

# 地下施設建設時の安全性確保に係る 科学的有望地選定要件・基準の候補

2015年2月  
原子力発電環境整備機構



# はじめに

---

地下施設建設時の安全性確保に係る科学的有望地選定要件・基準の候補について以下の構成で整理する。

- 要件・基準の候補抽出の手順
- 回避に関する要件・基準
- 好ましい要件・基準
- まとめ

# 要件・基準の候補抽出の手順

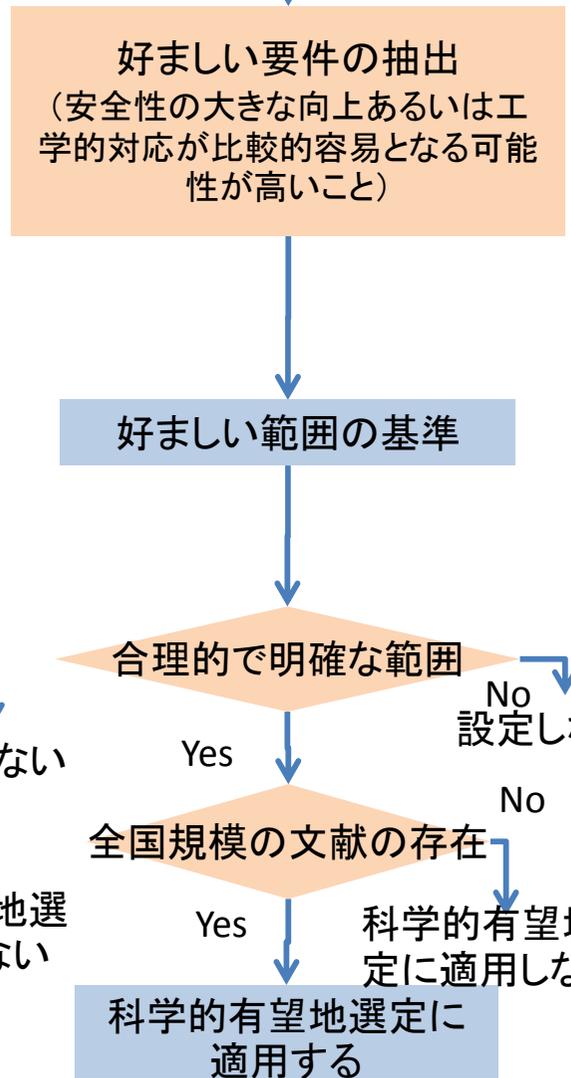
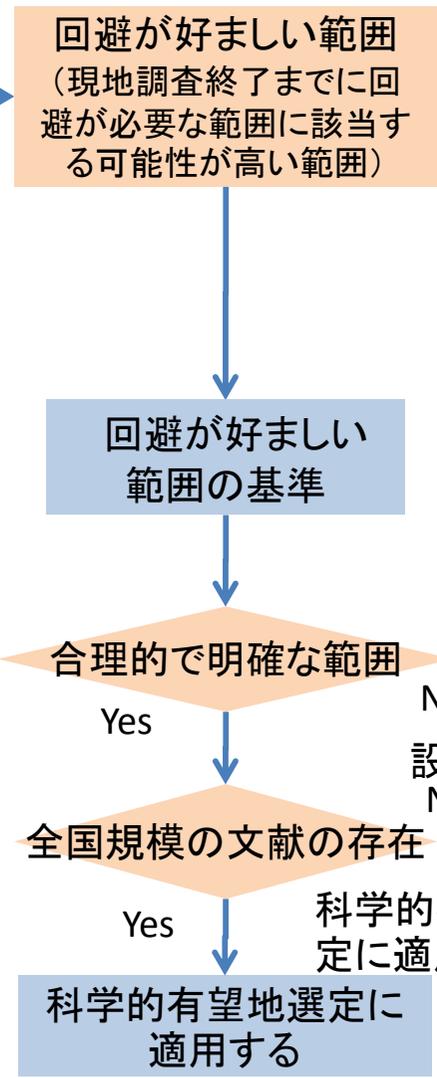
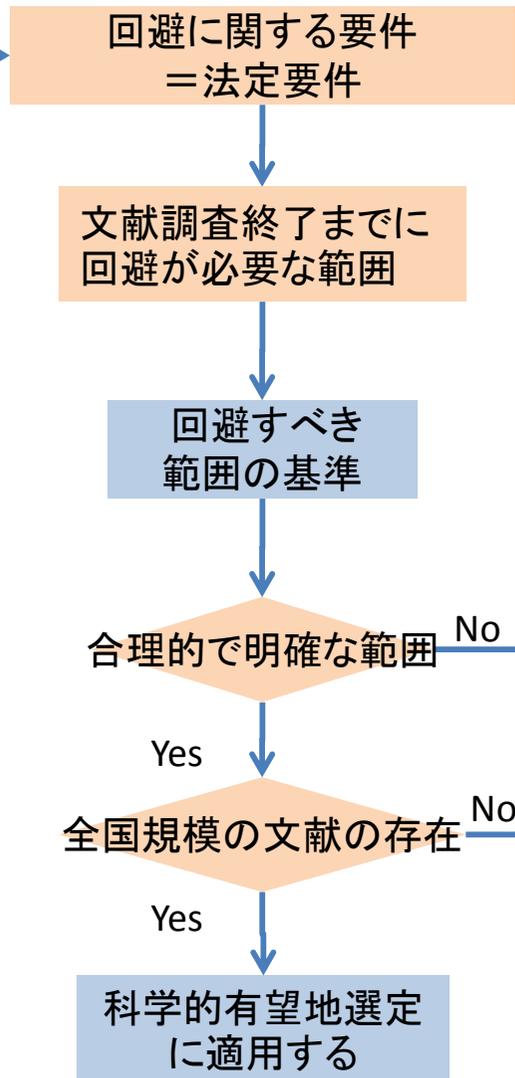
【地下施設建設時の安全性】

考慮すべき事項

- 第3回処分技術WG
- 土木学会基準等

回避対象：第四紀未固結堆積物

工学的対応が困難となる可能性のある事象



# 地下施設建設時に考慮すべき事象抽出の考え方

- 第9回処分技術WGにおいて、地下施設建設時の安全確保に関して、以下の基本的考え方を示している。
  - 安全性確保の基本的考え方
    - 地下施設の建設から閉鎖までの期間中は、作業従事者の安全が確保されるよう、地下施設の空洞の力学的安定性等を確保する必要がある。
    - 地質環境特性の調査・評価結果を踏まえて、合理的な工学的対策を実施する。
    - 地下施設建設時の安全性は、段階的に進めるサイト調査、設計によって担保される。
    - 検討に必要な情報は、主に概要調査・精密調査の段階で得られる。
- 地下施設建設においては、深度300m以深での施設建設における工学的難易度を評価する。
  - 「安全性確保の観点から工学的対応が著しく困難である可能性のある事象」については、回避に関する要件・基準を検討する。
  - 同時に、「積極的に考慮することで地層処分システムの安全性が大きく向上する、あるいは安全性確保の観点から工学的対応が比較的容易になる可能性の高い」好ましい要件・基準も検討する。
- 上記の検討方針を踏まえ、第3回処分技術WG、土木学会等の学会基準(トンネル設計・施工基準、地層処分の法定調査における考慮事項※等)を参考に、地下施設建設時に考慮される事象を抽出する。

※「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」(2001.8)、「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)

# 要件・基準検討で考慮すべき事象

- 地下施設建設において、作業従事者の安全性確保の観点から工学的対応が困難となる可能性のある事象を抽出した。
- 回避に関する要件・基準：7事象のうち、法定上概要調査地区選定段階において、回避が要求されている事象を検討の対象とする。
- 好ましい要件・基準：7事象を対象に、既往のトンネル工事実績等を踏まえ、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となる可能性が高くなるかについて検討する。

安全性確保上の懸念事象	想定される事故の内容	工学的対応策の例	工学的対応の可否
未固結地山	坑道崩落	グラウト等による全域を対象とした地山改良	著しく困難
高温の地盤	地温が著しく高い場合、コンクリート支保の性能低下による坑道崩落	必要に応じ支保再設置	程度によっては著しく困難
	地温が著しく高い場合、湧水が水蒸気で噴出、また作業環境の悪化による健康被害	換気設備等の増強	程度によっては著しく困難
膨張性地山	膨張量が大きい場合、坑道内空の狭小化による廃棄体運搬が困難、坑道崩壊	支保再設置 グラウト等による地山改良	程度によっては著しく困難
山はね	山はね量が激しい場合、坑壁から岩片が飛散。坑道崩落。	掘削前のモニタリング管理等	程度によっては著しく困難
泥火山	異常間隙水圧、ガス噴出量が大きい場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発。地温が高い場合、作業従事者のやけど。	グラウト等による地山改良 換気設備等の増強	程度によっては著しく困難
湧水	地下水が多く、断層などの水みちが多い場合、突発大量出水	グラウト等による出水抑制	程度によっては著しく困難
有害ガス	ガス噴出量が大きい場合、作業従事者のガス中毒・酸欠、ガス爆発	換気設備等の増強	程度によっては著しく困難

- 安全性確保の観点から工学的に対応が困難となる可能性のある7つの事象のうち、法定上概要調査地区選定段階において回避が要求されている事象を対象に要件・基準を検討

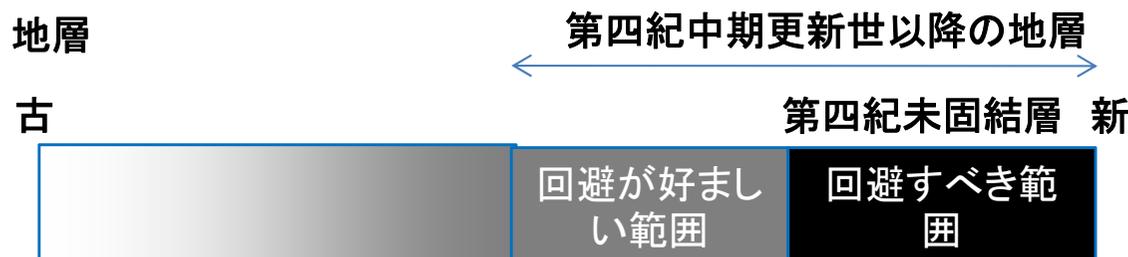
### ➤ 未固結地山

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律施行規則 第六条第二項第一号

当該概要調査地区として選定しようとする地区内の最終処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であることの記録がないこと。

# 回避に関する要件・基準：未固結地山（1）

- ◆要件
  - 処分場の地層が第四紀の未固結堆積物でないこと
- ◆文献調査終了までに回避が必要な範囲
  - 処分深度に第四紀の未固結堆積物が分布する範囲（法定要件）
- ◆回避すべき（適性が低い可能性が極めて高い）範囲を評価するための基準
  - 処分深度に第四紀未固結堆積物が分布する範囲
  - 第四紀の未固結堆積物は法定上文献調査終了までに回避することとなっていることから。ただし、全国規模の文献・データがないため、当該範囲を適用することができない。
- ◆回避が好ましい（適性が低い可能性が高い）範囲を評価するための基準
  - 深度300mまで中期更新世～完新世の地層が分布する範囲
  - 未固結堆積物に相当するものとして、沖積層と一部洪積層が想定される（2006年版トンネル標準示方書[山岳トンネル]）ことから。
- ◆全国規模の文献・データ（回避が好ましい範囲に相当）
  - 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル（越谷・丸井，2012）



## 回避に関する要件・基準：未固結地山（2）

◆沖積層や一部洪積層を形成する未固結ないし固結度の低い砂質土や礫質土ならびに火山灰、火山礫、軽石等からなる火山噴出物等が未固結地山と呼ばれる。（出典：土木学会（2006）：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説）。なお、土木学会で使用している未固結地山は法定上の未固結堆積物と同義と想定される。

◆一部洪積層として中期～後期更新世の地層を整理した全国文献があることから、回避が好ましい範囲として、中期更新世～完新世の地層とする。

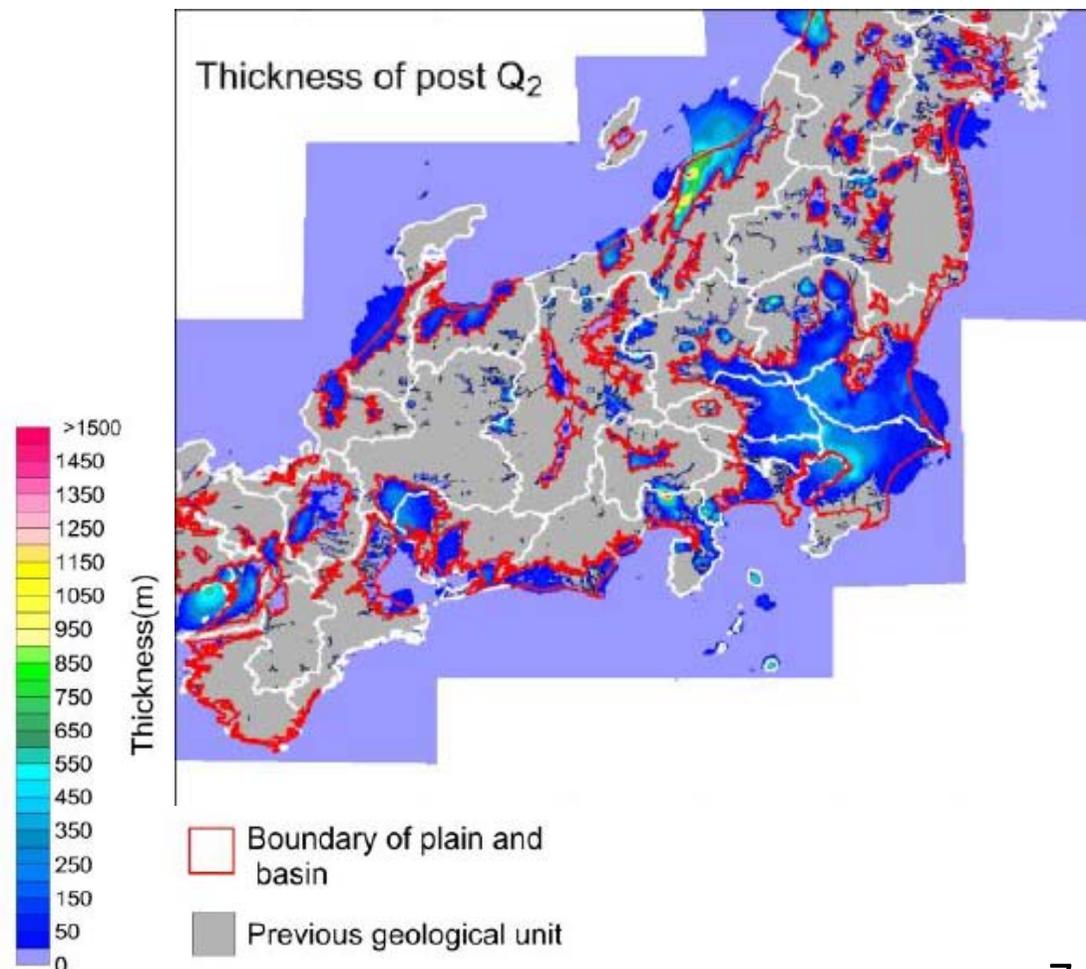
地質年代区分（2009～）

紀	世	期
第四紀	完新世 (沖積世)	(約1万年前～)
	更新世 (洪積世)	後期(約13万年前～)
		中期(約78万年前～)
		カラブリアン(約181万年前～)
		ジェラシアン(約258万年前～)

◆日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(越谷・丸井, 2012)

(内容)

- ・日本列島における基準地域メッシュ(約1kmメッシュ)あたりの地層境界面と層厚の三次元モデルのデジタルデータ
- ・数値地質図とボーリングデータから地球統計学的手法を用いて構築
- ・各ボーリング位置について、新第三紀(N1、N2、N3)から第四紀(Q1、Q2以降)までの5つの地層の境界面の標高と層厚のデータ(Q2: 第四系中期更新世)



- 工学的対応が困難となる可能性のある7つの事象に対し、どのような基準を適用することが、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易になる可能性が高くなるか検討
  - 未固結地山
  - 高温の地盤
  - 膨張性地山
  - 山はね
  - 泥火山
  - 湧水
  - 有害ガス

# 好ましい要件・基準：未固結地山への対応

## ◆要件

- 未固結地山への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること

## ◆未固結地山への対応

- トンネル工事において施工の容易さを測る目安として地山強度比を用いる。通常、地山強度比が2以上の地層は未固結堆積物ではなく、固結した岩盤であり、施工上好ましいとされている。
- 処分深度300mの場合、地盤単位体積重量を $0.002\text{kgf/cm}^3$ とすると、一軸圧縮強度は $120\text{kgf/cm}^2$ 以上必要。

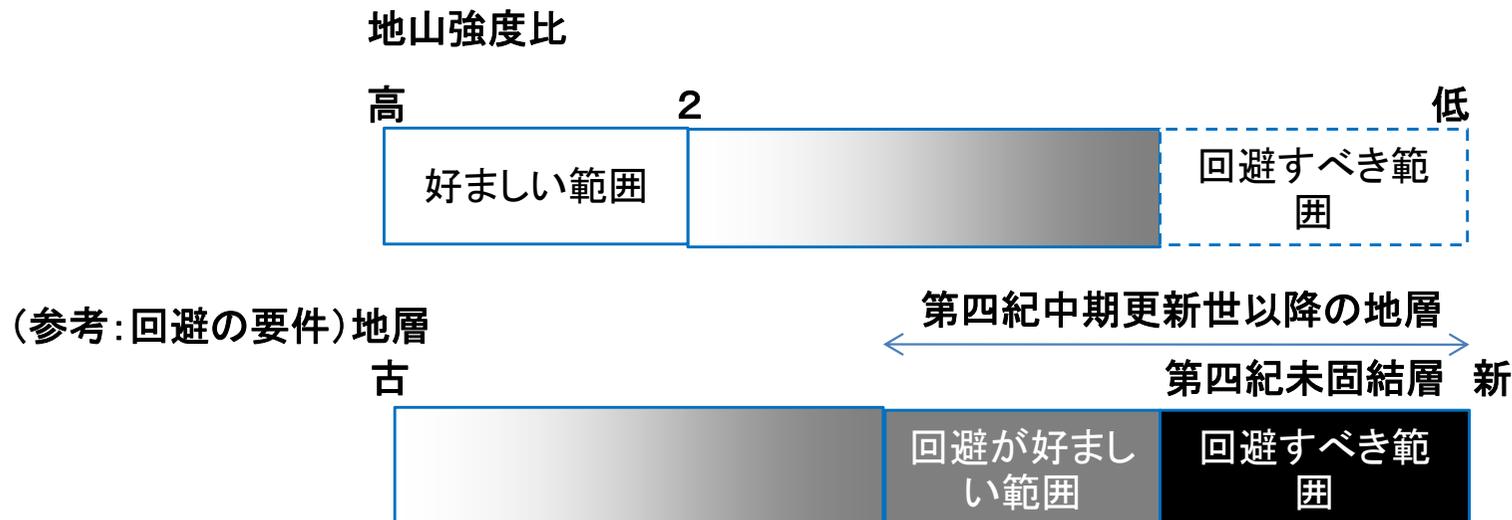
$$\text{地山強度比} = q_u / \gamma \cdot H$$

ここに、 $q_u$ : 地盤の一軸圧縮強度、 $\gamma$ : 地盤単位体積重量、 $H$ : 土被り厚さ(=深度)

## ◆好ましい範囲の基準

- 処分深度において地山強度比が2以上の地層が分布している範囲
- ※ただし、全国規模の文献・データがないため、当該範囲を判断することができない。

## ◆全国規模の文献・データ



# 好ましい要件・基準：高温の地盤への対応（1）

- ◆要件
  - 高温の地盤への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること
- ◆高温の地盤への対応
  - 坑内温度は、法令（労働安全衛生規則 第611条）で定められる温度（37℃）以下に維持する必要がある。
  - 「高温の地盤への対応」として、トンネル工事などで通常使われる工学的対策（坑内温度維持の場合、換気設備）で対応できる地温である場合、工学的対策は容易となる。
  - トンネル工事などで通常使われる換気設備だけで坑内温度37℃以下にするためには、地温が45℃程度以下であることが目安となるものと考えられる。
- ◆好ましい範囲の基準
  - 処分深度で45℃以下を確保できる地温勾配の地域※  
※地上温度15℃、上限地温が45℃程度とすると、処分深度が300mの場合で10℃/100m以下
- ◆全国規模の文献・データ
  - 日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布（日本地質学会リーフレット，2011）
  - 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース（産業技術総合研究所，2004）

## 地温勾配



# 好ましい要件・基準：高温の地盤への対応(2)

(労働安全上の制限温度)

坑内温度については、長期間坑内温度が高い状態が続く場合、作業従事者の健康を阻害する可能性があり、法令(労働安全衛生規則 第611条)で定められる温度(37°C)以下に維持する必要がある。

地温が37°Cを超える場合には、工学的対策を実施して坑内温度を37°C以下にする必要がある。なお、トンネル工事などで通常使われる工学的対策(この場合、換気設備)だけで対応する場合、地温が45°C程度であれば、坑内温度37°C以下にすることが可能である。

## ■ 必要な換気量の概算例

前提:

- ・熱量の供給は坑道壁面の岩盤からの伝熱によるもののみとする(湧水からの放熱量や作業に必要な機械からの発熱は考慮しない)
- ・地上温度15°C、立坑内径:6.5mとして、坑内温度37°C以下(労働安全衛生法)、風速7.5m/s以内(鉱山法)となる地温を算出(地上温度10°C、5°Cの場合も感度分析として実施)

$$Q_{5a} = \frac{\alpha \cdot (\theta_s - \theta_t) \cdot S}{C_p \cdot (\theta_t - \theta_0)} \cdot \frac{1}{60\gamma}$$

$Q_{5a}$  : 所要換気量 (m<sup>3</sup>/min.)

$\alpha$  : 壁面の熱伝達率(ここでは20.9 kJ・m<sup>-2</sup>・h<sup>-1</sup>・°C<sup>-1</sup>とした1))

$C_p$  : 空気の定圧比熱(1.003 kJ・kg<sup>-1</sup>・°C<sup>-1</sup>)

$\theta_s$  : 岩盤温度(°C)

$\theta_t$  : 作業空間の管理温度(ここでは37°Cとした)

$\theta_0$  : 切羽への送気温度(ここでは15°Cとした)

$S$  : 放熱面積 (m<sup>2</sup>), 定置方式を横置きとし、坑道径を  $\phi=2.2$  mとした。  
また、熱量の供給がある坑道の延長は、1つの処分パネルに含まれる処分坑道延長(約20 km)とした

$\gamma$  : トンネル内の空気の比重量(ここでは1.2 kg / m<sup>3</sup>とした)

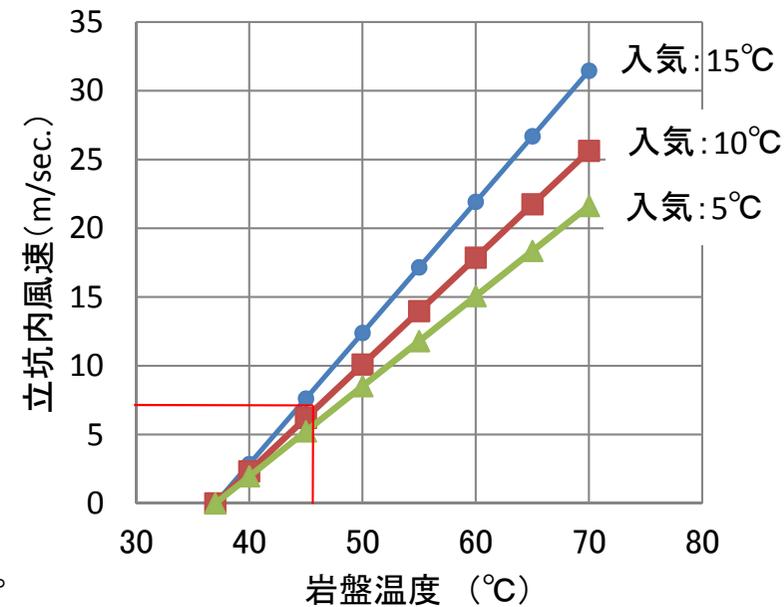


図-1 岩盤温度と立坑内風速の関係

1) 建設業労働災害防止協会(2012):新版 ずい道等建設工事における換気技術指針<換気技術の設計及び粉じん等の測定>.

## 好ましい要件・基準：高温の地盤への対応(3)

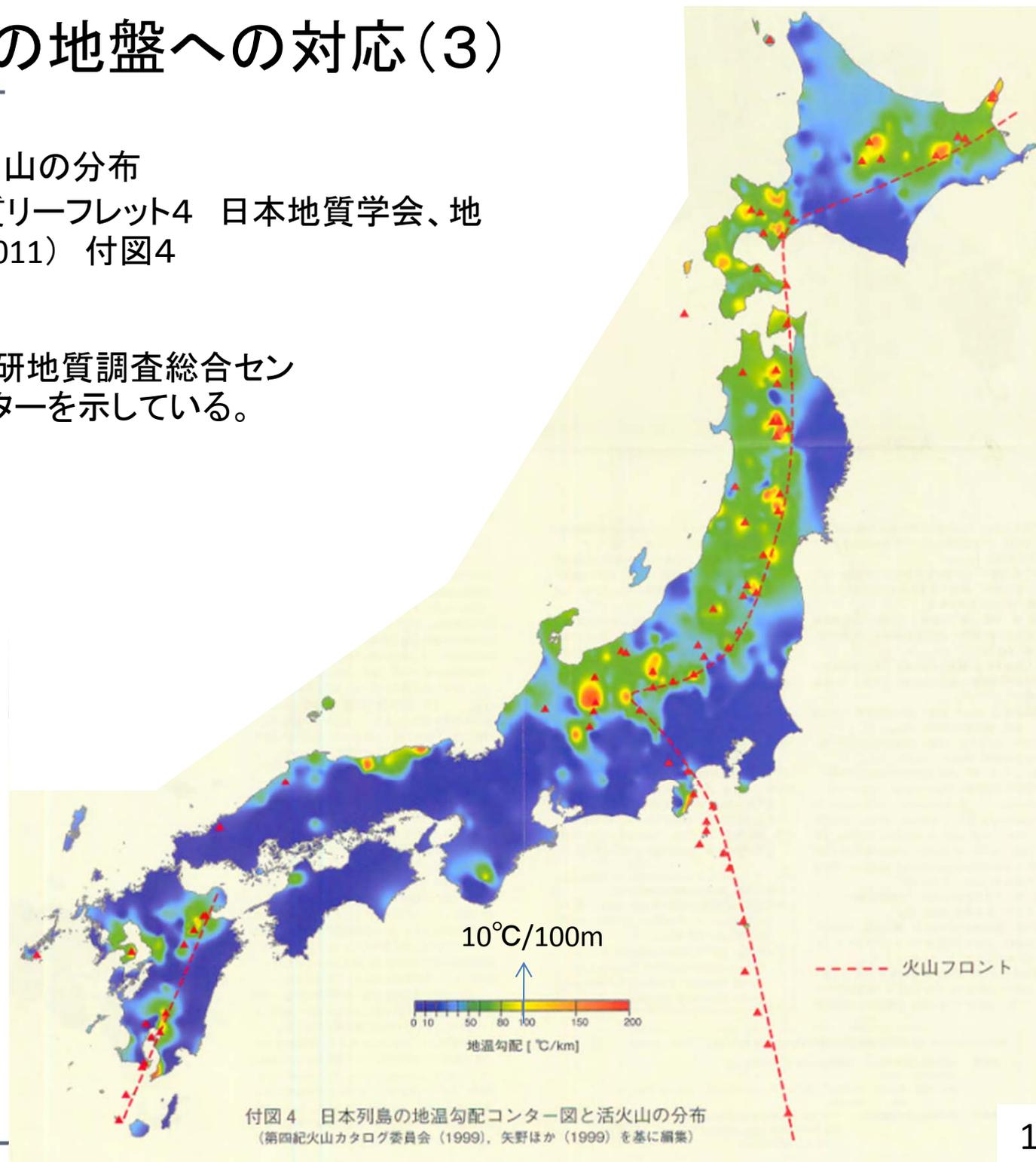
※全国規模の文献・データの例

◆日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布

日本列島と地質環境の長期安定性(地質リーフレット4 日本地質学会、地質環境の長期安定性研究委員会 編 2011) 付図4

(内容)

日本列島地温勾配図(矢野ほか, 産総研地質調査総合センター, 1999)を基にして、地温勾配のコンターを示している。





# 好ましい要件・基準：膨張性地山への対応

---

- ◆要件
  - 膨張性地山への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること
- ◆膨張性地山への対応
  - 膨張性地山の原因については、吸水膨張説、高圧のガス・間隙水圧説等があり、安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易になる地山膨張性の程度を判断するのは難しい。
- ◆好ましい範囲の基準
  - (「膨張性地山への対応」に関し、好ましい要件を満たすような明確な基準値を設定することは難しいと考えられる)
- ◆全国規模の文献・データ
  -

# 好ましい要件・基準：山はねへの対応

- ◆要件
  - 山はねへの対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること
- ◆山はねへの対応が工学的対応に与える影響
  - 山はねは岩石の弾性歪エネルギーが急激に解放されること等に起因すると考えられるが、詳細な発生機構については明らかになっていないため、安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易になる山はねの程度を判断するのは難しい。
- ◆好ましい範囲の基準
  - (「山はねへの対応」に関し、好ましい要件を満たすような明確な基準値を設定することは難しいと考えられる)
- ◆全国規模の文献・データ
  -



# 好ましい要件・基準：泥火山への対応

---

- ◆要件
  - 泥火山への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること
- ◆泥火山への対応
  - 泥火山は周辺より著しく高い間隙水圧やメタンなどのガス圧が原因で発生することが知られているが、安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易になる泥火山の程度を判断するのは難しい。
- ◆好ましい範囲の基準
  - (「泥火山への対応」に関し、好ましい要件を満たすような明確な基準値を設定することは難しいと考えられる)
- ◆全国規模の文献・データ
  -

# 好ましい要件・基準：湧水、有害ガスへの対応

## ◆要件

- 湧水、有害ガスへの対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること

## ◆湧水、有害ガスへの対応

- 大規模湧水はカルストを形成しやすい石灰岩、泥灰岩などの地層において発生する可能性が高い。
- ガスが発生する可能性のある場所としては、油田・ガス田・炭田地域が知られている。また、火山性ガスは火山・火成活動地域で発生する。
- 上記を踏まえても、安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易になる湧水、有害ガスの程度を判断するのは難しい。

## ◆好ましい範囲の基準

—  
（「湧水、有害ガスへの対応」に関し、好ましい要件を満たすような明確な基準値を設定することは難しいと考えられる）

## ◆全国規模の文献・データ

—

# まとめ(1)

## 回避に関する要件・基準

事象	要件	区分	回避すべき範囲の基準	全国規模の文献・データ
未固結地山	処分場の地層が第四紀の未固結堆積物でないこと	回避すべき範囲	— (処分深度における第四紀未固結堆積物層の分布範囲)	—
		回避が好ましい範囲	深度300mにおける第四紀中期更新世以降の地層の分布範囲	•日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(越谷・丸井, 2012)
		未設定(文献調査以降に回避)	—	—

□: 今回抽出した基準の候補

# まとめ(2)

## 好ましい要件・基準

事象	要件	好ましい範囲の基準	全国規模の文献・データ
「未固結地山」への対応	未固結地山への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること	— (処分深度において地山強度比2以上の地層が分布している範囲)	—
「高温の地盤」への対応	高温の地盤への対応に際し、安全性が大きく向上する、あるいは安全性を確保する上で工学的対応が比較的容易となること	処分深度で45℃以下を確保できる地温勾配の地域	<ul style="list-style-type: none"> <li>•日本列島の地温勾配コンター図と活火山の分布(日本地質学会リーフレット, 2011)</li> <li>•日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース(産業技術総合研究所, 2004)</li> </ul>

□: 今回抽出した基準の候補



---

# 参考資料

- トンネル設計・施工に関する土木学会基準である「2006年版トンネル標準示方書 山岳工法・同解説」で記載されている特殊地山の対象は以下の通り。

## 第1章 特殊地山のトンネル

### 第1節 通 則

#### 第147条 特殊地山のトンネル一般

次に示すような特殊地山のトンネルの設計, 施工にあたっては, それぞれの地山の性状に適応した安全で, 経済的な対策を検討しなければならない。

- (1) 未固結地山のトンネル
- (2) 膨張性地山のトンネル
- (3) 山はねが生ずる地山のトンネル
- (4) 高い地熱, 温泉, 有害ガス等がある地山のトンネル
- (5) 高圧, 多量の湧水がある地山のトンネル

## (参考)学会基準等から工学的対応が困難となる可能性のある事象の抽出

● 地層処分のサイト選定に係る土木学会報告書「概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方」(2001.8)、「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)に記載されている建設時の考慮事項は以下の通り。

建設に係る検討項目	概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方	精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方
火成活動	地温勾配は小さいことが好ましい。	地温は低いことが好ましい。
岩体の規模、形状	なるべく均質で、地質構造が単純であり、なるべく大きな岩体が好ましい。	・地質構造が単純で、均質で大きな岩体が好ましい。 ・十分に強度のある岩体で、地山強度比が大きく、強度特性と変形特性が施工の観点から合理的な範囲であることが望ましい。
岩盤の力学特性	第四紀未固結層は掘削が困難であることから回避する必要がある。	第四紀未固結層は法定要件に基づき回避する。
膨張性地山	技術的には掘削は不可能ではないが、膨張性地山の分布が予想される地域は回避が好ましい。	膨張性に関わる粘土鉱物(スメクタイトなど)の含有量が少ない岩種・岩体が好ましい。
湧水	技術的には掘削は不可能ではないが、大湧水の発生が予想される地域は回避が好ましい。	掘削時の湧水量が少ないことが好ましい。
有害ガス	技術的には掘削は不可能ではないが、著しいガス突出が予想される地域は回避が好ましい。	メタンガス、二酸化硫黄、硫化水素などの有害ガスの発生が少ない岩体であることが好ましい。
山はね	技術的には掘削は不可能ではないが、山はねの発生が予想される地域は回避が好ましい。	山はねの兆候を示すコアディスキングなどが少ない岩体であることが好ましい。
泥火山 (異常間隙水圧)	発生に伴う急激な流体の移動が施工に著しい影響を及ぼすと想定される場合は、異常間隙水圧開放により泥火山が発生すると想定される地域を回避する必要がある。	処分場に貫入したら長期安定性に影響。また建設時に遭遇した場合、高い間隙水圧やガスを有し施工性に大きな影響を及ぼすことから、間隙水圧が異常高圧となっている地層が存在する地域は回避が好ましい。

# (参考) 高温の地盤

## (高温の地盤の性質)

掘削時に高温の湧水が発生した時には作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。また、坑内温度が高い場合に作業従事者の健康を阻害する可能性もある。

なお、高温の地盤を考慮するにあたり、以下の2点を考慮する。

- ・トンネル支保の安全性(コンクリートの性能が劣化しない温度)
- ・工事従事者の作業環境(高温湧水や労働安全衛生法上の制限温度)

## (コンクリートの制限温度)

コンクリートの性能劣化は坑道崩壊につながることから、コンクリートの制限温度を評価する。

表-1に示す温度制限値は、コンクリートの材料特性が温度の影響を受けて著しく劣化することがないように定めたものである。

一方で、高温の地盤を通過する工事事例として、安房トンネル(1997年開通、長野県～岐阜県)がある。掘削時70℃を超えていた高熱地盤にコンクリートが巻きたてられ供用後18年を経過しているが、コンクリートが劣化したという報告はない。

廃棄体の発熱がセメント系材料の力学性能に与える影響については、セメント系材料の空隙内の水の逸散の程度によって影響の程度が変わるとされており、熱源が内側にあつてさらに周辺温度が高い埋設施設の場合には影響の程度が低いと考えられる。しかし、温度の影響が高い埋設施設の場合には、種々の解析において力学性能の変化を適切に反映するために、事前にセメント系材料における圧縮強度、引張強度およびヤング係数の熱影響による変化の時期や影響程度を確認しておく必要がある。

表-1 原子力関連施設のコンクリートの温度制限(土木学会, 2008)

温度荷重の作用状態	原子炉建屋構造設計指針・同解説 (日本建築学会 1988)		温度荷重の作用状態	コンクリート製原子炉格納容器に関する構造などの技術基準 (通産省告示 452号)	
長時間	一般部	局部	定常状態	貫通部	その他の部分
	65℃	90℃		90℃	65℃
短時間	一般部	局部	非定常状態	ジェット力を受ける部分	その他の部分
	175℃	350℃		340℃	175℃

# (参考)膨張性地山①

## (膨張性地山の概要)

膨張性地山に遭遇すると、押し出しによる内空の狭小化により長期的には廃棄体の設置が困難になる。また、蛇紋岩などの岩種によっては坑道崩壊にもつながり作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。なお、膨張性地山の原因については、吸水膨張説、高圧のガス・間隙水圧説等がある。

膨張性地山の見られる新第三紀の泥岩・凝灰岩、変成帯や構造体の蛇紋岩、火山岩・深成岩・変成岩中などの熱水変質帯、断層粘土・破碎帯は膨張性に関わる粘土鉱物(スメクタイトなど)を30%以上含有し一般に強度が低く、グリーンタフ地域の泥岩・凝灰岩などでは、地山強度比が2以下になると著しい膨張性を示すことが知られている。

引用:土木学会「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)

## (トンネル工事における膨張性地山発生事例)

トンネル名称 : 飯山トンネル (北陸新幹線)  
 施工場所 : 長野県～新潟県  
 工期 : 1999年～2009年  
 トンネル延長 : 約 22.2 km  
 主な地質 : 新第三紀中新世の泥岩

表-1 膨張性地山の特徴

膨張性地山の指標	指標の範囲と特徴
岩種	・泥岩・凝灰岩、泥岩、凝灰岩、蛇紋岩、火山岩・深成岩・変成岩等の熱水変質(温泉余土)あるいは断層粘土・破碎帯などで発生している
地山強度比	・0.03-10.0に分布している。 ・2.0以下での発生事例が多い。
モンモリロナイト含有量(%)	・測定値が明確なものについては38-80%に分布している。 ・モンモリロナイトまたは膨張性鉱物が検出された場合に膨張性が発生している事例が多い。
浸水崩壊度(A, B, C, D)	・浸水崩壊度CまたはDで膨張性が発生している事例が多い。
塑性指数	・5-210の間に分布しており、70以上で膨張性が発生している事例が多い。
変形係数(MPa)	・大半が2000MPa以下の値を示している。 ・800MPa以下で膨張性が発生している事例が多い。
一軸圧縮強度(MPa)	・大半が10MPa以下の値を示している。 ・4MPa以下で膨張性が発生している事例が多い。
単位体積重量(g/cm <sup>3</sup> )	・1.5-2.9g/cm <sup>3</sup> の間に分布している。
自然含水比(%)	・0-60%の間に分布している。 ・20%以下でも膨張性が発生している事例がある。
液性限界(%)	・20-300の間に分布している。 ・データ数が少ないため全体の傾向が不明である。
2μm以下粒子含有率(%)	・20-60%の間に分布しており、30%以上で膨張性が発生している事例が多い。 ・データ数が少ないため全体の傾向が不明である。
CEC(塩基交換容量試験)	・5-160meq/100gの間に分布しており、35meq/100g以上で膨張性が発生している事例がある。
膨張率(%)	・0-48%の間に分布している。 ・20%以下でも膨張性が発生している事例がある。
弾性波速度(km/sec)	・Vp=0.2-6.0km/secの間に分布している。 ・Vsについてはデータ数が少ないため全体の傾向が不明である。



写真-1 上半支保工の肩部 (165km230m 付近)

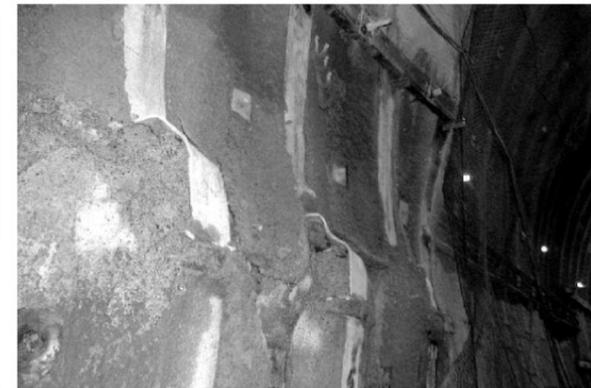


写真-2 上半支保工の根足部 (166km960m 付近)

出典: 剣持ほか「膨張性泥質岩地山におけるトンネルの多重支保工の効果」(土木学会論文集F Vol62, No2, 312-325, 2006.5)

## (参考)膨張性地山②

(トンネル工事における膨張性地山発生事例)

トンネル名称 : 楠根トンネル  
施工場所 : 徳島県阿南市楠根町七浦～美濃谷  
工期 : 2007年12月～2010年3月  
トンネル延長 : 293m  
主な地質 : 砂岩、蛇紋岩など

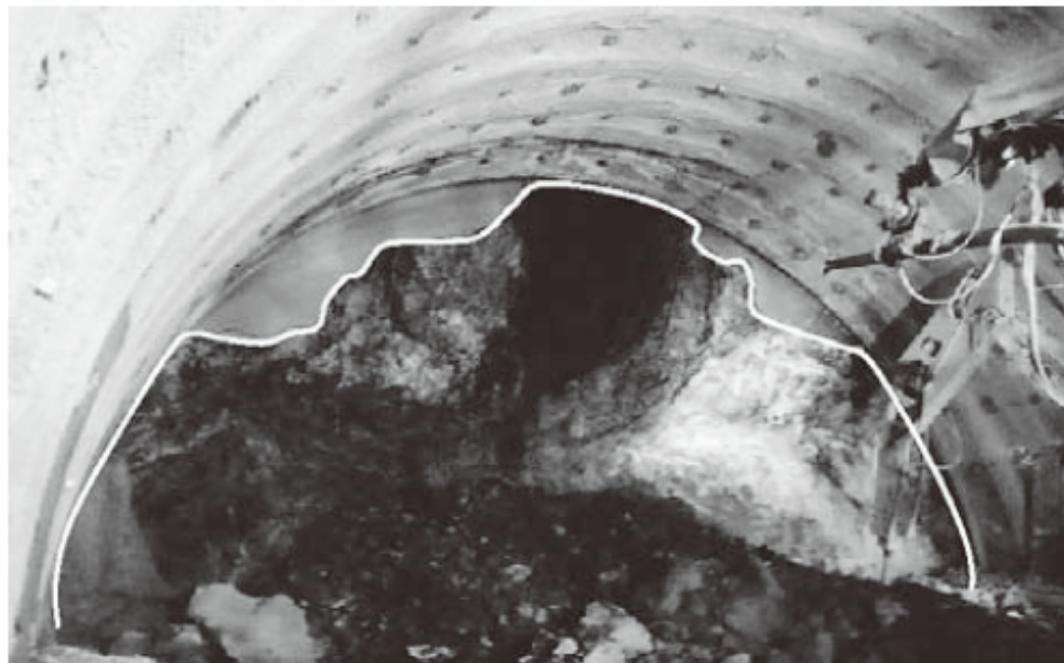
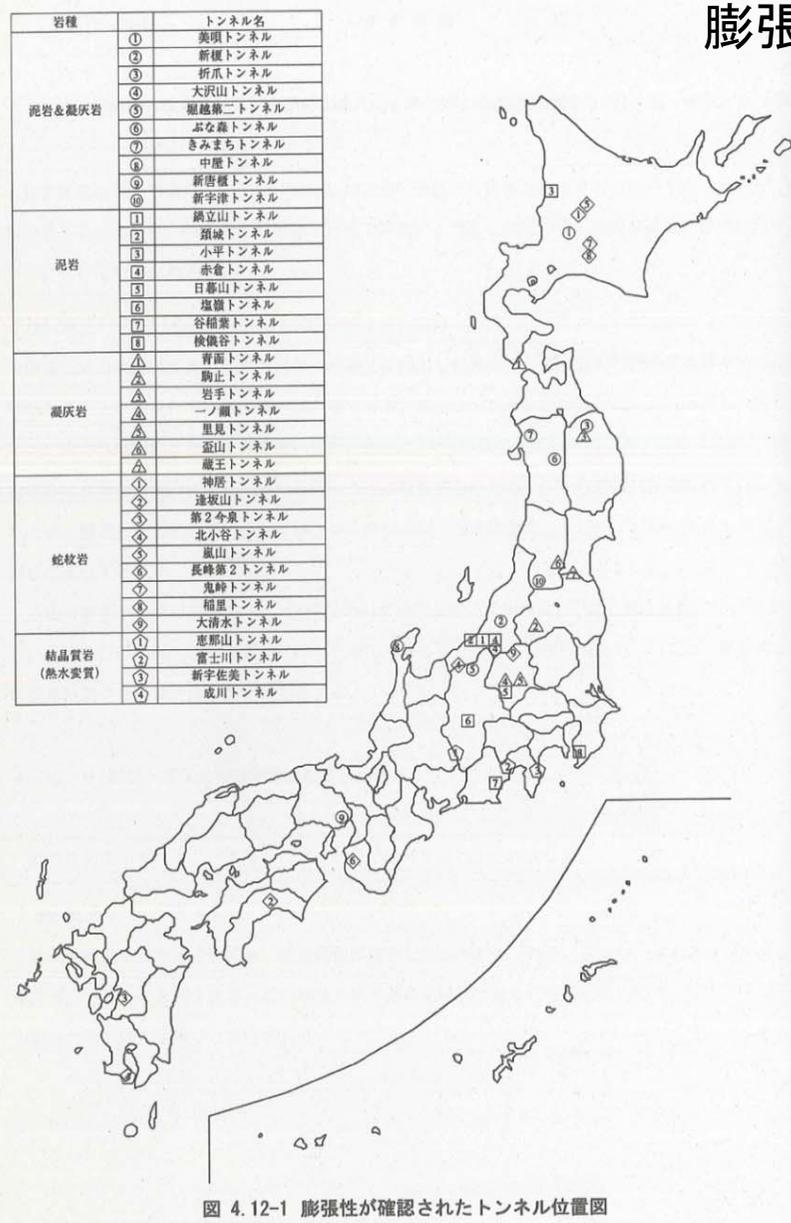


図-4 鏡面崩落状況

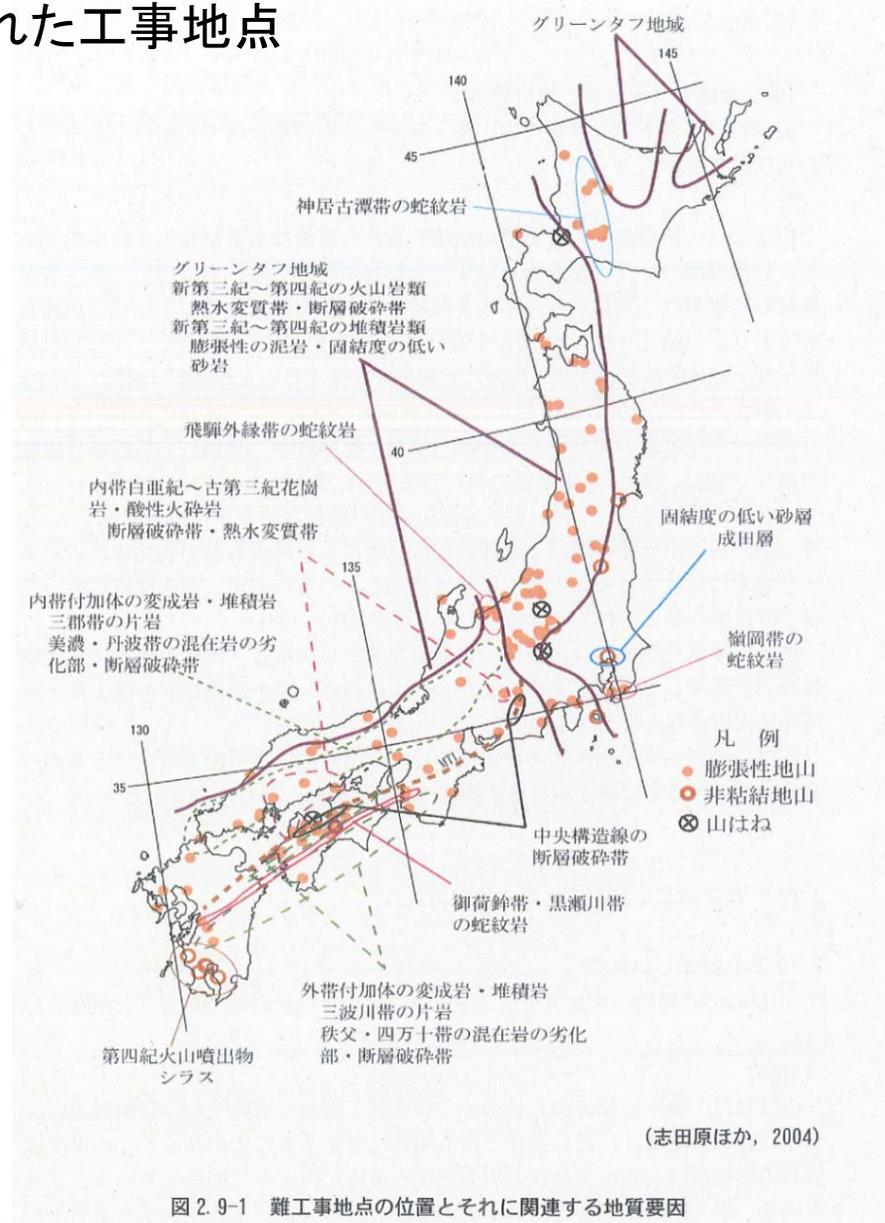
蛇紋岩の特徴として、乾燥と吸水を繰り返すことで細かくばらばらに崩壊するスレーキング現象により、地山を膨張させる。全長293mに対して、蛇紋岩が分布している区間は35mのみであったが、脆弱な蛇紋岩が切羽に出現するとともに、鏡面の崩落が頻発した。

出典: 宮崎修一ほか「膨張性地山に対するトンネル施工について」(全国土木施工管理技士会連合会)

# (参考)膨張性地山③



●膨張性が確認されたトンネル位置図(土木学会,概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方,2001.8)



●難工事地点の位置とそれに関連する地質要因(応用地質学会,平成16年度研究発表会講演論文集,事前検討段階での地下施設の施工難易度推定に関する予備的検討,2004)

# (参考)山はね①

## (山はねの概要)

山はねは、坑道掘削時に坑壁が破壊し、岩片の急激な飛散等が発生し、著しい場合は切羽全体が瞬時に圧壊する事象であり、掘削にあたり安全対策をとらないと、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

山はねの発生は、岩石の弾性歪エネルギーが急激に解放されること等に起因すると考えられるが、詳細な発生機構については明らかになっていない。

## (トンネル工事における山はね事例)

トンネル名称 : 関越トンネル  
施工場所 : 群馬県～新潟県  
工期 : 1977年～1991年  
トンネル延長 : 上り線 11,055m  
下り線 10,926m

県境付近で土被りが750m以上となる区間では“山はね”が発生し、掘削作業が幾度となく中断した。

作業従事者の安全確保と掘進速度を極端に低下させない方法を検討した結果、岩盤の補強と岩塊の飛び出しを防ぐため、一発破の進行を3mから1.2mにするとともに、トンネルの切羽面にロックボルト(長さ3m)を打設し、山はね防護ネットを設置して、この難関を克服した。

出典:2009 土木学会関東支部新潟会HP



山はねで飛び出した岩塊

# (参考)山はね②

目的	地点名
鉱山	① 美根炭鉱
	② 別子鉱山
	③ 生野鉱山
	④ 備内炭鉱
	⑤ 三井砂川炭鉱
	⑥ 三井三穂炭鉱
トンネル	① 清水トンネル
	② 新清水トンネル
	③ 大清水トンネル
	④ 関越トンネル
	⑤ 雁坂トンネル

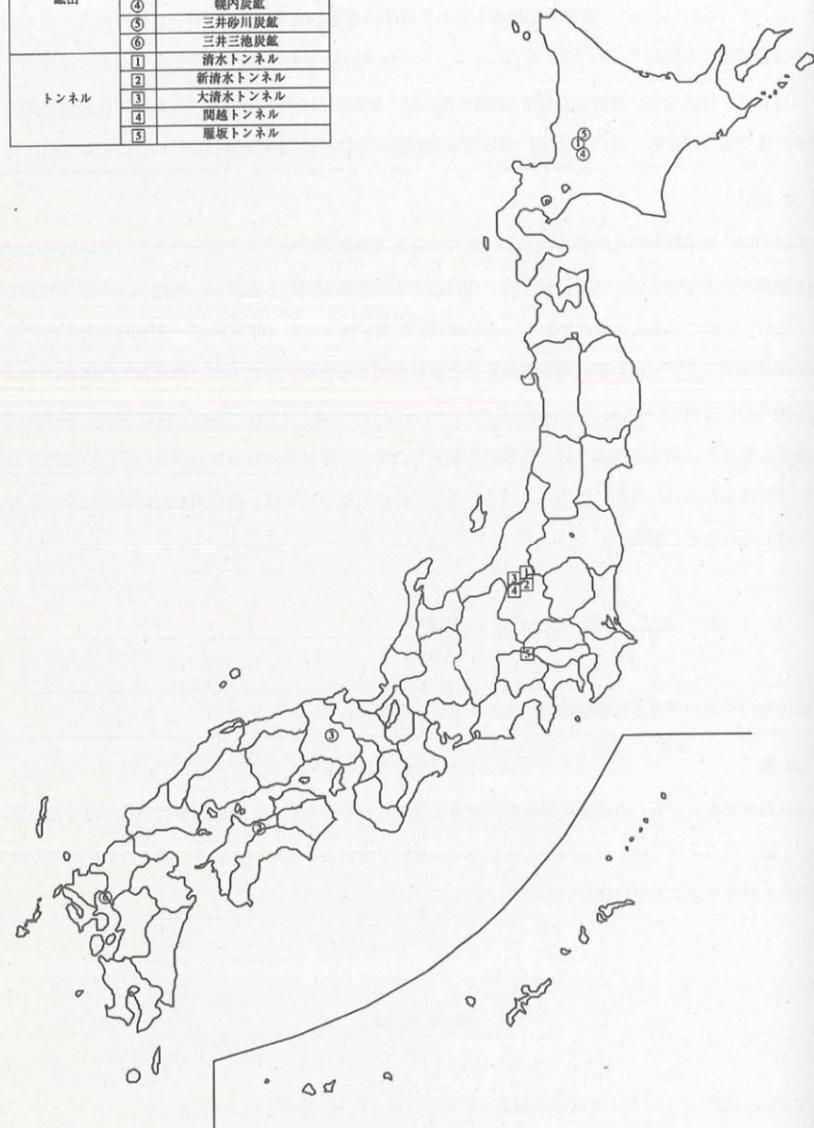


図 4.14-1 山はねが確認された鉱山およびトンネル位置図

•山はねが確認されたトンネル位置図(土木学会,概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方,2001.8)

## 山はねが確認された工事地点

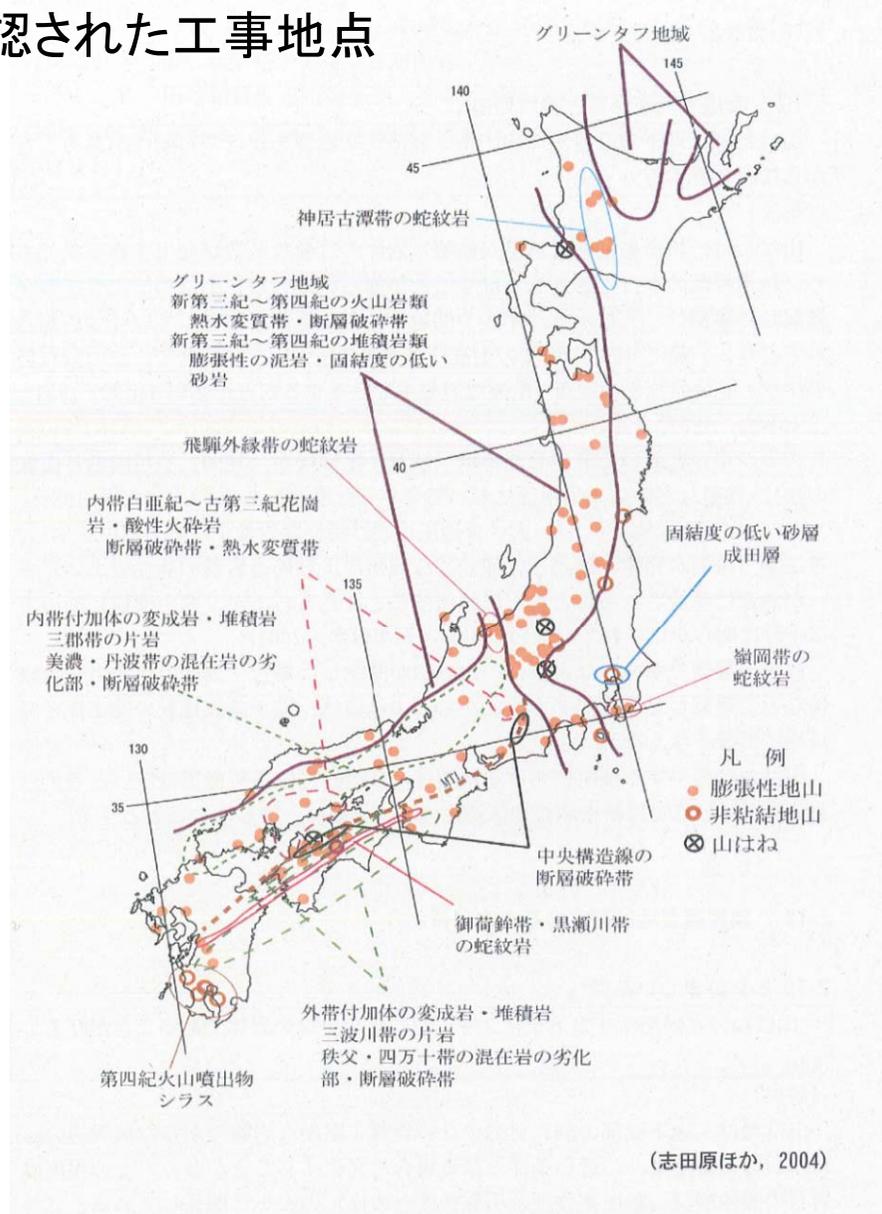


図 2.9-1 難工事地点の位置とそれに関連する地質要因

•難工事地点の位置とそれに関連する地質要因(応用地質学会,平成16年度研究発表会講演論文集,事前検討段階での地下施設の施工難易度推定に関する予備的検討,2004)

# (参考)泥火山①

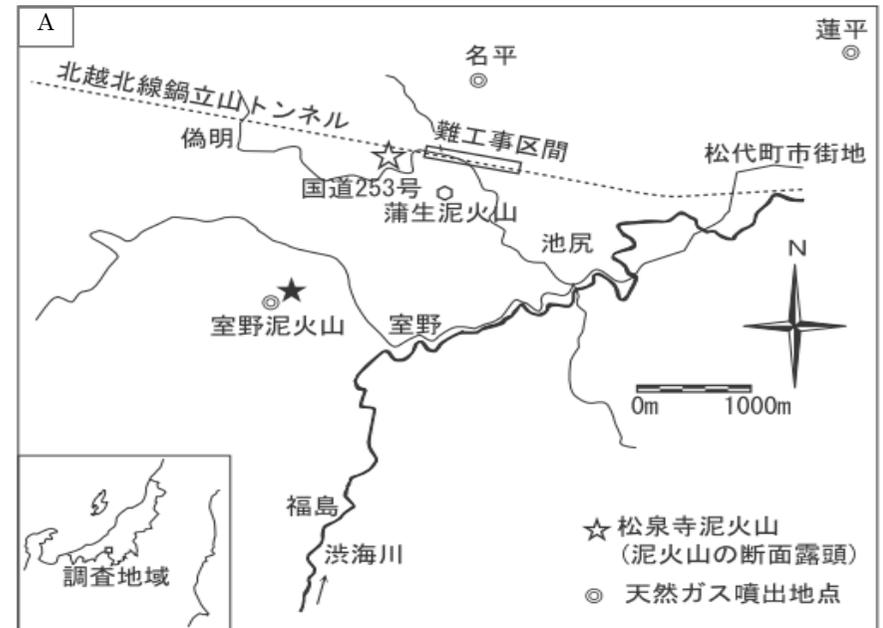
## (泥火山の概要)

泥火山を形成する流体は、周辺より著しく高い間隙水圧やメタンなどのガス圧が原因で上昇しており、泥火山に遭遇すると、異常間隙水圧やガス圧を起因とする泥火山による急激な流体噴出やガス噴出が発生した時には作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

泥火山は、地下深部から泥状流体が周辺地層へ貫入しながら上昇し、地表に噴出し形成された火山状円錐小丘でカルデラ状陥没地形を伴う。

第三紀～第四紀の油田・ガス田地域では、堆積岩形成過程における圧密過程で脱水作用が進まず高圧な間隙水を維持したまま地表近くに存在していることがあり、泥火山はこのような高圧を有した地層から背斜軸部や断層などの弱線に沿って上昇してきた地層構成物と間隙水により形成されたものと考えられている。

引用：土木学会「精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方」(2006.1)



泥火山等の位置図と地質図・地質断面図 (A; 新谷・田中, 2009)  
蒲生泥火山の状況写真 (B; 十日町新聞, 2006)

# (参考)泥火山②

(トンネル工事における泥火山の事例)

トンネル名称 : 北越北線鍋立山トンネル  
 施工場所 : 新潟県東頸城郡松代町～大島町

工期 : 1973年～1997年  
 工事内容 : 長さ 9,116.50m

地質 : 新第三紀中新世後期から更新世前期にかけての泥岩・砂岩・凝灰岩(活褶曲地帯)  
 弾性波速度 : トンネル中央部の地山弾性波速度は2.0km/sec以下でほとんどが1.5km/sec程度

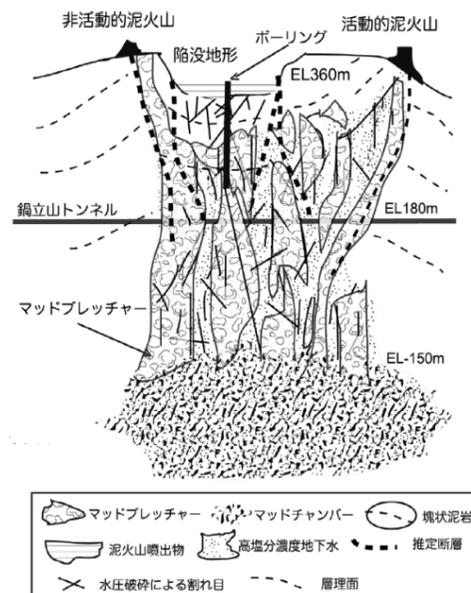
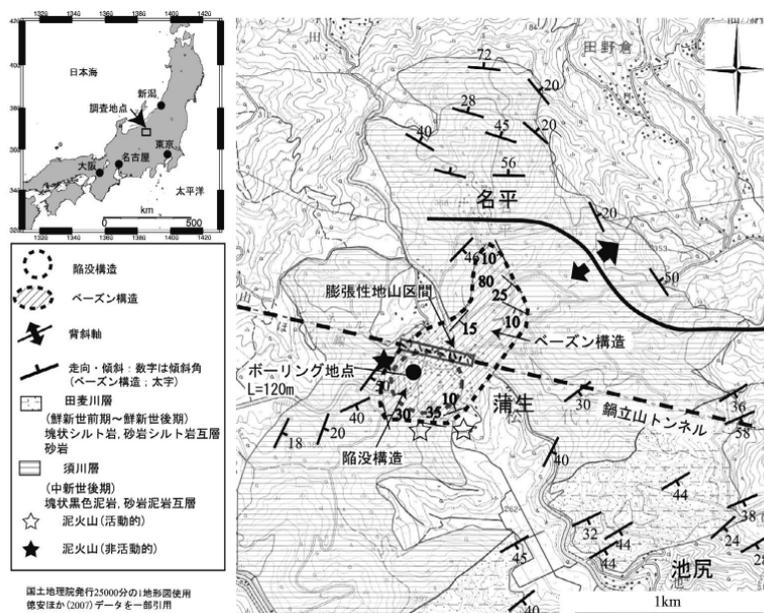


図 鍋立山トンネル周辺の泥火山等の位置図 (左) と地下の地質構造概念図 (右) (田中・石原, 2009)



出典 : 社団法人 日本土木工業協会HP トンネル崩壊

はらみだしにより破壊されたTBM

# (参考)湧水

## (湧水・出水の概要)

掘削時に突発湧水の発生時には、大出水およびそれに伴うトンネルの崩壊事故など、また湧水が高温の場合、水蒸気爆発事故など、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

突発大湧水が発生する可能性の高い地層としては、カルストを形成しやすい石灰岩、泥灰岩などの地層が想定される。

## (大出水による難工事事例)

トンネル名称 : 地芳トンネル

施工場所 : 愛媛県～高知県

工期 : 1999年～2009年

トンネル延長 : 約 3 km

地質 : 四国カルスト

大出水による湧水量 : 最大約 20 t/min.

突発湧水遭遇以降700mの掘削に約7年

1) 国土交通省四国地方整備局(2004):一般国道440号地芳道路について、第2回四国地方整備局事業評価監視委員会資料,資料-7.

トンネル名称 : 青函トンネル

施工場所 : 青森県～北海道

工期 : 1964年～1988年

トンネル延長 : 約 54 km

地質 : 主に凝灰質泥岩、砂岩(トンネル中央部)

大出水による湧水量 : 最大約 70 t/min.

2) 井上俊隆:土木学会論文集 第391号/VI-8 1988年3月「青函トンネルー調査から開業まで」



図-1 地芳トンネル突発湧水状況<sup>1)</sup>

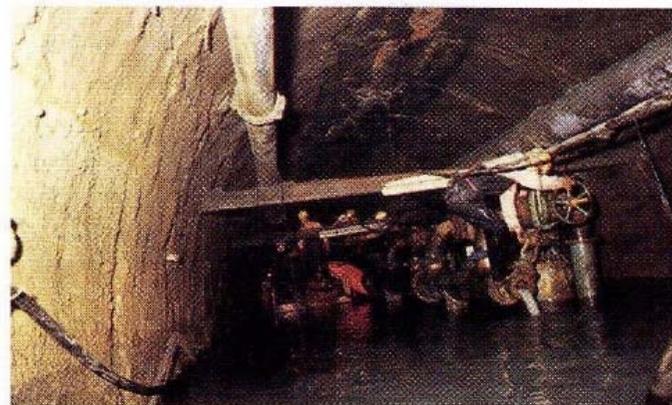


写真-8 異常出水事故

吉岡作業坑異常出水時における排水ポンプ据付け作業  
(最大出水量70m<sup>3</sup>/分, 昭和51年5月)

# (参考) 有害ガス①

## (概要)

掘削時に有害ガスが噴出すると、過去の事件事例でも作業従事者の酸欠・ガス中毒やガス爆発が報告されており、作業従事者の生命にかかわる事故につながる可能性がある。

ガスが発生する地域としては、油田・ガス田・炭田地域が知られている。また、火山性ガスは火山・火成活動地域で発生する。

## (留意すべき有害ガス)

トンネル工事において留意すべき有害ガスとして、メタンガス (CH<sub>4</sub>)、硫化水素ガス (H<sub>2</sub>S) 等が挙げられる<sup>1)</sup>。

表-1 自然発生ガスの種類と発生する地層等<sup>1)</sup>

種別	産 状	発生する地層	発生するガス	摘 要
可燃性ガス	油田ガス	石油を胚胎する新第三紀層	メタン、エタンが主体、地域や層によっては炭化水素も含まれる	北陸、東北、北海道の日本海側に多い
	炭田ガス	古・新第三紀層、第四紀層の狭炭層及びその上下層	メタンがほとんど	北九州、常磐、北海道に多い
	水溶性ガス	新第三紀層及び第四紀層の地層水中に溶存	メタンがほとんど	習慣上、これを天然ガスという
	古期岩層及び現世層中のガス	その他の発生源としての位置付け。古第三紀以前及び泥岩地等	メタンが主体	
	火山・温泉ガス	火山、温泉地帯	硫化水素、二酸化炭素、窒素、二酸化硫黄	
不燃性ガス	水成岩中のガス	古生代-新生代の水成岩	窒素がほとんど	

注) 通常、天然ガスには CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> が同時に含まれている。

表-2 メタンガス濃度別坑内作業基準の例<sup>1)</sup>

適用基準 メタンガス濃度	トンネル作業基準濃度	参 考	
		労働安全衛生規則	石炭鉱山保安規則
0 ~ 0.5Vol%	平常作業 ①定時検査 ②自動警報器の設置	平常作業	平常作業
0.5 ~ 1.0Vol%	平常作業 ①鉱山保安法による爆薬使用 ②注意灯の点滅	平常作業	①発破禁止 (導火線) ②電気発破、導爆線発破は可
1.0 ~ 1.5Vol%	切羽作業停止 ①換気、ガス抜き ②作業員退避	平常作業	①発破禁止 (導火線) ②電気発破は可
1.5 ~ 2.0Vol%	坑内作業員の退避 ①坑内送電停止 ②坑内換気増強	第 322 条第 2 項 ①作業員の退避 ②火源の使用停止 ③通風、換気する	①発破禁止 ②一般作業の中止 ③送電停止
2.0Vol%以上	坑内付近立入禁止措置		特別許可以外の通行、作業禁止

1) 建設業労働災害防止協会(2012): 新版 ずい道等建設工事における換気技術指針 << 換気技術の設計及び粉じん等の測定 >>.

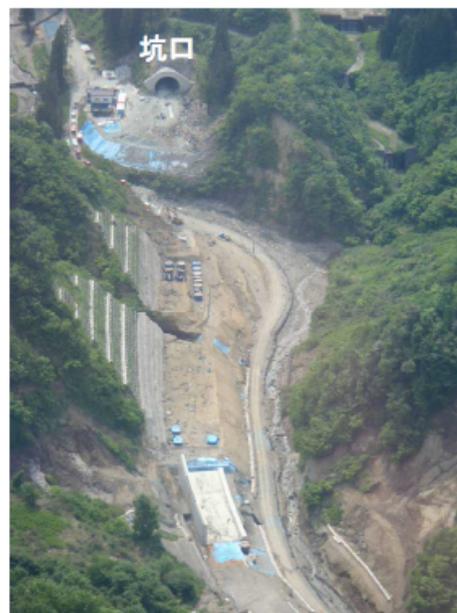
## (参考) 有害ガス②

(トンネル工事におけるガス爆発事例)

トンネル: 八箇峠トンネル(南魚沼工区)

発生日時: 2012年5月24日(木)午前10時30分頃

発生原因: トンネル坑内に噴出したメタンガスに引火(作業従事者死亡事故)



坑口から約590m地点(総務省消防庁提供)



坑口から約550m地点(総務省消防庁提供)

【写真: 爆発直後の状況】

# (参考)未固結地山

(建設上好ましい地山強度比)

理論上、局所安全率1以上とするためには地山強度比は2以上必要である。しかし、地山強度比2未満でも岩盤変形量は塑性域に入るが応力再配分によりすぐには崩壊には至らない。ただし、1よりかなり小さい値の場合は坑道の自立は著しく困難である。

なお地山強度比が2以上であれば坑道の自立が可能と想定され、好ましい範囲と考えられる。仮に岩盤の単位体積重量を $0.002\text{kgf/cm}^3$ 、深度300~1000mとした場合、必要な一軸圧縮強度は $120\sim 400\text{kgf/cm}^2$ となる。

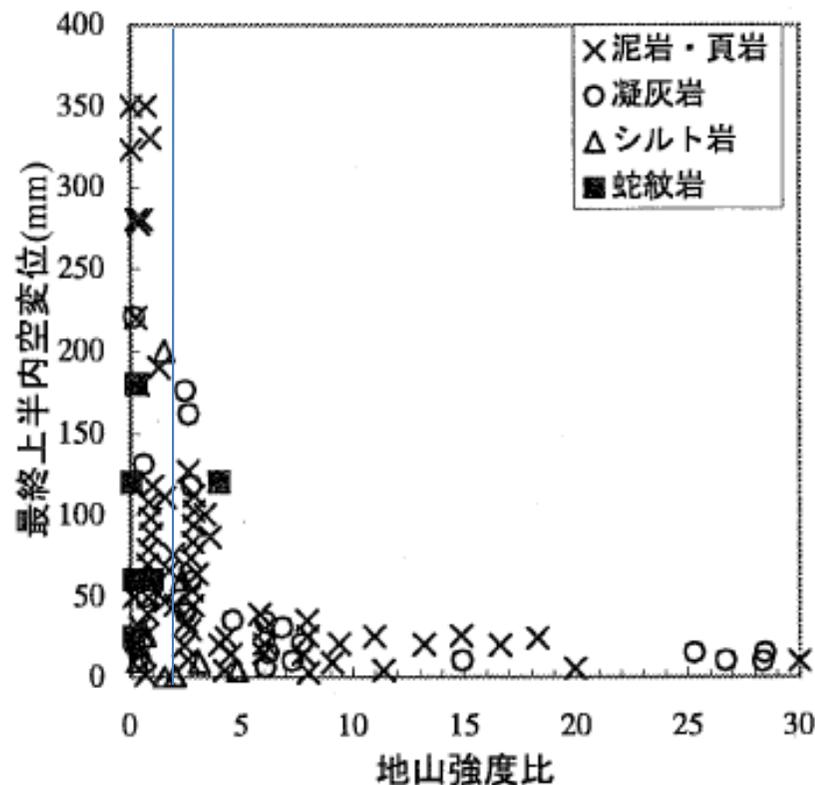


図-3 内空変位量と地山強度比 (C地山)

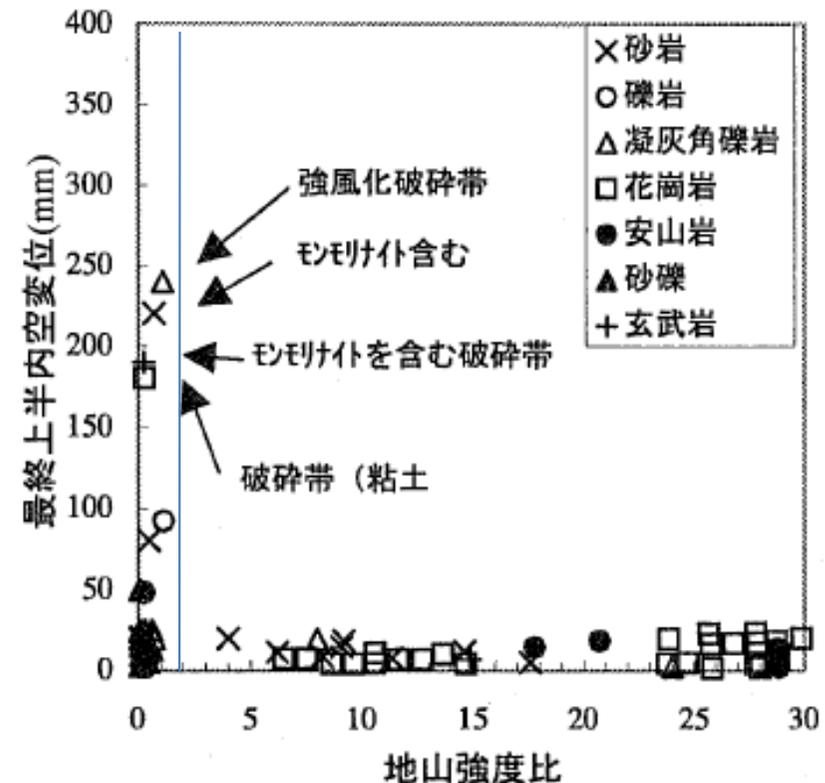


図-4 内空変位量と地山強度比 (φ地山)