. 平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業(経年埋設ガ ス管のリスク評価手法・基準開発事業)の仕様概要
  - 4. 委員会規約の制定について
  - 5. 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業の実施計画
  - 6. その他

配付資料

- 資料No.1 仕様書(抜粋)
- 資料No.2平成30年度 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会規約(案)
- 資料No.3-1 平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業(経 年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業)実施計画(案)
- 資料No.3-2 土壌抵抗率の季節変動調査及び腐食生成物が管対地電位に及 ぼす影響調査実施計画書(案)
- 資料No.3-3 平成30年度経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業工程表(案)
- 資料No.3-4 平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業(経 年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業)経年埋設内 管リスク調査マニュアル(案)
- 別添 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 委員名簿

### 議事摘録:

1. 事務局挨拶及び委員紹介

事務局から、開会の挨拶及び多忙中の出席へのお礼があった。

本委託事業も3年目を迎え、昨年に引き続きJIAが事務局を担当させてい ただくことの報告があった。

また新たに倉敷委員を加えて、委員の方々、経済産業省ガス安全室及び本事 業に関わる関係者の方々にもご出席いただいており、皆様の専門知識をお借り して事業を進めいていきたい旨の説明があり、引き続き、委員及び関係者の紹 介があった。

2. 委員長の選出

事務局から、豊田委員に委員長をお願いしたい旨の提案があり、委員全員の 承認により、豊田委員が委員長に選出された。

3. 平成30年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業(経年埋設ガス管の リスク評価手法・基準開発事業)の仕様概要

事務局から、資料No.1に基づき、仕様概要の説明があった。

4. 委員会規約の制定について

事務局から、資料No.2に基づき、平成30年度経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会規約の説明があり、委員全員に承認された。

### 5. 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業の実施計画

事務局より、資料No.3-1にて平成30年度地方都市ガス事業天然ガス 化促進対策事業(経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業)実施計画 の説明があった。

次に日鉄住金テクノロジー株式会社の松岡氏より資料No.3-2にて 土壌抵抗率の季節変動調査及び腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査 実施計画についての説明があった。

また日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社の笠井氏より資料 No.3-3にて平成30年度経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事 業工程についての説明があった。

最後に事務局より資料No.3-4にて平成30年度地方都市ガス事業天 然ガス化促進対策事業(経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業)経 年埋設ガス管リスク調査マニュアルについての説明があった。

上記説明について以下の質疑応答があり、資料No.3-1、資料No.3 -2、資料No.3-3及び資料No.3-4の各案は委員全員に承認された。

- ○試験ヤードの土壌抵抗率を測定するための水分センサーは土壌杖と同じ結果 が出ることを想定して実施するのか。
  - ⇒水分センサーは土壌杖に比べて狭い範囲での抵抗率の測定となるが、土壌 杖と大きく異なるものではないと思われる。

また、水分センサーは連続測定が可能であるため、気候変動による土壌 抵抗率の変動調査に有効な手段であると判断している。

- ○試験ヤードの対地電位を測定するための鋼板については腐食量を測定するのか。
  - ⇒3ヶ月間の埋設なのであまり腐食はないと思われる。鋼板の前後の質量は 必ず測定するが、腐食が大きい等特異的な状況が発生した場合は分析方法 を改めて検討する。
- ○埋設する鋼板の表面処理はどう仕上げるのか。
  - ⇒600番の研磨処理で仕上げる。
- ○既採取サンプル管で埋設するガス管の錆の分析はどの方法になるのか。
  ⇒参考程度としてX線分析を実施する。
- ○埋設する既採取サンプル管は埋設前に固着している錆の分析はするのか。
  ⇒埋設する前の錆を回収して分析すると共に埋設して掘り出した後も錆を回収して分析する。
  - ⇒埋設している状態では黒錆になるが、既存採取サンプル管は保管状態に あるので赤錆になっている可能性がある。錆の性質が異なるため分類して 分析する必要があるが、分類することが難しいため、詳細な分析は検討し ていない。

○試験ヤードに埋設する新管は埋設するガス管に合わせた白ガス管やアスファ ルトジュート管になるのか。

⇒メッキやアスファルトのないブラストした管である。長年埋設されメッキ やアスファルトの効果が得られなくなった状態の管を想定している。

○埋設するガス管の末端はどうするのか。

⇒末端を塞いで管内に水が入らないようにして埋設する。

- ○土壌抵抗率変動影響調査に記載のある土質とはどのようなことを指すのか。
  - ⇒地面の表層には砂分や粘土分等が存在し、それらの特性が違うため、その 影響を指している。現時点では、土質の影響より温度変化の影響が大きい と想定している。
- ○9月スタートになるため7月や8月の高温環境が加味できないが、分析に 支障はないか。
  - ⇒ハウスメーカーの文献(2文献入手)にて月平均温度記録を入手しており、 本文献と実験データを使用すれば高温環境についても評価はできると 考えている。
- ○亜鉛メッキやアスファルトジュート管の耐用年数についてはどう分析するか。
  ⇒耐用年数の文献は揃っており、文献データを元に耐用年数の想定期間を
  回帰式に活用した場合、精度が向上するかが検討事項になる。
- 6. その他

次回の委員会は11月を予定しており、早めに日程を決定できるよう調整 する旨の報告があった。また来年1月及び2月の委員会についても早めに 日程を決定できるようあわせて調整をしていくことを確認した。

以上

## 平成30年度

## 第2回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録

日		時	:	平成 3	30年11	月13日(火) 15:00 ~ 17:00
場		所	:	一般則	团法人日	本ガス機器検査協会3階 第1、2会議室
出	席	者	:	(敬称	略・順不「	司)
委	員	長	:	豊田	政男	大阪大学 名誉教授
委		員	:	安藤	広和	一般社団法人日本ガス協会
				倉敷	哲生	大阪大学 教授
				佐藤	弘隆	新日鉄住金エンジニアリング株式会社
				杉森	毅夫	一般社団法人日本コミュニティーガス協会
				中里	直人	東京ガス株式会社
				西川	明伸	大阪ガス株式会社
				藤本	愼司	大阪大学教授
関	係	者	:	義経	浩之	経済産業省 産業保安グループ ガス安全室
				笠井	隆司	日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社
				富田	修	*
				松岡	和巳	日鉄住金テクノロジー株式会社
				岩松	智浩	一般社団法人日本ガス協会
				鈴木	正美	日本防蝕工業株式会社
事	務	局	:	丹羽	哲也	一般財団法人日本ガス機器検査協会
				圓福	貴光	*
				橋	洋三	*
				齋藤	良裕	*
				山本	純平	*
				古松	清人	*

以上20名

### 議 題

- 1. 事務局挨拶
- 2. 前回議事録の確認
- 3. 経年埋設ガス管のサンプリング進捗状況について
- 4. 平成30年度事業における影響調査業務の進捗状況について
- 5. 平成30年度事業における分析業務の進捗状況について
- 6. その他

配付資料

- 資料No.1 平成30年度 第1回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発委員会議事録(案)
- 資料No.2 経年埋設ガス管のサンプリング進捗状況報告
- 資料No.3 平成30年度事業における影響調査業務の進捗状況報告
- 資料No.4 平成30年度事業における分析業務の進捗状況報告

### 議事摘録:

1. 事務局挨拶

事務局から、開会の挨拶及び多忙中の出席へのお礼があった後、出欠状況の 報告があった。

#### 2. 前回議事録(案)の確認

事務局から前回議事録(案)の通読があり、異議無く承認された。

3. 経年埋設ガス管のサンプリング進捗状況について

事務局から資料No. 2に基づき経年埋設ガス管のサンプリングの状況について説明があった。

4. 平成30年度事業における影響調査業務の進捗状況報告について

日鉄住金テクノロジー株式会社から資料No.3に基づき影響調査業務の進捗状況について説明があり、以下の質疑応答があった。

- ○試験期間が終了した後、試験ヤードに埋設した計測器等はどうなるのか。
- ⇒鋼管については12月中旬に回収をして腐食深さ等の分析を行う。 また鋼板及び水分センサー等の計測器については1月の中旬に回収して、 鋼板についてはさびや異常な減肉がないか確認をする。
- ○9月は暑かったので暑い時期のデータは取れていると思われる。寒い時期の データは取得できるかという懸念はあるが、期間変動のデータも取れると思 われるので、次回データが収集出来てからまた議論いただきたい。
- 5. 平成30年度事業における分析業務の進捗状況について 日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社から資料No. 4に基づ
  - き、分析業務の進捗状況について説明があり、以下の質疑応答があった。
- I. 平成 29 年度事業のREVIEW
  - Ⅱ. 平成 29 年度及び昭和 60 年度サンプル管のデータ精査について

○次回の議論になるかもしれないが管対地電位、土壌抵抗率については現在

埋設している試験ヤードの同一箇所で、気温や気候変化によってどのくらい のばらつきがあるのか。

- ⇒気温や気候によるばらつきについては現在その調査を行っている途中で ある。次回議論させていただきたい。
- ○報告にあるデータについて、解析に使用している土壌抵抗率の代表値はどの ように測定しているか。
  - ⇒土壌抵抗率については同一箇所で3回測定した値の平均値としている。測定のばらつきを軽減するよう3回測定した値の平均値としているが、測定方法についてはさらに詳細に規定する等の必要があると思われる。
- ○S60年度とH29年度で土壌抵抗率の値がかなり異なるのは、どのような 理由か。
  - ⇒S60年度と比べてH29年度の方が腐食の程度が軽いものが多かったこ とから、結果的にH29年度はS60年度より土壌抵抗率が大きい箇所 を採取していたことも考えられるまた、測定深さに差異がある可能性も ある。H29年度は土壌抵抗率の大きい箇所を採取していたとしても、 30,000Ω・cm以上という非常に大きな土壌抵抗率の土壌については、土 壌杖が十分に刺さらなかった等の要因があるかもしれない。
  - ⇒データの信頼性については、今年度の事業で土壌杖及び小型センサーによる継続的な測定試験を実施しており、その結果を踏まえて検討する予定である。

②Ⅲ.ガス管貫通確率について

- p 4 7 で貫通している可能性があるサンプルを P f 値が 4 0 %を超えるもの としてサンプル数をまとめているが、40%の根拠は何か。
  - ⇒p38、p39の図3.11~図3.14に貫通管の最大腐食深さ、ガス 管肉厚とその時のPf値を図示している。図3.11は最大腐食深さが 特別に大きい特異な図であり、その他の図が、貫通管の一般的なPf値 を示していると考えられる。その中で、最小値が約40%であるため、 Pf値40%を貫通管のここでの暫定基準とした。
- ○どれくらいの値で危険といえるのか。現状では確率40%なので貫通しているかもしれないし、貫通していないかもしれないという結果だと思われる。
  ⇒その通りである。Pf>40%の7本のサンプル管のうち、4本が貫通している。残り3本は貫通していない。最大腐食深さの推定値にばらつきがあるので、確定的な判定は困難である。40%という数値も暫定的な値で、今後どのようなPf値を貫通のリスク基準としていくかは検討が必要である。

- ○過去のガス管の平均肉厚のばらつきを、測定した最大肉厚のばらつきと同じ にしているが、これを踏襲していくのか。それとも平均肉厚のばらつきがわ かるのであれば、今後検討しておいた方がよいのではないか。
  - ⇒これまで、最大肉厚と最小肉厚の測定のみを行っており、そのデータから 平均肉厚を求めることは困難であると思う。
- ③V.ガス管サイズ別最大腐食深さ重回帰式について
  - ○管径を小口径、大口径の2分類にする理由とその結果については理解した。 今後その2分類で検討を進めるのか。
    - ⇒今回は、小口径、大口径の重回帰分析結果の一部を報告した段階であり、 その適用の是非については、Pf値、最大減肉率及び全体的な安全性評価 方法等への影響を検討した上で決定したいと考えている。
- ④VI. 特異値の最大腐食深さ重回帰式への影響について
  - ○なぜ特異な現象が起こるのかというのが課題である。特異な状況で貫通が起こるなら、その現象を追えばよいという議論にもなる。また、特異な状況での値を除いたら、それ以外のデータが活きてくるはずである。
    - ⇒腐食速度の速い特異値とその特異な状況を説明する技術的な根拠は明確ではなく、今回は腐食速度 0.2mm/yのデータを特異値とした。その特異値は、 S60年度のデータが多く、腐食速度の速いC/Sマクロセル腐食による ものと考えられるが、S60年度の報告書でもC/Sマクロセル腐食とそれ以外の一般腐食の分類は行われていない。また、H29年度でも特異値は出ているが、それが過去のC/Sマクロセル腐食の影響であるかどうか を調査することは難しい。
  - ○今はC/Sマクロセル腐食対策が実施されているのであれば、除外の理由になり得る。S60年度には記述がなくても、C/Sマクロセル腐食が今後起こらないというのであれば、除外して進めることはできるのではないか。
    ⇒除外する根拠の正当性を確認した上で検討したい。
    - また、大小口径別の最大腐食深さ推定値についてp68, p84に特異値 の有無でそれぞれ解析しているが、特異値を除外していない方が、大小口 径別の差異が明確な推定式になっている。よって、推定式への影響も十分 確認した上で、特異値の取扱いを決めるのがよいと考えている。
  - P f 値を求める上で、特異値の影響はどの程度出ているのか。
  - ⇒特異値を除外すると、最大腐食深さの推定値が小さくなるので、p85に 記載しているとおりPf値も小さくなる。しかし、貫通管5本のうち、

4本のPf値は25%以上であり、貫通との相関は高い。

- ⇒特異値を除外するか否かについては、安全性の評価方法も考えて判断する 必要があると考えている。
- ⑤W. 管延長の影響(極値統計)の取り扱いについて
  - ○ガス管貫通確率(Pf)は、極値統計での割増率(全年度報告書によるとガス管延長10mの時に1.45倍)でどの程度上がるのか。
    ⇒ Pf値は変わらないと考えている。
  - ○最大腐食深さの推定値が割増されて大きくなるのに、Pf値が割増されない ことはそれで問題ないのか。
  - ○管径の違いで表面積が増えることと長さの違いで表面積が増えることは一緒であると考えられる。それを含めて極値解析で対応できるのか。
    ⇒極値解析の取扱いについてもう一度検討する。
  - ○極値解析については再度検討の上、わかりやすい資料をお願いしたい。資料の作り方は、委員の方と途中段階でも事前に相談して、事務局で検討してほしい。
    - ⇒了解した。

6. その他

次回の委員会は平成 31 年 1 月 18 日を予定しており、開催日が近くなった ら改めて案内を出す旨、報告があった。

以上

## 平成30年度

## 第3回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録

日		時	:	平成:	31年 1	月18日(金) 15:00 ~ 17:00								
場		所	:	一般貝	才団法人 F	日本ガス機器検査協会3階 第1、2会議室								
出	席	者	:	(敬称	(敬称略・順不同)									
委	員	長	:	豊田	政男	大阪大学 名誉教授								
委		員	:	安藤	広和	一般社団法人日本ガス協会								
				倉敷	哲生	大阪大学 教授								
				佐藤	弘隆	新日鉄住金エンジニアリング株式会社								
				杉森	毅夫	一般社団法人日本コミュニティーガス協会								
				妹尾	啓史	東京大学 教授								
				中里	直人	東京ガス株式会社								
				西川	明伸	大阪ガス株式会社								
				藤本	愼司	大阪大学教授								
関	係	者	:	義経	浩之	経済産業省 産業保安グループ ガス安全室								
				笠井	隆司	日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社								
				富田	修	•								
				松岡	和巳	日鉄住金テクノロジー株式会社								
				岩松	智浩	一般社団法人日本ガス協会								
				藤川	涼太	日本防蝕工業株式会社								
事	務	局	:	丹羽	哲也	一般財団法人日本ガス機器検査協会								
				圓福	貴光	*								
				橋	洋三	*								
				齋藤	良裕	*								
				山本	純平	*								
				古松	清人	*								
						以上21名								

### 議 題

- 1. 事務局挨拶
- 2. 前回議事録の確認
- 3. 平成29年度末における経年管残存状況調査の報告について
- 平成30年度事業における影響調査業務の進捗状況報告について
- 5. 平成30年度事業における分析業務の進捗状況報告について
- 6. その他

配付資料

## 資料No.1 平成30年度 第2回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発委員会議事録(案)

- 資料No.2 平成29年度末における経年管の残存状況調査について
- 資料No.3-1 試験ヤードでの電気伝導率連続モニタリング
- 資料No.3-2 電気伝導率に影響を及ぼす因子分析
- 資料No.3-3 土壌杖の特性評価
- 資料No.3-4 試験片を用いた対地電位と腐食状況の関係調査
- 資料No.3-5 既採取サンプル管残管の管対地電位と腐食状況の関係調査
- 資料No.4 平成30年度事業における分析業務の進捗状況報告
- 別紙資料 4-1 ・10cm サンプル管最大腐食深さ測定結果に基づくガス管 貫通確率推定フロー
  - ・極値統計解析の最大腐食深さ重回帰式、ガス管貫通確率へ の適用フロー
- 別紙資料 4-2 ・ガス貫通確率(Pf)による腐食度区分計算例
  - ・腐食度区分での最大減肉率

### 議事摘録:

1. 事務局挨拶

事務局から、開会の挨拶及び多忙中の出席へのお礼があった後、出欠状況の 報告があった。

2. 前回議事録(案)の確認

事務局から前回議事録(案)の通読があり、異議無く承認された。

3. 平成29年度末における経年管の残存状況調査について

事務局から資料No.2に基づき平成29年度末における経年管の残存状況 調査について報告があった。

4. 平成30年度事業における影響調査業務の進捗状況報告について

日鉄住金テクノロジー株式会社から資料No.3-1~3-5 に基づき影響調査業務の 進捗状況について説明があり、以下の質疑応答があった。

- ○土壌抵抗率について、地中 50cm になると降雨の影響が少なくなる。地表面から深くなるほど土壌抵抗率の測定値は安定してくることがわかる。温度が土壌抵抗率に与える影響はどうか。
- ⇒現在、分析・検討しているところである。水分センサーは測定値を25℃に 補正する機能を持っているが、土壌杖は温度補正されていない。水分センサ ーと土壌杖の測定結果を比べると水分センサーの測定結果はほぼ一定値で安 定していることから、土壌抵抗率は温度により影響を受けていると思われる。

また、文献によると、水の電気伝導率は1℃で約2%の変動があると報告 されている。25℃をベースとした場合、5℃のときは温度差が20℃とな り、約40%変動することになる。

- ○温度が土壌抵抗率に影響を与えるのであれば、測定方法の注意点として温度 の影響を取りまとめる必要がある。
- ○温度が腐食速度に与える影響について、温度が下がれば酸素の拡散速度が遅くなるため、腐食速度は遅くなるが、一方で水中に溶存する酸素量は大きくなるため、腐食速度は速くなる。どちらの効果もあるので、温度により腐食速度がどう変わるかは一概には言えない。
- ○土壌杖の特性を解析した理由は何か。
- ⇒土壌杖の測定範囲を確かめるために解析した。また、現場での測定を考慮したとき、土壌抵抗率を測定する箇所が狭く、周囲に障害物がある状況が考えられる。その障害物の影響を検討するために解析を行った。これまで測定装置について知見がなかったためである。
- ○今回の解析から土壌杖の測定範囲が狭いことがわかった。現場での測定の際の注意点を検討してほしい。

土壌抵抗率の温度に対する影響や土壌杖での測定の注意点について第4回委 員会で検討結果を報告することとなった。

### 5. 平成30年度事業における分析業務の進捗状況について

日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社から資料No.4、別紙資料4-1、4-2に基づき、分析業務の進捗状況について説明があり、以下の質疑応答があった。

- ○腐食度区分判定表についてケースが多い。最終的には絞ってほしい。
- ⇒関係者間での打合せ時に、種々のケーススタディを行い、Pfの性質を見極 めたいとの要望もあり計8ケースを検討した。最終報告書は、絞って報告す る。
- ○別紙 4-2 の腐食度区分での最大減肉率の表の中で減肉率が 100%となっているところに該当したガス管は必ず貫通しているのか。
- ⇒最大減肉率は、最大腐食深さ推定平均値とガス管肉厚平均値の比率であり、 両者にはバラツキがあるので、100%なら必ず貫通しているということではない。平均値ではあるが、個々のガス管の腐食度合い、残肉度合いを表現しているので、理解しやすい指標だと思われる。ガイドラインにも、Pf だけで

なく、この最大減肉率も需要家に説明する上で効果的であることも考えられ るので併記した。最終的には別途検討が必要である。

- ○別紙 4-2 の表について、横軸が経過年数となっている。昨年度の検討結果を 考えると管対地電位を横軸に取る方がいいのではないか。
- ⇒関係者間での打合せ結果から、横軸を管対地電位から経過年数へ変更した。 ただ、今回の委員会資料のパラメータや閾値はあくまで一例である。どのパ ラメータを使用するか、縦軸の土壌抵抗率についても1000 ピッチでとって いるが、その間隔をどうするか、区分 A~E と分類したがその分類方法をど うするか、等今後議論していく必要がある。この事業ではあくまで科学的な 分析を基に評価方法を提案するまでであり、どのパラメータを使用して閾値 をどこに設定するかは、このガイドライン案を使用する側が検討する内容だ と考える。
- ○極値統計での割増率について、割増率の平均値に標準誤差×2を足し合わせ て計算しているが、高い安全性を持つ指標となるよう確実に評価するために は標準誤差×3で評価したほうがいいのではないか。
- ⇒割増率については、平均値+(標準誤差×3)で再度検討する。
- ○分析の方向性としては問題ない。今回検討することとなった内容について は、適宜委員と相談して、とりまとめてほしい。

極値統計の割増率、腐食度区分判定表のパラメータについては、検討結果 を第4回委員会で報告することとなった。

6. その他

次回の委員会は2月20日を予定しており、開催日が近くなったら改めて 案内を出す旨、報告があった。

以上

## 平成30年度

## 第4回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発等委員会 議事録

日		時	:	平成:	31年	2月20日 (水) 15:00 ~ 17:00
場		所	:	一般貝	团法人	日本ガス機器検査協会3階 第1、2会議室
出	席	者	:	(敬称	略・順ス	下同)
委	員	長	:	豊田	政男	大阪大学名誉教授
委		員	:	安藤	広和	一般社団法人日本ガス協会
				倉敷	哲生	大阪大学 教授
				佐藤	弘隆	新日鉄住金エンジニアリング株式会社
				杉森	毅夫	一般社団法人日本コミュニティーガス協会
				妹尾	啓史	東京大学 教授
				中里	直人	東京ガス株式会社
				西川	明伸	大阪ガス株式会社
				藤本	愼司	大阪大学 教授
関	係	者	:	義経	浩之	経済産業省 産業保安グループ ガス安全室
				志村	泉	*
				笠井	隆司	日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社
				富田	修	*
				松岡	和巳	日鉄住金テクノロジー株式会社
				岩松	智浩	一般社団法人日本ガス協会
				藤川	涼太	日本防蝕工業株式会社
事	務	局	:	丹羽	哲也	一般財団法人日本ガス機器検査協会
				圓福	貴光	*
				橋	洋三	*
				齋藤	良裕	*
				山本	純平	*
				古松	清人	*
						以上22名

議

題

- 1. 事務局挨拶
- 2. 前回議事録の確認
- 3. 平成30年度事業における影響調査業務の報告について
- 4. 平成30年度事業における分析業務の報告について
- 5. その他

配付資料

- 資料No.1 平成30年度 第3回 経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発委員会議事録(案)
- 資料No.2 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び 現地測定法の評価
- 資料No.3 平成30年度事業における分析業務報告書

### 議事摘録:

1. 事務局挨拶

事務局から、開会の挨拶及び多忙中の出席へのお礼があった後、出欠状況の 報告があった。

#### 2. 前回議事録(案)の確認

事務局から前回議事録(案)の通読があり、P3の「土壌杖を解析した・・・」の 文言については土壌杖の特性を解析した旨分かるよう修正要望があった。その 他については異議無く承認された。

- 3. 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価 日鉄住金テクノロジー株式会社から資料No. 2に基づき影響調査業務報告につ いて説明があり、以下の質疑応答があった。
  - ○P44 の式(2.3.1)Hmax=(0.377+565×1/ρ+0.000440×P/S)√Yとあるが、 正しくはHmax=(0.371+565×1/ρ+0.000440×P/S)√Yであるため、修正し た上で報告とする。表 2.3.1 について Hmax の計算結果をまとめたものであ り、修正を反映すると 0.04 程度小さくなる。こちらも修正した上で報告とす る。表 2.3.2、表 2.3.3 について修正はない。
  - ○電気伝導率の推移については富津や大阪で GL-100 の変動が少なく、GL-500 の変動が大きいが間違いはないか。深い方が安定しているのではないか。
     ⇒GL-500 の変動が大きいデータで間違いはない。地下水位が高いために、降 雨の際に GL-500 の電気伝導率が急激に上がったものと思われる。富津や 大阪は埋め立て地なので、地下水位の深度が通常より高いと考えられる。
  - ○表 3.3.1 腐食量測定結果の質量について、有効数字は3 桁程度が妥当ではないか。報告書作成の際は見直してほしい。
    ⇒了解した。

資料No.2で説明があった現場測定方法に関する手順等の提案を含めて、 上記の修正をした上で報告書をまとめることについて承認された。

- 4. 平成30年度事業における分析業務報告書について
  - 日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社から資料No.3に基づき 分析業務報告書について説明があり、以下の質疑応答があった。
  - ○実際に貫通している管は何%くらいあったのか。
    - ⇒分析の対象とした平成29年度サンプリング管では7%くらいである。
  - ○経年埋設内管リスク判定表案の使い方については、埋設内管の腐食の危険性 は経過年とともに大きくなっているので、その危険性が適切に示されていな ければならない。
    - ⇒表 12.2の口径 25A、埋設経過年 50 年の表で、一般的な測定値の範囲であ る管対地電位-500mV以上、土壌抵抗率 15,000Ω・cm以下、ガス管延長 5m の Pf 値は最低でも 20%程度となる。20%の値であれば、需要家がガス管 貫通のリスクがあることを受け止めやすいのではないか。
  - ○測定条件が適切であれば安定した値が測定できるので、資料 No.2 をうまく 活用出来るような方向で考えてほしい。
    - ⇒今回の測定データの中には土壌抵抗率の測定値が 30,000 Ω・cm 以上あるも のもあった。測定方法については資料 No.2の知見も含めて、測定誤差の影 響により Pf 値が低く見積もられないように的確に測定をする必要がある。
  - ○経年埋設内管腐食リスク判定表案の区分の色は、緑や青などは避け、赤や黄 などを効果的に用いて、安全であるように誤認されないよう工夫して欲しい。

資料No.3で説明があった供内管腐食対策ガイドラインの改訂に資する骨子(案)の「経年埋設内管腐食リスク判定表の一例(案)」を含めて、報告書で まとめることについて承認された。

### 5. その他

報告書作成については事務局に一任する旨の確認があった。

以上

# 平成 30 年度地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業 における総合分析 実施報告書

### 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

## における総合分析業務 実施報告書

### 目 次

 $^{\circ} - \dot{\gamma}$ 

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

 $89 \sim 96$ 

- 1.1 平成 29 年度及び昭和 60 年度腐食データの精査
- 1.2 土壌抵抗率の現地測定特性の把握と腐食深さの回帰式への適用
- 1.3 管延長の影響調査とガス管延長係数の導入
- 1. 4 亜鉛メッキの有効期間及びアスファルトジュートの耐用期間の検討
- 2. 新規サンプル管の腐食状況の調査・分析

 $97 \sim 119$ 

- 2.1 平成30年度サンプル管データ
- 2. 2 平成 29 年度サンプル管と平成 30 年度サンプル管のデータ比較
- 2.3 平成 29 年度、平成 30 年度、及び昭和 60 年度データによる単相関分析
- 2. 4 平成 29 年度、平成 30 年度、及び昭和 60 年度データによる重相関分析

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

 $120 \sim 131$ 

- 3.1 平成 29 年度、平成 30 年度、及び昭和 60 年度データによる最大腐食深さ重回帰式
- 3.2 信頼性解析によるガス管貫通確率
- 3.3 ガス管延長係数による長延長ガス管貫通確率
- 3. 4 平成 29 年度貫通サンプル管のガス管貫通確率
- 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

 $132 \sim 134$ 

- 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
- 1.1 平成 29 年度及び昭和 60 年度腐食データの精査
- (1) 平成 29 年度サンプル管の腐食データの精査
  - サンプル管の外観調査により、その腐食形態を以下の a.b.の区分で分類・整理した。
    - a. 未腐食部(健全部)の有無 : 健全部有無の2分類
    - b. 腐食形態 : 全面腐食、局部腐食、全面腐食+局部腐食の3分類

亜鉛メッキ管(73P)及びアスファルトジュート巻き管の分類結果は別表1の通りであり、 その要約結果を表1.1に示す。

表 1.1 平成 29 年度サンプルの腐食形態分類結果

	腐飢	食形態∶健全き	『有	腐1	÷⊥			
	全面のみ	全面+局部	局部のみ	全面のみ	全面+局部	局部のみ	ĒΙ	
亜鉛メッキ管	13	38	0	1	20	1	73	
アスファルトジュート巻き管	1	14	5	0	16	0	36	
全体	14	52	5	1	36	1	109	

- ・亜鉛メッキ管では、全面腐食のみのサンプル管が、計14P存在した。特に健全部有 (塗装が残っている)サンプル管では、13P(全体の約25%)と数多く存在した。
- ・一方、アスファルトジュート巻き管では、全面腐食のみのサンプル管は健全部有の 1P のみ(全体の 5%)と数少なかった。
- ・ガス管の腐食深さが大きくなる原因は、全面腐食ではなく、局部腐食であり、その局 部腐食が全体の約9割のサンプル管で確認された。
- ・貫通管は、亜鉛メッキ管では 6P(全体の約 8%)、アスファルトジュート巻き管では 2P(全体の約 6%)、全データでは 8P(全体の約 7%)であった。
- ・腐食速度は、亜鉛メッキ管では 0.01~0.09mm/Y、アスファルトジュート巻き管では 0.01~0.07mm/Yの範囲であった。
- (2) 平成 29 年度と昭和 60 年度のサンプル管データの比較
- 亜鉛メッキ管

亜鉛メッキ管に関する、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対地電位、土 壌抵抗率及び腐食速度を比較した結果は、以下の通りである。

- ・ガス管サイズは、昭和 60 年度は平成 29 年度と比較して、40A、50Aの大口径管の比率が高い。平成 29 年度は,40A、50Aのデータが数少ない。
- ・埋設経過年は、昭和60年度は3年~33年、平成29年度は34年~76年と全く異なる年代のデータであり、埋設経過年は両データで補間できる。
- ・最大腐食深さは、昭和 60 年度、平成 29 年度ともに平均値は約 1.6mm とほぼ等しく、また、その分布もあまり差異がない。
- ・管対地電位は、平均値は約-450mVとほぼ等しく、また、その分布もあまり差異がない。

- ・土壌抵抗率は、昭和 60 年度の平均値は約 5,700 Ω・cm と小さく、平成 29 年度の約 14,000 Ω・cm と大きな差異がある。
  土壌抵抗率が 30,000 Ω・cm 以上の特別大きな値を除いた平均値でも、昭和 60 年度 は約 4,500 Ω・cm、平成 29 年度は約 11,000 Ω・cm と大きな差異がある。
- ・腐食速度は、平成 29 年度はすべてのデータが 0.10mm/Y 以下であるのに対し、昭和 60 年度は 0.10mm/Y を超えるデータが全体の約 43%を占めており、明らかに昭和 60 年度の方が大きな値である。
- ② アスファルトジュート巻き管

アスファルトジュート巻き管に関する、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、 管対地電位、土壌抵抗率及び腐食速度を比較した結果は、以下の通りである。

- ・ガス管サイズは、昭和60年度と平成29年度はほぼ同じ分布である。
- ・ 埋設経過年は、昭和 60 年度は 12 年~34 年、平成 29 年度は 41 年~67 年と全く異なる年代のデータであり、埋設経過年は両データで補間できる。
- ・最大腐食深さは、平成 29 年度(平均値:1.74mm)の方が昭和 60 年度(平均値: 1.28mm)よりも大きい。
- ・管対地電位は、平成 29 年度(平均値:約-450mV)は、昭和 60 年度(平均値:約-530mV)よりもやや大きな(貴な)データが多い。
- ・土壌抵抗率は、昭和 60 年度の平均値は約 5,800 Ω・cm と小さく、平成 29 年度の約 13,700 Ω・cm と大きな差異がある。
  土壌抵抗率が 30,000 Ω・cm 以上の特別大きな値を除いた平均値でも、昭和 60 年度 は約 4,200 Ω・cm、平成 29 年度は約 11,000 Ω・cm と大きな差異がある。
- ・腐食速度は、昭和 60 年度(平均値: 0.063mm/Y)は、平成 29 年度(平均値:
  0.033mm/Y)よりも大きいが、亜鉛メッキ管のような大きな腐食速度の差は見られない。
- 1.2 土壌抵抗率の現地測定特性の把握と腐食深さの回帰式への適用

本項目については、別途報告書「現地測定法を確立するための支配環境因子の調査及び 現地測定法の評価」(日鉄住金テクノロジー(株))にて詳述されている。

- 土壌杖による土壌抵抗率に関する知見と対応は以下のように要約できる。
- i) 土壌抵抗率は、地盤の含水率の影響を受けるため、以下の点を考慮する必要が ある。
  - ・長期間の連続降雨、台風等の直後の測定は避ける。(通常よりも過小評価される)
  - ・浅い深度の乾燥状態では、異常に高い値が測定される危険性が高いため、水分を供 給し適度な含水率で測定することが望ましい。
  - ・測定深度は、30cm 程度(以深)が望ましい。

- ii) 土壌抵抗率は、地中温度の影響を受ける。地中温度が低い程土壌抵抗率は大きくなる。その影響率は約2%℃であり、土壌杖測定結果の温度補正が必要となる。
  また、管対地電位に関する知見と対応は以下のように要約できる。
  - i) 管対地電位も含水率の影響を受ける。よって、降雨直後の測定は避けることが望 ましい。
  - ii)降雨直後に測定を実施した場合は、過小評価の危険性があるため、測定結果に 50mV~100mVを加算する等の補正を行うことが望ましい。
- 1.3 管延長の影響調査とガス管延長係数の導入

平成 29 年度事業では、現場にて約 50cm の経年埋設管を掘り上げ、サンドブラスト 後に腐食量が最も大きいと思われる 10cm 長さのサンプル管の腐食深さを精密測定し、 最大腐食深さを求めた。しかし、最大腐食深さは、全面腐食ではなく、局部腐食である 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、全長を10cm ピッチで腐食深さを精密測定した長尺サンプル管(長さ:最大 2m、計10P)に極値統計解析を適用し、グンベル確率プロットより埋設延長を考慮した 最大腐食深さ推定値を求めた。グンベル分布は、最大値分布が従う分布として適用さ れ、各種配管、タンク等の最大腐食深さの推定への適用例が数多く報告されている。

さらに、その推定値より、10cm 長さサンプル管の最大腐食深さ(実測値)から、延 長係数を導入することにより、任意延長のガス管の最大腐食深さを求めた。

(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)10P について、10cm 毎のサンプ ル管最大腐食深さを測定し、そのそれぞれ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( $\alpha$ 、 $\lambda$ )の算定は、MVLUE 法によって行い、検定は $\chi^2$ 検定(有意水準 5%)を用いた。

その結果、長尺管 10P のうち、サンプル管(01-102) を除いた 9P の最大腐食深さ は、グンベル分布に従うことが確認された。

図 1.1 には、その一例として、サンプル管(01-101)のグンベル確率プロット(最大 腐食深さ測定値をグンベル確率紙にプロットしたもの)を示す。この各測定値が直線上 に並んでいることから、最大値分布がグンベル分布に従っていることが検証できる。ま た、同図の第二軸(右軸)の再起期間(T<sub>10</sub>)とグンベル確率プロットとの交点のX座標 の値より、10cmのT倍の長尺管の最大腐食深さが推定できる。

よって、この 10cm サンプル管のグンベル確率プロットより、長さ 50cm の長延長管の最大腐食深さ推定値(X<sub>10</sub>)を求めた。



同図中の α、 λ はそれぞれグンベル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<sub>10</sub>)は、再起期間(T<sub>10</sub>)により次式で与えられる。

> $X_{10} = \lambda + \alpha \cdot [-\ln \{-\ln(1 - 1/T_{10})\}]$ ここで、  $T_{10}$ : 再起期間 (= L/10) L:ガス管延長 (cm)

図 1.2 は、10cm グンベル確率プロットと同じ傾きを持ち、 $\lambda$ '=2.33mm(T<sub>10</sub>=5)となる 50cm グンベル確率プロットである。同図より、任意長さの長尺管の最大腐食深さ推定値( $X_{50}$ )が再起期間( $T_{50}$ )により次式で与えられる。

 $X_{50} = \lambda' + \alpha' \cdot [-\ln \{ -\ln (1 - 1/T_{50}) \} ]$ ここで、  $\alpha'$  :  $\alpha' = \alpha$  (10cm グンベル確率プロットと同一値)  $\lambda'$  :  $\lambda' = X_{10}$  (T<sub>10</sub>=5) T : 再起期間 (= L/50) L : ガス管延長 (cm)

図 1.2 より、サンプル管(01-101)と同じ腐食環境におけるガス管延長 1m、5m 及び 10m の最大腐食深さの推定値は以下の通りとなる。

ガス管延長	1m	$5 \mathrm{m}$	10m	Hmax (10cm 実測値)		
最大腐食深さ	2.46mm	3.18mm	3.45mm	1.86mm		



(2) 延長係数による長延長ガス管の最大腐食深さの推定

長尺管 9Pの 50cm グンベル確率プロットでのガス管延長 1m、5m 及び 10m の時の最 大腐食深さ推定値(X<sub>50</sub>)をとりまとめた結果は、表 1.2 の通りである。

同表には、平成 29 年度 10cm サンプル管の最大腐食深さ実測値(Hmax)と最大腐食深 さ推定値(X<sub>50</sub>)と Hmax の比を、ガス管の延長係数(L<sub>G</sub>)と定義して併記している。

	口径	サンプルトレー	X <sub>50</sub> (mm)			Hmax	L <sub>G</sub> =X <sub>50</sub> /Hmax		
		9 <i>77 1</i> /110.	L=1 m	L=5m	L=10m	(mm)	L=1m	L=5m	L=10m
1		01-101	2.46	3.18	3.45	1.86	1.32	1.71	1.85
2	054	03-101	2.01	2.99	3.36	1.88	1.07	1.59	1.79
3	254	05-121	1.44	2.01	2.23	1.34	1.07	1.50	1.66
4		06-101	1.31	1.74	1.91	1.79	0.73	0.97	1.07
5	40A	07-101	2.49	3.41	3.76	2.79	0.89	1.22	1.35
6	50A 32A	08-103	3.34	4.81	5.37	3.18	1.05	1.51	1.69
Ø		08-115	0.89	1.21	1.33	1.28	0.70	0.95	1.04
8		12-103	2.27	3.43	3.87	2.07	1.10	1.66	1.87
9	80A	09-122	2.75	3.84	4.25	2.86	0.96	1.34	1.49

表 1.2 長尺管最大腐食深さ推定値(X)と延長係数(LG)

ガス管延長 L=1m、5m、及び 10m の時の延長係数の値(表 1.2)を、それぞれ正規確

率プロットに図示した結果が図 1.3 である。延長係数は、どのケースもほぼ正規分布に従い、また標準誤差も 0.06~0.11 となり、比較的バラツキも小さい。

ここで、安全サイドの考え方(99%信頼区間)を採用し、ガス管延長 1m、5m 及び 10m のそれぞれについて、延長係数(L<sub>G</sub>)の平均値+標準誤差×3の値を、そのガス管延 長における延長係数 L<sub>G</sub>(L)とした。この延長係数を用いることにより、任意ガス管延長で の最大腐食深さ推定値は、10cm サンプル管の最大腐食深さ推定値から次式で求められ る。







図 1.3 延長係数 (LG) の正規確率プロット

1. 4 亜鉛メッキの有効期間及びアスファルトジュートの耐用期間の検討

ガス管の腐食深さ及び腐食速度はその塗装・塗覆装の防食効果が有効な耐用年数の影響 を受けると考えられる。その防食効果が有効な耐用年数を考慮した重回帰分析を検討した。 (1)検討方法

亜鉛メッキ及びアスファルトジュートの防食効果が有効な耐用年数(X年)を変数とし、サ

ンプル管データの埋設経過年(Y年)からこの年数を差し引いた年数(Y-X年)が、ガス 管の腐食が進行する実質的な埋設年数であると想定し、その年数を用いて重回帰分析を実 施した。

重回帰分析結果から、耐用年数の影響を評価する手順は以下の通りとした。

- ・重回帰分析時の有意F値の値が、有意水準(0.05)よりも小さく、回帰分析が有意であることを確認する。
- ・相関図より、実測値と推定値の相関関係と重相関係数の値を対比し、重相関係数及 び標準誤差の値の妥当性を確認する。
- ・重相関係数が大きく、また標準誤差の小さい耐用年数を、最大腐食深さの重回帰式 の精度の最も良好な耐用年数として採用する。
- 亜鉛メッキ管

図 1.4 は、耐用年数(X)と重相関係数、標準誤差の関係を図示したグラフである。



同図より、耐用年数が重回帰分析結果に与える影響は以下のように要約できる。

- ・耐用年数が7年程度までの重回帰分析では、重相関係数が徐々に減少し、標準誤差 は徐々に増加する。この間、データ数は139P(耐用年数:0年)から130P(耐用 年数:7年)へ漸減する。
- ・更に耐用年数を増加させると、耐用年数9年で重相関係数は一度増加するが、更に 増加すると、重相関係数は減少していく。また、標準誤差も大きくなり、データ数

は、耐用年数 15 年、23 年でそれぞれ 113P、94P となり、初期のデータ数から 20 ~30%大きく減少する。

この結果より、亜鉛メッキ管に関しては、最も重相関係数が大きく、また標準誤差も 小さい亜鉛メッキの耐用年数は、「0年」と判断できる。

② アスファルトジュート巻き管

図 1.5 は、耐用年数と重相関係数の関係を図示したグラフである。



重回帰分析結果から、アスファルトジュート巻き管に関して耐用年数が重回帰分析 結果に与える影響は以下のように要約できる。

- ・耐用年数が10年程度までの重回帰分析では、耐用年数4年の時の重相関係数が最大 となるが、その期間では重相関係数のは値はほとんど差がない。しかし、標準誤差は 徐々に増加する。この間、データ数は91P~90Pであり、ほとんど差異がない。
- ・更に耐用年数を15年まで増加させると、重相関係数は減少し、また、標準誤差も大きくなる。データ数は、耐用年数13年、15年でそれぞれ88P、83Pとなり、初期のデータ数から減少する。
- ・耐用年数を17年以上まで増加させた場合は、有意F値が有意水準(5%)を超えるため、

重回帰式の信頼性がなくなる。

この結果より、アスファルトジュート巻き管に関しても、重相関係数が大きく、また標 準誤差も小さいアスファルトジュートの耐用年数は、「0年」であると判断できる。

- 2. 新規サンプル管の腐食状況の調査・分析
- 2.1 平成 30 年度サンプル管データ

平成 30 年度サンプル管は、別表 2 に示す通り、亜鉛メッキ管(KS) 35P、アスファ ルトジュート巻き管(AS) 16P となった。

そのデータのうち、電気防食の影響を大きく受けているサンプル管及び土壌抵抗率が 測定できなかったサンプル管を除いた亜鉛メッキ管 33P、アスファルトジュート巻き管 14Pを統計解析用データとした。その各サンプル管の口径、埋設経過年、最大腐食深 さ、管対地電位(最大値)及び土壌抵抗率(最小値)は、別表3に示す通りである。

- 2.2 平成 29 年度サンプル管と平成 30 年度サンプル管のデータ比較
- (1) 亜鉛メッキ管

図 2.1~図 2.5 には、平成 29 年度サンプル管、平成 30 年度サンプル管、及び平成 29 年度+平成 30 年度サンプル管の、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対地 電位、及び土壌抵抗率のデータ分布を示す。

平成 29 年度と平成 30 年度のサンプル管データの比較結果は、以下通りである。 ①ガス管サイズは、平成 30 年度は平成 29 年度と同様の口径分布であり、25A が過半数 を占め、以下 32A、40A、20A, 50A の順である。80A のデータはなかった。 (図 2.1)

②埋設経過年は、平成 30 年度(平均値: 48.5 年)は平成 29 年度(平均値: 47.2 年) とほぼ同様であるが、45 年以下のデータ割合は小さく、45 年~55 年のデータが全体の約 60%を占めている。(図 2.2)

③最大腐食深さは、平成 30 年度(平均値:1.44mm)は 2mm 以下が約 85%であり、 平成 29 年度(平均値:1.67mm)よりもかなり小さい値である。(図 2.3)

 ④管対地電位は、平成 30 年度(平均値:-425mV)は平成 29 年度(平均値:-439mV) とほぼ同様であるが、-250mV 超の大変貴なデータが 10%以上を占めている。
 (図 2.4)

⑤土壌抵抗率は、平成 30 年度(平均値:16,300Ω・cm)は、30,000Ω・cm以上の データが約 18%と数多い。しかし、30,000Ω・cm以下のデータでは、平成 29 年度 (平均値:10,900Ω・cm)とほぼ同じ平均値(10,300Ω・cm)である。(図 2.5)







図 2.1 亜鉛メッキ管のガス管サイズ別本数分布















図 2.3 亜鉛メッキ管の最大腐食深さ分布













(2) アスファルトジュート巻き管

図 2.6~図 2.10 には、平成 29 年度サンプル管、平成 30 年度サンプル管、及び平成 29 年度+平成 30 年度サンプル管の、ガス管サイズ、埋設経過年、最大腐食深さ、管対 地電位、及び土壌抵抗率のデータ分布を示す。

平成 29 年度と平成 30 年度のサンプル管データの比較結果は、以下通りである。 ①ガス管サイズは、平成 30 年度はサンプル数は少ないが、平成 29 年度と同様に 25A、 32A、40A、50A、及び 80A の 20A を除く全サイズが含まれている。(図 2.6)

②埋設経過年は、平成 30 年度は平成 29 年度と同様に 41 年~60 年のデータであるが、
 60 年以上のデータはなかった。(図 2.7)

③最大腐食深さは、平成 30 年度(平均値:1.26mm)は平成 30 年度(平均値:1.74mm) よりもかなり小さく、1.5mm以下のデータ割合が 66%(平成 29 年度:36%)である。 (図 2.8)

④管対地電位は、平成 30 年度(平均値: -547mV)は、平成 29 年度(平均値: -445mV)と異なり、-450mVを超える貴なデータが全く含まれていない(平成 29 年度: 45%)。(図 2.9)

よって、平成 30 年度は平成 29 年度と比較すると、腐食環境は厳しくはない。①の最 大腐食深さが小さい原因の一つであると考えられる。

 ⑤土壌抵抗率は、平成 30 年度(全平均値: 9,640Ω・cm、30,000Ω・cm 以下平均値: 7,970Ω・cm)は、2,000~20,000Ω・cmのデータが主であり、平成 29 年度(全平均 値: 13,700Ω・cm、30,000Ω・cm以下平均値: 11,200Ω・cm)よりも約4,000Ω・cm 平均値が小さい値であり、平成 29 年度よりも腐食環境は厳しい。(図 2.10)







図 2.6 アスファルトジュート巻き管のガス管サイズの本数分布







図 2.7 アスファルトジュート巻き管の埋設経過年分布






図 2.8 アスファルトジュート巻き管の最大腐食深さ分布







図 2.9 アスファルトジュート巻き管の管対地電位分布







2.3 平成 29 年度、平成 30 年度、及び昭和 60 年度データによる単相関分析

最大腐食深さ (Hmax/ $\sqrt{Y}$ ) と電気伝導率 (1/ $\rho$ ) 及び管対地電位 (P/S) の単相関分析を 以下のケースについて行った。

<単相関分析>  $Hmax/\sqrt{Y} \ge 1/\rho$ 、P/S それぞれについての単相関分析

- ① 平成 29 年度データによる単相関分析(前年度実施内容再掲)
- ② 平成 30 年度データによる単相関分析
- ③ 平成 29 年度+平成 30 年度データによる単相関分析
- ④ 平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データによる単相関分析
- (1) 亜鉛メッキ管
- ① Hmax/√Yと1/ρの単相関分析

平成 29 年度データ(データ数:73P)では、Hmax/√Yと1/ρの単相関分析では、図 2.11 のように相関係数 R=0.441(有意 F 値:9.54E-05)であり、強い相関があった。図 2.12、図 2.13 及び図 2.14 には、平成 30 年度(データ数:33P)、平成 29 年度+平成 30 年度(データ数:106P)及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度(172P)の Hmax/ √Yと1/ρの単相関分析結果(散布図と相関係数、有意 F 値)を示す。





平成 30 年度データは、サンプル数が少ないこともあり、相関が弱い結果となった。 しかし、平成 29 年度+平成 30 年度のデータ、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、強い相関が認められた。

② Hmax/√YとP/Sの単相関分析

平成 29 年度データでは、Hmax/√Y と P/S の単相関分析では、図 2.15 のように強い 相関が得られなかった。図 2.16、図 2.17 及び図 2.18 には、平成 30 年度、平成 29 年度 +平成 30 年度、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度の Hmax/√Y と P/S の単 相関分析結果を示す。





平成 30 年度データ及び平成 29 年度+平成 30 年度では、有意水準 10%での相関が認 められた。しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、強い相関は 認められなかった。

(2) アスファルトジュート巻き管

② Hmax/√Yと1/ρの単相関分析

平成 29 年度データ(データ数:36P)では、Hmax/ $\sqrt{Y}$ と 1/ $\rho$ の単相関分析では、図 2.19 のように相関係数 R=0.302(有意 F 値:0.07)であり、有意水準 10%で相関があった。図 2.20、図 2.21 及び図 2.22 には、平成 30 年度(データ数:14P)、平成 29 年度+平成 30 年度(データ数:50P)及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度(データ数:105P)の Hmax/ $\sqrt{Y}$ と 1/ $\rho$ の単相関分析結果(散布図と相関係数、有意 F 値)を示す。

平成 30 年度データは、サンプル数が少ないが、平成 29 年度よりも相関が弱い結果となった。また、平成 29 年度+平成 30 年度を合わせたデータでも、平成 29 年度よりも相関が弱い結果となった。 しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、有意水準 5%での相関が認められた。





(2) Hmax/√YとP/Sの単相関分析

平成 29 年度データでは、Hmax/√Y と P/S の単相関分析では、図 2.23 のように強い 相関が得られなかった。図 2.24、図 2.25 及び図 2.26 には、平成 30 年度、平成 29 年度 +平成 30 年度、及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度の Hmax/√Y と P/S の単 相関分析結果を示す。

平成 30 年度データでも、データ数は少ないが、平成 29 年度と同様に強い相関は得ら れず、また、平成 29 年度+平成 30 年度では、平成 30 年度の管対地電位が小さなデータ が H29 年度データを補完し、相関係数はやや増加したが強い相関は得られなかった。

しかし、平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度のデータでは、有意水準 5%での相関 が認められた。





2. 4 平成 29 年度、平成 30 年度、及び昭和 60 年度データによる重相関分析

(1) 亜鉛メッキ管

平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(172P) について最大腐食深さと土壌 抵抗率及び管対地電位の重相関分析を行い、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(139P) に よる重相関分析結果との比較を行った。

両ケース共に、強い相関が認められる。

図 2.27、図 2.28 はそれぞれ、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(139P)及び平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(172P)における重回帰式による推定値と実測値の相関図である。両者には、ほとんど差異はない。



また、図 2.29 は、平成 29 年度+昭和 60 年度データによる H/√Y と平成 29 年度+ 平成 30 年度+昭和 60 年度データによる H/√Y 推定値の比較を示している。この図から も、後者の方がやや小さい推定値となっているが、両者にはほとんど差異がないことがわ かる。



以上の比較検討結果より、亜鉛メッキ管については、平成30年度データは、平成29年 度+昭和60年度データによる重回帰式で推定する範囲内であると考えられる。

(2) アスファルトジュート巻き管

平成 29 年度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(105P)について最大腐食深さと土壌 抵抗率及び管対地電位の重相関分析を行い、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(91P)に よる重相関分析結果との比較を行った.

両ケース共に、強い相関が認められる。

図 2.30、図 2.31 はそれぞれ、平成 29 年度+昭和 60 年度データ(91P)及び平成 29 年 度+平成 30 年度+昭和 60 年度データ(105P)における重回帰式による推定値と実測値の 相関図である。両者には、ほとんど差異はない。また、図 2.32 は、平成 30 年度データ有 無での重回帰式による H/√Y 推定値の比較を示しており、両者にはほとんど差異がない。

以上の比較検討結果より、アスファルトジュート巻き管についても、平成 30 年度デー タは、平成 29 年度+昭和 60 年度データによる重回帰式で推定できる範囲内であると考え られる。







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

3.1 平成 29 年度、平成 30 年度及び昭和 60 年度データによる最大腐食深さ重回帰式 平成 30 年度得られた亜鉛メッキ管(33P)とアスファルトジュート巻き管(14P)の土壌抵 抗率、管対地電位データによる最大腐食深さの単相関・重相関分析結果より、平成 30 年 度データは、平成 29 年度の亜鉛メッキ管(73P)、アスファルトジュート巻き管(36P) のデータと同一母集団からサンプリングされたデータとしての取扱いが妥当であることが 確認された。

よって、亜鉛メッキ管、アスファルトジュート巻き管共に、平成 29 年度、平成 30 年 度、及び昭和 60 年度データを採用しデータ数を最大化した最大腐食深さ重回帰式を採用 し、その精度を高めた。また、重回帰式の正当性を確認し、その精度を高めるために残差 分析を実施した。

(1) 亜鉛メッキ管

亜鉛メッキ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 年度のデータから求められる最大腐食深さの重回帰式は以下の通りである。

H  $/ \sqrt{Y} = 0.380 + 565 \times (1/\rho) + 4.41E-04 \times (P/S)$ N 数: 172P, R=0.549,  $\sigma = 0.149$ , 有意 F 値: 6.64E-14

また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図 3.1 の通りである。



② 重回帰式の残差分析

重回帰式の正当性と、外れ値の存在有無を確認するために、実測値( $Hmax/\sqrt{Y}$ )と 重回帰式による推定値( $H/\sqrt{Y}$ )との差(残差)に関して以下のような分析を行った。

i)残差分布

残差は、図 3.2 の棒グラフのような分布であり、ほぼ正規分布(図中破線、平均 値:0、標準偏差:0.148)に従っていることから、重回帰式の正当性が確認できる。



ii)残差と目的変数、説明変数との独立性

図 3.3~図 3.5 は、残差を標準偏差で除した値(標準化残差)と目的変数  $(H/\sqrt{Y})$  及び 説明変数  $(1/\rho, P/S)$  の散布図を示す。この図より特別の傾向は認められず、独立性が あり、重回帰式の正当性が確認できる。ただし、WZ40-14 の確認は必要である。







iii)残差の極めて大きいデータの確認

図 3.6 は、標準化残差の散布図であり、残差の極めて大きい標準化残差「3」を 超えるデータが 3P 存在する。



iv)外れ値のデータ特性の確認

i) ~iii)の残差分析より、CZ00-10、CZ00-11、CZ10-05 及び WZ40-14 の 4P が、 重回帰式の精度を損なう外れ値である可能性が高く、そのデータ特性を再調査した結果 が、表 3.1 である。同表に示す通り、この 4P は、そのデータ特性から、外れ値とし重回 帰式のデータから除外することが妥当であると判断できる。

連番	サンプル No.	外れ値の内容	データ特性(除外根拠)
1	CZ00-10	標準化残差:3.76	腐食速度: 0.2mm/Y 以上の
			昭和 60 年度のデータであ
2	CZ00-11	標準化残差:3.50	る。
			(埋設後 8~13 年で撤去され
3	CZ10-05	標準化残差: 3.18	ており、他の腐食要因の可能
			性大)
4	WZ40-14	土壌抵抗率:945 $\Omega$ ・cm	同一地点での測定結果は、
			945、4,000、7,850、19,000
			とバラツキが甚大で、945 の
			値は異常値の可能性大

表 3.1 外れ値のデータ特性と重回帰式からの除外根拠

③ 外れ値を除外した亜鉛メッキ管の最大腐食深さ重回帰式 外れ値4Pを除外した亜鉛メッキ管の最大腐食深さの重回帰式は以下の通りである。

H 
$$/ \sqrt{Y} = 0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E-04 \times (P/S)$$
  
N 数: 168P, R=0.564,  $\sigma$  =0.132, 有意 F 値: 1.80E-14



また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図3.7の通りである。

- (2) アスファルトジュート巻き管
- アスファルトジュート巻き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年度のデータから求められる最大腐食深さの 重回帰式は以下の通りである。

H 
$$/ \sqrt{Y} = 0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E-04 \times (P/S)$$
  
N 数: 105P, R=0.388,  $\sigma$ =0.137, 有意 F 値: 2.38E-04

また、実測値と重回帰式による推定値の相関図は図 3.8 の通りである。



② 重回帰式の残差分析

重回帰式の正当性と、外れ値の存在有無を確認するために、実測値(Hmax/√Y)と 重回帰式による推定値(H/√Y)との差(残差)に関して以下のような分析を行った。 i)残差分布

残差は、図 3.9 のような分布となるが、データが増すとより正規分布に近くなると 考えられること、また、安全サイドの考え方となることより、亜鉛メッキと同様に正 規分布(図中破線、平均値:0、標準偏差:0.136)として取扱う。



ii) 残差と目的変数、説明変数との独立性

図 3.10~図 3.12 は、残差を標準偏差で除した値(標準化残差)と目的変数  $(H/\sqrt{Y})$  及 び説明変数  $(1/\rho, P/S)$  の散布図を示す。この相関に特別の傾向は認められず、独立性 があり、重回帰式の正当性が確認できる。



iii)残差の極めて大きいデータの確認

図 3.13 は、標準化残差の散布図であり、残差の極めて大きい標準化残差「3」を 超えるデータが 1P 存在する。



iv)外れ値のデータ特性の確認

i) ~iii)の残差分析より、CA20-04 が、外れ値である可能性がある結果が得られたが、このデータについては、そのデータ特性が他と比較して特殊であることは確認できなかった。

よって、アスファルトジュート巻き管については、外れ値のない重回帰式(105P) をそのままアスファルトジュート巻き管の重回帰式に適用する。

3.2 信頼性解析によるガス管貫通確率

(1) 信頼性解析によるガス管貫通確率の評価

構造物の安全性評価手法として、作用荷重及び材料強度を確定量ではなく、確率量として 取扱う「信頼性理論、信頼性解析」の適用は、約60年前から研究が進められている。

特に、作用荷重のバラツキが大きい風、地震等の動的荷重、材料強度のバラツキの大きい コンクリート構造物等の安全性評価手法に活用されており、既に多くの実績を有している。

経年埋設ガス管の腐食も様々な要因によりバラツキの大きい現象であることから、この ガス管の腐食現象による腐食深さを作用荷重(S)、ガス管の肉厚を材料強度(R)として、 この信頼性理論・信頼性解析を適用することにより、ガス管貫通確率を安全性評価指標とし て採用することを検討した。

この理論におけるガス管貫通確率(Pf)は次式で求められる。

 $\mathbf{Pf} = \mathbf{P(S>R)} = \mathbf{P(R/S<1)}$  (図 3.14 参照) 腐食深さ及びガス管肉厚の分布が、正規分布に従う場合には、 $\mathbf{Pf}$ は次式で計算できる。 Pf = 1 -  $\Phi$  ( ( $\mu r - \mu s$ ) / ( $\sigma r^2 + \sigma s^2$ ) )

ここで、Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数 μr:ガス管肉厚の平均値,μs:回帰式で求められる最大腐食深さ

Or:ガス管肉厚の標準偏差, Os:最大腐食深さ回帰式の標準偏差



図 3.14 ガス管貫通確率(Pf)

(2) ガス管肉厚の平均値の分布

平成 28 年度実施した経年管(277P)の肉厚測定データより、その最大肉厚値の肉厚分 布はガス管別にほぼ正規分布に従っていることが確認できた。その最大肉厚値の平均値 (μ max)、標準偏差(σ max)は、ガス管径別に表 3.2 に示す通りである。

mm)

表 3.2 ガス管の最大肉厚値の分布(止規分布) (
----------------------------

	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

このガス管の最大肉厚値の肉厚測定結果を活用し、Pf を計算するために必要なガス管 肉厚(平均肉厚:µr)及びガス管肉厚の標準偏差(σr)を次式で算出する。

平均肉厚 ( $\mu \mathbf{r}$ ) :  $\mu \mathbf{r}$  = (t × 0.875) + 2×  $\sigma \mathbf{r}$ 標準偏差 ( $\sigma \mathbf{r}$ ) :  $\sigma \mathbf{r} = \sigma \max$ 



表 3.3 に、各サイズガス管の平均肉厚値と最小肉厚値を示す。

表 3.3 ガン	ス管の平均肉厚値の分布(正規分布)			(単位:mm)	
	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A
公称肉厚(t)	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2
平均肉厚值 (µr)	2.66	3.08	3.40	3.65	4.11
最小肉厚値 (t×0.875)	2.45	2.80	3.06	3.33	3.68

表33 ガス管の平均肉厚値の分布(正規分布)

(3)回帰式で求められる最大腐食深さの分布

最大腐食深さの実測値(Hmax/√Y)と重回帰分析により求めた最大腐食深さの推定値 (H/√Y)の差は、正規分布に従う。

よって、重回帰分析結果から、その平均値(µs)及び標準偏差(σs)は、土壌抵抗率 (ρ)、管対地電位 (P/S) 及び埋設経過年(Y)により、以下のように計算できる。

 $\mu$  s = H =  $(\alpha + \beta \times (1/\rho) + \gamma \times P/S) \times \sqrt{Y}$ 

 $\sigma \mathbf{s} = \sigma \times \sqrt{Y}$ 

ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 及び $\sigma$ は重回帰分析により求めた定数

亜鉛メッキ管: *α*=0.371, *β*=565, *γ*=0.000440, *σ*=0.132

アスファルトジュート巻き管:  $\alpha$  =0.394,  $\beta$  =197,  $\gamma$  =0.000382,  $\sigma$  =0.137

3.3 ガス管延長係数による長延長ガス管貫通確率

1.3で導入したガス管延長係数(LG)により、長延長ガス管の最大腐食深さは、 10cm サンプル管の最大腐食深さ推定値(H)のLG倍となる。

また、長延長ガス管の最大腐食深さの分布は、10cm サンプル管の最大腐食深さの平均 値及び標準偏差を、それぞれ Lg 倍した正規分布に従う。

よって、延長係数(LG)の長延長管のガス管貫通確率は次式で計算される。

Pf = 1 -  $\Phi$  [ ( $\mu$ r - LG ·  $\mu$ s) /  $\sqrt{(\sigma r^2 + (LG \cdot \sigma s)^2)}$  ]

Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数

LG:ガス管延長係数(ガス管延長:Lm)

L=1mの時、LG=1.18、L=5mの時、LG=1.67、L=10mの時、LG=1.85 <亜鉛メッキ管>

 $\mu s = H = [0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

 $\sigma s = 0.132 \times \sqrt{Y}$ 

<アスファルトジュート巻き管>

 $\mu s = H = [0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

$$\sigma s = 0.137 \times \sqrt{Y}$$

3.4 平成29年度貫通サンプル管のガス管貫通確率

亜鉛メッキ管及びアスファルトジュート巻き管の平成 29 年度サンプル貫通管のガス管 貫通確率(ガス管延長 5m時)は、それぞれ表 3.4 及び表 3.5 の通りである。

表 3.4 貫通管の最大腐食深さと 5m 亜鉛メッキ管長延長管貫通確率 (Pf)

	サリフ°ル	最大腐食深さ(mm)				説見	明変数
No.	No	А.	B.	B/A	$\mathbf{P}\mathbf{f}$	P/S	ρ
	INO.	実測値	推定値			(mV)	$(\Omega \cdot cm)$
1	WZ40-14	3.58	8.71	243%	100%	-415	945
2	WZ40-19	3.82	5.72	150%	94.0%	-590	1,417
3	WZ50-11	3.64	4.78	131%	90.4%	-440	2,667
4	WZ40-21	3.37	4.50	134%	82.8%	-400	2,800

表 3.5 貫通管の最大腐食深さと 5m アスファルトジュート巻き長延長管貫通確率 (Pf)

	サンフ゜ル	最大腐食深さ(mm)				説見	明変数
No.		A.	B.	B/A	$\mathbf{Pf}$	P/S	ρ
	INO.	実測値	推定值			(mV)	$(\Omega \cdot cm)$
1	WA60-4	3.38	3.45	102%	58.0%	-486	4,467
2	WA60-5	3.57	3.53	99%	52.7%	-536	2,867

亜鉛メッキ管 No.4 及びアスファルトジュート巻き管 No.1 のガス管貫通確率イメージ 図をそれぞれ図 3.15 及び図 3.16 に示す。





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

新たなガイドラインにおける一般腐食リスクの判定基準として、「経年埋設内管腐食リ スク判定表」の作成方法を示し、その一例として「経年埋設内管腐食リスク判定(案)」 を検討した。

- 1. 基本的な考え方と手順
- (1) ガス管貫通確率(Pf)を指標とした、ガス管延長に応じたガス管貫通確率表を作成 する。
  - ガス管延長は、内管の延長実績値を調査、集計した結果より選定する。
    ここでは、1m、5m及び10mで検討を進める。
    <ガス管延長毎の延長係数(LG) >

1m : LG=1.18, 5m : LG=1.67, 10m : LG=1.85

② Pf 値は、最大腐食深さ重回帰式、ガス管肉厚分布を用いた信頼性解析を適用して 算出する。

Pf =  $1 - \Phi [(\mu r - LG \cdot \mu s) / \sqrt{(\sigma r^2 + (LG \cdot \sigma s)^2)}]$ 

Φ:標準正規分布(平均値0、標準偏差1)の確率分布関数

<亜鉛メッキ管>

 $\mu s = H = [0.371 + 565 \times (1/\rho) + 4.40E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ os = 0.132 × \sqrt{Y}

<アスファルトジュート巻き管>

 $\mu s = H = [0.394 + 197 \times (1/\rho) + 3.82E \cdot 04 \times (P/S)] \times \sqrt{Y}$ 

 $\sigma s = 0.137 \times \sqrt{Y}$ 

- ③ 重回帰式 (H=µs)の各パラメータの計算範囲は、以下の通りとする。
  埋設経過年(Y) : 40年 ~ 60年
  土壌抵抗率 (ρ) : 1,000Ω・cm ~ 30,000Ω・cm
  管対地電位 (P/S) : -700mV ~ -300mV
- ④ ガス管肉厚は、本事業で測定した 20A~80A の実測データに基づく平均値、標準 偏差を有する正規分布として取扱う。

	20A	25A	32A,40A	50A	65A,80A
公称肉厚(t)	2.8	3.2	3.5	3.8	4.2
平均肉厚值(µr)	2.66	3.08	3.40	3.65	4.11
標準偏差(or)	0.106	0.138	0.170	0.163	0.216

(2) 腐食リスクを適切なガス管貫通確率 Pf の閾値で区分し、ガス管貫通確率表にその 閾値により識別した腐食リスク区分を行い、「経年埋設内管腐食リスク判定表」を 作成する。 Pfの閾値は、平成29年度事業で得られた貫通ガス管の実績Pf値、最大減肉率等を 参照して決定する。

- (3)実適用に際しては、実際に入手できるパラメータ(埋設経過年、土壌抵抗率、管対地電位)の情報、精度を考慮して、「経年埋設内腐食リスク判定表」の区分メッシュを適切に再設定することを考慮する。
- 2. 経年埋設内管腐食リスク判定表(案)
  - (1) 前提条件
  - ① ガス管管種 : 亜鉛メッキ管及びアスファルトジュート巻き管
  - ガス管延長 : 5m
  - ③ ガス管口径 : 25A、50A
  - ④ 経年埋設内管腐食リスク区分 Pf 閾値
    平成 29 年度サンプル管の貫通管のガス管貫通確率値(亜鉛メッキ管:82.4%、アスファルトジュート巻き管:58.0%)を基準に腐食リスク A の閾値を決定し、以下10%刻みで5 段階のリスク区分分けとした。

亜鉛メッキ管

: 経年管腐食リスクA 80%<Pf</li>
 経年管腐食リスクB 70%<Pf≦80%</li>
 経年管腐食リスクC 60%<Pf≦70%</li>
 経年管腐食リスクD 50%<Pf≦60%</li>
 経年管腐食リスクE Pf≦50%

アスファルトジュート巻き管

: 経年管腐食リスクA 60%<Pf</li>
 経年管腐食リスクB 50%<Pf≦60%</li>
 経年管腐食リスクC 40%<Pf≦50%</li>
 経年管腐食リスクD 30%<Pf≦40%</li>
 経年管腐食リスクE Pf≦30%

⑤ 判定表表示方式

以下の2種類の表示方式とした。

- i) 設定管対地電位における埋設経過年、土壌抵抗率のパラメータ表示方式 Pf 値の経年埋設年数による変化を確認する時には有効である。
- ii)設定埋設経過年における管対地電位、土壌抵抗率のパラメータ表示方式
  現地測定項目である管対地電位と土壌抵抗率による Pf 値の変化を確認できるの
  でこの表示方式の方が、実用的であると考えられる。

(2) 経年埋設内管腐食リスク判定表(案)

亜鉛メッキ管:

表 4.1(1) 埋設経過年、土壌抵抗率表示方式の経年埋設内管腐食リスク判定表(案) 表 4.1(2) 上表の腐食リスク区分における最大減肉率表

表 4.2 管対地電位、土壌抵抗率表示方式の経年埋設内管腐食リスク判定表(案)

アスファルトジュート巻き管:

表 4.3(1) 埋設経過年、土壌抵抗率表示方式の経年埋設内管腐食リスク判定表(案) 表 4.3(2) 上表の腐食リスク区分における最大減肉率表

表 4.4 管対地電位、土壌抵抗率表示方式の経年埋設内管腐食リスク判定表(案)

平成30年度 経年埋設ガス管のリスクに関する分析

課題 A: 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価

目 次

#### I. 土壌抵抗率の変動影響調査

1.	土壌埋設試験 1.1 試験内容 1.2 土壌分析結果 1.3 水分センサー特性試験 1.4 試験工程	138~157 頁
2.	モニタリングデータ整理 2.1 気温と雨量の推移 2.2 土壌温度の推移 2.3 土壌含水率の推移 2.4 電気伝導度率の推移	158~166 頁
3.	電気伝導率に影響を及ぼす因子分析 3.1 降雨直後の土壌抵抗率変化 3.2 土壌含水率と電気伝導率 3.3 土壌抵抗率の深さ方向変化	167~173 頁
4.	土壌杖の特性評価 4.1 土壌杖と水分センサーとの比較分析 4.2 温度補正による土壌抵抗率の変化 4.3 数値解析による土壌杖の特性評価	174~190 頁

## Ⅱ. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査

1.	既採取サンプル管残管の管表面電位と腐食状況の関係調査	191~202 頁
	1.1 外観調査	
	1.2 さびの分析	
	1.3 腐食量調査	
	1.4 電位測定	
	1.5 管表面電位と腐食量	
2.	既採取サンプル管残管の長期埋設試験による管対地電位と腐食状況の関	]係調査
	2.1 サンプル管電位の推移	
	2.2 降雨直後の鋼管電位変	
	2.3 電位変化がリスク評価に及ぼす影響	

2.4 管表面電位と腐食量

3.	試験片を用いた対地電位と腐食状況の関係調査	203~212 頁
	3.1 外観調査	
	3.2 さびの分析	

- 3.3 腐食量調查
- 3.4 電位の推移
- 3.5 降雨直後の鋼板電位変化
- 3.6 電位変動量の評価

Ⅲ. 現場測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び 現地測定法の評価における調査結果まとめ	213~214 頁
1. 土壌抵抗率の変動影響調査	
2. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査	
Ⅳ. 現地測定方法に関する手順等の提案	215 頁

1. 土壌杖を用いた土壌抵抗率測定

# 2. 管対地電位の測定

# I. 土壌抵抗率の変動影響調査

調査内容:土壌抵抗率が,土質,土被り,気候(温度,降水量等)によりどの程度影響 を受けるかを調査するために,試験ヤードで土壌抵抗率連続測定長期モニタリング,土 壌杖による土壌抵抗率測定(間欠計測)を実施する。

# 1. 土壤埋設試験

### 1.土壤埋設試験

試験ヤードにセンサーを埋設した土壌抵抗率連続測定長期モニタリング,土壌杖による土壌抵抗 率測定(間欠計測)を実施する。また,同時に,II.腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査の為 の電位連続測定も実施する。

## 1.1.試験内容

試験内容を以下に記す。

#### 1.1.1 試験場所

試験場所は,以下の3か所とした。

- 1) 富津地区:千葉県富津市新富地区
- 2) 東京地区: 神奈川県横浜市鶴見区
- 3) 大阪地区:大阪府大阪市此花区

### 1.1.2 試験方法

(1)大気環境計測

大気環境調査として、気温・湿度、雨量を以下の計測器を用いて調査した。

1)温湿度計測

- ・測定機: 株式会社ティアンドデイ製 おんどとり TR-7
- ・サンプリング間隔:10分



写真 1.1.1 温湿度計

2)雨量計測

・測定機器: 西尾レントオール株式会社製 雨量ロガー(アメンボ) RF-3

・サンプリング間隔:10 分



(ロガー本体)



## 写真 1.1.2 雨量計

(2)土壤環境計測

①埋め込み型センサーを用いた土壌環境の連続測定は、下記のものを用いて、土壌の体積含水率、 電気伝導度(逆数値:抵抗率)、温度を計測した。

グラフテック社製:<u>http://www.graphtec.co.jp/site\_instrument/solution/wd-3/index.html</u> データロガー:GL240

# 体積含水率、電気伝導度、温度を同時測定!



図 1.1.1 水分センサー

②フィールドタイプの土壌抵抗率測定法として、下記の装置を用いて計測した。

- ・日本防蝕工業株式会社製
- ・計測器:Type-III



写真 1.1.3 土壤抵抗率測定器

(3)電位計測(鋼板試験体、鋼管試験体)

埋設した鋼板試験片、鋼管試験片の電位を以下のように計測した。

·参照電極:日本防蝕工業株式会社製 亜鉛参照電極



写真 1.1.4 参照電極



・計測機器:株式会社シュリンクス製 4ch エレクトロメータ SDAI-204D
 ・入力インピーダンス 10<sup>11</sup>Ω以上

写真 1.1.5 エレクトロメータ
# 1.1.3 機器配置

(1)富津地区(エリア1)

水分センサー及び鋼板試験体の配置を以下に示す。



図 1.1.2 水分センサー、鋼板試験体の埋設配置

(2)富津地区 (エリア2)

鋼管試験体の埋設配置を以下に示す。



図 1.1.3 鋼管試験体の埋設配置

### (3)東京地区

水分センサー及び鋼板試験体の配置を以下に示す。





図 1.1.4 水分センサー、鋼板試験体の埋設配置

### (4)大阪地区

水分センサー及び鋼板試験体の配置を以下に示す。





図 1.1.5 水分センサー,鋼板試験体の埋設配置

# 1.1.4 試験施工状況

各地区での埋設試験の実施状況を以下に示す。埋め戻し土砂は掘削土砂で埋め戻し,20mm 程度以 上の小石等は取り除いた。センサー周囲は、5mm メッシュの篩にかけた土砂で入念に埋め戻した。

# 【富津地区】

(1)水分センサー、鋼板試験体の設置



写真 1.1.6 設置状況 GL-500



写真 1.1.7 設置状況 GL-300



写真 1.1.8 設置状況 GL-100



写真 1.1.9 埋戻し表面状況

(2)鋼管試験体の設置

H29Fy 回収したサンプル管、新たに準備した鋼管試験体の埋設試験状況を以下に示す。



写真 1.1.10 鋼管試験体設置状況

計測に用いたエレクトロメータ、データロガーの配線状況を以下に示す。

(3)計測機器



写真 1.1.11 エレクトロメータ



写真 1.1.12 データロガー

(4)大気環境計測機器

計測に用いた温湿度センサー、雨量計の設置状況を以下に示す。



写真 1.1.13 温湿度センサー



写真 1.1.14 雨量計

(5)試験サイト全景

センサー、試験体を埋設した後のサイト状況を以下に示す。埋戻しは,現地盤の GL まで行った。



写真 1.1.15 埋設後試験サイト状況

# 【東京地区】

(1)水分センサー、鋼板試験体の設置



写真 1.1.16 設置状況 GL-500



写真 1.1.17 設置状況 GL-300



写真 1.1.18 設置状況 GL-100



写真 1.1.19 埋戻し表面状況

(2)計測機器

計測に用いたエレクトロメータ、データロガーの配線状況を以下に示す。



写真 1.1.20 エレクトロメータ



写真 1.1.21 データロガー

(3)計測に用いた温湿度センサー、雨量計の設置状況を以下に示す。



写真 1.1.22 温湿度センサー



写真 1.1.23 雨量計

(3)試験サイト

センサー、試験体を埋設した後の状況を以下に示す。



写真 1.1.24 埋設後試験サイト全景

# 【大阪地区】

(1)水分センサー、鋼板試験体の設置



写真 1.1.25 設置状況 GL-500



写真 1.1.27 設置状況 GL-100



写真 1.1.26 設置状況 GL-300



写真 1.1.28 埋戻し表面状況

(2)計測機器

計測に用いたエレクトロメータ、データロガーの配線状況を以下に示す。



写真1.1.29 エレクトロメータ



写真 1.1.30 データロガー

(3) 計測に用いた温湿度センサー,雨量計,土壌抵抗率測定器を以下に示す。



写真 1.1.31 温湿度センサー



写真 1.1.32 雨量計

- (4)試験サイト
  - センサー、試験体を埋設した後の状況を以下に示す。



写真 1.1.33 埋設後試験サイト全景

### 1.2.土壤分析結果

各試験地区の土壌分析結果を表 1.2.1 に示し, H28Fy に調査された 277 箇所土壌の全国平均構成 との比較を図 1.2.1 に示す。

試験報告書第180295033(株)クレアテラ平成30年10月						
試験項目		単位	富津 9/5	東京ガス 9/14	大阪ガス 9/26	
粒 径 41	土性名		LS	LS SL		
	粗砂	%	27.0	39.0	56.7	
成 ( 国	細砂	%	59.2	37.6	22.3	
際法	シルト	%	6.4	9.5	6.9	
	粘土	%	7.4	13.9	14.1	
土壤比抵抗(受取時)		Ω·cm	6080	23500	4440	
土壤比抵抗(飽和時)		Ω∙cm	4540	4120	3020	
pH(H <sub>2</sub> O) (測定温度 27.1℃)		_	8.4	8.6	8.8	
Redox電位.		mV	533	536	5.26	
水分含量(含水比)		w/w%	18.2	22.9	8.5	
硫化物判定		_	なし	なし	なし	
*湿潤比重		g/cm <sup>3</sup>	1.73	1.76	2.05	
*乾燥比重		桑比重 g/cm <sup>3</sup>		1.43	1.89	

表 1.2.1 土壤分析結果



<sup>※</sup>全国平均は H29Fy 調査箇所の土壌構成の平均値

図 1.2.1 各地区の土壌構成



### 表 1.2.2 粒度試験結果(富津地区)



### 表 1.2.3 粒度試験結果(東京地区)



# 表 1.2.4 粒度試験結果(大阪地区)

#### 1.3 水分センサー特性試験結果

この試験に用いた水分センサーの特性を検証する目的で,体積含水率,土壌抵抗に関して従来法と の比較試験を行った。

(1) 体積含水率の特性検証

水分センサーは,水の誘電率を測定して含水率に換算する TDR 法に基づいている。このセンサー 測定値を従来法である重量法による測定値との比較を行った。

各地区で回収した土壌約 1L をバケットに取り,乾燥炉内で 110℃,24hr.保持し絶乾状態とした 後,純水を添加して良く混錬した後,ビーカーに移し,まず水分センサーを用いて体積含水率を測定 した。その後,土壌 100ml を小ビーカーに取り分け,これを乾燥炉で 110℃,24hr.乾燥し重量減を測 定した。そして体積含水率を計算した。試験結果を表 1.3.1 と図 1.3.1 に示す。含水率 35%程度では 土壌が塊状となり,ビーカーや Soil box に均一に詰めて空隙を一定に保つことが困難であったが,比 較的良好な相関関係が得られた。

土壌		体積含水率(%)		
地区	No.	重量法	水分センサー	
	1	12.6	15.1	
富津	2	16.3	21.4	
	3	21.8	25.2	
	1	32.3	27.8	
東京	2	31.5	36.8	
	3	41.0	43.2	
+ R₩	1	43.2	49.7	
	2	24.4	24.0	

表 1.3.1 体積含水率測定結果



図 1.3.1 体積含水率の検証結果

### (2) 土壤抵抗率検証

水分センサーは、2 電極法による電気的抵抗測定法であるが、Soil box 法による測定値と比較した。 各地区で回収した土壌約 1L をバケットに取り、乾燥炉内で 110℃、24hr.保持し絶乾状態とした後、 純水を添加して良く撹拌した後、ビーカーに移し、まず水分センサーを用いて土壌抵抗率を測定した。 その後、ビーカー内の土壌を Soil box(B7cm×W7cm×L10cm)内に移し、土壌杖で使用するオームメ ータを用いで土壌抵抗率を測定した。その結果を表 1.3.2 と図 1.3.2 に示す。

・体積含水率測定の場合と同様に,含水率 35%程度(土壌抵抗率が 5,000~7,000Ωcm に相当)では バラツキがあるが,比較的良好な相関関係が得られた。

土壌			土壤抵抗率測定結果(Ωcm)			
地区	No.	さいも(%)	Soil box法	水分センサー		
<b>官</b> 净	1	16.3	8,560	8,950		
亩 <i>/</i> 丰	2	21.8	5,130	4,130		
市古	1	32.3	13,200	11,900		
木小	2	41.0	2,450	3,660		
+ <b>N</b> E	1	24.0	12,700	13,200		
八败	2	43.2	2,940	3,660		

表 1.3.2 土壤抵抗率測定結果



図 1.3.2 土壤抵抗率検証結果

# 1.4 試験工程

各地区における試験及びデータ分析・整理は、表 1.4.1 のような工程で実施した。

調本試験内容	2018年				2019年			
前直武殿内谷	8	9	10	11	12	1	2	3
(1)富津地区							委員会報告	最終報告
	8/2	89/3			1,	25回収▽	救田	
1)水分センサー設置・計測	7	7	1		-/			
	8/2	8			1/	25回収▽分	析·整理	
2)鋼板電位計測	7	7	1					
	8/1	28		1	/17回収▽	八七. 数田		
3)鋼管電位計測	, V	7				カ机・奎埵		
							1	報
(2)東京地区							4	告 🗌 🗌
		9/12			1/21	l ll l		書
1)水分センサー設置・計測		$\bigtriangledown$			1/2.		整理	re l
		9/12			1/2		- 政田	
2)鋼板電位計測		$\nabla$	I		1/2.			~
(3)大阪地区		0/40						
		9/18			1	/24回収▽	整理	
1)水分センサー設置・計測			1		-			
		9/18			1	/24回収▽タ	♂析・整理	
2)鋼板電位計測		$\vee$						

表 1.4.1 試験工程表

I. 土壌抵抗率の変動影響調査

2. モニタリングデータ整理

### 2.モニタリングデータ整理

各試験場所で計測した大気環境、土壌環境データを以下に示す。

## 2.1 気温と雨量の推移

各試験地区での試験期間、最高温度、最低気温、最大雨量は、表 2.1.1 の通りであった。気温、雨 量のデータを図 2.1.1、図 2.1.2、図 2.1.3 に示す。

試験地区	試験期間	試験日数	最高気温℃	最低気温℃	最大雨量 mm/m²/hr.
富津	2018/9/3 - 2019/1/25	144	35.1	-4.2	40
東京	2018/9/12 - 2019/1/21	131	35.6	-1.4	16
大阪	2018/9/18 - 2019/1/24	128	35.0	2.5	14

表 2.1.1 各試験地区での大気環境データ

※雨量(mm/m<sup>2</sup>/hr.) は1時間当たり、雨量(mm/m<sup>2</sup>/10min.)は10分当たりの雨量である。

### (1) 富津地区



図 2.1.1 気温と雨量の推移(富津地区)





図 2.1.2 気温と雨量の推移(東京地区)



(3) 大阪地区

図 2.1.3 気温と雨量の推移(大阪地区)

#### 2.2 土壌温度の推移

水分センサーを用いて計測した土壌温度(GL-100, GL-300, GL-500)の推移を図 2.2.1 から図 2.2.3 に示す。ここでは、各地区の No.1 区画で取得したデータを示した。

・いずれの地区においても、GL-100の温度は、気温の1日内の時間変化に敏感に影響を受け変化している。変動幅はほぼ 5~7℃程度である。一方、GL-300、GL-500の温度の時間変化は少なく、日々の平均的な気温変化に対応した変化を示した。

・GL-300 の温度に関し、各試験地区での特徴を表 2.2.1 に示す。平均温度は、約 16℃、温度変化は 16℃から 18.8℃であった。

試験地区	開始時温度℃	終了時温度℃	平均温度℃	温度変化℃
富津	27.3	8.5	16.2	18.8
東京	24.2	8.2	16.0	16.0
大阪	27.9	9.2	15.9	18.7

表 2.2.1 土壌温度の特徴(GL-300)

(1) 富津地区







図 2.2.2 土壌温度の推移(東京地区)



図 2.2.3 土壌温度の推移(大阪地区)

#### 2.3 土壌含水率の推移

水分センサーで計測した土壌含水率 (GL-100, GL-300, GL-500) を図 2.3.1 から図 2.3.3 に示す. ここでは、各地区の No.1 区画で取得したデータを示す。

#### 【富津】

・9 月は、降雨が多い影響を受けて、各深さの含水率は大きく変動しながら上昇し、9/29 の台風時降 雨で 53%に達した。その後、降雨が少なくなるに伴い、GL-100,GL-300、最後に GL-500 が変動し ながら徐々に低下する傾向を示した。この理由は、この地区の地下水位が GL-2.0m 程度と高く、深 くなる程含水率が高く維持され、低下し難いことが生じているものと考えられる。

#### 【東京】

・9 月は、富津と同様に、降雨が多い影響を受けて、各深さとも値が小さく変動したが、その後、GL-300、GL-500の値は、ほぼ 30%から 37%近傍で変動は少なくなった。GL-100の値のみが、降雨の 影響を受けて変動が継続した。

### 【大阪】

・9 月は、東京と同様に、降雨が多い影響を受けて、各深さとも値が 30%近傍で小さく変動したが、 その後、GL-100、GL-300 の値は、30%を下回り低位安定状態となった。GL-500 の値が他よりも若 干高く推移した。これは、地下水位が GL-3.0m と高いことが影響しているものと考えられる。



#### (1) 富津地区

図 2.3.1 土壌含水率の推移(富津地区)





図 2.3.2 土壌含水率の推移(東京地区)



(3) 大阪地区



#### 2.4 電気伝導率の推移

水分センサーで計測した各地区 No.1 区画での電気伝導率の推移を図 2.4.1 から図 2.4.3 に示す。 【富津】

・試験開始後1か月間、電気伝導率の変動が大きい。この要因は、降雨が多かったことだと考えられ る。すなわち、降雨により雨水が土壌に浸透することで含水率が上昇し、電気伝導率が大きくなる。 その後、降雨が止むと、土壌水がより深度に浸透し、含水率は低下して、電気伝導率は小さくなる。 GL-100、GL-300の値は、9月、10月は雨の影響を受け変動が多かったが、11月以降は降雨が少な く 0.08 から 0.1mS/cm 程度で安定した。

・GL-500 は、9/11 以降、11/14 まで電気伝導率はほぼ 0.5mS/cm 以上であったが、11/14 以降、 0.5mS/cm 以下での変動となった。これは、雨量が少なくなったことが原因と考えられる。

#### 【東京】

・富津に比べ、電気伝導率の変動幅は小さく、各深さとも値は 0.05 から 0.1 mS/cm の範囲にある。 この理由は、東京土壌が富津に比べ粘土分が多く、保水性が高いことにより降雨の影響を受け難いこ とが考えられる。

#### 【大阪】

・台風 24 号の影響を受けたと考えられる GL-500 を除き、東京と同様に電気伝導率の変動幅は小さ く、0.05 から 0.1 mS/cm の範囲にある。この理由は、大阪土壌も粘土分が多く、保水性が高いこと により降雨の影響を受け難いものと考えられる。

・GL-500 が、GL-100, Gl-300 よりも値が大きい理由は、地下水位が高く含水率が高く維持され、 電気伝導率が大きくなったものと考えられる。



## (1) 富津地区

図 2.4.1 電気伝導率の推移(富津地区)





図 2.4.2 電気伝導率の推移(東京地区)



(3) 大阪地区

図 2.4.3 電気伝導率の推移(大阪地区)

I. 土壌抵抗率の変動影響調査

3. 電気伝導率に影響を及ぼす因子分析

#### 3. 電気伝導率に影響を及ぼす因子分析

### 3.1 降雨直後の土壌抵抗率変化

降雨直後の電気伝導率の変化を分析するため、各地区で典型的なデータを抽出し図化した。

【富津】

・10/27 降雨直後からのデータを図 3.1.1 に示す。降雨直後に GL-100、Gl-300 の電気伝導率は瞬時 に上昇した。その後、GL-100 の値は区画により異なるが、2 日経過後において降雨直前の約 1.3 倍 の値まで戻った。GL-300 の値は、5 日後において約 2 倍の値まで戻った。GL-500 の値は、ほぼ 0.6 mS/cm で変化が観られない。

【東京】

・10/20 降雨直後からのデータを図 3.1.2 に示す。降雨量が 5mm/m<sup>2</sup>/10min.であるが、いずれの深 さにおいても値の変化は極めて小さい。

【大阪】

・9/30 降雨直後からのデータを図 3.1.3 に示す。降雨量が 4mm/m<sup>2</sup>/10min.であるが、GL-100、GL-300 の値の変化は極めて小さい。一方 GL-500 の値は降雨直後に上昇し、2 日程度経過した後、元の 値に戻った。GL-500 が他の深さよりも値が大きいことは、地下水位が高いことが原因と考えられる。



## (1) 富津地区

図 3.1.1 降雨後の電気伝導率の推移(富津地区)





図 3.1.2 降雨後の電気伝導率の推移(東京地区)



(3) 大阪地区

図 3.1.3 降雨後の電気伝導率の推移(大阪地区)

#### 3.2 土壌含水率と電気伝導率

土壌含水率と電気伝導率の関係を図 3.2.1 から図 3.2.3 に示す。

【富津】

・土壌含水率の変動範囲は、いずれの区画においても 30%から 60%であった。これに応じて電気伝 導率の変動範囲は、0.05 から 0.7mS/cm であった。

・全体的特徴は、凡そ3つの領域に分けられる。

領域I:30%から40%、土壌含水率が変化しても電気伝導率が一定で変化が観られない。 領域II:40%から50%までの相関領域、土壌含水率と電気伝導率との間に線形的相関関係がある。 領域III:50%以上の飽和領域II、少しの土壌含水率の増加に対して電気伝導率が大きく変化する。

【東京】

・土壌含水率の変動範囲は、いずれの区画においても 25%から 40%であった。これに対応した電気 伝導率は、殆ど変化なく、約 0.06mS/cm であった。

・全体的特徴は、上記の領域Iに近い。

【大阪】

・台風の影響を除くと、土壌含水率の変動範囲は、いずれの区画においても 20%から 35%であった。 これに対応した電気伝導率は、殆ど変化なく、約 0.06mS/cm であった。

・台風の影響を除くと、全体的特徴は、上記の領域Iに近い。





図 3.2.1 土壌含水率と電気伝導率(富津地区)













### 3.3 土壌抵抗率の深さ方向変化

土壌杖を用いて、深さ方向を 10cm ピッチで土壌抵抗率測定を行ったので、深さ方向変化の例を図 3.3.1 から図 3.3.3 に示す。

### 【富津】

・GL-100の土壌抵抗率は、10,000Ωcm以上で高い。

・GL-100からGL-200の間で急激に小さくなり、GL-500は5,000Ω程度と小さい。

・1 月になり GL-100 の土壌抵抗率が急激に大きくなり、20,000Ωcm 以上となった。更に GL-500 においても 10,000Ωcm 以上を示した。

### 【東京】

・12 月、土壌抵抗率は GL-100 で 10,000Ωcm 程度で、GL-500 まで線形的に小さくなる傾向であった。

・1 月になり GL-100 の値が急激に大きくなり、20,000Ωcm 以上となった。GL-100 から GL-200 の
間で急激に小さくなり、GL-200 から GL-500 までは緩やかに小さくなる傾向を示した。

### 【大阪】

・12月は、土壌抵抗率が GL-100 から GL-400 まで変化は少なく、10,000Ωcm 程度であった。

・1 月になり、GL-100、GL-200 の値が、急激に大きくなり 25,000Ωcm 以上となった。GL-100 か らGL-300の間で急激に小さくなり、GL-300からGL-500までは緩やかに小さくなる傾向を示した。



# (1) 富津地区

図 3.3.1 測定深さと土壌抵抗率(富津地区)





図 3.3.2 測定深さと土壌抵抗率(東京地区)



(3) 大阪地区



- I. 土壌抵抗率の変動影響調査
  - 4. 土壌杖の特性評価

#### 4. 土壌杖の特性評価

#### 4.1 土壌杖と水分センサーとの比較分析

3地区の水分センサーで連続測定した土壌抵抗率(温度補正無)と土壌杖を用いて間欠測定した土壌 抵抗率(温度補正無)との関係を図 4.1.1 に示す。次に、水分センサーで測定した土壌抵抗率(温度補 正有)と土壌杖で測定した土壌抵抗率(温度補正有)との関係を図 4.1.2 に示す。但し、GL-100 はバ ラツキが多いため、予めデータからは除いた。

尚、土壌杖には温度補正機能がないため、温度補正有は、JIS K0102(2013)の温度換算式(4.1)を用 いて T=25℃の抵抗率ρ<sub>T</sub>を求めた。水分センサーの温度補正無は、式(1)によりρtを逆算し求めた。

$$\boldsymbol{\rho}_{T} = \boldsymbol{\rho}_{t} \times \left(1 - \boldsymbol{\alpha}/100 \times (T - t)\right) \tag{4.1}$$

ここに、 $\rho_{T}$ : T<sup>°</sup>Cにおける抵抗率、 $\rho_{t}$ : t<sup>°</sup>Cにおける抵抗率、 $\alpha$ : 温度補正係数(%/°C)である。温度 補正係数については、水分センサーで設定されている値(2%/°C)を用いた。

・水分センサーと土壌杖による土壌抵抗率の温度補正無と温度補正有の場合に関して両者の相関関 係を分析した結果を表 4.1.1 に示す。若干、温度補正有の相関係数が大きいが、いずれの場合も強い 相関があるとの判断される結果となった。

・図 4.1.1 と図 4.1.2 において、ほぼ 5,000 Ω cm 以下では土壌杖の測定値が水分センサー測定値より も大きめに、5,000 Ω cm 以上で土壌杖測定値が小さめにでる傾向が観られる。この要因は、図 4.1.3 に示した土壌抵抗率と土壌含水率との関係が影響していると考えられる。すなわち、土壌含水率が飽 和に近い場合(土壌抵抗率が小さい)には、土壌杖を貫入することで土粒子間隔が狭まり、間隙水分 の逃げ場が無くなり排水され、土壌抵抗率が大きくなる。一方、土壌含水率が小さい場合(土壌抵抗 が大きい)には土壌杖の貫入により、土粒子間隔が狭まり土粒子間の水分が互いに接触し電気的導通 性が高くなり、土壌抵抗率が小さくなることが影響していると考えられる。

・いずれも場合もバラツキが観られ、この要因は、土壌杖測定の人的作業による誤差、水分センサー 測定位置と土壌杖測定位置の違いによる差、土壌特性の差、等であると考えられる。

※土壌抵抗の温度補正に関しては、K.Hayley らの論文(2007)があり任意温度に補正する式が提案されている。25℃への補正を考えた場合、上記式(4.1)と同じとなる。

温度補正有無	決定係数	相関係数	
無	0.481	0.694	
有	0.497	0.705	

表 4.1.1 相関分析結果



図 4.1.1 センサーと土壌杖の相関関係(温度補正無)



図 4.1.2 センサーと土壌杖の相関関係(温度補正有)



図 4.1.3 土壌抵抗率と土壌含水率の関係
## 4.2 温度補正による土壌抵抗率の変化

これまで土壌杖を用いた土壌抵抗率は、温度補正を行っていないが、温度補正を行った場合に測 定値にどのような影響があるのかを以下に検討を行った。なお、温度補正は、一般的な T=25℃の 土壌抵抗率に換算を行った。

各地区で測定された GL-300 の土壌抵抗率データを温度補正無の場合と温度補正有の場合に関して、各々のヒストグラムを作成し、併せて平均値、標準偏差を計算し、図 4.2.1 から図 4.2.3 に示した。

・平均値は、いずれの地区においても温度補正有は、温度補正無の約80%となった。これは本試験の開始した9月中旬以降、各試験地区の土壌温度は25℃以下となっており、温度補正に用いる換算 式の特性により温度補正を行うと小さい側の値に変換される為である。

・標準偏差は、温度補正有は温度補正無に対し富津では小さくなったが、東京、大阪では若干大き くなった。



統計量	補正無	補正有	比率
平均値	7900	6400	0.81
標準偏差	3840	2800	0.73

図 4.2.1 温度補正による変化(富津地区)



統計量	補正無	補正有	比率
平均值	9400	7930	0.84
標準偏差	2490	2870	1.15

図 4.2.2 温度補正による変化(東京地区)



図 4.2.3 温度補正による変化(大阪地区)

### 4.3 数値解析による土壌杖の特性評価

解析は、2次元有限要素法を用い、土壌杖の測定回路系を軸対称モデルで模擬した解析を行った。

## (1) 解析モデル

解析モデルの例として貫入深さ L=50cm のモデルを図 4.3.1 に示した。形状寸法はノンスケールと している。このモデルは、土壌を有限要素に分割し、土壌杖の電極界面に電気化学的な分極特性を考 慮したものである。なお、使用要素は全て 8 節点アイソパラメトリック、電導度要素とした。

- 1)解析に用いた境界条件:
  - ・先端電極部: アノード分極境界条件(図 4.3.2 参照)
  - ・棒状電極部: カソード分極境界条件(図 4.3.2 参照)
  - ・絶縁体: 絶縁境界条件(i=0)
  - ・地表面: 絶縁境界条件(i=0)
  - ・側面: 絶縁境界条件 (i=0)



図 4.3.1 解析モデル(貫入深さ L=50cm の例)

CASE1 について、均質である土壌の土壌抵抗率を 5,000、10,000、15,000Ωcm の 3 パターンに対し て解析を行った。

## 2) 電極の分極特性

各電極の分極特性は、図 4.3.2(a)に示すステンレス材料のインピーダンス特性 (ここでは、SUS304 水道水中でのインピーダンス特性、二重層容量  $C_{dl}=21.7 \times 10^{-6} \text{ F/cm}^2$ )を仮定し、測定装置の周波数 条件 f=800Hzのインピーダンス絶対値 $|Z|=9.17 \Omega \text{ cm}$ が分極抵抗となるよう、図 4.3.2(b)に示しア ノード分極特性、カソード分極特性を設定し解析に用いた。



(a)界面インピーダンス(SUS304 水道水中)



(b) 分極曲線図 4.3.2 電極の分極特性

## 3)解析条件

解析条件は以下のように設定した。

・測定周波数: f= 800Hz

・電極間過電圧: ΔE= 1.0 V

・土壌種類、貫入深さの組み合わせは以下の表 4.3.1 の通り。

CASE No.	土壤種類	深さ(mm)	土壤抵抗率 $\rho(\Omega cm)$	貫入深さ L(cm)
1-1	均質系	GL-0.0~GL-600	5,000	10, 20, 30, 40, 50
1-2	均質系	GL-0.0~GL-600	10,000	10, 20, 30, 40, 50
1-3	均質系	GL-0.0~GL-600	15,000	10, 20, 30, 40, 50
		GL-0.0~GL-200	15,000	10, 20, 30, 40, 50
2	不均質系	GL-200~GL-400	10,000	
		GL-400~GL-600	5,000	

表 4.3.1 解析条件組み合わせ

## (2) 解析結果

1) 電極界面における電位・電流分布特性

・例として、CASE1-2の貫入深さ L=50cm の電位分布を図 4.3.3 に示す。

(a)電位分布(全体)からは、絶縁部を中心として概ね上下±10cm、水平±10cmの領域において 等高線の間隔が密であり電位変化が大きい。すなわち大半の電流がこの領域に流れており、この領 域が主な測定領域と推測される。

(b)電位分布(先端部拡大)からは、絶縁部近傍、電極先端部において、電位変化が大きいことが 観られる。すなわち電流はこの領域に集中していることが推測される。

・土壌中を流れる電流密度ベクトル分布を図 4.3.4 に示す。ベクトル長さは始点における電流密度 の大きさを示している。この結果から判断すると、計測領域は上記よりも更に小さい領域、すなわ ち絶縁部を中心とした上下±5cm、杖軸心から水平±5cm の領域であると推測される。

・棒状電極部、先端電極部の界面における電流密度分布を図 4.3.5 に示す。先端部電極部では先端 及び絶縁部近傍で電流密度の集中が観られる。棒状電極部では絶縁部から数 cm の範囲に集中が観 られる。





図 4.3.4 電流密度ベクトル分布



図 4.3.5 電極界面の電流密度分

2) 土壌杖測定値と貫入深さの関係

均質系土壌を対象として解析した CASE1-1、CASE1-2、CASE1-3 の結果をもとに、土壌抵抗率 $\rho$ s 毎に貫入深さ L と表示土壌抵抗率 $\rho$ との関係を図 4.3.6 に示す。図のもとになった数値は表 4.3.2 に示す。表中で I は、電極間に 1.0V を印加した際に流れる電流 A/rad である。表示土壌抵抗率 $\rho$ とは、計測器に内部設定されている係数<sup>1)</sup> K=10.0 として算出した値である。比率とは、50cm における $\rho$ に対する各貫入深さ L での $\rho$ の比率である。解析セル定数とは、解析で評価した値である。

土壌抵抗率 $\rho$  s=5,000, 10,000, 15,000  $\Omega$ cm のいずれの場合においても以下のことが言える。

- ・表示土壌抵抗率ρは、ρsに対して小さく、例えば貫入深さ L=10cm で 96%、L=50cm で 85%
  となり貫入深さにより測定値が異なる。
- ・貫入深さが、L=20cm以上となると、誤差は5%以下となる。
- ・解析セル定数は、内部設定されている値と異なり、10.4~11.8となった。

(参考)

1) 係数は、K=物質の抵抗率 $\rho(\Omega cm)$ /測定回路の抵抗 R( $\Omega$ ) で定義されている。



図 4.3.6 CASE1 表示土壌抵抗率と貫入深さ

表 4.3.2 CASE1 解析結果の一覧

<u>土壌</u>	<u> 抵抗率                                   </u>	5,000	$\Omega  \text{cm}$			
L(cm)	I(A)	2πI(A)	表示土壤抵抗率 $\rho(\Omega cm)$	ρ/ρs	比率	解析セル定数
10	3.30E-04	2.07E-03	4,820	0.965	1.14	10.4
20	3.59E-04	2.26E-03	4,430	0.886	1.05	11.3
30	3.69E-04	2.32E-03	4,320	0.863	1.02	11.6
40	3.74E-04	2.35E-03	4,260	0.852	1.01	11.7
50	3.76E-04	2.36E-03	4,230	0.846	1.00	11.8

# 土壤抵抗率ρs= 10,000 Ωcm

L(cm)	I(A)	$2\pi I(A)$	表示土壤抵抗率 $\rho(\Omega cm)$	ρ/ρs	比率	解析セル定数
10	1.66E-04	1.04E-03	9,600	0.960	1.14	10.4
20	1.81E-04	1.13E-03	8,820	0.882	1.05	11.3
30	1.85E-04	1.16E-03	8,590	0.859	1.02	11.6
40	1.88E-04	1.18E-03	8,480	0.848	1.01	11.8
50	1.89E-04	1.19E-03	8,410	0.841	1.00	11.9

# <u>土壤抵抗率ρs= 15,000 Ωcm</u>

L(cm)	I(A)	2πI(A)	表示土壤抵抗率 $\rho(\Omega cm)$	ρ/ρs	比率	解析セル定数
10	1.11E-04	6.96E-04	14,400	0.958	1.14	10.4
20	1.21E-04	7.58E-04	13,200	0.880	1.05	11.4
30	1.24E-04	7.78E-04	12,900	0.857	1.02	11.7
40	1.25E-04	7.88E-04	12,700	0.846	1.01	11.8
50	1.26E-04	7.94E-04	12,600	0.840	1.00	11.9

### 3) 不均質系土壌を土壌杖で測定した場合(CASE-2)

各貫入深さでの測定時における電位分布を、図 4.3.7 に示す。各図には土壌層とその層における 土壌抵抗率を記載している。各貫入深さで計測した土壌抵抗率の解析結果を図 4.3.8 に、元になる 数値を表 4.3.3 に示す。尚、この表示土壌抵抗率の算出では、形状係数 K=10 とした。

・貫入深さ L=10cm、L=30cm、L=50cm では先端電極部は、各土壌層の中間に位置する測定条件である。この条件の時、測定値は、設定した土壌抵抗率の 87%~96%の値となっている。

・貫入深さ L=20cm, L=40cm では電極先端は、各土壌層境界に位置し、高い抵抗率側で測定する 条件である。この条件の時、測定値は、高い側の値に近いものの、設定した土壌抵抗率の 79%~ 86%の値となっており、各土壌層の中間で測定した場合に比べ、若干低い値を示す。



(a)貫入深さ L=10cm





図 4.3.7 不均質系土壌の電位分布



図 4.3.8 不均質系土壌における表示土壌抵抗率(CASE2)

	表	4.3.3	CASE2	解析結果-	-覧
--	---	-------	-------	-------	----

L(cm)	I(A)	2πI	表示土壤抵抗率 <i>ρ</i> 1(Ω cm)	先端電極位置の 土壌抵抗率ρ2(Ωcm)	ρ1⁄ρ2
10	1.10E-04	6.92E-04	14,500	15,000	0.96
20	1.24E-04	7.79E-04	12,800	15,000	0.86
30	1.81E-04	1.14E-03	8,800	10,000	0.88
40	2.01E-04	1.27E-03	7,900	10,000	0.79
50	3.65E-04	2.29E-03	4,370	5,000	0.87

4)構造物と土壌杖測定位置との距離による影響

コンクリート製の U 字溝や基礎等の近くで測定せざるを得ない場合、構造物と測定点との距離に より測定値に対してどの程度影響があるのかを数値解析的に調査した。

解析モデルは図 4.3.9 に示す通りで、高さ 110cm、半径 B の円筒形土壌の中心に土壌杖が深さ L=30cm 貫入されている条件を考えた。この条件で半径 B を変化させて、測定への影響を調査し た。その結果を図 4.3.10 に示す。図の元になった数値は表 4.3.4 に示す。

・土壌を円筒として仮定しているので、厳しい側の評価となるが、距離 B=10cm で 8%程度大きい 値と評価される。



図 4.3.9 解析モデル

図 4.3.10 構造物からの距離の影響

<u>_土壤抵抗率</u>	ρs=	5,000	$\Omega  \text{cm}$	L=30cm	
B(cm)	I(A)	2πI(A)	表示土壤抵抗率 $\rho(\Omega  \text{cm})$	ρ/ρs	比率
5	2.96E-04	1.86E-03	5,380	1.075	1.25
8	3.30E-04	2.07E-03	4,820	0.965	1.12
10	3.41E-04	2.14E-03	4,670	0.934	1.08
12	3.48E-04	2.19E-03	4,570	0.915	1.06
13	3.50E-04	2.20E-03	4,540	0.908	1.05
15	3.54E-04	2.23E-03	4,490	0.899	1.04
20	3.60E-04	2.26E-03	4,430	0.885	1.03
30	3.64E-04	2.29E-03	4,380	0.875	1.01
40	3.66E-04	2.30E-03	4,350	0.870	1.01
50	3.67E-04	2.31E-03	4,330	0.866	1.00
60	3.69E-04	2.32E-03	4,320	0.863	1.00

表 4.3.4 構造物からの距離による影響の解析結果

# Ⅱ. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査

調査内容:腐食深さと腐食生成物が固着した埋設環境下での埋設管の管対地電位の定量的な関係 を確認するために、以下の調査を実施する。

# 1. 既採取サンプル管残管の管表面電位と腐食状況の関係調査

# 2. 既採取サンプル管残管の長期埋設試験による管対地電位と腐食状況の関

# 係調査

#### 1. 既採取サンプル管残管の管表面電位と腐食状況の関係調査

H29 年度に回収保管されていた未ブラスト処理の長管 L=50cm×20 本に関して、外観調査後、室 内で電位測定した。この内、15 本はブラスト処理して腐食量調査を実施した。残り6本(亜鉛メッ キ管3本、アスファルトジュート巻管3本)は埋設試験(2018/8/28-2018/12/17)に供した。回収 後、再度室内で電位測定を行い、その後ブラスト処理して腐食量調査を実施した。

#### 1.1 外観調査

外観調査として、0時、3時、6時、9時方向の写真を撮影した。結果は付録1に示す。

#### 1.2 さびの分析

鋼管の埋設前後に採取したさびの分析結果を表 1.2.1 に示す。埋設前後とも鉄さびの一種である  $\alpha$ -FeOOH が検出された。その他土壌成分と考えられる SiO<sub>2</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>が検出され た。埋設前、鉄さびの一種である Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が亜鉛メッキ鋼管、アスファルトジュート巻き鋼管のさび から検出されたが、埋設後はアスファルトジュート巻き鋼管では検出されなかった。

物質タール学士	亜鉛め	っき鋼管	アスファルトジュート巻鋼管		
初貝石 化子式	埋設前	埋設後	埋設前	埋設後	
Goethite [ $\alpha$ –FeO(OH)]	0	0	0	0	
Lepidocrocite [ $\gamma$ -FeO(OH)]	$\diamond$	$\diamond$	-	-	
Magnetite [Fe3O4]	$\bigtriangleup$	$\bigtriangleup$	$\triangle$	-	
Quartz [SiO2]	Ø	O	O	Ø	
Kaolinite [Al2Si2O5(OH)4	$\bigtriangleup$	$\bigtriangleup$	$\diamond$	$\diamond$	
Albite [NaAlSi3O8]	$\bigtriangleup$	$\triangle$	$\triangle$	$\triangle$	
Microcline [KAISi3O8]	$\bigtriangleup$	$\bigtriangleup$	$\triangle$	$\Delta$	
Muscovite [KAI2(Si,AI)4O10(OH)2	$\bigtriangleup$	$\bigtriangleup$	$\diamond$	$\diamond$	
Calcite [CaCO3]	-	$\diamond$	_	$\diamond$	

表 1.2.1 鋼管表面付着物 さび分析結果

・各結晶相のメインピークの強度を**◎**>○>△で示した。また、ピークが微小であり、完全には同 定できない結晶相を**◇**で示した。

・結晶相のピーク強度比と存在比は必ずしも比例はしていない。

## 1.3 腐食量調査

試験体は外観調査を行った後、ブラストし、10cm に切断した。その後、腐食量計測を JIA で実施した。その結果は表 1.4.1 に示した。

## 1.4 電位測定

(1) 電位測定方法

電位は、埋設前後室内において、銀塩化銀電極(Ag/AgCl 電極)を用い、5cm ピッチ×(3 個所から 10 個所)で計測した。(図 1.4.1、写真 1.4.1)

最初0時方向に電位計をセットし、24時間連続測定した。その後、3,6,9時方向でそれぞれ5分間 連続測定を行った。



図 1.4.1 電位測定位置



写真 1.4.1

(2) 電位測定結果

電位測定の24時間経過後の値を各断面4方向で平均を求め、その後1と2、3と4、5と6、7と 8、9と10との平均を求め、管表面電位Aとした。その後、サンプルを切断、ブラスト処理し、最 大減肉量を測定した。これら結果を表1.4.1、表1.4.2 に示す。

今社々	頁	識別	抽题在	埋設経		測定結果(mm	)	腐食速度	管表面電位A	管表面電位B	回収時電位	備老
	Nb.	a與6万寸	生成牛	過年	最大肉厚	最小肉厚	最大減肉量	mm/√Y	V vs.CSE	V vs.CSE	V vs.CSE	(用 25
	1	01-101A-1	1980	37	3.32	0.77	2.55	0.419	- 0.567			
	2	01-101A-2	1980	37	3.20	0.73	2.47	0.406	- 0.490			
	3	01-101A-3	1980	37	3.07	0.96	2.11	0.347	- 0.557			
	4	01-101A-4	1980	37	3.04	0.92	2.12	0.349	- 0.513			
	5	01-101A-5	1980	37	3.09	0.64	2.45	0.403	- 0.531			
	6	01-101B-1	1980	37	3. 22	1.63	1.59	0.261	-0.672	-0.544		
北海道ガス	7	01-101B-2	1980	37	3. 23	1.12	2.11	0. 347	-0.627	- 0. 445	-0.493	(埋設試験)
KS	8	01-101B-3	1980	37	3. 21	1.06	2.15	0.353	-0.614	-0.473	01100	( = 8(3 + 5))
	9	01-101B-4	1980	37	3. 21	0.54	2.67	0. 439	-0.594	-0.419		
	10	01-101D-1	1980	37	3.34	1.21	2.13	0.350	- 0.578			
	11	01-101D-2	1980	37	3.37	1.41	1.96	0.322	- 0.589			
	12	01-101D-3	1980	37	3.20	1.59	1.61	0.265	- 0.563			
	13	01-101D-4	1980	37	3.30	1.42	1.88	0.309	- 0.589			
	14	01-101D-5	1980	37	3.22	1.21	2.01	0.330	- 0.569			
	15	05-121B-1	1966	51	3.44	2.40	1.04	0.146	- 0.555			
	16	05-121B-2	1966	51	3.56	2.33	1.23	0.172	- 0.608			
	17	05-121B-3	1966	51	3.36	2.42	0.94	0.132	- 0.643			
	18	05-121B-4	1966	51	3.40	2.29	1.11	0.155	- 0.602			
	19	05-121B-5	1966	51	3.32	2.62	0.70	0.098	- 0.654			
	20	05-121C-1	1966	51	3.52	2.29	1.23	0.172	- 0.564			
東京ガス	21	05-121C-2	1966	51	3.42	1.85	1.57	0.220	- 0.501			
KS	22	05-121C-3	1966	51	3.32	1.62	1.70	0.238	- 0.501			
	23	05-121C-4	1966	51	3.39	2.51	0.88	0.123	- 0.496			
	24	05-121C-5	1966	51	3.69	2.61	1.08	0.151	- 0.528			
	25	05-121D-1	1966	51	3. 23	2.51	0. 72	0.101	-0.677	-0.615		
	26	05-121D-2	1966	51	3. 15	2.49	0.66	0. 092	-0.663	- 0. 710	0 5 9 7	(冊記書陸)
	27	05-121D-3	1966	51	3.14	2.39	0.75	0.105	-0.666	- 0. 682	- 0.587	(埋設訊凞)
	28	05-121D-4	1966	51	3.19	2.61	0. 58	0.081	-0.597	-0.691		
	29	07-101A-1	1969	48	3.78	1.70	2.08	0.300	- 0.536			
	30	07-101A-2	1969	48	3.76	2.15	1.61	0.232	- 0.411			
	31	07-101A-3	1969	48	3.91	1.63	2.28	0.329	- 0.478			
	32	07-101A-4	1969	48	3.99	2.19	1.80	0.260	- 0.452			
中部ガス	33	07-101A-5	1969	48	3.94	1.59	2.35	0.339	- 0.413			
KS	34	07-101B-1	1969	48	4.19	2.28	1.91	0.276	- 0.518			
	35	07-101B-2	1969	48	3.97	2.51	1.46	0.211	- 0.525			
	36	07-101B-3	1969	48	4.08	1.70	2.38	0.344	- 0.528			
	37	07-101B-4	1969	48	3.95	1.52	2.43	0.351	- 0.436			
	38	07-101B-5	1969	48	3.95	1.63	2.32	0.335	- 0.480			
	39	08-103①-1	1968	49	3.82	2.89	0.93	0.133	- 0.339			
	40	08-103①-2	1968	49	3.85	1.67	2.18	0.311	- 0.404			
	41	08-103①-3	1968	49	3.87	0.83	3.04	0.434	- 0.313			
	42	08-103①-4	1968	49	3.85	2.22	1.63	0.233	- 0.369			
	43	08-103①-5	1968	49	4.16	1.30	2.86	0.409	- 0.299			
	44	08-1032-1	1968	49	3. 84	1.93	1.91	0. 273	-0.432	- 0. 358		
東邦ガス	45	08-1032-2	1968	49	3.80	1.07	2.73	0.390	-0.440	- 0. 438	0 202	(佃設書殿)
KS	46	08-103@-3	1968	49	3. 75	1.71	2.04	0.291	-0.441	-0.454	- 0.302	(生议武职)
	47	08-1032-4	1968	49	3. 72	1.66	2.06	0. 294	-0.456	-0.418		
	48	08-103@-1	1968	49	4.13	2.25	1.88	0.269	- 0.393			
	49	08-103④-2	1968	49	4.17	1.63	2.54	0.363	- 0.385			
	50	08-103④-3	1968	49	4.03	0.74	3.29	0.470	- 0.411			
	51	08-103④-4	1968	49	3.85	0.00	3.85	0.550	- 0.447			
	52	08-103④-5	1968	49	3.91	0.84	3.07	0.439	- 0.46			

表 1.4.1 管表面電位と最大減肉量・腐食速度その1 (11本分)

△社々	頁	三中 ワリ	細≂∿左	埋設経		測定結果(mm	)	腐食速度	管表面電位A	管表面電位B	回収時電位	<b>供</b> 求
云仙石	No.	高现 <i>力</i> リ	生政牛	過年	最大肉厚	最小肉厚	最大減肉量	mm∕√Y	V vs.CSE	V vs.CSE	V vs.CSE	111 25
	53	08-115①-1	1951	66	3.72	3.14	0.58	0.071	-0.649			
	54	08-115①-2	1951	66	3.79	3.27	0.52	0.064	- 0.706			
	55	08-115①-3	1951	66	3.60	3.23	0.37	0.046	- 0.728			
	56	08-115①-4	1951	66	3.69	3.15	0.54	0.066	- 0.725			
	57	08-115①-5	1951	66	3.75	3.14	0.61	0.075	- 0.658			
	58	08-115@-1	1951	66	3.66	3.29	0.37	0.046	- 0.73			
	59	08-115@-2	1951	66	3.70	3.12	0.58	0.071	-0.752			
東邦ガス	60	08-115@-3	1951	66	3.70	3.10	0.60	0.074	-0.721			
110	61	08-115@-4	1951	66	3.73	3.08	0.65	0.080	- 0.63			
	62	08-115@-5	1951	66	3.79	3.32	0.47	0.058	-0.667			
	63	08-1153-1	1951	66	3.94	3.29	0.65	0.080	- 0.55			
	64	08-1153-2	1951	66	3.80	3.31	0.49	0.060	-0.554			
	65	08-1153-3	1951	66	3.68	2.95	0.73	0.090	-0.606			
	66	08-1153-4	1951	66	3.83	2.93	0.90	0.111	-0.532			
	67	08-1153-5	1951	66	3.70	3.09	0.61	0.075	-0.515			
	68	09-122B-1	1973	44	4. 25	2.20	2.05	0.309	-0.449	- 0. 300		
	69	09-122B-2	1973	44	4. 43	2.21	2. 22	0. 335	-0.456	- 0. 359	-0.293	(埋設試験)
	70	09-122B-3	1973	44	4.49	2.21	2. 28	0.344	-0.442	-0.345		
	71	09-122C-1	1973	44	4. 42	1.45	2.97	0. 448	-0.217	- 0. 308		
大阪ガス	72	09-122C-2	1973	44	4. 35	1.62	2.73	0.412	-0.199	- 0. 356	0 077	(100 = n, = + EQ.)
AS	73	09-122C-3	1973	44	4. 29	2.63	1.66	0.250	-0.249	- 0. 398	-0.211	0.277 (埋設試験)
	74	09-122C-4	1973	44	4. 28	2.20	2. 08	0.314	- 0. 335	- 0. 420		
	75	09-122D-1	1973	44	4.30	2.40	1.90	0. 286	-0.538	- 0. 527		
	76	09-122D-2	1973	44	4. 31	2.87	1.44	0.217	-0.519	- 0. 569	-0.501	(埋設試験)
	77	09-122D-3	1973	44	4. 30	1.89	2.41	0.363	-0.493	- 0. 508		
	78	12-103A-1	1977	40	3.91	0.92	2.99	0.473	- 0.458			
	79	12-103A-2	1977	40	3.50	1.64	1.86	0.294	-0.482			
	80	12-103A-3	1977	40	3.82	2.74	1.08	0.171				
	81	12-103C-1	1977	40	3.74	1.23	2.51	0.397	-0.379			
	82	12-103C-2	1977	40	3.75	1.64	2.11	0.334	- 0.335			
西部ガス	83	12-103C-3	1977	40	3.60	2.55	1.05	0.166	-0.566			
KS	84	12-103C-4	1977	40	3.57	2.55	1.02	0.161	-0.562			
	85	12-103D-1	1977	40	3.70	2.78	0.92	0.145	- 0.595			
	86	12-103D-2	1977	40	3.55	2.66	0.89	0.141	- 0.609			
	87	12-103D-3	1977	40	3.56	2.27	1.29	0.204	- 0.598			
	88	12-103D-4	1977	40	3.75	2.04	1.71	0.270	- 0.530			
	89	12-103D-5	1977	40	3.61	1.79	1.82	0.288	-0.544			

表 1.4.2 管表面電位と最大減肉量・腐食速度その 2 (9 本分)

## 1.5 管表面電位と腐食量

調査対象とした長延長管 20本(亜鉛メッキ管 17体+アスファルトジュート巻き管 3本)の切断 前に測定した管表面電位 A と最大減肉量 H<sub>max</sub>、腐食速度 H<sub>max</sub>/√Y との関係を図 1.5.1,図 1.5.2 に 示す。

・最大腐食量 H<sub>max</sub> と管表面電位 A との決定係数は R<sup>2</sup>=0.443 (R=0.666) であり、相関があると判断される。

・腐食速度 H<sub>max</sub>/√Y との管表面電位 A との決定係数は R<sup>2</sup>=0.393 (R=0.627) であり、相関がある と判断される。



図 1.5.1 管表面電位 A と最大減肉量 H<sub>max</sub>



図 1.5.2 管表面電位 A と腐食速度 H<sub>max</sub>/√Y

2. 既採取サンプル管残管の長期埋設試験による管対地電位と腐食状況の関係調査

I.の1. 土壌埋設試験で実施した鋼管の電位モニタリングの結果を以下に記す。

#### 2.1 サンプル管電位の推移

新管2本、亜鉛めっき管3本、アスファルトジュート巻管3本の電位をそれぞれ図2.1.1、図2.1.2、 図2.1.3 に示す。以下に各管電位の特徴を記す。

【新管】

- ・2 つの新管とも同じ変動傾向を示した。即ち、埋設直後には高い電位を示し、その後、一定の期間 卑化し、10/9 頃以降、貴化傾向に転じ、上昇傾向を継続した。この卑化は、降雨が継続したことが 原因と考えられる。
- ・降雨直後、電位は貴化および卑化する傾向を示した。

【亜鉛めっき管】

・3 種類の鋼管電位は、それぞれ値は異なるものの、全体としてほぼ新管と同様な変動傾向を示した。

- ・10/20 以降、各管は、-0.3V, -0.5V, -0.6V で安定的に推移した。電位高さの順序は, 埋設前に室内で計測した電位と同じ順であった。
- ・新管と同様に、降雨直後、電位が貴化および卑化する傾向を示した。

【アスファルトジュート巻管】

- ・3 種類の鋼管とも、全体としてほぼ新管と同様な変動傾向を示した。
- ・10/20 以降はそれぞれ-0.28V、-0.3V、-0.5V で安定的に推移した。電位高さの順序は、埋設前に室 内で計測した電位とほぼ同じ順であった。
- ・新管と同様に、降雨直後、電位が貴化および卑化する傾向を示した。





図 2.1.1 電位の推移(新管)

## (2) 亜鉛めっき管の電位



図 2.1.2 電位の推移(亜鉛めっき管)



(3) アスファルトジュート巻管の電位

図 2.1.3 電位の推移 (アスファルトジュート巻管)

## 2.2 降雨直後の鋼管電位変化

2.1 に示した新管、亜鉛めっき管、アスファルトジュート巻管に関して、降雨直後の電位変化をそれぞれ図 2.2.1、図 2.2.2、図 2.2.3 に示す。以下に各管の特徴を記す。

【新管】

・2つの管とも降雨直後に急激に電位が貴化(約50mV)し、その後約1日で緩やかに卑化(約50mV)し、その後、数日を経て降雨前の電位に戻る傾向を示した。

【亜鉛めっき管】

- ・01-101-B は、降雨直後に電位が貴化することなく、卑化(約10mV)し、その後約3日経過し降 雨前の電位にもどった。
- ・05-121-Dは、降雨直後に電位が貴化(約30mV)し、約1日で元の電位に戻った。
- ・08-103-B は、降雨直後に電位が貴化することなく、卑化(約 50mV)し、その後約 5 日経過し降 雨前の電位にもどった。

【アスファルトジュート巻管】

- ・09-122-B、09-122-C は、降雨直後に電位が貴化することなく、卑化(B は約 20mV, C は約 100mV)し、その後、5 日以上降雨前の電位よりも卑な電位で推移した。
- ・09-122-D は、新管と同様な傾向を示した。





図 2.2.1 電位の変化(新管)

(2) 亜鉛めっき管



図 2.2.2 電位の変化(亜鉛めっき管)



(3) アスファルトジュート巻管

図 2.2.3 電位の変化 (アスファルトジュート巻管)

#### 2.3 電位変化がリスク評価に及ぼす影響

降雨後に電位の上昇と降下が認められた。つまり、一時的な上昇は6時間程度で元の電位に戻 り、その後卑化する。この変動量は最大で-50mVから-100mV程度で、この値が元の電位に戻るに は4日程度を要する場合がある。この変動量がリスク評価にどのような影響を及ぼすかを以下に検 討する。

別の検討課題の成果より、リスク評価に用いる最大減肉量  $H_{max}$ を予測する式として式(2.3.1)が得 られている。この式を用いて、Y=60 年、土壌抵抗率 $\rho$ =2,000~14,000 $\Omega$ cm、管対地電位 PS=-500 ~-200mV までの範囲で計算した  $H_{max}$ を表 2.3.1 示した。これに電位変動が-50mV あった場合の最 大減肉量の変動比率を表 2.3.2 に、電位変動が-100mV あった場合の変動比率を表 2.3.3 に示した。 この結果、 $H_{max}$ は、電位変動が-50mV の場合、7~11%程度小さく、電位変動が-100mV の場合、 14~23%程度小さく算定される結果となった。

$$H_{\rm max} = (0.371 + 565 \times 1/\rho + 0.000440 \times PS)\sqrt{Y}$$
(2.3.1)

管対地電位 PS(mV)		-500	-400	-300	-200
土壤抵抗率(Ωcm)	2,000	3.36	3.70	4.04	4.38
	4,000	2.26	2.60	2.95	3.29
	6,000	1.90	2.24	2.58	2.92
	8,000	1.72	2.06	2.40	2.74
	10,000	1.61	1.95	2.29	2.63
	12,000	1.53	1.88	2.22	2.56
	14,000	1.48	1.82	2.16	2.50

表 2.3.1 最大減肉量の計算結果(PS 変動無し)

表 2.3.2 最大減肉量の変動比率(PS が-50mV 変動)

管対地電位 PS(mV)		-550	-450	-350	-250	
	2,000	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	
2 cm	4,000	-0.08	-0.07	-0.06	-0.05	
土壤抵抗率(Ω	6,000	-0.09	-0.08	-0.07	-0.06	
	8,000	-0.10	-0.08	-0.07	-0.06	
	10,000	-0.11	-0.09	-0.07	-0.06	
	12,000	-0.11	-0.09	-0.08	-0.07	
	14,000	-0.11	-0.09	-0.08	-0.07	

表 2.3.3 最大減肉量の変動比率(PS が-100mV 変動)

管対地電位 PS(mV)		-600	-500	-400	-300	
	2,000	-0.10	-0.09	-0.08	-0.08	
上壤抵抗率(Ω cm	4,000	-0.15	-0.13	-0.12	-0.10	
	6,000	-0.18	-0.15	-0.13	-0.12	
	8,000	-0.20	-0.17	-0.14	-0.12	
	10,000	-0.21	-0.17	-0.15	-0.13	
	12,000	-0.22	-0.18	-0.15	-0.13	
	14,000	-0.23	-0.19	-0.16	-0.14	

## 2.4 管表面電位と腐食量

埋設試験に供した亜鉛めっき管3体、アスファルトジュート巻き管3体を回収後、室内で1.と 同様な方法で電位測定を実施した。その結果を管表面電位Bとした。その後、サンプルを切断、ブ ラスト処理し、最大減肉量を測定した。これら結果を表 1.4.1、表 1.4.2 に示す。管表面電位 B と最 大減肉量  $H_{max}$ 、腐食速度  $H_{max}/\sqrt{Y}$  との関係を図 2.4.1、図 2.4.1 に示す。

・最大腐食量 H<sub>max</sub> と管表面電位 B との決定係数は R<sup>2</sup>=0.702 (R=0.838) であり、強い相関がある と判断される。

・腐食速度  $H_{max}/\sqrt{Y}$  との管表面電位 B との決定係数は  $R^2$ =0.668 (R=0.817) であり、強い相関が あると判断される。



図 2.4.1 管表面電位 B と最大減肉量 H<sub>max</sub>



図 2.4.2 管表面電位 B と腐食速度 H<sub>max</sub>/√Y

- Ⅱ. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査
  - 3. 試験片を用いた対地電位と腐食状況の関係調査

# 3. 試験片を用いた対地電位と腐食状況の関係調査

各地区で回収した試験片の外観写真(除錆前,除錆後)を図 3.1.1 から図 3.1.3 に示す。 3.1 外観調査



図 3.1.1 試験体外観(富津地区)



図 3.1.2 試験体外観(東京地区)



図 3.1.3 試験体外観(大阪地区)

## 3.2 さびの分析

鋼板表面から採取したさびを X 線回折により分析した結果を表 3.2.1 に示す。3 地区とも鉄さ びの一種  $\alpha$  - FeOOH が検出された。その他、検出された SiO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> は土壌成分 由来と考えられる。

物質名·化学式	富津地区	東京地区	大阪地区	
Goethite [ $\alpha$ –FeO(OH)]	Δ	Δ	Δ	
Quartz [SiO <sub>2</sub> ]	O	O	Ø	
Calcite [CaCO <sub>3</sub> ]	Δ	Δ	Δ	
Albite [NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Δ	Δ	Δ	
Microcline [KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	
Muscovite [KAl <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	$\diamond$	$\diamond$	$\diamond$	
Anorthite [CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	$\diamond$	$\diamond$	_	

表 3.2.1 鋼板のさび分析結果

・各結晶相のメインピークの強度を◎>>△で示した。また、ピークが微小であり、
 完全には同定できない結晶相を◇で示した。

・結晶相のピーク強度比と存在比は必ずしも比例はしない。

# 3.3 腐食量調査

試験片回収後、酸洗を行い、重量測定を行い、腐食重量減、平均腐食速度を計算した。また、デ プスゲージを用いて試験片表裏の孔食深さを各 10 点計測し、最大減肉量 H<sub>max</sub>を求めた。 以上の結果を表 3.3.1 に示す。

地区	埋設深さ (mm)	試験片 No.	初期重量 (g)	酸洗後 <sup>(g)</sup>	重量減 (mg)	平均腐食速度 (mm/Y)	最大減肉量 (mm)	腐食速度 H <sub>max</sub> (mm/√Y)
	GL-100	No.5	179.265	174.502	4,762	0.065	0.284	0.451
富津	GL-300	No.3	179.149	174.900	4,249	0.058	0.351	0.557
	GL-500	No.1	180.806	175.312	5,493	0.075	0.250	0.397
東京	GL-100	No.11	180.702	178.651	2,050	0.031	0.161	0.268
	GL-300	No.9	179.342	175.858	3,484	0.052	0.190	0.316
	GL-500	No.7	177.986	174.510	3,476	0.052	0.231	0.384
大阪	GL-100	No.17	179.254	177.761	1,494	0.023	0.195	0.328
	GL-300	No.15	179.124	176.895	2,229	0.034	0.201	0.338
	GL-500	No.13	179.846	174.374	5,473	0.084	0.611	1.028

表 3.3.1 腐食量測定結果

#### 3.4 電位の推移

各地区で埋設された鋼板の電位の推移を図 3.4.1 から図 3.4.3 に示す。各図には雨量の推移も合わ せて記している。

【富津】

- ・埋設深さが異なる3つの鋼板は、埋設直後は高い電位であったが、9月中旬頃から卑化し-0.7V以下となった。その後10/9から10/21頃以降に貴化に転じ、その傾向が継続した。
- ・最終電位は GL-500 が最も貴で、次は GL-300、GL-100 の順である。
- ・電位は一定以上の降雨があると直後、電位が貴化および卑化し、その後元の電位に戻る傾向を示し た。
- ・降雨が継続すると卑化の状態で継続し、降雨量が少なくなると徐々に貴化する傾向を示した。

## 【東京】

- ・いずれの深さの鋼板も、当初より緩やかな貴化傾向を示した。
- ・GL-100、GL-300 は、降雨直後、電位が貴化および卑化し、その後元の電位に戻る傾向を示した。 【大阪】
- ・10/19 以降、GL-300 の試験片 No.15 の測定値が不安定化した為、12/7 に No.15 を予備試験片 No.16 に変更し、計測装置も交換した。したがって 10/19 から 12/7 までのデータは未記載とした。
  ・12/7 以降、GL-100,GL-500 の電位は降雨直後、電位が貴化および卑化し、その後元の電位に戻る
- 傾向を示した。



## (1)富津地区

図 3.4.1 試験片電位の推移(富津)

## (2) 東京地区



図 3.4.2 試験片電位の推移(東京)



(3) 大阪地区

図 3.4.3 試験片電位の推移(大阪)

## 3.5 降雨直後の鋼板電位変化

各地区における鋼板電位データの内、降雨直後からの電位データを抽出し、その変化を図 3.5.1 から図 3.5.3 に示す。

【富津】

・各埋設深さの鋼板とも降雨直後に電位は貴化し、その後、卑化した後、再度貴化傾向を示し、 徐々に降雨前の電位に戻る傾向を示した。

【東京】

・GL-100のみ降雨直後に電位は貴化し、徐々に降雨前の電位に戻る傾向を示した。

・GL-300、GL-500は、降雨の影響を受けず、変化は観られなかった。

【大阪】

・GL-100、GL-500 は降雨直後に電位は貴化し、徐々に降雨前の電位に戻る傾向を示した。

・GL-300のみ降雨の影響を受けず、変化は観られなかった。

以上のように降雨直後に電位が貴化し、その後卑化する現象は、降雨により土壌含水率が上昇す ることで、鋼表面の水膜厚さが増加し,酸素拡散が促進、抑制されることで電位の貴化、卑化が生 じたものと推測される。



#### (1) 富津地区

図 3.5.1 降雨直後の試験片電位変化(富津)





図 3.5.2 降雨直後の試験片電位変化(東京)



(3) 大阪地区



## 3.6 電位変動量の評価

表 3.6.1 に試験の初期電位 A と最終電位 C、そして変動量 C-A を示した。富津と大阪ついては 試験開始後、電位が低下した期間があるため、途中電位 B からの変動量 C-B も示した。

0.1V以上の電位上昇があった試験片に印○、0.0以上~0.1未満の電位上昇があった試験片に印 △、電位上昇がなかった試験片に印×とし表中に示した。

【富津】

・試験開始後、1カ月程度電位の低下した時期があったが、変動量 C-B が示すように明らかに上昇 傾向を示した。

【東京】

・試験開始後、1カ月程度は急な電位上昇傾向を示した。その後、GL-100 は低下傾向を示し、GL-300、GL-500 は緩やかな上昇傾向を示した。

【大阪】

・変動量 C-A、変動量 C-B が示すように試験期間中、明瞭な電位上昇が観られなかった。

地区	埋設深さ (mm)	試験片 No.	初期電位A	途中電位B	最終電位C	変動量C−A		変動量C-B	
富津	GL-100	No.5	-0.525	-0.724	-0.624	-0.099	×	0.100	0
	GL-300	No.3	-0.648	-0.758	-0.586	0.062	Δ	0.172	0
	GL-500	No.1	-0.709	-0.767	-0.576	0.133	0	0.191	0
	GL-100	No.11	-0.568	—	-0.585	-0.017	×	_	Ι
東京	GL-300	No.9	-0.598	—	-0.460	0.138	0	_	
	GL-500	No.7	-0.614	—	-0.486	0.128	0	_	Ι
大阪	GL-100	No.17	-0.596	-0.621	-0.557	0.039	Δ	0.064	$\Delta$
	GL-300	No.15	-0.597	-0.583	-0.556	0.041	Δ	0.027	Δ
	GL-500	No.13	-0.555	-0.574	-0.567	-0.012	×	0.007	Δ

表 3.6.1 電位の変動量

Ⅲ. 現地測定法を確立するための支配環境因子の影響調査及び現地測定法の評価における 調査結果まとめ

#### 1. 土壌抵抗率の変動影響調査

- 目的:土壌抵抗率が、土質、土被り、気候(温度、降水量等)によりどの程度影響を受けるかを 調査する。
- (1)土壌抵抗率の特性
  - 降雨があるとその直後、土壌抵抗率の値は小さくなり、降雨が少なく乾燥が続くと値は大きくなる。
  - 2 土被りが大きくなると降雨・乾燥の影響は小さくなる。ただし、砂分が多い土壌では、GL-300 においても降雨・乾燥の影響が大きい。
  - ③ 土被りが大きい場合でも、地下水位が高い土壌では、降雨の影響が大きくなる。地下水位が GL-2.0m, GL-3.0m 程度の土壌において、GL-500 の値が台風などの激しい降雨の影響を受け て極端に小さくなる現象が確認された。
  - ④ 温度変化による土壌抵抗率の変化は、2%/℃とされている。今回の調査で得た測定値に 2%
    /℃の温度補正を適用すると、土壌含水率が変動しない期間、各深さについてほぼ一定の土壌
    抵抗率を示した。
  - 総評:①~③により、測定前の降雨状態、土被り、地下水位が土壌抵抗率に大きく影響を及ぼ す。また、土壌抵抗率は温度により変動する。

(2)土壌杖の特性

- 土壌杖を地表面から 20cm 以上差し込むと測定値の誤差は 5%以内となる。また、実験では 土壌杖を地表面から 30cm 程度まで差し込むことで安定的に測定できることが確認された。
- ② 障害物から 10cm 以上離れて測定すれば、測定値の誤差は 10%以内となる。
- 総評:①により、土壌杖の貫入は一定の深さが必要である。②により、土壌杖の貫入位置は障害 物から一定距離離す必要がある。
## 2. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査

- 目的:腐食深さと腐食生成物が固着した埋設環境下での埋設管の管対地電位の定量的な関係を 確認する。
- (1)管対地電位の特性
  - 腐食生成物が付着したサンプル管の管表面電位と最大減肉量、腐食速度との間に高い相関が認められた。
  - ② 埋設試験後、室内で測定した管表面電位と最大減肉量、腐食速度との間に高い相関が認められた。
  - ③ 新規試験片の埋設試験において、腐食の進行に伴い、わずかな電位上昇の傾向が認められ た。
  - 総評:①、②により管の表面電位と腐食量、腐食速度との間に相関が認められたことにより、管 対地電位が腐食量、腐食速度と相関があることは肯定される。しかしながら、測定対象である 埋設管と照合電極の間に土壌があることで、そのバラツキが大きくなり、相関を弱めている要 因だとも考えられる。③により、腐食が進行することで表面電位が上昇傾向となることを改め て確認するこことができた。
- (2)管対地電位の測定
- ① 降雨が継続すると電位は低下し、降雨が少なくなると上昇する傾向がある。
- ② 降雨直後、電位は上昇、あるいは降下を示し、数日を経て元の電位に戻る傾向がある。その電位 降下量は、50~100mV程度であった。この降下量がリスク評価の最大減肉量推定値に及ぼす影響 は、7%~23%であった。
- 総評:①と②により、管対地電位は降雨の影響を受けることがわかった。

## IV. 現場測定方法に関する手順等の提案

I. 土壌抵抗率の変動影響調査,Ⅱ. 腐食生成物が管対地電位に及ぼす影響調査,Ⅲ.調査結果まと めを踏まえ,合理的なリスク評価を行う為の現場測定基準や測定手法の素案を示す。

今後のガイドライン改訂においては、現場での実運用を踏まえて現実的な測定手法を策定する必 要がある。

#### 1. 土壌杖を用いた土壌抵抗率測定

A.土壌抵抗率測定当日以前の気候状況を確認する。

- ・降雨が長期に継続している場合、もしくは台風等で豪雨が直前にあった場合は測定を さける。
- ・降雨のない状況が続いているようであれば、土壌抵抗率が高く測定される傾向にあるため 測定に際して注意が必要である。

(詳細は B 項の記載内容を参照)

- B.土壌杖を土表面から 30cm 程度に貫入させて土壌抵抗率を測定する。
  - ・構造物等の障害物が近くにないかを確認し、ある場合は 10cm 以上離して測定する。
  - ・降雨のない状況が続いている場合で土が乾いている場合は、例えば、その為の方策の一つと して、貫入した測定孔に水道水を適量注ぎ、土壌抵抗率を測定する。
- C.土壌の温度を測定し、温度補正を行う。
  - ・測定の一例として土壌杖を引き抜き、引き抜いた穴から土壌抵抗率の測定点の温度を 測定する。
  - ・温度補正は例えば温度変化と土壌抵抗率の関係が一般的に 25℃の土壌抵抗率を基準値と して 2% / ℃とされているため本補正を利用する。さらに本補正は測定点の温度が 25℃ より低い場合に温度補正を行う等が考えられる。

# 2. 管対地電位の測定

A.管対地電位測定当日以前の気候状況を確認する。

- ・降雨の多い梅雨の時期や、降雨が継続している時期には測定を避ける。
- ・降雨後4日間程度は測定を避ける。止むを得ず測定する場合には、測定の際にB.の内容を実施 する。
- B.気候状況に応じて、管対地電位の補正を行う。
  - ・降雨後、数日以内に電位を測定する場合はその条件等を報告書に記載した上で、例えば、 50~100mV 程度を加える等の電位補正を行う。

# 平成30年度 地方都市ガス事業天然ガス化促進対策事業 (経年埋設ガス管のリスク評価手法・基準開発事業) 報告書 ) <sup>平成31年3月発行</sup> 一般財団法人日本ガス機器検査協会 東京都港区赤坂1丁目4番10号 TEL 03(5570)5981 (代表) - 不許複製・禁無断転載 -