

前回の輸送時の安全性確保の議論 における御指摘事項への対応

2015年9月
原子力発電環境整備機構



はじめに

- 前回の議題である、輸送時の安全性確保に関しては、「長距離輸送の場合、海上輸送が好ましい」、「海上輸送を前提とした上で、港湾から処分場までは距離が十分短い方が好ましい」との結論を得た。一方、「輸送時における自然災害の可能性と対策の検討」、「港湾からの距離が短い地域(※)について地質環境特性およびその長期安定性の観点や地下施設・地上施設の建設・操業時の安全性確保の観点から確認が必要」といった指摘もあった。

(※)一般的には、「沿岸部」を示す。

- よって、今回は以下の2点を検討した。
 - I. 輸送時における自然災害への対応
 - II. 沿岸部における特性及び留意事項
- 「I. 輸送時における自然災害への対応」については、前回と同様に長距離輸送(鉄道輸送、車両輸送、海上輸送)について、想定される自然災害と対策を整理する。
- 「II. 沿岸部における特性及び留意事項」については、これまで議論されていた地質環境の長期安定性の確保、地下・地上施設の建設・操業時における安全性確保、及び事業の実現可能性の観点から、その特性や留意事項を整理する。



I . 輸送時における自然災害への対応



検討の考え方

- 廃棄物輸送中の安全性は、IAEA「放射性物質安全輸送規則」に基づき、輸送物（キャスク含む）自体の安全性、輸送時の対策、緊急時の対策によって確保される。
 - 輸送物の安全性については、国の技術基準（耐衝撃、耐火、浸漬試験等）への適合性によって確認される。
 - 輸送時の対策については、輸送中に自然災害等に遭遇しないよう、輸送方法や輸送経路等を考慮する。
 - 発生確率は非常に低いが、特別の試験条件を超える自然災害が発生した場合に備えて緊急時の対策を考慮する。
- この点を踏まえた上で、以下を実施した。
 - 輸送中に発生すると考えられる自然事象を抽出し、想定される災害と対策を整理する。
 - 次に、前回と同様に長距離輸送（鉄道輸送、車両輸送、海上輸送）について、それぞれに対する影響について整理する。

想定される災害と安全対策

- 輸送中に発生し、影響を及ぼすと想定される天然事象を、原子力規制委員会の「廃棄物管理施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」などを参照して、以下のとおり抽出した。
 - 地震、火山、津波、地滑り、台風、竜巻、降水、落雷、積雪、洪水、高潮
- 輸送時に想定される自然災害に対して、ハードまたはソフト面から十分対応可能である。

災害	輸送方法	想定災害	安全対策
地震	陸上	設計を超える地震が発生した場合、交通インフラが損傷する	交通インフラの耐震設計などの工学的対策
	海上	－（海上においては地震による影響はない）	－（基本的に対策は必要なし）
火山	陸上	火砕流、火山流、噴石等による車両・鉄道の損傷	噴火予報・警報情報により影響を想定し、場合によっては事前回避
	海上	海底火山の水蒸気爆発等による船舶の損傷	
津波	陸上	沿岸ルートを通過する場合、車両・鉄道の損傷	津波の届かない高台に一時避難
	海上	津波発生時に港湾にいる場合、船舶の損傷	• 船舶が接岸中の場合は、離岸し沖合まで避難 • 港湾については、防波堤などによる工学的対策
地滑り	陸上	山地を通過する場合、車両・鉄道の損傷	地滑りの恐れがある斜面を切り取るなどの工学的対策
	海上	港湾の背面が山地の場合、船舶接岸時に船舶の損傷	船舶が港湾に接岸している時以外は、基本的には影響ないが、陸上輸送と同じ工学的対策を採用
台風、竜巻、降水、落雷、積雪、洪水、高潮	陸上	複合的に災害が発生するような気象条件によっては車両・鉄道の損傷	気象予報により影響を想定し、場合によっては事前回避
	海上	複合的に災害が発生するような気象条件によっては船舶の損傷	

自然災害を考慮した輸送方法の得失

- 抽出した自然災害について、長距離輸送に関する輸送方法（鉄道、車両、海上）の比較を行った結果は下表のとおり。自然災害の観点からも、長距離輸送は海上輸送が好ましい。

方法	地震	火山	津波	地滑り	台風、竜巻、降水、落雷、積雪	洪水、高潮
鉄道	•基本的には工学的に対応可能(○)。 •発生時に通過しているインフラの耐震性が十分でない場合、影響を受ける(△)。	•火山付近の経路を含まざるを得ない可能性がある(○)。	•沿岸を含む経路の場合、速やかな退避が必要(△)。 •経路の一部が被災し使えなくなる可能性がある(△)。 •経路については、予め代替経路設定などの工学的対策により影響を低減できる(○)。	•山地、丘陵を通過する経路で工学的対策が十分でない場合、影響を受ける(△)。	•基本的に発生予測により被災回避は可能(○)。	•基本的に発生予測により被災回避は可能(○)。 •経路の一部が使えなくなり、代替経路が必要となる可能性がある(△)。
車両						
海上（船舶）	•基本的には工学的には対応可能(○)。 •港湾接岸時以外であれば影響を受けない(○)。	•海底火山は少ないため、火山付近を避けた経路が選択可能(◎)。	•沖合では影響は少ないが、寄港時には、速やかな退避が必要(△)。 •港湾が被災し使えなくなる可能性がある(△)。 •港湾については、予め防波堤などの工学的対策により影響を低減できる(○)。	•港湾の背面が山地、丘陵の場合でも、港湾接岸時以外は影響を受けない(○)。	•基本的に発生予測により被災回避は可能(○)。	•洪水は考慮不要(◎) •高潮は基本的に発生予測により被災回避は可能。また、港湾は予め高潮対策が可能(○)。

(参考)地震、火山の影響

(地震)

- 陸域は地震による影響を受ける可能性がある。陸域は太平洋側ほど震度が大きくなる可能性がある(※1)が、基本的には耐震設計など工学的対応により回避が可能な事象である。なお、海底で地震が発生しても、海上においては地震による影響は受けない。
- 陸上輸送(車両、鉄道)は、発生時に通過している場所でのインフラの耐震性が、発生した地震に対して十分でない場合、インフラの損傷による輸送継続不可能などの影響を受ける場合がある。その場合、車両輸送であれば、輸送ルートの変更などで対応することは可能。
- 船舶輸送は、港湾接岸時以外であれば基本的に影響を受けない。

(火山)

- 陸上輸送中に影響を及ぼす事象は、陸域火山による火砕流、火山流、噴石等。陸域火山は、内陸部に集中している。
- 海上輸送中に影響を及ぼす事象は、海底火山による水蒸気爆発等。海底火山は、陸域火山に比べ数が非常に少ない(※2)ため、影響を受ける確率は低い。また、海底火山は伊豆・小笠原海溝西側や鹿児島県南側のエリアに偏在している。
- 陸上輸送(車両、鉄道)中は火山付近の経路を通過する可能性があるが、噴火予報・警報情報を基に輸送時期を調整することで対応可能。
- 船舶輸送は、海底火山付近を避けた経路が基本的に選択可能。

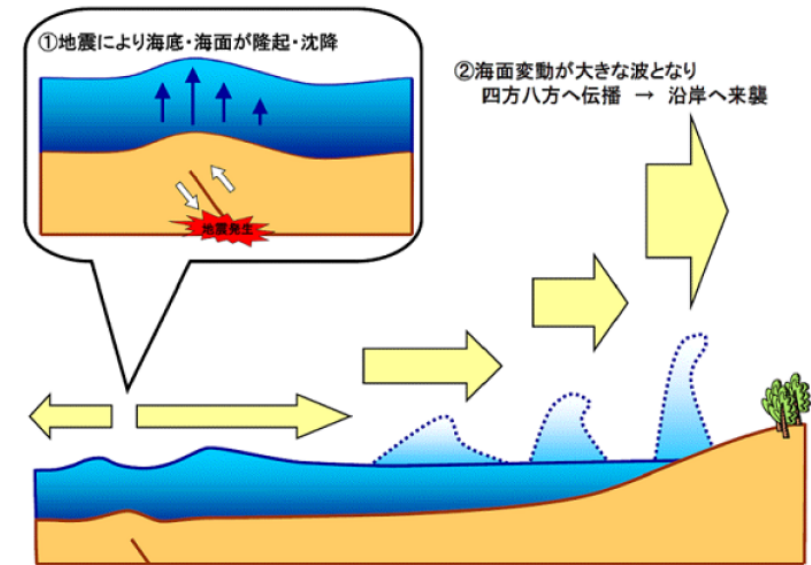
※1: 防災科学技術研究所の全国地震動予測地図: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/shm>

※2: 日本の火山(第3版)の火山リストにある456火山のうち海底火山は22

(参考)津波の影響

(津波)

- 津波は沿岸部に向かって水深が浅くなるにつれて津波高さが大きくなる。よって、海上輸送は沿岸部を通過中の場合影響を受ける可能性があるが、津波の影響の小さくなる水深の深いところを通過中であればほとんど影響を受けない。
- 陸上輸送は、沿岸部を通過するルートについては、陸上輸送中に津波が発生した場合、津波の影響を受ける可能性がある。対策としては、津波の届かない高台まで一時避難。
- 船舶輸送は、船舶が接岸中に津波が発生した場合は、津波の影響を受ける可能性がある。対策としては、離岸し沖合まで避難。
- 船舶が被災を免れても港湾が被災する可能性はある。ただし、港湾については、予め防波堤などの工学的対策により影響を低減できる。



津波の発生

出典：
<http://www.tb.mlit.go.jp/kinki/senpaku/tsunamijireiannai.html>



(参考)その他の災害の影響

(地滑り)

- 陸域では、山地、丘陵を通過する場合、地滑りによる影響を受ける可能性があるが、基本的には、工学的に回避が可能な事象である。
- 陸上輸送(車両・鉄道)は、輸送距離が長くなるほど、山地、丘陵を通過する可能性が高まり、影響を受ける可能性が高まる。
- 船舶輸送は、港湾の背面が山地、丘陵の場合、船舶接岸時に地滑りが起こると船舶への影響があるため、地滑りが予測される斜面の切り取りなどの工学的対応により影響を回避できる。

(台風、竜巻、降水、落雷、積雪)

- 台風、竜巻、降水、落雷、積雪は、陸域、海域関係なく発生する事象。
- 台風、竜巻、降水、落雷、積雪が複合的に発生するような気象条件によっては、陸上輸送、海上輸送とも影響を受ける可能性がある。
- なお、台風、竜巻、降水、落雷、積雪ともに気象予報により事前に影響を想定し、回避することは基本的に可能。

(洪水・高潮)

- 陸上輸送は洪水の影響を受ける可能性があるが、海上輸送は洪水の影響は基本的には受けない。
- 陸上輸送は沿岸部ルートを除いて高潮の影響は受けない。海上輸送は沿岸部を通過中の場合は影響を受ける可能性があるが、沖合であればほとんど影響を受けない。
- なお、洪水、高潮ともに気象予報により事前に影響を想定し、回避することは基本的に可能。



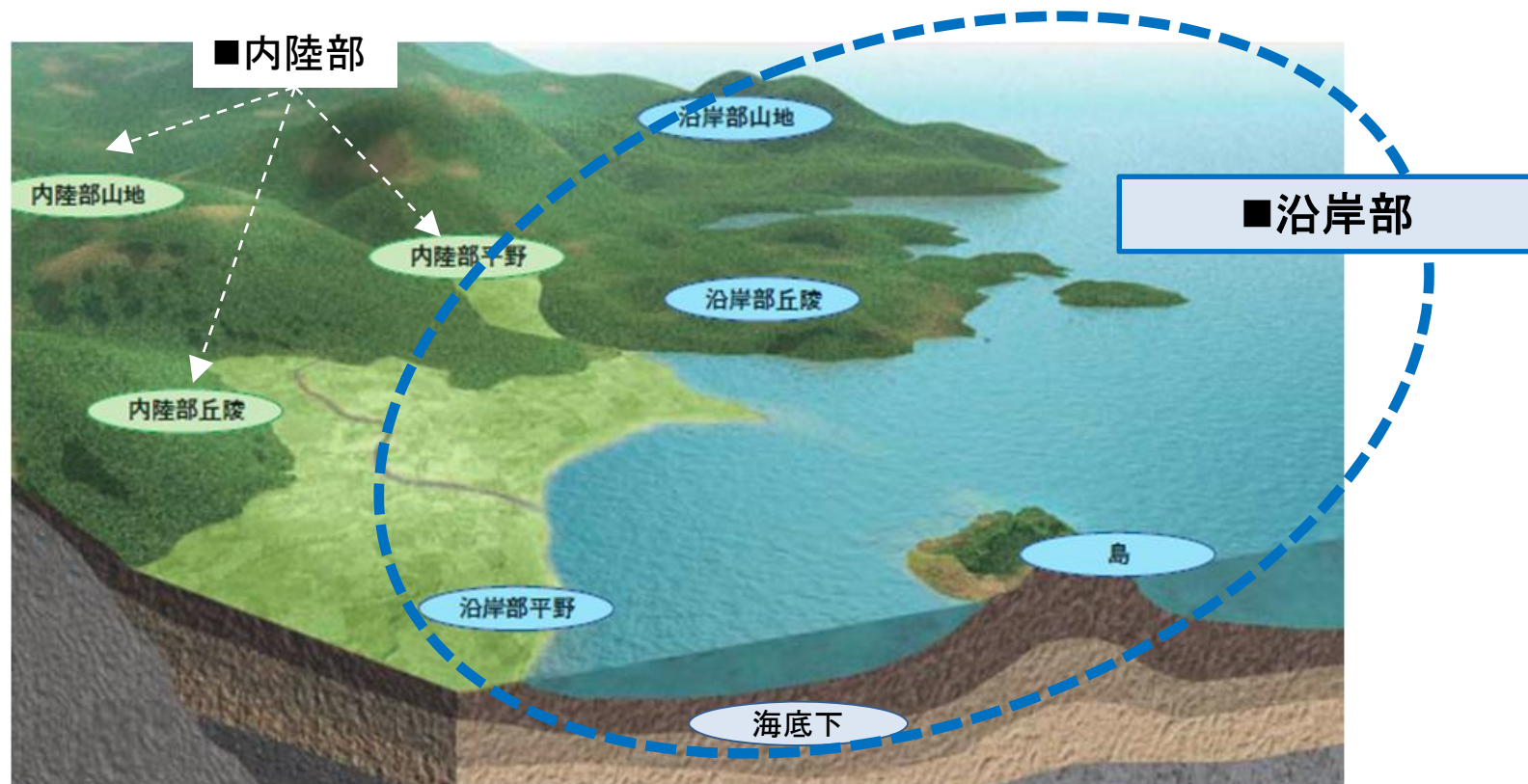
Ⅱ．沿岸部における特性及び留意事項



検討の考え方

- これまでの会合において、地質環境の長期安定性の確保の観点から、「回避すべき範囲」と「回避が好ましい範囲」の基準が、地下・地上施設の建設・作業時における安全性確保の観点から、「回避が好ましい範囲」と「好ましい範囲」の基準が議論されてきた。
- 前回会合において、輸送時の安全性確保の観点から、「海上輸送を前提とした上で、港湾からの距離が十分短いことが好ましい」と整理した。
- 一方で、上記の範囲（一般的には沿岸部）は、これまで議論されていた地質環境の長期安定性の確保及び地下・地上施設の建設・作業時における安全性確保の観点から、その特性や留意事項を整理、確認する必要があるのではないかとの指摘があった。
- そこで、指摘された観点に事業の実現可能性の観点も加えて、以下の事項について沿岸部における特性と留意事項を整理する。
 - ①地質環境特性及びその長期安定性に影響を与える事項
 - ②建設・作業時の安全性確保に影響を与える事項
 - ③事業の実現可能性に影響を与える事項

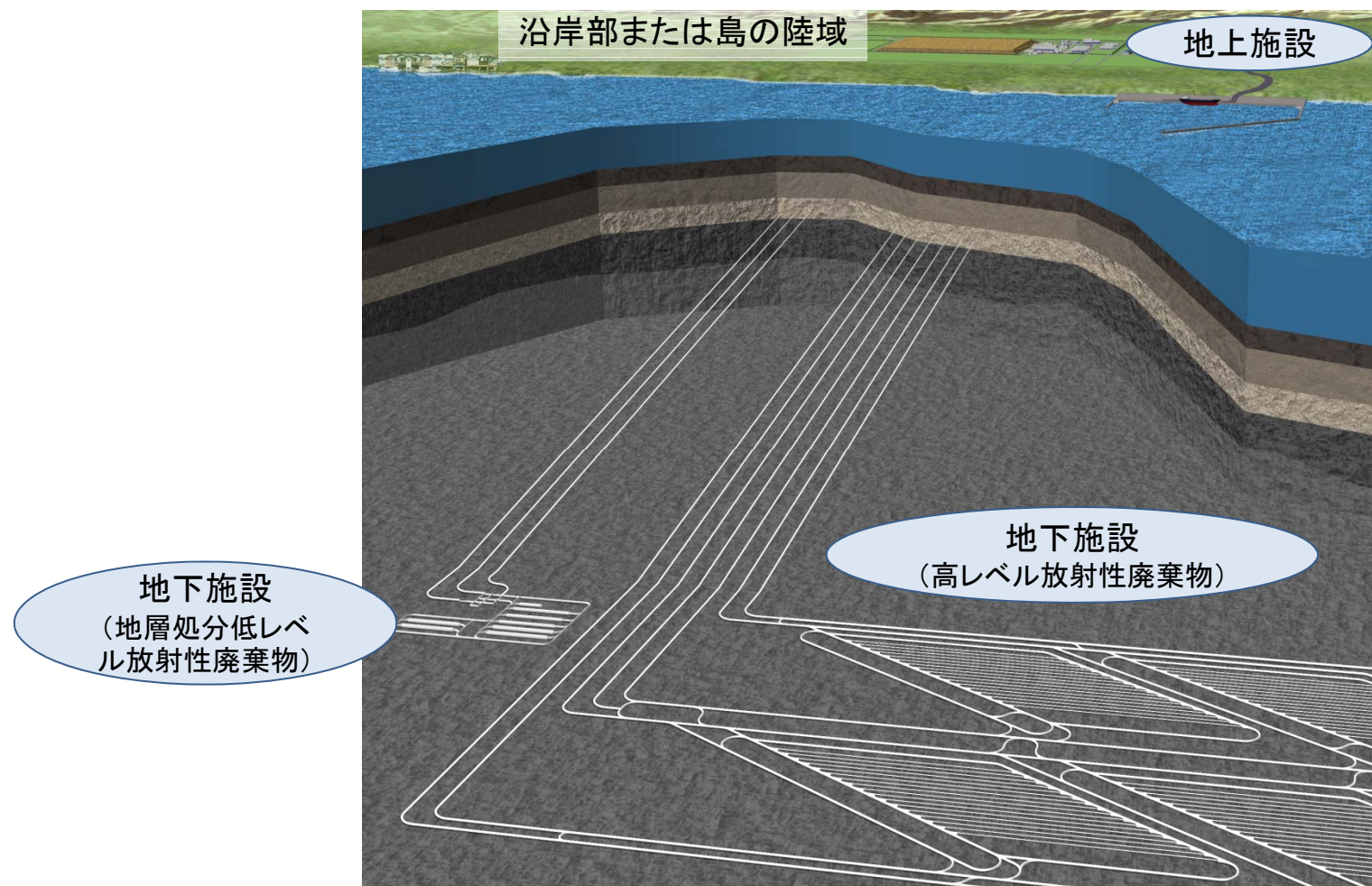
沿岸部のイメージ



処分場の概要－放射性廃棄物の地層処分事業について 分冊1－, NUMO, 2009 に加筆

(参考) 海底下に地下施設を設置する場合のイメージ

- 沿岸の海底下、島周辺の海底下に地下施設を設置する場合のイメージ。
- ここでは、地上施設と地下施設を斜坑で連絡する例を示す。
- 島の場合、島の陸域下に地下施設を設置する場合もある。



①地質環境特性及びその長期安定性に影響を与える事項(1)

- 「水理場」のうち動水勾配については、地表付近ほどではないが地形の影響を受けると考えられる(中間とりまとめ、3.1.3(2))。したがって、沿岸部(島も含む)のなだらかな地形部分(平野など)では動水勾配は小さいと考えられる。海底下も海面が水平なことから、動水勾配は小さいと考えられ、地下水流動が緩慢な場所を見いだすことが期待できる。
- 一方で、沿岸部では陸域の淡水系地下水が海域の塩水系地下水と接することから、それが地下水流動や処分場近傍の地下水の水質へ与える影響については、段階的調査において個別に確認していく必要がある。

地形勾配と動水勾配の関係
(第2次取りまとめ 分冊1 図3.3-2 から抜粋)

・地形分類項目毎の動水勾配

低地	(データ数: 234点)	最大値: 0.067	最小値: 0.000	平均値: 0.008
台地	(データ数: 71点)	最大値: 0.100	最小値: 0.001	平均値: 0.016
丘陵地	(データ数: 27点)	最大値: 0.138	最小値: 0.003	平均値: 0.035
山地	(データ数: 23点)	最大値: 0.231	最小値: 0.005	平均値: 0.061

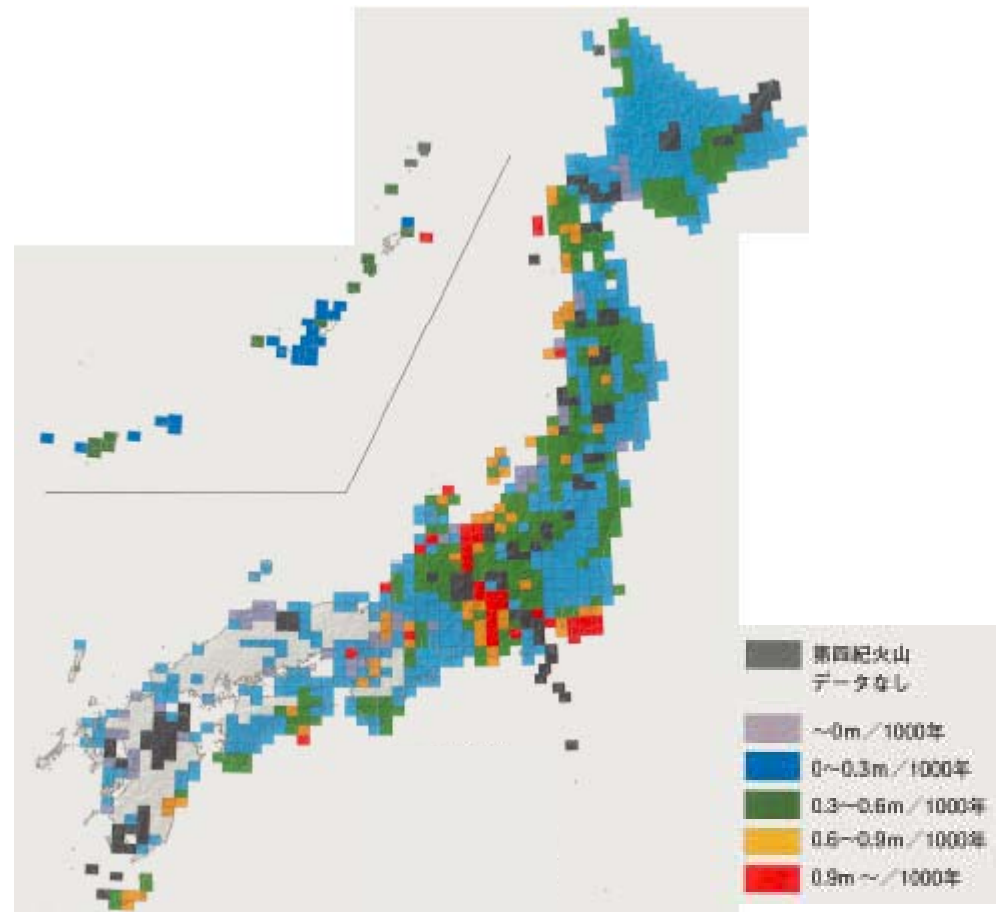
地下水面の勾配の算定は以下に示す3通りの方法で行った。

- ・文献から収集した地下水位データ(日比谷ほか, 1999)から地下水位等高線が明確なものを抽出し, 2孔間の水位差を水平距離で除して動水勾配を求めた。
- ・建設省地下水位年表(建設省河川局, 1994)から, 斜面方向に配置された観測井のうち, 地下水位の経時変化が類似するものを抽出し, 2孔間の水位差を水平距離で除して動水勾配を求めた。
- ・地質調査所報告第273号(1991)から, 斜面方向に配置された観測井のうち, 温度検層から得られた地温勾配曲線に顕著な変化が見られないものを抽出し, 2孔間の水位差を水平距離で除して動水勾配を求めた。

上記の3通りの方法において, 2孔の配置が, 地形から推定される地下水の主流動方向に対してほぼ平行であり, さらに地質柱状図から2孔の地質がほぼ同一であると判断できるものを選択した。

①地質環境特性及びその長期安定性に影響を与える事項(2)

- 「隆起・侵食」については、沿岸部(島や海底下も含む)のなだらかな地形部分(平野など)では、隆起速度が小さい場所を見いだすことが期待できる。
- 一方で、海面低下に伴う侵食の影響については、段階的調査において個別に確認していく必要がある。



◆最近約10万年間の隆起速度の分布

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5



②建設・作業時の安全性確保に影響を与える事項

- 沿岸部の標高の低い範囲は、地上施設に「津波」が与える影響について考慮する必要がある。その影響については、今後、段階的調査において個別に確認していく必要があるが、基本的には工学的に対応することが可能である。



③事業の実現可能性に影響を与える事項(1)

- 前回、輸送時の安全性確保について、「複数の市町村にまたがった輸送経路で選ばないほうが円滑にできるのではないか」との委員からのご意見があった。
- 沿岸部は一般的に輸送の観点で利点が多いが、上記の観点に加え、地形的制約や土地利用、港湾の利用状況等については、安全性のみならず、事業の実現可能性の観点から段階的調査に向けて考慮していくことが重要。

③事業の実現可能性に影響を与える事項(2)

- 地質環境の評価の容易性の観点からは、沿岸部(島や海底下も含む)のなだらかな地形部分(平野など)において、「地下構造が比較的単純、地下水流動の把握が比較的容易な地域」といった場所を見いだすことが十分期待できる。
- 地質環境の調査の観点からは、
 - 沿岸部陸域のなだらかな地形部分は一般的に土地利用が進んでいるため、土地の確保についての検討が重要となる。ただし、海底下は土地利用に関する制約が小さいことは、一つの大きな利点と言える。
 - 沿岸部陸域(島も含む)のなだらかな地形部分については、比較的汎用的な資機材・方法で調査が可能である(なお、山地も調査は可能であるが、急傾斜地等では比較的特殊な資機材等が必要な場合がある)(P.18参照)。
 - 沿岸部海域についても調査は可能であるが、海岸線から近く水深が浅い陸域との接合部は物理探査がしにくく、既存情報が少ない(P.19参照)。一方、水深が大きい場所はボーリング調査に大規模な資機材等が必要となる(P.20参照)。また、海域は、既存の地質図等が陸域と比べて少ない(P.21参照)。したがって、実施主体として段階的調査に向けて調査方法を整備するとともに、関連機関によってデータが整備・拡充されることが重要である。

(参考)陸域における調査

【地表踏査】

nagra “bulletin
No.31 ” (Nagra,1997)



【ボーリング調査】



調査現場の外観

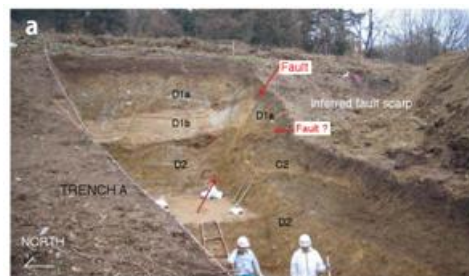
写真提供:
日本原子力研究開発機構

【物理探査】



反射法探査の大型バイブレータ震源
写真提供:地球科学総合研究所HP

【トレンチ調査】



活断層・古地震研究報告
(遠田ほか, 2009)

●現地調査に必要な面積、測線長、調査期間

(一般的な調査の例:地層処分の概要調査では、これ以上の規模・期間、また複数個所の調査が必要と考えられる)

トレンチ調査 1個所あたり 規模:深さ5m×長さ20m程度(※1)、期間:数ヶ月(※2)

ボーリング調査 1個所あたり 面積:200~300m²程度(※3)

期間:掘削だけで1年弱(※4)、ボーリング孔を用いた調査を含めるとそれ以上の期間

物理探査(反射法の例) 1測線あたり規模:10km程度(※5)、期間:3ヶ月程度(※6)

(※1) 日本の地震防災「活断層」(文部科学省, 2004)<http://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/katsudanso/Chap3.pdf>

(※2) 産総研活断層研究センター、トレンチ情報 <https://unit.aist.go.jp/actfault-eq/katsudo/trench/index.html>

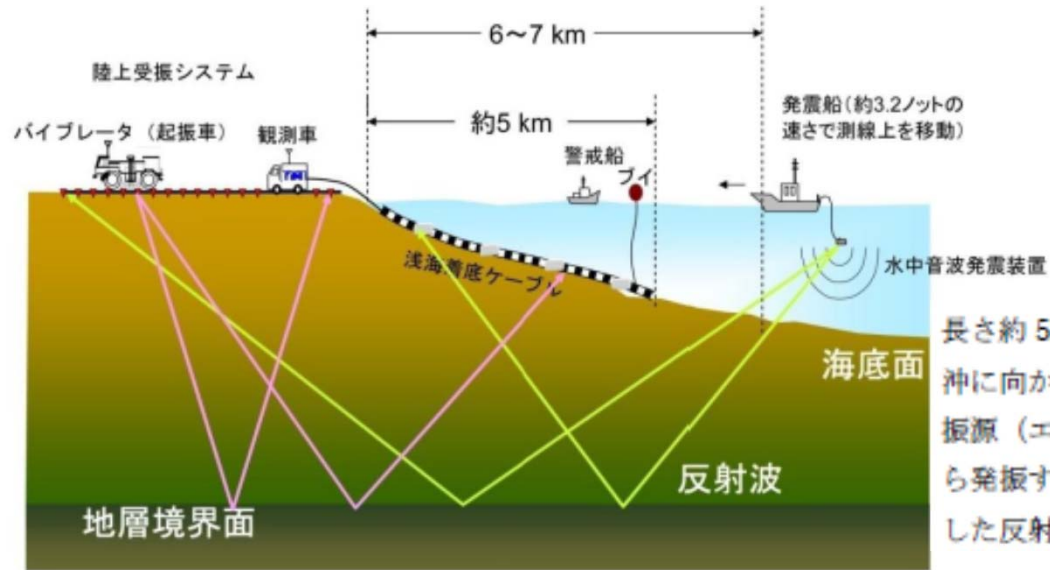
(※3) 全国標準積算資料、土質調査・地質調査(全国地質調査業協会連合会, 2013)、p.III-24

(※4) 1000mの深度を仮定して、資源調査ボーリング(500m~1500m)の能率6m/日(※3と同じ資料、p.III-42)より、20日稼働/月として

(※5) ※3と同じ資料p.IV-21 (※6) 機械損料6日/km(注3と同じ資料p.IV-23)×10km、20日稼働/月として

(参考) 海域における物理探査

■ 海陸接合の反射法地震探査の測定概念図



沿岸域は、沖合で用いる大型観測船が近づけないため、沖合の調査とは異なる方法が必要。

長さ約5kmの受信ケーブル (Ocean Bottom Cable, OBC) を海岸線から沖に向かって海底に沈める。陸域にも受信器を約2kmにわたり設置する。振源 (エアガン) を曳航した船が海底受信ケーブルに沿って移動しながら発振する。陸上でも振源車から発振する。それによって、海陸の連続した反射断面を深度2km程度まで求めることができる。

海域地質環境調査技術高度化開発、成果報告書 (産総研, 2014)、p.8-9

■ 海上の音波探査の調査船



写真提供: 洞海マリンシステムズ

(参考) 海域におけるボーリング調査

■ 水深に応じたボーリング調査

- 水深100m程度まで: 設置式の海上ボーリング用プラットフォーム
- 水深100m～大陸棚程度: 係留式の海上ボーリング用プラットフォーム
- 大陸棚より大水深: 調査専用船(ドリルシップ)を用いたボーリング



地球深部探査船「ちきゅう」
JAMSTEC HPより

■ 直上から離れた地上からのボーリング調査

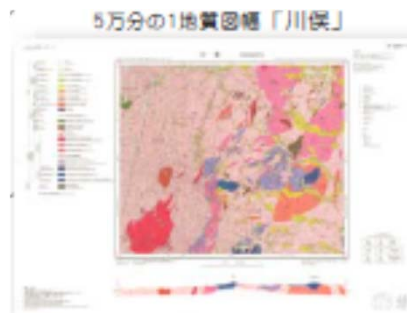
- コントロールボーリング



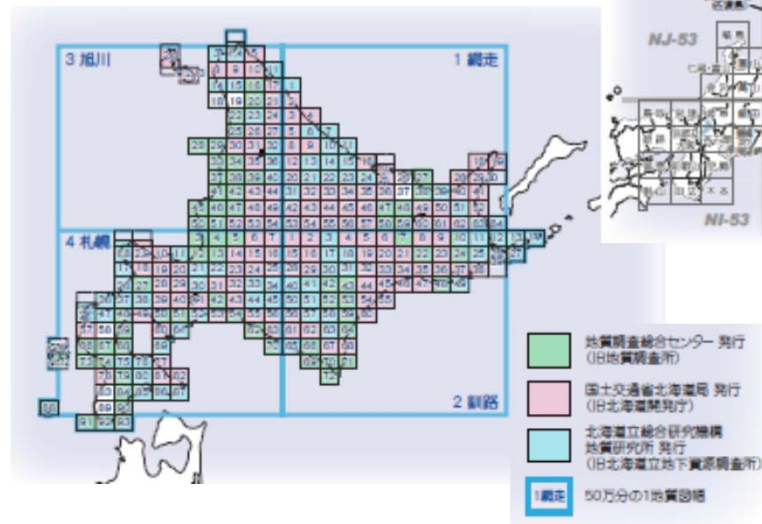
コントロールボーリングによる掘削概念
電力中央研究所HPより

(参考) 既存資料、陸域と海域の比較

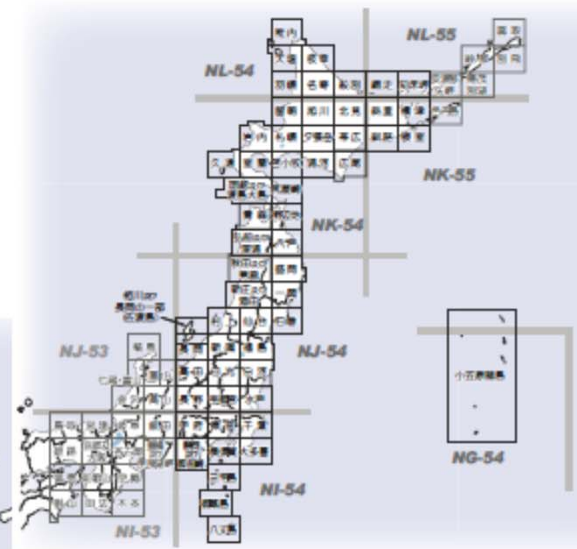
- 海洋地質図は100万分の1、20万分の1の縮尺の地質図が全国的に整備されている。
- 陸域は、これに加えて、より詳しい5万分の1の縮尺の地質図が全国的に整備されている。
- 地質図とは「表土の下にどのような種類の石や地層がどのように分布しているか」を示した地図 (<https://www.gsj.jp/geology/geomap/geomap-view/index.html>)



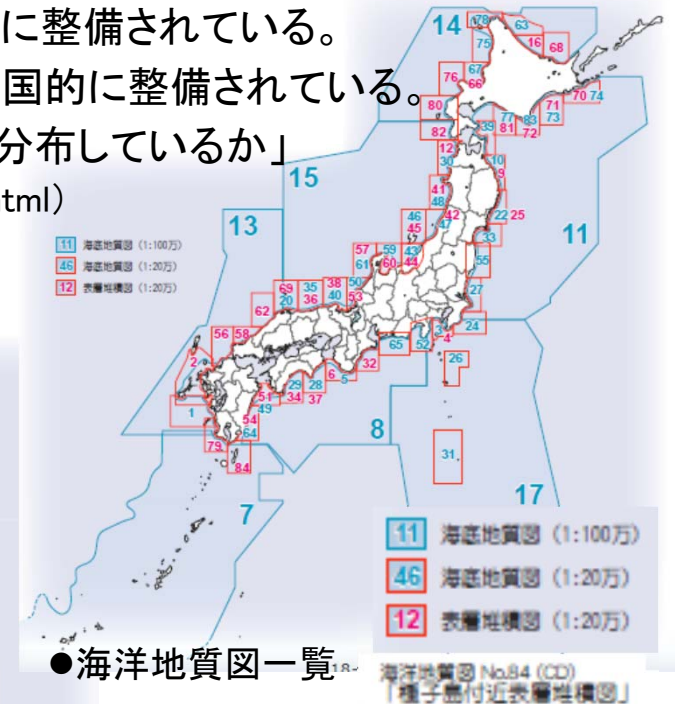
●5万分の1地質図幅の例



●陸域5万分の1地質図幅一覧(北海道)



●陸域20万分の1地質図幅一覧(東日本)



●海洋地質図一覧

海洋地質図 No.84 (CD)
「種子島付近表層地質図」



●海洋地質図の例



地質図カタログ(産総研地質調査総合センター, 2015)

https://www.gsj.jp/Map/pdf_catalogue/geomap-catalogue-jp.pdf

沿岸部における特性及び留意事項のまとめ

輸送の観点で好ましいと考えられる沿岸部について、以下の観点から特性と留意事項を整理した。

①地質環境特性及びその長期安定性の観点

- 沿岸部(島や海底下も含む)のなだらかな地形部分(平野など)では、隆起速度が比較的小さいことや、動水勾配が比較的穏やかであることが、一般的に期待される。
- 一方で、海面低下に伴う侵食や海域の塩水系地下水の影響については、段階的調査において確認していく必要がある。

②建設・操業時の安全性確保の観点

- 沿岸部の標高の低い範囲は、地上施設に「津波」が与える影響について考慮する必要がある。その影響については、今後、段階的調査において個別に確認していく必要があるが、基本的には工学的に対応することが可能である。

③事業の実現可能性の観点

- 沿岸部(島や海底下も含む)のなだらかな地形部分(平野など)において、地質環境が比較的単純で評価しやすい、汎用的な資機材・方法等で調査が実施可能といった場所を見いだすことが十分期待できる。海域については、実施主体として段階的調査に向けて調査方法を整備するとともに、関連機関によってデータが整備・拡充されることが重要である。
- 沿岸部は、一般的に土地利用が進んでいるため、調査に関する土地の確保についての検討が重要になる。ただし、海底下においては土地利用に関する制約が小さい。
- 輸送に関しては、港湾の利用状況や港湾から処分場までの経路についての市町村数、地形的制約、土地利用等について、事業の実現可能性の観点から段階的調査に向けて考慮していくことが重要である。