

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち

第一号及び第三号

(3号廃棄物埋設施設)

2021年4月

日本原燃株式会社

目 次

1. 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第十条第一号及び第三号並びにその解釈.....	1
2. 廃棄物埋設施設の安全機能について.....	3
3. 設計対象設備.....	3
4. 許可基準規則への適合のための設計方針.....	4
(1) 安全設計の方針.....	4
(2) 安全機能.....	5
(3) 廃棄物埋設地の設計に関して留意する事項.....	12
(4) その他の設計.....	13
5. 廃棄物埋設地の設計.....	21
(1) 構成及び設置位置.....	21
(2) 主要設備.....	21
[参考] 許可基準規則への適合性説明.....	49
(1) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 1 項及び第 3 項).....	49
(2) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 2 項).....	59
(3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 4 項).....	60
(4) 許可基準規則第十条第三号(許可基準規則解釈第 10 条第 5 項).....	63
6. 参考文献.....	65

添付資料 1 廃棄物埋設地の設計の考え方

添付資料 2 技術要件における考え方

添付資料 3 許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明

添付資料 4 許可基準規則解釈第 10 条第 2 項に関する補足説明

添付資料 5 1 号及び 2 号廃棄物埋設地の覆土について

1. 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則 第十条第一号及び第三号並びにその解釈

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則
(廃棄物埋設地) 第十条 廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならない。 一 廃棄物埋設地(ピット処分に係るものに限る。)は、外周仕切設備を設置する方法、その表面を土砂等で覆う方法その他の方法により、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間にあつては廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する機能、埋設の終了から廃止措置の開始までの間にあつては廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能を有するものであること。 三 埋設した放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全機能が損なわれないものであること。

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈
第10条(廃棄物埋設地) 1 第1号に規定する「外周仕切設備を設置する方法、その表面を土砂等で覆う方法その他の方法」及び第2号に規定する「その表面を土砂等で覆う方法その他の方法」とは、以下の設計をいう。 一 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること。 二 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること 三 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる(安全上支障のない期間内において速やかに修復できることが確実であることを含む。)構造・仕様であること。 2 第1号に規定する「廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する」とは、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈

止する構造が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域から放射性物質が漏えいしない状況(工学的に有意な漏えいがない状況)を達成することをいう。

- 3 第1号に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する機能」は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと。
- 4 第1号及び第2号の「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減」については、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量が、第8条第1項に規定する「廃棄物埋設施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による事業所周辺の線量」及び第13条第1項に規定する「周辺監視区域の外の空气中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質」の放出により公衆の受ける線量を含め、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考え方の下、実効線量で50マイクロシーベルト/年以下であること。
- 5 第3号に規定する「安全機能が損なわれないものであること」とは、埋設した放射性廃棄物、人工バリア(埋設する放射性廃棄物からの放射性物質の漏出の防止又は低減の機能を有する人工構築物をいう。以下同じ。)及び廃棄物埋設地に充填する土砂等が含有する可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質その他の化学物質の性質及び量に応じて、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地の安全機能に有意な影響を及ぼさないよう対策を講じたものであることをいう。

2. 廃棄物埋設施の安全機能について

安全機能については、第二種廃棄物埋設施の位置、構造及び設備の基準に関する規則(以下「許可基準規則」という。)第二条第2項第一号に「安全機能」とは、廃棄物埋設施の安全性を確保するために必要な機能であって、その機能の喪失により公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがあるものをいう。」とある。

したがって、安全機能に対する考え方としては、許可基準規則第二条第2項第一号を考慮し、安全機能を「放射性物質の漏出を防止する機能」(以下「漏出防止機能」という。)、**「移行抑制機能^{*1}」**、「遮蔽機能」とし、その機能の維持期間及び考え方を第1表にまとめる。廃止措置の開始後は、移行抑制機能及び遮蔽機能を期待できるように設計する。

第1表 ピット処分における安全機能

安全機能	廃止措置の開始前	
	放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで	覆土完了から廃止措置の開始まで
漏出防止機能	○	-
移行抑制機能	-	○
遮蔽機能	○	○

○：安全機能を維持する
-：考慮しない

*1：本資料では、放射性物質の漏出を低減する機能及び生活環境への移行を抑制する機能を「移行抑制機能」という。

ここで、廃棄物埋設施のうち安全機能を有する設備は、埋設設備、排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層及び覆土である。

3. 設計対象設備

許可基準規則第十条第一号及び第三号の設計対象設備は、埋設設備、排水・監視設備及び覆土である。

4. 許可基準規則への適合のための設計方針

(1) 安全設計の方針

廃棄物埋設施設(以下「本施設」という。)は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という。)等の関係法令の要求を満足するとともに、「許可基準規則」に適合する構造とする。

本施設で取り扱う放射性廃棄物で容器に固型化したもの(以下「廃棄体」という。)は、実用発電用原子炉の運転及び本施設の操業に伴って付随的に発生する固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で金属製の容器に固型化したもので、その容器が損傷しない限り、放射性物質は漏えいすることはない。また、取り扱う廃棄体の放射能濃度が低く、個々の廃棄体に含まれる放射性物質の量は十分少ないが、埋設する廃棄体の数量が多い。そのため、漏出防止機能、移行抑制機能及び遮蔽機能が喪失した場合には、放射線障害を及ぼすおそれがあることから、これらを安全機能とする。

なお、飛散防止のための措置は、本施設の特徴を踏まえると公衆の受ける線量が十分小さいことから安全機能には該当しない。

本施設の安全設計の基本的方針は、常時機能維持を必要とする動的な設備・機器は不要であり、静的な設備・機器によりこれらの安全機能を有するよう設計することとし、これらの安全機能を適切に組み合わせることによって、安全性を確保することとする。

具体的には、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、平常時における廃棄物埋設地からの放射性物質の移行、本施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線並びに周辺環境に対して放出される放射性物質により、濃縮・埋設事業所(以下「事業所」という。)の事業所敷地(以下「敷地」という。)周辺の公衆の受ける線量が、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」(平成30年6月8日 原子力規制委員会告示第4号)(以下「線量告示」という。)で定められた線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable(ALARA)の考えの下、合理的に達成できる限り十分低くなるよう、実効線量で $50\mu\text{Sv/y}$ 以下を達成できる設計とする。

放射線業務従事者は、その受ける線量が「線量告示」で定められた線量限度を超

えない設計とする。

廃止措置の開始後、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しのある設計とする。廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態とは、廃止措置の開始後の評価において、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も可能性が高いと考えられるパラメータを設定した自然事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が $10 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、科学的に合理的と考えられる範囲の人工バリアや天然バリアの状態及び被ばくに至る経路の組合せのうち、最も厳しいパラメータを設定した自然事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮した人為事象シナリオで評価される公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないことをいう。

ここで、人工バリアとは、埋設する放射性廃棄物からの放射性物質の漏出の防止又は低減を行う人工構築物をいう。天然バリアとは、埋設する放射性廃棄物又は人工バリアの周囲に存在し、埋設する放射性廃棄物から漏出てきた放射性物質の生活環境への移行の抑制を行う岩盤(鷹架層)をいう。

(2) 安全機能

以下に各安全機能の設計方針について記載する。

廃棄物埋設地の設計として、地下水面下への設置に応じた設計の考え方については添付資料 1「1. 廃棄物埋設地の設計の考え方」に記載する。

(i) 漏出防止機能

a. 設計方針

安全機能を維持すべき期間のうち、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間において、放射性物質の漏出を防止する必要があることから、埋設の終了時期を覆土完了時点とし、覆土完了まで放射性物質の漏出を防止する。

埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層は、埋設する放射性廃棄物の受

入れの開始から覆土完了までの間において、以下に示す方針に基づき、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの漏出防止機能を有する設計とする。

漏出防止機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、水を媒体とした放射性物質の環境への漏出を防止するため、雨水及び地下水と廃棄体が接触しないよう浸入を防止する設計とし、万一、廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止する設計とする。

雨水及び地下水の浸入の防止として、埋設設備内への水の浸入の防止、浸入した水の排出及び廃棄体と水の接触の防止を行う設計とする。外周仕切設備及び覆いの透水特性のうち低透水性及びひび割れ抑制並びに内部防水の防水性により埋設設備内への水の浸入を防止する設計とする。また、埋設設備内に浸入した水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外に排出して回収するとともに、セメント系充填材及び内部防水により廃棄体と水の接触を防止する設計とする。

放射性物質の漏出の防止として、埋設設備外への水の漏出防止及び放射性物質を含む水の回収を行う設計とする。外周仕切設備及び覆いの透水特性のうち低透水性及びひび割れ抑制並びに内部防水の防水性により埋設設備外への水の漏出を防止する設計とする。また、放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外へ排出して回収する設計とする。

なお、回収した水は、放射性物質の濃度が周辺監視区域外の水中の濃度限度を十分下回ることを確認して、排水口から事業所外へ放出する。

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する。

漏出防止機能に関する構造は、雨水及び地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造を組み合わせ、多様化した構造とする。雨水及び地下水の浸入を防止する構造は、外周仕切設備、セメント系充填材、覆い、内部防水及びポーラスコンクリート層により構成し、放射性物質の漏出を防止する構造は、外周仕切設備、覆い、内部防水及びポーラスコンクリート層により構成する。

埋設する廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」（以下「事業規則」という。）に定められた廃棄体に係る技術上の基準を満足するものであり、容器の構造、定置までの取扱い、強度等から、変形・損傷や外部からの雨水及び地下水の浸入が生じ難い構造と考えられるため、容易に廃棄体内の放射性物質が容器の外へ漏えいすることはない。

しかし、埋設設備への定置後において、廃棄体周辺が水で満たされ液相に連続性がある状態となると、廃棄体内の放射性物質は水を媒体として溶出・移行し、廃棄物埋設地の外に漏えいすることが考えられる。このため、「埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止すること」及び「埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水すること」により、雨水及び地下水の浸入を防止する設計とし、万一、廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止する設計とする。

(a) 雨水及び地下水の浸入を防止する設計

(一) 埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止するため、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とし、最大ひび割れ幅の設計目標値は 0.1mm とする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

(二) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水するため、浸入した水を排水できるよう、ポーラスコンクリート層は、外周仕切設備及び覆いとセメント系充填材との間に設置し、廃棄体定置後から覆土完了までの間において、排水性を有する設計とする。

(三) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水するため、浸入した水が廃棄体と接触しないよう、セメント系充填材は、廃棄体定置後、埋設設備内に充填し、有害な空隙が残らないよう充填性を有す

る設計とする。内部防水は、外周仕切設備及び覆いの内側で、セメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間に設置し、防水性を有する設計とする。

(四) その他、操業中における雨水の浸入を抑制するため、以下の設計を行う。

- ・ 廃棄体定置後から埋設設備の覆いが完成するまでの間において、埋設設備の区画上部にコンクリート仮蓋を設置し、開口部から埋設設備内部に雨水が浸入することを抑制すること
- ・ 定置作業中は、埋設クレーンの上部に屋根、側部に雨避け板を設置し、雨水が廃棄体に接触することを抑制すること

(b) 放射性物質の漏出を防止する設計

(一) 廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止するため、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とし、最大ひび割れ幅の設計目標値は 0.1mm とする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外へ排出して回収する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

(c) その他の設計

- (一) 排水・監視設備のうち点検管は、ポーラスコンクリート層により排水された水を作業員が回収する作業空間が確保できる設計とする。
- (二) 漏出防止機能を有するコンクリート構造物に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。現時点の最新の知見としては、

「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(ii) 移行抑制機能

a. 設計方針

埋設設備及び覆土は、以下に示す方針に基づき、覆土完了から廃止措置の開始までの間にあつては移行抑制機能を維持する設計とし、廃止措置の開始後にあつては移行抑制機能を期待できる設計とする。

移行抑制機能は、放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量を低減するため、埋設設備内からの放射性物質の漏出を低減するとともに、放射性物質の移行を遅延する設計とする。

埋設設備内からの放射性物質の漏出の低減として、埋設設備内に流入する地下水の量を抑制する設計とする。低透水性を有する土質系材料の難透水性覆土及び下部覆土を埋設設備の上面及び側面に設置することにより埋設設備内に流入する地下水の量を抑制する設計とする。

放射性物質の移行の遅延として、収着性を有する材料を用いる設計とする。埋設設備及び覆土にそれぞれ収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。

また、埋設設備及び覆土の移行抑制機能の設計に当たっては、天然バリアの移行抑制機能を考慮して行い、岩盤(鷹架層)を掘り下げて埋設設備を設置することで、岩盤(鷹架層)の有する低透水性及び収着性を期待する。

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、覆土完了後において、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減し、生活環境への移行を抑制する。

移行抑制機能に関する構造は、覆土完了後において、低透水性及び収着性を期待する人工バリアと天然バリアとの組合せとする。人工バリアは、埋設設備、埋設設備の上面及び側面を覆う難透水性覆土、下部覆土並びに上部覆土により構成する。天然バリアは、埋設設備の底部及び周辺に位置する岩盤(鷹架層)により構成する。

(a) 覆土

(一) 難透水性覆土及び下部覆土は、放射性物質が地表近傍へ移行すること

による汚染拡大を防止するため、低透水性を有する設計とする。

(二) 覆土は、収着性を有する土質系材料を用いる設計とする。

(三) 覆土は、長期的に安全性が損なわれ難い天然材料である土質系材料を採用する。

なお、覆土の材料は、実際の調達時期により詳細な材料特性が変わる可能性があるが、その場合にも要求性能を満足することを確認した上で用いることとする。

(四) 難透水性覆土及び下部覆土は、長期的な力学的影響及び化学的影響に対して、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮する。

(五) 覆土は、劣化・損傷が生じた場合にも必要な移行抑制機能を有する構成・仕様とするため、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土を十分な厚さで多層化する。

(六) 難透水性覆土及び下部覆土は、地下水流動によって地表面へ放射性物質が移行することを抑制するとともに、浸入した地下水が埋設設備の底部から透水性の小さい岩盤(鷹架層)に流出するように、埋設設備の底面を除く外周部に設置する。

(七) 難透水性覆土は、透水係数を周辺の岩盤(鷹架層)よりも更に小さくなるように設計し、埋設設備の底面及び埋設設備間において幅 2.5m 以下となる狭隘部(以下「埋設設備間狭隘部」という。)を除く外周部に設置する。

埋設設備へ流入する地下水量及び埋設設備から流出する地下水量の抑制の観点として、埋設設備と第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方については、添付資料 1「3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方」に詳細を示す。

(八) 下部覆土は、周辺の岩盤(鷹架層)と同等以下の透水係数とし、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。

(九) 移行抑制機能を有する覆土に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等に基づくほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認し、現状入手できる材料を用いる。現時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾

を参照する。

(b) 埋設設備

(一) 埋設設備は、浸入した地下水中に漏えいする放射性物質の濃度を低減するため、収着性を有するセメント系材料を用いる設計とし、評価において収着性による移行抑制機能を期待できるよう設計する。

(二) 埋設設備は、長期的な侵食に対する抵抗性の確保と埋設設備へ流入する地下水の水量及び埋設設備から流出する地下水の水量を抑制するため、透水性の小さい岩盤(鷹架層)を掘り下げて設置する。

(三) コンクリート製の埋設設備に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。現時点の最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(iii) 放射線の遮蔽機能

a. 設計方針

本施設は、敷地周辺の公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者の線量が、「線量告示」で定められた線量限度を超えないことはもとより、合理的に達成できる限り低くするため、以下に示す方針に基づき遮蔽機能を有する設計とする。

遮蔽機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄体の線量当量率、位置等を考慮し、廃棄体を埋設設備に定置することにより、平常時における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の公衆の受ける線量が、周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。また、放射線業務従事者の受ける線量が放射線業務従事者の線量限度を超えないようにするとともに管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者の線量を公衆の線量限度以下に低減できる設計とする。

覆土完了から廃止措置の開始までの間において、埋設設備及び覆土により、平常時における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行による公衆の受ける線量及び周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量

を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。また、管理区域以外の人
が立ち入る場所に滞在する者の線量を公衆の線量限度以下に低減できる設計
とする。

なお、周辺監視区域の廃止後は公衆が敷地内に立ち入る可能性を考慮し、覆
土により、敷地内に立ち入る公衆の受ける線量を公衆の線量限度以下に低減で
きる設計とする。

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの
間において、放射線の減衰効果のあるコンクリート製の外周仕切設備、内部仕
切設備、廃棄体支持架台、覆い及びコンクリート仮蓋並びにセメント系充填材
を配置することで、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺
の公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに管理区域以外
の人が立ち入る場所に滞在する者の線量を低減できる設計とする。

覆土完了から廃止措置の開始までの間において、埋設設備及び覆土のうち難
透水性覆土及び下部覆土により、敷地周辺の公衆の受ける線量及び管理区域以
外の人が立ち入る場所に滞在する者の線量を低減できる設計とする。

なお、周辺監視区域の廃止後は公衆が敷地内に立ち入る可能性を考慮し、覆
土により、敷地内に立ち入る公衆の受ける線量を低減できる設計とする。

遮蔽の評価結果については、「第八条 遮蔽等」において別途説明する。

(3) 廃棄物埋設地の設計に関して留意する事項

廃棄物埋設地は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間に
あつては放射性物質の漏出を防止し、覆土完了から廃止措置の開始までの間にあつ
ては放射性物質の漏出を低減するため、以下に留意した設計とする。

- ・埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、
設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであ
ること
- ・劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること
- ・劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること
- ・放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物

質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと

また、廃棄物埋設地は、埋設する放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全機能を損なわない設計とする。

埋設する廃棄体、埋設設備、排水・監視設備及び覆土には、可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質を含めないが、安全機能に影響を及ぼす可能性のあるその他の化学物質として、廃棄体又は埋設設備内に含まれる有機物及びセメント系材料から溶出する高アルカリ成分を含む地下水による影響を考慮し、低透水性及び収着性への影響を確認した材料を使用する設計とする。

(4) その他の設計

(i) 廃棄物埋設地に関する設計の留意事項

廃棄物埋設地は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間にあっては放射性物質の漏出を防止し、覆土完了から廃止措置の開始までの間にあっては放射性物質の漏出を低減するため、以下に留意した設計とする。

a. 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること

廃棄物埋設地の設計については、放射性物質の性質及び放射能濃度として、放射性物質の種類により主に半減期や放出される放射線のエネルギーが異なることを考慮する。

- ・半減期の長い放射性物質に対しては、人工バリア及び天然バリアを組み合わせる移行抑制機能の設計により長期的に放射性物質の移行を抑制し、放射能の減衰を図ることで公衆の受ける線量を低減すること
- ・半減期が短く放射線のエネルギーが大きい放射性物質に対しては、遮蔽機能の設計により放射能が有意に減衰するまで遮蔽を確保することで、公衆の受ける外部被ばくを低減すること
- ・放射性廃棄物は容器に固型化したものであり、放射性物質が容易に漏えい・飛散するものではない。しかし、水を媒体として移動することが考えられることから、人工バリア及び天然バリアによる移行抑制機能を確保するまで、漏出防止機能の設計により、水を媒体として放射性物質が漏出することを防止すること

また、廃棄物埋設地は、保全に関する措置を必要としない状態に移行できるよう設計する。人間侵入リスクが高い地表面を避け、天然バリアである侵食抵抗性の高い岩盤(鷹架層)の性能を有効に利用するために、地盤を掘り下げて埋設設備を設置する。その結果、埋設設備が地下水面下への設置となることから、その特徴を考慮し設計する。

埋設設備の設計については、既設埋設設備の設計・施工実績を考慮する。

以上より、廃棄物埋設地に要求される安全機能及びその安全機能を維持すべき期間を踏まえた上で、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術として、諸外国の類似施設の設計を参考とし、広く活用され、かつ、実績を多数有している建設・施工技術を用いる。

安全機能に対する期間ごとに、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術について以下に示す。

(a) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、安全機能(漏出防止機能及び遮蔽機能)を有する部位ごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

(一) 合理的な建設・施工技術

覆土完了までの期間は、数十年程度であることから、埋設設備及び排水・監視設備に対し、一般に数十年オーダーの耐用年数で知見が幅広く整備されているセメント系材料を用いたコンクリート構造物とすることが合理的である。

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

コンクリート構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認し、施工の実現性及び品質を確保する。現時点での最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

また、安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・漏出防止機能は、雨水及び地下水の浸入の防止及び放射性物質の漏出の防止を行うため、埋設設備及び排水・監視設備において、透水特性

を考慮した設計とする。低透水性としてコンクリートの材料配合、ひび割れ抑制としてコンクリートの材料配合及び鉄筋量、充填性としてモルタルの材料配合、防水性として内部防水の配置並びに排水性としてポーラスコンクリート層の設置を考慮した設計とすること

・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するために、埋設設備の密度及び厚さを確保することで、放射線の遮蔽性能を有する設計とすること

(b) 覆土完了後

覆土完了後は、安全機能(移行抑制機能及び遮蔽機能)を有する部位ごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

(一) 合理的な建設・施工技術

覆土完了後の期間は、数百年以上であることから、長期的な透水特性及び遮蔽性能を期待するために、力学的・化学的作用により安全性が損なわれ難い天然材料である土質系材料を用いた土構造物とすることが合理的である。

また、長期的な核種収着性を期待するために、長期的に安全性が損なわれ難い土質系材料及びセメント系材料を用いることが合理的である。

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。現時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾を参照とする。また、一般土工で用いられる重機を使用し、適切な品質管理を行うことで、目標の透水係数を有する覆土を施工できることを確認している。

なお、施工時の品質管理方法は、覆土施工時に行う施工試験結果を用いて最終決定する。

安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・移行抑制機能は、低透水性として土質系材料により透水係数及び厚さを確保する設計とし、収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とすること

- ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するために、覆土の密度及び厚さを確保することで、長期的な放射線の遮蔽性能を有する設計とすること

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備は、漏出防止機能を確保する期間に対して、劣化・損傷に対する抵抗性を有するよう鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。また、劣化抵抗性を有していることを「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に基づく耐久性照査によって確認する。対象項目は、設計条件及び立地条件を考慮し、耐久性に影響があると考えられる中性化、塩害及び凍害とする。

- ・中性化に対する劣化抵抗性を有するために、中性化深さが鋼材腐食発生限界深さに達しない設計とすること

- ・塩害に対する劣化抵抗性を有するために、コンクリート表面塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度に達しない設計とすること

- ・凍害における内部損傷及び表面損傷に対する劣化抵抗性を有する設計とすること

(b) 覆土

難透水性覆土及び下部覆土は、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮し、粒径分布に広がりを持った土質系材料を用いる。

難透水性覆土及び下部覆土は、容易な露呈を防止する観点から安定した地盤を掘り下げ、埋設設備の底面を除く外周部に設置する設計とする。

長期状態において想定される劣化・損傷事象を抽出し、覆土の透水特性に影響を及ぼす要因に対して、長期的に透水特性を維持するための要求機能を満たす見通しのある設計とする。

これらにより、覆土は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

c. 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備は、廃棄体と水が接触することを防止するために、外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、セメント系充填材並びに内部防水で多様化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様とする。

(b) 覆土

覆土は、長期的に発生が予想される力学的影響及び化学的影響のいずれに対しても機能維持が受動的に期待できるよう、多層化した十分な厚さの覆土を設置する。

線量評価上用いる各性能は、線量評価の状態設定における劣化・損傷の程度及び期間の不確実性を包含する設定とすることにより、廃棄物埋設地全体として線量基準を満足できるようにする。

これらにより、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構造・仕様とする。

d. 放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと

放射性物質の漏出を低減する機能は、人工バリア及び天然バリアにより確保し、人工バリアは特性の異なる材料として、セメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。また、これらを用いた各部材に対して、第2表に示すように、地下水の浸入を抑制する機能(低透水性)及び放射性物質を収着する機能(収着性)の複数の異なる機能を期待することにより、一つの機能に過度に依存しないよう配慮した設計とする。

第2表 各部材に期待する移行抑制機能を構成する特性

	部材	収着性	低透水性	
人工バリア	埋設設備	○	—	
	覆土	難透水性覆土	○	○
		下部覆土	—*1	○
		上部覆土	○	—
天然バリア	岩盤(鷹架層)	○	○	

○：期待する

－：期待しない

*1：下部覆土は土質系材料であり収着性を期待できるが、難透水性覆土又は下部覆土の一方に収着性を期待することで十分であることから、下部覆土の収着性は考慮しない。

e. 放射性物質の漏出を低減する機能を有すること

(a) 設計方針

「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を低減する」について、覆土完了から廃止措置の開始までの間、公衆の受ける線量が法令に定める線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable (ALARA) の考えの下、合理的に達成できる限り十分低くなるよう、**実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下を達成できる設計とする。**

(b) 評価方法

(一) 線量評価シナリオ

廃棄物埋設地からの移行に関する評価対象とする線量評価シナリオは、地下水中の放射性物質が移行する尾駸沼の水産物摂取による内部被ばくとする。

(二) 線量評価モデル

廃棄物埋設地からの移行に関する評価対象とする線量評価モデルは、廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が、廃棄物埋設地を通過する地下水により、沢を経て尾駸沼に流入するものとして設定する。この沼の水産物を摂取する場合の内部被ばくの評価は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）」の(1)式から(6)式及び(9)式を用いて計算する。

(三) 線量評価パラメータ

廃棄物埋設地から漏出する放射性物質の量の計算に当たっては、覆土完了直後から放射性物質の漏出が開始するとし、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）」に示す最も可能性が高い自然事象シナリオの状態設定に基づいて評価する。

なお、覆土完了直後の放射エネルギーは、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価） 補足説明資料 9 線量評価パラメータ -パラ

メータ根拠集-」の第1表の値とし、覆土完了後の時間の経過による放射性物質の減衰を考慮する。その他の線量評価パラメータは同資料の第2表から第7表の値を用いる。

(c) 評価結果

覆土完了から廃止措置の開始までの間において、各廃棄物埋設地からの線量を重畳した値は、地下水中の放射性物質が移行する尾駸沼の水産物摂取に係る線量で約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ である。

また、この期間は、十分な厚さの覆土があるため、3号廃棄物埋設施設に対して、難透水性覆土及び下部覆土の厚さの最小値となる埋設設備から4mの位置で評価を行っても、約 $1.0 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/y}$ であることから、十分小さい値である。さらに1号及び2号廃棄物埋設施設に対しても同様に評価を行った結果として約 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/y}$ であり、重畳したとしても対象位置が離れていることから、周辺監視区域の廃止後に敷地内へ立ち入る人を考慮しても外部被ばく線量影響は無視できる。

以上より、覆土完了から廃止措置の開始までの間においては公衆の受ける各廃棄物埋設地からの寄与を考慮した合計線量は約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ となり、本施設は、公衆に対して合理的に達成できる限り十分に低い線量となる施設の設計となっている。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの詳細な評価結果は「[参考] (3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第4項)」に示す。

f. 埋設する放射性廃棄物に含有される化学物質その他の化学物質により安全機能が損なわれないものであること

埋設する廃棄体、埋設設備、排水・監視設備及び覆土には可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質を含めない。一方、廃棄物埋設地の安全機能に影響を及ぼす可能性のあるその他の化学物質としては、廃棄体又は埋設設備内に含まれる有機物、さらにはセメント系材料から溶出した高アルカリ成分を含む地下水との反応による影響を考慮する必要がある。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の安全機能として、埋設設備及び排水・監視設備は漏出防止機能を、埋設設備は遮蔽機能を

有する。覆土完了までの間において、埋設設備は水との接触による溶解・変質が容易に生じないこと及び漏出防止機能によって廃棄体と水の接触を防止することにより廃棄体に含まれる有機物が水に溶出しないことから、埋設設備及び排水・監視設備が有機物との化学反応により著しく損傷することはない。さらに、埋設設備及び排水・監視設備は、セメント系材料で構成されていることから、高アルカリ成分による影響はない。したがって、覆土完了までの間の漏出防止機能及び遮蔽機能については、これらの化学物質によって影響を受けない。

覆土完了から廃止措置の開始までの間の安全機能として、埋設設備及び覆土は移行抑制機能及び遮蔽機能を有する。遮蔽機能については、覆土が十分な厚さを有していることから、化学物質と接触することによって生じる覆土及び埋設設備の厚さ減少及び密度低下による遮蔽機能への影響は無視できると考えられる。移行抑制機能については、廃棄物埋設地内において地下水位が上昇し、地下水の浸入に伴い溶解及び漏出する化学物質(有機物)及びセメント系材料から溶出した高アルカリ成分が埋設設備の収着性並びに覆土の低透水性及び収着性に影響を及ぼす可能性がある。

上記のような化学物質の影響に対する対策として、埋設設備及び覆土に使用する材料については、化学物質による低透水性及び収着性への影響を考慮し、低透水性及び収着性への影響を確認した材料を使用する設計とする。また、覆土については化学的安定性の高い材料で構成する設計とする。

5. 廃棄物埋設地の設計

3号廃棄物埋設地の設計内容について説明する。

3号廃棄物埋設地が既設の1号及び2号廃棄物埋設地と異なる部分の考え方については、添付資料1「2. 3号廃棄物埋設地の基本的考え方」に示す。

(1) 構成及び設置位置

廃棄物埋設地は、管理建屋から運搬した廃棄体を埋設する場所であり、埋設設備、排水・監視設備及び覆土により構成する。

廃棄物埋設地は、1号廃棄物埋設地の東側に位置し、廃棄体最大42,240m³(200Lドラム缶211,200本相当)を埋設する。

埋設設備は、1基当たり廃棄体約5,280m³(200Lドラム缶26,400本相当)を埋設する埋設設備8基で構成し、東西方向に2基、南北方向に4基配置する。

埋設設備は、現造成面(標高約41m~46m)基準から約21m掘り下げて、標高約20m~25mとなるようにN値50以上の岩盤(鷹架層)に設置する。

(2) 主要設備

(i) 埋設設備

a. 構成及び安全機能

埋設設備は、外周仕切設備、内部仕切設備、廃棄体支持架台、セメント系充填材、覆い、コンクリート仮蓋及び内部防水により構成する。

外周仕切設備及び覆いの低透水性及びひび割れ抑制、セメント系充填材の充填性並びに内部防水の防水性により放射性物質の漏出を防止する。

外周仕切設備、内部仕切設備、廃棄体支持架台、セメント系充填材、覆い及びコンクリート仮蓋は、遮蔽性により放射線の遮蔽を行う。

なお、評価において収着性による移行抑制機能を期待できる設計とする。

b. 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

埋設設備の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第3表に示す。

(a) 技術要件及び設計仕様項目

(一) 漏出防止機能

埋設設備の漏出防止機能は、雨水及び地下水の浸入を防止すること及び放射性物質の漏出を防止することである。水の浸入及び放射性物質の漏出は埋設設備の透水特性によって影響を受けることから、埋設設備に対する技術要件は透水特性(低透水性、ひび割れ抑制、充填性及び防水性)であり、その設計仕様項目は水結合材比、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、鉄筋量、スランプフロー、ブリーディング、遮水性及びひび割れ追従性である。

また、埋設設備は、漏出防止機能を確保する上で、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重並びに静的地震力に対する健全性を要求することから、技術要件として力学特性(力学的安定性及び耐久性)を考慮する。漏出防止機能の要求期間が一般的なコンクリート構造物の設計耐用期間と同程度であることから、現状の土木建築分野における構造設計及び耐久設計の方法が適用可能である。したがって、その設計仕様項目は圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋かぶり及び材料配合である。

(二) 移行抑制機能

埋設設備には、移行抑制機能に対する技術要件として、セメント系材料が有する収着性を考慮するが、その設計仕様項目は設定せず、収着性への影響を確認した材料を使用する設計とする。

(三) 遮蔽機能

埋設設備の遮蔽機能は、公衆の受ける線量及び放射線業務従事者の受ける線量並びに管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者の線量(以下「公衆等の受ける線量」という。)を低減することである。公衆等の受ける線量は埋設設備の遮蔽性能によって影響を受けることから、埋設設備に対する技術要件は遮蔽性能(遮蔽性)であり、その設計仕様項目は密度及び部材寸法(厚さ)である。

また、埋設設備は、遮蔽機能を確保する上で、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重並びに静的地震力に対する健全性を要求することから、技術要件として力学特性(力学的安定性及び耐久性)を考慮する。覆

土完了までの遮蔽機能の要求期間が一般的なコンクリート構造物の設計耐用期間と同程度であることから、現状の土木建築分野における構造設計及び耐久設計の方法が適用可能である。したがって、その設計仕様項目は圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋かぶり及び材料配合である。

(b) 設計要件

設計仕様項目である水結合材比、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、鉄筋量、スランプフロー、ブリーディング、遮水性、ひび割れ追従性、圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋かぶり、材料配合、密度及び部材寸法(厚さ)については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

埋設設備の技術要件のうち、低透水性、充填性、力学的安定性及び耐久性についての詳細は添付資料2「技術要件における考え方」に示す。

第3表 埋設設備の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		仕切設備 外周	仕切設備 内部	支持架台 廃棄体	セメント系 充填材	覆い	コンクリート 仮蓋	内部防水	設計要件		
	技術要件 (必要な特性)	設計仕様項目										
漏出防止機能	透水特性	低透水性	水結合材比	○	—	—	—	○	—*1	—	緻密なコンクリートであること(基質部)。	
		ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	○	—	—	—*3	○	—*1	—	温度変化によるひび割れの抑制を考慮すること。	
			自己収縮ひずみ	○	—	—	—*3	○	—*1	—	自己収縮によるひび割れの抑制を考慮すること。	
			乾燥収縮ひずみ	○	—	—	—*3	○	—*1	—	乾燥収縮によるひび割れの抑制を考慮すること。	
			鉄筋量	○	—	—	—	○	—*1	—	最大ひび割れ幅を低減すること。	
		充填性	スランプフロー	—	—	—	○	—	—	—	必要な流動性を有すること。	
			ブリーディング	—	—	—	○	—	—	—	材料分離抵抗性を有すること。	
		防水性	遮水性	—	—	—	—	—	—	○	水の浸入及び漏出を防止すること。	
	ひび割れ追従性		—	—	—	—	—	—	○	コンクリートのひび割れに追従すること。		
	漏出防止機能を確保するための要求機能	力学特性	力学的安定性	圧縮強度	○	○	○*2	○	○	—	—	必要な構造強度を有すること。
鉄筋強度				○	○	○*2	—	○	—	—	必要な構造強度を有すること。	
耐久性			鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。	
			材料配合	○	○	—	—	○	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。	
移行抑制機能	核種収着性	収着性	—	—	—	—	—	—	—	設計仕様項目を設定しない(評価において、埋設設備自体が副次的にもつ性能として設定するものとする。)*4		
遮蔽機能	放射線の遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	○	○	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。	
			部材寸法(厚さ)	○	○	○	○	○	○	—	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
	遮蔽機能を確保するための要求機能	力学特性	力学的安定性	圧縮強度	○	○	○	○	○	○	—	必要な構造強度を有すること。
				鉄筋強度	○	○	○	—	○	○	—	—
		耐久性	鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。
			材料配合	○	○	—	—	○	—	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。

*1: 防水シート等の併用により区画内に水を浸入させないように考慮する。

*2: セメント系充填材を充填できるよう、ポーラスコンクリート層と廃棄体の間の厚さを確保するための力学的安定性を確保する。

*3: 充填性を確保した上でひび割れ抑制の観点についても考慮する。

*4: 分配係数は、材料仕様、施工の際に取得する分配係数データ又は代替指標となるデータにより管理する。

c. 構造及び仕様

埋設設備の外形寸法は、約 64.1m(幅)×約 36.5m(奥行き)×約 6.7m(高さ)^{*1} であり、底部及び側部は外周仕切設備、上部は覆いにより構成する。埋設設備の内部は、内部仕切設備により 1 基当たり 6 行 11 列の 66 区画とする。

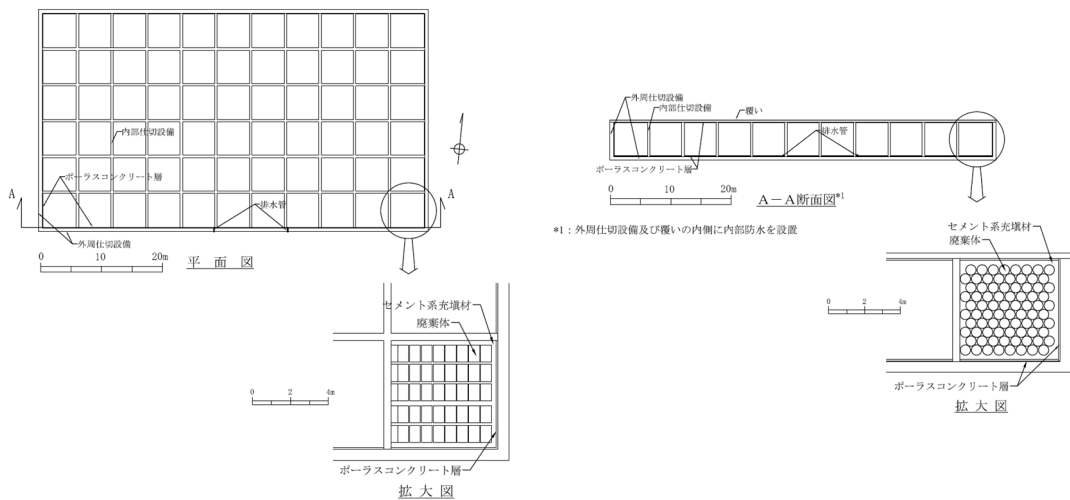
*1：小数点第一位までの記載とし、「約」と記載する。

区画した内部には、廃棄体を定置するための廃棄体支持架台を設置し、8 行、5 列、10 段積みで廃棄体を定置する。廃棄体の定置後は、有害な空隙が残らないようにセメント系充填材を充填する。

廃棄体の定置開始から覆い施工開始までの間において、作業時を除き、区画の開口部にコンクリート仮蓋を設置する。

埋設設備の平面図及び断面図を第 1 図に示す。

埋設設備の主要な部位と主な仕様を第 4 表に示す。



第 1 図 埋設設備平面図及び断面図

第4表 埋設設備の主要な部位と主な仕様

設備	主要な部位	主な仕様 ^{*1}
埋設設備	外周仕切設備	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.6N/mm ² 以上 水結合材比：55%以下 最大ひび割れ幅設計目標値：0.1mm 厚さ：約60cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	内部仕切設備	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.6N/mm ² 以上 厚さ：約40cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	廃棄体支持架台	材料：鉄筋コンクリート ポーラスコンクリート層と廃棄体間の厚さ：約20cm 密度：1,600kg/m ³ 以上
	セメント系充填材	材料：モルタル モルタルの設計基準強度：10.0N/mm ² 以上 流動性：スランプフロー65cm以上 ポーラスコンクリート層と廃棄体間の厚さ：約20cm 密度：1,600kg/m ³ 以上
	覆い	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.6N/mm ² 以上 水結合材比：55%以下 最大ひび割れ幅設計目標値：0.1mm 厚さ：約30cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	コンクリート仮蓋	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.0N/mm ² 以上 厚さ：約50cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	内部防水	防水性を有する材料を設置

*1：各部位の厚さについては、寸法の許容誤差を含む記載として「約」としている。

以下に、各部位の仕様を記載する。

(a) 外周仕切設備

(一) 概要

外周仕切設備は、鉄筋コンクリート製の側壁及び底版であり、その厚さは約 60cm(許容誤差を含む)とする。

(二) 設計方針

外周仕切設備に求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の漏出防止機能及び埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間の遮蔽機能である。漏出防止機能に対しては透水特性を、遮蔽機能に対しては遮蔽性能を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

コンクリートの低透水性及びひび割れの抑制に配慮した設計とする。低透水性を確保するため、「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾に基づき、水結合材比を 55%以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

外周仕切設備の施工後から覆土完了の間において、可能な範囲に対し定期的な点検を行う。ひび割れは幅 0.1mm 以上を管理する。幅 0.1mm 以上のひび割れに対しては、排水・監視設備からの排水量及びひび割れの進展状況を防水性の観点で評価した上で、適切に補修する。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は 2,100kg/m³ 以上とする。

(ウ) 力学特性

力学的安定性及び耐久性に配慮した設計とする。

力学的安定性を確保するため、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行い、

コンクリートの設計基準強度は 24.6N/mm^2 以上とする。

耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に基づき照査を行う。

(b) 内部仕切設備

(一) 概要

内部仕切設備は、鉄筋コンクリート製であり、その厚さは約 40cm (許容誤差を含む)とする。

(二) 設計方針

内部仕切設備に求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間の遮蔽機能である。遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $2,100\text{kg/m}^3$ 以上とする。

(イ) 力学特性

力学的安定性及び耐久性に配慮した設計とする。

力学的安定性を確保するため、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行い、コンクリートの設計基準強度は 24.6N/mm^2 以上とする。

耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に基づき照査を行う。

(c) 廃棄体支持架台

(一) 概要

廃棄体支持架台は、鉄筋コンクリート製であり、埋設設備に設置するポラスコンクリート層と廃棄体の離隔を確保するよう設置する。

(二) 設計方針

廃棄体支持架台は、セメント系充填材と一体となって漏出防止機能及び遮蔽機能を達成する。ポーラスコンクリート層と廃棄体の間のセメント系充填材が厚さ約 20cm(許容誤差を含む)となるよう、廃棄体を固定及び支持するための力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,600\text{kg/m}^3$ 以上とする。

(イ) 力学特性

力学的安定性を確保するため、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行う。

(d) セメント系充填材

(一) 概要

セメント系充填材は、区画内を充填するモルタルであり、廃棄体の間に有害な空隙が残らないようにする。

ポーラスコンクリート層と廃棄体の間のセメント系充填材の厚さは約 20cm(許容誤差を含む)とする。

(二) 設計方針

セメント系充填材に求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の漏出防止機能及び埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間の遮蔽機能である。漏出防止機能に対しては透水特性を、遮蔽機能に対しては遮蔽性能を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

充填性に配慮した設計として、水が廃棄体に接触することを抑制するため、区画内の廃棄体周辺を充填する。有害な空隙が生じないよう充填するため、スランプフローは 65cm 以上とし、ブリーディングを極力生じないようにする。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,600\text{kg/m}^3$ 以上とする。

(ウ) 力学特性

廃棄体の固定に対する力学的安定性に配慮した設計とし、モルタルの設計基準強度は 10.0N/mm^2 以上とする。

(e) 覆い及びコンクリート仮蓋

(一) 概要

覆いは、鉄筋コンクリート製であり、外周仕切設備及び内部仕切設備の上部に設置する。その厚さは約 30cm (許容誤差を含む) とする。

また、廃棄体の定置開始から覆い施工開始までの間において、作業時を除き、区画の開口部にコンクリート仮蓋を設置する。その厚さは約 50cm (許容誤差を含む) とする。

(二) 設計方針

覆いに求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の漏出防止機能及び埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間の遮蔽機能である。漏出防止機能に対しては透水特性を、遮蔽機能に対しては遮蔽性能を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として力学特性を確保する。

コンクリート仮蓋に求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆い施工開始までの間の遮蔽機能である。遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

覆いは、コンクリートの低透水性及びひび割れの抑制に配慮した設計とする。

低透水性を確保するため、「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾に基づいて、水結合材比を 55% 以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制

するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

覆いの施工後から覆土完了の間において、可能な範囲に対し定期的な点検を行う。ひび割れは幅 0.1mm 以上を管理する。幅 0.1mm 以上のひび割れに対しては、排水・監視設備からの排水量及びひび割れの進展状況を防水性の観点で評価した上で、適切に補修する。

また、既設 1 号埋設設備において、覆いに生じたひび割れを浸入経路とした排水が認められており、ひび割れ制御鉄筋により対策していることから、3 号埋設設備においてもこれを踏襲する(添付資料 4「参考資料 1 1 号及び 2 号排水・監視設備からの排水実績と漏出防止機能の健全性について」参照)。

さらに、覆い目地部から浸入する雨水を低減するため、覆い上面に傾斜を設けることで水が滞留し難い設計とする(添付資料 4「2. (4) その他の防水に対する設計」参照)。

コンクリート仮蓋は、区画内に雨水を浸入させない設計とする。

(イ) 遮蔽性能

覆いは、遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $2,100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上とする。

また、コンクリート仮蓋も同様に密度及び厚さを確保するものとし、密度は $2,100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上とする。

(ウ) 力学特性

覆いは力学的安定性及び耐久性に、コンクリート仮蓋は力学的安定性に配慮した設計とする。

力学的安定性を確保するため、覆いは、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾ 付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行い、コンクリートの設計基準強度は $24.6\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とする。

覆いは、耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾ に基づき照査を行う。

また、コンクリート仮蓋は、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行い、コンクリートの設計基準強度は 24.0N/mm² 以上とする。

(f) 内部防水

(一) 概要

外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及びポーラスコンクリート層とともに、雨水及び地下水の浸入を防止し、埋設設備からの放射性物質の漏出を防止するために内部防水を行う。

内部防水については、以下の観点から設計する。

(ア) 外周仕切設備側壁部及び覆い部

ポーラスコンクリート層から廃棄体方向に浸入する水の流れを防止する。

(イ) 外周仕切設備底版部及び側壁部の立ち上げ部

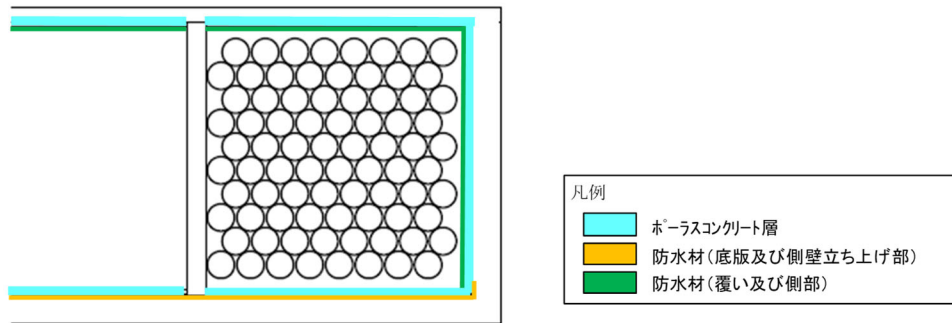
外周仕切設備底版からの地下水の浸入を防止するとともに、ポーラスコンクリート層からの放射性物質の漏出を防止する。

(二) 仕様

外周仕切設備側壁部及び覆い部における内部防水は、セメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間に行う。また、外周仕切設備の内側で外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に内部防水を行う。

内部防水の設置位置概要図を第 2 図に示す。

内部防水は、遮水性を有し、ひび割れに対して追従性又はそれと同等の性能を有する設計とする。



*1: 内部仕切設備直下の内部防水は、選定された防水材・工法に応じて施工範囲を決定する。

第 2 図 内部防水設置位置概要図

(ii) 排水・監視設備

a. 構成及び安全機能

排水・監視設備は、ポラスコンクリート層、排水管及び点検管により構成する。

ポラスコンクリート層は、排水性を有し、埋設設備内に浸入した水を排水し、廃棄体と浸入した水の接触を抑制する。

点検管は、排水管からの排水状況を監視できる作業空間を確保する。排水管には、排水回収作業用の弁を設置する。

b. 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

排水・監視設備の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第 5 表に示す。

第5表 排水・監視設備の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能			コンクリート層 ポーラス	排水管 *1	点検管のうち 鋼管部	点検管のうち 点検室	設計要件
	技術要件 (必要な特性)		設計仕様項目					
漏出防止機能	透水特性	排水性	排水能力	○	—	—	—	十分な排水能力を有する設備が配置されていること。
漏出防止機能を確保するための 要求機能	力学特性	力学的 安定性	コンクリート 圧縮強度	○	—	—	○	必要な構造強度を有すること。
			鉄筋強度	—	—	—	○	必要な構造強度を有すること。
			鋼管強度	—	—	○	—	必要な構造強度を有すること。
		耐久性	鉄筋かぶり	—	—	—	○	中性化に対して必要なかぶりを有すること。
			材料配合	—	—	—	○	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。
			排水管の 腐食抵抗	—	○	—	—	供用期間中、腐食に対して劣化抵抗性を有すること。
	作業空間 の確保	作業性	内空寸法	—	—	○	○	作業員が水の回収作業を実施できること。

*1：排水管には、排水管の回収作業用に弁を設けている。

(a) 技術要件及び設計仕様項目

(一) 漏出防止機能

排水・監視設備の漏出防止機能は、埋設設備内に浸入した水を排水し廃棄体への水の接触を抑制することである。浸入した水の排水は排水・監視設備の透水特性によって影響を受けることから、排水・監視設備に対する技術要件は透水特性(排水性)であり、その設計仕様項目は排水能力である。排水能力を期待する部位はポーラスコンクリート層であり、透水係数、通水断面積及び勾配により排水能力を算定する。

また、排水・監視設備は、漏出防止機能を確保する上で、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重並びに静的地震力に対する健全性を要求することから、技術要件として力学特性(力学的安定性及び耐久性)を考慮する。漏出防止機能の要求期間が一般的なコンクリート構造物の設計耐用期間と同程度であることから、現状の土木建築分野における構造設計及び耐久設計の方法が適用可能である。したがって、その設計仕様項目はコンクリート圧縮強度、鉄筋強度、鋼管強度、鉄筋かぶり、材料配合及び排水管の腐食抵抗である。

さらに、排水・監視設備は、漏出防止機能が発揮されていることの確認のため、排水された水を作業員が適切に回収する必要があることから、技術要件として作業空間の確保(作業性)を考慮する。したがって、その設計仕様項目は内空寸法であり、それを期待する部位は点検管である。

(b) 設計要件

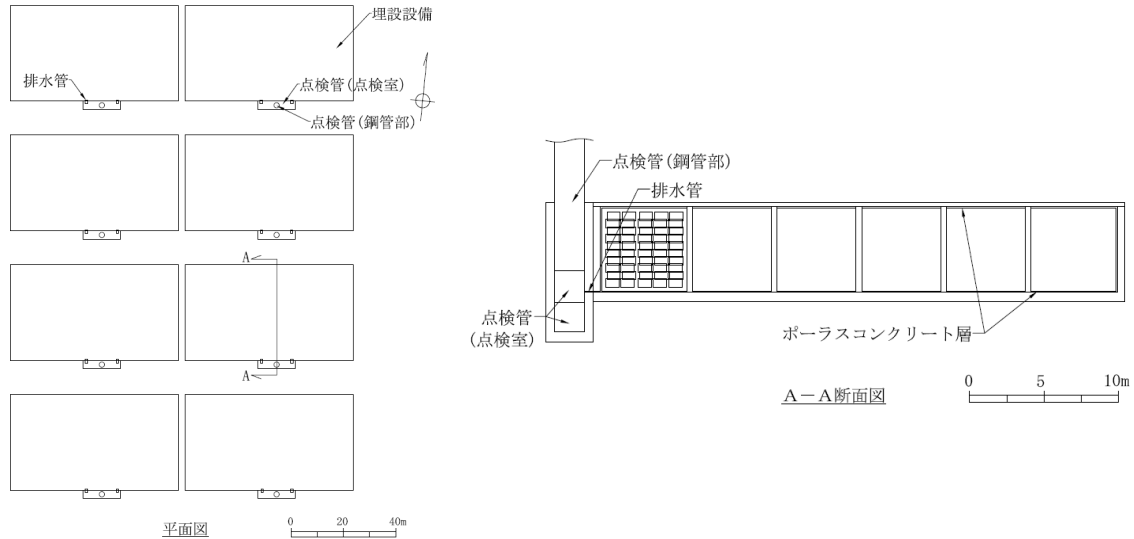
設計仕様項目である排水能力、コンクリート圧縮強度、鉄筋強度、鋼管強度、鉄筋かぶり、排水管の腐食抵抗及び内空寸法については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

c. 構造及び仕様

埋設設備の外周仕切設備及び覆いとセメント系充填材の間には、ポーラスコンクリート層を設置するとともに、集水した水を排水できるように排水管を設置する。排水管からの排水を覆土が施工された状態でも回収できるよう点検管を設置する。

排水・監視設備の平面図及び断面図を第3図に示す。

排水・監視設備の主要な部位と主な仕様を第6表に示す。



第3図 排水・監視設備平面図及び断面図

第6表 排水・監視設備の主要な部位と主な仕様

設備	主要な部位	主な仕様*1
排水・監視設備	ポーラスコンクリート層	材料：ポーラスコンクリート及びコンクリート ポーラスコンクリートの設計基準強度： 10.0N/mm ² 以上 厚さ：約10cm ポーラスコンクリートの透水係数：1.0×10 ⁻³ m/s以上 排水性：排水管に向かって勾配がついていること
	排水管	材料：ステンレス鋼 口径：50A 排水性：外側に向かって勾配がついていること 及び排水回収作業用に弁が設置されていること
	点検管	材料(鋼管部)：炭素鋼 材料(点検室)：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.6N/mm ² 以上

*1：各部位の厚さについては、寸法の許容誤差を含む記載として「約」としている。

以下に各部位の仕様を示す。

(a) ポーラスコンクリート層

(一) 概要

ポーラスコンクリート層は、ポーラスコンクリート及びコンクリートからなり、外周仕切設備及び覆いの内側の面に設置する。

(二) 設計方針

ポーラスコンクリート層に求める安全機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の漏出防止機能である。漏出防止機能に対しては、透水特性を確保する設計とする。また、その他の必要な特性として、力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

排水性に配慮した設計とし、ポーラスコンクリートは、排水性の確保のため透水係数を $1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ 以上とし、厚さをポーラスコンクリート層の厚さ約 10cm(許容誤差を含む)の 1/2 以上とする。

また、排水管に向かって勾配をつける。

(イ) 力学特性

廃棄体の自重に対する力学的安定性に配慮した設計とし、ポーラスコンクリートの設計基準強度は 10.0N/mm^2 以上とする。

(b) 排水管

(一) 概要

ポーラスコンクリート層で集水した水を埋設設備の外に排水するために排水管を設置し、口径は 50A とする。外部に向かって勾配を設けるとともに、排水回収作業用の弁を設置する。

(二) 設計方針

排水管は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、力学特性を確保する。

(三) 仕様

(ア) 力学特性

耐久性に配慮した設計とし、腐食に対して劣化抵抗性を有する材質(ステンレス鋼)とする。

(c) 点検管

(一) 概要

点検管は、炭素鋼製の鋼管部及び鉄筋コンクリート製の点検室からなり、覆土施工開始後から覆土完了まで排水状況の監視を行うため、地上部から埋設設備の排水管取付位置までの覆土内における作業空間の確保を目的としている。

(二) 設計方針

点検管は、力学特性及び作業空間を確保する。

なお、排水・監視設備による監視及び測定が終了した後に、有害な空隙が残らないよう点検室内の埋戻しを行う。また、鋼管部については埋設設備の上方向で難透水性覆土及び下部覆土内を貫通する箇所を解体し、有害な空隙が残らないよう埋戻しを行う。

(三) 仕様

(ア) 鋼管部

① 力学特性

力学的安定性に配慮した設計として、炭素鋼鋼管を使用し「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説」⁽⁶⁾に示される許容応力度法により構造強度の照査を行う。

② 作業空間の確保

作業性に配慮した設計とし、排水・監視設備により排水された水を作業員が回収できる作業空間を確保する。

(イ) 点検室

① 力学特性

力学的安定性及び耐久性に配慮した設計とする。

力学的安定性を確保するため、「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」⁽⁵⁾付録 I に示される許容応力度法により構造強度の照査を行

い、コンクリートの設計基準強度は 24.6N/mm^2 以上とする。

耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に基づき照査を行う。

② 作業空間の確保

作業性に配慮した設計とし、排水・監視設備により排水された水を作業員が回収できる作業空間を確保する。

(iii) 覆土

a. 構成及び安全機能

覆土は、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土により構成する。

難透水性覆土及び下部覆土は、低透水性により放射性物質の移行を抑制し、遮蔽性により放射線の遮蔽を行う。

なお、評価において収着性による移行抑制機能を期待できる設計とする。

b. 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

覆土の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第7表に示す。

(a) 技術要件及び設計仕様項目

(一) 移行抑制機能

覆土の移行抑制機能は、埋設設備内を通過する地下水の流量を低減することである。埋設設備からの流出水量は覆土の透水特性によって影響を受けることから、覆土に対する技術要件は透水特性(低透水性)であり、その設計仕様項目は透水係数及び厚さである。

また、移行抑制機能については、長期にわたり機能を維持するため、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因について抽出する。長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構を第8表に示す。影響要因の抽出については、周辺岩盤などの外部環境も含めた施設の構成及び影響要因の相互作用を網羅的に考慮する。抽出した要因は、廃棄物埋設地の覆土完了後の再冠水による水との接触に伴う、ベントナイト特性の変化、有効粘土密度の変化及び短絡経路の形成である。長期における覆土の技術要件は、これらの要因に対する長期機能維持特性(化学的安

定性、変形追従性及び液状化抵抗性)であり、その設計仕様項目は透水係数、厚さ及び締固め度である。

なお、覆土には、移行抑制機能に対する技術要件として、土質系材料が有する収着性を考慮するが、その設計仕様項目は設定せず、収着性への影響を確認した材料を使用する設計とする。

(二) 遮蔽機能

覆土の遮蔽機能は、放射線を遮蔽する機能であるため、技術要件は遮蔽性であり、その設計仕様項目は密度及び厚さである。

(b) 設計要件

設計仕様項目である透水係数、厚さ、密度及び締固め度については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

覆土の技術要件のうち、低透水性及び液状化抵抗性についての詳細は添付資料2「技術要件における考え方」に示す。

第7表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		設計仕様項目	難透水性覆土	下部覆土	上部覆土	設計要件
	技術要件 (必要な特性)						
移行抑制機能	透水特性	低透水性	透水係数	○	○	—	必要な透水係数を有すること。 ^{*3}
			厚さ	○	○	—	必要な厚さを有すること。 ^{*4}
	核種 収着性	収着性	—	—	—	—	設計仕様項目を設定しない(評価において、覆土が副次的にもつ性能として設定するものとする)。 ^{*5}
移行抑制機能を長期的に維持するための要求機能	長期機能維持特性	化学的 ^{*1} 安定性	透水係数	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
		変形 ^{*1} 追従性	透水係数	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
			厚さ	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
		液状化 ^{*1} 抵抗性	締固め度	○	○	—	長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあること。 ^{*2}
遮蔽機能	放射線の遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
			厚さ	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。 ^{*4}

*1：影響要因及び影響機構を第8表に整理している。

*2：長期状態変化に関連する設計については、第十条第四号の状態設定の評価と関連することから、第十条第四号の説明時に具体的な数値の説明を行う。

*3：難透水性覆土は巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 、下部覆土は巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ を施工時点で確保する。

*4：難透水性覆土は厚さ2m、下部覆土は難透水性覆土上面で厚さ2mを確保する。

*5：分配係数は、材料仕様、施工の際に取得する分配係数データ又は代替指標となるデータにより管理する。

第8表 長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構

設計仕様項目	長期状態における影響要因			影響機構	要求性能(技術要件)
透水係数	ベントナイト特性の変化	化学的影響	交換性陽イオンの変化	セメント系材料からの高カルシウム濃度の間隙水によるベントナイトのCa型化。	化学的安定性
			廃棄体中のほう酸塩、硫酸塩などの可溶性塩影響	可溶性塩影響により、空隙特性(空隙率、空隙構造)が変化するとともに、膨潤性能が低下。また、陥没による覆土の変形。	化学的安定性 変形追従性
	有効粘土密度*1の変化	力学的影響	金属の腐食	金属の腐食膨張により、覆土の隅角部等に、厚さの減少及び変位に伴う透水性が変化した領域の発生。	変形追従性
			地震影響	地震力により覆土の変形及び液状化の発生。	変形追従性 液状化抵抗性
	化学的影響	モンモリロナイトの溶解、随伴鉱物の溶解、二次鉱物の生成	セメント系材料からの高アルカリ性の間隙水によるベントナイト構成材料の溶解に伴う密度低下。溶解成分と地下水成分などが反応して二次鉱物が沈殿。	化学的安定性	
厚さ	短絡経路の形成	力学的影響	ガス発生	金属腐食等により発生するガスの破過が生じ、覆土に低密度部を形成。	変形追従性

*1：単位体積あたりに含まれるベントナイト分の乾燥重量をそれ自身の体積で割ることにより得られる密度であり、ベントナイト混合材料の特性を把握するときの指標のひとつ。

c. 構造及び仕様

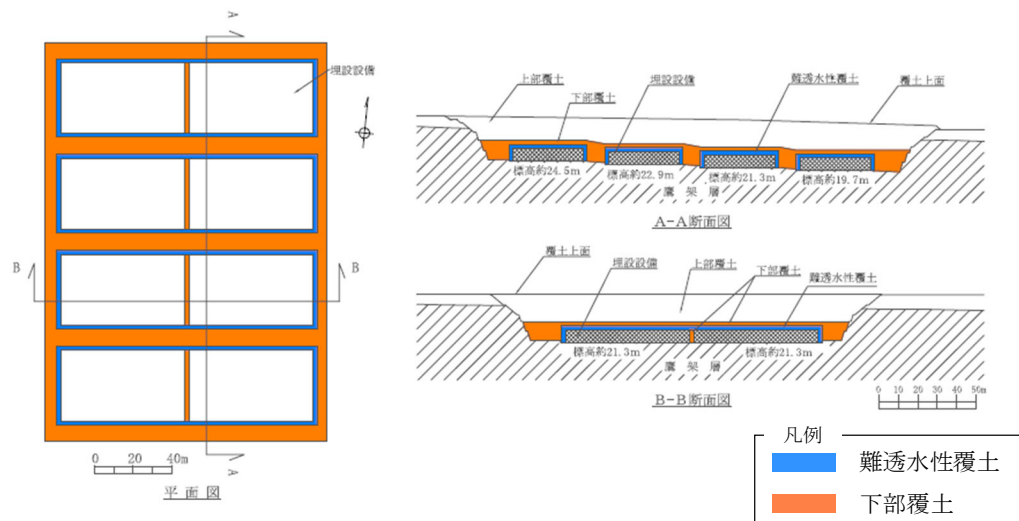
難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、下部覆土の上部に設置する。

埋設設備間狭隘部とは、具体的には埋設設備の東西方向の間を示す。

移行抑制機能を確保する観点から、覆土の低透水性は、力学的影響及び化学的影響による長期的な性能低下に配慮した設計とする。

覆土断面図を第4図に示す。

覆土の主要な部位と主な仕様を第9表に示す。



第4図 覆土断面図

第9表 覆土の主要な部位及び主な仕様

設備	主要な部位	主な仕様
覆土	難透水性覆土	材料：ベントナイト混合土 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	下部覆土	材料：現地発生土に必要な応じてベントナイト、砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	上部覆土	材料：現地発生土に必要な応じて砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：廃棄物埋設地周辺の第四紀層の透水係数と同程度 厚さ：難透水性覆土及び下部覆土とあわせて埋設設備上面から15m以上

*1：空間的なばらつきを考慮しても主要な部位ごとに全体として期待できる透水係数をいう。

以下に各部位の仕様を示す。

(a) 難透水性覆土

(一) 概要

難透水性覆土は、砂を母材としたベントナイト混合土で構成し、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。

(二) 設計方針

難透水性覆土に求める安全機能は、覆土完了から廃止措置の開始までの間の移行抑制機能及び遮蔽機能である。

移行抑制機能に対しては、透水特性を確保し、埋設設備からの流出水量を低減するために低透水性を考慮した設計とする。また、周辺岩盤に比して同程度以下の透水係数を長期的に維持できる設計とする。

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

移行抑制機能を長期的に維持するための化学的安定性、変形追従性及び

液状化抵抗性は、長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $5.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

難透水性覆土は、化学的影響の要因である物質の供給源となるセメント系材料と隣接している。難透水性覆土の透水係数は、長期的に性能低下が生じることを想定し、施工時点において巨視的透水係数^{*1}として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下を確保する。また、埋設設備に内包される金属の腐食膨張に伴い鉛直方向に変形した場合でも低透水性を維持できるよう、難透水性覆土の厚さは、埋設設備の表面から 2m 以上とする。

*1：空間的なばらつきを考慮しても全体として期待できる透水係数を指す。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,100 \text{kg/m}^3$ 以上とする。

(ウ) 長期機能維持特性

① 化学的安定性

化学的影響により覆土が変質した場合においても、長期的に低透水性を維持でき、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

② 変形追従性

力学的影響又は化学的影響により覆土が変形した場合においても、その変形に追従し、覆土全体として埋設設備からの流出水量の増加を抑制する設計とする。

③ 液状化抵抗性

力学的影響により覆土が変状することのないように、粒径分布に広がりを持った土質系材料で十分に締固めを行う。

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、道路橋示方書⁽⁷⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(b) 下部覆土

(一) 概要

下部覆土は、現地発生土に必要な応じてベントナイト、砂及び砕石を混合したもので構成し、埋設設備間狭隘部並びに難透水性覆土の側部全体及び上部に設置する。

(二) 設計方針

下部覆土に求める安全機能は、覆土完了から廃止措置の開始までの間の移行抑制機能及び遮蔽機能である。

移行抑制機能に対しては、透水特性を確保し、埋設設備からの流出水量を低減するために低透水性を考慮した設計とする。また、周辺岩盤に比して同程度以下の透水係数を長期的に維持できる設計とする。

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

移行抑制機能を長期的に維持するための化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性は、長期状態評価において考慮する性能を満たす見通しがあるものとする。

(三) 仕様

(ア) 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $5.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

下部覆土の透水係数は、難透水性覆土によってセメント系材料起源の成分による化学的変質の影響が遅延・緩衝されることから、施工時点において巨視的透水係数^{*1}として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下を確保する。また、難透水性覆土の上部に設置する下部覆土の厚さは 2m 以上とする。

*1：空間的なばらつきを考慮しても全体として期待できる透水係数を指す。

(イ) 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するような密

度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,100\text{kg/m}^3$ 以上とする。

(ウ) 長期機能維持特性

① 化学的安定性

化学的影響により覆土が変質した場合においても、長期的に低透水性を維持でき、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

② 変形追従性

力学的影響又は化学的影響により覆土が変形した場合においても、その変形に追従し、覆土全体として埋設設備からの流出水量の増加を抑制する設計とする。

③ 液状化抵抗性

力学的影響により覆土が変状することのないように、粒径分布に広がりを持った土質系材料で十分に締固めを行う。

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、道路橋示方書⁽⁷⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(c) 上部覆土

(一) 概要

上部覆土は、現地発生土に必要な応じて砂及び砕石を混合したもので構成し、下部覆土の上部に設置する。表面は地表水による侵食を抑制する観点から、すべての上部覆土の施工完了後に適切な排水勾配を設け、植生を行う。

(二) 設計方針

上部覆土は、周辺の土壌・岩盤と水理的に連続性を持たせる観点から廃物埋設地周辺の第四紀層の透水係数 (10^{-6}m/s オーダー) を目安に施工し、上面は尾駁沼に向かって適切な排水勾配を設ける。

また、上部覆土は、力学的影響により覆土が変状することのないように、粒径分布に広がりを持った土質系材料で十分に締固めを行う。

(三) 仕様

上部覆土は、粒径分布に広がりを持った土質系材料で締固めを行い、難透水性覆土及び下部覆土とあわせて埋設設備上面から 15m 以上の厚さとする。

る。

[参考] 許可基準規則への適合性説明

許可基準規則第十条第一号及び第三号への適合性について、上記「4. 許可基準規則への適合のための設計方針」及び「5. 廃棄物埋設地の設計」を基に項目ごとに整理した。

(1) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第1項及び第3項)

廃棄物埋設地の放射性物質の漏出を防止及び低減する設計について以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

以下の事項が留意された設計になっていることを確認する。

- a. 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること
- b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること
- c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること
- d. 放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を収着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと

(ii) 確認結果

以下に示すとおり、廃棄物埋設地の放射性物質を漏出及び低減する設計に関する事項が留意された設計となっている。

- a. 埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものであること

(a) はじめに

廃棄物埋設地の設計が合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によることについて、本施設の地下水面下への設置と各設備の設計の観点から、以下に説明する。

(b) 充填固化体の特性

放射性廃棄物は、事業規則別表第一の放射能濃度を超えないものであって、同規則第八条第1項第二号及び第2項に定められた廃棄物に該当するもので

ある。また、充填固化体においては、それぞれ放射性廃棄物の特性を考慮し、固型化材料と混合することで、固化体の種別ごとに固型化される。廃棄物埋設地の設計においては、以下に示す充填固化体の固型化方法並びに放射性物質の性質及び放射能濃度を考慮した。

(一) 充填固化体の固型化方法

(ア) 固型化材料は、JIS R 5210(1992)若しくは JIS R 5211(1992)に定めるセメント又はこれらと同等以上の品質を有するセメントであること。

(イ) 容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密封性を有するものであること。

(ウ) 固型化に当たっては、あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料を容器内の放射性廃棄物と一体となるように充填すること。この場合において、容器内に有害な空隙が残らないようにすること。

(二) 放射性物質の性質及び放射能濃度

放射性物質の性質及び放射能濃度として、放射性物質の種類により主に半減期や放出される放射線のエネルギーが異なる。

- ・半減期の長い放射性物質に対しては、人工バリア及び天然バリアを組み合わせる移行抑制機能の設計により長期的に放射性物質の移行を抑制し、放射能の減衰を図ることで公衆の受ける線量を低減する。
- ・半減期が短く放射線のエネルギーが大きい放射性物質に対しては、遮蔽機能の設計により放射能が有意に減衰するまで遮蔽を確保することで、公衆の受ける外部被ばくを低減する。
- ・放射性廃棄物は容器に固型化したものであり、放射性物質が容易に漏えい・飛散するものではない。しかし、水を媒体として移動することが考えられることから、人工バリア及び天然バリアによる移行抑制機能を確保するまで、漏出防止機能の設計により、水を媒体として放射性物質が漏出することを防止する。

(c) 地下水面下への設置

廃棄物埋設地は廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行

できるように、以下の点について考慮した。

- ・ 第四紀層よりも侵食抵抗性の高い岩盤(鷹架層)内に設置する。
- ・ 人間侵入リスクが高い地表面を避ける。
- ・ 施設周辺の天然バリアである岩盤(鷹架層)が有する性能を有効利用するために、岩盤(鷹架層)中に設置する。

したがって、埋設設備は、岩盤(鷹架層)を掘り下げて設置することとし、その結果地下水面下への設置とした。

地下水面下への設置としたことに応じ、安全機能を達成できる設備の設計を行っている。具体的には、地下水面下に設置することで、覆土施工完了後は地下水に水没した状態を想定し、低透水性を有する覆土を設置することで、埋設設備からの流出水量を低減するとともに、セメント系材料及び土質系材料に収着性を期待することで、放射性物質の漏出を低減することとしている。

また、できるだけ保修に頼らず、移行抑制機能が達成できる設計としている。保修に頼らないとは、将来想定される劣化・損傷に対して裕度を持つ設計のことである。将来想定される劣化・損傷として、金属腐食による膨張等の力学的影響及び化学的影響を考慮した設計としている。

廃棄物埋設地を地下水面下に設置する考えについての詳細は、添付資料 1 「1. 廃棄物埋設地の設計の考え方」に示す。

(d) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、安全機能(漏出防止機能及び遮蔽機能)を有する部位ごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

(一) 合理的な建設・施工技術

覆土完了までの期間は、数十年程度であることから、埋設設備及び排水・監視設備に対し、一般に数十年オーダーの耐用年数で知見が幅広く整備されているセメント系材料を用いたコンクリート構造物とすることが合理的である。

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

コンクリート構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査に

については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認し、施工の実現性及び品質を確保する。現時点での最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

また、安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・漏出防止機能は、雨水及び地下水の浸入の防止及び放射性物質の漏出の防止を行うため、埋設設備及び排水・監視設備において、透水特性を考慮した設計とする。埋設設備及び排水・監視設備は、低透水性としてコンクリートの材料配合、ひび割れ抑制としてコンクリートの材料配合及び鉄筋量、充填性としてモルタルの材料配合、防水性として内部防水の配置並びに排水性としてポーラスコンクリート層の設置を考慮した設計とすること
- ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに管理区域以外の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するように、埋設設備の密度及び厚さを確保することで、放射線の遮蔽性能を有する設計とすること

(e) 覆土完了後

覆土完了後は、安全機能(移行抑制機能及び遮蔽機能)を有する部位ごとの要求性能に加え、材料の選定、建設・施工及び検査を考慮した構造物として設計する。以下の内容を満足することで、合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術とする。

(一) 合理的な建設・施工技術

覆土完了後の期間は、数百年以上であることから、長期的な透水特性及び遮蔽性能を期待するために、力学的・化学的作用により安全性が損なわれ難い天然材料である土質系材料を用いた土構造物とすることが合理的である。

また、長期的な核種収着性を期待するために、長期的に安全性が損なわれ難い土質系材料及びセメント系材料を用いることが合理的である。

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。現時点

での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾を参照とする。また、一般土工で用いられる重機を使用し、適切な品質管理を行うことで、目標の透水係数を有する覆土を施工できることを確認している。

なお、施工時の品質管理方法は、覆土施工時に行う施工試験結果を用いて最終決定する。

安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・移行抑制機能は、低透水性として土質系材料により透水係数及び厚さを確保する設計とし、収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とすること
 - ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び管理区域以外の人立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するために、覆土の密度及び厚さを確保することで、長期的な放射線の遮蔽性能を有する設計とすること
- 覆土の施工実現性及び覆土の施工時における品質管理(案)について添付資料3「1. 覆土の施工実現性」及び「2. 覆土の施工時における品質管理(案)」に示す。

(f) 諸外国との比較

本施設の安全機能は、その機能を維持すべき期間が機能ごとに異なる。そのため、安全機能を維持すべき期間を考慮し、諸外国との比較を行う。

本施設と諸外国の比較に当たっては、文献⁽⁸⁾⁽⁹⁾を基に、本施設に対して、廃棄体処分量及び総放射エネルギーが同等か上回る4か国(フランス：オーブ処分場、イギリス：ドリッグ処分場、スペイン：エルカブルル処分場及びベルギー：デッセル処分場)を対象に行う。文献⁽⁹⁾によると、諸外国の事例では、設計方針及び技術的要件について以下のように整理されている。

[設計方針に係る項目]

- ・埋設設備は、埋設設備内へ雨水及び地下水の浸入を抑制するため、鉄筋コンクリート構造とすること。
- ・埋設設備の覆いが完成するまで廃棄体の定置に係る作業時に雨水を接触させないため、屋根を設けること。
- ・埋設設備内に浸入した雨水及び地下水により放射性物質が漏出することを

想定し、雨水及び地下水の監視及び漏出制御を行える排水・監視構造を設けること。

[技術的要件に係る項目]

- ・放射性物質を含む廃棄物を固型化すること。
- ・放射性物質の漏えいを抑制する人工バリアとして、セメント材料を使用すること。

設計方針に係る項目に関しては、「(1)(ii)(d) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間」及び「(1)(ii)(e) 覆土完了後」にて参考としている。また、技術的要件に係る項目に関しては、「(1)(ii)(b) 充填固化体の特性」及び「(1)(ii)(d) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間」にて参考としている。

諸外国においては、廃棄物埋設地を地下水面より上に設置しているのに対して、本施設は、安全機能を維持すべき期間に応じて、廃棄物埋設地に対する地下水の位置が異なる。そのため、安全機能を維持すべき期間に応じて、人工バリアである埋設設備、排水・監視設備及び覆土に対する地下水面の位置を整理した。

本施設は、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までにおいて、埋設設備、排水・監視設備及び覆土が、地下水面より上にある。覆土完了から廃止措置の開始までにおいて、埋設設備及び覆土は、地下水面より下にある。また、廃止措置の開始後では、埋設設備及び覆土は、地下水面より下にある。これらの人工バリアに対する地下水の位置関係を考慮した上で、安全機能に対する諸外国との比較を行う。

(一) 漏出防止機能について

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までについて、本施設と諸外国の人工バリアは、地下水面より上に位置している。

しかしながら、本施設と諸外国では、要求する機能に対する考え方が異なる。具体的には、諸外国において、雨水及び地下水が施設に浸入した場合には、施設から漏出を防止するのではなく、漏出制御を行う、又は、不飽和を維持する観点から速やかに排水する。一方、本施設では、漏出を防止することを要求していることから、諸外国より高い性能が必要である。

また、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までのうち、覆土施工期間中では、覆土の施工に伴い地下水面が徐々に上昇するため、人工バリアに対する地下水面の位置関係が経時的に変化する可能性がある。そのため、本施設においては、漏出防止機能を確保する観点から、埋設設備の使用材料及び部材厚は諸外国と同等以上の設計を行っている。

(二) 移行抑制機能について

覆土完了から廃止措置の開始までについて、本施設と諸外国では人工バリアに対する地下水面の位置が異なる。諸外国では、地下水面より上に施設を設置して施設の周囲を不飽和にすることを前提とし、雨水の浸入を抑制する観点から低透水性を考慮している。一方、本施設では、地下水面下に施設を設置することから、地下水の浸入を抑制するとともに、浸入した地下水の(覆土側への)移行を抑制する観点として低透水性を考慮している。本施設では、地下水面下においても移行抑制機能を確保できるよう低透水性に優れた設計を行っている。

なお、廃止措置の開始後の本施設では、覆土により、移行抑制機能を期待できるように設計し、線量評価において移行抑制機能を考慮している。

(三) 遮蔽機能について

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までについて、本施設と諸外国では人工バリアに対する地下水面の位置及び要求される機能が同様である。埋設設備の使用材料及び部材厚に関しては諸外国と同程度の設計である。

覆土完了から廃止措置の開始までについて、本施設と諸外国では人工バリアに対する地下水面の位置が異なる。また、遮蔽機能に関する要求が明示されていない。本施設では、覆土により、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による敷地周辺の公衆等の受ける線量を低減できる遮蔽性(密度及び厚さ)を有する設計としている。

なお、廃止措置の開始後について、諸外国では、遮蔽機能に関する要求が明示されていない。一方、本施設では、遮蔽機能を期待できるように設計し、線量評価において遮蔽機能を考慮している。

各部材の仕様等の詳細な比較は添付資料3「3. 諸外国との比較」に示す。

(g) まとめ

本施設は、廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できることを考慮して、設置位置を選定し、安全機能を達成できる設備の設計を行っている。

また、「(1)(ii)(b) 充填固化体の特性」～「(1)(ii)(f) 諸外国との比較」に示すとおり、埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものである。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

漏出防止機能を確保する期間に対して、劣化・損傷に対する抵抗性を有するよう鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行っている。また、劣化抵抗性を有していることを、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に基づき耐久性照査によって確認している。対象項目は、設計条件及び立地条件を考慮し、耐久性に影響があると考えられる中性化、塩害及び凍害とした。

耐久性照査の詳細については、添付資料2「4. 埋設設備の耐久性」を参照のこと。

(一) 中性化

中性化に対する劣化抵抗性を有するために、中性化深さが鋼材腐食発生限界深さに達しない設計としている。

(二) 塩害

塩害に対する劣化抵抗性を有するために、コンクリート表面塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度に達しない設計としている。

(三) 凍害

内部損傷及び表面損傷に対する劣化抵抗性を有する設計としている。

(b) 覆土

難透水性覆土及び下部覆土は、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮し、粒径分布に広がりを持った土質系材料を用いる。

難透水性覆土及び下部覆土は、容易な露呈を防止する観点から安定した地盤を掘り下げ、埋設設備の底面を除く外周部に設置する設計としている。

覆土の設計においては、移行抑制機能を長期にわたり維持する必要があるため、長期状態において想定される劣化・損傷として、透水係数及び厚さの変化に影響を及ぼす要因を抽出している。

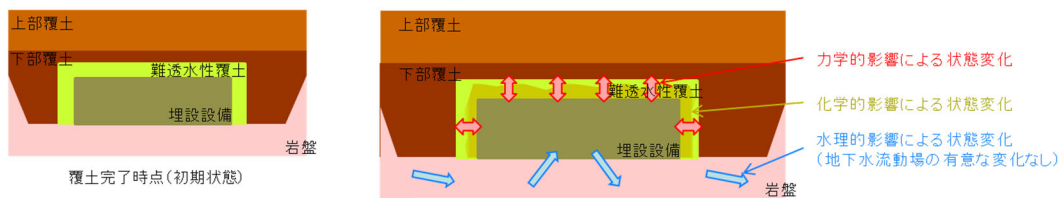
長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構は、第 8 表に示すとおりである。

抽出した要因は、廃棄物埋設地の覆土完了後の再冠水による水の接触に伴う、ベントナイト特性の変化、有効粘土密度の変化及び短絡経路の形成である。これらの要因に対して、長期機能維持特性として、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮しており、これらが長期状態において考慮する性能を満たす見通しがあるような設計としている。

具体的には、線量評価上の状態設定において、力学的影響及び化学的影響による覆土の性能(低透水性)の低下を考慮しており、設計上の設定値(初期状態)も性能の低下に配慮している。第 5 図に影響項目の概要を示す。

これらにより、覆土は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

線量評価上の状態設定についての詳細は、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。



- 力学的影響について
 金属腐食による埋設設備の膨張、可溶性塩と埋設設備の反応による埋設設備の膨張及び可溶性塩の溶出による埋設設備の陥没による覆土の変形(覆土厚さの変化)に着目した状態設定を行う。
- 化学的影響について
 埋設設備から溶出するアルカリ成分による透水係数の変化に着目した状態設定を行う。

第 5 図 影響項目の概要

c. 劣化・損傷が生じた場合にも機能が維持できる構造・仕様であること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備は、廃棄体と水が接触することを防止するために、①外周仕切設備及び覆い、②ポーラスコンクリート層、③セメント系

充填材、④内部防水で多様化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様としている。

(b) 覆土

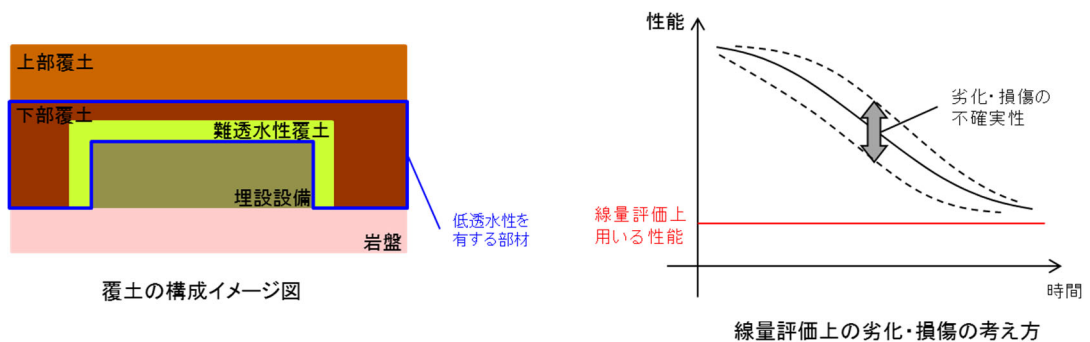
覆土は、長期的に発生が予想される力学的影響及び化学的影響のいずれに対しても機能維持が受動的に期待できるよう、多層化した十分な厚さの覆土を設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構造・仕様としている。

線量評価上用いる各性能は、線量評価の状態設定における劣化・損傷の程度及び期間の不確実性を包含する設定としていることから、廃棄物埋設地全体として線量基準を満足できるようにする。

力学的影響及び化学的影響に対しては、低透水性を有する難透水性覆土及び下部覆土の2層を設置し、各覆土の厚さを2m以上確保することで、全体として覆土に要求する低透水性が容易に損失しないものとしている。第6図に線量評価上の劣化・損傷の考え方を示す。

これらにより、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構造・仕様とする。

なお、線量評価上の状態設定についての詳細は、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。



第6図 線量評価上の劣化・損傷の考え方

- d. 放射性物質の漏出を低減する機能は、地下水の浸入を抑制する機能、放射性物質を吸着する機能等の機能のうち、一つのものに過度に依存しないこと
- 放射性物質の漏出を低減する機能は、人工バリア及び天然バリアにより確保

し、人工バリアは特性の異なる材料として、セメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。また、これらを用いた各部材に対して、第10表に示すように、地下水の浸入を抑制する機能(低透水性)及び放射性物質を収着する機能(収着性)の複数の異なる機能を期待することにより、一つの機能に過度に依存しないよう配慮した設計としている。

第10表 各部材に期待する移行抑制機能を構成する特性

	部材	収着性	低透水性	
人工バリア	埋設設備	○	—	
	覆土	難透水性覆土	○	
		下部覆土	—*1	○
		上部覆土	○	—
天然バリア	岩盤(鷹架層)	○	○	

○：期待する

—：期待しない

*1：下部覆土は土質系材料であり収着性を期待できるが、難透水性覆土又は下部覆土の一方に収着性を期待することで十分であることから、下部覆土の収着性は考慮しない。

参考として、最も可能性が高い自然事象シナリオの線量評価結果をベースとし、各バリア材の機能を構成する特性の一つを無視した線量評価を行い、特性の一つに過度に依存していないことを確認した。

線量結果は「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)」に示すとおりである。

(2) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第2項)

放射性物質の漏出を防止する機能が、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造が相まっていることを以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

漏出防止機能を期待する埋設設備及び排水・監視設備が、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造となっていることを確認する。

(ii) 確認結果

雨水及び地下水の浸入を防止する構造は、外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、セメント系充填材並びに内部防水により構成する。放射性物質の漏出を防止する構造は、外周仕切設備、覆い、ポーラスコンクリート層及び内部防水により構成する。これらの組合せにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、放射性物質の漏出を防止することとしている。

以上のことから、埋設設備及び排水・監視設備は、放射性物質の漏出を防止する機能について、雨水や地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造が相まっているものである。

漏出防止設計に係る詳細な説明を添付資料4「許可基準規則解釈第10条第2項に関する補足説明」に示す。

(3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第4項)

廃棄物埋設地が、覆土完了から廃止措置の開始までの間、廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する機能を有するものであることを以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

「廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する」について、公衆の受ける線量が法令に定める線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable(ALARA)の考えの下、合理的に達成できる限り十分低くなるよう、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下であることによって確認する。

(ii) 確認結果

埋設設備の覆土完了から廃止措置の開始までの間において、各廃棄物埋設地からの線量を重畳した値は、地下水中の放射性物質が移行する尾駁沼の水産物摂取に係る線量で約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ である。

また、この期間は、十分な厚さの覆土があるため、3号廃棄物埋設施設に対して、難透水性覆土及び下部覆土の厚さの最小値となる埋設設備から4mの位置で評価を行っても、約 $1.0 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/y}$ であることから、十分小さい値である。さらに1号及び2号廃棄物埋設施設に対しても同様に評価を行った結果として約 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{Sv/y}$ であり、重畳したとしても対象位置が離れていることから、周辺

監視区域の廃止後に敷地内へ立ち入る人を考慮しても外部被ばく線量影響は無視できる。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの評価の詳細を第 11 表に示す。線量評価に関するパラメータについては、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価 補足説明資料 9 線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-)」にて説明する。

以上より、覆土完了から廃止措置の開始までの間においては、公衆の受ける線量は実効線量で $50 \mu \text{Sv/y}$ 以下であることから、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の外への放射線物質の漏出を低減する機能を有する設計である。

第 11 表 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの
期間において最大となる公衆の受ける被ばく線量の評価結果

線量評価 シナリオ*1	3号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		1号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		2号評価結果 ($\mu\text{Sv/y}$)		評価結果の重量 ($\mu\text{Sv/y}$)	
	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後	覆土前	覆土 完了後
気体廃棄物が大気への管理放出され、放射性物質が大気へ放出されることによる内部被ばく*2	約 3.5×10^{-6}						約 3.5×10^{-6}	
液体廃棄物が尾駁沼又は河川へ管理放出され、その水産物を摂取することによる内部被ばく*2	約 1.7×10^{-2}						約 1.7×10^{-2}	
廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駁沼へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく	—*4	約 0.59	—*4	約 1.9	—*4	約 1.3	—*4	約 3.8
管理建屋内の一時貯蔵の廃棄体および定置済み廃棄体からのスカイシャイン線による外部被ばく	約 6.5	—*5	約 27*6	—*5	約 25*6	—*5	約 23*7	—*5
						合計*3	約 23	約 3.8

*1: 「廃棄物埋設事業変更許可申請書」(平成10年10月8日付け、10安(廃規)第49号をもって事業変更許可)(以下「既許可」という。)において評価対象としている「沢への放射性物質の移行による外部被ばく及び内部被ばく」は、1号及び2号廃棄物埋設施設については、他の被ばく経路と比べて線量が無視できる程小さい。また、3号廃棄物埋設施設における線量も同じく低く(約 $9.3 \times 10^{-6} [\mu\text{Sv/y}]$)、廃棄物埋設地から放射性物質の移行に伴う公衆の受ける線量は、「廃棄物埋設地から放射性物質が地下水によって尾駁沼へ漏出し、その水産物を摂取することによる内部被ばく」にて代表できる。

*2: 覆土完了後に廃棄施設等を供用することを想定し、覆土完了後も考慮する。

*3: 線量合計値に関しては、最大線量時期を考慮せず、単純に合計したもの

*4: 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間においては、放射性物質の漏出を防止することから公衆への影響は発生しない。

*5：覆土完了後は、十分な厚さの覆土があるため、周辺監視区域の廃止後に敷地内へ立ち入る人の外部被ばく線量影響は無視できるほど小さい。

*6：1号埋設設備7,8群の漏出防止対策の追加及び1号廃棄物埋設地に埋設する廃棄体の種類の追加及び数量の変更並びに2号廃棄物埋設地に埋設する廃棄体の数量の変更に伴う影響はなく、公衆の受ける外部被ばく線量は既許可での評価値を上回ることはない。

*7：各廃棄物埋設施設からの方位及び距離を考慮し、重畳させたもの。

(4) 許可基準規則第十条第三号(許可基準規則解釈第10条第5項)

廃棄物埋設地が、化学物質により安全機能が損なわれないものであることを以下のとおり確認する。

(i) 確認方法

埋設する廃棄体、埋設設備、排水・監視設備及び覆土には可燃性の化学物質、可燃性ガスを発生する化学物質を含めない。一方、廃棄物埋設地の安全機能に影響を及ぼす可能性のあるその他の化学物質としては、廃棄体又は埋設設備内に含まれる有機物、さらにはセメント系材料から溶出した高アルカリ成分を含む地下水との反応による影響を考慮する必要がある。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間の安全機能として、埋設設備及び排水・監視設備は漏出防止機能を、埋設設備は遮蔽機能を有する。覆土完了までの間において、埋設設備は水との接触による溶解・変質が容易に生じないこと*1及び漏出防止機能によって廃棄体と水の接触を防止することにより廃棄体に含まれる有機物が水に溶出しないことから、埋設設備及び排水・監視設備が有機物との化学反応により著しく損傷することはない。さらに、埋設設備及び排水・監視設備は、セメント系材料で構成されていることから、高アルカリ成分による影響はない。したがって、覆土完了までの間の漏出防止機能及び遮蔽機能については、これらの化学物質によって影響を受けない。

覆土完了から廃止措置の開始までの間の安全機能として、埋設設備及び覆土は移行抑制機能及び遮蔽機能を有する。遮蔽機能については、覆土が十分な厚さを有していることから、化学物質と接触することによって生じる覆土及び埋設設備の厚さ減少及び密度低下による遮蔽機能への影響は無視できると考えられる。移行抑制機能については、廃棄物埋設地内において地下水位が上昇し、地下水の浸

入に伴い溶解及び漏出する化学物質(有機物)及びセメント系材料から溶出した高アルカリ成分が埋設設備の収着性並びに覆土の低透水性及び収着性に影響を及ぼす可能性がある。

したがって、化学物質(有機物)及びアルカリ成分による埋設設備の収着性並びに覆土の低透水性及び収着性への影響を考慮した設計であることを確認する。

*1：覆土完了までにセメント系材料である埋設設備に生じる劣化として中性化現象を考慮しても、鉄筋かぶり内に収まる結果であることから、埋設設備が著しく溶出することは考えられない。

(ii) 確認結果

(i)で整理した影響に対する対策として、埋設設備及び覆土に使用する材料については、化学物質による低透水性及び収着性への影響を考慮し、低透水性及び収着性への影響を確認した材料を使用する設計とする。また、覆土については化学的安定性の高い材料で構成する設計としている。

したがって、廃棄物埋設地が、化学物質により安全機能が損なわれないものである。

なお、廃止措置の開始後の評価においては、埋設設備に使用する有機物も含め、これら化学物質を考慮した状態設定に基づく線量評価を行い、各期間・シナリオの線量基準を満足するものであることを確認している。

6. 参考文献

- (1) 公益社団法人 土木学会(平成 30 年) : 2017 年制定コンクリート標準示方書(施工編)
- (2) 公益社団法人 土木学会(平成 30 年) : 2017 年制定コンクリート標準示方書(設計編)
- (3) 公益社団法人 日本道路協会(平成 21 年 2009) : 道路土工要綱(平成 21 年度版)
- (4) 財団法人 国土技術研究センター(平成 21 年) : 河川土工マニュアル
- (5) 社団法人 土木学会(平成 14 年) : 2002 年制定コンクリート標準示方書(構造的な性能照査編)
- (6) 社団法人 日本道路協会(平成 24 年) : 道路橋示方書(Ⅰ 共通編・Ⅳ 下部構造編)・同解説
- (7) 公益社団法人 日本道路協会(平成 29 年) : 道路橋示方書(Ⅴ 耐震設計編)・同解説
- (8) 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター(2019) : 放射性廃棄物ハンドブック(2019 年度版)
- (9) ONDRAF/NIRAS(2012) : Summary of the Safety Report for the surface repository of category A waste in Dessel

以 上

廃棄物埋設地の設計の基本的考え方

目 次

1. 廃棄物埋設地の設計の考え方.....	1
(1) 地下水面下への設置.....	1
(2) 移行抑制機能の設計.....	1
(3) 漏出防止機能の設計.....	3
2. 3号廃棄物埋設地の基本的考え方.....	6
(1) 設置位置.....	6
(2) 設置深度.....	6
(3) 埋設設備の大型化.....	7
(4) 点検管及び点検路方式の選定.....	8
(5) 耐埋設荷重強度.....	9
(6) セメント系充填材の厚さ.....	13
3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方.....	14
(1) 地下水の流れの一般的な知見.....	14
(2) 覆土の構成.....	14
(3) 覆土の機能維持.....	14
(4) 覆土の不均質性に対する考え方.....	17

1. 廃棄物埋設地の設計の考え方

廃棄物埋設地の設計は、廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できることが重要である。

廃棄物埋設地は、当初、地表面付近の地下水面より上に設置することも考えられたが、廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できるようにすることを考慮して地下水面下に設置することとした。

その上でできるだけ保修に頼らない移行抑制機能が達成できるように設計するとともに、漏出防止機能を設計した。

(1) 地下水面下への設置

保全の措置を必要としない状況に移行できるようにする観点で、地下水面上への設置（地表近くの不飽和帯設置）と地下水面下への設置（岩中設置）とを比較した結果、地下水面下への設置が有利と判断した。

- ・地下水面上に設置すると、第四紀層に設置することになり、岩盤よりも柔らかい土壌内への設置となる。
- ・地下水面上に設置すると、凸型の覆土形状とする必要があるが、廃止措置後に跡地利用で盛土により平坦に造成され、不飽和帯が壊されることにより結果的に地下水面下への設置となる可能性がある。
- ・地下水面上への設置は、地表面に近く、人間侵入リスクが相対的に高い。

一方で、地下水面下への設置となると、完全な防水は不可能であり、漏出防止機能の設計においては、できるだけ不飽和状態を維持すること及び浸入した水の放射性物質濃度を管理することに対応した設計が必要となる。

(2) 移行抑制機能の設計

移行抑制機能は、覆土完了後、人工バリア及び天然バリアの組合せにより、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行を抑制する機能を有する設計とする。

<前提条件>

- ・地下水面下への設置となったため、覆土施工後は最初から地下水に水没した状態を想定する。

- ・外周仕切設備等で使用するセメント系材料の物理的移行抑制機能（低透水性）は、ひび割れが入ると、設備の等価な透水係数が1オーダーから2オーダー大きくなることが予想される。設備をどのような防水材で覆っても、防水材の長期性能の評価は難しいことから、埋設設備には物理的移行抑制機能（低透水性）を期待しない設計とする。

<埋設設備>

- ・埋設設備は金属の腐食で比較的短期間（千年以内）に膨張や陥没で変形する可能性があるが、埋設設備は覆土直後から砂程度の透水性であっても安全性が確保できる設計とする。

<覆土>

- ・廃棄物埋設地は新第三紀の岩盤の上に厚さ数m～10m程度の第四紀層が載った台地上にあり、埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定結果から、地下水が下向き成分を含む横方向に流れている。埋設設備を岩盤（鷹架層）に掘り込んで設置し、埋設設備の周囲を岩盤（鷹架層）相当の透水性の低い覆土で覆い、埋設設備から漏出した放射性物質が地表面方向に流れ難くする。覆土は天然の材料を用い、埋設設備の膨張や陥没に対する変形に追随することを考慮する。
- ・覆土は、長期の化学的及び力学的影響による性能の低下を考慮して、覆土の初期の性能を高く設定し、漏出防止機能を期待する期間が終了した直後に埋設設備が砂程度の透水性となったと仮定しても、廃止措置の開始までの敷地境界付近における公衆の受ける線量が小さくなるよう、地下水中の放射性物質濃度を十分低減できる高い移行抑制機能を持つ設計とする。

<まとめ>

- ・防水材の長期性能の評価は難しいことから移行抑制機能は覆土によって確保し、セメント系材料の物理的移行抑制機能（低透水性）を最初から期待しない設計とする。
- ・移行抑制機能は、覆土完了後、覆土の低透水性及び収着性と、セメント系材料の化学的移行抑制機能（収着性）で達成する設計とする。

(3) 漏出防止機能の設計

漏出防止機能は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する。

<漏出防止の目的>

- ・漏出防止の目的は、全てのバリアが完成するまでに、放射性物質が廃棄体の外へ漏出することによる被ばくの防止と、移行抑制機能の評価の前提を確保することである。そのため、放射性物質がバリアの内側にある状態に管理することを基本方針とする。

<漏出防止設計の考え方>

- ・漏出防止の範囲は、外周仕切設備及び覆いの内側とし、その外側のバリア等における放射性物質の濃度が敷地境界付近における水中濃度限度に比較して十分小さくなるように管理する。
- ・埋設設備は漏出防止期間中においても、覆土施工期間中の後期は、地下水面下にある可能性がある。前述のとおり、コンクリートに貫通するわずかなひび割れでも水は浸入するため、覆土期間中に廃棄体に水が完全に接触しない確実な防水を保証することは容易でない。そこで、完全防水を目指す設計ではなく、できるだけ廃棄体周りを不飽和状態として、設備に浸入した水を管理することを漏出防止設計の基本とする。
- ・放射性物質はドラム缶の中に固型化されており、ドラム缶から移行するには、基本的にその移行媒体である水がドラム缶の周囲に存在する必要がある。したがって、漏出防止期間においては、できるだけ廃棄体の周囲が水で満たされた状態でない不飽和にすることを考える必要がある。また、覆土施工開始後は、埋設設備は地下水面下となる可能性があり、廃棄体周囲が飽和状態となることも否定できない。そのため、廃棄体周囲が仮に飽和状態となり、廃棄体から放射性物質の移行が認められた場合でも、放射性物質を含んだ水を管理された状態にすることを考える必要がある。

(補足説明)

- ・漏出防止の方針を達成するために、ポーラスコンクリート層からなる排水・監視設備を設け、排水・監視設備の水が、廃棄体の最下面より下に維持できるように排水することで、廃棄体の周囲を不飽和にさせ、万一、排水能力以上に水が入って来た場合は、その水を回収して確認することで、管理された状態に置くこととする。
- ・排水・監視設備から水を回収することで廃棄体をできるだけ不飽和に保ち、設備に入った排水を管理された状態に置くことが可能な設計となっていることから、漏出防止の目的は達成可能と考えられる。しかし、排水・監視設備（ポーラスコンクリート層）の部分の放射性物質濃度が高くなりすぎると、そこから埋設設備の外に放射性物質が移行し放射性物質濃度が水中濃度限度に比して十分小さくない事態となることも考えられる。
- ・廃棄体周りのセメント系充填材が、廃棄体内部への水の浸入や、放射性物質の移行を抑制できるように設計する必要がある。そこで、廃棄体周りのセメント系充填材の性能を仮定し、排水・監視設備の排水中の放射性物質濃度の予測を行った。予測に当たっては、保守的に廃棄体の周囲が水で飽和した状態を仮定し、最も移行しやすいトリチウム（埋設設備 1 基当たりの放射エネルギー： 3.1×10^{10} Bq（1号）、 7.5×10^{10} Bq（2号））を用いて予測計算を実施する（添付資料 4「参考資料 2 排水中のトリチウム濃度を用いた漏出防止評価について」参照）。廃棄体周りのセメント系充填材は、流動性を良くし充填性を上げ、廃棄体間の空隙を隙間なく充填するとともに、低発熱配合のセメント系充填材を選定し、温度応力によるひび割れを抑制する設計としている。
- ・解析では、全廃棄体の 1%の内部に浸入した水が接触し、放射性物質がポーラスコンクリート層に向けて移行するとする。廃棄体からポーラスコンクリート層までの移行は、拡散で移行するという現実的と思われるケースと、廃棄体から直接ポーラスコンクリート層に移行する保守的条件を模擬したケースの計算をする。その結果、いずれのケースでも、ポーラスコンクリート層の排水中の放射性物質濃度は $10 \mu\text{ Sv/y}$ 相当濃度 ($6.0 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$) を下回り、敷地境界付近の水中濃度限度と比較して十分低い濃度となった。現状のポーラスコンクリート層の放射性物質濃度の実測値は、約 $2.0 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$ となり、解析結果の約 1/100

以下であったことから、この予測は十分保守的と考えられる。

- 1号及び2号廃棄物埋設施設は、現状の放射性物質濃度の実測はこの解析結果の約1/100以下であるが、今後放射性物質濃度が上昇する可能性を検討する。現在の解析は、全廃棄体の1%の内部に水が接触したと仮定したが、仮に今後全ての廃棄体に水が接触したとしても、ポーラスコンクリート層の放射性物質濃度は $10\mu\text{Sv/y}$ 相当を下回る。
- 現状は不飽和だが、飽和になると仮定した場合は、廃棄体から直接ポーラスコンクリート層に移行する保守的条件を模擬したケースに包含される。ドラム缶の上部空隙に入った水の中に放射性物質が溶出して滞留しているものが、今後ひび割れが新たにできて一気に流出するケースを想定すると、例えば過去10年分の放射性物質が一気に出るとすると10倍程度になる可能性があるが、ポーラスコンクリート層の放射性物質濃度は $10\mu\text{Sv/y}$ 相当濃度を下回る。仮に上記の組合せが起こって、ポーラスコンクリート層の放射性物質濃度が $10\mu\text{Sv/y}$ 相当濃度を上回っても、外周仕切設備の外の流量はポーラスコンクリート層を流れる流量の10倍以上あるので、仮にそれが直接流出したとしても、そこでの濃度は、敷地境界付近の水中濃度限度と比較して十分低い濃度となる。
- 覆土までの期間は、できるだけ廃棄体に水を接触させないことが漏出防止性能をより確実にすることから、この間に廃棄体への水の浸入の可能性を低減させる取り組みを行うこととする。

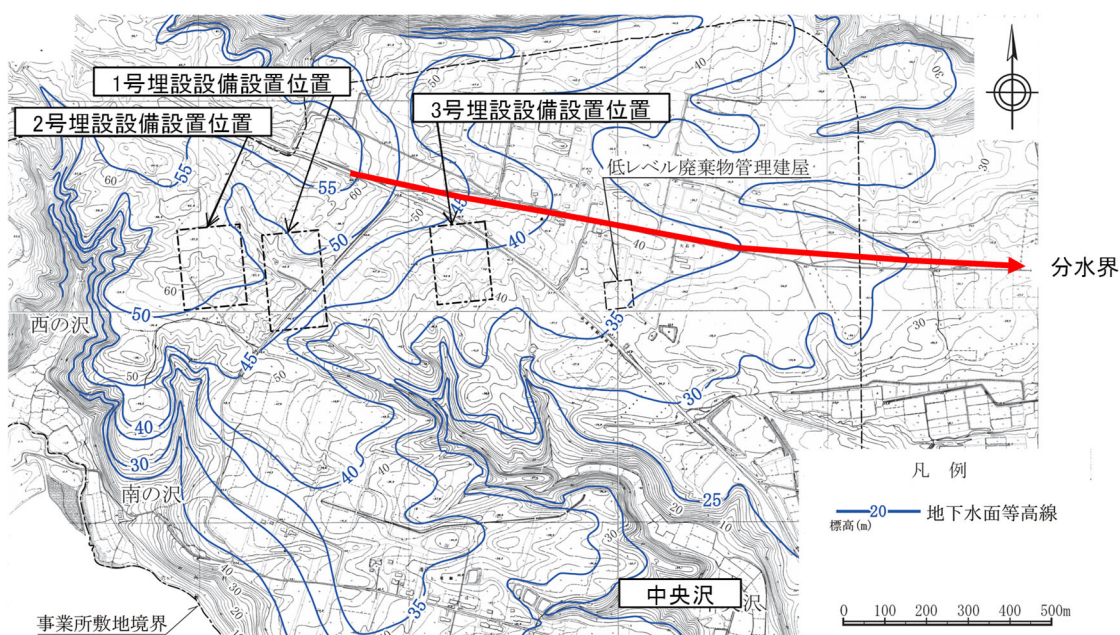
2. 3号廃棄物埋設地の基本的考え方

(1) 設置位置

3号廃棄物埋設地の設置位置の選定に当たっては、以下のことに配慮した。

- (i) 「許可基準規則」第三条を受け、変動地形が判読されない地盤、直下に活断層がない地盤、また地すべり地形が判読されない台地上に設置する。
- (ii) 「許可基準規則」第五条を受け、津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置する。
- (iii) 廃棄物埋設地を通過した地下水が、水理地質情報を把握している敷地内を通過し、尾駁沼側に流れるよう、地下水の分水界の南側に設置する（第1図参照）。
- (iv) 長期的に機能を維持する観点から、比較的岩盤（鷹架層）出現深度が浅い場所で、かつ、侵食抵抗性の観点から中央沢から離して設置する。

これらを考慮した結果として、3号廃棄物埋設地は分水界の南側に位置している。



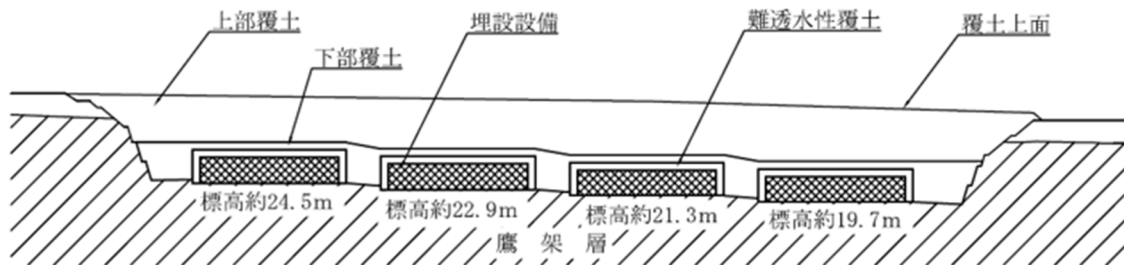
第1図 地下水水面等高線図（1986年）

(2) 設置深度

埋設設備の設置深度は、以下の点を考慮し設定する。設置深度を第2図に示す。

- (i) N値50以上の岩盤（鷹架層）上へ設置する。

(ii) 掘削前の第三紀層（鷹架層）推定レベル以下へ埋設設備全体を埋設する。



第2図 3号廃棄物埋設地の設置深度（南北断面図）

(3) 埋設設備の大型化

3号埋設設備の形状については、以下の事に配慮し、1基が2号埋設設備1群(2基)相当となる形状として大型化する。

(i) 覆土完了までの間の遮蔽機能の観点で、スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線に対するリスクを低減するため、廃棄物埋設地全体での埋設設備の表面積を小さくする。

(ii) 覆土完了後の移行抑制の観点では、第1表に示すとおり、廃棄体一本当たりの流出水量は1号～3号廃棄物埋設地で遜色なく、3号埋設設備における1基の大型化による大きな影響はない。

(iii) 敷地の効率利用の観点で、埋設設備を大型化し、廃棄物埋設地当たりの面積を小さくする。

各廃棄物埋設地の埋設設備表面積及び廃棄物埋設地面積を第2表に示す。

第1表 各埋設設備の廃棄体一本当たりの流出水量

廃棄物埋設地	廃棄体本数	流出水量(m ³ /y)		廃棄体一本当たりの流出水量(L/(y・本))	
		最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
3号	211,200	1110	3790	5.3	17.9
1号	204,800	2660	3850	13.0	18.8
2号	207,360	1740	3930	8.4	19.0

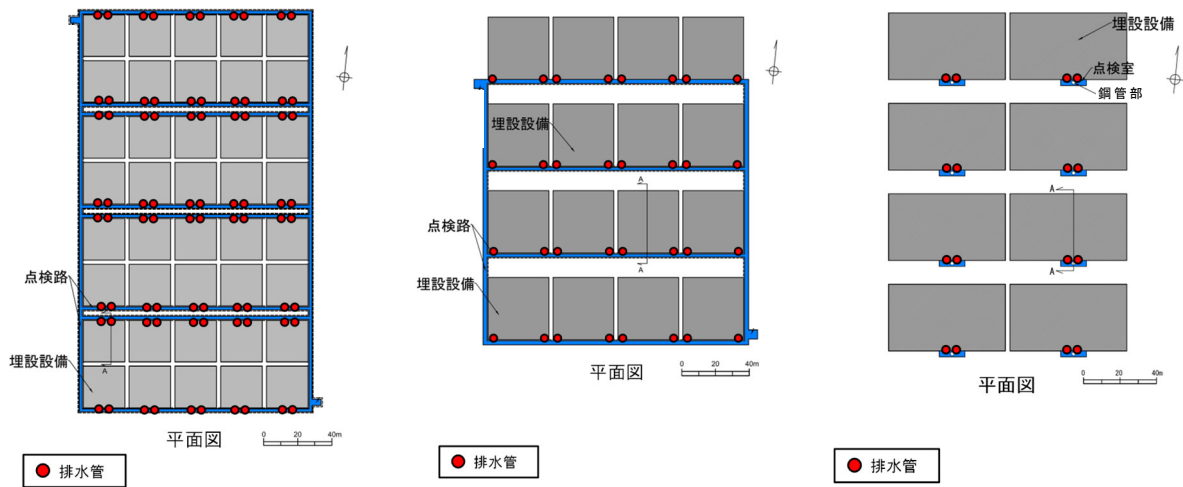
第2表 各廃棄物埋設地の埋設設備表面積及び廃棄物埋設地面積

	埋設設備表面積	廃棄物埋設地面積
3号	約 49,000m ²	約 34,000m ²
1号	約 70,000m ²	約 40,000m ²
2号	約 58,000m ²	約 41,000m ²

(4) 点検管及び点検路方式の選定

排水・監視設備に要求される排水管からの排水の回収作業に対して適切な方式を選定する。

3号廃棄物埋設地については、排水管位置が各埋設設備の中央に集約されることから、合理的に各埋設設備に独立した点検管方式を採用し、1号及び2号廃棄物埋設地については、排水管位置が多いことから、立坑を2箇所として、排水管位置をつなぐように点検路方式を採用する。各排水・監視設備の排水管位置図を第3図に示す。



(a) 1号

(b) 2号

(c) 3号

第3図 排水・監視設備の排水管位置図

(5) 耐埋設荷重強度

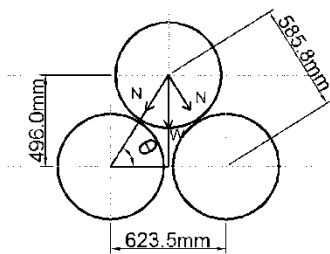
漏出防止機能に対する設計については、埋設設備内への定置及び充填が完了するまでに廃棄体から放射性廃棄物が漏出しないことが前提となっている。

廃棄体が埋設時に生じる荷重に耐える強度（以下「耐埋設荷重強度」という。）を有することを確認する。

ここでは、3号の10段積み为例に説明する。

(i) 俵積みによる荷重作用方向

廃棄体の自重は、俵積みで定置することにより、下部及び側部方向へ作用する。廃棄体間に作用する荷重の角度 θ を第4図に示す。



$$\theta = \tan^{-1}(496.0 / (623.5/2)) = 57.8^\circ$$

第4図 廃棄体間に作用する荷重の角度

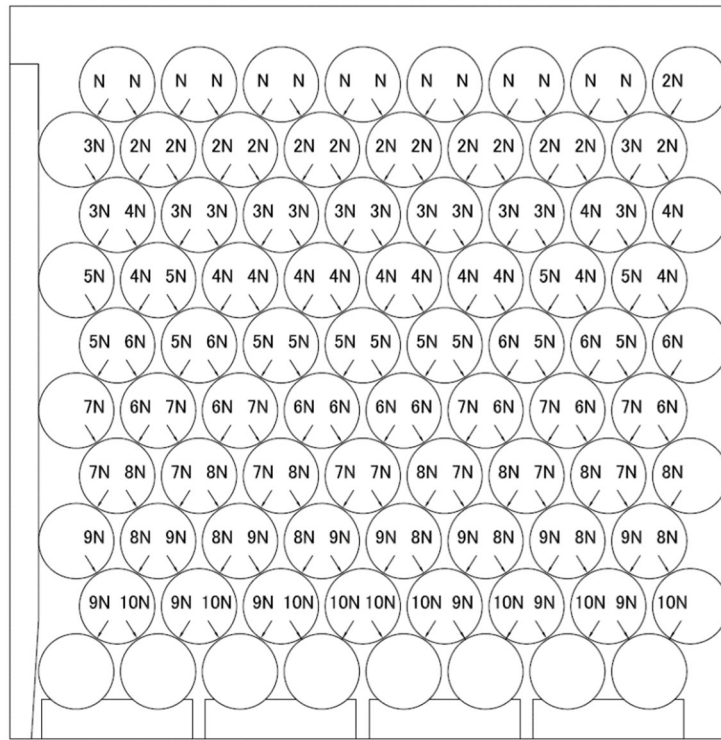
廃棄体重量 $W=1\text{t/本}$ のとき、角度 θ で作用する廃棄体荷重の分力 N を以下に示

す。

$$N = W / (2 \cdot \sin\theta)$$

$$= 0.591t$$

10 段積みした場合の廃棄体自重の分力分布を第 5 図に示す。



第 5 図 廃棄体自重分力分布図 (10 段積みの場合)

(ii) 廃棄体への最大荷重

廃棄体に作用する最大鉛直荷重を算出し、廃棄体が荷重に耐える強度を有することを確認する。

a. 廃棄体の自重による荷重

第 5 図より廃棄体の自重が最大となる箇所を選定し、その荷重 RF を以下に示す。

$$RF = 2 \times 10N \cdot \sin\theta + W$$

$$= 11t$$

b. 上載荷重 (1 号、2 号及び 3 号共通)

廃棄体へ作用する荷重として、最上段の廃棄体に対する上載荷重を 16t とす

る。

最上段の廃棄体 8 本に均等に作用するとし、2t/本とする。

以上の 2 つの荷重の合計 13t が、廃棄体に作用する最大の鉛直荷重となる。

同様に 1 号及び 2 号についても算出し、その結果を第 3 表に示す。

第 3 表 各埋設設備における廃棄体に作用する最大の鉛直荷重

対象埋設設備	廃棄体荷重 W (t/本)	定置段数	最大鉛直荷重 (t)
3 号	1.0	10	13.0
1 号	0.5	8	6.25
2 号	1.0	9	12.0

(iii) 耐埋設荷重強度

模擬廃棄体への載荷試験結果から、廃棄体の耐埋設荷重強度を設定する。載荷試験結果を第 4 表に示す。

第 4 表 模擬廃棄体への載荷試験結果

	均質・均一固化体* ¹	充填固化体* ²
対象埋設設備	1 号	2 号及び 3 号
模擬廃棄体条件	空ドラム缶 (JIS Z 1600 H 級 (肉厚 1.6mm))	<ul style="list-style-type: none"> ・ 薄肉容器 (肉厚 0.8mm、形状は JIS Z 1600 1 種のドラム缶と同じ) ・ 強度の低い廃棄物を内張り層なしで密収納 ・ 低強度モルタルと同様の材料及び配合の固型化材料を使用 ・ 上部空隙が 11%となるように充填 ・ 28 日間養生
耐埋設荷重強度	8t	15t

*1：日本原燃株式会社（1992）：ドラム缶耐荷重試験概要

*2：北海道電力株式会社他（1999）：模擬充填固化体による載荷試験結果について

上記(i)～(iii)より、廃棄体に対して想定される最大荷重に対し、廃棄体の耐埋設荷重強度が高いことから、埋設する廃棄体は埋設荷重に耐える強度を持っていると評価する。

(6) セメント系充填材の厚さ

セメント系充填材は、漏出防止機能として充填性を、遮蔽機能として遮蔽性を有する廃棄体とポーラスコンクリート層の間の厚さを確保する。

3号埋設設備ではセメント系充填材の厚さを約20cmとしており、既設1号及び2号の約40cmと比べて薄くしている。

充填性について、廃棄体とポーラスコンクリート層の間の厚さが薄くなっても充填が可能な流動性(スランプフロー)を確保する。

遮蔽性について、本施設の作業手順として、最後に上面の覆いを設置することから、セメント系充填材の厚さを薄くした場合は、埋設設備上面の遮蔽条件への影響が大きい。したがって、最上段に定置する廃棄体の表面線量当量率は、1号及び2号埋設設備では2mSv/hを超えないものとしていたのに対し、3号埋設設備ではこれまでの埋設実績を踏まえ、0.3mSv/hを超えないものとしている。公衆の受ける線量はこれらを考慮して評価を行っており、基準を満足することを確認している。

また、移行抑制機能のうち収着性について、セメント系充填材の厚さの減少に伴い収着体積が減少するが、収着性を期待する全体積に対して大きな影響はないことを線量評価において確認している。

なお、漏出防止機能について、廃棄体とポーラスコンクリート層の間のセメント系充填材の箇所において仮に拡散又は移流によるトリチウムの移行を考慮しても、3号埋設設備に埋設する廃棄体に含まれるトリチウムの放射エネルギー(1.5×10¹³Bq)が既設1号(9.9×10¹³Bq)及び2号(1.2×10¹⁴Bq)に比べ少ないことから3号埋設設備でセメント系充填材の厚さが薄くなる場合の影響はない。

したがって、セメント系充填材の廃棄体とポーラスコンクリート層の間の厚さが約20cmとなっても、最上段に定置する廃棄体の表面線量当量率を0.3mSv/hに制限する対策を講じることにより、1号及び2号と同等の安全性を有すると評価した。

3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方

(1) 地下水の流れの一般的な知見

埋設設備設置地盤付近の間隙水圧測定結果及び広域的な地下水の流れの一般的な知見から、地下水が下向き成分を含む方向に流れている。これは広域的な地形的要因によるため、将来においても大まかな傾向は変わらないと考えられる。

(2) 覆土の構成

埋設設備から放射性物質が漏出した場合であっても、埋設設備底部から岩盤(鷹架層)中に移行させることで、地表近傍への放射性物質の移行を抑制できるよう、埋設設備の側面及び上部を難透水性覆土で覆う。また難透水性覆土の外側に下部覆土を設置し、下部覆土の上面に上部覆土を設置する。

これにより、埋設設備を通過した地下水は上方の第四紀層ではなく、下方の岩盤(鷹架層)へ向かって流れ、覆土による移行抑制機能について、流量が多い第四紀層との隔離を安定的に確保できる設計とする。

なお、覆土の透水係数は岩盤(鷹架層)相当以下にすることで、設備設置後も地下水が下方の岩盤(鷹架層)へ向かって流れる状況が保たれる。

(3) 覆土の機能維持

覆土に対する技術要件である透水特性(低透水性)を長期的に維持する上で考慮すべき技術要件には化学的安定性、変形追従性、液状化抵抗性がある。これらの要件に対して、覆土が部分的に性能劣化する不均質な状態も考慮して設計する。

設計方針を第5表に記載する。

第5表 技術要件と設計方針

技術要件	設計方針
化学的安定性	長期にわたり低透水性を維持する観点から、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質材料を使用する。
変形追従性	覆土が力学的変形した場合においても、その変形に追従し、覆土全体として施設通過流量を増加させないよう多層構造とする。 また、長期な化学的影響及び力学的変形に対する難透水性覆土の性能については透水性能を低減させて評価している。
液状化抵抗性	難透水性覆土及び下部覆土については、材料にベントナイトを用いた覆土で、締め固めた土であるとともに、粒径分布に広がりを持った材料であることから、容易に液状化し難い設計とする。

また、上記の技術要件以外に、覆土の性能に影響する事項として、侵食、生物学的事象、地表からの化学影響及び熱影響、一般土地利用、覆土のすべり並びに廃棄物の重量による沈下についても考慮している。これらに対する設計方針を第6表に記載する。

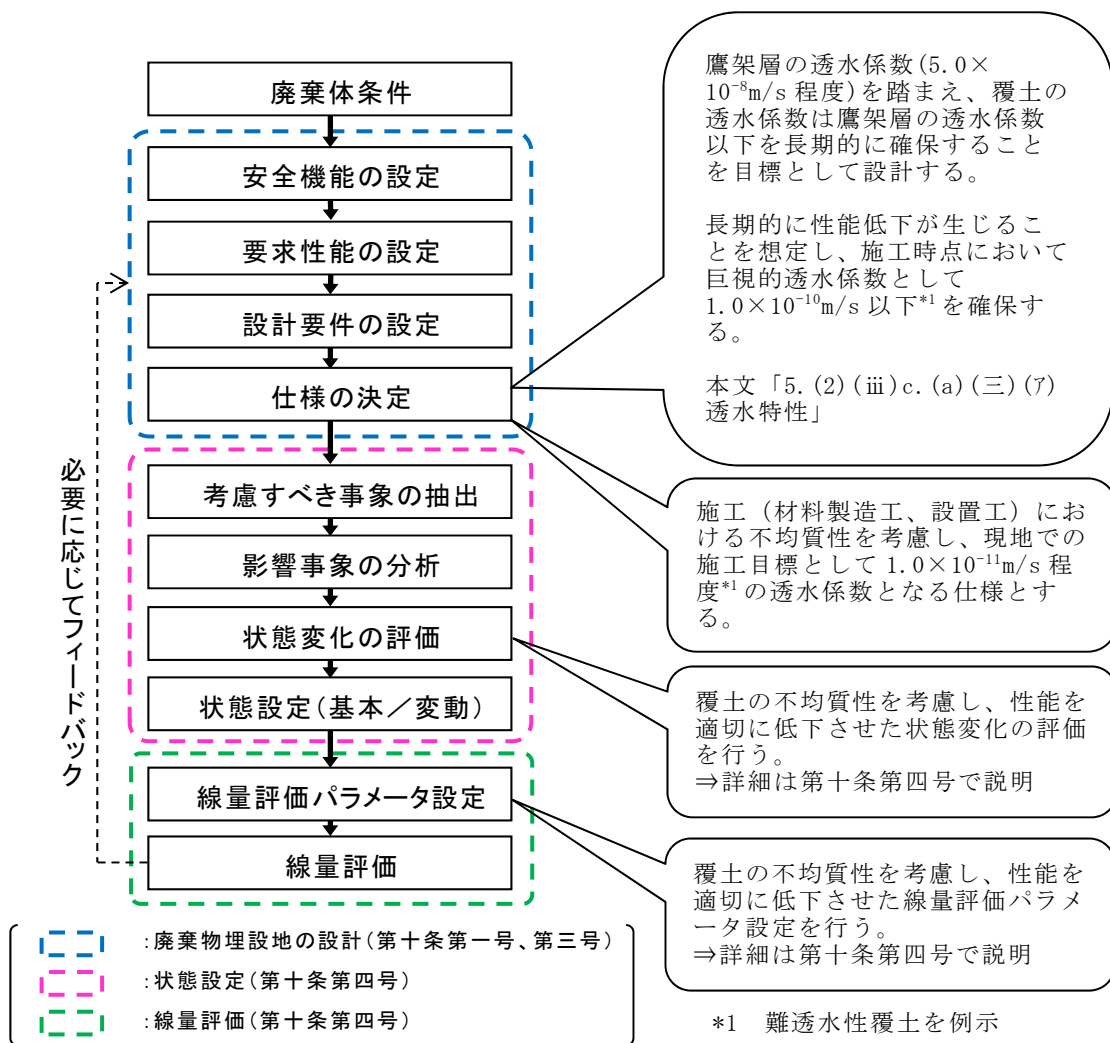
第6表 その他の考慮事項に対する設計方針

その他の 考慮事項	設計方針
侵食	敷地内の中央沢の枝沢からの侵食に対し、1万年後においても難透水性覆土が露呈しないよう設計する。
生物学的事象	樹木根及びモグラ類による影響に対し、十分な上部覆土の厚さを確保して設計する。
地表からの化学 影響（酸性雨）	地表からの化学影響として酸性雨に対するベントナイトの劣化影響を考慮し、十分な上部覆土の厚さを確保した設計とする。
地表からの熱影 響（火砕物密度 流）	地表からの熱影響として最も懸念される火砕物密度流に対する、ベントナイトの劣化影響を考慮し、十分な上部覆土の厚さを確保した設計とする。
一般土地利用	六ヶ所での一般的な土地利用による掘削を考慮し、十分な覆土の厚さを確保した設計とする。
覆土のすべり	廃棄物埋設地は、地すべり地形が判読されない安定した中位段丘面に設置する。また覆土は、埋設設備を設置するために掘削した領域を埋めて原形復旧した形状とし、覆土のすべりが生じない設計とする。
廃棄物の重量に よる沈下	埋設設備を、N値が50以上の十分な支持性能を有する岩盤(鷹架層)に設置することにより、廃棄物の重量による埋設設備の沈下及びそれに伴う覆土の沈下が生じない設計とする。

(4) 覆土の不均質性に対する考え方

廃棄物埋設地の設計から線量評価に至るフロー及び覆土の不均質性に対する考慮事項について、第6図に示す。

廃棄物埋設地における覆土は、覆土材料自体のばらつき及び施工の不確実性に起因する不均質性を含んでいる。廃棄物埋設地の設計から線量評価に至るまでの間、覆土の不均質性については、設計における考慮及び評価における考慮を行っている。その評価結果によっては、必要に応じて設計にフィードバックを行うことで、覆土の不均質性を考慮した最適化された設計となっていると考える。



参考：土木学会、余裕深度処分安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方(2008)

第6図 廃棄物埋設地の設計から線量評価に至るフロー

技術要件における考え方

目 次

1. 埋設設備のコンクリートの低透水性.....	1
2. セメント系充填材の充填性.....	2
3. 埋設設備の力学的安定性.....	3
(1) 基本的考え方.....	3
(2) 設計基準強度設定経緯.....	3
4. 埋設設備及び排水・監視設備の耐久性.....	4
(1) 中性化.....	5
(2) 塩害.....	6
(3) 凍害.....	8
5. 埋設設備各部位の厚さ.....	11
6. 覆土の低透水性.....	11
7. 覆土の液状化抵抗性.....	12

参考資料 1 3号埋設設備の構造設計について

参考資料 2 想定される自然現象及び人為事象の選定について

参考資料 3 火山の影響について

1. 埋設設備のコンクリートの低透水性

緻密なコンクリートであることで外周仕切設備及び覆いの低透水性を達成する。

「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾によれば、水セメント比 55%以下であれば、一般のコンクリートとして求められる低透水性が確保できるとされている。

「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽²⁾に示される水セメント比と透水係数の関係^{*1}を用いると、水セメント比 55%以下の場合、透水係数は $7.33 \times 10^{-11} \text{m/s}$ 以下と算出される。したがって、これと同等以下の透水係数であれば、低透水性を有すると判断できる。

本施設と同等のコンクリート配合では、第 1 表に示すとおり、その透水係数よりも小さい透水係数(「第十三条 廃棄施設」における放射性物質を含む排水量の算出において想定する $1.0 \times 10^{-12} \text{m/s}$)を達成できる見込みを得ている。

$$*1 : \log K = 4.3 \times W/C - 12.5$$

ここに、

K : コンクリートの透水係数 (m/s)

W/C : 水セメント(結合材)比

第 1 表 透水試験結果

対象イメージ	水結合材比	透水係数(m/s)
1号実績	55% ^{*1}	$2.75 \sim 4.74 \times 10^{-13}$
3号予定	47% ^{*2}	$2.84 \sim 3.28 \times 10^{-14}$

*1: 普通ポルトランドセメント 45%及び高炉スラグ微粉末 55%の混合セメント

*2: 中庸熱ポルトランドセメント 70%及びフライアッシュ 30%の混合セメント

したがって、「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾の記載に従い、水結合材比 55%以下とすることで外周仕切設備及び覆いの低透水性を確保する設計とする。

埋設設備のうち漏出防止機能を有するコンクリート構造物に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づくものとしている。「コンクリート標準示方書(施工編)」⁽¹⁾の施工標準 4 章配合設計においては、劣化抵抗性や物質透過性を考慮してコンクリートの単位水量の上限が

175kg/m³とされている。現在想定する配合(第2表参照)では単位水量はその上限を超えないものである。

第2表 外周仕切設備及び覆いの配合例

水結合材比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*3	混和材*1	細骨材*2	粗骨材
47	155	333	60	729	1019

*1：石灰石微粉末

*2：陸砂と砕砂の混合品

*3：中庸熟ポルトランドセメント70%及びフライアッシュ30%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

なお、埋設設備が漏出防止機能を達成するためには合わせてひび割れも考慮する必要がある。ひび割れ抑制については、添付資料4「2.(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定」に示す。

2. セメント系充填材の充填性

埋設設備内に有害な空隙を生じさせないことを達成するため、セメント系充填材の流動性を設定するものとする。第1図に示すとおり、高流動コンクリートの配合設計・施工指針を参考とし、高い自己充填性を要求するコンクリートとして自己充填性のランクを「1」とした際のスランプフローの目標値から、充填性を必要とする部材のスランプフローは65cm以上とする。

高流動コンクリートの自己充填性のランクと構造物の条件

自己充填性のランク	1	2	3
鋼材の最小あき (mm)	35~60 程度	60~200 程度	200 程度以上
主な対象構造物	高密度配筋部材、複雑・異形型枠を使用した構造物	通常の RC 構造物や複合構造物	配筋量の少ないマスコンクリート構造物や無筋構造物

自己充填性のランクと各評価試験の目標値の目安

自己充填性のランク	1	2	3
ボックス形または U 形充填高さ (mm)	300 以上 (障害 R 1)	300 以上 (障害 R 2)	300 以上 (障害なし)
スランブフロー*1 (mm)	700	650	600
500 mm フロー到達時間の範囲*2 (秒)	5~20	3~15	3~15
V ₈ 漏斗または O 漏斗の流下時間の範囲*2 (秒)	9~20	7~13	4~11

*1 過去の実績におけるスランブフロー目標値の一般的な範囲は、ランク 1：650~750 mm、ランク 2：600~700 mm、ランク 3：550~650 mm である。

*2 過去の実績における評価試験目標値の一般的な範囲を示す。

第 1 図 自己充填性のランクとスランブフロー目標値

3. 埋設設備の力学的安定性

(1) 基本的考え方

埋設設備の構造設計にあたっては、必要な構造強度を有することを達成するため、おおむね弾性範囲となる設計を行う。

設計にあたっては、構造物の各部材に生じる作用力や応力度を弾性理論により計算する許容応力度設計法にて構造計算を実施し、構造性能の照査を実施するものとする。構造計算結果より、力学的安定性を必要とする部材のコンクリート圧縮強度、鉄筋強度及び厚さを決定する。

なお、対象となる荷重は、建設・操業段階における作業に伴って発生するもの、地震を含む自然現象によるものとして適切に設定する。建設・操業段階における作業に伴うものは自重、廃棄体荷重、セメント系充填材打込み時の側圧、土圧、水圧、覆土荷重及び地表の上載荷重とする。地震を含む自然現象によるものは、地震(耐震重要分類 C クラス)、風、積雪及び降下火砕物とする。

構造計算については、参考資料 1「3号埋設設備の構造設計について」にて詳細説明する。

(2) 設計基準強度設定経緯

外周仕切設備、内部仕切設備、覆い及び点検管(点検路)の力学的安定性に係る設計については、検討開始当時における「埋設告示」を基に設計基準強度 24.6N/mm²を前提として検討を実施した。

コンクリート仮蓋については、一般のコンクリート構造物として扱い、計画供用

年数を標準として 24.0N/mm² を前提として検討を実施した。

どちらにおいても、力学的安定性を構造計算により評価し、必要な性能を有することを確認している。

4. 埋設設備及び排水・監視設備の耐久性

供用期間中、埋設設備及び排水・監視設備が劣化抵抗性を有することを確認するため、コンクリート標準示方書(設計編)⁽²⁾の標準2編3章の耐久性照査の項目を参考に照査を実施する。ここでは、部材のうち暴露期間の長い外周仕切設備及び覆いの照査を示す。コンクリート標準示方書(設計編)⁽²⁾に示される照査の項目は以下の観点から対象を選定する。

- ・鋼材腐食に対するひび割れ幅の評価については、外周仕切設備及び覆いにおいて最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm としていることから対象外とする。
- ・化学的侵食に対する照査については、立地条件及び使用状況から侵食性物質が周囲にないことから対象外とする。

したがって、耐久性照査の対象を中性化、塩害及び凍害とする。

コンクリートの配合は、各要求機能を満足する設計とし、以降の耐久性照査は、第3表に示す配合を使用する。

第3表 外周仕切設備及び覆いの配合例

照査用配合					
水結合材比 (%)	単位量(kg/m ³)				
	水	結合材*3	混和材*1	細骨材*2	粗骨材
47	155	333	60	729	1019

*1：石灰石微粉末

*2：陸砂と砕砂の混合品

*3：中庸熱ポルトランドセメント70%及びフライアッシュ30%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

(1) 中性化

中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査は中性化深さをを用いて行う。中性化深さが設計耐用期間中に鋼材腐食発生限界深さに達しないことを確認することで、鋼材腐食に対する照査とする。ここでいう供用期間は、廃棄体の受入れの開始から覆土完了までの間とし第4表に示す。

中性化に伴う鋼材腐食に対する照査は、中性化深さの設計値 y_d の鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} に対する比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。

中性化深さの設計値 y_d を第5表に示す。中性化深さの設計値 y_d は安全係数を 1.15、コンクリートの材料係数を 1.0(側壁)及び 1.3(覆い)、中性化速度係数を配合に応じた設定として算出する。

鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} を第6表に示す。鋼材腐食発生限界深さ y_{lim} は設計かぶりを 75mm、施工誤差を 10mm、中性化残りを 10mm として算出する。

照査結果を第7表に示す。照査結果は、判定値 1.0 以下であり、中性化深さが供用期間中に鋼材腐食発生限界深さに達しないことから、中性化に対する劣化抵抗性を有する。

第4表 供用期間及び耐用年数

供用期間	27年
耐用年数 t	30年

第5表 中性化深さの設計値

部材	γ_i	γ_{cb}	α_k	β_e	γ_c	y_d
側壁	1.0	1.15	2.42	1.6	1.0	24.4
覆い	1.0	1.15	2.42	1.6	1.3	31.7

第 6 表 鋼材腐食発生限界深さ

(単位:mm)	設計かぶり	施工誤差	中性化残り	y_{lim}
側壁	75	10	10	55
覆い	75	10	10	55

第 7 表 中性化の照査

部材	y_d/y_{lim}	判定
側壁	0.44	≤ 1.0 OK
覆い	0.58	≤ 1.0 OK

γ_i : 構造物係数(1.0:健全性評価のため)

y_{lim} : 鋼材腐食発生限界深さ(mm)

(施工誤差などを考慮したかぶり:設計かぶり-施工誤差 10mm-中性化残り 10mm)

y_d : 中性化深さの設計値(mm)

$$y_d = \gamma_{cb} \cdot \alpha_k \cdot \beta_e \cdot \gamma_c \cdot \sqrt{t}$$

α_k : 中性化速度係数の特性値 (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)

$$\alpha_k = -3.57 + 9.0 \cdot W/B$$

W/B : 有効水結合材比

フライアッシュ使用の場合: 単位水量/ポルトランドセメント量

β_e : 環境作用の程度を表す係数(1.6:乾燥しやすい環境)

γ_c : コンクリートの材料係数(覆い上面 1.3、外壁 1.0)

γ_{cb} : 中性化深さの設計値のばらつきを考慮した安全係数(一般に 1.15)

t : 中性化に対する耐用年数(供用期間に対し保守的に設定)

(2) 塩害

埋設設備は、海岸から約 3km に位置している。コンクリート標準示方書(設計編)⁽²⁾には、一般に海岸から 1.0km 以上離れている場合は、構造物に塩分が飛来しない条件とあり、海岸からの距離とコンクリート表面塩化物イオン濃度の関係(第 8 表)では海岸から 1km の距離での値までしか示されていない。したがって、埋設設備は、

外部から塩害の影響を受けない環境であり、埋設設備に対して塩害の影響はない。

(参考)

埋設設備の重要性を考慮し、海岸 3km の位置における塩害による影響の可能性を念のため確認する。

本施設が海岸から約 3km に位置することを加味し、コンクリート表面塩化物イオン濃度の設計値 C_o の鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} に対する比が、1.0 以下であることを確認する。

塩化物イオン濃度の設計値 C_d は、埋設設備が海岸から約 3km に位置することから、コンクリート標準示方書(設計編)⁽²⁾で示される第 8 表のうち、最も海岸から距離の遠い 1.0km の値を採用し、飛来塩分濃度 1.5kg/m^3 とする。

鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} を第 9 表に、確認結果を第 10 表に示す。確認結果は、判定値 1.0 以下であり、コンクリート表面塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度に達しないことから、塩害の影響はない。

第 8 表 コンクリート表面塩化物イオン濃度 $C_o(\text{kg/m}^3)$

		飛沫帯	海岸からの距離				
			汀線付近	0.1km	0.25km	0.5km	1.0km
飛来塩分が多い地域	北海道、東北、北陸、沖縄	13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5
飛来塩分が少ない地域	関東、東海、近畿、中国、四国、九州		4.5	2.5	2.0	1.5	1.0

第 9 表 鋼材腐食発生限界濃度

W(水)	C(セメント)	C_{lim} (kg/m ³)
155	333	1.87

C_{lim} : 鋼材腐食発生限界濃度 (kg/m³)

以下の式を用いて定めてよい。(高炉セメント B 種相当、フライアッシュセメント B 種相当を使用する場合)*¹

$$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1$$

*1 : 想定している配合はフライアッシュ置換率 30%であるが、フライアッシュ置換率が 15%と 30%の場合を比較しても鋼材腐食発生限界濃度に大きな差がないとの知見*²があることから本式を適用する。

*2 : 角型供試体に対して室内塩分浸漬試験を行い、コンクリートの配合が異なる場合の腐食発生限界塩化物イオン濃度を算出したものである。室内試験による算出結果であるため、フライアッシュ置換率による腐食発生限界濃度への影響の傾向を把握できるものと考えている。

(古村、杉山(2012) : フライアッシュコンクリート中の腐食発生限界塩化物イオン濃度に関する実験的考察、コンクリート工学年次論文集、Vol. 34、No. 1)

第 10 表 塩害の照査

部材	C_o / C_{lim}	判定
側壁	0.80	≤ 1.0 OK
覆い	0.80	≤ 1.0 OK

(3) 凍害

凍害に対する照査は、内部損傷と表面損傷(スケーリング)に対する照査に分けて行う。

(i) 内部損傷

内部損傷に対する照査は、構造物内部のコンクリートが劣化を受けた場合に関して、凍結融解試験における相対動弾性係数の最小限界値 E_{min} とその設計値 E_d の比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行

う。

凍結融解試験における相対動弾性係数の設計値 E_d を第 11 表に示す。凍結融解試験における相対動弾性係数の設計値 E_d は、凍結融解試験における相対動弾性係数の特性値をコンクリートの材料係数で除した値である。凍結融解試験における相対動弾性係数の特性値 E_k は、水結合材比率が 55% 以下であることから第 12 表より 85%、コンクリートの材料係数 γ_c は 1.0 (側壁) 及び 1.3 (覆い) として算出する。

凍結融解試験における相対動弾性係数の最小限界値 E_{min} は、部材の凍結融解がしばしば繰り返され、露出状況にあり、断面厚さが一般であることから、第 13 表より 60% とする。

照査結果を第 14 表に示す。照査結果は、判定値 1.0 以下であり、内部損傷が構造物の性能に影響を与えないことから、内部損傷に対する劣化抵抗性を有する。

第 11 表 凍結融解試験における相対動弾性係数の設計値 E_d

部材	E_k	γ_c	E_d
側壁	85	1.0	85
覆い	85	1.3	65.4

第 12 表 コンクリートの凍結融解試験における相対動弾性係数とそれを満足するための水結合材比 (%)

	水結合材比 (%)			
	65	60	55	45 以下
凍結融解試験における相対動弾性係数 (%)	60	70	85	90

第 13 表 凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足するための
凍結融解試験結果における相対動弾性係数の最小限界値 E_{min} (%)

	凍結融解がしばしば繰り返される場合		氷点下の気温となることがまれな場合	
	薄い	一般	薄い	一般
(1)連続してあるいはしばしば水で飽和される場合	85	70	85	60
(2)普通の露出状況であり(1)に属さない場合	70	60	70	60

第 14 表 内部損傷の照査

部材	E_{min}/E_d	判定
側壁	0.71	≤ 1.0 OK
覆い	0.92	≤ 1.0 OK

(ii) 表面損傷(スケーリング)

一般に、表面損傷(スケーリング)に対する照査は、構造物表面のコンクリートが劣化を受けた場合に関して、コンクリートのスケーリング量の設計値とその限界値の比に構造物係数を乗じた値が、1.0 以下であることの確認が行われる。コンクリートのスケーリングは、我が国では海水の影響のある海岸構造物や凍結防止剤を散布する道路構造物で問題となっている。

埋設設備は、海水の影響のある海岸構造物や凍結防止剤を散布する道路構造物でないため、スケーリング量の設計値は僅かな値にとどまり、表面損傷が構造物の性能に影響を与えないことから、内部損傷に対する劣化抵抗性を有する設計とする。

なお、スケーリングやポップアウトといった表面に表れる損傷については、構造物の性能に有意な影響がでないよう、適切に保修を実施する。

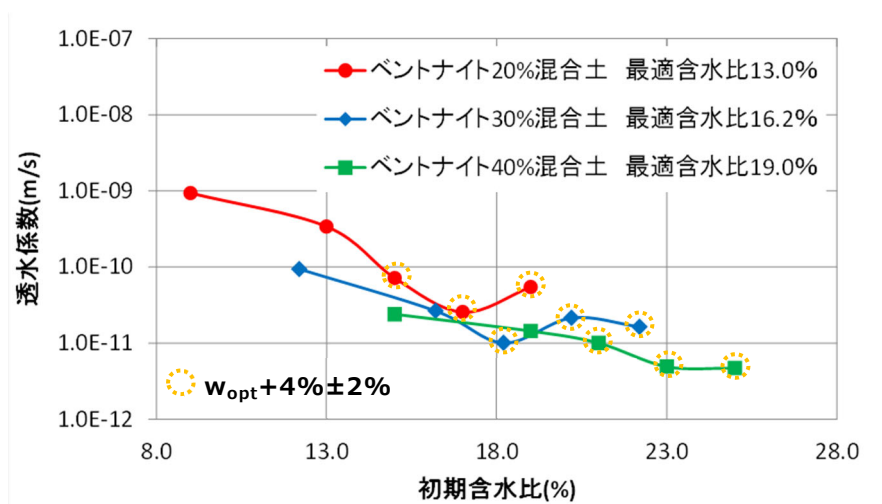
5. 埋設設備各部位の厚さ

埋設設備の各部位の厚さ(寸法)は、設計値として各評価等に用いている。施工時における寸法の許容誤差は、コンクリート標準示方書(施工編)⁽¹⁾においては構造物の種類や重要度によって異なるとされていることから、本施設の特徴を考慮し、JASS5N「原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」を参照し設定する。

6. 覆土の低透水性

十分な低透水性を有することを達成するため、難透水性覆土及び下部覆土は、設計透水係数及び設計厚さを確保するものとする。

ベントナイト(クニボンド相当)を使用したベントナイト混合土で構成される難透水性覆土を対象に、ベントナイト混合率及び含水比をパラメータスタディした透水試験(地盤工学会基準 JGS 0312-2018 相当)の結果を第2図に示す。透水係数と含水比の関係において、その曲線の極小を生じる含水比は、一般に最適含水比よりわずかに高い含水比になることで知られており⁽³⁾、本試験結果においても同様の傾向を確認できる。最適含水比(w_{opt})+2%~6%において相対的に透水係数が低く、ベントナイト混合土を20%以上混合し、含水比を最適含水比(w_{opt})+4%±2%の範囲内とすれば、設計透水係数 $k=1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ を確保できる。よって、低透水性を必要とする難透水性覆土のベントナイト混合率は20%~30%程度とする。



第2図 ベントナイト混合率ごとの含水比と透水係数の関係

7. 覆土の液状化抵抗性

液状化抵抗性を確認するための液状化判定方法が各種提唱されており、それらは地盤の材料特性（粒度、密度及び液状化強度）をパラメータとして用いている。しかしながら、覆土材料は、材料調達状況を考慮した実際の覆土施工時に行う施工試験結果を踏まえて、材料及び施工のばらつきを考慮して最終決定する。そのため、過去の液状化対策事例を参照し、覆土の液状化抵抗性を評価する。

過去の液状化対策事例として、平成 19 年新潟県中越沖地震において、管理値（締固め度 90%以上）を設定し、埋戻し土（砂、砂質土）の締固めによる対策を実施した箇所では、震度 6 弱が発生しているものの、液状化被害は生じていないと報告されている⁽⁴⁾。

廃棄物埋設地においても、覆土施工における管理値を同等以上に設定する。

覆土は、現地発生土、購入砂、ベントナイト及び礫を仕様に応じて混合した混合土であり、一般に液状化しやすいと知られている「砂分を多く含む、粒度分布が偏った土砂」ではない。過去の液状化対策事例において液状化をしていない箇所で使用されている砂及び砂質土（第 3 図に粒径加積曲線を示す）と比較して、覆土は、液状化抵抗性に関連する締固め性能が良いとされている「粒径分布に広がりを持った材料」であるため、相対的に液状化し難い材料であると判断される。

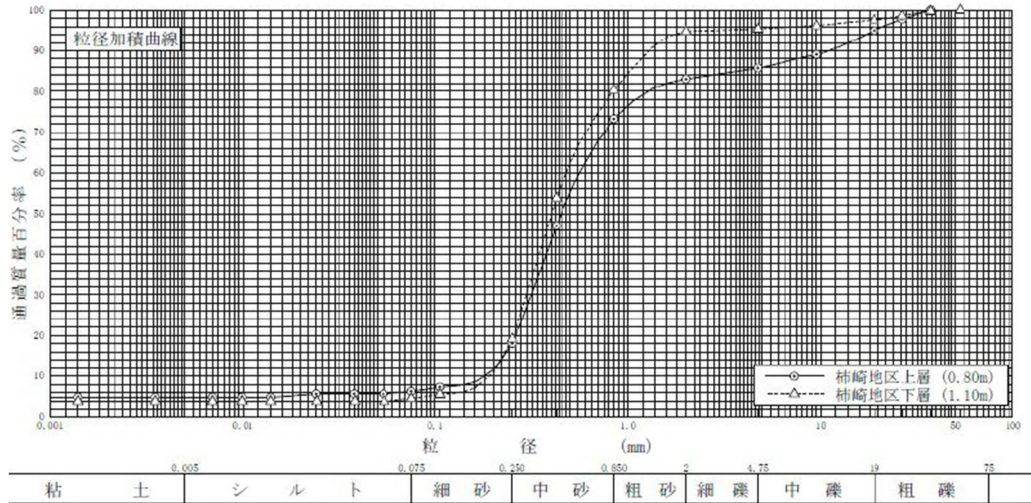
廃棄物埋設地で発生すると考えられる地震は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）、補足説明資料 1 地質環境に係る長期変動事象 3. (1) (ii) a. 地震」より震度 5 強を超えないため、過去事例における締固めによる対策を実施した箇所が発生した地震より小さい。

以上のことから、廃棄物埋設地で発生する地震に対して、覆土は液状化抵抗性があり、液状化は生じないと考えられる。覆土材料を確定させる際には、道路土工⁽⁵⁾における液状化判定の引用元である道路橋示方書⁽⁶⁾に示されるような液状化判定法による確認を実施する。

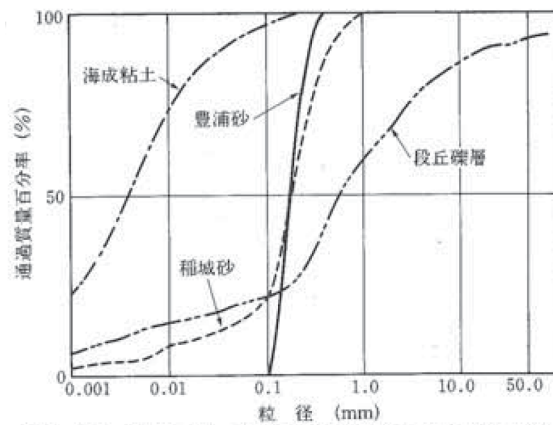
なお、「許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明、添付資料 3、1. 覆土の施工実現性」で参照している河川土工マニュアル⁽⁷⁾は大雨に伴う洪水に対する土構造物の低透水性及び耐久性に着目しているため、地震に対する土構造物の液状化判定について詳述はないことから、力学特性として地震時安定性照査が示されている道路土工⁽⁵⁾及び道路橋示方書⁽⁶⁾を液状化判定の参考とした。

参考として、第 4 図に覆土材料として想定している購入砂、ベントナイト及び礫と

同等な材料として、豊浦砂、海成粘土、段丘礫層の粒形加積曲線の例⁽⁸⁾を示す。これらの材料を混合し覆土を製造することから、購入砂単体と比較し、粒度分布に広がりを持つ液状化し難い材料であると考えられる。



第3図 過去の液状化対策事例に用いている埋戻し土(砂、砂質土)の粒径加積曲線⁽⁴⁾



第4図 代表的な土の粒径加積曲線の例⁽⁸⁾

参考文献

- (1) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(施工編)
- (2) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)
- (3) (社)土質工学会(1991)：土の締固めと管理
- (4) 下水道地震対策技術検討委員会(2008)：下水道地震対策技術検討委員会報告書
- (5) (社)日本道路協会(2012)：道路土工-軟弱地盤対策工指針
- (6) (公社)日本道路協会(2017)：道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)
- (7) (財法)国土技術研究センター(2009)：河川土工マニュアル
- (8) (社)地盤工学会(2009)：地盤材料試験の方法と解説

3 号埋設設備の構造設計について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 漏出防止設計の基本方針.....	1
(1) 基本方針.....	1
(2) 設備の概要.....	1
(3) 準拠する指針類.....	2
3. 埋設設備の設計.....	3
(1) 設計方針.....	3
(2) 計算モデル.....	3
(3) 照査ケース.....	6
(4) 荷重条件.....	8
(5) 作用荷重.....	10
(6) 荷重の組合せ.....	11
(7) 計算結果.....	16

1. はじめに

第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則第十条(廃棄物埋設地)のうち構造設計について説明する。具体的には、埋設設備の準拠する指針類、設計方針、計算モデル、照査ケース、荷重条件、作用荷重、荷重の組合せ、各設備の構造について説明する。

2. 漏出防止設計の基本方針

(1) 基本方針

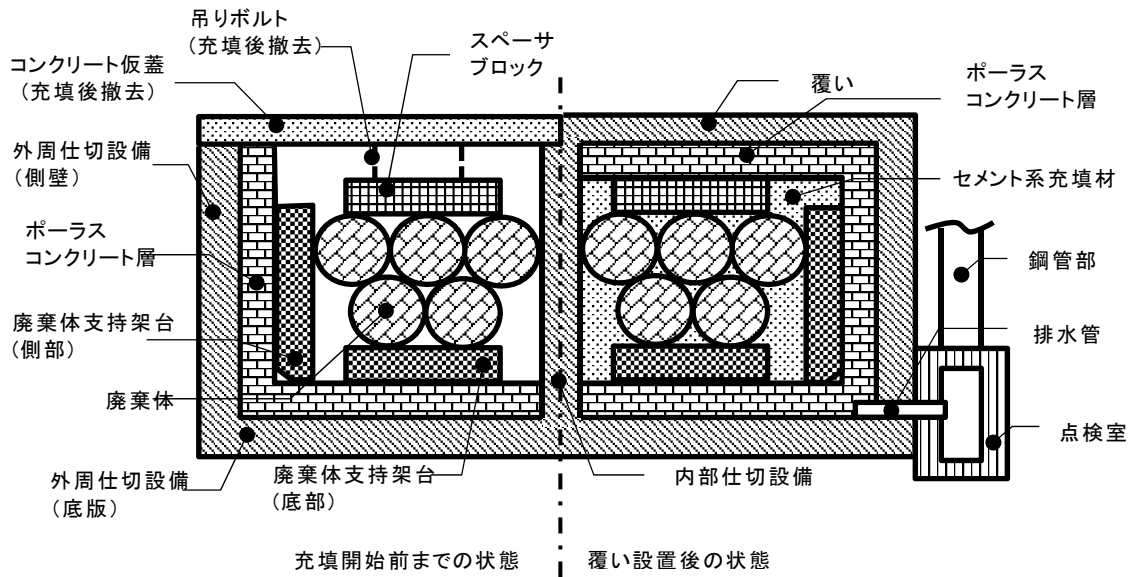
埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する機能を有する設計とする。

(2) 設備の概要

埋設設備の概要図を第1図に示す。

埋設設備は、外周仕切設備、内部仕切設備、廃棄体支持架台、セメント系充填材、覆い及びコンクリート仮蓋からなるコンクリート構造物並びに内部防水により構成する。排水・監視設備はポーラスコンクリート層、排水管、点検管及び点検室で構成され、ポーラスコンクリート層は外周仕切設備及び覆いの内側の面に設置する。スペーサブロック及び吊りボルトは、セメント系充填材を充填したときの廃棄体の浮き上がりを防止するために設置するものであり、セメント系充填材を充填後に吊りボルトは撤去する。

ここでは、漏出防止及び遮蔽の機能を確保するために構造上の安定性を必要とする設備として、埋設設備の外周仕切設備、内部仕切設備、覆いの構造安定性について、設計方針、計算モデル、照査ケース、荷重条件、作用荷重、荷重の組合せ、各設備の構造を説明する。



第 1 図 埋設設備概要図

(3) 準拠する指針類

埋設設備は、以下に示す指針を基本に、必要に応じて選定した指針に基づき設計する。

- ・「コンクリート標準示方書（構造性能照査編）」（2002 年制定（社）土木学会）
（以下「コン示 2002」という。）
- ・「道路橋示方書・同解説 I 共通編」（平成 29 年 11 月（社）日本道路協会）
（以下「道示 I」という。）
- ・「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編」（平成 29 年 11 月（社）日本道路協会）
（以下「道示 V」という。）
- ・「水道施設耐震工法指針・解説」（2009 年版（社）日本水道協会）
（以下「水道指針」という。）
- ・「コンクリート標準示方書（設計編）」（2017 年制定（公社）土木学会）
（以下「コン示 2017」という。）
- ・「青森県建築基準法施行細則」

なお、コンクリート標準示方書構造性能照査編 2002 年版については、限界状態設計がベースとなっていることから、許容応力度設計に関する箇所を用いることとし

ている。

3. 埋設設備の設計

(1) 設計方針

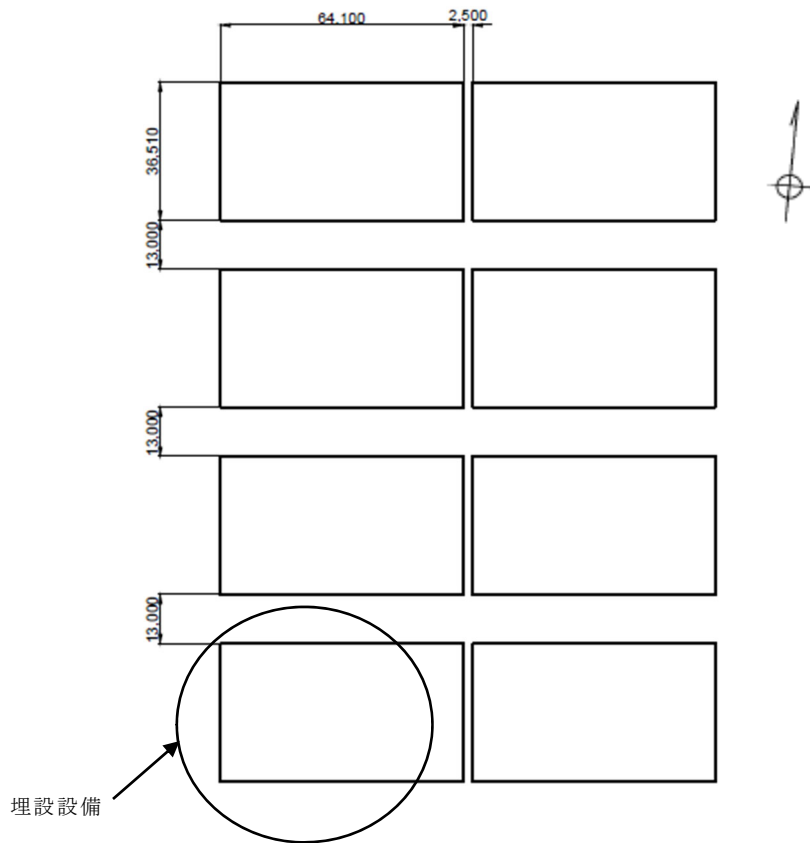
埋設設備の作業中の主な状態について、ピットの構造部位ごとに構造と荷重状態を想定し、許容応力度法による照査で構造安定性を確認する。

(2) 計算モデル

埋設設備は、鉄筋コンクリートによる外周仕切設備、内部仕切設備及び覆いにより構成され、内部は内部仕切設備により3号は66区画に区画される。各区画内には、廃棄体を定置した後、セメント系充填材として普通モルタルを充填し、有害な空隙が残らないようにするとともに、外周仕切設備及び覆いと廃棄体の間にはホワイトゾーンとして、普通モルタルの層を200mm設置する。

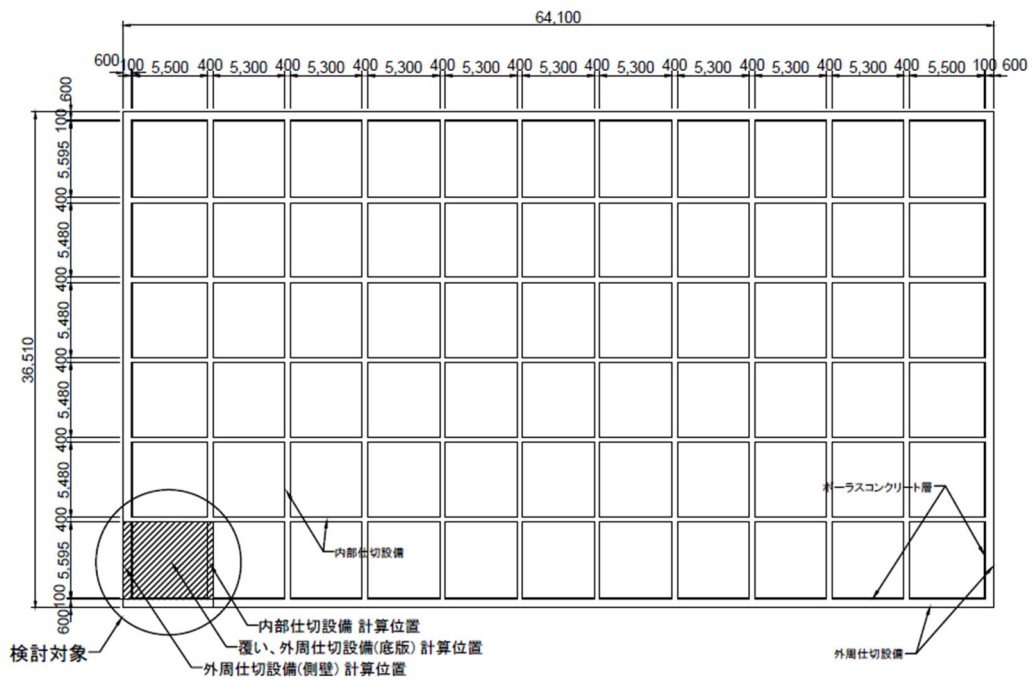
また、排水・監視設備として、外周仕切設備及び覆いとホワイトゾーンとの間に十分な集水機能を有する厚さ100mmのポーラスコンクリート層を設置する。

埋設設備の計算位置は、第2図に示すとおり、埋設設備の区画のうちスパンが最も大きい隅角部の区画を検討対象とする。埋設設備の検討対象区画の平面図及び断面図を第2図に示す。

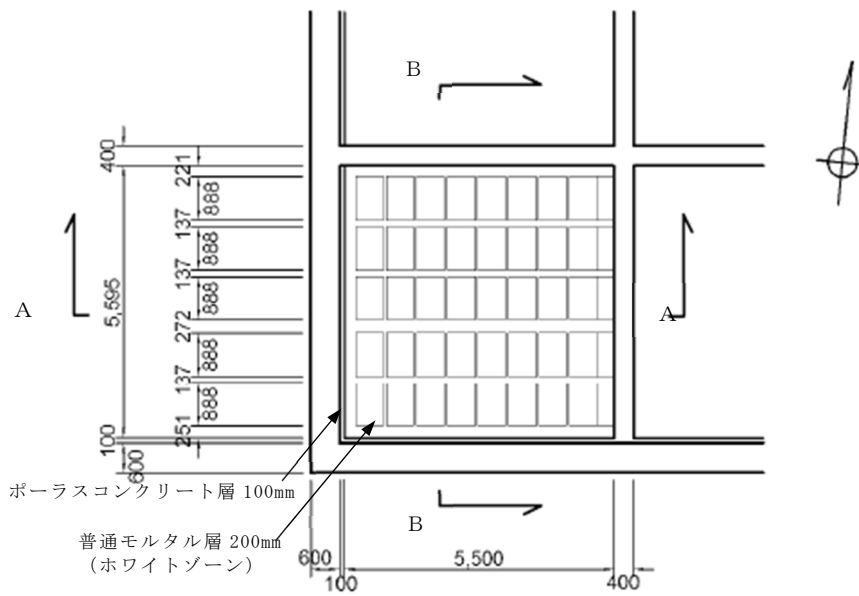


(a) 埋設設備平面図

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図(1/3)

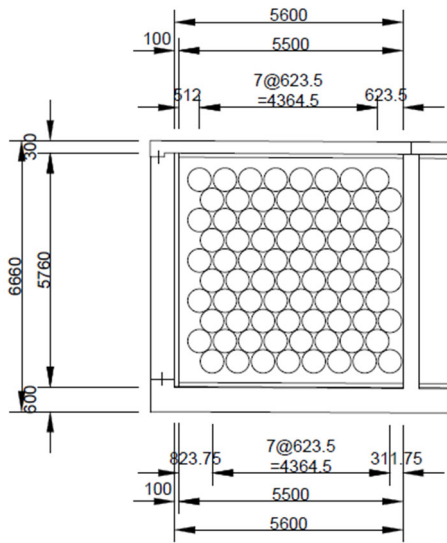


(b) 埋設設備拡大平面図

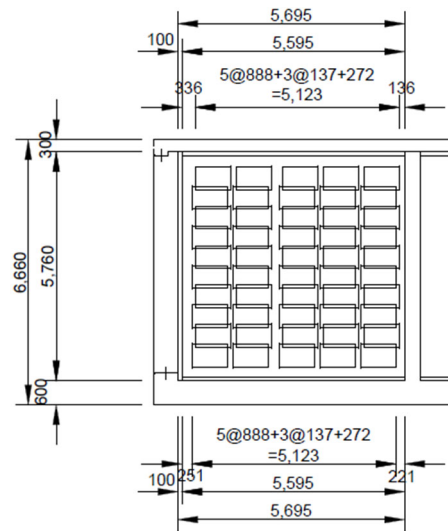


(c) 検討対象平面図

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図 (2/3)



(d) A-A 断面図（東西方向）



(e) B-B 断面図（南北方向）

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図 (3/3)

(3) 照査ケース

照査ケースを第 1 表に示す。照査対照部位は、外周仕切設備側壁、外周仕切設備底版、内部仕切設備、覆い、埋設設備全体とする。ただし、覆いは埋設設備全体として照査するため省略する。

埋設設備の状態については、施設の操業中の主な状態について構造と荷重状態を想定し、廃棄体定置時、モルタル充填時、覆土前、覆土後に区分し、許容応力度法により部位ごとに照査する。

具体的には、廃棄体定置時、モルタル充填時については、作用荷重を想定し、外周仕切設備側壁、内部仕切設備、外周仕切設備底版のそれぞれについて面外荷重を受ける版としてモデル化し、断面力を算出、鉄筋コンクリート部材として許容応力度法による照査を行う。状態設定として、廃棄体定置時、モルタル充填時は施工期間が短期であるため常時のみ考慮する。

覆土前、覆土後については、外周仕切設備、内部仕切設備、覆い、セメント系充填材の層、ポーラスコンクリート層及び廃棄体層からなる断面を 2 次元 FEM により、静的応力解析を行い、常時及び地震時を考慮する。地震力は、第四条（地震による損傷の防止）より、廃棄物埋設施設の耐震重要度分類を C クラスとし設計水平震度

$K_H=0.2$ とする。

第 1 表 照査ケース

	部位	ケース	廃棄体 定置時	モルタル 充填時	覆土前	覆土後
埋 設 設 備	外周仕切設備	常時	○	○		
	側壁	地震時				
	外周仕切設備	常時	○	○		
	底版	地震時				
	内部仕切設備	常時	○	○		
		地震時				
	覆い	常時				
		地震時				
	埋設設備全体	常時			○	○
		地震時			○	○

凡例：○は照査ケース、網かけは照査ケース外

(i) 廃棄体定置時

外周仕切設備底版、外周仕切設備側壁、内部仕切設備の構築完了後、各区画への廃棄体の定置が完了した状態とする。廃棄体定置後は短期間で充填され、その状態が存続する期間が短いため、常時は短期の許容応力度で照査し地震時を考慮しない。

(ii) モルタル充填時

廃棄体の定置が完了した区画にモルタルを充填し、ピット上部まで充填が完了した状態とする。充填は短期間であるため、常時は短期の許容応力度で照査し地震時を考慮しない。

(iii) 覆土前

全ての区画において廃棄体定置、モルタル充填、覆いの施工が完了し、覆土の施工のみが待たれる状態とする。この状態は長期間継続する可能性があるため、常時及び地震時の荷重状態を考慮する。常時は長期の許容応力度、地震時は短期の許容応力度で照査する。

(iv) 覆土後

全ての区画において廃棄体の定置、モルタル充填、覆い、覆土の施工が完了し、地下水が回復した状態とする。この状態は長期間継続するため、常時及び地震時の荷重状態を考慮する。常時は長期の許容応力度、地震時は短期の許容応力度で照査する。

(4) 荷重条件

(i) 重量

a. 廃棄体重量

設計に用いる廃棄体重量を第2表に示す。

第2表 廃棄体重量

材料	廃棄体重量 (kN/本)	備考
廃棄体 (最大)	9.81	
廃棄体 (最小)	2.26	浮力考慮

(ii) 許容応力度

a. 許容応力度

使用材料の許容応力度を第3表に示す。

第3表 許容応力度

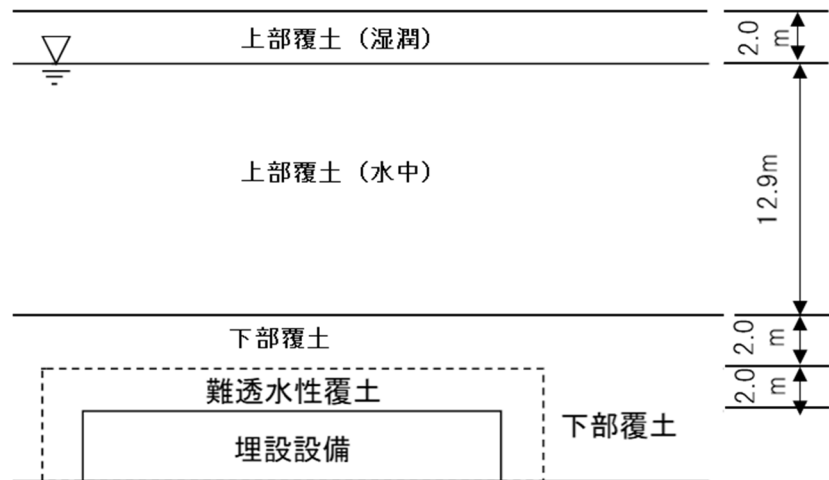
部材	応力度の種類		許容応力度 (N/mm ²)	備考
コンクリート 設計基準強度 24.6N/mm ²	曲げ	長期	9.20	*1
		短期	13.8	*1
	せん断	長期	0.455	*1
		短期	0.683	*1
鉄筋 SD345	引張	長期	196	
		短期	294	

*1 : 「コン示 2002」 P243

(iii) 土被り

a. 土被り

埋設設備は、難透水性覆土、上部覆土及び下部覆土で覆われ、難透水性覆土の厚さは、2.0mとする（側部も同様）。また、下部覆土の厚さも2.0mとし、地下水位はGL-2.0mとする。覆土の単位体積重量は地下水位より上は湿潤重量、地下水位より下は水中重量で設計する。土被りの状況を第3図に示す。



第3図 土被り及び地下水位

b. 地下水位

平均的な地下水位は、地下水流動解析より GL-4.0m と推定されるが、大雨や融雪時等の突発的な水位上昇を考慮し、埋設設備の設計上は、第3図に示すとおり GL-2.0m とする。

(5) 作用荷重

埋設設備の構造計算では、下記の荷重を考慮する。

- ・埋設設備自重
- ・廃棄体もたれ荷重
- ・充填モルタル側圧
- ・土圧
- ・水圧
- ・覆土荷重
- ・勾配コンクリート
- ・積雪荷重
- ・降灰荷重
- ・上載荷重
- ・地震時荷重
- ・風荷重

(6) 荷重の組合せ

(i) 外周仕切設備側壁

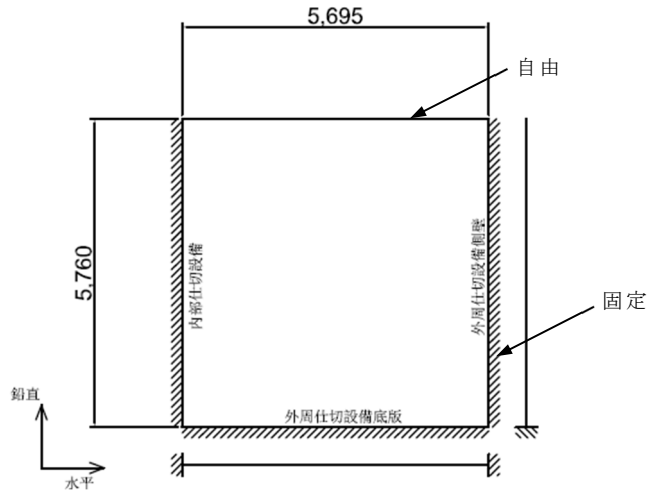
外周仕切設備側壁は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3辺固定1辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

検討位置は、第2図に示す位置において、スパンが長くかつ廃棄体もたれ荷重が作用する南北方向の外周仕切設備の側壁を対象にする。設計計算を実施する検討ケースは、第4表の検討実施欄に○印で示した2ケースとする。解析モデルは第4図に示す。

なお、躯体の自重、覆い重量及び覆土重量等、面内方向の圧縮力として作用する荷重は、安全側を考慮して考えない。また、風荷重は廃棄体もたれ荷重及び充填モルタル側圧と作用方向が反対で、考慮すると断面力が小さくなるので、安全側を考慮して考えない。

第4表 外周仕切設備側壁の検討ケース

検討ケース		埋設設備自重	廃棄体もたれ荷重	充填モルタル側圧	土圧	水圧	覆土荷重	勾配コンクリート	積雪荷重	降灰荷重	上載荷重	地震の影響	風荷重	許容応力度	検討実施
廃棄体定置時	常時		○											短期	○
モルタル充填時	常時		○	○										短期	○



第 4 図 外周仕切設備側壁の解析モデル

(ii) 外周仕切設備底版

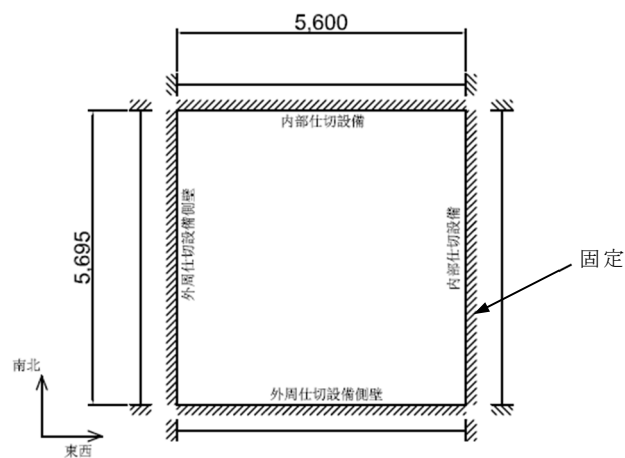
外周仕切設備底版は、埋設設備の自重、廃棄体及び充填モルタル等に対する地盤反力を考慮し、4 辺固定スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

検討位置は、第 2 図に示す。外周仕切設備の底版は、支持地盤上に設置されるため、主たる設計荷重を地盤反力とし、設計計算を実施する検討ケースは、第 5 表の検討実施欄に○印で示した 1 ケースとする。解析モデルは第 5 図に示す。

第 5 表 外周仕切設備底版の検討ケース

検討ケース		埋設設備自重	廃棄体もたれ荷重	充填モルタル側圧	土圧	水圧	覆土荷重	勾配コンクリート	積雪荷重	降灰荷重	上載荷重	地震の影響	風荷重	許容応力度	検討実施
廃棄体定置時	常時	○							○	○				短期	○
モルタル充填時	常時	○							○	○				短期	×

廃棄体定置時及びモルタル充填時は、地盤反力を構成する成分として、埋設設備自重（埋設設備自重、廃棄体自重、充填モルタル自重）、積雪荷重及び降灰荷重が考えられる。一方、地盤反力に抵抗する押さえ荷重として、埋設設備の底版の自重、廃棄体自重、充填モルタル自重が作用するが、廃棄体定置時のうち、廃棄体の定置直前が押さえ荷重が最も小さく、モルタル充填時より荷重状態が厳しいため、モルタル充填時の検討を省略する。また、風荷重は面内方向の圧縮力として作用するので、安全側を考慮して考えない。



第 5 図 外周仕切設備底版の解析モデル

(iii) 内部仕切設備

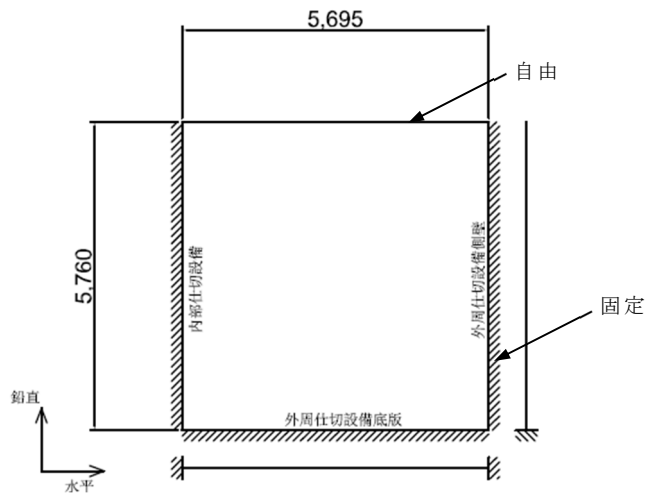
内部仕切設備は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3 辺固定 1 辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

検討位置は、第 2 図に示す位置において、スパンが長くかつ廃棄体もたれ荷重が作用する南北方向の内部仕切設備を対象にする。設計計算を実施する検討ケースは、第 6 表の検討実施欄に○印で示した 2 ケースとする。解析モデルは第 6 図に示す。

なお、躯体の自重、覆い重量及び覆土重量等、面内方向の圧縮力として作用する荷重は、安全側を考慮して考えない。また、風荷重は内周仕切設備には作用しないため、考慮しない。

第 6 表 内部仕切設備の検討ケース

検討ケース		埋設設備自重	廃棄体もたれ荷重	充填モルタル側圧	土圧	水圧	覆土荷重	勾配コンクリート	積雪荷重	降灰荷重	上載荷重	地震の影響	風荷重	許容応力度	検討実施
廃棄体定置時	常時		○											短期	○
モルタル充填時	常時		○	○										短期	○



第 6 図 内部仕切設備の解析モデル

(iv) 埋設設備全体

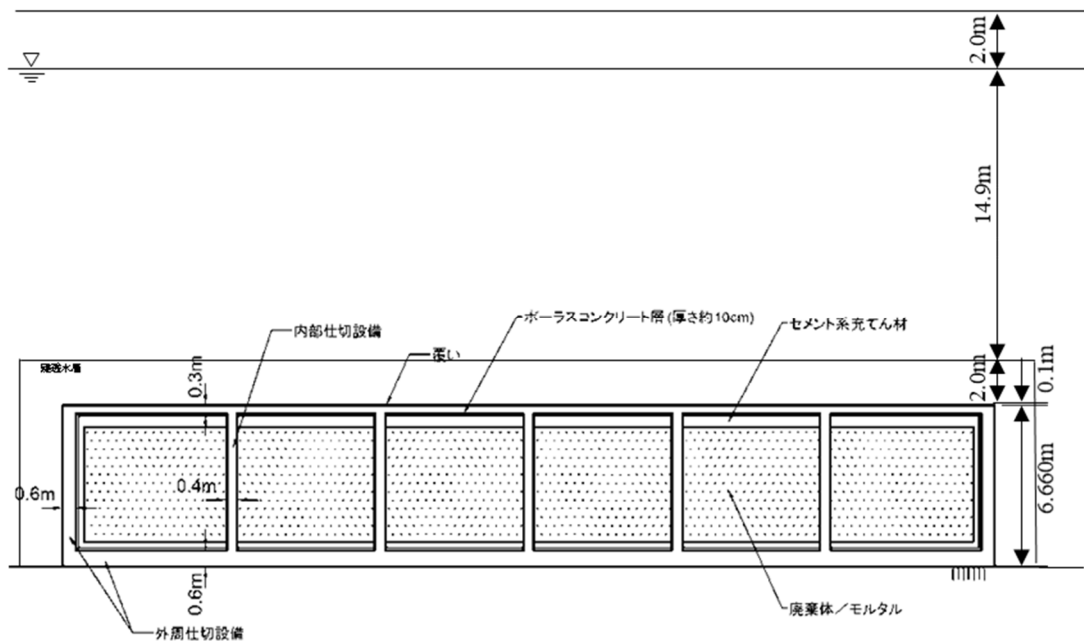
埋設設備全体は、外周仕切設備側壁、外周仕切設備底版、内部仕切設備、覆い、充填モルタルの層、ポーラスコンクリート層、廃棄体から成る埋設設備をモデル化し、モデル化する境界条件は設備の底面に地盤バネを配置し、常時と地震時に埋設設備に発生する応力を2次元FEM解析で評価する。なお、設計水平震度khは0.2とする。

検討位置は、第7図に示す断面において、埋設設備の底面幅の狭い南北方向断面を対象とする。設計計算を実施する検討ケースは、第7表の検討実施欄に○印で示した2ケースとする。

第7表 埋設設備全体の検討ケース

検討ケース		埋設設備自重	廃棄体もたれ荷重	充填モルタル側圧	土圧	水圧	覆土荷重	勾配コンクリート	積雪荷重	降灰荷重	上載荷重	地震の影響	風荷重	許容応力度	検討実施	備考
覆土前	常時	○							○	○			○	長期	×	覆土前<覆土後のため省略*1
	地震時	○									○	○	○	短期	×	
覆土後	常時	○			○	○	○		○	○				長期	○	
	地震時	○			○	○	○				○	○		短期	○	

*1：覆土後の荷重状態の方が覆土前より厳しいため、覆土前の検討を省略する。



第7図 解析対象断面図

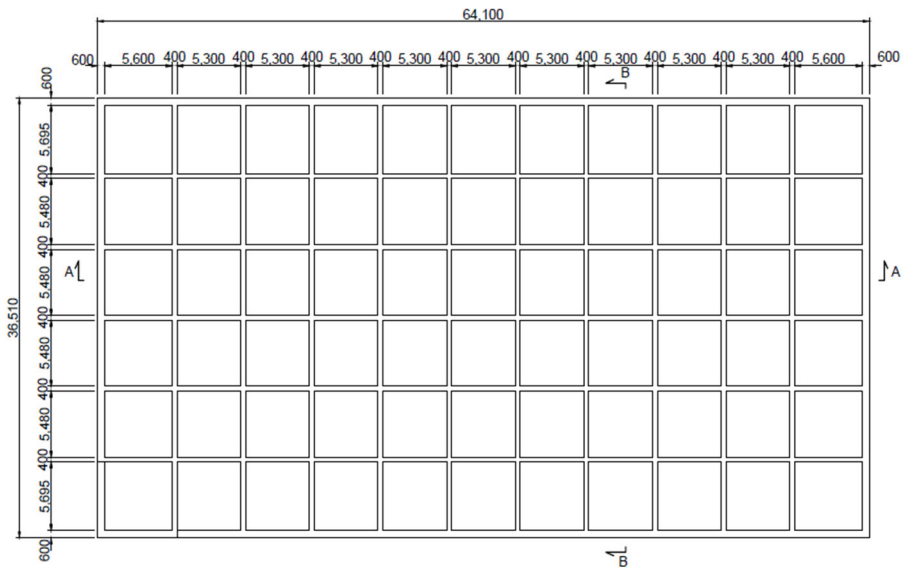
(7) 計算結果

(i) 計算結果

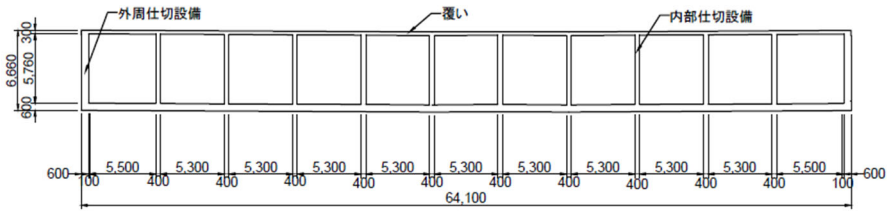
外周仕切設備、内部仕切設備、覆いの構造については、検討位置の鉛直方向及び水平方向に対して外側、内側に発生する応力度が、常時及び地震時において、曲げ圧縮、せん断、引張の各許容応力度以下であることを確認し、構造上の安定性を有する構造とする。

(ii) 埋設設備の構造

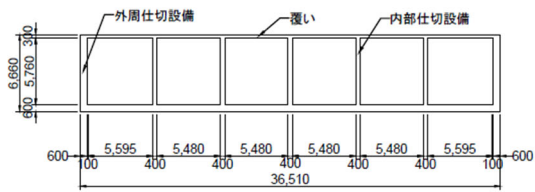
計算結果に基づき、埋設設備の構造図を第8図に示す。



(a) 埋設設備平面図



(b) 埋設設備 A-A 断面図



(c) 埋設設備 B-B 断面図

第 8 図 埋設設備構造図

想定される自然現象及び人為事象の
選定について

目 次

1. 選定の基本方針.....	1
2. 自然現象等の抽出.....	1
3. 自然現象の選定.....	3
4. 人為事象の選定.....	3
5. 安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等.....	3
6. 安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等に対する設計方針.....	3
(1) 自然現象について.....	3
(2) 人為事象について.....	5
(3) 自然現象の重畳.....	6

根拠資料 1 自然現象及び人為事象の選定

1. 選定の基本方針

敷地及び敷地周辺で想定される自然現象及び人為事象(以下自然現象及び人為事象をまとめて「自然現象等」という。)について、廃止措置の開始前の期間に対して、安全機能を有する施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等を選定する。

2. 自然現象等の抽出

(1) 自然現象等の選定の考え方及びフロー

自然現象等の選定の考え方としては、自然現象等を国内外の基準及び文献から網羅的に抽出し、立地特性、地質調査結果、埋設設備の状態及び自然現象の特徴等を考慮して、安全機能を有する施設の安全機能に影響を及ぼさない事象は除外し、詳細評価をすべき事象を選定する。

自然現象等の選定の流れとしては、国内外の基準及び文献調査により自然現象等を網羅的に抽出し、立地特性、地質調査結果、埋設設備の状態及び自然現象の特徴を考慮し、海外での評価手法を参考に、以下の基準のいずれかに該当するものを除外する。

なお、除外基準の詳細な考え方については根拠資料 1 に示す。

- ① 発生頻度が極低頻度と判断される事象
- ② 施設周辺では起こり得ない事象
- ③ 事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象
- ④ 施設に影響を及ぼさない事象
- ⑤ 他の事象に包含できる事象

除外基準に該当しない事象は、廃止措置の開始前の各期間において、安全機能を有する施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等として選定する。

なお、廃止措置の開始前における地震と津波については、第四条及び第五条で別途説明する。

(2) 自然現象等を抽出した国内外の文献

国内外の基準及び文献を参考にし、安全機能を有する施設の安全機能に影響を与えると考えられる自然現象等の抽出を行った。国内外の基準及び文献は自然災害、産業事故、原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある外部ハザード、放射性廃棄物処分施設の地質環境及び安全評価に係る情報が網羅的に示されているものを参考にした。自然現象等を抽出した国内外の文献の一覧を第 1 表に示す。

第1表 自然現象等を抽出した国内外の文献一覧

No.	文献名
1	日本原子力学会(2014):外的ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準:2014(AESJ-SC-RK008)
2	国会資料編纂会(1998):日本の自然災害
3	日外アソシエーツ(2010):日本の災害史事典 1868-2009
4	日外アソシエーツ(2010):産業災害全史<シリーズ災害・事故史4>
5	IAEA(2003):Site Evaluation for Nuclear Installations, Safety Requirements Series No.NS-R-3(Rev.1)
6	IAEA(2010):Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No.SSG-3
7	NRC(1983):PRA PROCEDURES GUIDE (Vol.1,Vol.2), NUREG/CR-2300
8	NRC(1991):Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events(IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, NUREG-1407
9	NRC(1987):Evaluation of External Hazards to Nuclear Power Plants in the United States, NUREG/CR-5042
10	NEI(2012):DIVERSE AND FLEXIBLE COPING STRATEGIES (FLEX) IMPLEMENTATION GUIDE, NEI 12-06
11	IAEA(2015):Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations, Specific Safety Guide No.SSG-35
12	OECD/NEA(2000):Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste
13	OECD/NEA(2014):Updating the NEA International FEP List, An IGSC Technical Note
14	総合資源エネルギー調査会原子力保安・安全部会(2003):廃棄物安全小委員会報告書 -高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて-
15	IAEA(2004):Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities Vol.1
16	IAEA(2004):Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities Vol.2
17	土木学会(2006):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
18	原子力安全基盤機構(2006):地層処分に係る調査に関する報告書
19	産業技術総合研究所(2007):概要調査の調査・評価項目に関する技術資料
20	原子力安全基盤機構(2008):地層処分の立地選定段階の調査に係わるガイドラインの検討
21	土木学会(2008):余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行パラメータ設定の考え方
22	原子力安全委員会(2010):余裕深度処分の管理終了以後における安全評価に関する技術資料
23	IAEA(2011):Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No. SSG-14
24	IAEA(2014):Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No. SSG-29

No.1~11:自然災害及び産業事故に関する文献 No.12~24:放射性廃棄物処分施設の地質環境及び安全評価に係る文献

なお、上記論文に記載される内部事象については、第十条第四号の「影響事象分析」で説明する。

3. 自然現象の選定

自然現象の選定については、根拠資料 1 に示す。

なお、根拠資料 1 には、廃止措置の開始後の期間に対して、第十条第四号の観点で選定した事象についても示す。

4. 人為事象の選定

人為事象の選定については、根拠資料 1 に示す。

5. 安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等

廃止措置の開始前の安全機能を有する施設の安全機能に影響を及ぼし得る自然現象として、①火山の影響、②風（台風）、③積雪、④竜巻、⑤降水、⑥低温・凍結、⑦塩害、⑧落雷、⑨森林火災、⑩生物学的事象、⑪液状化（覆土）の 11 事象を選定した。

廃止措置の開始前の安全機能を有する施設の安全機能に影響を及ぼし得る人為事象として、①航空機落下、②近隣工場等の火災、③近隣工場等の爆発、④電磁的障害、⑤有毒ガスの 5 事象を選定した。

6. 安全機能に影響を及ぼし得る自然現象等に対する設計方針

上記で選定した自然現象等のうち、火山の影響以外の自然現象(10 事象)及び人為事象(5 事象)については、大きな影響を及ぼすおそれはないが、個別に評価し、必要に応じて設計方針を示す。

なお、火山の影響については、参考資料 3「火山の影響」に詳細を記載する。

(1) 自然現象について

(i) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までは、埋設設備により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を確保する。

- 風（台風）及び積雪については、想定される風荷重及び積雪荷重に対して、放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。具体的には、八戸特別地域気象観測所及びむつ特別地域気象観測所の観測値の極値並びに六ヶ所地域気象観測所の観測値の極値を比較し、そのうち最大の観測値(八戸特別地域気象観測所の日最大瞬間風速 41.7m/s、六ヶ所地域気象観測所の最深積雪 190cm)を踏まえて設計する。

- 竜巻については、想定される風荷重に対して、放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。具体的には、敷地から最も近傍である東通村で発生した竜巻を考慮し、設計上考慮すべき竜巻風速の最大風速 49m/s を踏まえて設計する。
- 降水については、埋設設備の防水設計による浸入防止を図る設計とする。なお、排水・監視設備の排水管の弁を閉弁することもできる。
- 低温・凍結については、「2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】」に基づき、凍結融解により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能へ影響を受けない配合仕様にした設計とする。
- 塩害については、「2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】」に基づき、塩害に起因する鋼材腐食により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわないようコンクリートの配合とかぶりを考慮した設計とする。
- 落雷については、「建築基準法」、「消防法」に基づく避雷設備の設置を要求される建物はなく、常時機能維持が必要な動的機器はないため、落雷により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なうおそれがないため、落雷に対する設計は不要である。
- 森林火災については、鎮火後、保守を行うことが可能であるため、森林火災により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なうおそれがないため、森林火災に対する設計は不要である。
- 生物学的事象については、埋設設備は生物によって破壊されないことから、生物学的事象に対する設計は不要である。

設計条件を設定して設計を行うとした自然現象による異種の自然現象について適切に重畳を考慮し、放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。

(ii) 覆土完了から廃止措置の開始まで

覆土完了から廃止措置の開始までは、埋設設備により移行抑制機能を、覆土により遮蔽機能及び移行抑制機能を確保する。

- 風（台風）、積雪、竜巻、降水、低温・凍結、塩害、落雷、森林火災及び生物学的事象については、難透水性覆土及び下部覆土の遮蔽機能及び低透水性並びに埋設設備、難透水性覆土及び上部覆土の収着性に影響が生じないよう、上部覆土は 5m 以上の厚さを確保した設計とする。なお、上部覆土の収着

性に対して支障となるような状況に対しては、定期的に点検を行い必要に応じて
てて保修を行うことを基本とする。

- 液状化（覆土）については、液状化対策として、締固め性能が良いとされている「粒径分布に広がりを持った材料」を用いて、管理値(締固め度 90%以上)を設定して施工を行い、難透水性覆土及び下部覆土の遮蔽機能及び低透水性並びに難透水性覆土及び上部覆土の収着性を損なわない設計とする。

(2) 人為事象について

(i) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までは、埋設設備により放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を確保する。

- 航空機落下については、埋設設備（標的面積 0.019km²）に対する、「直行経路を巡航中の計器飛行方式民間航空機の落下事故」及び「訓練空域内を訓練中及び訓練空域周辺を飛行中の自衛隊機又は米軍機の落下事故」を合算した航空機落下確率は、 4.3×10^{-8} （回/年）であり、「航空機落下確率評価基準」に示される判断基準である 10^{-7} 回/年未満であることから、航空機落下に対する設計は不要である。
- 近隣工場等の火災、爆発については、むつ小川原国家石油備蓄基地（距離：3,570m）及びウラン濃縮工場加工施設の屋外危険物貯蔵施設（距離：491m）の火災、濃縮機器製造工場の高圧ガス貯蔵／消費施設（距離：1,100m）の爆発が想定されるが、いずれも廃棄物埋設地まで十分な離隔があり、廃棄物埋設地に与える影響は十分小さいことから、近隣工場等の火災、爆発に対する設計は不要である。
- 有毒ガスについては、ウラン濃縮工場加工施設のフッ化ウラニル及びフッ化水素が想定されるが、埋設設備が鉄筋コンクリート造であるため、放射性物質の漏出を防止する機能、遮蔽機能を損なうおそれがないため、有毒ガスに対する設計は不要である。
- 電磁的障害については、埋設設備が静的な設備であるため、放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なうおそれはないため、電磁的障害に対する設計は不要である。

(ii) 覆土完了から廃止措置の開始まで

覆土完了から廃止措置の開始までは、埋設設備により移行抑制機能を、覆土に

より遮蔽機能及び移行抑制機能を確保する。

- 航空機落下、近隣工場等の火災、爆発、有毒ガス及び電磁的障害については、上部覆土を 5m 以上の厚さを確保した設計とすることから、いずれも、難透水性覆土及び下部覆土の遮蔽機能及び低透水性並びに難透水性覆土及び上部覆土の収着性を損なうおそれはないため、設計は不要である。
なお、上部覆土の収着性に対して支障となるような状況に対しては、定期的に点検を行い、必要に応じて保修を行うことを基本とする。

(3) 自然現象の重畳

(i) 重畳の組合せの検討

選定した自然現象（11 事象）について、組合せを網羅的に検討する。重畳を検討する自然現象の特徴を考慮して、詳細に検討が必要となる自然現象の組合せを抽出する。重畳の組合せの検討に当たっては、①重畳が考えられない組合せ、②いずれの事象も発生頻度が低く重畳を考慮する必要のない組合せ、③いずれかの事象に代表される組合せ、④廃棄物埋設施設に及ぼす影響が異なる組合せ、⑤それぞれの荷重が相殺する組合せ及び⑥一方の事象の条件として考慮する組合せを除外し、①から⑥のいずれにも該当しないものを設計において想定する組合せとし、組合せに対して安全性が損なわれない設計とする。重畳を考慮する自然現象の組合せについて第 2 表に示す。

第2表 重畳を考慮する自然現象の組合せ

	風 (台風)	竜巻	降水	落雷	森林 火災	低温 凍結	降下 火砕物	積雪	生物学 的事象	塩害	液状化
風(台風)											
竜巻	③										
降水	④	④									
落雷	④	④	④								
森林火災	⑥	④	⑤	④							
低温・凍結	④	④	①④	④	④⑤						
降下火砕物	○	②	⑥	④	④	④					
積雪	○	○	①⑤	④	④⑤	④	○				
生物学的事象	④	④	④	④	④	④	④	④			
塩害	④	④	④	④	④	④	④	④	④		
液状化	④	④	④	④	④	④	④	④	④	④	

- ：重畳を考慮する ①：重畳が考えられない組合せ
 ②：いずれの事象も発生頻度が低く重畳を考慮する必要のない組合せ
 ③：いずれかの事象に代表される組合せ
 ④：埋設施設に及ぼす影響が異なる組合せ
 ⑤：それぞれの荷重が相殺する組合せ
 ⑥：一方の事象の条件として考慮する組合せ

(ii) 荷重の組合せについて

a. 組合せの考え方

重畳を考慮する自然現象については第3表に示す。ここで、重畳を考慮する自然現象として地震を含む。さらに、地震荷重と竜巻荷重を比較すると、地震荷重の方が大きいため地震を考慮した場合での評価を行う。荷重の組合せについては、No. 1, 2 は No. 5 に包含でき、No. 3, 5 は No. 6 に包含できることから、荷重として評価する対象は、No. 4, 6 となる。

荷重の組合せ（応力評価）については、主現象（大きな荷重）を発生させる自然現象と、従現象（小さな荷重）を発生させる自然現象を想定する。Turkstra 則の考え方を踏まえ、主現象は、単独の自然現象で考慮する規模を想定（ 10^{-2} /年程度）し、従現象の規模は、「建築基準法」等を参考に設定する。重畳を考慮する事象を纏めると、第4表に示すとおりとなる。

なお、実際に荷重の組み合わせを考慮した計算を行う際には、各計算ケースの照査時点における埋設設備及び覆土の形状並びに計算の方法を考慮して、計算に用いる荷重の組み合わせと値を具体的に設定する。

第3表 重畳を考慮する自然現象

No	自然現象の組合せ	組合せの選定
1	風(台風)+降下火砕物	No.5に包含
2	風(台風)+積雪	No.5に包含
3	竜巻+積雪	No.6に包含
4	降下火砕物+積雪	重畳を考慮
5	風(台風)+降下火砕物+積雪	No.6に包含
6	地震+風(台風)+降下火砕物+積雪	重畳を考慮

第4表 重畳を考慮する自然現象の組合せ

No	主現象		従現象			備考
			風	積雪	降下火砕物	
1	風	41.7m/s	—	—	20cm (2.6kN/m ²)	鉛直： 2.6kN/m ²
2	風	41.7m/s	—	67cm (2.0kN/m ²)	—	鉛直： 2.0kN/m ²
3	竜巻	49m/s	—	67cm (2.0kN/m ²)	—	鉛直： 2.0kN/m ²
4	積雪	190cm (5.7kN/m ²)	—	—	20cm (2.6kN/m ²)	鉛直： 8.3kN/m ²
5	風	41.7m/s	—	67cm (2.0kN/m ²)	20cm (2.6kN/m ²)	鉛直： 4.6kN/m ²
6	地震	0.2G	41.7m/s	67cm (2.0kN/m ²)	20cm (2.6kN/m ²)	鉛直： 4.6kN/m ²

主・従現象(風) 41.7m/s：八戸特別地域気象観測所で観測された日最大瞬間風速を考慮
 構造計算等で用いる風荷重は、地上10mにおける10分間平均速度を基に
 構造物の高さ等による補正を行って設計風速を算定

主現象(竜巻) 49m/s：敷地から最も近傍である東通村で発生した竜巻を考慮

主現象(積雪) 190cm：六ヶ所村最深積雪量 30N/m²/cm：青森県建築基準法施行規則(抄)第11条
 190cm×30N/m²/cm=5.7kN/m²

主現象(地震) 0.2G：建築基準法施行令第八十八条

従現象(積雪) 67cm(190cm×0.35)：建築基準法施行令第八十二条
 67cm×30N/m²/cm=2.0kN/m²

従現象(降下火砕物) 20cm(55cm×0.35)：従現象(積雪)と同様の方法で評価
 20cm×1.3g/cm³=2.6kN/m²

(iii) 評価結果

埋設設備は、地震を含めた荷重に対し放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわない設計としている。(耐震評価については参考資料1「3号埋設設備の構造設計について」にて別途説明する。)

以上から、重畳を考慮した場合においても、放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なうおそれはない。

自然現象及び人為事象の選定

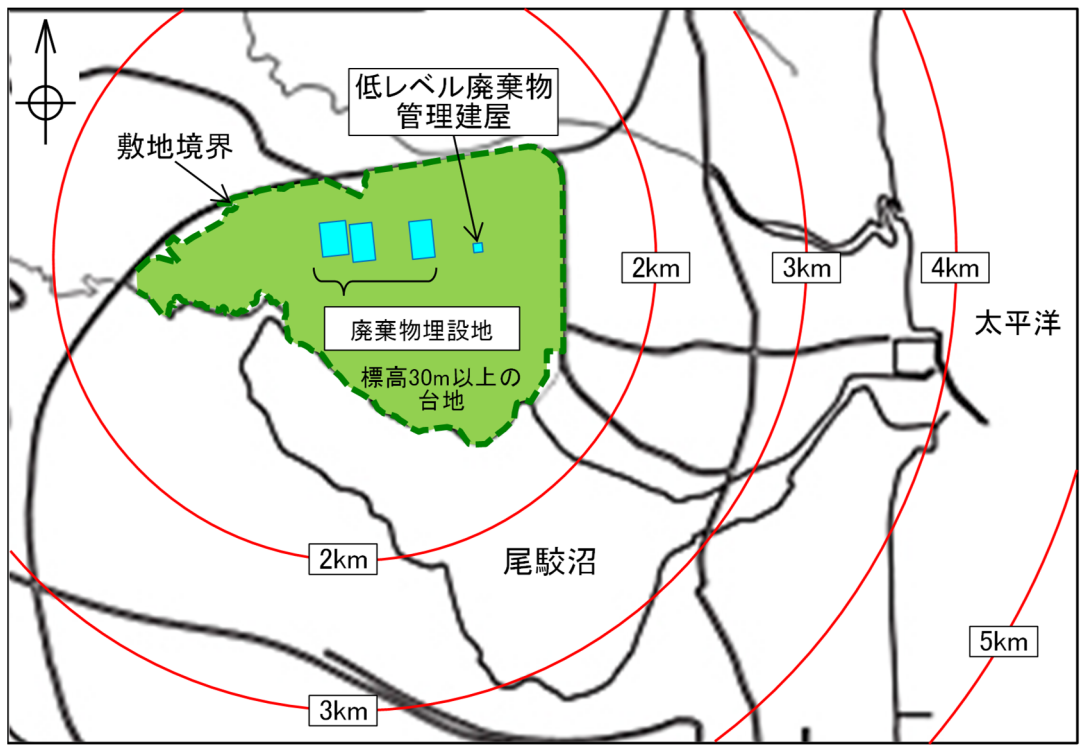
第1表 事象の除外基準及び考え方

自然現象等の除外基準	考え方	
	廃止措置の開始前*1	廃止措置の開始後*2
①発生頻度が極低頻度と判断される事象	隕石や人工衛星*3の落下のような、発生頻度が極低頻度と判断される事象は除外する。	隕石落下のような発生が極低頻度であり、事象の影響が放射性廃棄物による影響を上回るような事象は除外する。
②施設周辺では起こり得ない事象	安全機能を有する施設の立地条件、地質調査結果、埋設設備の状態及び選定された自然現象等の影響を考慮し、影響が及ばない事象は除外する。	安全機能を有する施設の立地条件、地質調査結果、埋設設備の状態及び選定された自然現象等の影響を考慮し、線量評価に影響が及ばない事象は除外する。
③事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができるものについては除外する。	—
④施設に影響を及ぼさない事象	事象に顕著な変化がなく安全機能を有する施設の安全機能に与える影響が小さい事象については除外する。	事象に顕著な変化がなく安全機能を有する施設の安全機能に与える影響が小さく、線量評価に影響しない事象については除外する。
⑤他の事象に包含できる事象	安全機能を有する施設への影響が他の事象の影響評価で包含できる場合は除外する。	安全機能を有する施設への影響が他の事象の影響評価で包含できる場合は除外する。

*1：許可基準規則解釈第9条第2項より「「廃止措置の開始前まで」とは、ピット処分にあつては埋設の終了後300～400年以内」とあることから、廃止措置の開始前までの期間として覆土完了後300年間～400年間を対象とする。

*2：主要な放射性物質のうち半減期の長い放射性物質の放射エネルギー及び放射能濃度が十分に小さいことを考慮して1万年程度までを目安とする。

*3：NRC（1991）によると、隕石及び人工衛星の落下の確率は 10^{-9} オーダー（回/y）と記載されている。
NRC（1991）：Procedural and Submittal Guidance for the Individual Plant Examination of External Events(IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities, NUREG-1407



第 1 図 敷地の位置図

第2表 自然現象の選定 (1/8)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方		
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後			
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象					
1	火山・火成活動	火山の影響	-	-	-	-	-	要	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。廃止措置の開始後は、第十条第四号にて「火山の影響」として考慮する。	
2	プレート運動に起因する事象 地震・断層活動	地震	-	-	-	-	-	第四条	要	廃止措置の開始前は、第四条（地震による損傷の防止）にて別途説明する。廃止措置の開始後は、第十条第四号にて「地震」として考慮する。	
3		断層活動（地盤の変形）	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	安全機能を有する施設はN値50以上の岩盤（鷹架層）に設置していることから、地盤の変形は発生しない。第三条（安全機能を有する施設の地盤）にて別途詳細な説明をする。廃止措置の開始後は、出戸西方断層の断層活動によって広域に地盤が傾斜する可能性があるため、第十条第四号にて「断層活動（地盤の変形）」として考慮する。	
4		地盤の変位	-	○	-	-	-	-	不要	不要	敷地内に将来活動する可能性のある断層がないことから、地盤の変位は発生しないため、考慮しない。第三条（安全機能を有する施設の地盤）にて別途詳細な説明をする。
5		液状化	-	-	-	-	-	-	要	要	安全機能を有する施設はN値50以上の岩盤（鷹架層）に設置しているため、地盤の液状化は発生しない。地盤の液状化は、第三条（安全機能を有する施設の地盤）にて別途詳細な説明をする。廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後の覆土については、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。
6		津波	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	-	第五条	不要	廃止措置の開始前は、第五条（津波による損傷の防止）にて別途説明する。廃止措置の開始後は、安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置すること及び既往津波並びに公表された津波シミュレーション結果から、津波は到達しない。また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。

国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (2/8)

国内外の文献から抽出した事象			除外の基準					評価		事象に対する考え方	
			基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後		
			発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象				
7	プレート運動	隆起・沈降運動	隆起・沈降	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、第十条第四号にて「隆起・沈降」として考慮する。
8	その他	変成作用		-	○	-	-	-	不要	不要	変成作用を被るような地質構造場（地温・圧力）ではないため、考慮しない。
9		塑性変形作用		-	○	-	-	-	不要	不要	塑性変形を被るような地質構造場（褶曲構造）ではないため、考慮しない。
10		続成作用		-	○	-	-	-	不要	不要	続成作用を被るような地質構造場（沈降場）ではないため、考慮しない。
11	気象変動に起因する事象	静振		-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。
12		高潮		-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。
13		波浪・高波		-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。
14		高潮位		-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。

国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (3/8)

	国内外の文献等から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後	
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象			
15	低潮位	-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。
16	海流異変	-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れ、標高30m以上の台地に位置することから、影響はないため、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水する設備もないため、影響はない。
17	風（台風）	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下にあることから、影響はないため、考慮しない。
18	竜巻	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下にあることから、影響はないため、考慮しない。
19	砂嵐	-	○	-	-	-	不要	不要	敷地周辺に砂塵が舞い上がるような砂漠や大規模な砂丘は分布しないため、考慮しない。
20	極端な気圧	-	-	-	-	○	不要	不要	高気圧、低気圧による気圧の変化により、安全機能を有する施設の安全機能が損なわれるおそれはないため、考慮しない。なお、竜巻による急激な気圧変化が想定されるが、これは「竜巻」の影響評価に包含される。
21	降水（量）	-	-	-	-	-	要	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、地下水流動に影響するため第十条第四号にて「降水量」として考慮する。
22	洪水	-	○	-	-	-	不要	不要	周辺河川において洪水が発生したとしても、標高30m以上の台地に位置する安全機能を有する施設への影響はないため、考慮しない。（老部川は標高5m~20m、二又川は標高1m~5mを流れる。）

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。
国内外の文献等から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (4/8)

	国内外の文献等から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後	
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象			
23	降雹	-	-	-	-	○	不要	不要	「竜巻」の影響評価（飛来物）に包含される。
24	落雷（電流）	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下に設置されていることから、影響はないため、考慮しない。
25	高温（気温）	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要 ^{*1}	廃止措置の開始前は、高温による安全機能を有する施設への影響はないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、降水量及び蒸発散量に影響するため第十条第四号にて「気温」として考慮する。
26	低温・凍結（気温）	-	-	-	-	-	要	要 ^{*1}	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、降水量及び蒸発散量に影響するため第十条第四号にて「気温」として考慮する。
27	氷結	-	-	-	-	○	不要	不要	「低温・凍結」の影響評価に包含される。
28	氷晶	-	-	-	-	○	不要	不要	氷晶による荷重の影響については、「降下火砕物」、「積雪」の荷重の影響評価に包含される。
29	氷壁	-	○	-	-	-	不要	不要	敷地周辺には氷壁が形成されるような環境がなく、取水及び冷却を行う設備はないことから、影響はないため、考慮しない。
30	高水温	-	-	-	-	○	不要	不要	海洋及び河川から取水する設備はなく、影響はないため、考慮しない。
31	低水温	-	-	-	-	○	不要	不要	海洋及び河川から取水する設備はなく、影響はないため、考慮しない。
32	干ばつ	-	-	-	-	○	不要	不要	顕著な変化がなく、安全機能を有する施設に与える影響が小さいことから、考慮しない。
33	霜	-	-	-	-	○	不要	不要	霜による安全機能を有する施設への影響はないため、考慮しない。

*1：高温及び低温・凍結は廃止措置の開始後の状態設定では降水量及び蒸発散量に影響するため、まとめて「気温」として考慮する。
 事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。
 国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (5/8)

	国内外の文献等から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後	
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象			
34	霧	-	-	-	○	-	不要	不要	霧による安全機能を有する施設への影響はないため、考慮しない。
35	積雪	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下に設置されていることから、影響はないため、考慮しない。
36	雪崩	-	○	-	-	-	不要	不要	埋設設備周囲の斜面の形状を考慮すると、埋設設備を損傷させるような雪崩が発生しにくいと判断し、考慮しない。
37	土壌の収縮・膨張	-	-	-	○	-	不要	不要	安全機能を有する施設は岩盤(鷹架層)に設置することから、影響はないため、考慮しない。
38	海水による川の閉塞	-	-	-	○	-	不要	不要	海洋及び河川から取水、冷却を行う設備はなく、安全機能を有する施設に影響はないため、考慮しない。
39	湖若しくは川の水位降下	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	不要	不要	安全機能を有する施設は、取水、冷却を行う設備はないことから、影響はないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、沼・河川の変化は、「隆起・侵食」及び「海水準変動」において考慮する。
40	海水準変動	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、地下水流動に影響するため、第十条第四号にて「海水準変動」として考慮する。
41	風化	-	-	-	○	-	不要	不要	事象の進展(岩盤の風化)が非常に緩慢なため、考慮しない。
42	蒸発散(量)	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、地下水流動に影響するため第十条第四号にて「蒸発散量」考慮する。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。

国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (6/8)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方	
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後		
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象				
43	気象変動に起因する事象	かん養(量)	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、地下水流動に影響するため第十条第四号にて「かん養量」として考慮する。
44		永久凍土	-	○	-	-	-	不要	不要	将来の気温低下を考慮しても、永久凍土が問題となるような状況になるとは考えにくいため考慮しない。
45		河川流量	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、希釈水量に影響するため第十条第四号にて「河川流量」として考慮する。
46	プレート運動と気候変動の両者に起因する事象	地下水位(地下水流動)	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、地下水流動に影響するため第十条第四号にて「地下水位(地下水流動)」として考慮する。
47		土石流	-	○	-	-	-	不要	不要	周辺河川において土石流が発生したとしても、標高30m以上の台地に位置する安全機能を有する施設への影響はないため、考慮しない。(老部川は標高5m~20m、二又川は標高1m~5mを流れる。)
48		陥没	-	○	-	-	-	不要	不要	陥没が発生するような地質ではないため、考慮しない。
49		地形及び陸水の変化	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	不要	不要	廃止措置の開始前は、事象により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、「隆起・沈降」、「侵食」、「海水準変動」に包含される。
50		地盤(地表面)の侵食	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、第十条第四号にて「侵食」として考慮する。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。

国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (7/8)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方	
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後		
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象				
51	プレート運動と気候変動の両者に起因する事象	海岸侵食	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	不要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能を有する施設が海岸から約3km離れていることから、考慮しない。 廃止措置の開始後は、「侵食」に包含される。
52		海面下の侵食	-	-	-	○	-	不要	不要	敷地は海岸から約3km離れていることから、考慮しない。 また、海洋及び河川から取水及び冷却を行う設備はないことから、影響はないため、考慮しない。
53		地下水による侵食	-	○	-	-	-	不要	不要	地下水による侵食を受けるような地質及び地下水質ではないため、考慮しない。
54		河川の流路変更	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	不要	不要	安全機能を有する施設は、取水及び冷却を行う設備はなく、影響はないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、沼・河川の変化は、「隆起・侵食」及び「海水準変動」において考慮する。
55		変質	-	○	-	-	-	不要	不要	変質（風化除く）を被るような地質環境にないため、考慮しない。
56		流出点の状態（河川・沼）	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	不要	不要	廃止措置の開始前は、事象の変化により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、侵食や海水準変動の評価に内包する。
57	その他	泥湧出（泥火山）	-	○	-	-	-	不要	不要	泥が湧出（泥火山が発生）する地質構造（泥岩破砕層、地中ガス貯存及び背斜構造）ではないため、考慮しない。
58		地すべり	-	○	-	-	-	不要	不要	埋設地及びその付近に地すべり地形はなく、すべり面となるような弱層も確認されていないため、考慮しない。 第三条（安全機能を有する施設の地盤）にて別途説明する。
59		透水性の変化	-	-	-	廃止措置開始前：○ 廃止措置開始後：-	-	不要	要	廃止措置の開始前は、事象により直接施設に影響を及ぼすことはないため、考慮しない。 廃止措置の開始後は、施設通過流量に影響するため第十条第四号にて「透水性の変化」として考慮する。
60		斜面の不安定	-	○	-	-	-	不要	不要	廃棄物埋設地及びその付近の自然斜面においては、崖崩れや山崩れが発生するような不安定な斜面は存在しないため、考慮しない。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。
国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第2表 自然現象の選定 (8/8)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価		事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	廃止措置開始後	
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象			
61	森林火災	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、第六条（外部からの衝撃による損傷の防止）にて「森林火災」として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下に設置されていることから、影響はないため、考慮しない。
62	草原火災	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	○	不要	不要	廃止措置の開始前は、「森林火災」の影響評価に包含される。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下に設置されていることから、影響はないため、考慮しない。
63	生物学的事象	-	-	-	-	-	要	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、第十条第四号にて「生物学的事象」として考慮する。
64	塩害	-	-	-	廃止措置開始前：- 廃止措置開始後：○	-	要	不要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。 廃止措置の開始後は、埋設設備は地下に設置されていることから、影響はないため、考慮しない。
65	その他 隕石	○	-	-	-	-	不要	不要	隕石の衝突は発生の可能性が著しく低い。また、非常に大きな隕石については、衝突による影響が放射性廃棄物による影響を有意に上回るため、考慮しない。
66	カルスト	-	○	-	-	-	不要	不要	敷地周辺はカルスト地形ではない（石灰岩分布地域ではない）ため、考慮しない。
67	岩塩ダイアビル	-	○	-	-	-	不要	不要	岩塩ダイアビルを生じるような岩塩層は分布しないため、考慮しない。
68	深部流体	-	○	-	-	-	不要	不要	敷地は火山フロントの海溝側にあること、水みちとなるような大規模な構造線が分布しないことから、施設に影響を与える深部流体はないため、考慮しない。
69	天水の水質	-	○	-	-	-	不要	不要	現状の天水は、安全機能を有する施設に影響を及ぼす水質ではないため、考慮しない。 長期的にも、天水の水質が急激に変化することは想定しづらいので考慮しない。
70	表流水・地下水の水質	-	○	-	-	-	不要	不要	現状の地表水・地下水は安全機能を有する施設に影響を及ぼす水質ではないため、考慮しない。 長期的にも、水質が急激に変化することは想定しづらいので、考慮しない。

事象は廃止措置の開始前及び廃止措置の開始後に区分し、評価した。

国内外の文献から抽出した事象をプレート運動、気候変動、プレート運動及び気候変動に起因する事象及びその他の事象に区分した。

第3表 人為事象の選定 (1/2)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価 廃止措置開始前	事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤		
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象		
1	船舶事故による油流出	-	-	-	○	-	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れた標高30m以上の台地に位置するため、影響はない。 また、海洋から取水する設備もないため、影響はない。
2	船舶事故（爆発、化学物質の放出）	-	-	-	○	-	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れた標高30m以上の台地に位置するため、影響はない。
3	船舶の衝突	-	-	-	○	-	不要	安全機能を有する施設は海岸から約3km離れた標高30m以上の台地に位置するため、船舶が衝突することはない。
4	飛来物（航空機落下等）	-	-	-	-	-	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。
5	鉄道事故（爆発、化学物質の放出）	-	○	-	-	-	不要	敷地周辺には鉄道路線がないため、発生しない。
6	鉄道の衝突	-	○	-	-	-	不要	敷地周辺には鉄道路線がないため、発生しない。
7	交通事故（爆発、化学物質の放出）	-	-	-	-	○	不要	「近隣工場の爆発」に包含される。化学物質の放出は、「有毒ガス」に包含される。
8	自動車の衝突	-	○	-	-	-	不要	周辺監視区域の境界にフェンスを設置し、入構する自動車を管理しており発生しない。
9	近隣工場の爆発	-	-	-	-	-	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。
10	工場事故（化学物質の放出）	-	-	-	-	○	不要	化学物質の放出は、「有毒ガス」に包含される。
11	鉱山事故（爆発、化学物質の放出）	-	○	-	-	-	不要	敷地周辺に鉱山はないため、発生しない。
12	土木・建築現場の事故（爆発、化学物質の放出）	-	○	-	-	-	不要	敷地内での工事は十分に管理されていることから、発生しない。
13	軍事基地の事故（爆発、化学物質の放出）	-	○	-	-	-	不要	三沢基地は敷地から約28km離れており、影響はない。
14	軍事基地からの飛来物	-	○	-	-	-	不要	故意によるもの以外は、三沢基地は敷地から約28km離れていることから、影響はない。
15	軍事行動による破壊・損傷						不要	テロ行為等の人為的な破壊行為は外部事象に含めない。
16	パイプライン事故（爆発、化学物質の放出）	-	○	-	-	-	不要	むつ小川原国家石油備蓄基地の陸上輸送配管は、約2km以上離れた場所の1.2m以上の地下に埋設されており、影響はない。

第3表 人為事象の選定 (2/2)

	国内外の文献から抽出した事象	除外の基準					評価	事象に対する考え方
		基準①	基準②	基準③	基準④	基準⑤	廃止措置開始前	
		発生頻度が極低頻度と判断される事象	施設周辺では起こり得ない事象	事象の進展が緩慢で対策を講じることができる事象	施設に影響を及ぼさない事象	他の事象に包含できる事象		
17	敷地内における化学物質の漏えい	—	○	—	—	—	不要	安全機能を有する施設付近における化学物質の貯蔵・運搬はないため、影響はない。
18	人工衛星の落下	○	—	—	—	—	不要	人工衛星の大部分が大気圏で燃え尽き、一部破片が落下する可能性があるが、その可能性は極めて低く、安全機能を有する施設に影響を及ぼすことはない。
19	ダムの崩壊	—	○	—	—	—	不要	安全機能を有する施設の周辺にダムはないため、ダムの崩壊は発生しない。
20	電磁的障害	—	—	—	—	—	要	廃止措置の開始前は、サージ・ノイズや電磁波の侵入の可能性があるため、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。
21	掘削工事	—	○	—	—	—	不要	敷地内での工事は規制されることから、発生しない。
22	重量物の落下	—	○	—	—	—	不要	重量物の運搬は十分に管理されているため、発生しない。
23	タービンミサイル	—	○	—	—	—	不要	敷地周辺にタービンミサイルを発生させるような回転装置はない。
24	有毒ガス	—	—	—	—	—	要	安全機能を有する施設では、有毒ガスを発生させる設備は存在しないが、他事業所や敷地外の施設（船舶、交通、工場）からの有毒ガスの発生が想定されるため、廃止措置の開始前は安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。
25	近隣工場の火災	—	—	—	—	—	要	廃止措置の開始前は、安全機能に影響を及ぼし得る事象として考慮する。（航空機落下火災、近隣工場の火災等）。
26	火災	—	—	—	—	○	不要	「近隣工場の火災」に包含される。

第4表 文献調査の結果抽出された自然現象 (1/4)

全事象	許可基準規則 解釈*1、 火山影響評価 ガイド*2	既往の国内外文献による自然現象・人為事象の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										既往の国内外文献による地質環境の長期変動項目の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										埋設施設へ影響を与える可能性の ある事象の整理と抽出	
		1	2,3,4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15,16	17	18	19	20	21	22	23		24
1 地震	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1 地震
2 地盤沈下	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	2 地盤の変形
3 地盤隆起	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	3 地盤の変位
4 断層活動・地割れ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
5 地滑り		○																					
6 豪雨による地滑り		○			○																		
7 融雪による地滑り	○	○	○	○					○														4 地滑り
8 地下水による地滑り					○																		
9 液状化現象		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5 液状化現象
10 泥湧出																							6 泥湧出
11 斜面の不安定			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
12 斜面の不安定 崖崩れor陥没			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	7 斜面の不安定
13 地震による津波	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	8 津波
14 火山による津波	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
15 静振		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	9 静振
16 高潮		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10 高潮
17 波浪・高波		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	11 波浪・高波
18 高潮位		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12 高潮位
19 異常潮位		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
20 高潮水位					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	- 高潮位を含む
21 高河水位					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	- 洪水を含む
22 低潮位		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	13 低潮位
23 低水位					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	- 低潮位含む
24 海流異変		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	14 海流異変
25 風(台風)		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
26 水嵐																							
27 雪嵐(吹雪)			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	15 風(台風)
28 強い直線風																							
29 竜巻		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	16 竜巻
30 暴風による砂嵐		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	17 砂嵐
31 高圧		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
32 低圧		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	18 極端な気圧
33 急激な気圧変化		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
34 豪雨			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	19 降水
35 地震による洪水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
36 豪雨による洪水		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
37 融雪による洪水		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
38 高水位による洪水																							
39 近隣河川、湖、貯水池 による洪水			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	20 洪水
40 地滑りによる洪水				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
41 豪雨による鉄砲水		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

*1：第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(以下「許可基準規則解釈」という。)に例示されている事象を含む場合は○で示す。

*2：「火山影響評価ガイド」に記載される火山事象を含む場合は○で示す。

第4表 文献調査の結果抽出された自然現象 (2/4)

全事象	許可基準規則 解釈 ^{*1} 火山影響評価 ガイド ^{*2}	既往の国内外文献による自然現象・人為事象の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										既往の国内外文献による地質環境の長期変動項目の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										埋設施設へ影響を与える可能性のある事象の整理と抽出			
		1	2,3,4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15,16	17	18	19	20	21	22	23		24		
42	地震による土石流	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	土石流		
43	暴雨による土石流	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	土石流
44	降雹	○	○	○	○	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	降雹
45	落雷(電流)	○	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	落雷(電流)
46	森林火災	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	森林火災
47	草原火災	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	草原火災
48	高温	○	○	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	高温
49	低温・凍結	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	27	低温・凍結
50	氷結	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	氷結
51	氷晶	○	○	○	○	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	氷晶
52	氷壁	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	氷壁
53	高水温	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	高水温
54	低水温	○	○	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	低水温
55	干ばつ	○	○	○	○	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	干ばつ
56	霜	○	○	-	-	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	霜
57	霧	○	○	-	-	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	霧
58	火山弾 (大きな噴石)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	36	火山から発生する飛来物 (噴石)
59	火山礫 (小さな噴石)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
60	火砕流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
61	溶岩流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
62	火砕サージ	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
63	爆風	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
64	洪水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
65	降灰	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
66	火災(山林火災)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
67	火山ガス滞留	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
68	熱湯	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
69	山体崩壊	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
70	新しい火口の開口	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
71	津波及び静振	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		火山性土石流、火山泥流及び 洪水
72	大気現象	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	火山性土石流、火山泥流及び 洪水	
73	地殻変動	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	火山性土石流、火山泥流及び 洪水	
74	火山性地震とこれに関 連する事象	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	火山性土石流、火山泥流及び 洪水	
75	熱湯	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	火山性土石流、火山泥流及び 洪水	
76	積雪	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	37	積雪
77	豪雪による雪崩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	38	雪崩
78	融雪による雪崩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	38	雪崩

*1：許可基準規則解釈に例示されている事象を含む場合は○で示す。

*2：「火山影響評価ガイド」に記載される火山事象を含む場合は○で示す。

第4表 文献調査の結果抽出された自然現象 (3/4)

全事象	許可基準規則 解釈*1、 火山影響評価 ガイド*2	既往の国内外文献による自然現象・人為事象の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										既往の国内外文献による地質環境の長期変動項目の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										埋設施設へ影響を与える可能性 のある事象の整理と抽出						
		1	2,3,4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15,16	17	18	19	20	21	22	23		24					
79	生物学的事象	-	○	○	○	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	生物学的事象			
80	動物	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
81	塩害・海塩粒子による 絶縁破壊	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	塩害			
82	塩害・腐食	-	○	-	-	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
83	隕石	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
84	隕石による衝撃波	-	○	-	-	○	○	○	○	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	隕石		
85	陥没	-	-	○	○	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	42	陥没		
86	土壌の収縮・膨張	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43	土壌の収縮・膨張		
87	隆起・沈降運動	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	-	44	隆起・沈降		
88	地形及び陸水の変化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45	地形及び陸水の変化		
89	地盤の侵食	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	地盤の侵食		
90	海岸浸食	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	海岸浸食		
91	海面下の侵食	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	48	海面下の侵食		
92	強い水流、地下水による 侵食	-	-	-	-	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	地下水による侵食		
93	カルスト	-	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	カルスト		
94	海水による川の閉塞	-	○	-	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	海水による川の閉塞		
95	湖若しくは川の水位降下	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	湖若しくは川の水位降下		
96	河川の流路変更	-	○	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	河川の流路変更		
97	有毒ガス	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[人為の有毒ガスに含める]	
98	太陽フレアによる磁気嵐	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[電磁的障害含める]	
99	気候変動・サイクル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	気候変動による海水準変動や気象の変化として個別に考慮	
100	氷期-間氷期サイクル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-	-	気候変動による海水準変動や気象の変化として個別に考慮	
101	温暖化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
102	海水準変動	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	54	海水準変動	
103	構造運動	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	○	-	-	断層・火山・隆起等として考慮	
104	変成作用	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	変成作用
105	塑性変形作用	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	塑性変形作用
106	続成作用	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	続成作用
107	岩塩ダイアピル	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	岩塩ダイアピル
108	地殻変動	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	断層・火山・隆起等として考慮
109	海象	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	-	-	海象⇒高潮、潮位、津波で検討
110	地質・地質構造の性状・特性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	地盤の特性(外部影響事象として抽出しない)
111	天然資源・鉱物資源	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	-	○	○	-	○	○	-	-	-	-	-	地盤の特性(外部影響事象として抽出しない)

*1：許可基準規則解釈に例示されている事象を含む場合は○で示す。

*2：「火山影響評価ガイド」に記載される火山事象を含む場合は○で示す。

第4表 文献調査の結果抽出された自然現象 (4/4)

全事象	許可基準規則 解釈 ^{*1} 、 火山影響評価 ガイド ^{*2}	既往の国内外文献による自然現象・人為事象の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										既往の国内外文献による地質環境の長期変動項目の抽出 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										埋設施設へ影響を与える可能性の ある事象の整理と抽出	
		1	2,3,4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15,16	17	18	19	20	21	22	23		24
112 風化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	-	○	○	○	-	-	○	59 風化
113 変質	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-	○	60 変質
114 力学・変形特性(掘削 影響範囲・力学的安定 性を含む)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)
115 熱特性	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	○	-	○	○	-	○	-	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)
116 蒸発散量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	○	-	-	○	○	-	-	○	61 蒸発散量
117 涵養量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	-	62 涵養量
118 季節的な水の量	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	- 季節的な水の量
119 風速・風向	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	○	-	-	○	-	-	○	-	-	-	- 風速・風向
120 極端な気象パターン	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	- 台風、異常低温、豪雪に包含
121 永久凍土	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	63 永久凍土
122 水収支	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	- 涵養量、河川流量等で考慮
123 河川流量	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-	64 河川流量
124 流出地点の状態(河 川・沼)	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	○	65 流出地点の状態(河川・沼)
125 透水係数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	66 透水係数
126 地下水位 (地下水流動)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	67 地下水位(地下水流動)
127 地下水の流動特性	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	- 地下水の流動特性
128 深部流体	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	○	-	-	-	-	68 深部流体
129 天水の水質、化学組 成	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	69 天水の水質
130 表流水・地下水の水 質、化学組成	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	70 表流水・地下水の水質
131 岩盤の鉱物・化学組成	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	-	○	○	-	-	-	○	○	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)
132 地下水の水質、化学 組成	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	○	-	-	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)
133 生物学・生化学的現 象・微生物	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	-	○	-	- 80 生物学的現象に包含
134 コロイド	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	○	-	-	○	○	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)
135 有機物	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-	-	○	○	- 地盤の特性(外部影響事象として 抽出しない)

*1：許可基準規則解釈に例示されている事象を含む場合は○で示す。

*2：「火山影響評価ガイド」に記載される火山事象を含む場合は○で示す。

第5表 文献調査の結果抽出された人為事象

全事象	既往の国内外文献による外部事象 番号は国内外の文献一覧における文献No.を示す										地質環境の長期変動事象 (地表自然環境)	許可基準規則及び許可 基準規則解釈 ^{*1} 、火山影 響評価ガイド ^{*2}	埋設施設へ影響を与える可能性のある事象 の抽出
	1	2,3,4	5	6	7	8	9	10	11	外部事象			
1 船舶事故による油流出	○		○	○							○	-	1 船舶事故による油流出
2 船舶による化学物質放出	○		○	○				○			○	-	2 船舶事故(爆発、化学物質放出)
3 船舶の爆発	○		○	○							○	-	3 船舶の衝突
4 船舶の衝突	○		○	○							○	-	4 飛来物(航空機落下等)
5 航空機落下	○	○	○	○				○		○	○	-	5 鉄道事故(爆発、化学物質放出)
6 鉄道事故による爆発	○		○	○	○	○					○	-	6 鉄道の衝突
7 鉄道事故による化学物質放出	○	○	○	○				○			○	-	7 交通事故(爆発、化学物質放出)
8 鉄道の衝突	○		-	○							○	-	8 交通事故による化学物質放出
9 交通事故による爆発	○		○	○							○	-	9 自動車の衝突
10 交通事故による化学物質放出	○	○	○	○				○			○	-	10 爆発
11 自動車の衝突	○		-	○							○	-	11 工場事故による爆発
12 爆発	-	-	○	○	-	-	-	-	-	○	○	-	12 工場事故による化学物質放出
13 工場事故による爆発	○	○	-	○							○	-	13 工場事故による化学物質放出
14 工場事故による化学物質放出	○	○	○	○	○	○	○				○	-	14 鉱山事故による爆発
15 鉱山事故による爆発	○	○	-	○	-	-	-	-	-		○	-	15 鉱山事故による化学物質放出
16 鉱山事故による化学物質放出	○	○	-	○	-	-	-	-	-		○	-	16 土木・建築現場の事故による爆発
17 土木・建築現場の事故による爆発	○	○	-	○	-	-	-	-	-		○	-	17 土木・建築現場の事故による化学物質放出
18 土木・建築現場の事故による化学物質放出	○	-	-	○	-	-	-	-	-		○	-	18 軍事基地の事故による爆発
19 軍事基地の事故による爆発	○	-	-	○	○	○	○				○	-	19 軍事基地からの飛来物
20 軍事基地からの飛来物	-	-	-	○							○	-	20 軍事行動による破壊・損傷
21 軍事行動による破壊・損傷	-	-	-	-	-	-	-	○				-	21 パイプライン事故・爆発
22 パイプライン事故・爆発	-	-	-	○	○						○	-	22 パイプライン事故後の化学物質
23 パイプライン事故後の化学物質	-	-	-	○	○						○	-	23 サイト貯蔵庫からの化学物質放出
24 サイト貯蔵庫からの化学物質放出	-	-	○	○	○	-	○	-	-		○	-	24 敷地内における化学物質の漏えい
25 敷地内における化学物質の漏えい	-	-	○	○	○	-	○	-	-		○	-	25 人工衛星の落下
26 人工衛星の落下	○	-	-	○	-	○	○	-	-		○	-	26 ダムの崩壊
27 ダムの崩壊	○	○	○	○	○	○	○	-	○		○	○	27 防壁・堤防の崩壊
28 防壁・堤防の崩壊	-	-	-	○	○	-	-	-	-		○	-	28 電磁的障害
29 電磁的障害	○	○	○	○	-	-	-	-	-		○	-	29 掘削工事(敷地内外)
30 掘削工事(敷地内外)	-	-	-	○	-	-	-	-	-		○	-	30 重量物落下、重量輸送物による衝撃
31 重量物落下、重量輸送物による衝撃	-	-	-	○	-	-	-	-	-		○	-	31 タービンミサイル
32 タービンミサイル	-	-	○	○	○	-	-	-	-		○	-	32 有毒ガス
33 有毒ガス	-	○	○	○	○	-	-	-	-		○	-	33 近隣工場の火災
34 近隣工場の火災	-	-	-	-	-	-	-	-	-		○	-	34 森林火災
35 森林火災	○	○	-	○	-	-	-	-	-		○	-	35 市街地の火災
36 市街地の火災	○	○	-	-	-	-	-	-	-		○	-	36 火災
37 火災	○	○	○	○	○	-	-	-	-		○	-	37 河川の流路変更
38 河川の流路変更	○	-	○	-	-	-	-	○	-		○	-	38 鉱坑、井戸、油井
39 鉱坑、井戸、油井	○	-	-	-	-	-	-	-	-		○	-	

*1：許可基準規則及び許可基準規則解釈に例示されている事象を含む場合は○で示す。

*2：「火山影響評価ガイド」に記載される火山事象を含む場合は○で示す。

火山の影響について

目 次

1. 火山の影響に係る設計の基本方針	0
2. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の抽出	1
3. 廃棄物埋設地の安全機能に影響を与える可能性のある火山事象の影響評価	8
(1) 設計対応不可能な火山事象の敷地への到達の可能性	8
(2) 設計対応が可能な火山事象の評価	18
4. 設計上考慮する降下火砕物に対する防護設計	30
(1) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで	30
(2) 覆土完了から廃止措置の開始まで	30
(3) 降灰に対する対応	31
5. 参考文献	32

根拠資料 十和田および八甲田山における地球物理学的調査について

1. 火山の影響に係る設計の基本方針

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」(平成25年6月19日 原規技発第13061910号 原子力規制委員会決定)(以下「火山影響評価ガイド」という。)を参考に、埋設設備及び覆土の安全機能に影響を与える可能性のある火山事象について評価を行う。

埋設設備には常時機能維持が必要な動的機器はなく、想定される火山事象に対して、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までは放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を、覆土完了から廃止措置の開始までは移行抑制機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。

2. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の抽出

火山が廃棄物埋設地に与える影響を評価するため、文献調査^{(1)~(38)}、敷地及び敷地周辺における地質調査を実施し、地理的領域内(半径160km)に分布する48の第四紀火山を抽出した。抽出結果を第1表及び第1図に示す。

なお、申請時点(2018年8月1日)では中野ほか編(2013)⁽¹⁾に基づき43の第四紀火山を抽出していたが、中野ほか編(2013)のWEB版において2019年3月19日の更新で三ツ森(碓ヶ関カルデラから分離)、阿闍羅山(碓ヶ関カルデラから分離)、先十和田(十和田から分離)、柴倉岳(新規)、網張火山群(岩手山から分離)の計5火山が新たに追加された。

3号廃棄物埋設地が位置する下北半島は、北側は津軽海峡に、東側は太平洋に、西側は陸奥湾にそれぞれ面し、敷地は、下北半島南部の太平洋側に位置する。

地理的領域内の第四紀火山の形式、活動年代及び最後の活動からの経過期間を第2表に示す。これらの火山について、活動年代及び最後の活動からの経過期間から、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山を評価した。

その結果、完新世に活動を行った北海道駒ヶ岳、恵山、恐山、岩木山、北八甲田火山群(気象庁編(2013)⁽⁴⁾による「八甲田山」に相当する。)、十和田、秋田焼山、八幡平火山群(気象庁編(2013)⁽⁴⁾による「八幡平」に相当する。)、岩手山及び秋田駒ヶ岳の10火山を廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山として抽出した。

また、完新世に活動を行っていない火山(38火山)について、「日本の火山(第3版)」(中野ほか編、2013)⁽¹⁾等の記載年代から、最後の活動からの経過期間が全活動期間よりも短い場合若しくは最後の活動からの経過期間が活動期間内の最大休止期間よ

りも短いとみなせる場合は、将来の活動性が否定できない火山と評価した。

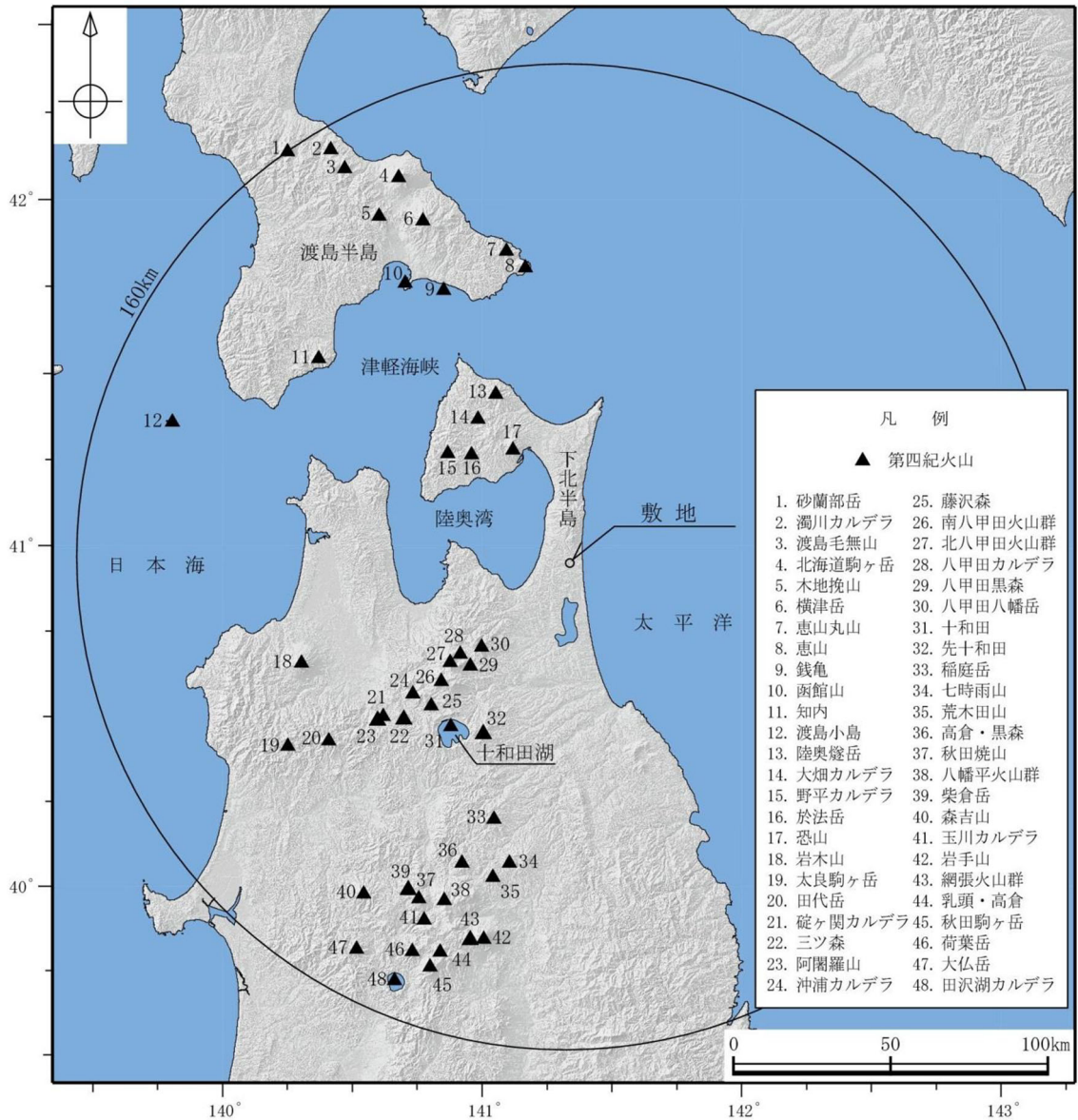
その結果、横津岳、陸奥燧岳、田代岳、藤沢森、南八甲田火山群、八甲田カルデラ、先十和田、玉川カルデラ、網張火山群、乳頭・高倉及び荷葉岳の 11 火山を抽出した。

以上のことから、3 号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山として、北海道駒ヶ岳、横津岳、恵山、陸奥燧岳、恐山、岩木山、田代岳、藤沢森、南八甲田火山群、北八甲田火山群、八甲田カルデラ、十和田、先十和田、秋田焼山、八幡平火山群、玉川カルデラ、岩手山、網張火山群、乳頭・高倉、秋田駒ヶ岳及び荷葉岳の 21 の火山を抽出した。(第 2 図)

第1表 敷地周辺の第四紀火山一覧(敷地を中心とする半径160km範囲)

	火山名	位置		敷地からの 離隔(km)
		北緯	東経	
1	砂蘭部岳(さらんべだけ)	42° 08' 21"	140° 14' 05"	159
2	濁川カルデラ(にごりかわ)	42° 07' 11"	140° 26' 47"	148
3	渡島毛無山(おしまけなしやま)	42° 05' 15"	140° 28' 14"	144
4	北海道駒ヶ岳(ほっかいどうこまがた)	42° 03' 48"	140° 40' 38"	133
5	木地挽山(きじびきやま)	41° 57' 07"	140° 36' 09"	125
6	横津岳(よこつだけ)	41° 56' 16"	140° 46' 17"	118
7	恵山丸山(えさんまるやま)	41° 51' 07"	141° 05' 35"	100
8	恵山(えさん)	41° 48' 16"	141° 09' 58"	94
9	銭亀(ぜにかめ)	41° 44' 21"	140° 51' 05"	95
10	函館山(はこだてやま)	41° 45' 33"	140° 42' 14"	103
11	知内(しりうち)	41° 32' 33"	140° 22' 17"	103
12	渡島小島(おしまこじま)	41° 21' 27"	139° 48' 27"	136
13	陸奥燧岳(むつひうちだけ)	41° 26' 20"	141° 03' 10"	57
14	大畑カルデラ(おおはた)	41° 22' 00"	140° 59' 00"	53
15	野平カルデラ(のだい)	41° 16' 00"	140° 52' 00"	52
16	於法岳(おほうだけ)	41° 15' 47"	140° 57' 29"	46
17	恐山(おそれざん)	41° 16' 42"	141° 07' 11"	39
18	岩木山(いわきさん)	40° 39' 21"	140° 18' 11"	95
19	太良駒ヶ岳(だいらこまがたけ)	40° 24' 46"	140° 15' 04"	112
20	田代岳(たしろだけ)	40° 25' 42"	140° 24' 31"	100
21	碓ヶ関カルデラ(いかりがせき)	40° 30' 35"	140° 36' 35"	81
22	三ツ森(みつもり)	40° 29' 54"	140° 41' 49"	76
23	阿闍羅山(あじゃらやま)	40° 29' 37"	140° 35' 36"	83
24	沖浦カルデラ(おきうら)	40° 34'	140° 44'	69
25	藤沢森(ふじさわもり)	40° 31' 53"	140° 48' 14"	67
26	南八甲田火山群(みなみはっこうだ)	40° 36' 12"	140° 50' 33"	59
27	北八甲田火山群(きたはっこうだ)	40° 39' 32"	140° 52' 38"	53
28	八甲田カルデラ(はっこうだ)	40° 41' 00"	140° 55' 00"	49
29	八甲田黒森(はっこうだくろもり)	40° 38' 51"	140° 57' 18"	49
30	八甲田八幡岳(はっこうだはちまんだ)	40° 42' 11"	140° 59' 54"	42
31	十和田(とわだ)	40° 28' 12"	140° 52' 45"	68
32	先十和田(せんとわだ)	40° 27' 10"	141° 00' 05"	65
33	稲庭岳(いなにわだけ)	40° 11' 54"	141° 02' 47"	90
34	七時雨山(ななしぐれやま)	40° 04' 09"	141° 06' 20"	102
35	荒木田山(あらかだやま)	40° 01' 35"	141° 02' 27"	108
36	高倉・黒森(たかくら・くろもり)	40° 04' 06"	140° 55' 23"	107
37	秋田焼山(あきたやけやま)	39° 57' 49"	140° 45' 25"	123
38	八幡平火山群(はちまんたい)	39° 57' 28"	140° 51' 14"	120
39	柴倉岳(しばくらだけ)	39° 59' 44"	140° 42' 49"	121
40	森吉山(もりよしざん)	39° 58' 36"	140° 32' 38"	130
41	玉川カルデラ(たまがわ)	39° 54' 00"	140° 46' 38"	129
42	岩手山(いわてさん)	39° 51' 09"	141° 00' 04"	128
43	網張火山群(あみはり)	39° 51' 03"	140° 57' 06"	129
44	乳頭・高倉(にゅうとう・たかくら)	39° 48' 17"	140° 50' 18"	137
45	秋田駒ヶ岳(あきたこまがたけ)	39° 45' 40"	140° 47' 57"	142
46	荷葉岳(かようだけ)	39° 48' 23"	140° 43' 50"	140
47	大仏岳(だいぶつだけ)	39° 48' 49"	140° 30' 56"	147
48	田沢湖カルデラ(たざわこ)	39° 43' 14"	140° 39' 43"	151

(中野ほか(2013)⁽¹⁾による。)



この地図の作成に当たっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の基盤地図情報を使用した。(承認番号 平成 30 情使、第 153 号)

(中野ほか編(2013)^①に基づき作成。)

第 1 図 敷地周辺の第四紀火山分布図(敷地を中心とする半径 160km 範囲)

第2表 地理的領域内の第四紀火山における活動可能性(1/2)

火山名 ^{*1}	形式 ^{*1}	活動年代 ^{*1} (千年前)		最後の活動 からの 経過期間 (千年間)	廃棄物埋設施設に 影響を及ぼし得る火山 (21火山)	
					完新世に活動を 行った火山 (10火山)	将来の活動可能 性が否定できない 火山 (11火山) ^{*3}
1 砂蘭部岳 (さらんべだけ)	複成火山	1,800		1,800		
2 濁川カルデラ (にごりかわ)	カルデラ-火砕流	15		15		
3 渡島毛無山 (おしまけなしやま)	溶岩流	前期更新 世 前半	or 前期更新 世	前期更新 世 後半以降		
4 北海道駒ヶ岳 (ほっかいどうこまがた け)	複成火山	30 以前 110 ^{*4}	~ A. D. 2,000	-	○	
5 木地挽山 (きじびきやま)	複成火山	1,900	or 1,900 以 降	約 1,900		
6 横津岳 (よこつだけ)	複成火山	1,100 ^{*5}	or 1,100 以 降 140 ^{*6}	140		○
7 恵山丸山 (えさんまるやま)	複成火山	200		200		
8 恵山 (えさん)	複成火山 溶岩ドーム	50	~ A. D. 1,874	-	○	
9 銭亀 (ぜにかめ)	カルデラ-火砕流	45		45		
10 函館山 (はこだてやま)	複成火山	1,200	~ 900	900		
11 知内 (しりうち)	複成火山 溶岩ドーム	2,500	~ 1,400	1,400		
12 渡島小島 (おしまこじま)	複成火山	160	~ 110	110		
13 陸奥燧岳 (むつひうちだけ)	複成火山	1,200	~ 500	500		○
14 大畑カルデラ (おおはた)	カルデラ	3,000	~ 1,800	1,800		
15 野平カルデラ (のだい)	カルデラ	1,900		1,900		
16 於法岳 (おほうだけ)	複成火山	2,000		2,000		
17 恐山 (おそれざん)	火砕丘-カルデラ 溶岩ドーム	1,300	~ 20	20	○ ^{*2}	
18 岩木山 (いわきさん)	複成火山 溶岩ドーム	650	~ A. D. 1,863	-	○	
19 太良駒ヶ岳 (だいらこまがたけ)	複成火山	200		200		
20 田代岳 (たしろだけ)	複成火山 溶岩ドーム	600	~ 600 以降 35~15.5 ^{*7}	35~15.5 ^{*7}		○
21 碓ヶ関カルデラ (いかりがせき)	カルデラ-火砕流台 地	2,600	~ 2,300	2,300		
22 三ツ森 (みつもり)	複成火山	1,900	~ 1,300	1,300		
23 阿闍羅山 (あじゃらやま)	複成(複合)火山	1,000		1,000		
24 沖浦カルデラ (おきうら)	カルデラ-火砕流台 地、溶岩ドーム	1,700 ^{*8} 900 ^{*8}	~ 1,100 ^{*8} 700 ^{*8}	700 ^{*8}		
25 藤沢森 (ふじさわもり)	溶岩流	3,500	~ 1,700	1,700		○
26 南八甲田火山群 (みなみはっこうだ)	複成火山	1,100	~ 300	300		○

第2表 地理的領域内の第四紀火山における活動可能性(2/2)

火山名 ^{*1}	形式 ^{*1}	活動年代 ^{*1} (千年前)		最後の活動からの経過期間 (千年間)	安全機能を有する施設に影響を及ぼし得る火山 (21 火山)	
					完新世に活動を行った火山 (10 火山)	将来の活動可能性が否定できない火山 (11 火山) ^{*3}
27 北八甲田火山群 (きたはっこうだ)	複成火山 溶岩ドーム	400	～ 0.6～0.4	0.6～0.4	○	
28 八甲田カルデラ (はっこうだ)	カルデラ-火砕流台地	900	～ 400	400		○ ^{*9}
29 八甲田黒森 (はっこうだくろもり)	複成火山	1,750	～ 1,600	1,600		
30 八甲田八幡岳 (はっこうだはちまんだけ)	複成火山	1,800	～ 1,600	1,600		
31 十和田 (とわだ)	カルデラ-火砕流台地 溶岩ドーム	200	～ A. D. 915	1	○	
32 先十和田 (せんとうわだ)	複成(複合)火山	620 2,530 ^{*10}	～ 450	450		○
33 稲庭岳 (いなにわだけ)	複成火山	3,000	～ 2,600	2,600		
34 七時雨山 (ななしぐれやま)	複成火山、溶岩ドーム カルデラ-火砕流台地	1,100	～ 900	900		
35 荒木田山 (あらかだやま)	複成火山	2,100	～ 1,900	1,900		
36 高倉・黒森 (たかくら・くろもり)	複成火山	3,200	～ 2,500	2,500		
37 秋田焼山 (あきたやけやま)	複成火山 溶岩ドーム	500	～ A. D. 1,997	-	○	
38 八幡平火山群 (はちまんだい)	複成火山	1,200	～ 7.3	7.3	○	
39 柴倉岳 (しばくらだけ)	複成(複合)火山	2,600 1,200	～ 2,000 ^{*11}	1,200		
40 森吉山 (もりよしざん)	複成火山 溶岩ドーム	1,100	～ 700	700		
41 玉川カルデラ (たまがわ)	カルデラ-火砕流	2,000	and 1,000	1,000		○
42 岩手山 (いわてさん)	複成火山	700	～ A. D. 1,919	-	○	
43 網張火山群 (あみはり)	複成(複合)火山	1,620	～ 300	300		○
44 乳頭・高倉 (にゅうとう・たかくら)	複成火山 溶岩ドーム	600	～ 100	100		○
45 秋田駒ヶ岳 (あきたこまがたけ)	複成火山、溶岩流 及び小型楕状火山	100	～ A. D. 1,971	-	○	
46 荷葉岳 (かようだけ)	複成火山、溶岩流 及び小型楕状火山、 溶岩ドーム	2,200	～ 900	900		○
47 大仏岳 (だいぶつだけ)	複成火山	3,000	～ 2,100	2,100		
48 田沢湖カルデラ (たざわこ)	カルデラ 複成火山、溶岩ドーム	1,800	～ 1,400	1,400		

*1: 中野ほか編(2013)⁽¹⁾、西来ほか編(2012)⁽²⁾及び西来ほか編(2014)⁽³⁾に基づき作成

*2: 気象庁編(2013)⁽⁴⁾による活火山に該当するため抽出

*3: 最後の活動からの経過期間が活動期間内の最大休止期間よりも短いとみなせる火山

*4: 雁澤ほか(2005)⁽⁵⁾によれば、北海道駒ヶ岳起源の降下火砕物(E-x)が洞爺火山灰の下位に認められ、その年代を110kaと推定している

*5: 高田、中川(2016)⁽⁶⁾によれば、横津岳のグループ1の活動は1.71Maから開始したとされるが、中野ほか編(2013)⁽¹⁾の年代を記載

*6: 新エネルギー・総合技術開発機構(1988)⁽⁷⁾によれば、横津岳に含まれる熊泊山火山噴出物の年代として0.14±0.04Ma(FT年代)が得られている

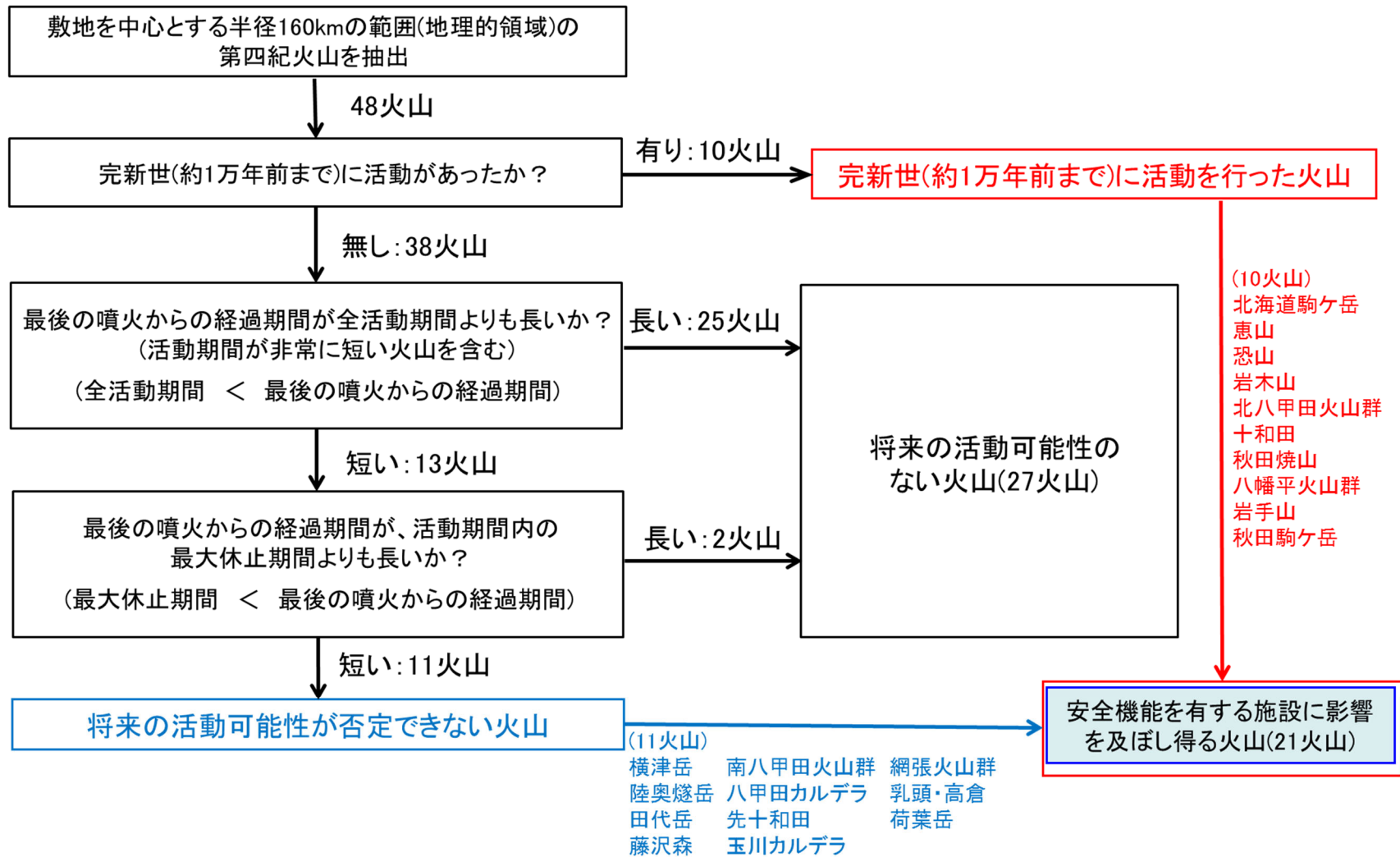
*7: 宝田(1991)⁽⁸⁾によれば、層序的に十和田大不動火砕流(約3.5万年前)と十和田八戸火砕流(約1.55万年前)の噴出時期の間にあるとされる

*8: 宝田、村岡(2004)⁽⁹⁾による

*9: 中野ほか編(2013)⁽¹⁾によれば、カルデラ形成時期は0.90Ma、0.76Ma及び0.40Maの各年代値が記載されているが、その活動時期を0.90Ma～0.40Maと保守的に評価した

*10: 工藤(2018)⁽¹⁰⁾によれば、十和田湖周辺の高山溶岩・火山砕屑岩で、2.53±0.07Ma(K-Ar年代)が得られている

*11: 須藤(1992)⁽¹¹⁾によれば、柴倉岳火山噴出物と榑森火山噴出物は識別されており、前者で2.6±0.5Maと2.0±0.2Ma、後者で1.2±0.1Ma(K-Ar年代)が得られている。



第2図 火山の抽出フロー

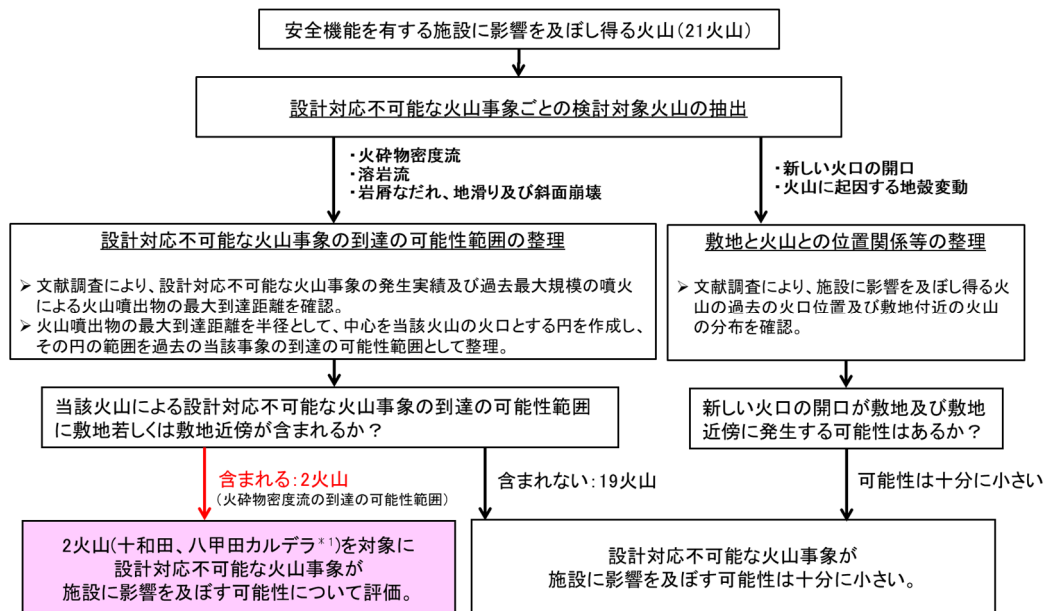
3. 廃棄物埋設地の安全機能に影響を与える可能性のある火山事象の影響評価

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)について、覆土までの操業期間中における活動可能性と規模を考慮し、3号廃棄物埋設地の安全機能に影響を与える可能性について検討した。

なお、降下火砕物については、地理的領域外の火山を含めてその影響を評価した。

(1) 設計対応不可能な火山事象の敷地への到達の可能性

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る21火山に対して、設計対応が不可能な火山事象について敷地への到達の可能性を検討した。設計対応不可能な火山事象の評価フローを第3図に示す。



*1: 南八甲田火山群及び北八甲田火山群もあわせて評価を実施。

第3図 設計対応不可能な火山事象の評価フロー

(i) 火砕物密度流(火砕サージ及びブラストを含む)

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)について、敷地への到達の可能性を検討した結果、十和田及び八甲田カルデラ以外の火山は、発生実績や敷地からの離隔距離等より、火砕物密度流が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

十和田及び八甲田カルデラについては文献調査から、敷地近傍では火砕流堆積物の分布は認められないものの、過去最大規模の噴火における火砕物密度流

の到達の可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれることから、「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方」（平成30年3月7日、原子力規制庁）を参考に、十和田及び八甲田山*1について「巨大噴火の可能性評価」を行った上で、「巨大噴火以降の火山活動の評価」を実施し、影響の可能性を評価する。

*1：八甲田カルデラについては、隣接する南八甲田火山群及び北八甲田火山群を含めて「八甲田山」とする。

a. 十和田

(a) 巨大噴火の可能性評価

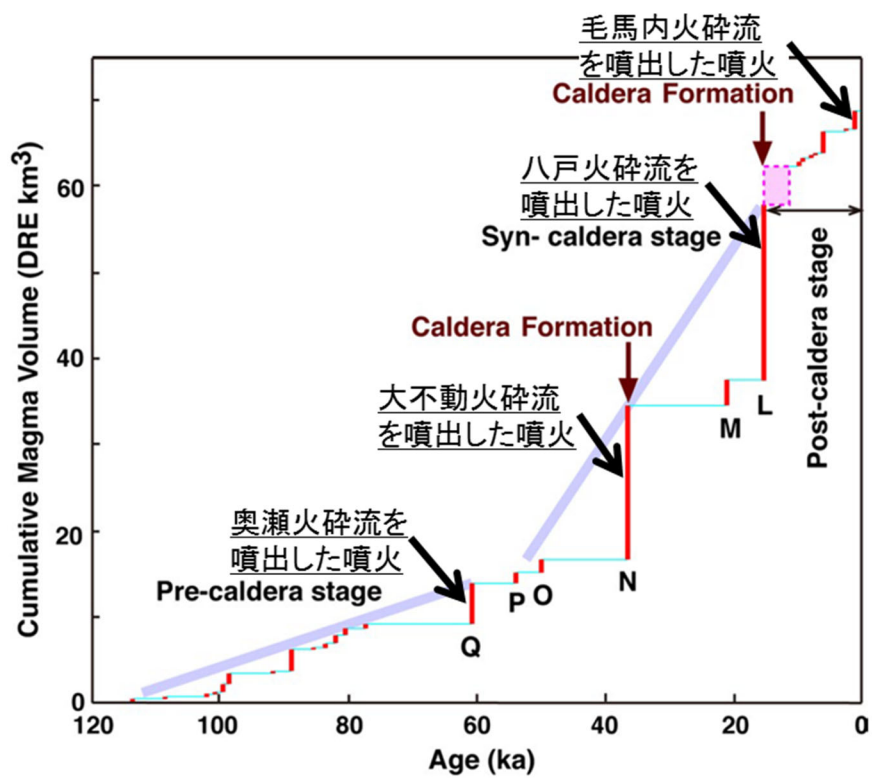
十和田の活動履歴(階段ダイアグラム)を第4図に示す。活動履歴から、巨大噴火が発生したカルデラ形成期と現在の活動期である後カルデラ期は、噴火の頻度、噴出量及び噴出率が異なること等から、現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる(工藤ほか、2011)⁽¹³⁾。

地質調査及び火山学的調査結果から、敷地は、巨大噴火に伴う2回の大規模火砕流であるカルデラ形成期の十和田八戸火砕流及び十和田大不動火砕流の到達末端に位置する。十和田八戸火砕流及び十和田大不動火砕流の分布は第5図及び第6図に示す。

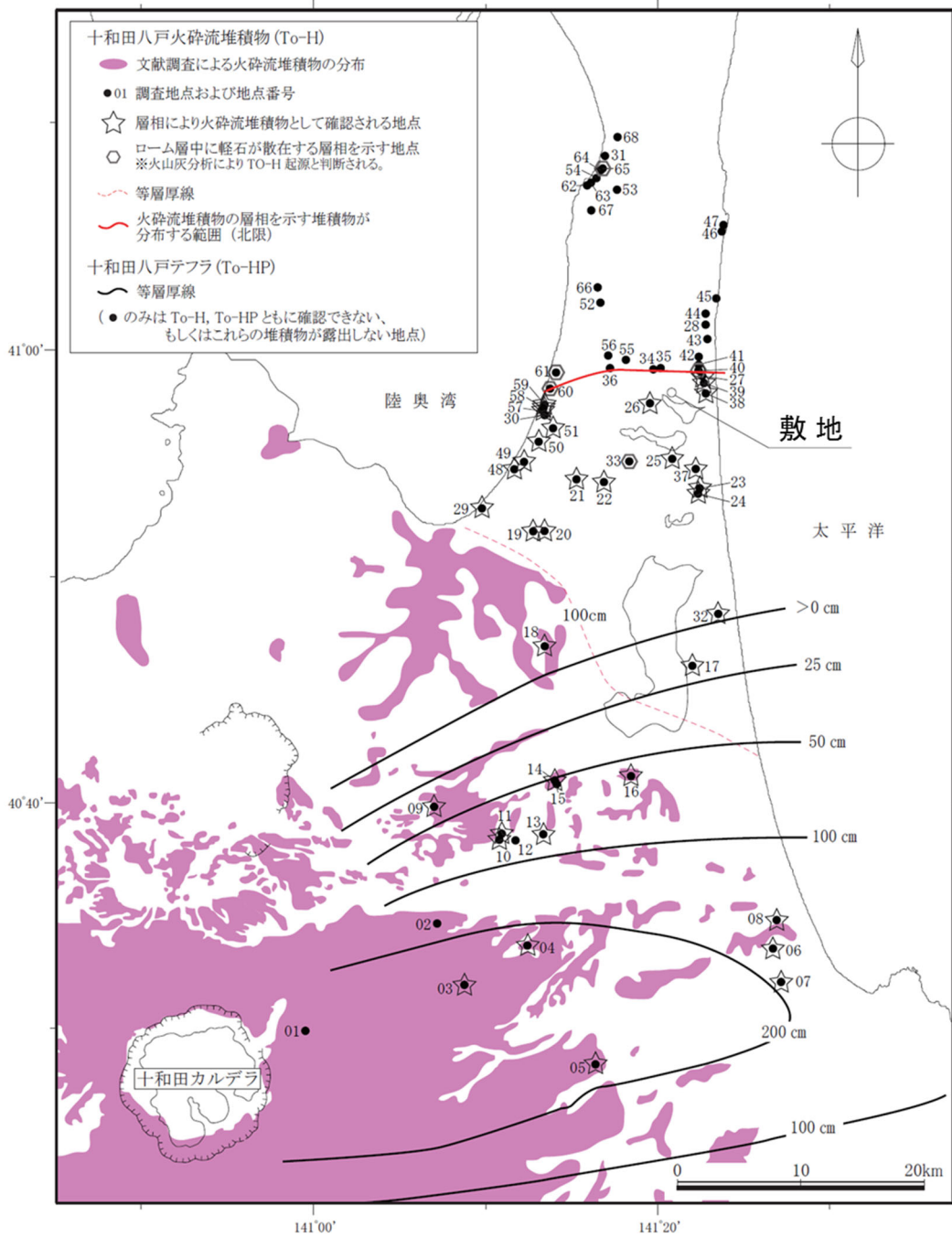
また、地震波速度構造⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾、比抵抗構造⁽²²⁾、地震及び地殻変動⁽²³⁾から、現状、十和田直下の上部地殻(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない(根拠資料参照)。

十和田における近い将来の巨大噴火の発生可能性に言及した文献について調査した結果、高橋(2008)⁽³⁹⁾及び工藤ほか(2011)⁽¹³⁾には、現状、巨大噴火の可能性が低いとする主旨の知見は認められるが、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められない。また、十和田火山防災協議会(2018)⁽¹⁵⁾による十和田火山災害想定影響範囲図においても、巨大噴火を想定していない。

以上のことから、十和田の現在の活動状況は、巨大噴火が差し迫った状態ではなく、巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠が得られていないことから、巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価した。

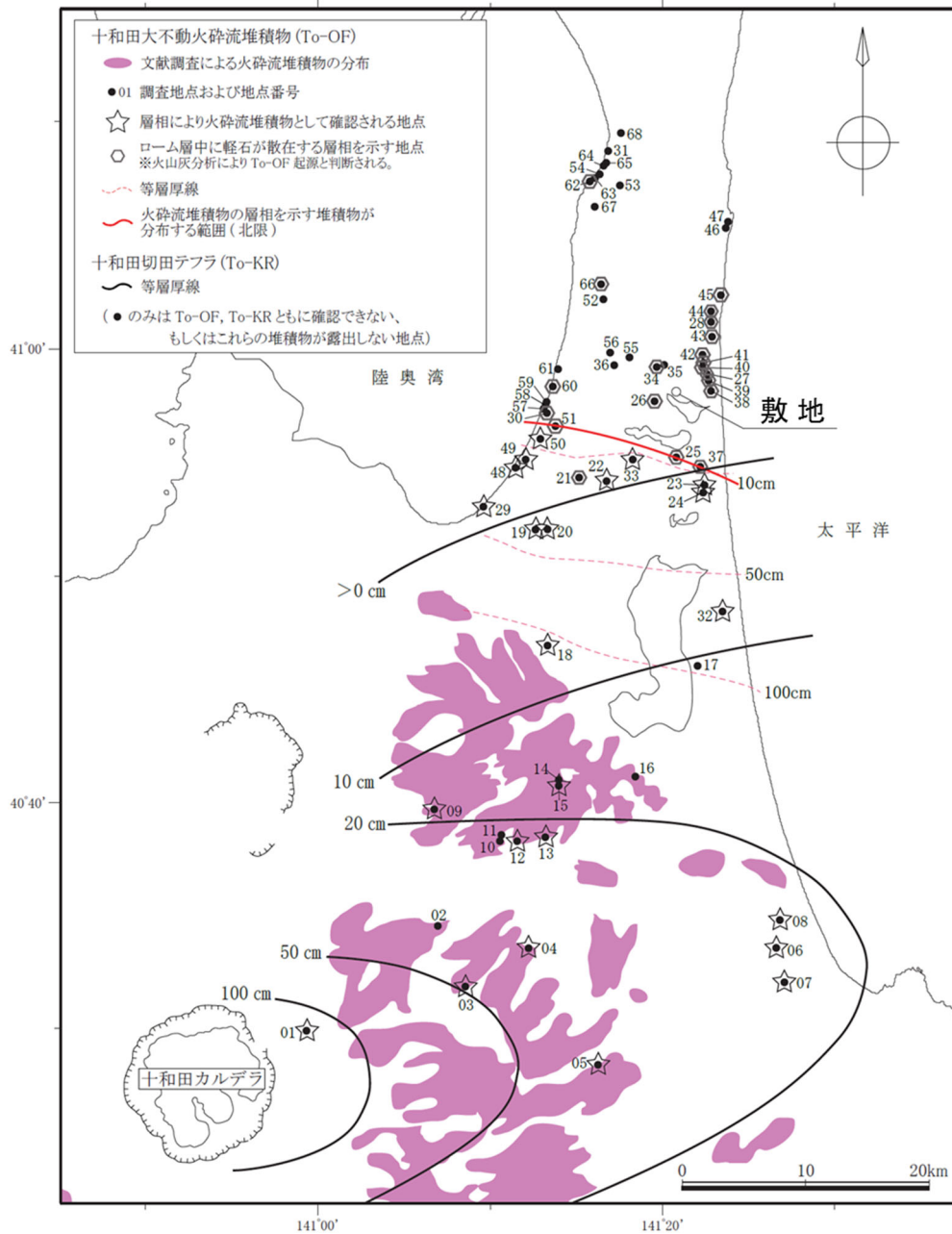


第 4 図 十和田の階段ダイアグラム (Yamamoto et al. (2018)⁽¹²⁾ に一部加筆)



火砕流堆積物の分布は、村岡ほか(1991)⁽¹⁴⁾、大沢ほか(1993)⁽¹⁵⁾、大沢、須田(1978)⁽¹⁶⁾、土井(1993)⁽¹⁷⁾、町田、新井(2011)⁽¹⁸⁾に基づき当社が作成。

第 5 図 十和田八戸火砕流の分布



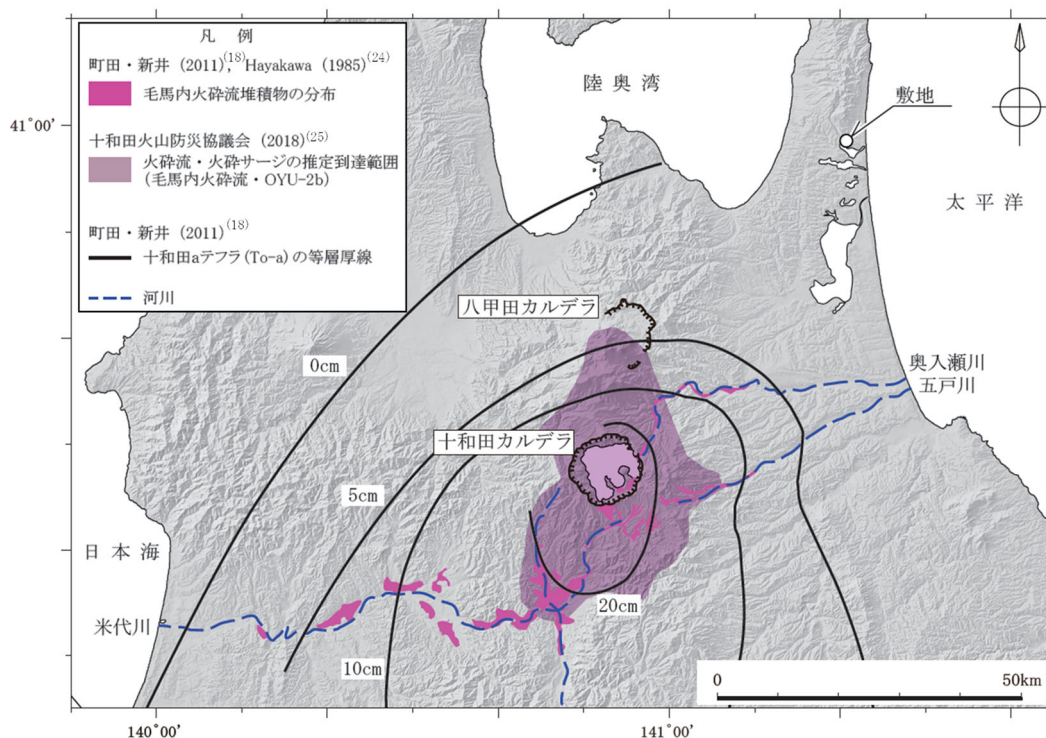
土井(1993)⁽¹⁷⁾、町田、新井(2011)⁽¹⁸⁾に基づき当社が作成。

第 6 図 十和田大不動火砕流の分布

(b) 巨大噴火以降の火山活動の評価

最後の巨大噴火以降の最大規模の火砕流である毛馬内火砕流を対象として、到達の可能性の評価を行う。

文献に示される毛馬内火砕流堆積物の分布を第7図に示す。文献調査の結果、毛馬内火砕流は敷地には到達していない。



第7図 毛馬内火砕流堆積物の分布

(c) 十和田の評価まとめ

以上より、十和田の現在の活動状況は、巨大噴火の可能性は十分に小さく、最後の巨大噴火以降の活動期である後カルデラ期の最大規模の火砕物密度流(毛馬内火砕流)が敷地に到達していないことから、3号廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

b. 八甲田山

(a) 巨大噴火の可能性評価

八甲田山の階段ダイアグラムを第8図に示す。階段ダイアグラムについては、工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾によると、八甲田カルデラの形成後の約40万年前以降に活動を開始した後カルデラ火山群である北八甲田火山群について、その

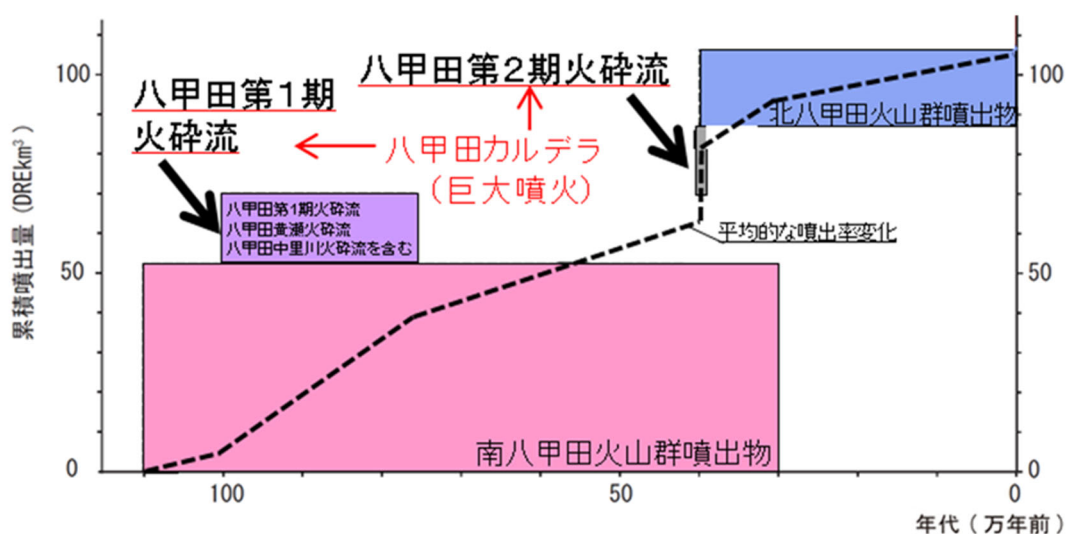
活動のピークは40万年前～10万年前までの間にあったと考えられ、10万年前以降の火山活動は比較的低調になっており、長期的にみると終息へと向かっているとしている。

八甲田山の各火山とその噴出物の分布を第9図に、八甲田第2期火砕流の広域的な分布は第10図に示す。地質調査及び火山学的調査結果から、2回の巨大噴火のうち過去最大規模の噴火である八甲田第2期火砕流は敷地には到達していない。

また、地震波速度構造⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾、比抵抗構造⁽³¹⁾、地震及び地殻変動⁽³²⁾から、現状、八甲田山直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない(根拠資料参照)。

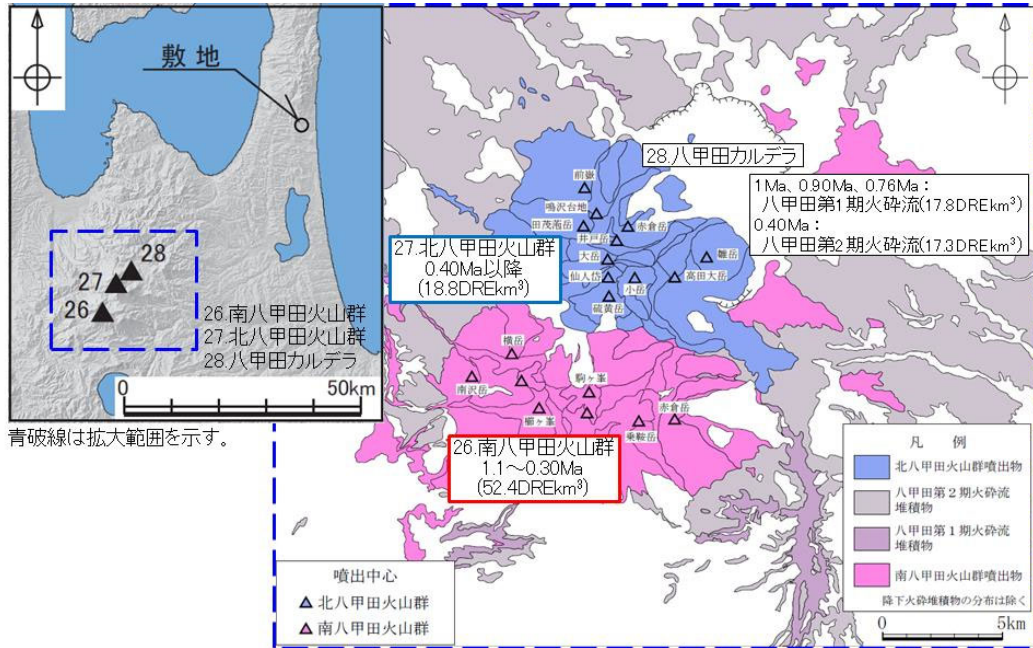
文献調査の結果、八甲田山について、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められず、八甲田山火山防災協議会(2014)⁽⁴⁰⁾による火山災害予想区域図においても、巨大噴火を想定していない。

以上のことから、八甲田山の現在の活動状況は、巨大噴火が差し迫った状態ではなく、巨大噴火の可能性を示す科学的に合理性のある具体的な根拠が得られていないことから、巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価した。



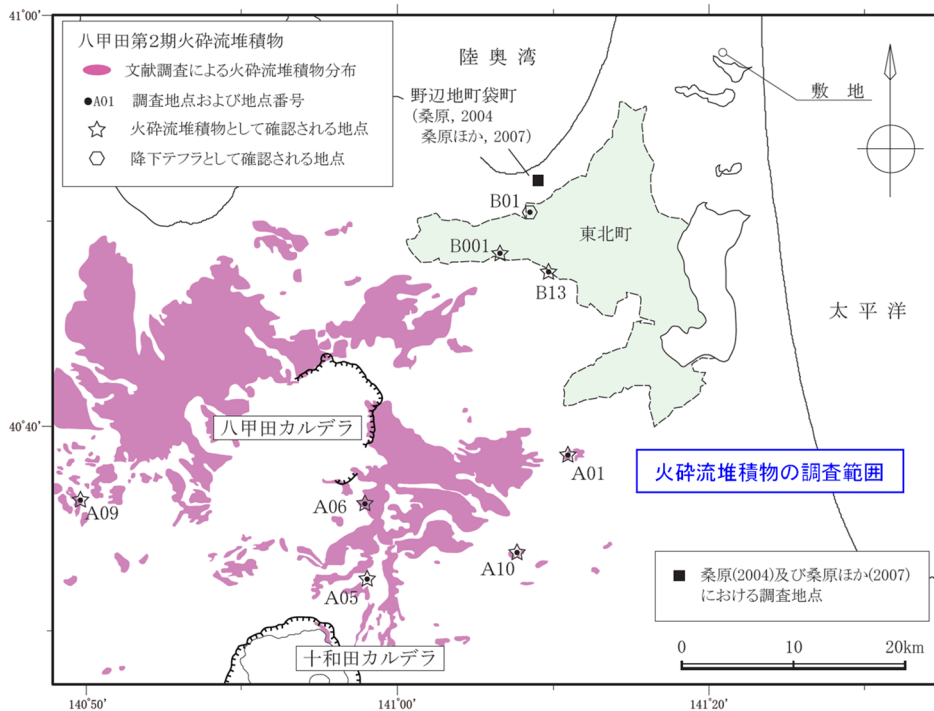
年代は中野ほか編(2013)⁽¹⁾、噴出量はUmeda et al.(2013)⁽²⁶⁾及び工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾に基づく。

第8図 八甲田山の階段ダイアグラム



村岡、高倉(1988)⁽²⁸⁾、宝田、村岡(2004)⁽⁹⁾より当社が作成、年代は中野ほか編(2013)⁽¹⁾及び工藤ほか(2011)⁽¹³⁾、噴出量は Umeda et al. (2013)⁽²⁶⁾及び工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾に基づく。

第9図 八甲田山の各火山とその噴出物の分布

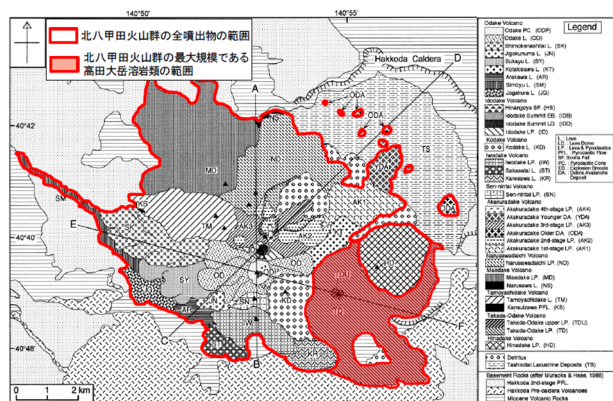


村岡、高倉(1988)⁽²⁸⁾、村岡ほか(1991)⁽¹⁴⁾、大沢ほか(1993)⁽¹⁵⁾、桑原(2004)⁽²⁹⁾、桑原ほか(2007)⁽³⁰⁾に基づき当社が作成。

第10図 八甲田第2期火砕流堆積物の分布

(b) 巨大噴火以降の火山活動の評価

活動履歴調査、地質調査及び火山学的調査から、最後の巨大噴火以降の火山活動では、北八甲田火山群及び南八甲田火山群(40 万年前以降)における最大規模の噴出物として高田大岳溶岩類があるが、噴出物の分布は噴出中心付近に限られ(第 11 図参照)、八甲田カルデラを越えた位置の分布は認められないため、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。



北八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布(赤線内)

Volcano	Geological Unit* Abbreviation	Volume** (DRE, km ³)
Odake	ODP Odake PC.	0.01
	OD Odake L.	0.18
	SK Shimokenashitai L.	0.27
	JN Jigokunuma L.	0.02
	SY Sukayu L.	0.22
	KT Kotakisawa L.	0.09
	SM Shimoyu L.	0.17
	AR Arakawa L.	0.11
	JG Jougakura L.	0.19
	Total	1.3
Idodake	HS Hinangoya SF.	0.001
	IDE Idodake Summit EB.	0.001
	IDD Idodake Summit LD.	0.004
	ID Idodake LP.	0.25
Total	0.25	
Kodake	KD Kodake L.	0.45
	Total	0.45
Iwodake	IW Iwodake LP.	0.23
	ST Sakasatai L.	0.11
	KZ Kozawa L.	0.09
Total	0.43	
Sen-nintai	SN Sen-nintai LP.	0.51
Akakuradake	AK4 Akakuradake 4th-stage LP.	0.002
	AK3 Akakuradake 3rd-stage LP.	0.11 (0.02)
	AK2 Akakuradake 2nd-stage LP.	0.79 (0.23)
	AK1 Akakuradake 1st-stage LP.	0.39 (0.08)
	Total	1.6
Narusawadaichi	ND Narusawadaichi LP.	1.3 (0.09)
Total	1.4	
Maedake	MD Maedake LP.	0.88
	NS Narusawa L.	0.03
Total	0.91	
Tamoyachidake	TM Tamoyachidake L.	2.9
	KS Kansuizawa PFL.	0.02
	Total	2.9
Takada-Odake	TDU Takada-Odake upper LP.	0.003
	TD Takada-Odake LP.	3.2
	Total	3.2
Hinadake	HD Hinadake LP.	2.1
Debris	YDA Akakuradake Younger DA.	0.03
	ODA Akakuradake Older DA.	0.40
Total	15	

工藤他(2004)⁽²⁷⁾に一部加筆

第 11 図 高田大岳溶岩類の分布範囲

(c) 八甲田山の評価まとめ

以上より、八甲田山の現在の活動状況は、巨大噴火の可能性は十分に小さく、過去最大規模の火砕物密度流も敷地には到達していないことから、3号廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

(ii) 溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)のうち、「火山影響評価ガ

イド」に基づき、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の検討対象となる敷地から半径 50km 以内の火山は、恐山(39km)及び八甲田カルデラ(49km)である。

恐山では、溶岩流及び岩屑なだれの発生実績が認められ、到達距離は、溶岩流が 9km、岩屑なだれが 15km であることから、廃棄物埋設地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

八甲田カルデラにおいては、上記事象の発生実績は認められないため考慮しない。

(iii) 新しい火口の開口、火山に起因する地殻変動

敷地は、3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)の過去の火口及びその近傍に位置しないこと並びに火山フロントより前弧側(東方)に位置することから、これらの火山事象が敷地において発生する可能性は十分に小さいと評価した。

(iv) 設計対応不可能な火山事象の敷地への到達の可能性及び敷地において発生する可能性に関するまとめ

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)を対象に、設計対応不可能な火山事象について、発生実績、過去最大規模の噴火等の知見に基づき評価した結果、敷地への到達の可能性及び敷地において発生する可能性は十分に低いと評価した。

(2) 設計対応が可能な火山事象の評価

3号廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)に対して、「火山影響評価ガイド」に示される設計対応が可能な火山事象について、3号廃棄物埋設地の安全機能に影響を与える可能性について検討した。

(i) 降下火砕物

「新編 火山灰アトラス」(町田・新井、2011)⁽¹⁸⁾等による、地理的領域内外における降下火砕物の分布を第12図及び第13図に示す。

町田・新井(2011)⁽¹⁸⁾及び地質調査により、敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物として、下位より、甲地軽石、オレンジテフラ、洞爺火山灰、鬼界葛原テフラ、阿蘇4テフラ、十和田レッドテフラ、支笏第1テフラ、十和田切田テフラ、始良 Tn テフラ、十和田八戸テフラ、濁川テフラ、十和田中楸テフラ、十和田 a テフラ及び白頭山苦小牧テフラがあげられる(第3表)。

地理的領域内の火山を給源とする降下火砕物のうち十和田のオレンジテフラは先カルデラ期に、十和田レッドテフラ、十和田切田テフラ及び十和田八戸テフラはカルデラ形成期に噴出したものである。十和田は現在、後カルデラ期が継続していることから、これらの降下火砕物を評価対象外とした。また、北八甲田火山群において28万年前～18万年前に噴出した甲地軽石が観察される(第14図)。甲地軽石の給源である八甲田山は10万年以降の火山活動が比較的低調であり、長期的にみると終息に向かっているとされているが、「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について」(平成30年3月7日原子力規制庁)を参考に、甲地軽石を評価対象とした。

一方、地理的領域外の火山を給源とする降下火砕物のうち洞爺火山灰、鬼界葛原テフラ、阿蘇4テフラ、支笏第1テフラ及び始良 Tn テフラを噴出した各火山は現在、後カルデラ火山の活動を継続しており同規模噴火の可能性は十分小さいことから、これらの降下火砕物を評価対象外とした。

以上を踏まえると、評価対象となる十和田中楸テフラ、十和田 a テフラ、甲地軽石及び白頭山苦小牧テフラのうち敷地及び敷地近傍において最も層厚が大きい降下火砕物は、第3表に示すとおり、甲地軽石である。

したがって、甲地軽石を対象にした降下火砕物シミュレーションを実施す

る。降下火砕物は、一般的に給源から離れるほど層厚が減少する傾向を示すため、甲地軽石の給源に近い再処理事業所地点での計算結果を参照する。（再処理事業所再処理事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正について」（令和2年4月28日）

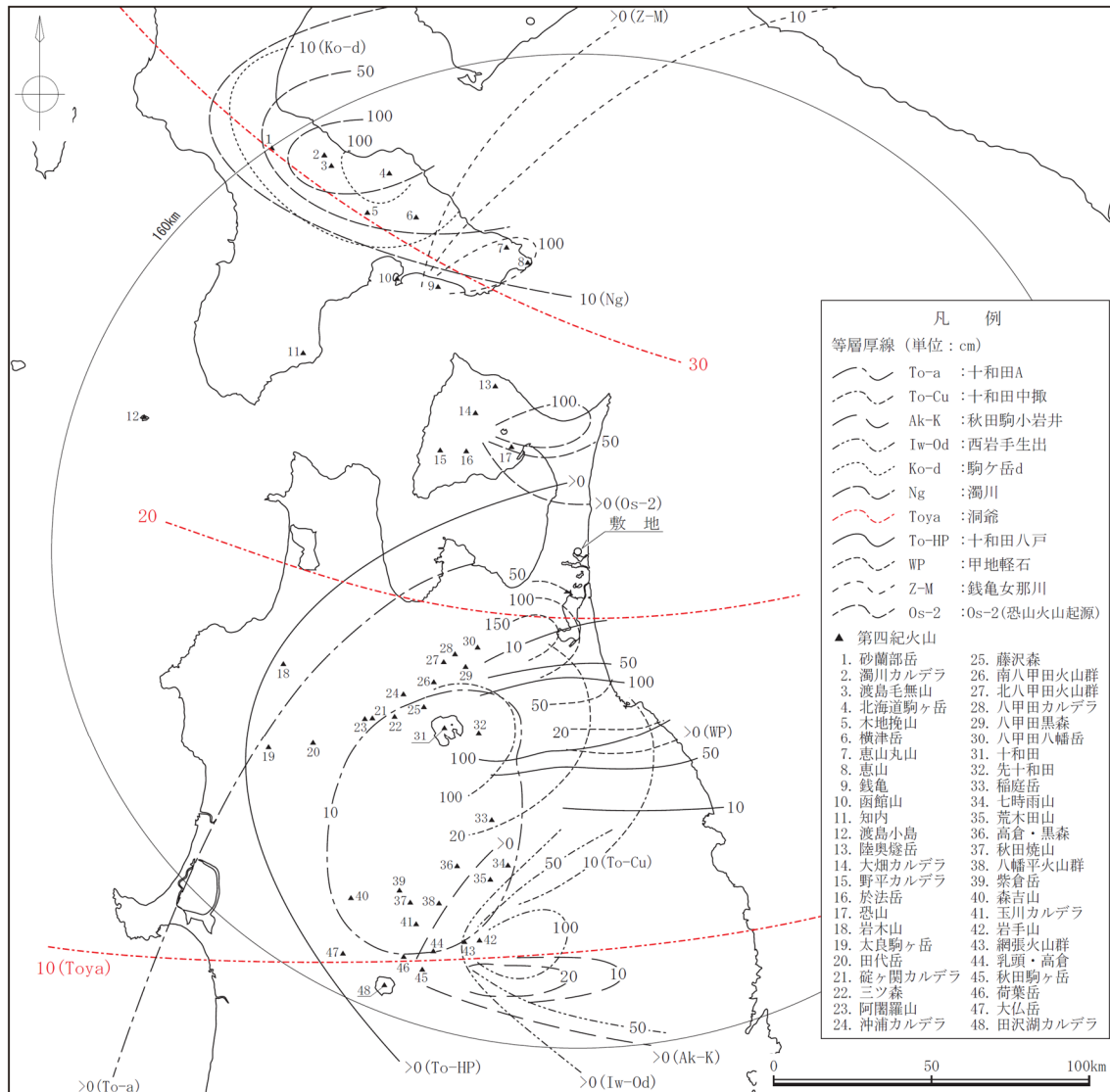
本解析は、移流拡散モデルを用いた解析プログラムであり、降下火砕物が全て降下するまで、一定方向に同じ風速の風が吹き続ける条件で実施した。

降下火砕物シミュレーションに用いる計算条件については、甲地軽石が28万年前～18万年前の噴火と非常に古く、噴火に係る計算条件の情報が乏しいことから、工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾の等層厚線の分布主軸方向(WP)の風を抽出・平均した風を用いて、再現性解析を行い、最も再現性が良い解析結果(第15図)に基づき設定した。再現性解析結果を踏まえた降下火砕物シミュレーションの主な計算条件を第4表に示す。

月別平年値の風を基にした降下火砕物シミュレーション結果を第16図に示す。評価点における火山灰の厚さは6.0cm～25cmとなる。

一方、不確かさ（風向、風速及び噴煙柱高度）の検討については、敷地が八甲田山の北東方向に位置していることから、敷地方向の風を考慮した風向の不確かさの影響が最も大きくなると考えられる。したがって、八甲田山から敷地に向かう風を抽出・平均して作成した敷地方向の風を用いた風向の不確かさを考慮したシミュレーションのケースを実施した結果、層厚が53cmとなった(第17図)。以上を踏まえ、設計に用いる敷地内の降下火砕物の層厚を55cmとする。

また、甲地軽石を対象とした密度試験結果を第18図に示す。層厚が最大となる甲地軽石の密度試験の結果、乾燥密度は $0.43\text{g}/\text{cm}^3$ 、飽和密度 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ である。小尾ほか(2019)⁽³⁸⁾において、細粒火山灰との比較検討として有史以降の噴火の軽石を対象とした堆積密度を計測しており、乾燥状態では約 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 、自然状態では約 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿潤状態（試料を2日間浸水させて計測した密度）では約 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ の結果を示している。以上を踏まえ、設計に用いる降下火砕物の密度は、湿潤状態で $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ とする。



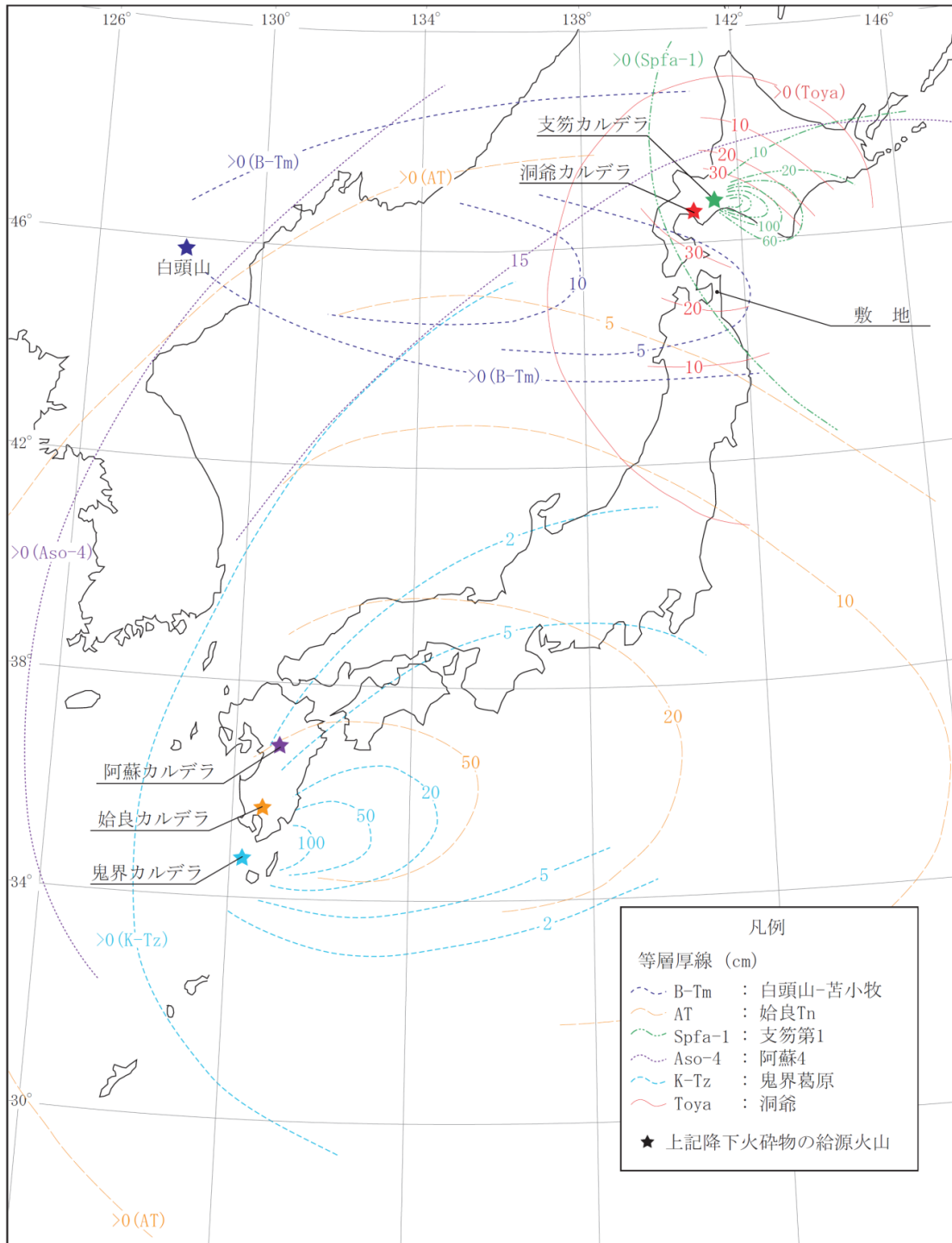
(第四紀火山の位置及び名称は、中野ほか編(2013)⁽¹⁾に基づき作成。)

(降下火砕物の名称及び等層厚線は、町田・新井(2011)⁽¹⁸⁾、工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾、リサイクル燃料貯蔵株式会社(2007)⁽³³⁾に基づき作成。)

第12図 地理的領域内の第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布

(敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物については

地理的領域外のものもあわせて示す。)



(町田・新井(2011)⁽¹⁸⁾に基づき作成。)

第 13 図 地理的領域外の第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布
(敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物)



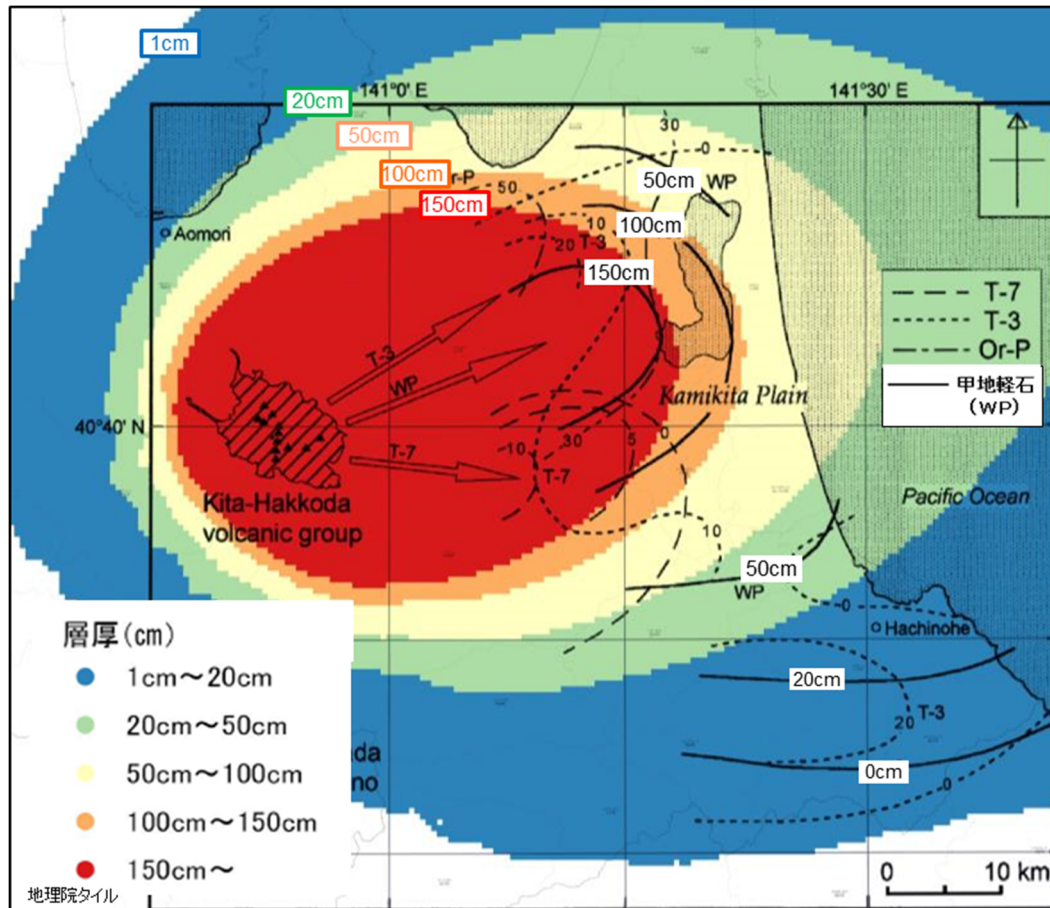
第 14 図 再処理施設敷地で確認された甲地軽石の堆積状況^{*1}

*1 : 「再処理事業所再処理事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正について」(令和2年4月28日)を引用

第3表 敷地及び敷地近傍に分布する主な降下火砕物の種類と層厚

(灰色セルは操業期間中に同規模の噴火が発生する可能性の低い降下火砕物)

敷地と火山の 距離	噴出源	降下火砕物	年代	層厚 (cm)	
				文献調査	地質調査
半径 160km 内	十和田	十和田 a テフラ (To-a)	約 1,100 年前 ⁽¹⁾	< 5 ^{(18) (24)}	-
	十和田	十和田中掘テフラ (To-Cu)	約 6,200 年前 ⁽³⁴⁾	< 10 ^{(18) (24) (35)}	-
	北八甲田 火山群	甲地軽石 (WP)	約 18 万年前～28 万 年前	20～50 ⁽²⁷⁾	43
	濁川 カルデラ	濁川テフラ (Ng)	約 1.5 万年前 ⁽¹⁸⁾	- ⁽¹⁸⁾	-
	十和田	十和田八戸テフラ (To-HP)	約 1.55 万年前 ⁽¹³⁾	< 10 ^{(18) (36)}	-
	十和田	十和田切田テフラ (To-KR)	約 3.6 万年前 ⁽³⁴⁾	< 10 ^{(18) (36)}	-
	十和田	十和田レッドテフ ラ (To-Rd)	約 6.1 万年前 ⁽³⁴⁾	< 10 ^{(18) (36)}	30
	十和田	オレンジテフラ (Or-p)	約 17 万年前	< 30 ⁽²⁷⁾	25
半径 160km 外	白頭山	白頭山苦小牧テフ ラ (B-Tm)	約 1,000 年前 ⁽¹⁸⁾	5～10 ⁽¹⁸⁾	-
	始良 カルデラ	始良 Tn テフラ (AT)	約 2.8 万年前～3.0 万年前 ⁽¹⁸⁾	< 5 ⁽¹⁸⁾	-
	支笏 カルデラ	支笏第 1 テフラ (Spfa-1)	約 4.2 万年前～4.4 万年前 ⁽¹⁸⁾	> 0 ⁽¹⁸⁾	-
	阿蘇	阿蘇 4 テフラ (Aso-4)	約 8.5 万年前～9 万 年前 ⁽¹⁸⁾	> 15 ⁽¹⁸⁾	-
	鬼界 カルデラ	鬼界葛原テフラ (K-Tz)	約 9.5 万年前 ⁽¹⁸⁾	< 2 ⁽¹⁸⁾	-
	洞爺	洞爺火山灰 (Toya)	約 11.2 万年前～ 11.5 万年前 ⁽¹⁸⁾	20～30 ⁽¹⁸⁾	15

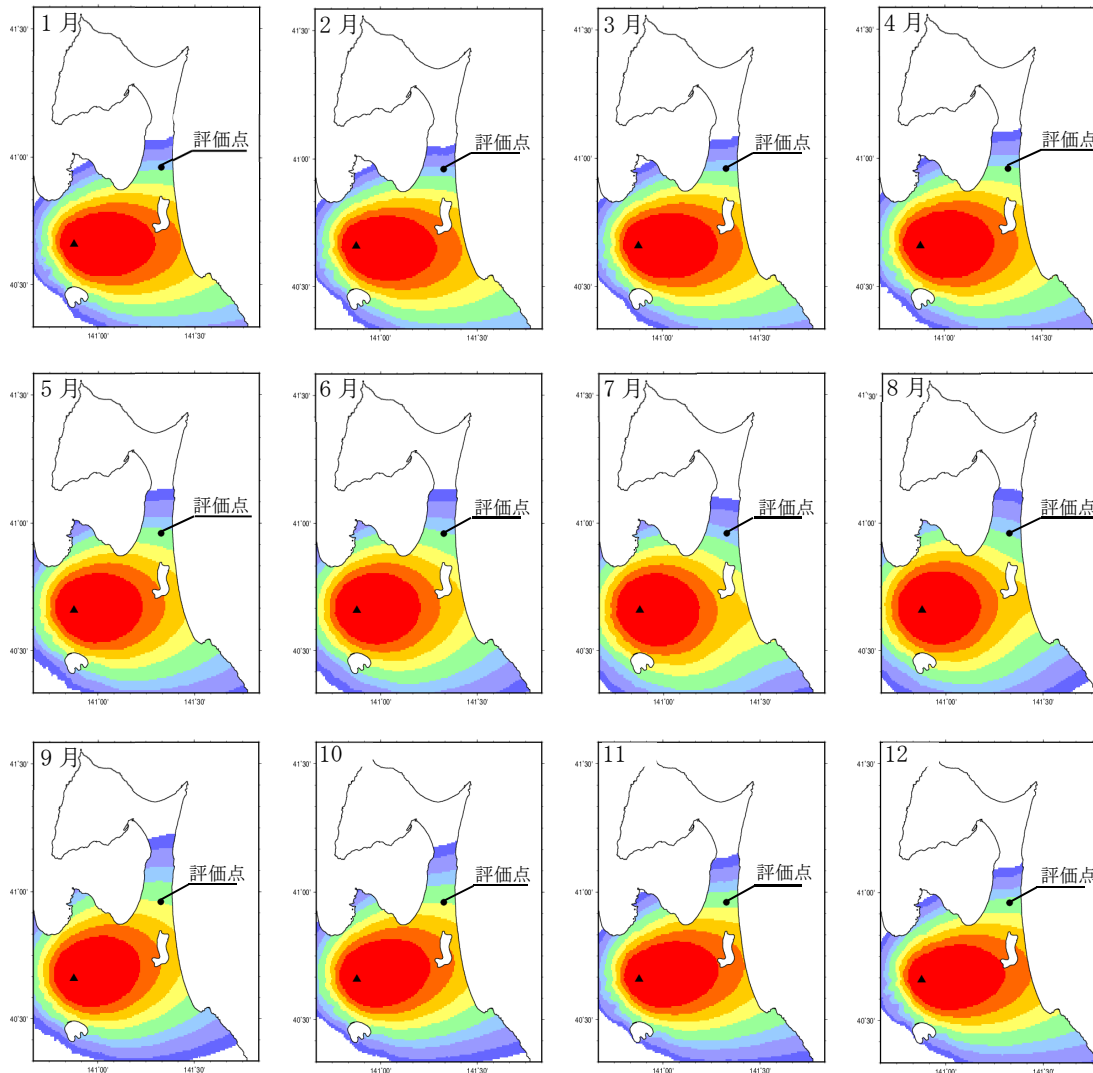


(工藤ほか(2004) ⁽²⁷⁾に当社の解析結果を重ね合わせて作成)

第 15 図 甲地軽石 (WP) の再現性解析結果

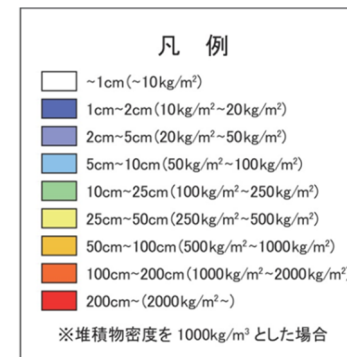
第4表 降下火砕物シミュレーションの主な計算条件

想定 噴火規模	パラメータ	単位	値	設定根拠等	
甲地軽石 (WP)	噴出物量	kg	8.25×10^{12}	工藤ほか(2004) ⁽²⁷⁾ に基づき設定(噴出量： 3.3km ³ (DRE)、マグマ密度2.5t/m ³)	
	噴煙柱高度	m	25,000	再現性解析結果に基づき設定	
	粒径	最大	mm	$1/2^{-10}$	Tephra2 推奨値
		最小	mm	$1/2^{10}$	Tephra2 推奨値
		中央	mm	$1/2^{-3}$	再現性解析結果に基づき設定
		標準 偏差	φ	2.5	再現性解析結果に基づき設定
	岩片密度	t/m ³	2.6	Tephra2 推奨値	
	軽石粒子密度	t/m ³	1.0	Tephra2 推奨値	
	渦拡散係数	m ² /s	0.04	萬年(2013) ⁽³⁷⁾ に基づき設定	
	拡散係数	m ² /s	75,000	再現性解析結果に基づき設定	
	Fall Time Threshold	s	3,600	萬年(2013) ⁽³⁷⁾ に基づき設定	
	給源	X座標 (UTM:54N)	m	489,622	大岳山頂のUTM座標
		Y座標 (UTM:54N)	m	4,500,900	
		標高	m	1,584	大岳山頂の標高
	風	月別平年値の風		気象庁が1981年～2010年の30年間の観測値の 平均を基に算出(秋田地方気象台)	
風向の不確かさの風		ワイオミング大学のHP上の1973年～2018年の うち秋田地方気象台の高層気象観測データを用い て、敷地方向の風を抽出し作成			
標高 データ	500mメッシュ		国土地理院の数値地図50mを 解析用に500mメッシュに変換		

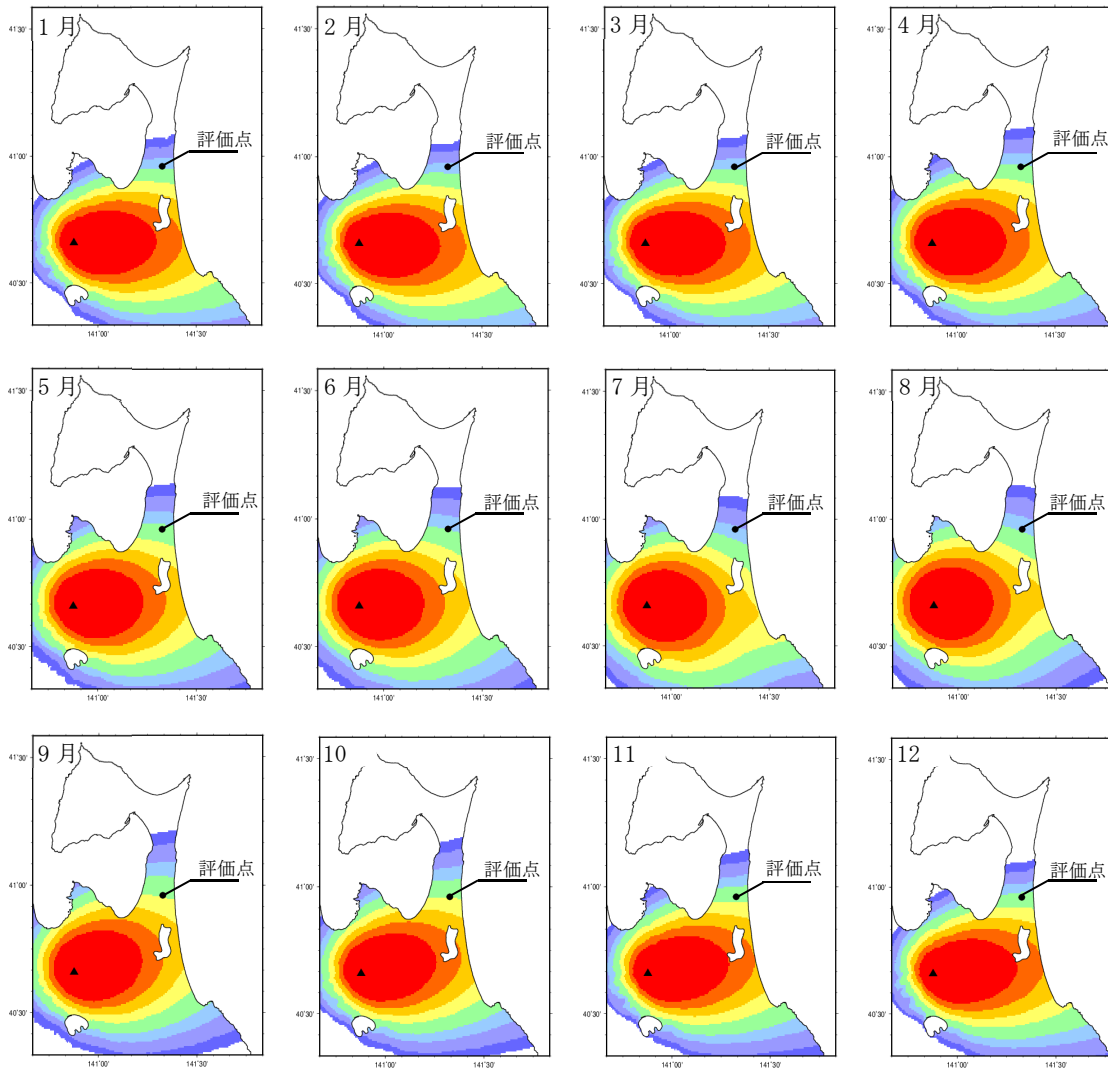


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.4×10^1	8.4×10^0
2月	6.1×10^1	6.1×10^0
3月	8.8×10^1	8.8×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	1.1×10^2	1.1×10^1
7月	6.7×10^1	6.7×10^0
8月	9.3×10^1	9.3×10^0
9月	2.5×10^2	2.5×10^1
10月	2.5×10^2	2.5×10^1
11月	1.9×10^2	1.9×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値(9時)の風の際の評価点での層厚(1981~2010年)

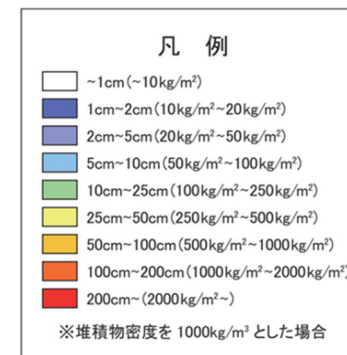


第16図 降下火砕物シミュレーションの解析結果(1/2) (月別平年値の風：9時)

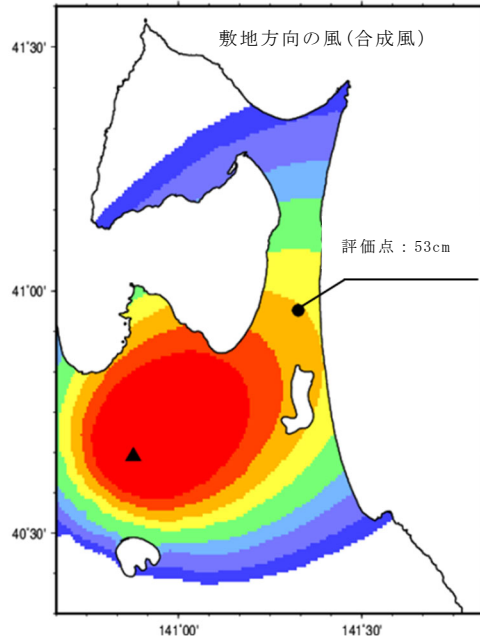


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.9×10^1	8.9×10^0
2月	6.5×10^1	6.5×10^0
3月	8.6×10^1	8.6×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	9.9×10^1	9.9×10^0
7月	6.0×10^1	6.0×10^0
8月	9.0×10^1	9.0×10^0
9月	2.3×10^2	2.3×10^1
10月	2.4×10^2	2.4×10^1
11月	1.8×10^2	1.8×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値(21時)の風の際の評価点での層厚(1981~2010年)



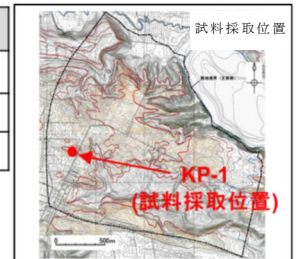
第16図 降下火砕物シミュレーションの解析結果(2/2)(月別平年値の風:21時)



第 17 図 降下火砕物シミュレーションの解析結果(風向きの不確かさを考慮)

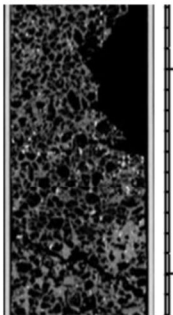
甲地軽石の密度試験結果

試料名		試料1	試料2	試料3	平均
乾燥密度	g/cm ³	0.36	0.50	0.42	0.43
湿潤密度	g/cm ³	1.14	1.20	1.14	1.16
飽和密度	g/cm ³	1.21	1.30	1.25	1.25

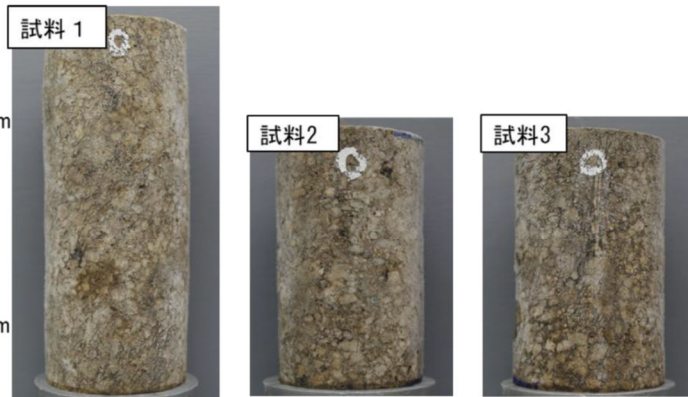


KP-1孔(本孔)の甲地軽石(主部)のCT画像

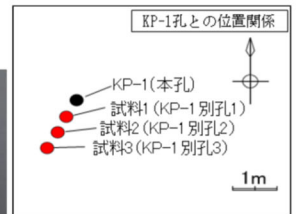
第 9.6-5図のCT画像より抜粋



CT画像設定:
WL:500 WW:2000
スライス厚:0.5mm



密度試験に用いた供試体の写真



試料採取位置

第 18 図 甲地軽石の密度試験結果*1

*1: 「再処理事業所再処理事業変更許可申請書 本文及び添付書類の一部補正について」

(令和2年4月28日)を引用加筆

(ii) 土石流、火山泥流及び洪水

土石流、火山泥流及び洪水については、敷地近傍には敷地を中心とする半径120kmの範囲に存在する廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(横津岳、恵山、陸奥燧岳、恐山、岩木山、田代岳、藤沢森、南八甲田火山群、北八甲田火山群、八甲田カルデラ、十和田、先十和田、八幡平火山群の13火山)を対象に検討した。その結果、これらの火山を起源とする土石流、火山泥流及び洪水に伴う堆積物は確認されず、また、敷地は太平洋及び陸奥湾を境にする下北半島脊梁部の台地上に位置し、これらの火山を源流に有する河川流域に含まれないことから、廃棄物埋設地に土石流、火山泥流及び洪水が到達する可能性は十分小さいと評価した。

(iii) 火山から発生する飛来物(噴石)

火山から発生する飛来物(噴石)については、本敷地を中心とする半径約10kmの範囲に火山が分布しないことから、噴石が敷地に到達することはなく、3号廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価した。

(iv) 火山ガス

火山ガスについては、本敷地は、太平洋及び陸奥湾を境にする下北半島脊梁部の台地上に位置し、火山ガスが敷地に滞留する地形ではないことから、敷地に到達することはなく、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さいと評価した。

(v) その他の火山事象

火山による熱水系及び地下水の異常については、火山発生のメカニズムや火山フロントの位置を考慮すると、敷地近傍において、新しい火口が開口する可能性が十分に小さいことから、熱水等の影響の可能性は十分に小さいと評価した。

火山性の津波及び静振については、敷地周辺の海域に海底火山は分布せず、敷地周辺に大きな影響を及ぼした火山事象による歴史津波の記録は知られていないことから、廃棄物埋設地に火山性の津波及び静振が到達する可能性は十分に小さいと評価した。

火山に起因する大気現象については、第四紀火山と敷地とは十分な離隔があることから、廃棄物埋設地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

火山性地震とこれに関連する事象については、第四紀火山と敷地とは十分な離隔があることから、影響は十分に小さいと評価した。

(iv) 設計において考慮する火山事象

「火山影響評価ガイド」を参考にし、安全機能を有する施設への影響を評価した結果、大きな影響を及ぼすおそれはないものの、設計において考慮する必要がある火山事象として降下火砕物が選定された。

敷地及び敷地近傍で確認される降下火砕物について、噴出源の各火山の活動を考慮し、最も層厚が大きい甲地軽石を選定する。

甲地軽石と同規模の噴火を想定し、風向の不確かさを考慮した降下火砕物シミュレーションから、設計に用いる敷地での層厚を 55cm と設定する。設計に用いる密度は、甲地軽石の密度試験結果から、 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ と設定する。

4. 設計上考慮する降下火砕物に対する防護設計

設計上考慮する火山の影響(降下火砕物)に対して廃棄物埋設地は、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までは放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を、覆土完了から廃止措置の開始までは移行抑制機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。

(1) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで

(i) 防護設計の基本方針

埋設設備には、常時機能維持が必要な動的機器はないことから、降下火砕物に対しては荷重の影響を考慮する。降下火砕物の荷重としては、層厚及び単位荷重を考慮し、埋設設備は降下火砕物の荷重に対して放射性物質の漏出を防止する機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。

埋設設備の降下火砕物に対する設計については、静的設計法を基本とし、「2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】」及び「道路橋示方書・同解説(V耐震設計編) 平成29年版」に基づき防護設計を講ずる。

(ii) 自然現象の重畳

自然現象の重畳に関しては、重畳を検討する自然現象の特徴を考慮して、詳細に検討が必要となる自然現象の組合せを抽出する。重畳の組合せの検討の結果、降下火砕物は、風(台風)+降下火砕物及び降下火砕物+積雪を考慮する。

(2) 覆土完了から廃止措置の開始まで

降下火砕物の堆積により、上部覆土表面が化学的及び熱的影響を受ける懸念があ

るが、その影響範囲は地表面に限定される。難透水性覆土及び下部覆土の遮蔽機能及び低透水性並びに難透水性覆土及び上部覆土の収着性に影響は生じないよう、上部覆土は5m以上の厚さを確保した設計とする。

(3) 降灰に対する対応

降下火砕物の影響として、放射性廃棄物の受入れの開始から覆土開始までの間、埋設設備に降灰が確認された場合、必要に応じて、除灰を実施する。

また、覆土開始時点で、廃棄物埋設地上に降下火砕物が堆積していた場合、除灰を実施する。

なお、降下火砕物の荷重は、降下火砕物シミュレーション及び密度試験結果を考慮した結果、 7.0kN/m^2 ($55\text{ cm} \times 1.3\text{g/cm}^3 = 7.0\text{kN/m}^2$) である。埋設設備の設計上考慮している積雪荷重は 5.7kN/m^2 ($190\text{ cm} \times 30\text{N/m}^2/\text{cm}^3 = 5.7\text{kN/m}^2$) であり、降灰荷重及び積雪荷重は同程度となる。降灰荷重及び積雪荷重は、埋設設備の単位面積当たりの荷重 ($0.24\text{MN/m}^2 = 240\text{kN/m}^2$) に対して、3%程度と十分に小さいことから、埋設設備の安全機能に影響はない。設計荷重に関する考え方は、「十条 廃棄物埋設地のうち第一号及び第三号 添付資料2」に示す。

5. 参考文献

- (1) 中野俊、西来邦章、宝田晋治、星住英夫、石塚吉浩、伊藤順一、川邊禎久、及川輝樹、古川竜太、下司信夫、石塚治、山元孝広、岸本清行編(2013)：日本の火山(第3版)、産業技術総合研究所地質調査総合センター、200万分の1地質編集図、No. 11
- (2) 西来邦章、伊藤順一、上野龍之編(2012)：第四紀火山岩体、貫入岩体データベース、地質調査総合センター速報、no. 60、地質調査総合センター
- (3) 西来邦章、伊藤順一、上野龍之、内藤一樹、塚本 斉編(2014)：第四紀噴火・貫入活動データベース Ver. 1.00、独立行政法人産業技術総合研究所
- (4) 気象庁編(2013)：日本活火山総覧(第4版)
- (5) 雁澤好博、紀藤典夫、柳井清治、貞方 昇(2005)：北海道駒ヶ岳の最初期テフラの発見と初期噴火活動史の検討、地質学雑誌、Vol. 111、No. 10、pp. 581-589
- (6) 高田倫義、中川光弘(2016)：南西北海道、横津火山群の地質と岩石：150万年間の活動様式とマグマ化学組成の時間変遷、日本地質学会第123年学術大会講演要旨、R3-0-2
- (7) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(1988)：No. 13 南茅部地域、地熱開発促進調査報告書、1170p
- (8) 宝田晋治(1991)：岩屑流の流動・堆積機構-田代岳火山起源の岩瀬川岩屑流の研究-、火山、Vol. 36、No. 1、pp. 11-23
- (9) 宝田晋治、村岡洋文(2004)：八甲田山地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、青森(5)、No. 30、地質調査総合センター、86p
- (10) 工藤 崇(2018)：十和田湖周辺地域における前期～中期更新世火山活動史、地質調査研究報告、No. 69、pp. 165-200
- (11) 須藤 茂(1992)：5万分の1仙岩地域中心部地熱地質図説明書、特殊地質図(21-5)、地質調査所、73p
- (12) Yamamoto, T., Kudo, T. and Isizuka, O. (2018) : Temporal variations in volumetric magma eruption rates of Quaternary volcanoes in Japan, Earth, Planets and Space, 70:65
- (13) 工藤崇、小林淳、山元孝広、岡島靖司、水上啓治(2011)：十和田火山における噴火活動様式の時代変遷と長期予測、日本第四紀学会講演会要旨集、Vol. 41、pp. 82-83
- (14) 村岡洋文、山口 靖、長谷紘和(1991)：八甲田地熱地域で見出されたカルデラ群、地質調査所報告、No. 275、pp. 97-111.

- (15)大沢 穠、三村弘二、広島俊男、中島和敏(1993)：20 万分の 1 地質図幅 青森、第 2 版、地質調査所
- (16)大沢 穠、須田芳朗(1978)：20 万分の 1 地質図幅 弘前および深浦、地質調査所
- (17)土井宣夫(1993)：盛岡市付近に分布する十和田-大不動、八戸火砕流堆積物の産状、日本地質学会東北支部会報、No. 22、pp. 8-9
- (18)町田洋、新井房夫(2011)：新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺]、東京大学出版会、276p
- (19)Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. and Zhao, D. (2001)：Three-dimensional structure of V_p , V_s , and V_p/V_s and beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, No. B10, pp. 21, 843-21, 857
- (20)中島淳一(2017)：東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造：地殻構造と低周波地震・S 波反射面との関係、東京大学地震研究所彙報、Vol. 92、pp. 49-62
- (21)防災科学技術研究所：日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大 2019 年版)、http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/alljpn.php
- (22)Kanda, W. and Ogawa, Y. (2014)：Three-dimensional electromagnetic imaging of fluids and melts beneath the NE Japan arc revisited by using geomagnetic transfer function data, *Earth, Planets and Space*, 66, doi:10.1186-1880-5981-66-39
- (23)気象庁(2019)：十和田の火山活動解説資料(令和元年 11 月)
- (24)Hayakawa, Y. (1985)：Pyroclastic Geology of TowA.D.a Volcano, *Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo*, Vol. 60, pp. 507-592
- (25)十和田火山防災協議会(2018)：十和田火山災害想定影響範囲図、青森県防災危機管理課・秋田県総合防災課・鹿角市総務課・小坂町総務課発行、平成 30 年 1 月 24 日作成(修正済)、15p
- (26)Umeda, K., Ban, M., Hayashi, S., Kusano, T. (2013)：Tectonic shortening and coeval volcanism during the Quaternary, Northeast Japan arc, *J. Earth System Science*, Vol. 122, No. 1, pp. 137-147
- (27)工藤崇、宝田晋治、佐々木実(2004)：東北日本、北八甲田火山群の地質と火山発達史、*地質学雑誌*、Vol. 110、No. 5、pp. 271-289
- (28)村岡洋文、高倉伸一(1988)：10 万分の 1 八甲田地熱地域地質図説明書、特殊地質図(21-4)、通商産業省工業技術院地質調査所、27p

- (29) 桑原 拓一郎(2004)：青森県東部上北平野における海成段丘構成物の層序と相対的海面変化、地質学雑誌、Vol. 110、No. 2、 pp. 93-102
- (30) 桑原 拓一郎、檀原 徹、山下 透(2007)：青森県、上北平野北部に分布する袋町1～9テフラの記載岩石学的特徴、第四紀研究、Vol. 46、No. 1、p. 63-66
- (31) 小川康雄(1991)：八甲田火山群の深部比抵抗構造に関する考察、地質調査所報告、No. 275、pp. 83-95
- (32) 気象庁(2019)：八甲田山の火山活動解説資料(令和元年11月)
- (33) リサイクル燃料貯蔵株式会社(2007)：リサイクル燃料備蓄センター 使用済燃料貯蔵事業許可申請書 平成19年3月(平成21年4月一部補正、平成21年6月一部補正、平成21年8月一部補正、平成21年12月一部補正、平成22年4月一部補正)
- (34) 工藤崇、内野隆之、濱崎聡志(2019)：十和田湖地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、産総研地質調査総合センター、192p
- (35) 早川由紀夫(1983)：十和田火山中掬テフラ層の分布、粒度組成、年代、火山、第2集、Vol. 28、No. 3、pp. 263-273
- (36) 工藤崇(2005)：十和田地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、産総研地質調査総合センター、79p
- (37) 萬年一剛(2013)：降下火山灰シミュレーションコードTephra2の理論と現状-第四紀学での利用を視野に、第四紀研究、Vol. 52、No. 4、pp. 173-187
- (38) 小尾亮、藤沢康弘、厚井高志、池田暁彦、堤宏徳、山本陽子(2019)：降灰後の土石流発生に関わる火山灰特性(軽石の堆積密度)について、2019年度砂防学会研究発表会概要集、岩手、2019-5-21/23、砂防学会、2019
- (39) 高橋正樹(2008)：破局噴火-秒読みに入った人類壊滅の日、祥伝社新書
- (40) 八甲田山火山防災協議会(2014)：“火山災害予想区域図(数値シミュレーション計算結果)”。第5回八甲田山火山防災協議会、平成26年3月26日、14p。青森県防災ホームページ。
<http://www.bousai.pref.aomori.jp/DisasterFireDivision/council/hakkodaAgreement/index.html>

十和田および八甲田山における
地球物理学的調査について

目次

1. 目的	1
2. 十和田	1
(1) 地球物理学的調査.....	1
3. 八甲田山	17
(1) 地球物理学的調査.....	17

1. 目的

本資料は「参考資料 3 火山の影響について」のうち、十和田と八甲田山の地球物理学的調査について詳細を示すものである。

2. 十和田

(1) 地球物理学的調査

下司 (2016) ⁽¹⁾によると、大規模噴火が発生するためには、その火山のシステムにあらかじめマグマを蓄積させておくことが必要であるとしており、この大規模噴火を引き起こすマグマシステムは、下部地殻物質の部分熔融等による珪長質メルトの生成、発生したメルトの分離・上昇、上部地殻への集積等が起こり、地殻全体に広がる巨大で複雑なシステムであると考えられるとしている。また、物理探査（地球物理学的調査）によってカルデラ火山の地下に検出されつつある低速度領域や低比抵抗領域は、このような部分熔融した貫入岩体の複合体をみていると考えられるとしており、カルデラの陥没量とカルデラ形成噴火の噴出量がほぼ一致するとしている。なお、下司 (2016) ⁽¹⁾の「大規模噴火」の噴火規模は、「巨大噴火」の噴火規模を包含する。

以上のことから、巨大噴火に直接寄与する上部地殻におけるマグマ溜まりは、カルデラを超える範囲まで部分熔融域が広がっていると考えられるため、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性及び大規模なマグマの移動・上昇等の活動に着目して地球物理学的調査を実施し、現在のマグマ溜まりの状況について評価した。

地球物理学的調査として、地震波速度構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討を実施した。流体の存在に敏感な比抵抗構造と、流体のうちメルトか水か推定可能な地震波速度構造は相補的な関係であるため、これらより、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性を把握した。また、地震活動及び地殻変動に関する調査を行い、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を把握した。

a. 地震波速度構造及び比抵抗構造

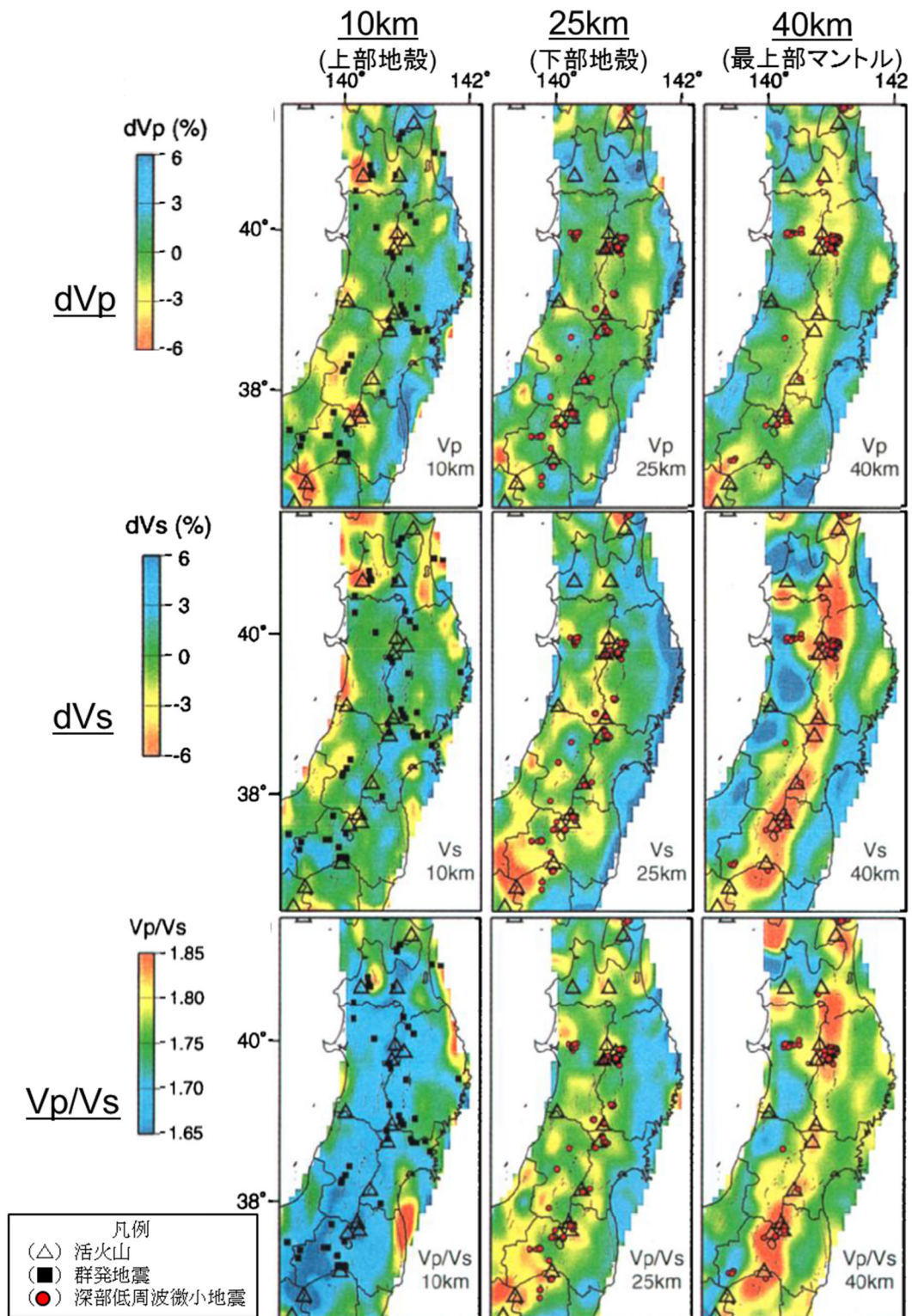
地震波速度構造について、Nakajima et al (2001) ⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、

メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び低 V_p/V_s は、水の存在を示唆するとしている（第 1 図参照）。中島（2017）⁽³⁾によると、Nakajima et al（2001）⁽²⁾の解析結果等から、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な（> 10km）マグマ溜まりは存在しないとしている（第 2 図参照）。

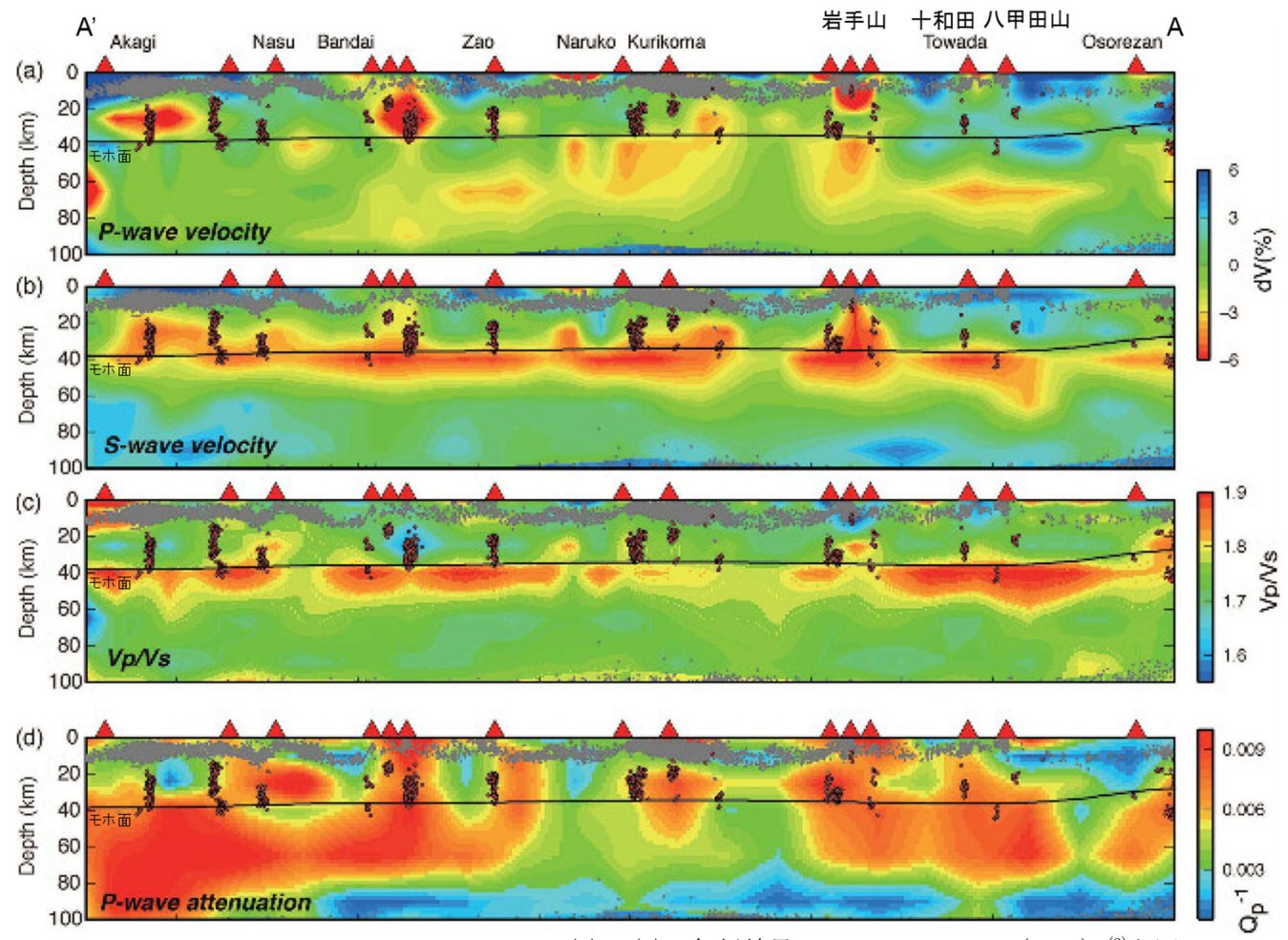
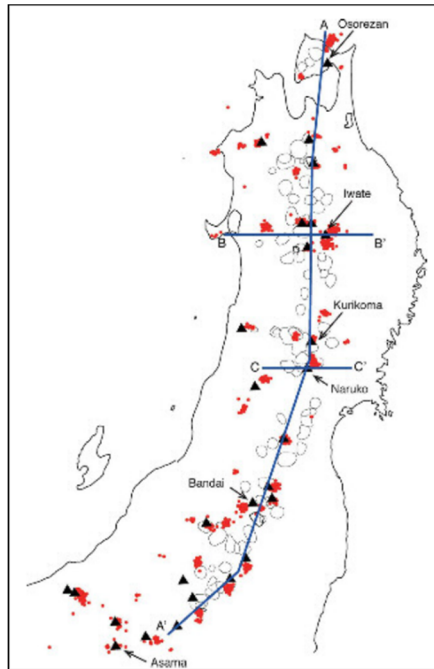
防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造（海域拡大 2019 年版）」（Matsubara, 2019）⁽⁴⁾の地震波トモグラフィ解析結果（第 3 図参照）及び Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果（第 4 図参照）に基づく、いずれの結果でも十和田直下の上部地殻内（約 20 km 以浅）に、メルトの存在を示唆する顕著な低 V_p かつ高 V_p/V_s 領域は認められない。

一方、比抵抗構造について、Kanda and Ogawa (2014)⁽⁵⁾によると、インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向があるとしている。Kanda and Ogawa (2014)⁽⁵⁾のインダクションベクトル（第 5 図参照）に基づく、16 秒周期では、十和田に向くベクトルは認められず、顕著な低比抵抗異常は推定できない。また、磁場 3 成分を用いたインバージョン解析により、インダクションベクトルを再現できる北東北の三次元比抵抗構造が示されており、その解析結果（第 6 図参照）に基づく、十和田直下の上部地殻内にマグマ若しくは高塩濃度流体を示唆する顕著な低比抵抗領域は認められない。

地震波速度構造及び比抵抗構造を統合的に解釈すると、十和田直下の上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高 V_p/V_s かつ低比抵抗領域は認められない。

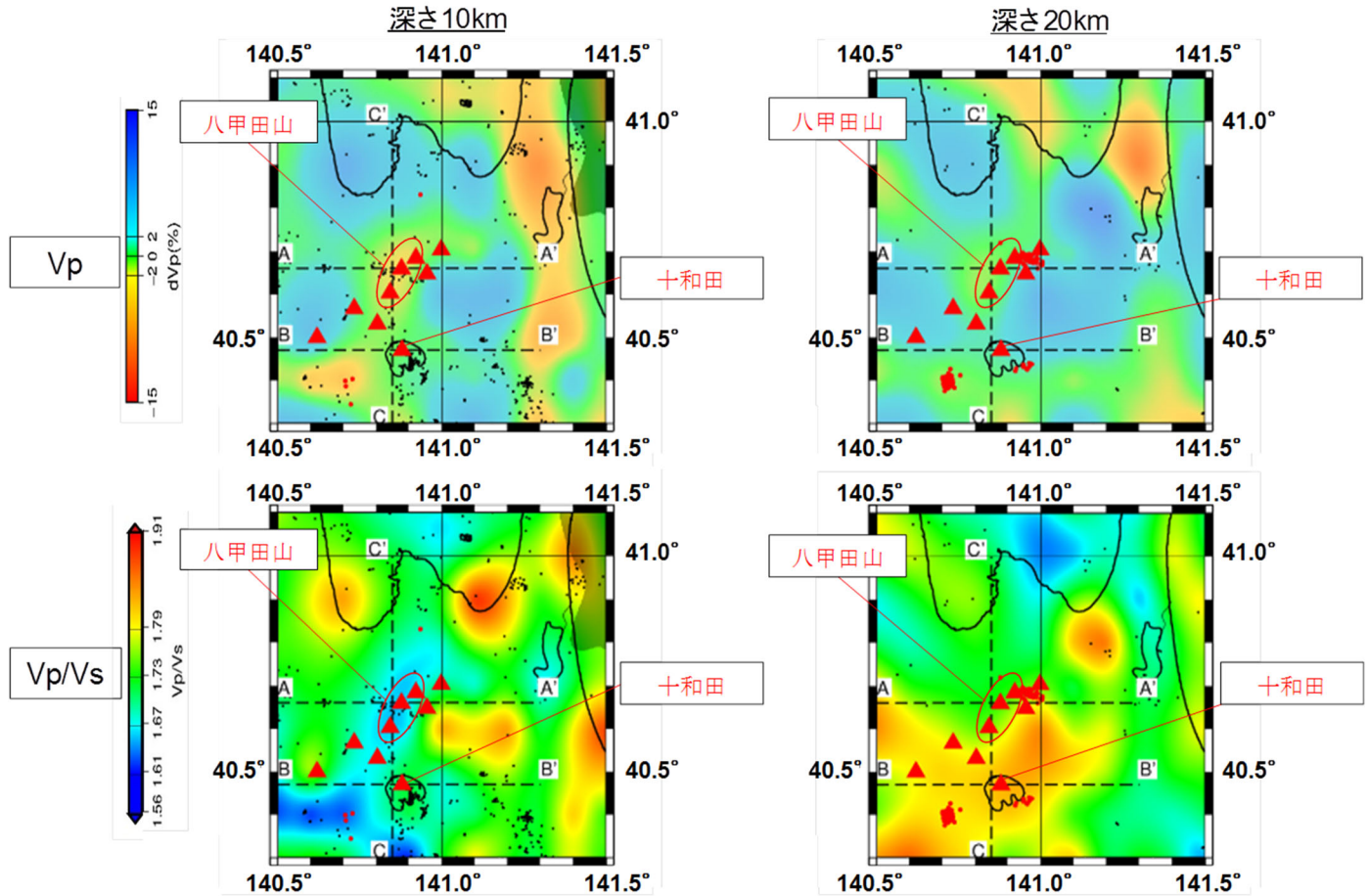
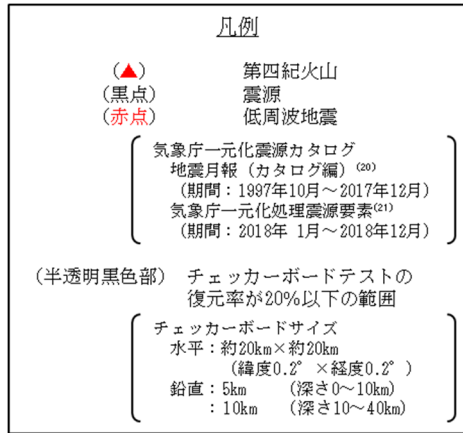


第1図 地震波トモグラフィ解析結果 (Nakajima et al (2001) ⁽²⁾に加筆)



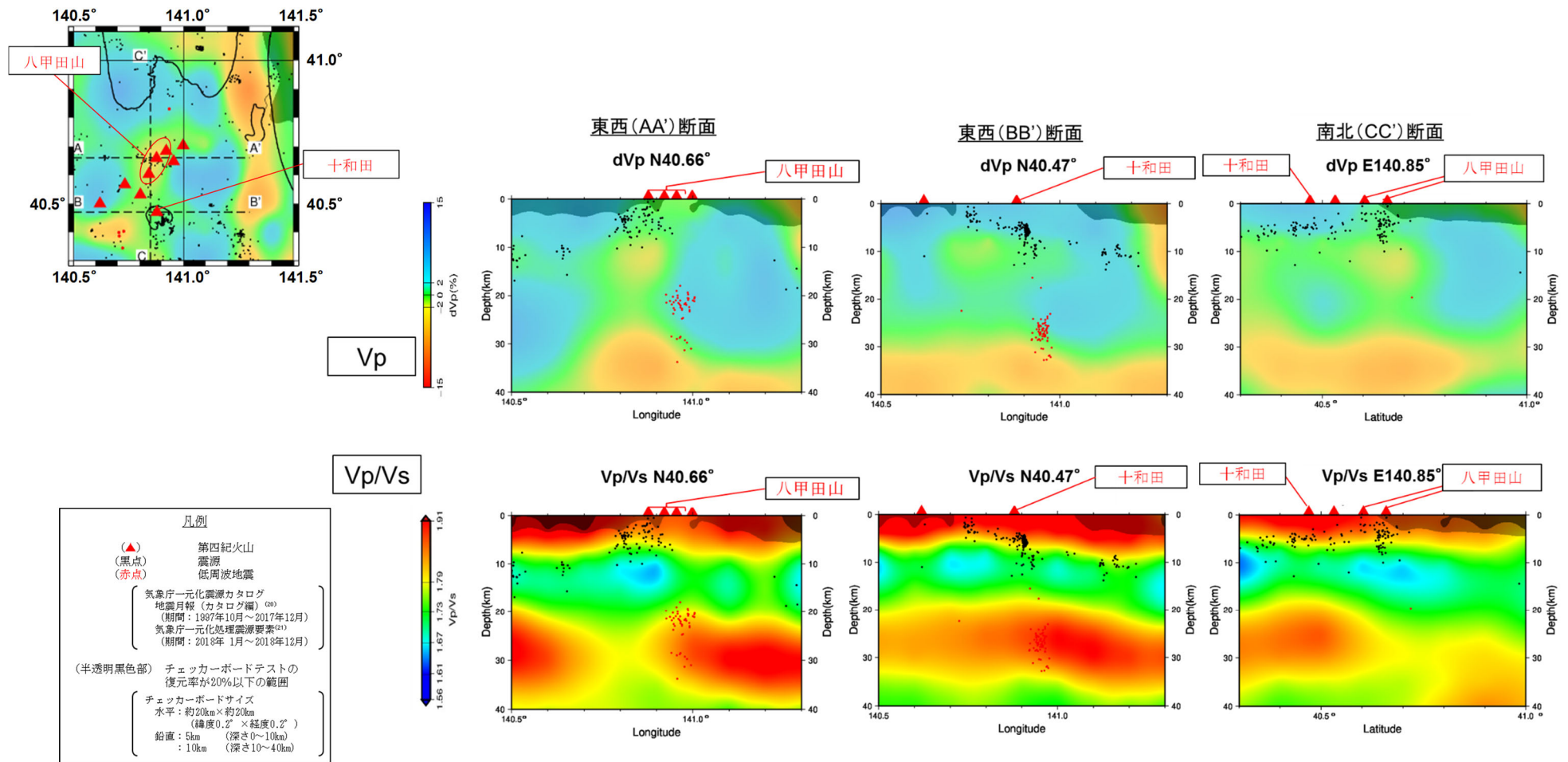
*1 : (a)~(c)の解析結果はNakajima et al (2001)⁽²⁾と同じ。

第2図 地震波トモグラフィ解析結果(中島 (2017)⁽³⁾に加筆)



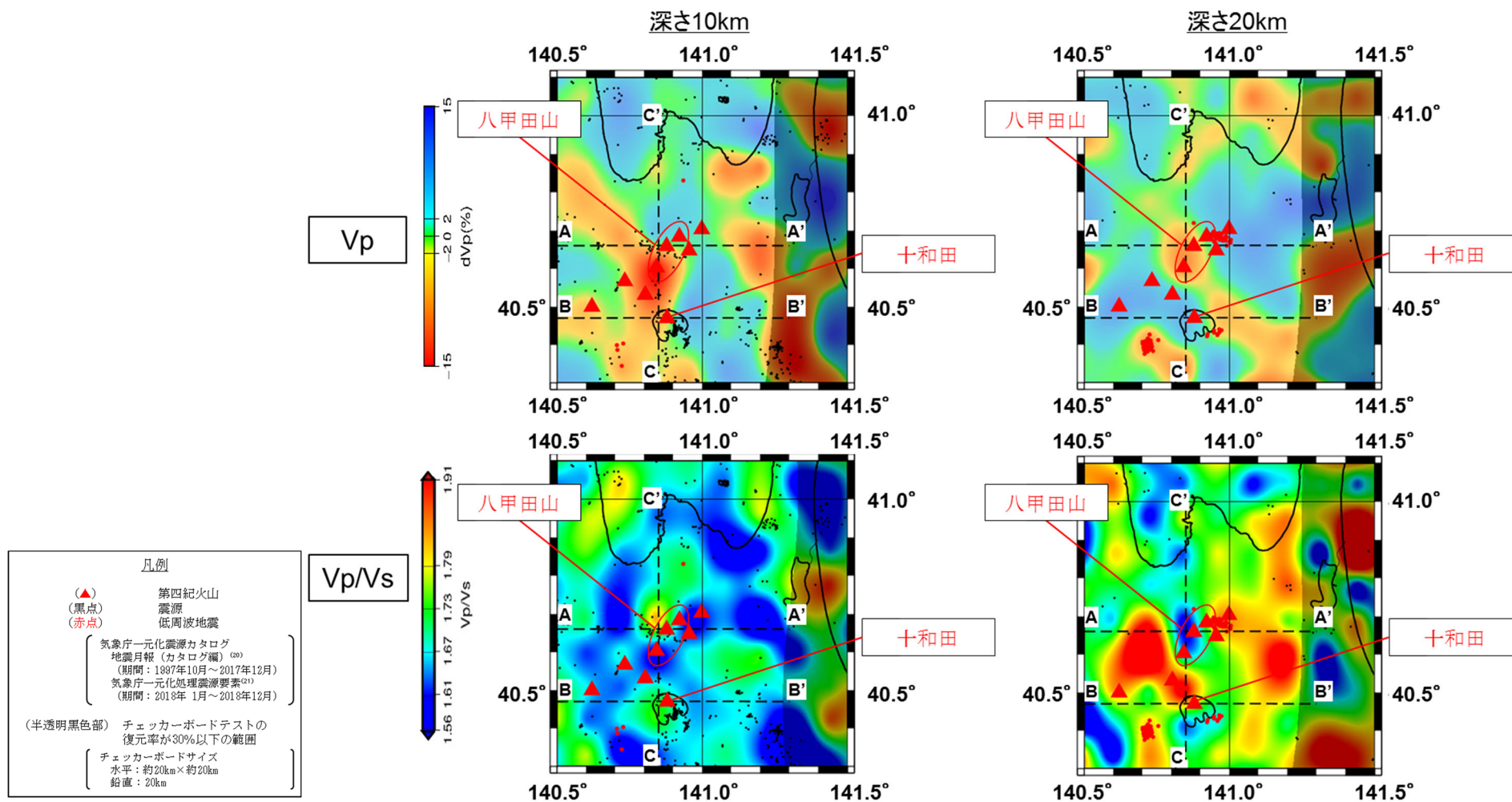
第3図 地震波トモグラフィ解析結果

(防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造 (海域拡大 2019 年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図 (解析手法等は Matsubara, 2019⁽⁴⁾に記載)) (1/2)

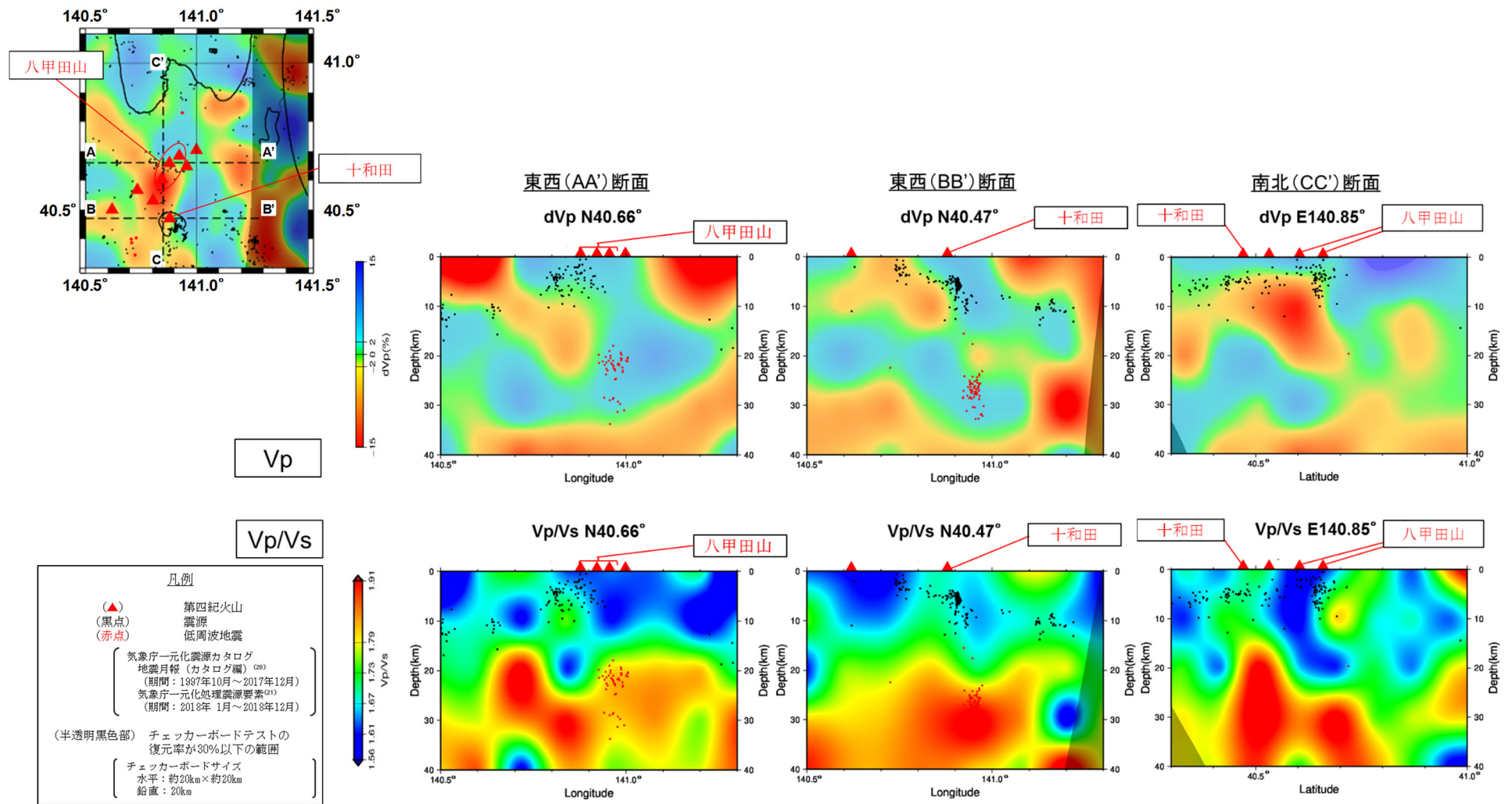


第3図 地震波トモグラフィ解析結果

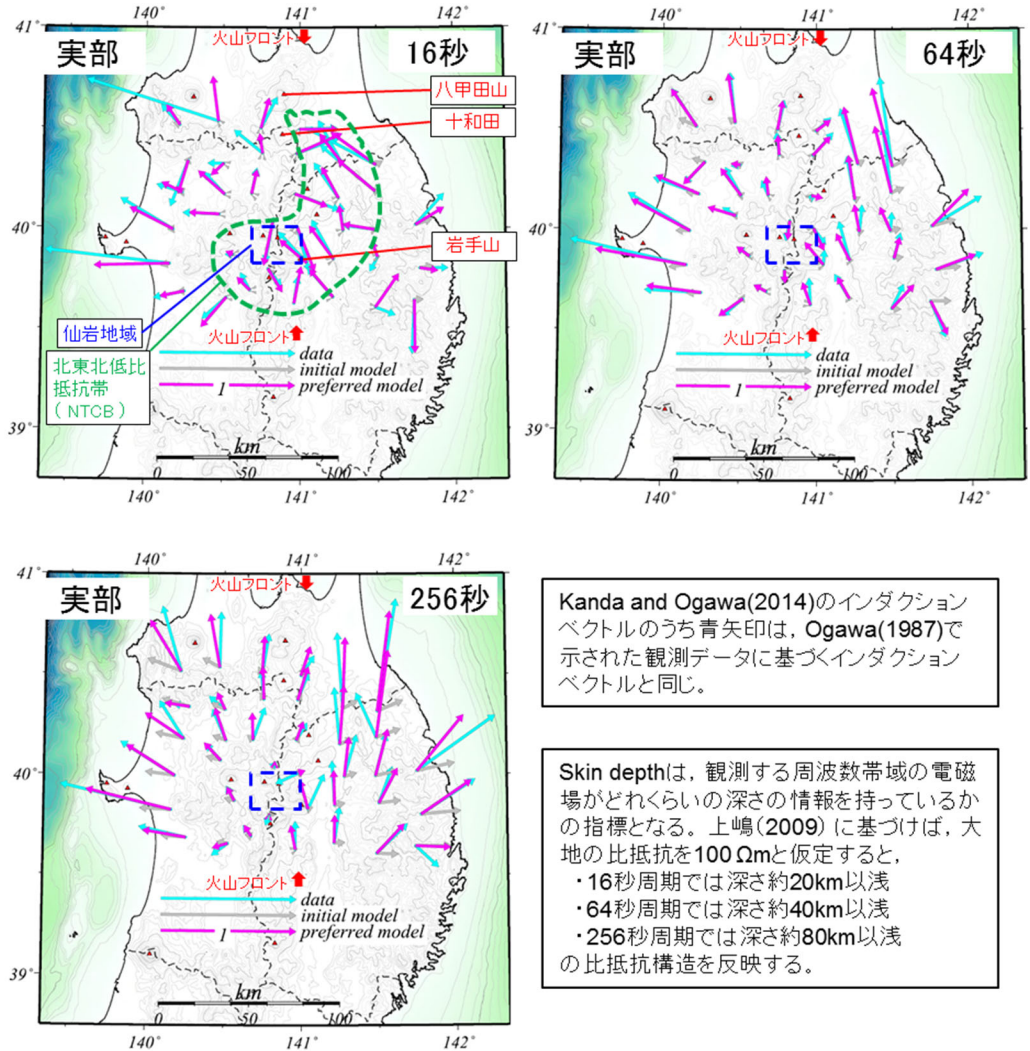
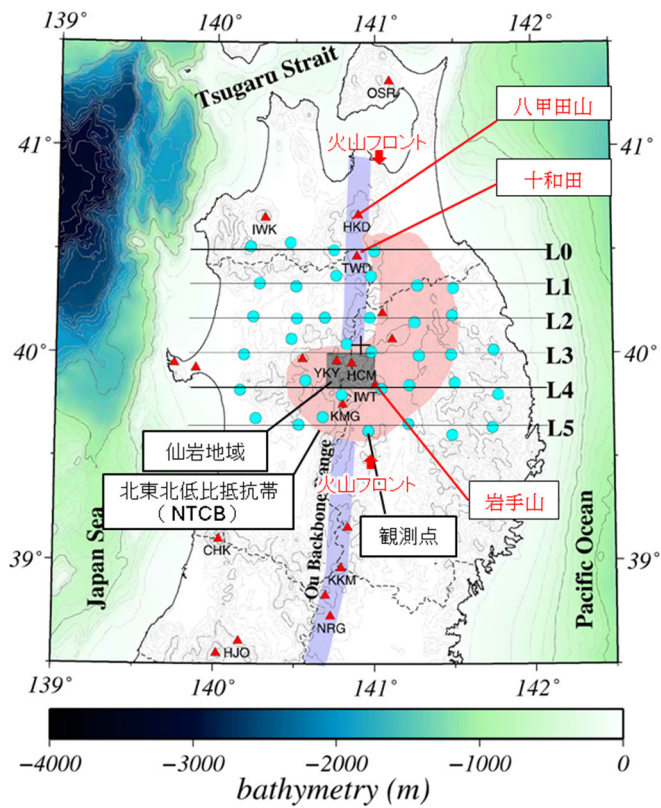
(防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造 (海域拡大 2019 年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図 (解析手法等は Matsubara, 2019⁽⁴⁾に記載)) (2/2)



第4図 Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果(1/2)



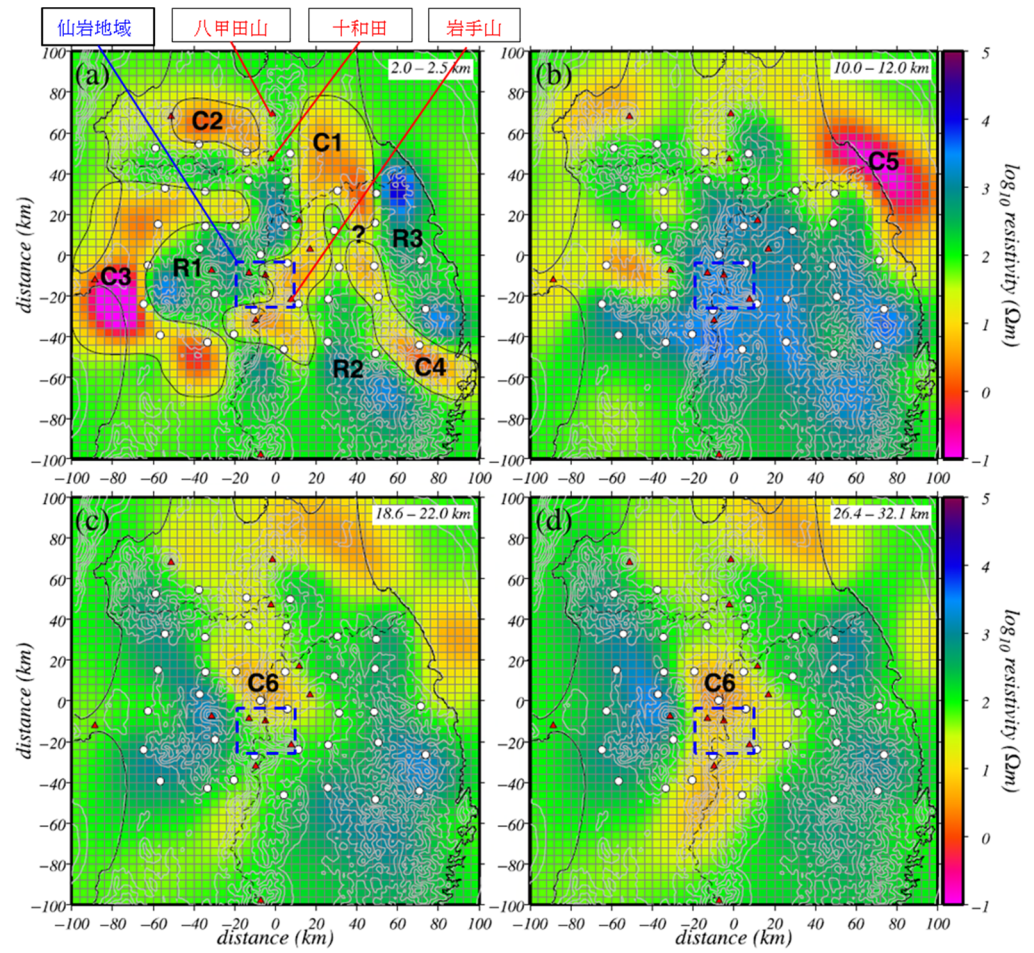
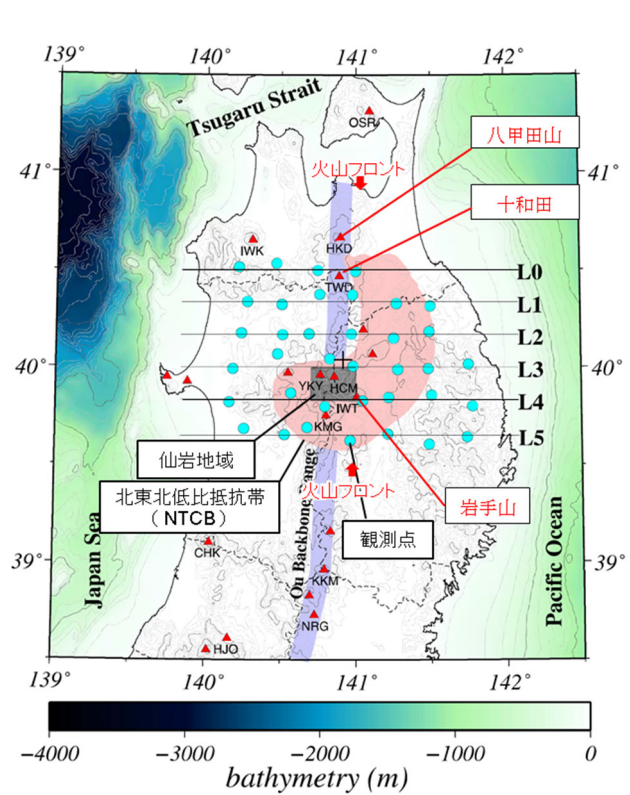
第4図 Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果(2/2)



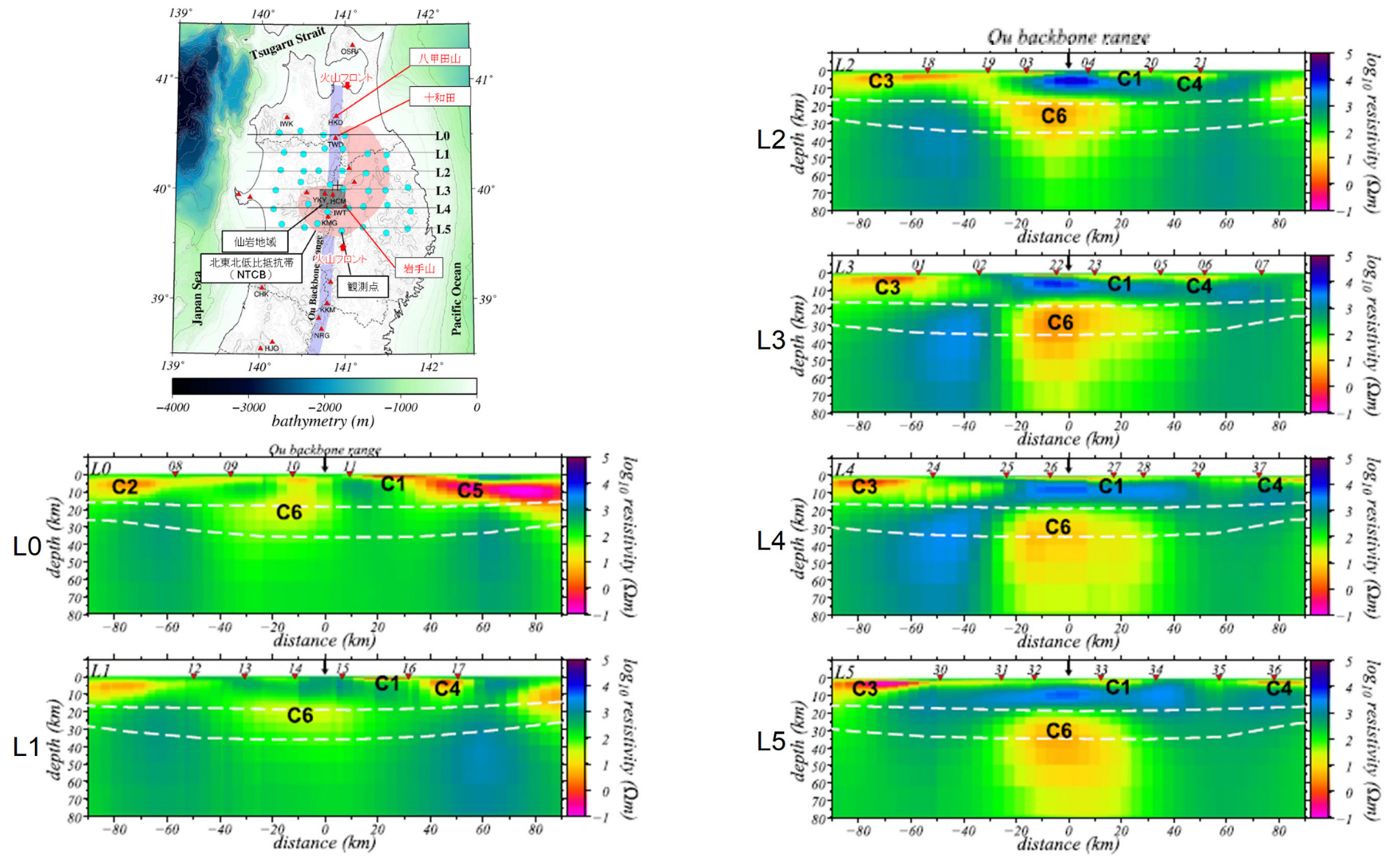
Kanda and Ogawa(2014)のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

Skin depthは、観測する周波数帯域の電磁場がどれくらいの深さの情報を持っているかの指標となる。上嶋(2009)に基づけば、大地の比抵抗を100Ωmと仮定すると、
 ・16秒周期では深さ約20km以浅
 ・64秒周期では深さ約40km以浅
 ・256秒周期では深さ約80km以浅の比抵抗構造を反映する。

第5図 北東北における観測及びモデル化されたインダクションベクトル (kanda and ogawa(2014)⁽⁵⁾に加筆)



第6図 北東北の三次元比抵抗構造 (水平断面) (kanda and ogawa(2014)⁽⁵⁾に加筆) (1/2)



第6図 北東北の三次元比抵抗構造（鉛直断面）（kanda and ogawa(2014)⁽⁵⁾に加筆）（2/2）

b. 地震活動

気象庁一元化震源カタログ（地震月報（カタログ編）⁽⁶⁾（期間：1997年10月～2017年12月）及び気象庁一元化処理震源要素⁽⁷⁾（期間：2018年1月～2018年12月）より作成した十和田付近の震央分布及び地震活動の時間変化を第7図に示す。地震は、十和田の後カルデラ期の最新の噴火（十和田 a）の火口である十和田湖中湖付近及びその周辺の震源深さ 5km～10km 付近に集中する一方で、低周波地震はそれらよりやや深い 25km～35km 付近で発生している。

また、「十和田の火山活動解説資料（平成 26 年 1 月）」（気象庁、2014）⁽⁸⁾によると、2014 年 1 月 27 日昼前から夜にかけて地震活動が活発な状況になったが、27 日の夜から地震回数は減少し、2 月に入ってから概ね静穏な状況であり、低周波地震、火山性微動は観測されていないとしている。また、火山活動に特段の変化はなく、噴火の兆候は認められず、2007 年 12 月 1 日の噴火予報（平常）の発表以降、予報警報事項に変更はないとしている。

c. 地殻変動

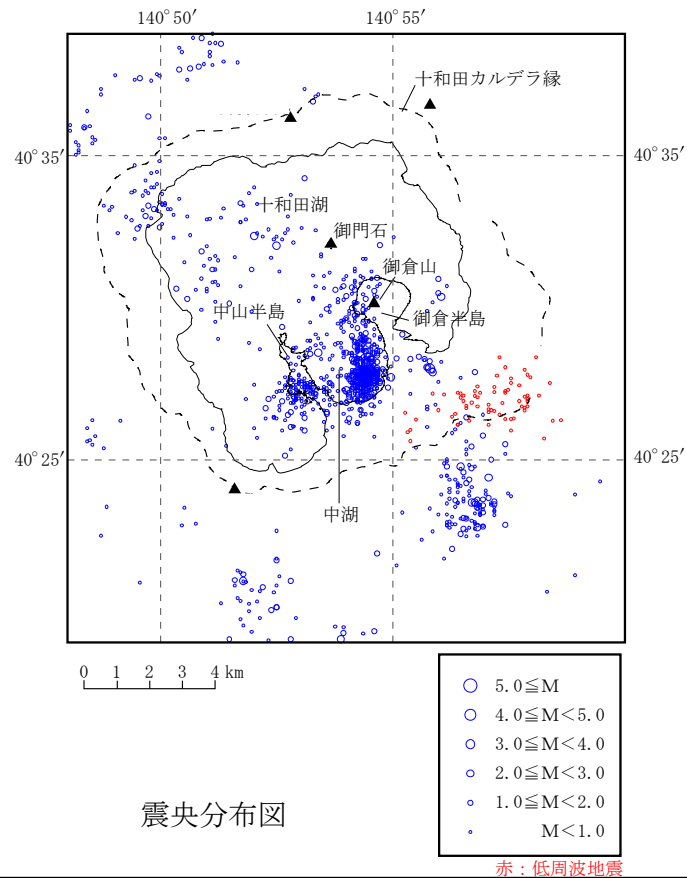
国土地理院（2018）⁽⁹⁾によると、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の余効変動が、東日本の広い範囲でみられるとしている。

国土地理院による電子基準点データから作成した十和田周辺の基準点間の基線長（斜距離成分）の時間変化（期間：2003 年 1 月～2018 年 12 月）を第 8 図に示す。十和田では、2011 年東北地方太平洋沖地震以降の余効変動が継続しているが、地震発生前を含め、十和田を中心とした地域では、この余効変動を超える継続的な変位の累積は認められない。

また、「十和田の火山活動解説資料（平成 26 年 1 月）」（気象庁、2014）⁽⁸⁾において、2014 年 1 月に地震活動が活発化した際の地殻変動観測結果によると、地震増加時及びその前後で十和田付近の地殻変動に変化は認められないとしている。

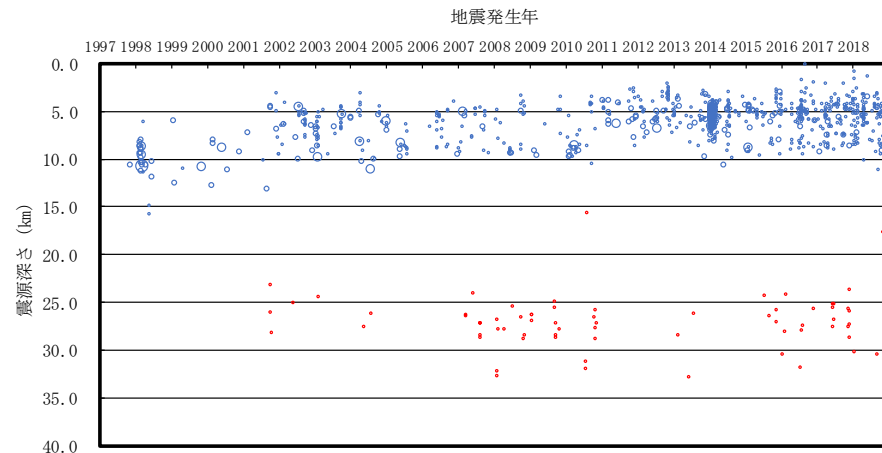
加えて、第 131 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2015）⁽¹⁰⁾によると、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2014 年 9 月 4 日と 2014 年 10 月 16 日）について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第 143 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2019）⁽¹¹⁾においても、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2015 年 10 月 8 日と 2018 年 10 月 18 日）について、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められないとしている。

さらに、国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録を基に作成した、十和田付近の一等水準路線の上下変動（第9図参照）によると、大館付近において局所的な変動はあるが、十和田に最も近い碓ヶ関付近の一等水準点には継続的な変位の累積は認められず、十和田を中心とした継続的な変位の累積は認められない。

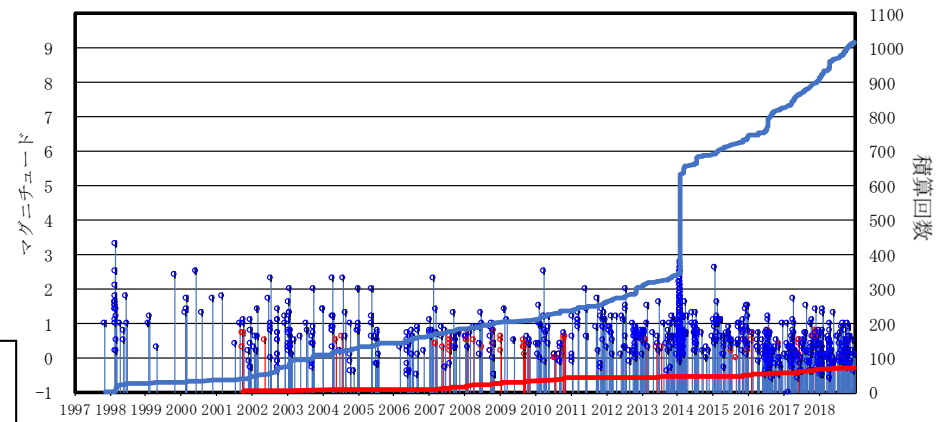


震央分布図

気象庁一元化震源カタログ
 地震月報（カタログ編）（期間：1997年10月～2017年12月）
 気象庁一元化処理震源要素（期間：2018年1月～2018年12月）
 に基づき作成

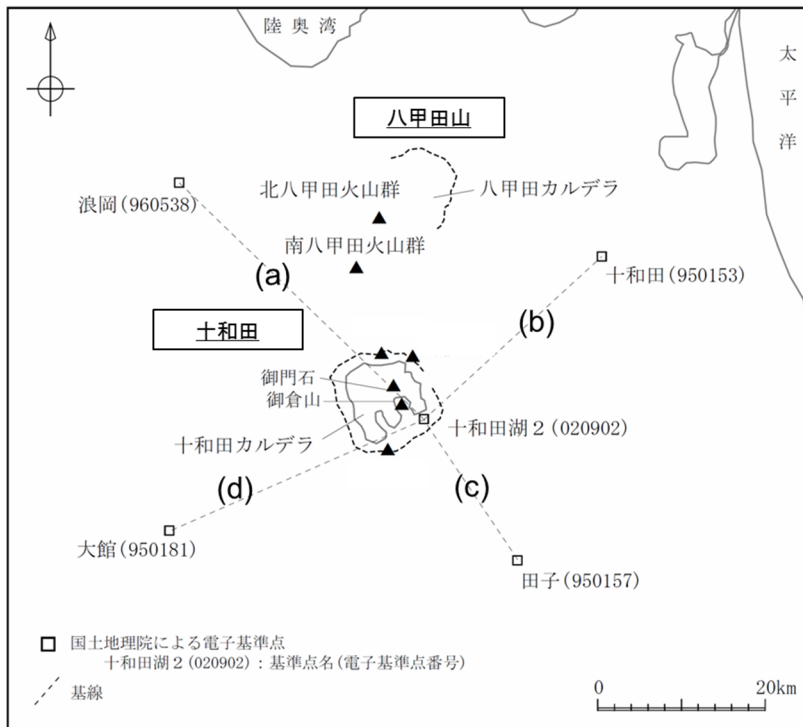


震源深さの時間変化図

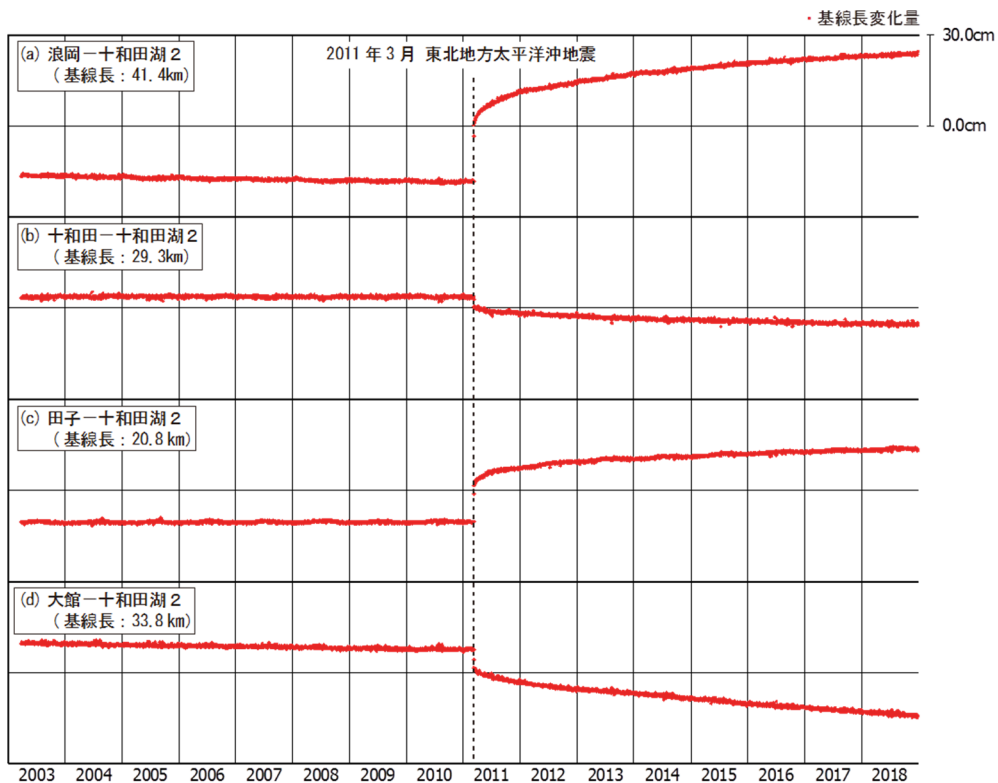


地震活動経過図及び回数積算曲線

第7図 十和田付近における地震活動

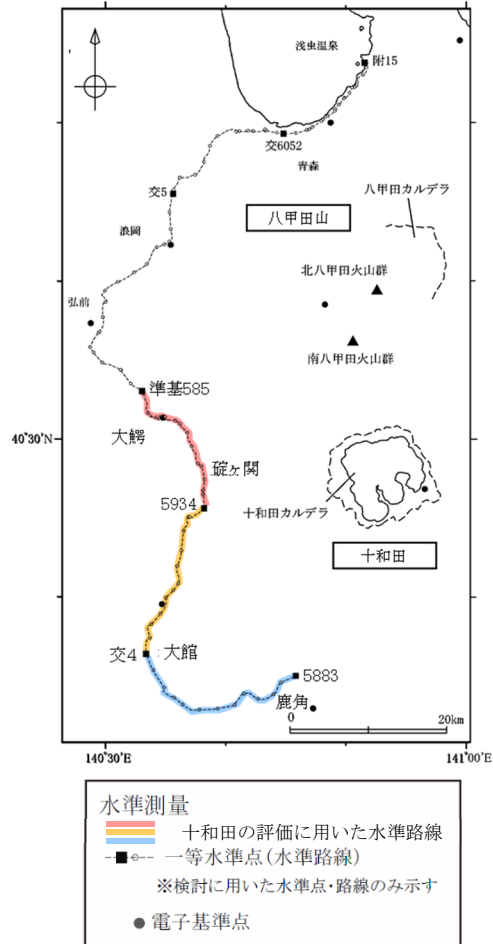


電子基準点及び基線位置図

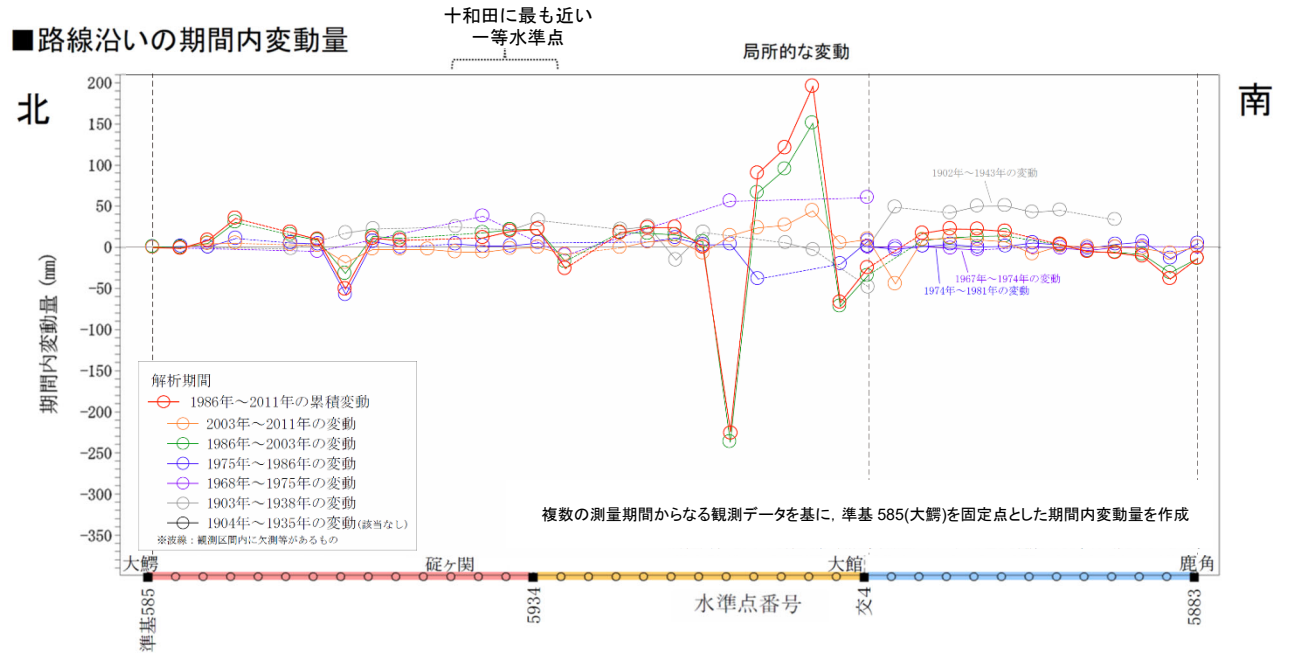


第 8 図 十和田を囲む電子基準点間の基線長の時間変化 (斜距離成分)
 (国土地理院の電子基準点データより作成 (期間 : 2003 年 1 月 ~ 2018 年 12 月))

■水準路線



■路線沿いの期間内変動量



第9図 十和田付近の一等水準路線の上下変動の期間内変動量
 (国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録より作成)

d. 地球物理学的調査の評価

地震波速度構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討の結果、現状、十和田直下の上部地殻内(約 20km 以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。

3. 八甲田山

(1) 地球物理学的調査

地球物理学的調査として、十和田と同様に、地震波速度構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討を実施した。流体の存在に敏感な比抵抗構造と、流体のうちメルトか水か推定可能な地震波速度構造は相補的な関係であるため、これらより、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性を把握した。また、地震活動及び地殻変動に関する調査を行い、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を把握した。

a. 地震波速度構造及び比抵抗構造

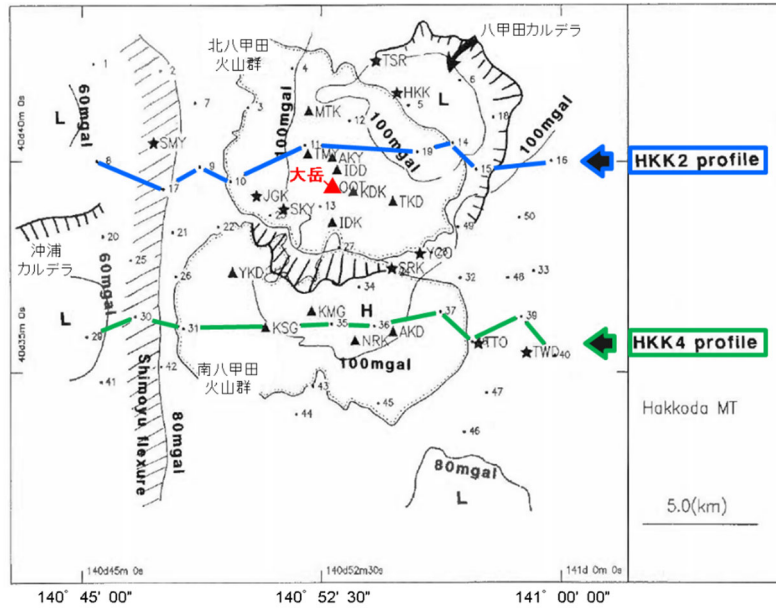
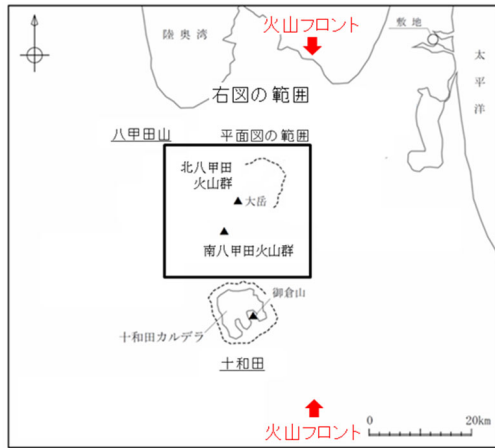
地震波速度構造について、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び低 V_p/V_s は、水の存在を示唆するとしている(第1図参照)。中島(2017)⁽³⁾によると、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾の解析結果等から、東北地方の火山地域の地殻にはいくつかの共通する特徴が存在するとしており、上部地殻内には大規模な (> 10km) マグマ溜まりは存在しないとしている(第2図参照)。

防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大 2019 年版)」(Matsubara et al., 2019)⁽⁴⁾の地震波トモグラフィ解析結果(第3図参照)及び Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果(第4図参照)に基づく、いずれの結果でも八甲田山直下の上部地殻内(約 20km 以浅)に、メルトの存在を示唆する顕著な低 V_p かつ高 V_p/V_s 領域は認められない。

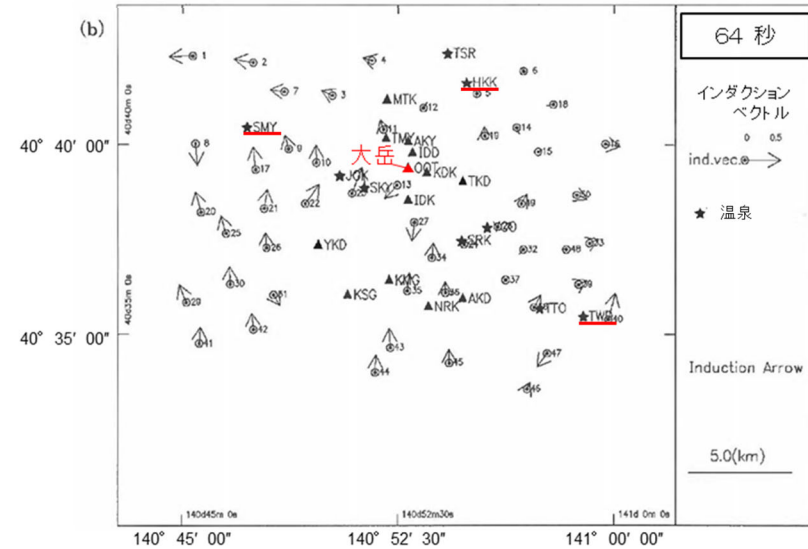
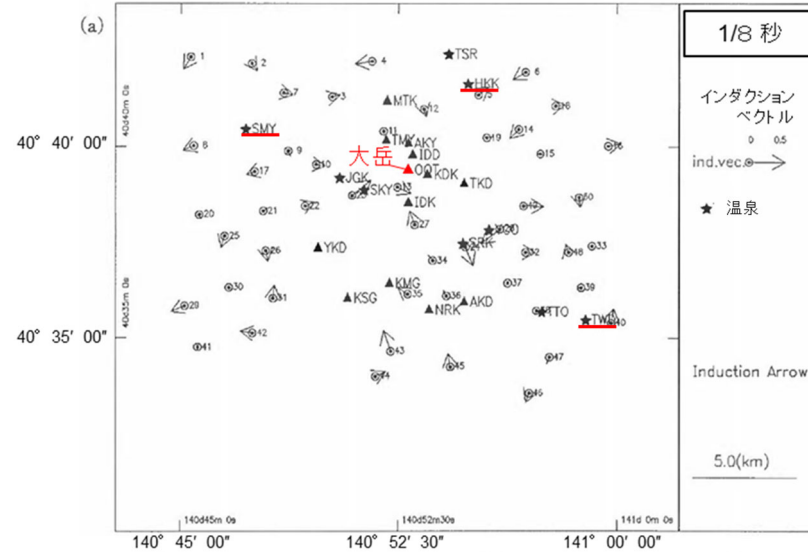
一方、比抵抗構造について、Kanda and Ogawa(2014)⁽⁵⁾によると、インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向があるとしている。小川(1991)⁽¹²⁾によると、

周期 64 秒のインダクションベクトル（第 10 図参照）では津軽海峡の誘導電流の影響で北向き成分が卓越するとしているが、調査域の東半分のインダクションベクトルの北向き成分が小さいことから深部に低比抵抗異常が存在することを示唆しているとしている。また、小川（1991）⁽¹²⁾の広域的な比抵抗構造の影響も考慮した二次元比抵抗構造（第 11 図参照）によると、八甲田地域の深度 10km 以深に低比抵抗帯が存在するとしているが、八甲田山直下の上部地殻内の 10km 以浅に顕著な低比抵抗領域は認められない。

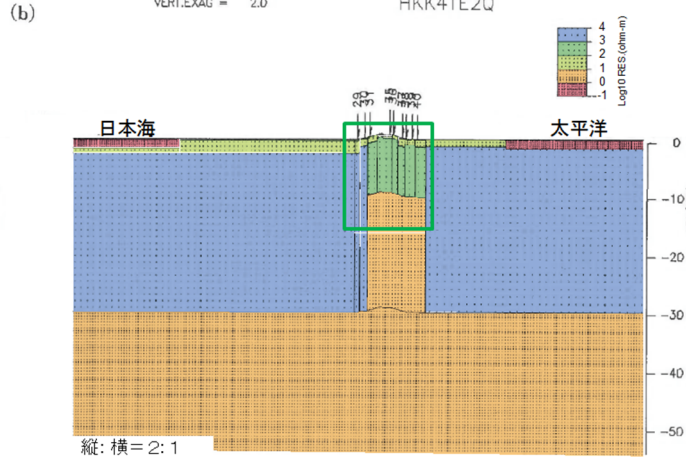
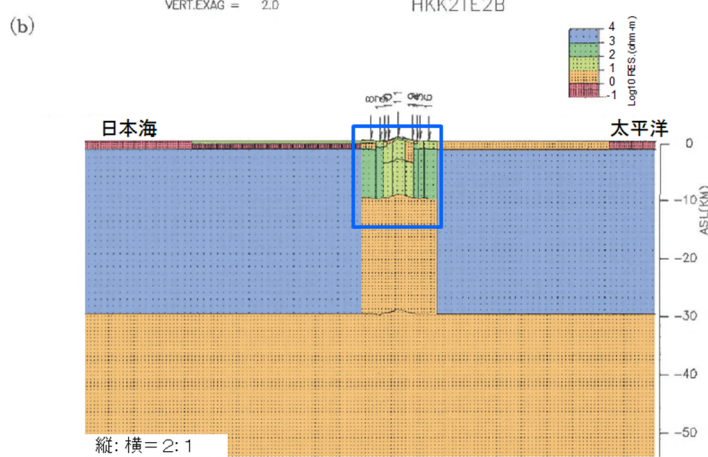
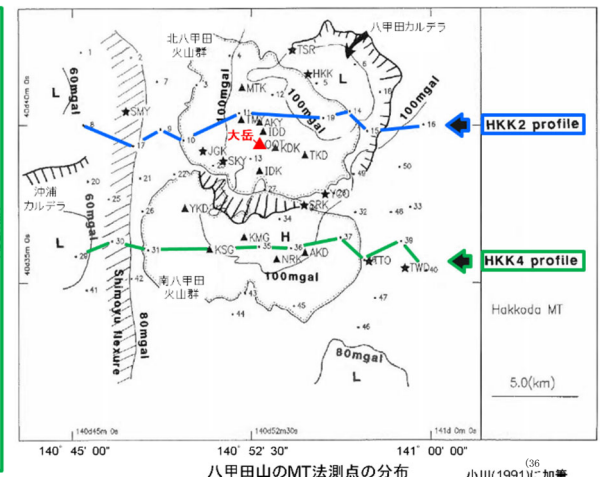
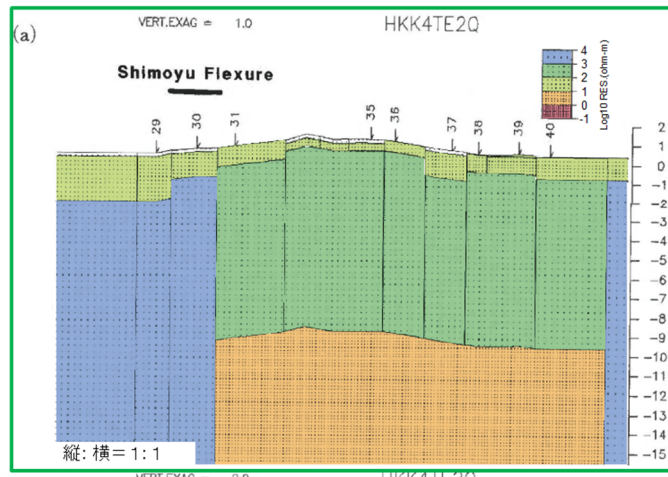
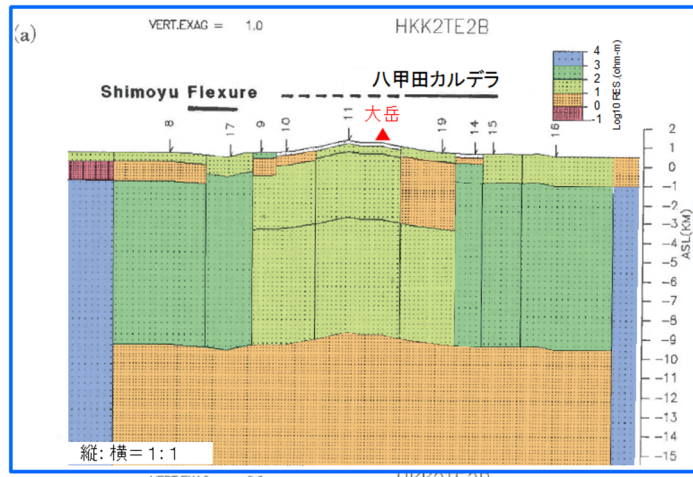
地震波速度構造及び比抵抗構造を統合的に解釈すると、八甲田山直下の上部地殻内の 10km 以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低 V_p かつ低 V_p/V_s であることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高 V_p/V_s かつ低比抵抗領域は認められない。



八甲田山のMT法測点の分布



第 10 図 八甲田山におけるインダクションベクトルの実部の分布 (小川(1991)⁽¹²⁾に加筆)



北八甲田火山群と八甲田カルデラを切る測線 (HKK2)

南八甲田火山群を切る測線 (HKK4)

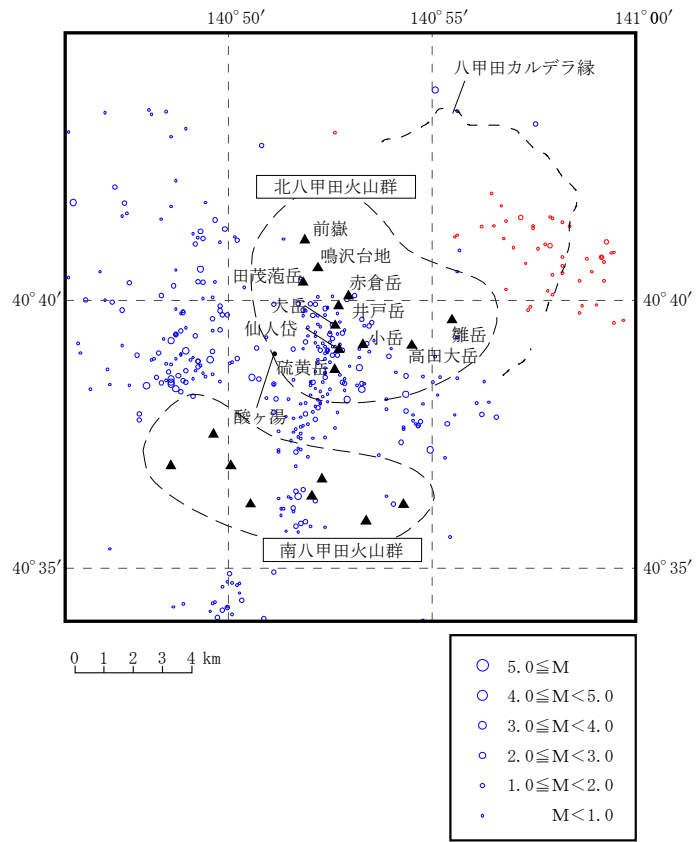
第 11 図 八甲田山の比抵抗構造 (小川(1991)⁽¹²⁾に加筆及び塗色)

b. 地震活動

気象庁一元化震源カタログ（地震月報（カタログ編⁽⁶⁾）（期間：1997年10月～2017年12月）及び気象庁一元化処理震源要素⁽⁷⁾（期間：2018年1月～2018年12月）より作成した八甲田山付近の震央分布及び地震活動の時間変化を第12図に示す。八甲田山においては、通常の地震が観測期間を通じて北八甲田火山群付近の深さ10km以浅に集中している。

また、「八甲田山の火山活動解説資料（令和元年10月7日）」（気象庁、2019）⁽¹³⁾によると、2019年10月7日6時以降、大岳山頂の西約4km、深さ約1km付近を震源とする地震が増加し、14時までに61回発生したとしている。また、2018年4月10日に日回数22回を観測するなど、これまでも周辺で一時的な地震の増加がみられたが、低周波地震及び火山性微動は観測されておらず、地震活動以外に火山活動の活発化は認められないとし、噴火予報（噴火警戒レベル1、活火山であることに留意）の予報事項に変更はないとしている。

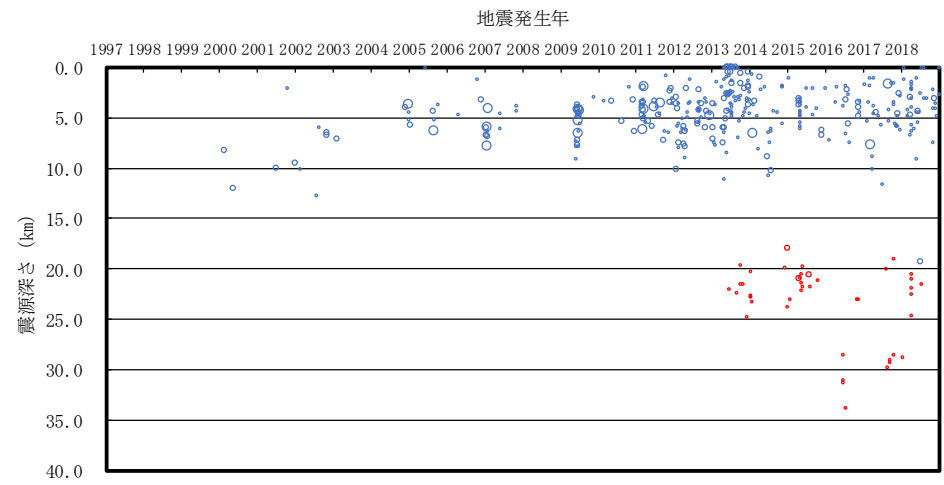
加えて、「火山の状況に関する解説情報（八甲田山第3号）令和元年10月8日16時00分」（気象庁、2019）⁽¹⁴⁾によると、2019年10月7日6時頃から始まった八甲田山周辺での地震は、2019年10月8日10時以降観測されていないとしている。加えて、低周波地震や火山性微動は観測されておらず、地殻変動に火山活動に伴う変化は認められないとしている。また、監視カメラによる観測では、地獄沼付近及び大岳周辺に特段の変化はみられず、火山活動の活発化を示す変化は認められないとしている。



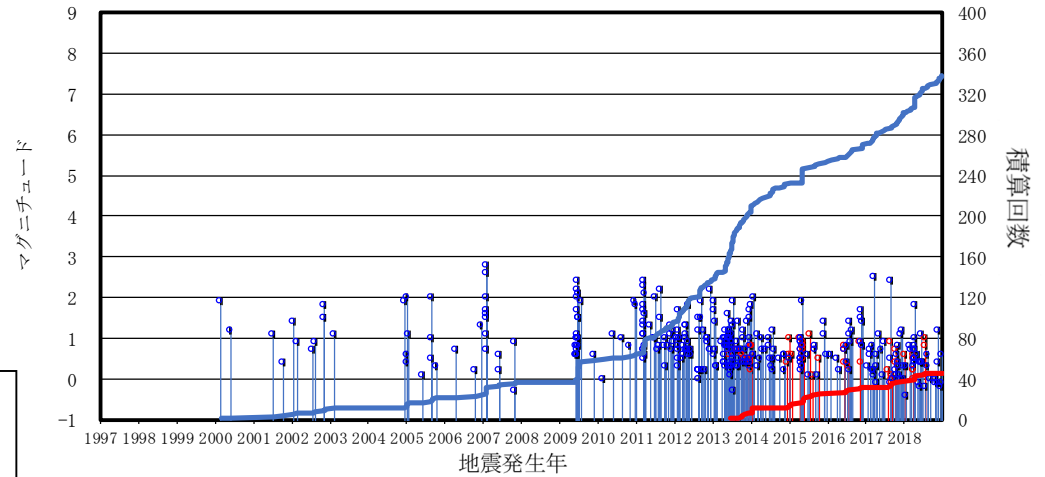
震央分布図

赤：低周波地震

気象庁一元化震源カタログ
 地震月報（カタログ編）（期間：1997年10月～2017年12月）
 気象庁一元化処理震源要素（期間：2018年1月～2018年12月）
 に基づき作成



震源深さの時間変化図



地震活動経過図及び回数積算曲線

第12図 八甲田山付近における地震活動

c. 地殻変動

国土地理院(2018)⁽⁹⁾によると、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震後の余効変動が、東日本の広い範囲で見られるとしている。

国土地理院による電子基準点データから作成した八甲田山周辺の基準点間の基線長(斜距離成分)の時間変化(期間:1997年1月~2018年12月)を第13図に示す。八甲田山では、2011年東北地方太平洋沖地震前において、十和田-黒石及び青森A-十和田の基準点間で継続的な縮みが確認されていた。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震以降、すべての基線において余効変動が継続している。

また、「八甲田山の火山活動解説資料(平成26年6月)」(気象庁、2014)⁽¹⁵⁾によると、2013年2月頃以降わずかな膨張を示す地殻変動がみられていたが、8月頃から鈍化し、11月頃からは停滞しその状態が続いているとしている。

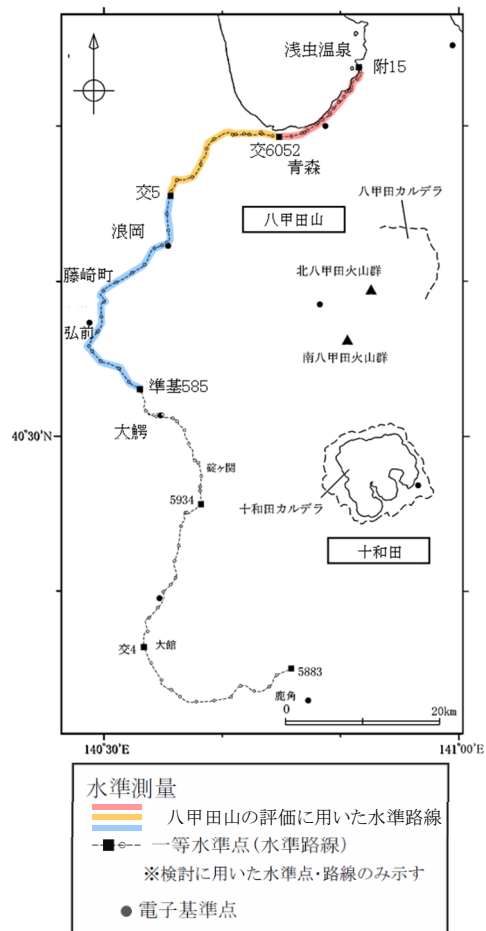
加えて、第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2015)⁽¹⁰⁾によると、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2014年9月4日と2014年10月16日)について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2019)⁽¹¹⁾において、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2015年10月8日と2018年10月18日)について、山頂の西側周辺で衛星視線方向伸長の位相変化が認められるが、気象ノイズによる可能性があるとしている。

さらに、国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録を基に作成した、八甲田山付近の一等水準路線の上下変動(第13図参照)によると、青森及び藤崎町付近において地盤沈下による局所的な変動はあるが、八甲田山に最も近い青森付近の一等水準点には継続的な変位の累積は認められず、八甲田山を中心とした継続的な変位の累積は認められない。

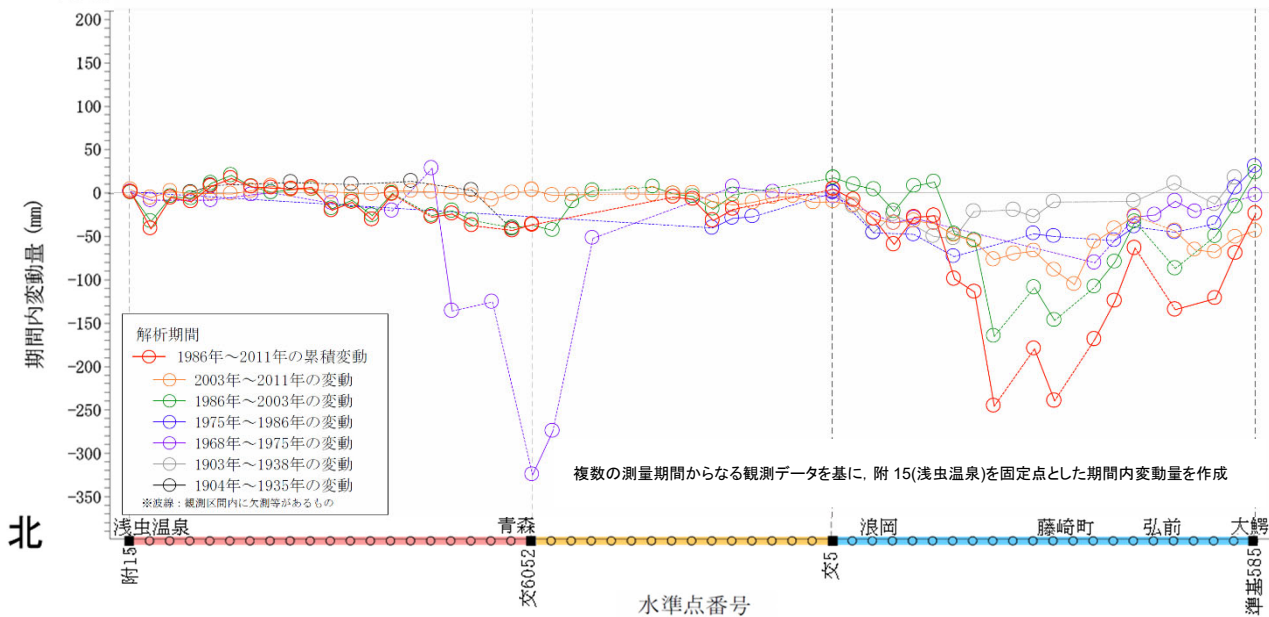
d. 地球物理学的調査の評価

地震波速度構造、比抵抗構造、地震活動及び地殻変動に関する検討の結果、現状、八甲田山直下の上部地殻内(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候も認められない。

■水準路線



■路線沿いの期間内変動量



第13図 八甲田山付近の一等水準路線の

上下変動の期間内変動量 (国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録より作成)

参考文献

- (1) 下司信夫(2016):大規模火砕噴火と陥没カルデラ:その噴火準備と噴火過程、火山、Vol161、No.1
- (2) Junichi Nakajima, Toru Matsuzawa, Akira Hasegawa, Dapeng Zhao(2001):Three-dimensional structure of Vp, Vs and Vp/Vs and beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. Journal of Geophysical Research, Vol. 106, No. B01.
- (3) 中島淳一(2017)東北地方の火山周辺の地震波速度・減衰構造:地殻構造と低周波地震・S波反射面との関係、東京大学地震研究所彙報、Vol. 92
- (4) Makoto Matsubara, Hiroshi Sato, Kenji Uehira, Masashi Mochizuki, Toshihiko Kanazawa, Narumi Takahashi, Kensuke Suzuki, Shin' ichiro Kamiya(2019): "Seismic Velocity Structure in and around the Japanese Island Arc Derived from Seismic Tomography Including NIED MOWLAS Hi-net and S-net Data", Seismic Waves - Probing Earth System, Masaki Kanao, ed. IntechOpen
- (5) Wataru Kanda, Yasuo Ogawa(2014):Three-dimensional electromagnetic imaging of fluids and melts beneath the NE japan arc revisited by using geomagnetic transfer function data. Earth, Planets and Space, Vol. 66
- (6) 気象庁(2019):地震月報(カタログ編). 気象庁ホームページ.
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/bulletin/hypo.html> (参照 2019-03-17)
- (7) 防災科学技術研究所(2019):気象庁一元化処理震源要素、防災科学技術研究所ホームページ.
<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/?LANG=ja> (参照 2019-03-17)
- (8) 気象庁(2014):十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)
- (9) 国土地理院(2018):平成30年5月の地殻変動. 国土地理院ホームページ.
<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2018-goudou0608.html> (参照 2018-06-08)
- (10) 気象庁(2015):第131回火山噴火予知連絡会資料、2015-02-24.
- (11) 気象庁(2019):第143回火山噴火予知連絡会資料、2019-02-27.
- (12) 小川康雄(1991):八甲田火山群の深部比抵抗構造に関する考察、地質調査所報告、No. 275.
- (13) 気象庁(2019):八甲田山の火山活動解説資料(令和元年10月7日)

- (14) 気象庁(2019)：“火山の状況に関する解説情報（八甲田山第3号）令和元年10月8日16時00分発表”。気象庁ホームページ。

http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/volinfo/VK20191008160000_203.html, (参照 2019-11-25)

- (15) 気象庁(2014)：八甲田山の火山活動解説資料（平成26年6月）

許可基準規則解釈第 10 条第 1 項
に関する補足説明

目 次

1. 覆土の施工実現性.....	1
(1) 現地施工試験の概要.....	1
(2) 混合土の製造について.....	3
(3) 現地施工試験の結果.....	6
(4) 特性の異なるベントナイト混合土を用いた現地施工試験結果について.....	7
2. 覆土の施工時における品質管理(案).....	8
(1) 完了確認時における品質管理項目.....	8
(2) 材料納入時、覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目.....	9
3. 諸外国との比較.....	13
(1) 日本の廃棄物埋設施設.....	13
(2) 諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設との比較.....	13

1. 覆土の施工実現性

現地施工においても室内試験による設計仕様とおりの覆土を製造及び施工でき、目標の透水係数を達成できる見込みがあることを確認する。

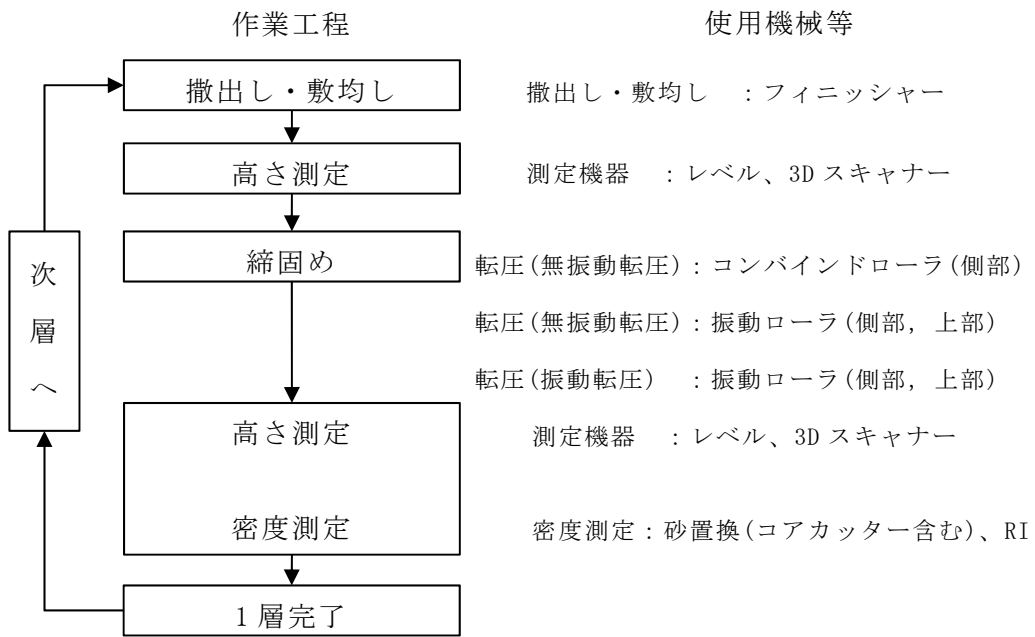
(1) 現地施工試験の概要

覆土の施工実現性を確認するための現地施工試験を実施した。試験結果を整理し、室内試験と同等の性能を確保できることを確認する。施工試験の実施に際しては、一般土工として広く適用されている道路土工要綱⁽¹⁾の他に、本施設と同様に透水性に留意している土構造物として河川堤防に着目した河川土工マニュアル⁽²⁾を参照し、覆土の設計要求性能である低透水性を満足するための締固め機械、締固め厚さ、締固め回数及び含水比を確認する。

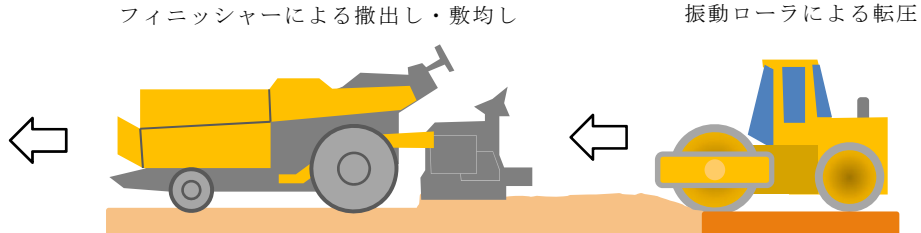
第1図に難透水性覆土の試験施工フローを、第2図に難透水性覆土の施工イメージ図を示す。また、第1表に現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較を示す。

河川土工マニュアル⁽²⁾からの改良点として、覆土を平坦かつ均質に施工するため、フィニッシャーを用いて撒出し及び敷均しを行い、測定機器を用いて撒出し厚さ（10cm/層）を確認する。敷均し後、河川土工マニュアル⁽²⁾で一般的と示されている重機を用いて締固めを行い、1層目の覆土を設置する。品質確認のため、高さ及び密度をそれぞれ測定し、2層目以降を同様に実施する。

難透水性覆土（Ca型30%、初期含水比 $=w_{opt}+4\%$ 、撒出し厚さ10cm/層）を対象とした現地施工試験の概要を第2表に示す。第2表の小型振動ローラはピット側部を、大型振動ローラはピット上部を想定している。



第 1 図 難透水性覆土の試験施工フロー



第 2 図 難透水性覆土の施工イメージ図

第1表 現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較

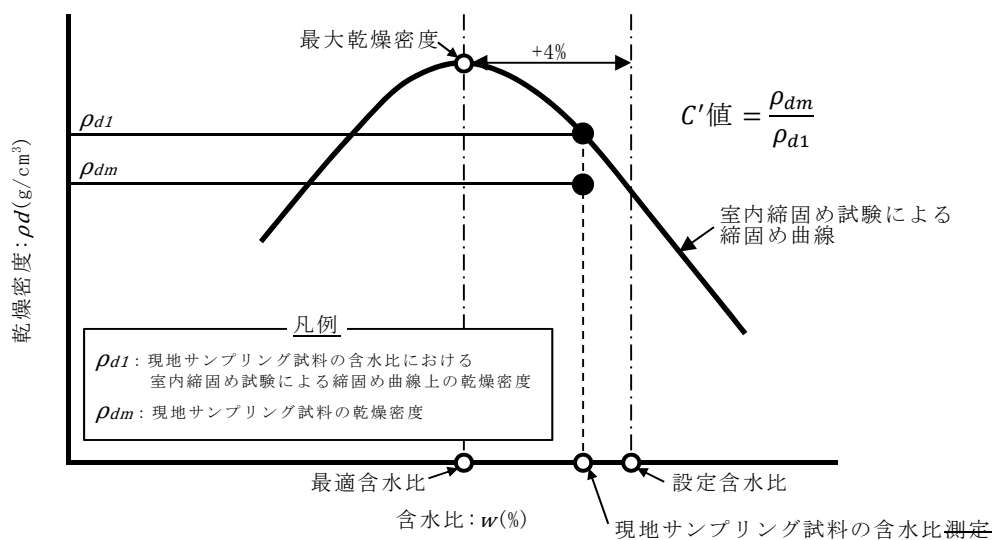
比較項目	現地施工試験	一般土工（河川土工マニュアル ⁽²⁾ ）
撒出し 敷均し	撒出し厚さ：10cm 施工機械：フィニッシャー	撒出し厚さ：35cm～45cm 施工機械：ブルドーザ 他
締固め	締固め回数：6回～8回 施工機械：振動ローラ	締固め回数：10回程度以下 施工機械：振動ローラ 他

第2表 現地施工試験一覧

No.	MBC* ¹ (mmol/100g)	透水係数(m/s)	締固め規定値 C' 値(%) * ²	施工機械等
1	123	6.4×10^{-12} ～ 7.0×10^{-11} 【n=40】	95～100 (平均 97) 【n=200】	小型振動ローラ 1.5t 幅 2.0m×長さ 9m×10層 無振動転圧 2回、振動転圧 6回
2	123	4.4×10^{-12} ～ 9.7×10^{-12} 【n=8】	99～104 (平均 102) 【n=20】	大型振動ローラ 8.8t 幅 3.0m×長さ 6m×2層 無振動転圧 2回、振動転圧 8回

*1：メチレンブルー吸着量であり、モンモリロナイトの量を表す指標である。

*2：現地サンプリング試料の含水比における締固め曲線上の乾燥密度 ρ_{d1} に対する現地サンプリング試料の乾燥密度 ρ_{dm} の比率で表される規定値である（第3図参照）。



第3図 締固め規定値の概要

(2) 混合土の製造について

混合土の製造はバッチ式ミキサー（容量 2,250L、混練時間 5 分程度）で行った。ベ

ントナイト混合土の仕様を第3表に、主要材料を第4表に示す。

ここで、室内成型供試体を用いて、ベントナイト(クニボンド相当)を使用したベントナイト混合土で構成される難透水性覆土を対象に、ベントナイト混合率及び含水比をパラメータスタディした透水試験(地盤工学会基準 JGS 0313-2018)の結果を第4図に示す。透水係数と含水比の関係において、その曲線の極小を生じる含水比は、一般に最適含水比よりわずかに高い含水比になることで知られており⁽³⁾、本試験結果においても同様の傾向を確認できる。よって、覆土において目的の透水係数を得るためには、ベントナイト混合率及び含水比を管理する必要がある。

締固め施工後のサンプリングにより、ベントナイト混合率(ここでは代替指標として細粒分含有率)及び含水比に対して、品質確認を行った。混合土の製造確認結果を第5図及び第6図に示す。ベントナイト混合率は30wt%±2%程度、含水比は $w_{opt}+4%$ ±2%の範囲であり、設計仕様の配合を確保した状態で混合できていることが分かる。

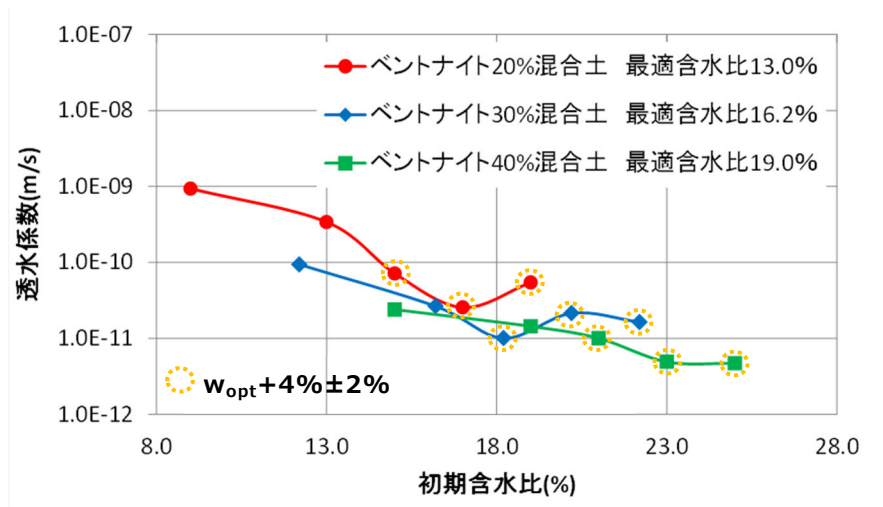
第3表 ベントナイト混合土の仕様

項目	仕様	備考
ベントナイト混合率	30%	—
含水比	$w_{opt}^{*1}+4%\pm 2%$	$w_{opt}+4%=19.6%$

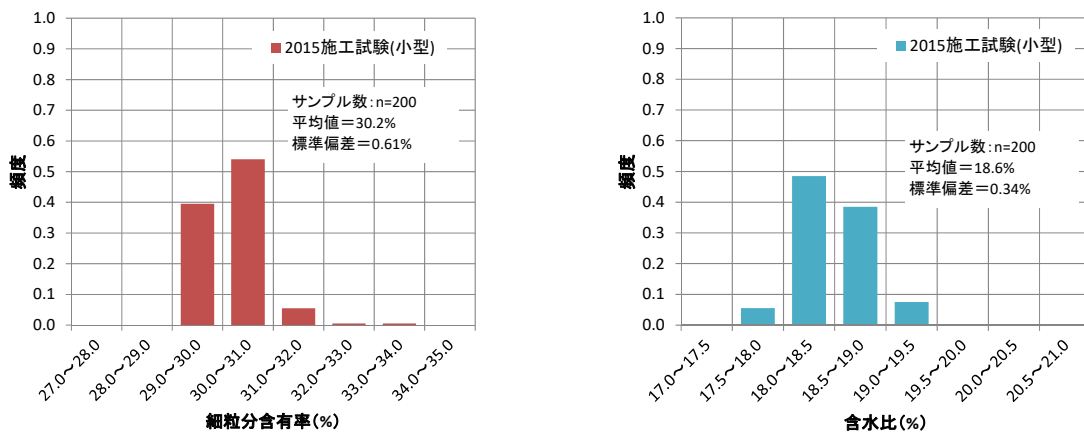
*1：最適含水比

第4表 主要材料

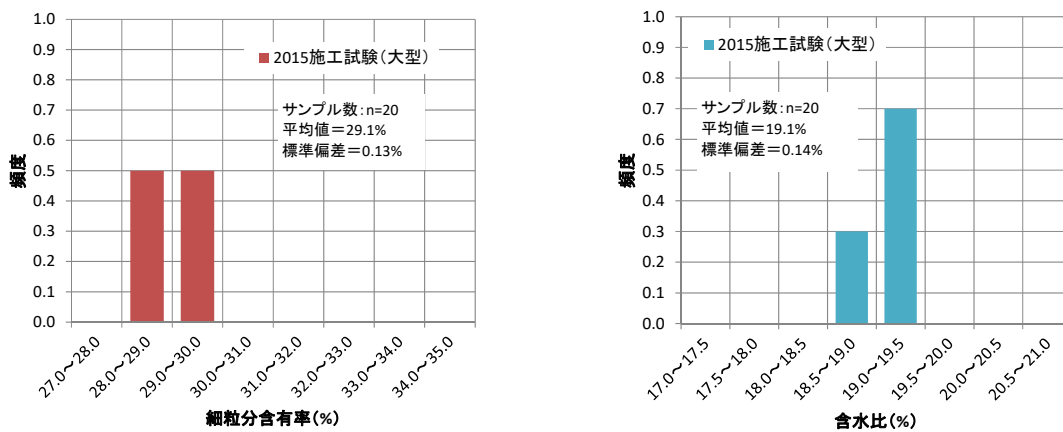
項目	仕様
Ca型ベントナイト(クニボンドRW)	MBC120以上
コンクリート用細骨材	青森県三沢市砂森産



第 4 図 ベントナイト混合率ごとの含水比と透水係数の関係



第 5 図 混合土の製造確認結果：小型施工機械分

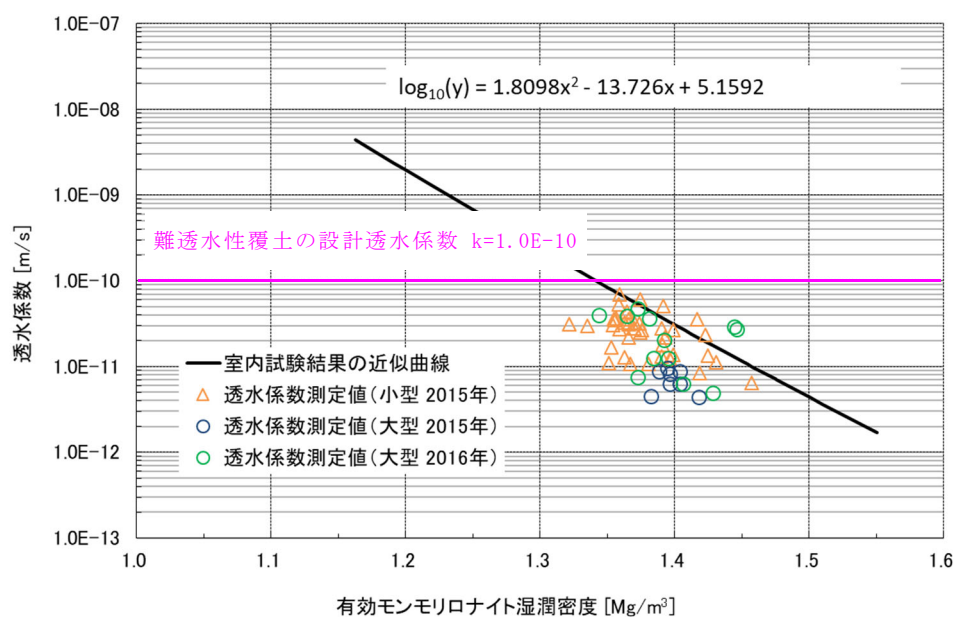


第 6 図 混合土の製造確認結果：大型施工機械分

(3) 現地施工試験の結果

有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係（試験結果）を第7図に示す。
透水係数は $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ 以下を確保している。

以上のことから、現地施工においても室内試験による設計仕様とおりの覆土を製造及び施工でき、目標の透水係数を達成できる見込みがあると考えられる。

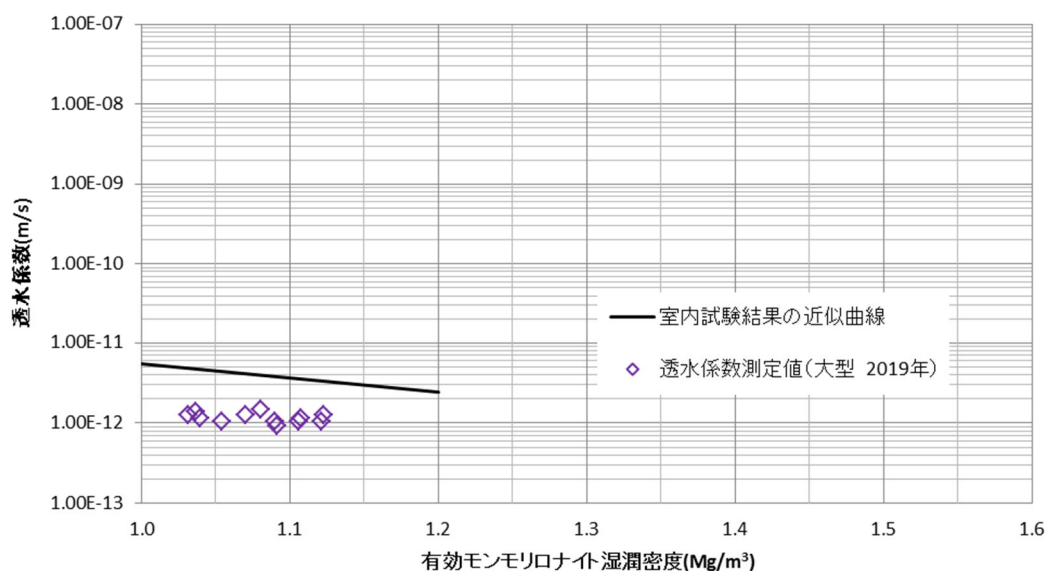


第7図 有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係
(現地施工試験結果プロット、Ca型ベントナイト混合土)

(4) 特性の異なるベントナイト混合土を用いた現地施工試験結果について

覆土材料は、材料調達状況を考慮した実際の覆土施工時に行う施工試験結果を踏まえて、材料及び施工のばらつきを考慮して最終決定する。そのため、特性の異なるベントナイト混合土（Na型ベントナイト 20wt%と砂 80wt%の混合土、初期含水比は最適含水比 w_{opt} 、撒出し厚さ 10cm/層）による現地施工試験結果を整理する。

覆土施工試験は、前項までと同様の施工フローに基づき実施した。試験ヤードからサンプリングした供試体における有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係を第 8 図に示す。透水係数は $1.0 \times 10^{-11} \text{m/s}$ を下回り、十分な低透水性があることを確認した。



第 8 図 有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係
(現地施工試験結果プロット、Na型ベントナイト混合土)

2. 覆土の施工時における品質管理(案)

第5表に難透水性覆土の品質管理項目(案)を示す。品質管理は、「材料納入時」、「覆土材料製造時」、「覆土施工時」及び「完了確認時」の各段階において、所定の管理項目を実施する。

なお、ここで示す品質管理(案)は現在の覆土仕様から想定しているものであり、設計透水係数及び設計厚さを確保するための詳細な品質管理方法(管理項目、管理基準、管理方法及び管理頻度)については、実際の覆土施工時に行う施工試験結果を用いて、平均値及びばらつき(分散)による巨視的な性能を考慮して最終決定する。その際、本書で示す考え方を基本として品質管理方法を設定するものとする。

(1) 完了確認時における品質管理項目

(i) 有効モンモリロナイト湿潤密度の確認

難透水性覆土の主要機能である透水係数は、透水試験により確認するには時間が数ヶ月必要となることから、ベントナイト混合率及び含水比のばらつきを包含した形で評価可能な有効モンモリロナイト湿潤密度を確認することとする。

「1. (2) 混合土の製造について」に示すとおり、低配合ベントナイト混合土の透水係数は、ベントナイト混合率及び含水比の影響感度が高いことから、それらをパラメータとする有効モンモリロナイト湿潤密度を用いて透水係数を整理することで、製造時や締固め施工時のばらつきを包含した整理が可能であると考えられる。

なお、第7図及び第8図に示す室内試験結果より推定した透水係数の近似式と現地施工試験サンプリングによる透水係数試験結果を比較すると、現地施工試験による透水係数値は、おおよそ室内試験結果による近似式の透水係数値以下となっている。このことより、有効モンモリロナイト湿潤密度を透水係数の代替指標とすることで透水係数の品質管理をすることができると考えられる。

なお、室内試験結果と現地施工試験結果の比較については、限定的な条件(ベントナイト混合率20%~40%、含水比 $W_{opt}-4\% \sim W_{opt}+6\%$)における比較であることから、実際の覆土施工時に行う施工試験結果を用いて、品質管理方法の最終決定を行うものとする。

(ii) 原位置サンプリング試料による透水係数の確認

原位置サンプリング試料を用いた透水試験結果より、巨視的透水係数として設計透水係数が確保されていることを確認する。

(2) 材料納入時、覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目

完了確認時における品質管理項目である有効モンモリロナイト湿潤密度は、下式で表される。

$$\rho_{emt} = \rho_{em} + \frac{\frac{100}{100 - R_s} w \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここに、

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

ρ_{emt} : 有効モンモリロナイト湿潤密度 (Mg/m³)

ρ_{em} : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_b : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

w : 含水比 (%)

C_m : モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m³)

ρ_d : 乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_s : 骨材の土粒子密度 (Mg/m³)

R_s : 骨材混合率 (%)

これより、有効モンモリロナイト湿潤密度を定義するための管理項目として、「含水比」「モンモリロナイト含有率（ベントナイト混合率、メチレンブルー吸着量）」、「乾燥密度（現場密度）」、及び「土粒子密度」があげられる。

よって、その他の品質管理では、「覆土完了時」に所定の品質を確保できるように「材料納入時」、「覆土材料製造時」及び「覆土施工時」の各段階において、第5表に示す所定の管理を実施することにより、有効モンモリロナイト湿潤密度の確認を間接的に行う。

この管理基準は、「覆土完了時」の覆土全体の巨視的透水係数が所定の値（ 1.0×10^{-10} m/s）以下となるような目標値として設定する。透水係数と各種代替指標との関係

性は、実際の覆土施工時に行う施工試験で確認を行う。

また、第 5 図及び第 6 図に示す混合土の製造確認結果より混合土は均質に作製できていることから、第 5 表における覆土施工時のばらつきを確認することで、覆土内に連続的な弱部がないことを確認する。

なお、巨視的透水係数は平均透水係数よりも大きい値となるのが一般的であることから、巨視的透水係数及び平均透水係数のどちらも $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下となる。

第5表 難透水性覆土の品質管理項目(案)

施工フロー	対象	管理項目	管理基準	管理方法		
(1) 材料納入 	ベントナイト	(1)-①	基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	ミルシート確認	
		(1)-②	モンモリロナイト 含有量	所定のメチレンブルー吸着量以上	メチレンブルー 吸着試験	JIS Z 2451:2019
	購入砂	(1)-③	基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	ミルシート確認	
(2) 覆土材料製造 	混合土	(2)-①	材料構成比	所定の構成比	混合前の計量	—
		(2)-②	含水比	所定の含水比	含水比試験	JIS A 1203:1999
		(2)-③	ベントナイト 混合率	所定のベントナイト混合率 ※サンプリング試料において一定のベント ナイト混合率であることを確認し、均質に混 合されていることを確認する	細粒分含有試験	JIS A 1223:2009
(3) 覆土施工 	混合土	(3)-①	1層当たり 撒き出し厚	所定の厚さ かさ密度測定 ※フィニッシャーを用いて施工することに より覆土の均質性を確保	測量 密度, 含水比測定	レーザ測量等
		(3)-②	1層当たり 仕上がり厚	所定の厚さ	測量	レーザ測量等
		(3)-③	締固め回数	基準密度を満たす回数	目視	記録管理
		(3)-④	施工範囲	所定の範囲・位置に施工されていること	測量	レーザ測量等
		(3)-⑤	現場密度	所定の現場密度	砂置換法 RI 測定	JIS A 1214:2013 JGS 1614-2012
(4) 完了確認 ① 性能確認 サンプルングにより有意な水みちを形成することを避けるため、サンプルング位置が深さ方向で連続しないことに留意し、埋戻しには元の覆土と同等以上の低透水性の材料を用いる。	混合土	(4)-①	透水係数	所定の透水係数	一軸透水試験	JGS 0312-2018
				所定の有効モンモリロナイト湿潤密度	有効モンモリロナイト湿潤密度を算定	—

参考文献

- (1) (社)日本道路協会(2009)：道路土工要綱
- (2) (財法)国土技術研究センター(2009)：河川土工マニュアル
- (3) (社)土質工学会(1991)：土の締固めと管理

3. 諸外国との比較

(1) 日本の廃棄物埋設施設

本施設は、廃止措置の開始後において、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しを得る必要がある。よって、地表面に対し離隔を図り、自然事象(隆起・侵食等)及び人為事象によるリスクを低減することが望ましい。このため、埋設設備は岩盤(鷹架層)を掘り込んで設置することとした。その結果、本施設は諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設と異なり、地下水面より下に埋設設備を設置し、難透水性覆土で覆う構成としている。

(2) 諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設との比較

本施設の人工バリアが、合理的かつ利用可能な最善の技術(BAT: Best Available Technique)を使用して施工されていることを確認するため、諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設を調査した。

比較対象として、廃棄体処分量及び総放射エネルギーが同等か上回る4ヶ国を選定し、第6表に示す。

選定した各国の処分施設の人工バリアの仕様を第7表に示す。

コンクリートピットに関しては、各施設ともに鉄筋コンクリート製であり、部材厚は35cm～70cmである。本施設のうち、鉄筋コンクリート製である埋設設備の部材厚は約30cm～60cmであり、要求する力学的安定性及び遮蔽性としての十分な厚さを有していると考えられるため、各国に対し本施設は同等である。

充填材に関しては、各国では砂利若しくはセメント系材料を用いているのに対し、本施設では充填性に配慮した高流動モルタルを使用している。埋設設備内に有害な空隙を残さないようにし、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制する目的に配慮した材料を用いているため、各国に対し本施設は同等以上であるといえる。

覆土に関して、材料については、本施設及び各国ともに粘土系材料及び土砂を用いている。厚さについては、各国においては3m～6m程度である。透水係数については、本施設の難透水性覆土の値が各国の粘土層に対し1桁程度小さいものである。これらについては、本施設を地下水面下に設置することから、透水特性及び長期機能維持特性を考慮した設計の結果であり、諸外国と同等以上のものである。

止水対策に関しては、各国では防水対策を施しているのに対し、本施設では外周

仕切設備及び覆いにおいてひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とすること及び内部防水を実施することとしている。覆土完了までの期間において漏出防止機能として廃棄体と水の接触を抑制する目的に応じた方法を選定している。

排水・監視設備に関しては、本施設及び各国ともに排水・監視設備が存在し、廃棄物と接触して発生した汚染水を排水する機能を有する施設もあることから、各国に対し本施設は同等であるといえる。

以上のことから、本施設の人工バリアに関しては、各国に対して遜色ない技術が用いられているといえる。諸外国では地下水面より上に埋設施設を敷設しているのに対し、本施設は地下水面以深に埋設施設を敷設しているため、施設全体に関して単純な比較を行うことは難しいが、埋設設備については、使用材料及び部材厚は諸外国と同程度である。また、覆土については、地下水面下への設置に応じて、透水特性に優れた設計を行っている。

第6表 本施設及び諸外国の処分事業の結果の整理一覧表*1

対象施設 調査項目	日本	フランス	イギリス	スペイン	ベルギー	本施設と の比較
	六ヶ所村 日本原燃	オーブ処分場	ドリッグ処分場	エルカブリラ処分場	デッセル処分場	
概要	操業中(1992～) 浅地中コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体間をモルタル 充填、覆土 地下水面下に敷設	操業中(1992～) 半地下式コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体 地下水面上の粘土層に敷設、 300年管理する	操業中(1959～) 第8トレンチ以降、浅地中コ ンクリートポルト処分 ドラム缶廃棄体を圧縮シコ ンテナへ格納、コンクリート 充填 地下水面上に敷設	操業中(1992～) 浅地中コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体 地下水面上の結晶欠岩系の 岩盤に敷設	建設計画中 浅地中コンクリートモジュ ール処分 ドラム缶廃棄体をモルタル でブロック化 地下水面上に敷設	同等
廃棄体形態	廃棄物をドラム缶に収納、モ ルタル等で固型化	ドラム缶に廃棄物を収納、圧 縮後、400Lドラム缶に収納、 セメントグラウトで固型化 等	廃棄物を金属製の箱やドラ ム缶に収納、圧縮し、コンテ ナに圧縮体を収納・コンクリ ートで固型化	廃棄物を220Lドラム缶に収 納、一時貯蔵 コンクリート容器に収納、モ ルタルで固型化	コンクリートケーシングに 廃棄物ドラムを収納 空隙にセメントモルタルで 固型化	
処分深度 (参考)	地下水面より下	地下水面より上	地下水面より上	地下水面より上	地下水面より上	本施設のみ地下水 面下

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

第7表 本施設及び諸外国の人工バリア仕様の整理一覧表*1

対象施設 調査項目	日本	フランス	イギリス	スペイン	ベルギー	本施設と の比較
	六ヶ所村 日本原燃	オーブ処分場	ドリッグ処分場	エルカブリル処分場	デッセル処分場	
施設仕様	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 60cm (例として3号廃棄物埋設地を示す)	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 50cm	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 35cm	材料 コンクリート (鉄筋コンクリート製と推定) 代表部材厚 60cm	材料 鉄筋コンクリート 代表部材厚 70cm	同等
充填材材料 (充填性)	高流動モルタル	砂利あるいはコンクリート	free draining granular material (砂利等と推定)	砂利	モルタル	同等以上
覆土の仕様	材料：ベントナイト混合土、現場発生土 厚さ：難透水性覆土2m以上 下部覆土2m以上 透水係数：難透水性覆土 1.0×10^{-10} m/s 以下 下部覆土 1.0×10^{-8} m/s 以下	材料：土、砂、粘土 厚さ：表土層4-6m 透水係数： 10^{-5} m/s	材料：ベントナイト、砂、砂利、岩、土 厚さ：工学キャップの厚さ3m 透水係数：(具体的記載無し 材料が当施設と同等であるため、透水係数も同程度だと考えられる)	材料：表層土、粗礫、整粒砂、圧密施工粘土、砂、 厚さ：約3m 透水係数：粘土層 10^{-9} m/s 覆土の第1層 10^{-4} m/s	材料：砂、砂利、ローム層、粘土 厚さ：約4.5mを想定 透水係数： 粘土ライナー(GCL) 10^{-9} m/s	同等
止水対策	外周仕切設備及び覆いのひび割れ幅設計目標値0.1mm 内部防水	コンクリートピットの上面及び側面にポリウレタンコーティング 覆土中にビチューメン又はアスファルト	覆土中にジオメンブレン(厚さ：2mm)	覆土中に最低厚さ2mmの高密度ポリエチレン製ジオメンブレン	全てのモジュールを防水膜でカバーする	立地条件にあわせて設置していると推定
排水・監視設備	ポーラスコンクリート層、排水管、点検管、点検路	セルの底部防水、排水口、点検用通路 廃棄物と接触した可能性のある水を集水し、汚染されている場合、廃棄物に組み込むか、認可施設で処理	コンクリート内張り 床下廃水路 排水は、能動的管理の終了まで汚水槽に集められ、処理システムへと排水される	処分ポールの底部の点検通路に水の収集システムを設置 放射性核種を含む液体の放出をゼロとする原則のため、浸出水をモニタリング	排水システム、検査坑道 排水システムは、侵入する汚染水を管理し、検査坑道から排水できるような構造にする	同等

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

許可基準規則解釈第 10 条第 2 項
に関する補足説明

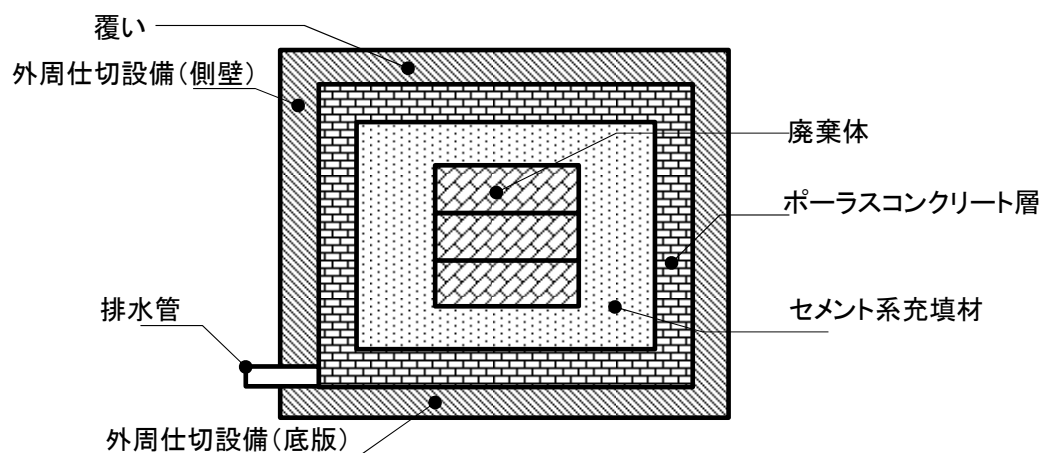
目 次

1. 漏出防止設計の基本方針.....	1
2. 外周仕切設備及び覆いの設計.....	2
(1) 全体概要.....	2
(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定.....	2
(3) 配合設計の整理.....	4
(4) その他の防水に対する設計.....	7
3. 操業中の雨水浸入防止対策.....	9
4. ポーラスコンクリート層の排水能力.....	9
5. 排水管の排水能力.....	10
6. 覆土の施工に応じた排水管理.....	10
(1) 浸入水量の算定.....	11
(2) 浸入水の対策について.....	12
7. セメント系充填材について.....	13
(1) 全体概要.....	13
(2) 配合設計の整理.....	13
8. 内部防水.....	16
(1) 内部防水の要求性能.....	16
(2) 内部防水の配置.....	16
(3) 内部防水の工法選定.....	17
9. 漏出防止機能に関する設計方針の変遷.....	20
参考資料 1 1号及び2号排水・監視設備からの排水実績と漏出防止機能の健全性について	
参考資料 2 排水中のトリチウム濃度を用いた漏出防止評価について	
参考資料 3 セメント系充填材の性能について	
参考資料 4 セメント系充填材の配合選定経緯について	

1. 漏出防止設計の基本方針

廃棄物埋設地(3号及び1号7,8群)は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間、埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層により限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する機能を有する設計とする。

埋設設備の基本構造を第1図に示す。



第1図 埋設設備の基本構造

廃棄体は、埋設設備の中で4層構造で囲まれている。1層目は鉄筋コンクリートからなる外周仕切設備及び覆い、2層目はポーラスコンクリート層及び排水管からなる排水・監視設備、3層目は廃棄体周囲のセメント系充填材、4層目はセメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間並びに外周仕切設備底版とポーラスコンクリート層の間に設置する内部防水である。

廃棄体内部に水が浸入し難くするために、まず、1層目の外周仕切設備及び覆いにより、埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を極力防止する。

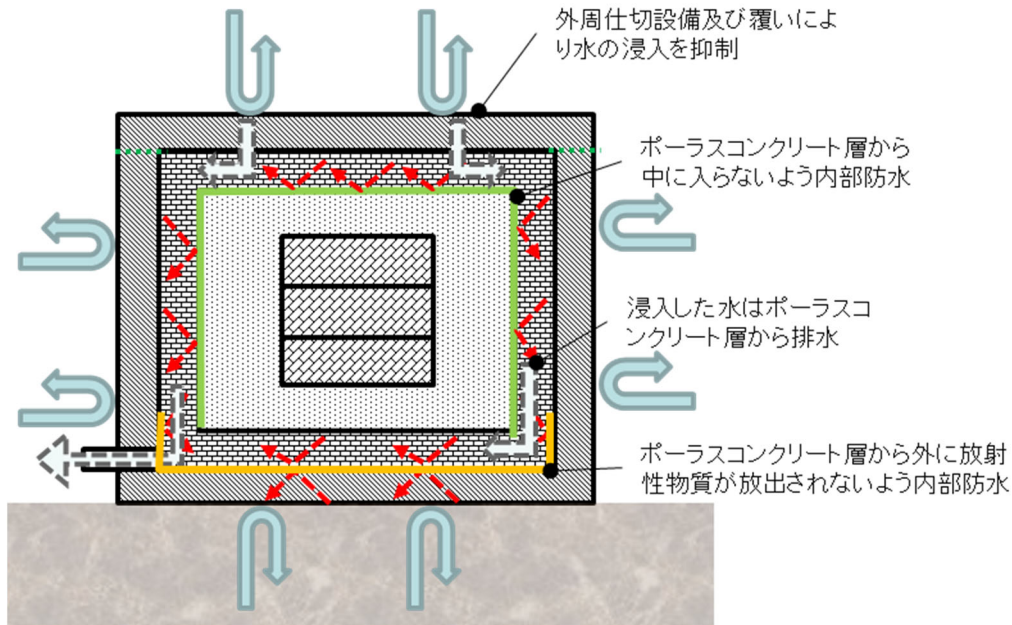
次に2層目のポーラスコンクリート層では、透水性と排水勾配により排水しやすくすることで、仮に外部から水が浸入した場合であっても、廃棄体に接触する前に埋設設備の外に排水する。

さらに、3層目のセメント系充填材は、ポーラスコンクリート層と廃棄体の間に有害な空隙が残らないよう充填することにより、大量の水が廃棄体に接触することを抑

制する。

また、4層目として、浸入水の移動経路等を考慮し、雨水及び地下水の浸入及び放射性物質の漏出を防止するため内部防水を行う。

雨水及び地下水の浸入防止を具体的にした漏出防止の概念図を第2図に示す。



第2図 漏出防止機能の概念図

2. 外周仕切設備及び覆いの設計

(1) 全体概要

外部からの水の浸入を極力防止するために、外周仕切設備及び覆いに対し、コンクリート標準示方書設計編 2017年版の本編 12章「初期ひび割れに対する照査」に基づき、ひび割れ抑制を行う。具体的には、「最大ひび割れ幅の低減」を目標とし、ひび割れ抑制を考慮した低発熱に配慮したコンクリート配合の材料を使用し、目標のひび割れ幅を達成できる鉄筋量を確保する。

(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定

埋設設備の外周仕切設備及び覆いのコンクリートに施工段階に発生するひび割れは、「温度ひび割れ」、「初期乾燥収縮によるひび割れ」及び「沈下ひび割れ」を

対象とする。

水の浸入に対し最も影響がある貫通ひび割れは、温度ひび割れであり、主に最高温度と温度降下量が影響する。よって、外周仕切設備及び覆いの設計においては、「最大ひび割れ幅の低減」を目標とし、発熱量の低下を指向したコンクリート配合を行うとともに、ひび割れ幅を低減できる鉄筋量を確保する（第3図）。

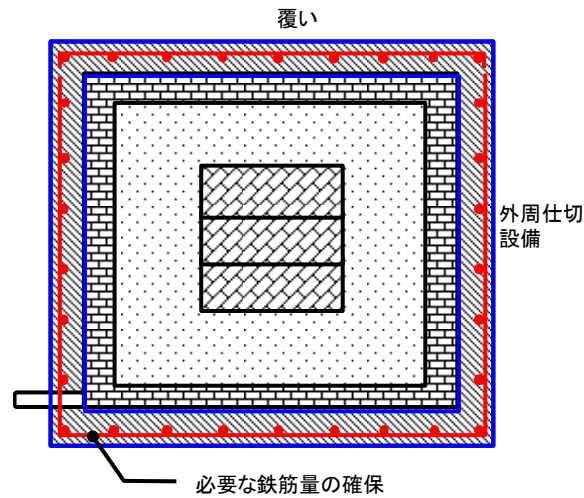
第1表に「コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定」^{(1)*1}で示されている、コンクリートの水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安⁽¹⁾を示す。

なお、ひび割れ幅の設計限界値の設定に用いた既往の研究は、全て貫通ひび割れを生じた結果によるものである。

第1表より、一般の水密性を確保する場合の水密性に対するひび割れ幅の限界値の目安は、温度応力による断面力が軸引張力のため0.1mmである。したがって、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、これに対応した鉄筋量を考慮した設計をする。

外周仕切設備及び覆いは、施工から覆土完了まで、可能な範囲に対し定期的な点検を行う。ひび割れは0.1mm以上を管理する。0.1mm以上のひび割れに対しては、排水・監視設備からの排水量及びひび割れの進展状況を防水性の観点で評価した上で、適切に補修する。

*1：ひび割れに対する最新の知見である「コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定」⁽¹⁾を参照する



*1：最大ひび割れ幅の目標値を 0.1mm とし、発熱量の低下を指向したコンクリート配合を用い、必要な鉄筋量を確保する。

第 3 図 外周仕切設備及び覆いの初期ひび割れに対する設計

第 1 表 水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安(mm)⁽¹⁾

要求される水密性の程度		高い水密性を確保する場合	一般の水密性を確保する場合
卓越する 断面力	軸引張力	—*1	0.1
	曲げ モーメント*2	0.1	0.2

*1：断面力によるコンクリート応力は全断面において圧縮状態とし、最小圧縮応力度 0.5N/mm²

以上とする。なお、詳細解析による検討を行う場合には、別途定めるものとする。

*2：交番荷重を受ける場合には、軸引張力が卓越する場合に準じることとする。

(3) 配合設計の整理

安全機能を確保できるようコンクリートの配合検討を行う。力学的安定性、耐久性、遮蔽性及び低透水性を確実に満足するものとして配合設計を行う。ひび割れ抑制については、可能な限り向上を図る(第 2 表参照)。

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

①低透水性

外周仕切設備及び覆いからの水の浸入を極力防止する目的から、基質部を緻密なコンクリートとするため、水結合材比が 55%以下となる配合とする。

②ひび割れ抑制

外周仕切設備及び覆いからの水の浸入を抑制する目的から、ひび割れの発生に繋がる要因を可能な限り抑制する。具体的には、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ及び乾燥収縮ひずみの抑制である。水和熱、自己収縮及び乾燥収縮を可能な限り抑制する配合とする。

③力学的安定性

埋設設備内部に廃棄体を安定して定置できる強度を有するものとして力学的安定性を確保する。必要な圧縮強度である 24.6N/mm^2 を確保する配合とする。

④耐久性

漏出防止期間に埋設設備が環境に暴露されることによる埋設設備の劣化が生じないように、耐久性を確保する。供用期間内に機能を損失しない劣化抵抗性を有する配合とする。

⑤遮蔽性

公衆が受ける線量の低減のため、遮蔽性を確保する。遮蔽に必要な密度として 2.1t/m^3 を確保する配合とする。

第2表 外周仕切設備及び覆いの配合設計に係る項目

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
①低透水性	水結合材比	55%以下	配合表により目標性能を満足すること
②ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	低発熱の結合材を用い、温度上昇量が可能な限り小さいこと	①③④⑤の性能を満たし、温度上昇量が抑制されていること
	自己収縮ひずみ	収縮量が低減できる結合材を用い、収縮量を可能な限り抑制できること	①③④⑤の性能を満たし、収縮ひずみ量が抑制されていること
	乾燥収縮ひずみ		
③力学的安定性	圧縮強度	24.6N/mm ² 以上	圧縮強度試験により目標性能を満足すること
④耐久性	材料配合	供用年数で機能を損失しない劣化抵抗性を有すること	コンクリート標準示方書に基づく耐久性照査により目標性能を満足すること
⑤遮蔽性	密度	2.1t/m ³ 以上	密度試験により目標性能を満足すること

配合例を第3表に示す。目標性能を満足するよう、膨張材、混和材及び混和剤を含めた配合設計を行っている。目標性能に対応する試験を実施し、性能を満足することを確認している。したがって、外周仕切設備及び覆いの配合は安全機能上の要求性能を満足するものである。

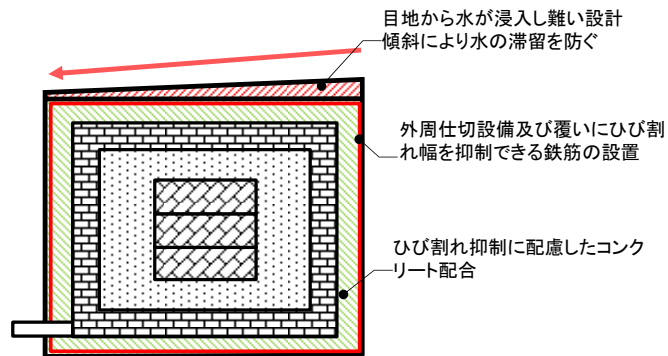
第3表 3号埋設設備の外周仕切設備・覆いの配合例

W/B (%)		単位量 (kg/m ³)								
		結合材 B			混和材	細骨材 S ^{*1}		粗骨材	混和剤 ^{*1}	
		中庸熱 ポルトランド セメント	フライ アッシュ	膨張 材	石灰石 微粉末	砕砂	陸砂	砕石	AE 減水剤	AE 剤
46.5	155	333			60	762		1,004	2.0	0.03
		223	95	15		232	530			

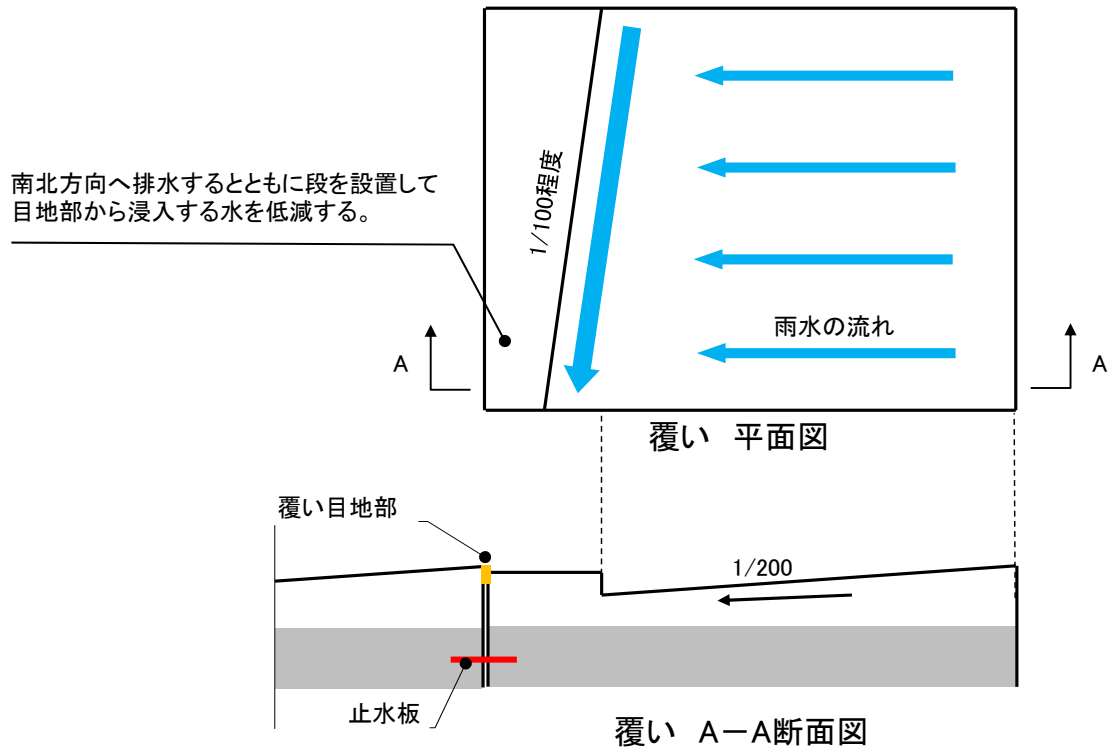
*1：混和剤及び細骨材の混合比は、所定のフレッシュ性状が確保できるよう施工時に微調整を行う。

(4) その他の防水に対する設計

覆いからの浸入水が経路として挙げられる。このため、覆いの上面に傾斜を設け、水が覆い上面に滞留し難くする設計とする(第4図及び第5図参照)。



第4図 排水を考慮した設計断面図



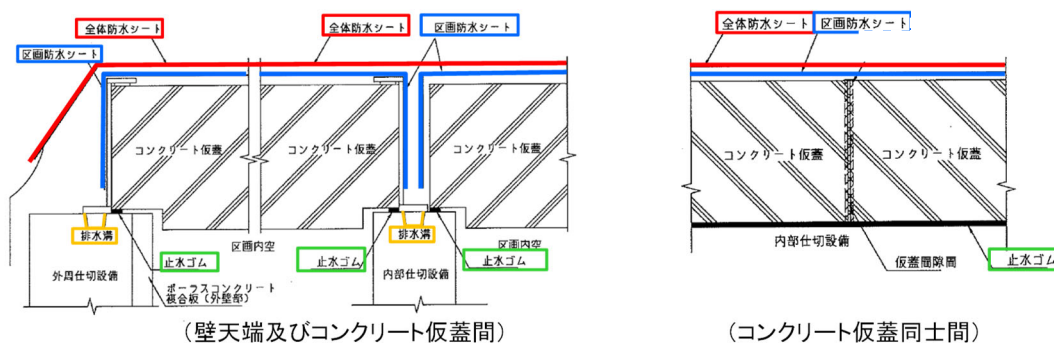
第 5 図 覆い上面の排水構造例

3. 作業中の雨水浸入防止対策

廃棄体定置後からセメント系充填材充填までの期間においては、区画上部へのコンクリート仮蓋の設置のほかに、下記の対策(第6図参照)を実施することで、区画内への水の浸入を極力防止する。

また、廃棄体定置作業時においては、埋設クレーンに屋根等を設置して、雨水の浸入を防ぐ。

- ・埋設設備上部を防水シートで覆う。区画防水シート及び全体防水シートを2重に設置する。
- ・シート内部へ浸入する水の排水を考慮し、内部仕切設備上部に勾配を設けた排水溝を設置し、外へ排水する。
- ・排水溝からのオーバーフローを考慮し、区画端部とコンクリート仮蓋との接点に止水ゴム等を設置する。



第6図 雨水浸入防止対策イメージ図

4. ポーラスコンクリート層の排水能力

最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとした外周仕切設備及び覆いからは水の浸入は極めて少ないと想定されるが、それでも浸入した水は、廃棄体に接触し難くするために透水性の高いポーラスコンクリート層を通過させ、排水・監視設備から埋設設備の外に排水させる設計とする。

ポーラスコンクリート層の透水係数は、 $3.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ (平均値：自社の受入基準値)であり、メーカー下限値($1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$)の3倍)及び $1.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$ (メーカー上限値)とし、以下の式を用いて設定する。

ダルシー則より、 $Q=k \cdot i \cdot S$

ここに、

Q : 1ピット当たり浸入水量(m^3/y)

k : ポーラスコンクリートの透水係数($=3.0 \times 10^{-3} \text{m/s} \sim 1.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$)

i : 設置勾配($=0.005$)

S : 通水断面積($=3.331 \text{m}^2$)

上記計算結果より、ポーラスコンクリート層の排水能力は、 $1,576 \text{m}^3/\text{y} \sim 5,252 \text{m}^3/\text{y}$ となる。

5. 排水管の排水能力

排水管(内径: 50mm)1本当たりの排水能力は、流量算定式より以下に示す。

排水能力 $Q=A \cdot V$

A : 排水管(内径 50mm)の内空断面積($=0.00196 \text{m}^2$)

V : 流速(m/s)、マンニングの式より

$$V=1/n \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)}$$

n : 配管の粗度係数($=0.012$)

R : 配管 50mm の径深(周長に対する通水断面積の割合)($=0.013$)

I : 配管の設置勾配($=0.1\%$ と仮定)

上記計算結果より、排水管1本当たりの排水能力は、 $8,789 \text{m}^3/\text{y}$ となり、ポーラスコンクリート層から排水される全水量を滞留することなく排水することが可能である。

6. 覆土の施工に応じた排水管理

覆土施工に伴い地下水圧が上昇し、埋設設備内部と外部の水圧の差が大きくなると浸入水量が増える可能性がある。埋設設備への浸入経路は、覆土開始前に外周仕切設備側壁部及び覆いのひび割れについて点検し必要に応じて補修すること、また埋設設備側部及び上部には、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土が構築されることから、水の浸入経路は底版部からが主な経路と想定される。一方、底版部は、設計の段階か

ら、浸入経路となるひび割れ発生防止につとめ、ひび割れが発生しても、可能な限りの補修等を実施する計画であり、ひび割れ幅の制御及び防水材料による防水対策が施されていることから、顕著な水の浸入は少ないと考えている。

仮に覆土期間中に地下水の浸入があった場合には、底版上部のポーラスコンクリート層が機能して浸入水を排水すると考える。

(1) 浸入水量の算定

底版に発生する貫通ひび割れを想定した浸入水量は、次式*1より求める。

$$Q = \frac{\pi k(H - h_0)l}{2.3 \log_{10} \left\{ \frac{L}{b} + \sqrt{\left(\frac{L}{b}\right)^2 - 1} \right\}}$$



Q : 1ピット当たり浸入水量 (m^3/y)

k : 地盤透水係数 ($=5.0 \text{ 水係数}^{-8}\text{m/s}$)

H : 底版下面地下水圧 ($=0.6\text{m} \sim 24.7\text{m}$)

h_0 : 底版厚 ($=0.6\text{m}$)

L : 影響範囲 ($=9.7\text{m} \sim 18.3\text{m}$)

l : 底版ひび割れ長さ (ひび割れ本数 \times 底版長さ m)

b : 底版ひび割れ幅 ($=0.1\text{mm}$)

*1: 「集水暗きよの取水量公式」 土木学会、昭和 60 年度版 水理公式集、p. 613

1ピット当たりのひび割れ幅は、0.1mmと仮定した。また、1ピット当たりのひび割れ本数は、浸入水の流下方向(南北方向)に対して6本(南北方向の6区画に各1本の貫通ひび割れ)と仮定した。

検討期間は覆土開始から覆土完了までとする。覆土施工が進むにつれて浸入水量は増大し、覆土完了時には、1ピット当たりの浸入水量は、 $567\text{m}^3/\text{y} \sim 2,547\text{m}^3/\text{y}$ となる。

(2) 浸入水の対策について

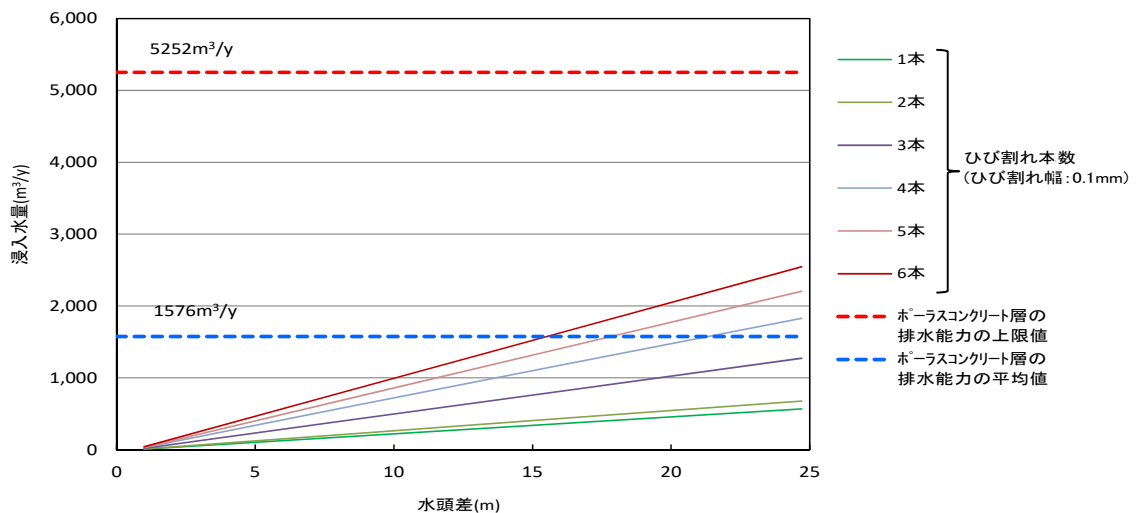
水頭差と浸入水量の関係を第7図に示す。破線は、ポーラスコンクリート層の排水能力を示す。

想定したひび割れ本数が1本～3本であれば、覆土完了までの期間において浸入水量はポーラスコンクリート層の排水能力の平均値を下回るため、不飽和を維持できる。

一方、想定したひび割れが4本～6本の場合、浸入水量は覆土施工中にポーラスコンクリート層の排水能力の平均値を上回るが、排水能力の上限値に対して浸入水量は十分に下回ることから不飽和を維持できる。

浸入水量は、埋設設備内部と外部の水圧の差に依存するため、覆土期間中の初期の段階で浸入水量と内外の水圧差を計測することで、覆土の進捗による将来の浸入水量をある程度推定することが可能である。

このため、覆土の進捗に伴いポーラスコンクリート層の排水能力を超えるような評価になった場合でも、覆土施工にあわせて、地下水位を一時的に低下させる等の対策を行うとともに、覆土期間中は、埋設設備内の排水量及び地下水位をモニタリングとあわせて排水監視する。



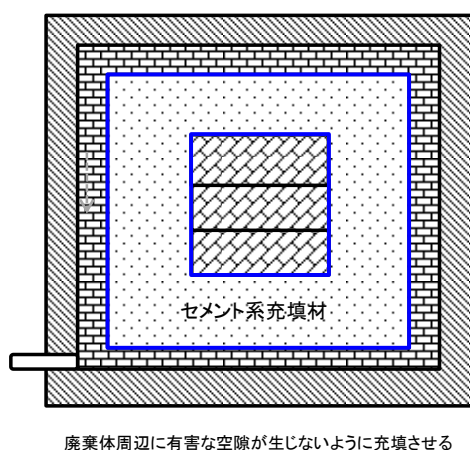
第7図 水頭差と浸入水量の関係

7. セメント系充填材について

(1) 全体概要

雨水及び地下水がポーラスコンクリート層で排水されずに区画内に浸入した場合でも、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するため、有害な空隙が残らないように流動性を考慮したセメント系充填材により埋設設備内を充填する(第8図参照)。

したがって、廃棄体周りのセメント系充填材は、流動性を良くし充填性を上げ、廃棄体間の空隙を隙間なく充填するとともに、低発熱配合のセメント系充填材を選定し、温度応力によるひび割れを抑制する設計とする。



第8図 セメント系充填材の設計方針

(2) 配合設計の整理

安全機能を確保できるようモルタルの配合検討を行う。充填性、遮蔽性を確実に満足するものとして配合設計を行う。ひび割れ抑制、凝結遅延抑制及び力学的安定性については、可能な限り向上を図る(第4表及び第5表参照)。

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

① 充填性

埋設設備内に有害な空隙を残さない充填性を有するものとして、流動性と材料分離抵抗性を確保する。廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填でき、材料分離による空隙を生じさせないために、スランプフローは65cm以上を確保し、ブリーディングについては極力生じない配合とする。

②遮蔽性

公衆が受ける線量の低減のため、遮蔽性を確保する。遮蔽に必要な密度として 1.6t/m^3 を確保する配合とする。

③ひび割れ抑制

セメント系充填材内を水が通過することを極力低減するため、ひび割れの発生につながる要因を可能な限り抑制する。具体的には、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ及び乾燥収縮ひずみの抑制である。水和熱、自己収縮及び乾燥収縮を可能な限り抑制する配合とする。

④力学的安定性

廃棄体と充填材の一体化の観点から必要な力学的安定性を確保する。必要な圧縮強度である 10N/mm^2 を確保する配合とする。

⑤凝結遅延抑制

作業上の工程の関係から凝結時間を抑制する。作業工程を考慮し、48時間以内に終結する配合とする。

第4表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(安全機能)

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
①充填性	スランプフロー	65cm以上	スランプフロー試験により目標性能を満足すること
	ブリーディング	極力生じないこと	試験結果でブリーディングが極力生じていないこと
②遮蔽性	密度	1.6t/m ³ 以上	密度試験により目標性能を満足すること
③ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	低発熱の結合材を用い、温度上昇量を可能な限り抑えること	①②④⑤の性能を満たし、温度上昇量が抑制されていること
	自己収縮ひずみ	収縮量が低減できる結合材を用い、収縮量を可能な限り抑制できること	①②④⑤の性能を満たし、収縮ひずみ量が抑制されていること
	乾燥収縮ひずみ		
④力学的安定性	圧縮強度	10N/mm ² 以上	圧縮強度試験により目標性能を満足すること

第5表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(その他)

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
⑤凝結遅延抑制	凝結時間	終結が48時間以内	凝結試験により目標性能を満足すること

配合例を第6表及び第7表に示す。目標性能を満足するよう、膨張材、混和材及び混和剤を含めた配合設計を行っている。目標性能に対応する試験を実施し、性能が満足していることを確認している。したがって、セメント系充填材の配合は安全機能上の要求性能を満足するものである。

セメント系充填材の有する性能及びその配合の選定経緯については、参考資料3

「セメント系充填材の性能について」及び参考資料4「セメント系充填材の配合選定経緯について」に詳細を示す。

第6表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例①

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)							
	水 W	結合材 B		細骨材 S		水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
		中庸熱 ポルトラン ドセメント	高炉 スラグ 微粉末	砕砂	陸砂			
67.1	283	422		1,466		1.5	0.844	6.33
		42	380	440	1026			

第7表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例②

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)							
	水 W	結合材 B			細骨材 S		水中 不分離性 混和剤	高性能 AE 減水剤
		中庸熱 ポルトラン ドセメント	高炉 スラグ 微粉末	膨張材	砕砂	陸砂		
55.0	252	458			1,454		1.1	4.58
		131	307	20	872	582		

8. 内部防水

(1) 内部防水の要求性能

外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及びポーラスコンクリート層とともに、雨水及び地下水の浸入を防止し、埋設設備からの放射性物質の漏出を防止するために内部防水を行う。

内部防水としては、以下の2つの観点で設計する。

(i) 外周仕切設備側壁部及び覆い部

ポーラスコンクリート層から廃棄体方向に浸入する水の流れを防止する。

(ii) 外周仕切設備底版部及び側壁部の立ち上げ部

外周仕切設備底版からの地下水の浸入を防止するとともに、ポーラスコンクリート層からの放射性物質の漏出を防止する。

(2) 内部防水の配置

外周仕切設備側壁部及び覆い部における内部防水は、セメント系充填材上部及び

側部とポーラスコンクリート層の間に行う。また、外周仕切設備の内側で外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に内部防水を行う。（第9図及び第10図）。

【内部防水の配置場所設定理由】

- ・外周仕切設備側壁部及び覆い部からの浸入水に対する内部防水は、上部ポーラスコンクリート層及び側部ポーラスコンクリート層の内側に配置する。その目的は、浸入水が廃棄体と接触し難くすること及び浸入水をポーラスコンクリート層を介して下部へ排水するためである。
- ・外周仕切設備底版部からの浸入水に対する内部防水は、下部ポーラスコンクリート層外側の底版側に行う。その目的は、外周仕切設備底版部において地下水を浸入し難くすること及びポーラスコンクリート層を介して排水される浸入水が外部に漏出し難くすることであり、外周仕切設備側壁の下部内側の一部の立ち上げた箇所にも内部防水を行う。

(3) 内部防水の工法選定

(i) 主な要求

内部防水の目的は、コンクリート材料の水の移動を抑制する性能を向上させることである。

水の移動を抑制する性能を向上するには、防水材そのものの遮水性と、遮水性を維持するために、防水材の施工面となる底版及び側壁(底部)、ポーラスコンクリート層(側部)並びにセメント系充填材(上部)について、防水材施工後のコンクリート材料のひび割れの発生及び進展を想定し、ひび割れ追従性が必要となる。

防水材に要求される遮水性及びひび割れ追従性の性能については、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾に記載されている。

「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾は、コンクリート構造物の耐久性の向上及び劣化因子の侵入を防止・抑制することを目的とした設計及び施工に関する一般的な標準である。「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾では、表面保護工法を表面処理工法(表面被覆工法及び表面含浸工法)と断面修復工法に分類しているが、本施設の内部防水は新設の構造物に施工するものであるため、表面処理工

法に該当する(第 11 図参照)。

本施設における内部防水は、遮水性及びひび割れ追従性を要求性能としてい
ることから、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾の遮水性及びひび割れ追従
性に関する記載を参照して表面処理工法の中から工法を選定し、設計を行う。

以上より、内部防水は、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾を参照し、
JSCE-K523-1999(表面被覆材の透水量試験方法)で透水量 0.2g 以下又は同等の遮
水性及び JSCE-K532-1999(表面被覆材のひび割れ追従性試験方法)で 0.15mm 以上
又は同等のひび割れ追従性が確認できる材料を使用する。

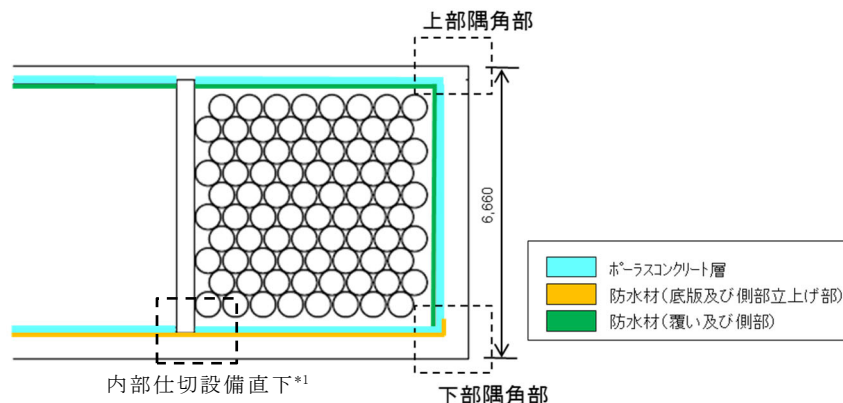
(ii) その他の考慮事項

内部防水の材料選定に当たっては、以下の事項を考慮する。

- ・施工基面に対して施工できるよう付着性を有すること
- ・廃棄体の自重やセメント系充填材の打設時の液圧等の圧力作用条件下にお
いても、遮水性を有する材料仕様であること
- ・埋設設備の構造安定性に影響を与えない材料仕様であること

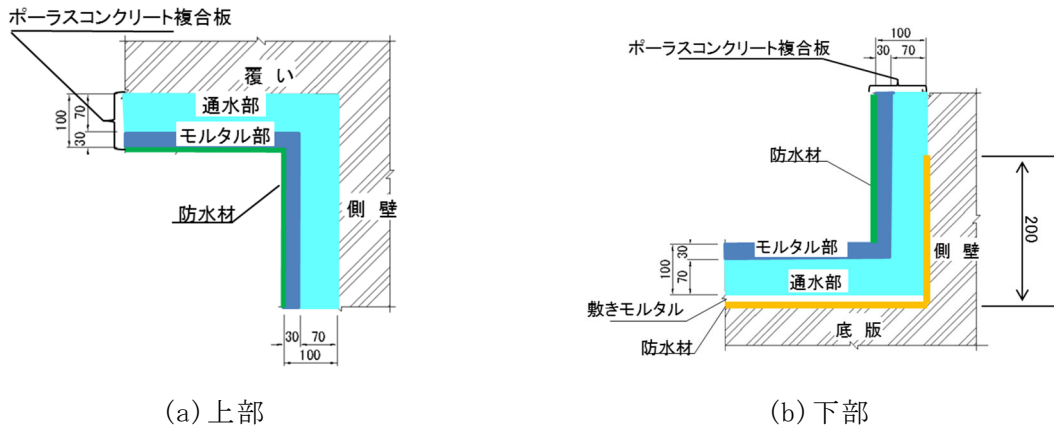
上記(i)(ii)を考慮して、内部防水は、遮水性及びひび割れ追従性の要求性能を
満足し、かつ、その他の考慮事項にも対応できる工法を選定し、現段階では、表面
処理工法のうち、表面被覆工法で有機系の塗装工法を候補とする。

なお、今後施工段階で、有機系の塗装工法以外の表面処理工法でも、上記と同様
の性能を発揮する良い工法があれば採用を検討する。

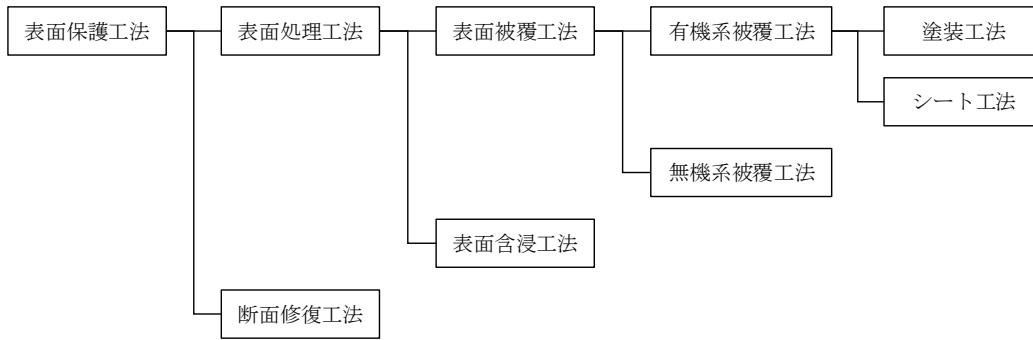


*1：内部仕切設備直下の内部防水は、選定された防水材・工法に応じて施工範囲を決定する。

第 9 図 3号埋設設備東西断面図(単位：mm)



第 10 図 隅角部図(単位 : mm)



第 11 図 表面保護工法の種類⁽³⁾

9. 漏出防止機能に関する設計方針の変遷

1号及び2号埋設設備の既許可時の漏出防止機能に関する安全設計方針は、「放射性物質が埋設設備の外へ漏出することを防止する。」としており、その具体的な設計方針は以下のとおりとしていた。

閉じ込めの機能に関する安全設計方針

(1号許可(平成2年11月15日)、2号許可(平成10年10月8日))

廃棄物埋設地

廃棄物埋設地においては、以下に示す設計を行うことにより、第1段階において放射性物質が埋設設備の外へ漏出することを防止するものとする。

埋設設備は、鉄筋コンクリート造とし、十分な地耐力を有する地盤に設置する。埋設設備を構成する外周仕切設備、内部仕切設備及び覆いは、地震力、自重、土圧等の荷重に対し、十分な構造上の安定性を有するよう、許容応力度法により設計する。

なお、使用するコンクリートは「土木学会 コンクリート標準示方書」に準拠して設計、施工を行う。

また、埋設設備は、廃棄体定置後、セメント系充てん材により区画内を充てんする。

廃棄物埋設地に設置する排水・監視設備により、仮に埋設設備の外周仕切設備及び覆いから地下水が浸入した場合でも、その水が廃棄体に達することなく排水ができるよう考慮した設計とする。

これに対し、本資料では漏出防止機能に関する設計方針について、以下のとおりとしている。

漏出防止機能に関する安全設計方針（3号）

（i）漏出防止機能

b. 安全設計

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する。

漏出防止機能に関する構造は、雨水及び地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造を組み合わせ、多様化した構造とする。雨水及び地下水の浸入を防止する構造は、外周仕切設備、セメント系充填材、覆い、内部防水及びポーラスコンクリート層により構成し、放射性物質の漏出を防止する構造は、外周仕切設備、覆い、内部防水及びポーラスコンクリート層により構成する。

埋設する廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」（以下「事業規則」という。）に定められた廃棄体に係る技術上の基準を満足するものであり、容器の構造、定置までの取扱い、強度等から、変形・損傷や外部からの雨水及び地下水の浸入が生じ難い構造と考えられるため、容易に廃棄体内の放射性物質が容器の外へ漏えいすることはない。

しかし、埋設設備への定置後において、廃棄体周辺が水で満たされ液相に連続性がある状態となると、廃棄体内の放射性物質は水を媒体として溶出・移行し、廃棄物埋設地の外に漏えいすることが考えられる。このため、「埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止すること」及び「埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水すること」により、雨水及び地下水の浸入を防止する設計とし、万一、廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止する設計とする。

（a）雨水及び地下水の浸入を防止する設計

（一）埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止するため、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋

によりひび割れを抑制する設計とし、最大ひび割れ幅の設計目標値は0.1mmとする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

(二) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水するため、浸入した水を排水できるよう、ポーラスコンクリート層は、外周仕切設備及び覆いとセメント系充填材との間に設置し、廃棄体定置後から覆土完了までの間において、排水性を有する設計とする。

(三) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水するため、浸入した水が廃棄体と接触しないよう、セメント系充填材は、廃棄体定置後、埋設設備内に充填し、有害な空隙が残らないよう充填性を有する設計とする。内部防水は、外周仕切設備及び覆いの内側で、セメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間に設置し、防水性を有する設計とする。

(四) その他、操業中における雨水の浸入を抑制するため、以下の設計を行う。

- ・廃棄体定置後から埋設設備の覆いが完成するまでの間において、埋設設備の区画上部にコンクリート仮蓋を設置し、開口部から埋設設備内部に雨水が浸入することを抑制すること
- ・定置作業中は、埋設クレーンの上部に屋根、側部に雨避け板を設置し、雨水が廃棄体に接触することを抑制すること

(b) 放射性物質の漏出を防止する設計

(一) 廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止するため、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とし、最大ひび割れ幅の

設計目標値は 0.1mm とする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外へ排出して回収する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底板部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

(c) その他の設計

(一) 排水・監視設備のうち点検管は、ポーラスコンクリート層により排水された水を作業員が回収する作業空間が確保できる設計とする。

(二) 漏出防止機能を有するコンクリート構造物に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。現時点の最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」

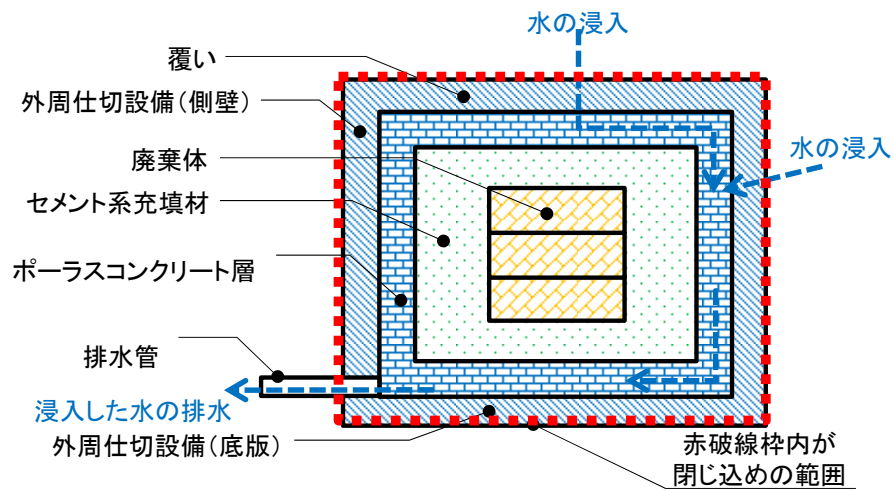
⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(1) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(施工編)

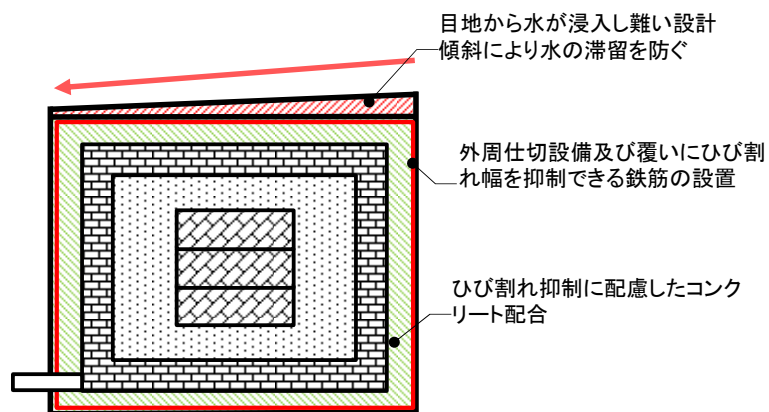
(2) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)

本設計方針では、第 12 図に示すように、外周仕切設備及び覆いの内側から放射性物質を漏出させないことは、1号の当初から変わっていないが、各部位の機能や、廃棄体周囲が水で満たされた状態にならないようにする方針など、より具体的に記載している。

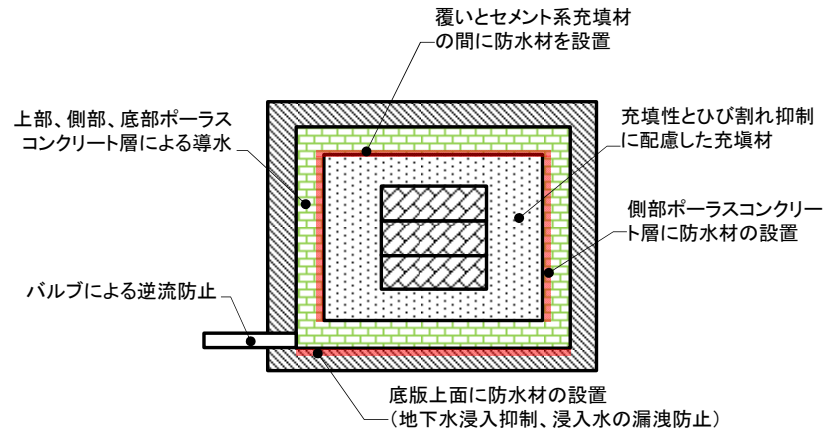
また、水の浸入を抑制するための防水対策を第 13 図及び第 14 図に示す。



第 12 図 漏出防止機能の概念図



第 13 図 外部からの水を浸入し難くさせるための防水対策のイメージ図



第 14 図 不飽和をできるだけ維持する対策のイメージ図

参考文献

- (1) (公社)土木学会：コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定、4編
4.4 設計限界値の目安
- (2) (社)土木学会(平成17年)：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計
施工指針(案)

1 号及び 2 号排水・監視設備からの排水実績
と漏出防止機能の健全性について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 排水監視について.....	1
(1) 排水監視の方法について.....	1
(2) 排水監視開始時期等.....	2
3. 排水の状況について.....	4
(1) 1号排水・監視設備の排水実績.....	4
(2) 2号排水・監視設備の排水実績.....	6
4. 代表的な埋設設備の排水に伴う対策と浸入経路について.....	7
(1) 1号4-C埋設設備の対策について.....	7
(2) 1号4-C埋設設備のまとめ.....	19
5. 排水実績に基づく埋設設備の漏出防止性能について.....	19
(1) 漏出防止設計の考え方.....	19
(2) 漏出防止評価.....	20
(3) 埋設設備に浸入する水と漏出防止設計の関係.....	21
(4) 外周仕切設備及び覆いのひび割れに対する管理.....	21

別紙1 排水・監視設備の監視強化について

別紙2 年間想定排水量の考え方

別紙3 排水・監視設備構造

別紙4 排水実績一覧表(1993年度～2018年度)

別紙5 主な保修工法の概要

別紙6 既設備の損傷状況と改修履歴

別紙7 外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について

1. はじめに

排水・監視設備による排水の監視は 1993 年 5 月から開始しており、排水された水から放射性物質が検出されたことはなく、漏出防止機能は健全に維持されている。

本資料では以下のとおり、今までの排水状況及び漏出防止性能に与える影響について整理した。

- ・埋設設備は覆土完了までの間、外周仕切設備及び覆いの水密性により埋設設備内への水の浸入を抑制しており、埋設設備内に浸入した水は、廃棄体に接触する前に排水・監視設備により埋設設備外に排出して回収できる構造としており、回収した水の放射性物質濃度の測定を行っている。
- ・外周仕切設備及び覆いと廃棄体の間は、廃棄体及び廃棄体支持架台間の狭隙部を充填できるような流動性を持つセメント系充填材で充填する。このセメント系充填材は温度応力によるひび割れ抑制に配慮したモルタル(中庸熱ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%)を使用しており、排水・監視設備に浸入した水が廃棄体内部に浸入することは考え難い。
- ・これまで 1 号及び 2 号排水・監視設備からの排水を確認しているが、排水中に放射性物質は検出されておらず、埋設設備に浸入した水は廃棄体に接触する前に排水・監視設備を通して排水されていることから、漏出防止機能は有効に機能している。
- ・保安規定に基づき、排水・監視設備からの排水を監視し、必要に応じた保修を適切に行っている。

2. 排水監視について

(1) 排水監視の方法について

(i) 監視方法

排水・監視設備の排水管出口部に取り付けた 20L の容器により、埋設設備からの排水を回収する。

(ii) 監視頻度

週 1 回排水状況を確認する。

(iii) 記録事項

「確認年月日」、「埋設設備番号」、「排水の有無」、「排水量」等を記録す

る。

(iv) 監視強化

20L/(排水管・週)*¹を超える排水があった場合又は20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視・採取頻度の増加及び排水管バルブの開閉操作による監視強化を行う。

(別紙1「排水・監視設備の監視強化について」参照)

(v) 調査・補修

監視強化した埋設設備に対しては、調査を行い、原因を特定した場合は必要に応じて保修を行う。

*1：20L/(排水管・週)の根拠

1,2号事業変更許可申請時の排水・監視設備からの年間排水量想定(1号：30m³/年、2号：30m³/年)より設定している。(別紙2「年間想定排水量の考え方」参照)

1号：(30m³/年÷40基)÷52週/年≒14.4L/週 →7.2L/排水管・週

2号：(30m³/年÷16基)÷52週/年≒36.0L/週 →18L/排水管・週

(2) 排水監視開始時期等

これまでの各廃棄物埋設施設の排水監視開始時期、定置期間及び覆いコンクリート打設完了日を第1表及び第2表に整理した。

第1表 1号廃棄物埋設施設の排水監視開始時期等

埋設設備	排水監視 開始時期	定置期間		覆いコンクリート打 設、完了日	
		開始日	完了日		
1号	1-A	1993.5	1992.12.15	1993.3.23	1993.6.11
	1-B	1993.7	1993.3.24	1993.6.24	1993.8.26
	1-C	1993.10	1993.7.6	1993.10.19	1993.11.10
	1-D	1994.7	1993.10.20	1994.1.19	1994.7.26
	1-E	1994.8	1994.1.21	1994.4.4	1994.8.26
	2-A	1994.8	1994.4.8	1994.6.28	1994.9.2
	2-B	1994.11	1994.6.30	1994.10.19	1994.11.25
	2-C	1995.5	1994.10.21	1994.12.21	1995.5.19
	2-D	1995.8	1994.12.22	1995.3.16	1995.8.22
	2-E	1995.8	1995.3.22	1995.6.12	1995.8.29
	3-A	1995.11	1995.6.26	1995.10.15	1995.11.21
	3-B	1996.4	1995.10.12	1995.12.12	1996.4.23
	3-C	1996.8	1995.12.20	1996.3.12	1996.8.23
	3-D	1996.8	1996.3.14	1996.6.18	1996.8.30
	3-E	1996.11	1996.6.25	1996.8.9	1996.11.22
	4-A	1997.5	1996.10.22	1997.1.21	1997.5.23
	4-B	1997.9	1997.1.22	1997.4.8	1997.9.12
	4-C	1997.11	1997.4.10	1997.6.26	1997.11.18
	4-D	1998.6	1997.7.2	1998.3.20	1998.7.3
	4-E	1998.8	1998.5.12	1998.7.31	1998.8.28
	5-A	1998.4	1997.9.25	1998.1.21	1998.4.24
	5-B	1998.11	1998.1.23	1998.8.4	1998.11.10
	5-C	1999.6	1998.8.5	1999.3.18	1999.6.8
	5-D	2004.7	1999.3.19	2004.3.15	2004.7.29
	5-E	2007.9	2002.3.18	2013.2.26	2013.7.22
6-A	1999.6	1999.1.26	1999.4.20	1999.6.25	
6-B	1999.10	1999.6.16	1999.10.7	1999.11.1	
6-C	2007.4	1999.10.13	2009.3.9	2011.10.27	
6-D	2010.2	2010.2.24	定置中	—	
6-E	2018.11	2018.10.30	定置中	—	

(埋設設備の設置位置は別紙3「排水・監視設備構造」を参照)

第2表 2号廃棄物埋設施設の排水監視開始時期等

埋設設備	排水監視 開始時期	定置期間		覆いコンクリート打 設、完了日	
		開始日	完了日		
2号	1-A	2003.11	2000.10.25	2003.2.25	2003.11.27
	1-B	2004.9	2003.2.27	2004.3.22	2004.9.24
	2-A	2005.9	2004.4.20	2005.4.11	2005.9.23
	2-B	2006.11	2005.4.13	2006.10.2	2006.11.20
	3-A	2008.1	2006.12.5	2008.12.4	2010.5.24
	3-B	2009.2	2009.2.25	2010.6.25	2010.9.21
	4-A	2010.10	2010.9.27	2011.10.12	2012.5.23
	4-B	2011.10	2011.10.14	2013.2.22	2013.10.9
	5-A	2013.3	2013.3.13	2014.6.20	2014.10.9
	5-B	2014.6	2014.6.25	2015.9.16	2016.5.20
	6-A	2015.10	2015.10.9	2016.9.29	2018.7.9
	6-B	2016.11	2016.11.8	定置中	—

(埋設設備の設置位置は別紙3「排水・監視設備構造」を参照)

3. 排水の状況について

排水量について四半期ごとに整理した(別紙4「排水実績一覧表(1993年度～2018年度)」参照)。

いくつかの埋設設備において、覆いや側壁のひび割れが要因と考えられる排水が認められたことから、調査及びそれに基づく保守を行うことで排水の低減を行ってきた(別紙5「主な保守工法の概要」参照)。後に構築した埋設設備については、都度対策を行うことで改善を進めてきた(別紙6「既設備の損傷状況と改修履歴」参照)。現在までの排水中に放射性物質は検出されていない。

現在までの状況は以下に示すとおりである。(以下の○数字は、別紙4と対応)

(1) 1号排水・監視設備の排水実績

①1,2群では、定置完了直後に排水が発生している。これは、覆いコンクリート打設に伴う排水が主な要因であったことから、その後は排水量を削減できる施工方法に変更した。

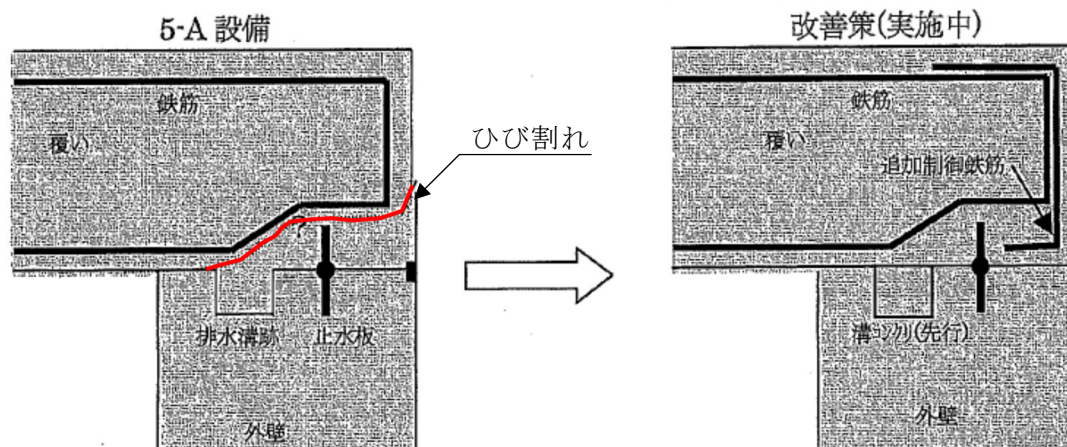
②1,2群では、側壁と覆いにひび割れがあり、それが要因と考えられる排水があった。1994年度～1995年度にかけて表面被覆及びひび割れ注入工法による保

修を実施した結果、保修直後に排水の発生が収束した。

- ③ひび割れ発生の抑制のため、3群以降に対しては、ひび割れ制御鉄筋を覆い及び側壁に設置した。その結果、3群以降の初期の排水量は低減された。
- ④表面被覆及びひび割れ注入工法による保修については、1996年度～1999年度にかけて3,4群についても実施した結果、これらの保修直後に排水の発生が収束した。
- ⑤2001年度の台風時に5-A埋設設備の覆い側部のひび割れを浸入経路として排水が認められた。保修を実施したところ効果が見られた。5-A埋設設備の覆い側部のひび割れ発生原因としては、覆いと側壁は突起部(噛み合わせ部)が設けられており、覆いが温度降下により収縮した際に突起部に応力集中が生じひび割れが発生したと推定された(写真1)。5-C以降の覆い施工には追加制御鉄筋を入れた(第1図)。1群から4群の表面被覆完了以後の2000年度以降にいくつかの埋設設備で同様の覆い側部からと考えられる継続的な排水が確認された。



写真1 覆い側部のひび割れ状況

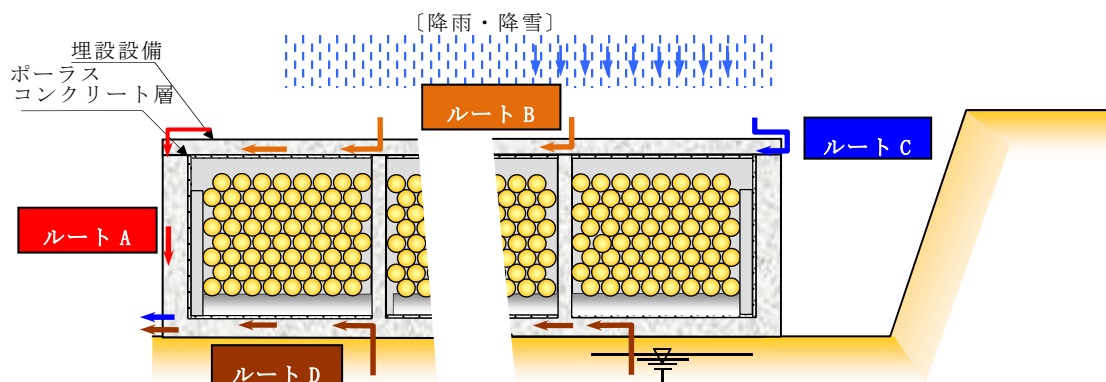


第1図 追加制御鉄筋による止水対策

- ⑥2007年度～2008年度にかけて覆いに表面止水工法による保守を実施した結果、排水量は低減された。
 - ⑦2010年度以降も排水量の増加が見られる箇所において、表面止水工法による保守を行った結果、排水量は低減された。
 - ⑧至近の数年においても、若干量の排水が確認しており、一時的に監視強化を行った箇所はあるものの、2018年度末現在では監視強化対象の箇所はない。
- (2) 2号排水・監視設備の排水実績
- ⑨1-Aで継続的な排水が確認されるが、監視強化を継続するほどの排水とはなっていない。
 - ⑩1群から4群においては、大きな排水は継続していないが、排水増加の要因と考えられるひび割れが確認されたことから、2006年度～2007年度にかけて表面止水工法による保守を実施した。
 - ⑪5群以降においては、ひび割れ発生抑制のさらなる向上として、配合をフライアッシュセメントに変更するとともに、底版側部にもひび割れ制御鉄筋を設置した。その他の埋設設備についても若干量の排水が確認されるが継続的なものではなく、2018年度末現在では監視強化対象の箇所はない。

4. 代表的な埋設設備の排水に伴う対策と浸入経路について

排水の浸入経路として考えられるルートを第2図に示す。



ルート A：覆い及び側壁からの浸入

ルート B：覆い天端の目地からの浸入

ルート C：覆い側部からの浸入

ルート D：底版からの浸入

(別紙7「外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について」参照)

第2図 排水の浸入経路

1号及び2号埋設設備においては、埋設設備の排水実績を踏まえて次埋設設備では、配合及びひび割れ制御対策の工夫をしてきている。

また点検結果に基づき、保守を行うことで、排水量が低減されている。しかし中には、保守を行っても排水が継続している埋設設備がいくつかある。

この代表的な例として、1号4-C埋設設備の状況を整理した。

(1) 1号4-C埋設設備の対策について

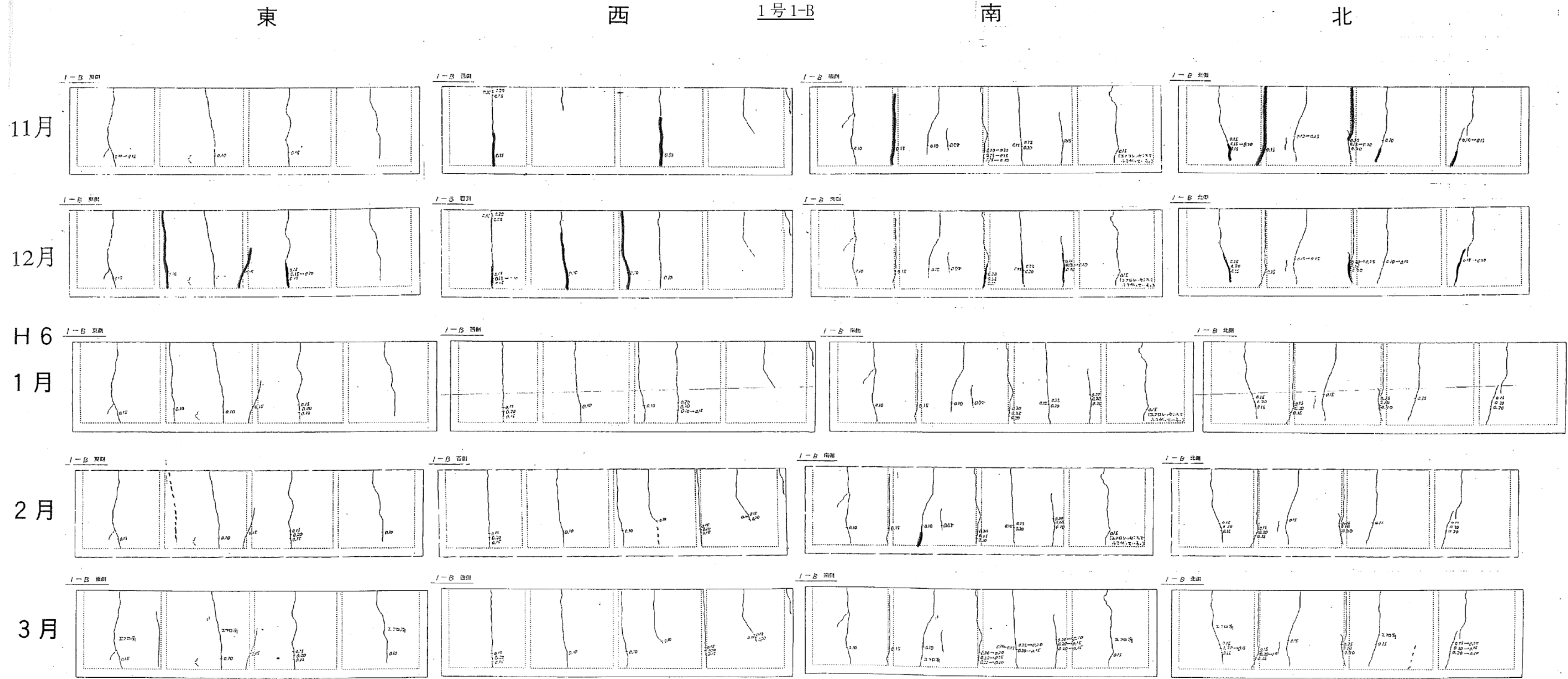
(i) 1号4-C構築前までの経緯(1995年以前)

1992年度頃の初期の1号埋設設備1,2群において側壁にひび割れが発生し、充填後にもひび割れ数が増加した。第3図にひび割れ調査結果の一例を示す。当時のひび割れ発生の原因推定結果は、「外部拘束による温度応力」、「乾燥収縮」であり、充填後には、これに、「モルタル充填に伴う温度応力」、「モルタル液

圧」、「モルタルの乾燥収縮」が加わると考察した⁽¹⁾⁽²⁾。

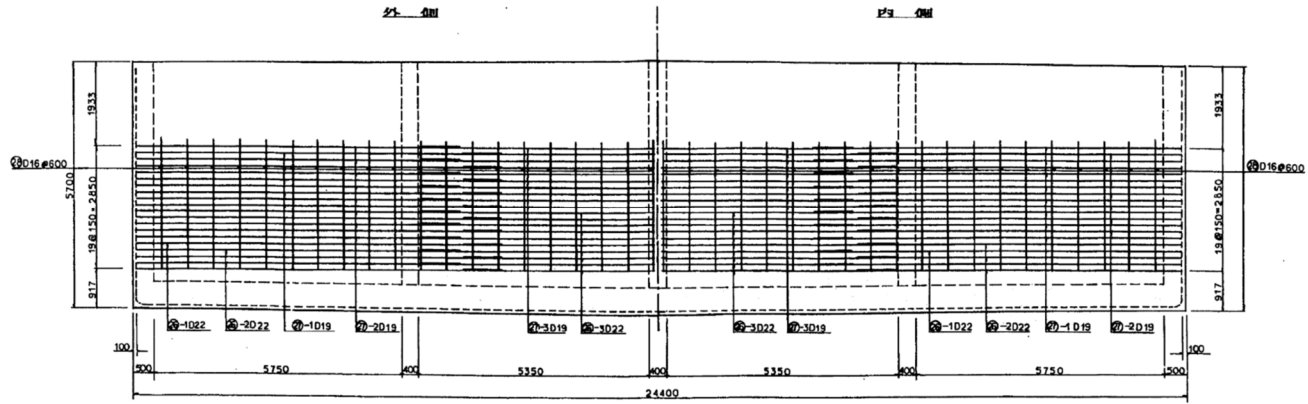
ひび割れ幅は0.2mm以下が大半で、外気温によりひび割れ幅は季節で増減していた。また、ひび割れ幅はセメント系充填材施工後に増加する傾向にあった。

1号3-A以降の埋設設備に関してはひび割れ対策として、覆い及び側壁に対してひび割れ制御鉄筋を配置した(第4図)。さらに、ひび割れ注入工法及び表面被覆工法による保修を実施した結果、排水量が低減された(写真2及び写真3)。

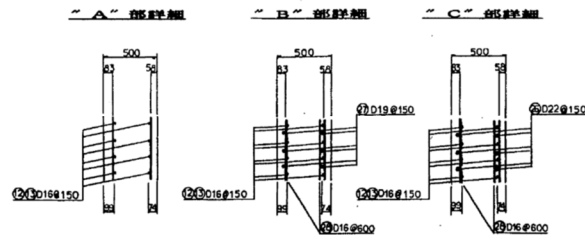
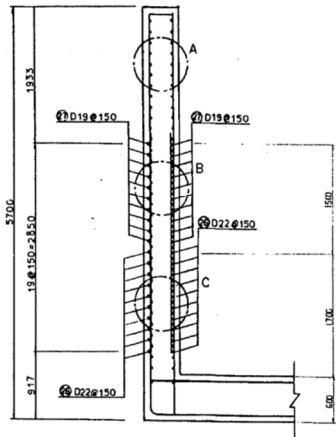


第3図 ひび割れ発生・進展状況図(1991年10月3日打設、1993年度観察状況)

ひびわれ制御鉄筋配置図 S=1/50



断面図
S=1:30



第4図 側壁ひび割れ制御鉄筋配置図

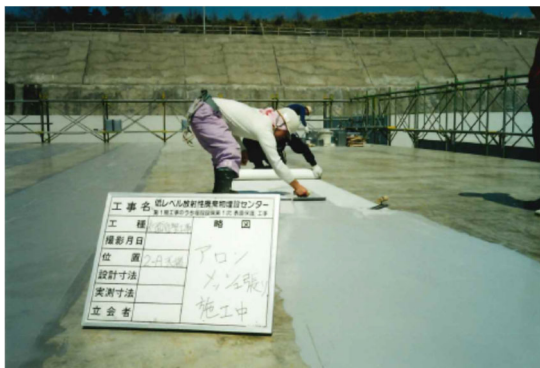


保修前



保修後

写真2 ひび割れ注入工(1号1-B 西面)



保修材張り



防水材吹付け



仕上げ材吹付け

写真3 表面被覆工(1号2-A)

(ii) 1号4-C埋設設備の対策

a. 覆いコンクリート打設直後の対策(1998年)

1号4-Cにおいては、1号3-A以降のひび割れ対策として実施した覆い及び側壁に対するひび割れ制御鉄筋を配置している(第4図)。また、覆いコンクリート打設後の1998年度に表面被覆を実施している(写真4)。この結果、初期の排水は止まった。



写真4 表面被覆状況(1号4-C)

b. 2001年度～2009年度の状況

2001年度から排水が再発しているが、原因は、1号5-A埋設設備で生じた覆い側部のひび割れからの浸入と同様と考えられる(第1図参照)。これまでに表面被覆工を実施しており、直接外観確認ができない場合もあったが、2007年度に覆い等を対象とした表面止水工法による保守を実施した。また、合わせて目地部の保守を実施した(写真5、写真6及び写真7)。この結果、排水量が大きく低減された。



保修前



保修後

写真5 表面止水工(1号4-C 覆い側部)



保修前



保修後

写真6 表面止水工(1号4-C 底版端部)



保修前



保修後

写真7 表面止水工(1号4-C 覆い目地部)

c. 2010 年度以降の状況 (2010 年度～現在)

2010 年度以降に再び排水が始まり、2013 年度に覆いの目地部及び側部の表面止水工法による保修(写真 8、写真 9 及び写真 10)も実施したが、現在も排水が続いている状態である。引き続き点検を継続しており、覆い側部のひび割れ箇所についても仮保修を実施している(写真 11 及び写真 12)。

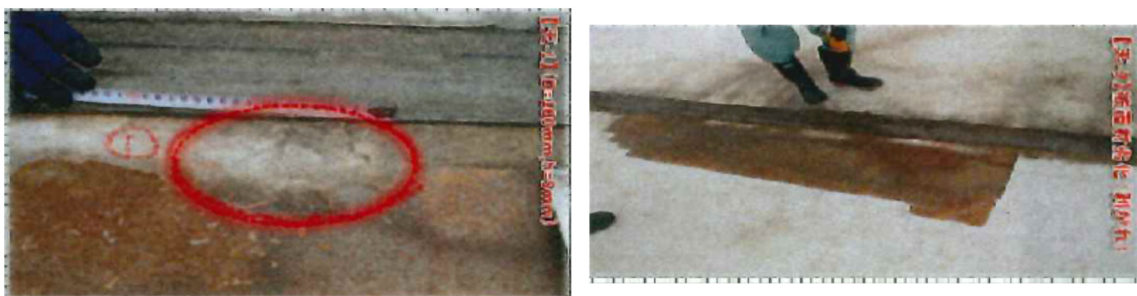


写真 8 表面止水工(1号 4-C 覆い目地部)



写真 9 表面止水工(1号 4-C 覆い側部)



写真 10 表面被覆の剥離(1号 4-C 覆い側部)



写真 11 調査対象箇所(1号 4-C)

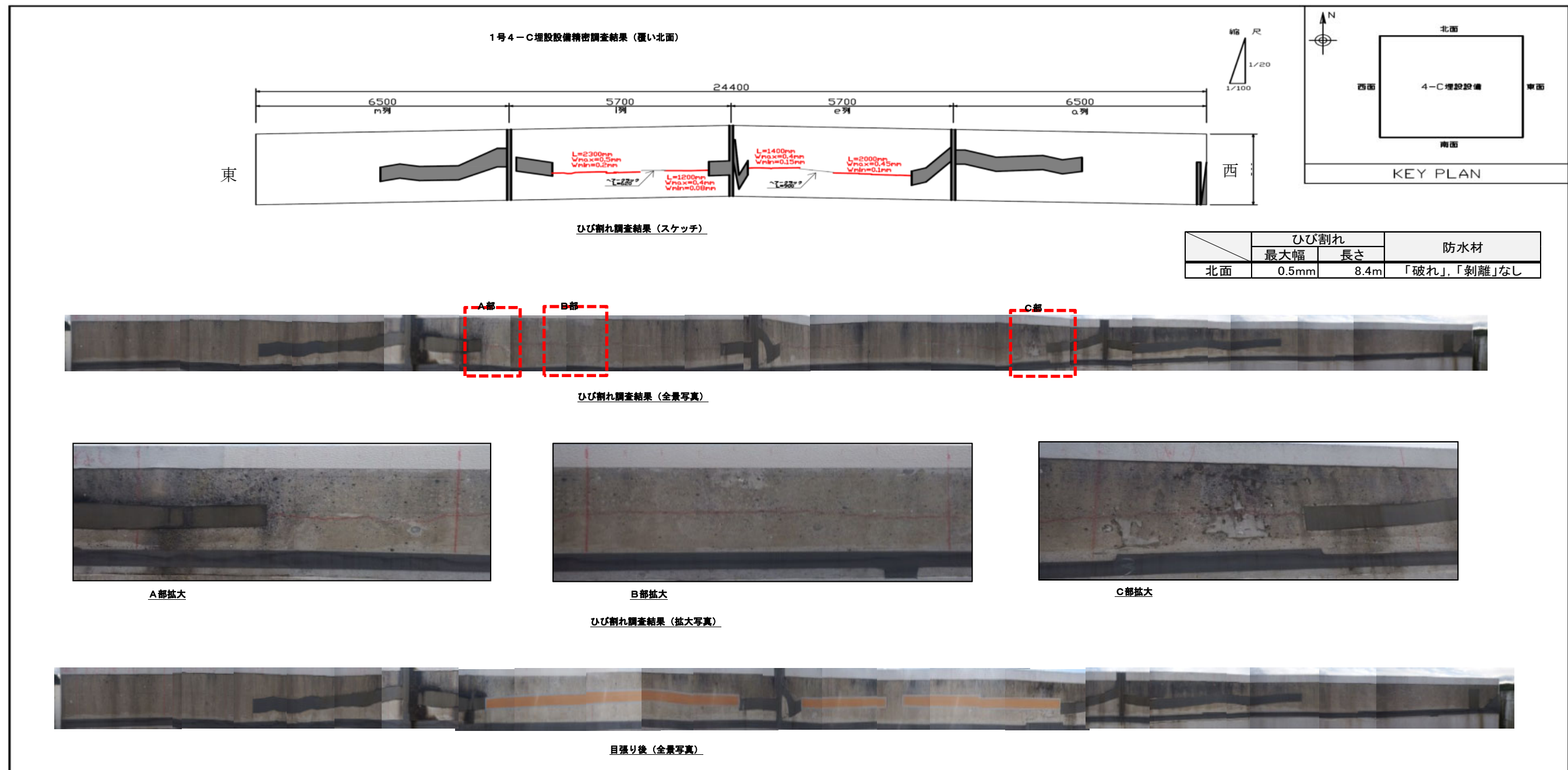


写真 12 調査結果(1号 4-C 覆い側部)

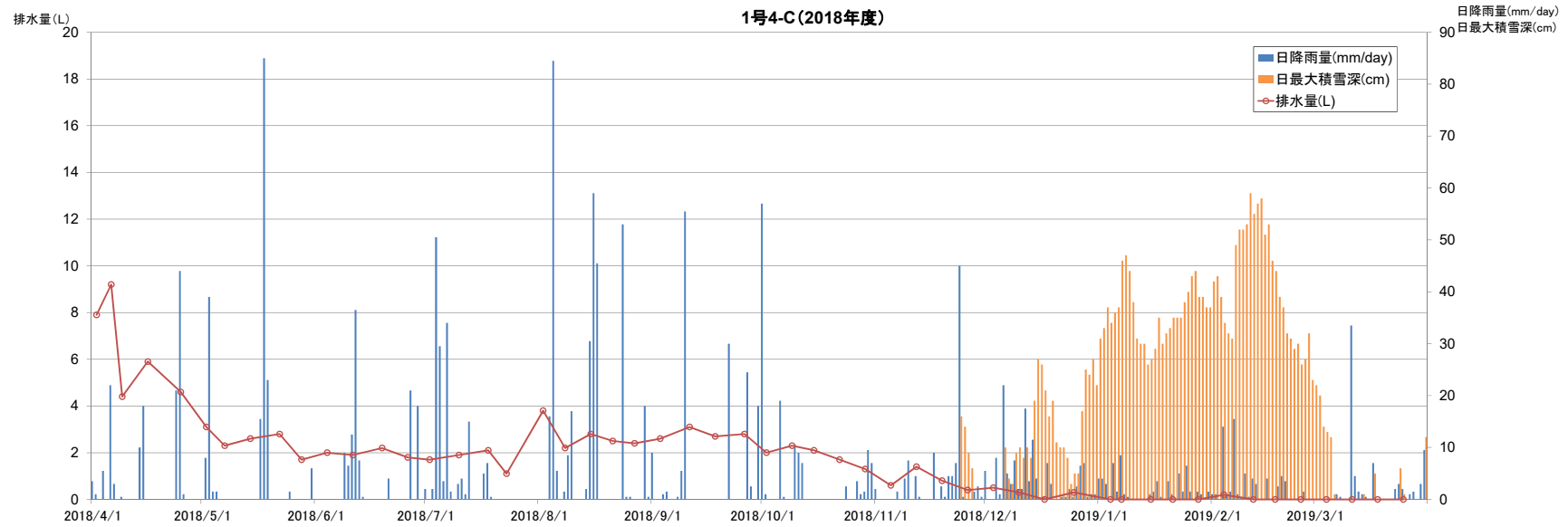
d. 1号4-Cの実績から推察される要因

排水の多くは、発生したひび割れを經由した降雨に起因するものと推定している。

2018年度の降雨量と排水量の関係(第5図)を見ると、全体として季節変動に伴う排水量の変化として以下の傾向が確認できる。

- ・4月は、雪解けによる排水量の増加が見られる。
- ・6月～9月を比較した場合、降雨量の多い時期(8月～9月：計約490mm)は、降雨量が少ない時期(6月～7月：計約275mm)に比べて排水量が増加する傾向にある。
- ・冬の時期は、積雪となることで、排水量が減少する。

なお、7月23日から8月2日にかけて、排水量の増加が見られるが、7月23日は5日間の排水量、8月2日は10日間の排水量となっていることが要因であり、水の浸入量については、目立った変化ではない。



第5図 排水量と降雨量及び積雪深さの関係(1号4-C 2018年度)

(2) 1号4-C埋設設備のまとめ

1号4-C埋設設備の排水状況について評価する。

ルートA：覆い及び側壁で発生したひび割れは、ひび割れ制御鉄筋を設置したことによりひび割れ発生を抑制し、排水を改善した。

ルートB：覆い天端の目地の劣化は、目地部を保修することで、排水を改善した。

ルートC：覆い側部で発生したひび割れは、ひび割れ部を表面止水工法による保修することで、排水を改善した。

ルートD：底版は状態を確認することはできず、ひび割れの発生やそれに伴う排水の可能性は否定できない。

5. 排水実績に基づく埋設設備の漏出防止性能について

(1) 漏出防止設計の考え方

(i) 漏出防止の期間は、覆土完了までとし、この期間、埋設設備は外周仕切設備及び覆いの水密性により埋設設備内への水の浸入を抑制し、埋設設備内に浸入した水は、廃棄体に接触する前に排水・監視設備により埋設設備外に排出して回収することで、漏出防止を達成する。

(ii) 漏出を防止する領域としては、外周仕切設備及び覆いの内側とする。

(iii) 放射性物質はドラム缶内に固型化されていることから、放射性物質が埋設設備の外に漏出するには、ドラム缶内に水が浸入する必要がある。放射性物質の漏出防止のため、ドラム缶内へ水が浸入し難くなるよう以下に配慮した設計とする。

a. 外周仕切設備及び覆いは水を透し難い設計とする。具体的には、地震力等外力を適切に考慮するとともに、水結合材比55%以下の水密性を確保し発熱量が小さいコンクリートを用いるなどの設計とする。

b. 外周仕切設備及び覆いから水が浸入した場合でも、その水が廃棄体に接触する前に外周仕切設備及び覆いの外に回収できるよう、外周仕切設備及び覆いの内側に透水性の高いポーラスコンクリート層からなる排水・監視設備を設け、ポーラスコンクリート層に接続した排水管により、外周仕切設備及び覆いの外に水を排出し、その放射性物質の濃度が確認できる構造とする。

c. ポーラスコンクリート層を流れる水が廃棄体の方へ浸入し難くさせるため、廃棄体の周りにはモルタル(セメント系充填材)を充填する。このモルタルは、廃

棄体間の狭隘部にも隙間なく充填されるような、ブリーディングの極めて少ない高流動のモルタルで、かつ温度応力ひび割れを起こし難くさせるため、低発熱となるようなモルタルとする(参考資料3「セメント系充填材の性能について」参照)。

(2) 漏出防止評価

- ・漏出防止期間中は、外周仕切設備及び覆いから浸入した水は排水・監視設備で排水し、ポーラスコンクリート中の水位が廃棄体の位置より低く保たれていれば、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となる。不飽和状態では、移流による核種の移行は起こらないが、トリチウムは不飽和中でも拡散で移行する可能性がある。
- ・現状の1号及び2号の排水量は1埋設設備当たり最大で $0.6\text{m}^3/\text{y}$ (過去最大で、 $11.8\text{m}^3/\text{y}$)であり、排水・監視設備の排水能力(保守的に少なめに想定した場合、1号： $105.0\text{m}^3/\text{y}$ 、2号： $159.5\text{m}^3/\text{y}$ *1参照)に比較して小さいことから廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態が維持されてきたと考えられる。
- ・仮に今後排水・監視設備の排水能力以上の水が浸入し、排水・監視設備が常時飽和し、廃棄体周囲のモルタル層も飽和状態となった場合を仮定したトリチウムの拡散評価を行った。廃棄体周囲のモルタル層は充填性が良く、亀裂も少ないこと、ドラム缶はアルカリ性のモルタルに囲まれ腐食は容易に進まないことから、排水・監視設備を流れる水がドラム缶内部に到達する割合は極めて少ないと考えられ、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度は、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」(平成30年6月8日原子力規制委員会告示第4号)で定められている周辺監視区域外の水中の濃度限度(以下「水中濃度限度」という。)と比べて十分に低い(参考資料2「排水中のトリチウム濃度を用いた漏出防止評価について」参照)。

*1：排水・監視設備の排水能力の算定方法

$$\text{排水能力 } Q = A \times k \times i$$

ここに、

A : ポーラスコンクリート層通水断面積

1号 : 高さ 0.05m、幅 22.2m、2号 : 高さ 0.05m、幅 33.71m

k : ポーラスコンクリート層の透水係数であり、品質管理基準の下限値である $3.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ に対し、接続部の影響を考慮し、排水能力が少なく見積もれるよう 1 オーダー保守的に $3.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ とする。

i : 動水勾配であり、1/200 とする。

(3) 埋設設備に浸入する水と漏出防止設計の関係

- ・ 外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備に浸入した水の量が、排水・監視設備の排水能力より小さければ、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となり、放射性物質は極めて移行し難くなり、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度は、水中濃度限度より十分小さくなる。現在の排水量は、排水・監視設備の排水能力以下であり、問題ない。
- ・ 覆土施工中から、外周仕切設備及び覆いの周囲の地下水が上昇し、外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備へ浸入する流量が増える可能性がある。この場合排水・監視設備の排水能力を超えると、廃棄体周囲のモルタル層は徐々に飽和状態となる。覆土施工開始から、漏出防止期間が終了するまでの期間は 10 年程度と短期であり、この間に廃棄体周囲のモルタル層は完全に飽和に至らない可能性がある。仮に飽和になれば、放射性物質は不飽和状態より移行しやすくなるが、排水・監視設備で排水している状態は、外周仕切設備及び覆いの外から、排水・監視設備の方向へ水が流れる状態であり、浸入した水は排水・監視設備から回収され、管理されることから、漏出防止としては問題ない状態である。

(4) 外周仕切設備及び覆いのひび割れに対する管理

- ・ 覆土施工前及び、覆土施工により埋設設備周囲の地下水面が上昇し外周仕切設備及び覆いの外から地下水が浸入する状態になるまでの間は、外周仕切設備（特に底版）にひび割れがあると、排水・監視設備から外周仕切設備の外の方へ向かう流れが生じる可能性があるため、廃棄体周囲のモルタル層が不飽和状態で放射性物質が移行し難くなる状態となるよう、排水・監視設備から排水され

る流量が排水・監視設備の排水能力を超えないよう、外周仕切設備及び覆いのひび割れの保修を行う。現状 20L/(排水管・週)を超える排水があった場合又は 20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視強化を行い、必要があれば保修を行うこととしている。

- ・排水・監視設備から実際に排水される水の量や放射性物質濃度を測定し、排水・監視設備の部分での計算上の放射性物質濃度の評価結果と比較することで、廃棄体周囲のモルタルの性能が想定通りになっているか推定することが可能である。現状排水・監視設備の排水は、移行しやすいトリチウムに対し水中濃度限度の 1/100 の精度で測定しているが、検出されたことはない。仮に今後、排水・監視設備で放射性物質が検出され、さらに、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度が水中濃度限度より十分小さくならないと想定された場合は、埋設設備のひび割れ保修も含めた必要な対策をとることとしている。
- ・覆土施工後、設備周囲の地下水面の上昇で外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備に浸入する流量が増加する可能性がある。流量が増加しても、外周仕切設備及び覆いの外から中に向かう流れなので漏出防止機能に問題はないが、廃棄体周囲のモルタルが飽和しない方が漏出防止性能が高いので、覆土施工前に表面のひび割れについて保修する。

参考文献

- (1) 戸栗ほか(2005)：放射性廃棄物埋設施設におけるひび割れ制御に関する設計と施工, 日本コンクリート工学協会論文集
- (2) 工藤ほか(2015)：浅地中処分施設における鉄筋コンクリート側壁のひび割れ制御の変遷, コンクリート工学, Vol. 53, No. 6

排水・監視設備の監視強化について

1. はじめに

本資料は、1号及び2号排水・監視設備における排水の監視における監視強化に関して説明するものである。

排水監視の実施に関して、「常時における監視頻度」、「監視強化を行う場合の条件」、「監視強化の解除の条件」、「排水管バルブの開閉運用」及び「排水中に有意とする濃度^{*1}以上の放射性物質が検出された場合の措置」について説明する。

2. 排水・監視設備における排水監視

当該埋設設備の廃棄体定置開始日から排水・監視設備における排水監視を開始する。

1基の埋設設備に対して、東西合計2つの排水管に各20Lの採取容器を設ける。排水を採取した場合は排水状況の記録を関係箇所に通知することとしている。

(1) 常時における監視頻度

排水監視開始後、毎週1回(原則として週の第一営業日)排水状況を確認する。ただし、目安値で排水量が0.1L未満の排水は採取しない。

(2) 監視強化

20L/(排水管・週)を超える排水があった場合又は20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視・採取頻度の増加(毎営業日)及び排水管バルブの開閉操作による監視強化に移行する。

20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合とは、排水状況が以下のいずれかに該当する場合である。

- ①1基当たり東西合計20L/週を超える排水があった場合
- ②1基当たり東西合計20L/週を超える排水が予想される場合
- ③1基の東西どちらかの採取容器に10L/週を超える排水があった場合
- ④1基の東西どちらかの採取容器に10L/週を超える排水が予想される場合

なお、監視強化中において、次回の排水監視までに排水量が1つの採取容器で20Lを超えないと判断した場合は排水を採取しない。

(3) 監視強化の解除

排水状況が以下であることが確認された場合に監視強化を解除する。

- ①排水が東西合計 20L/週を超えないこと
- ②排水が東西どちらかの採取容器で 10L/週を超えないこと

3. 排水管バルブの開閉について

排水管バルブは、排水管内に排水が滞留しないよう通常「開」状態としている。ただし、採取容器への排水量が次回の排水監視までに1つの採取容器で20Lを超える排水が予想される場合は排水管バルブを「閉」状態とし、そのおそれが無くなった時点で排水管バルブを「開」状態に戻すこととしている。

また、大雨が予想される場合には、排水管から埋設設備内部への水の逆流を防止するため、排水管バルブを「閉」状態として操作をすることとしている。

4. 排水中に有意とする濃度*1以上の放射性物質が検出された場合の措置

排水中に有意とする濃度以上の放射性物質が検出された場合には、放射線防護上の措置を講じた上で排水の監視を実施する。

*1 有意とする濃度

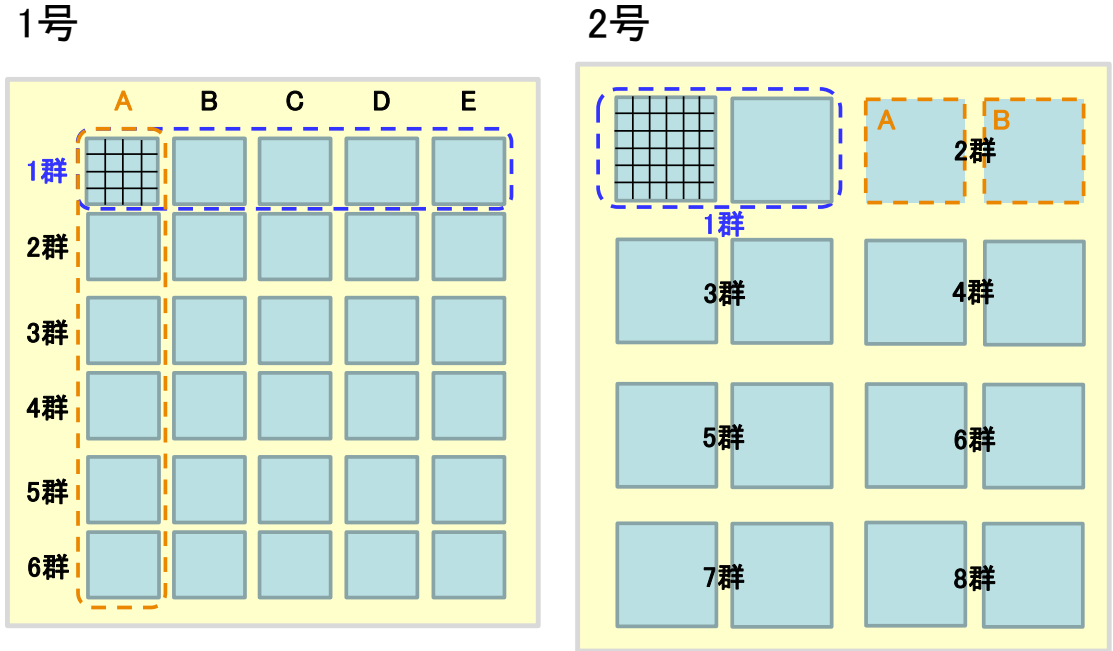
(単位：Bq/cm³)

核種	排水・監視設備からの排水中の放射性物質濃度の評価
H-3	1×10^0
Co-60	検出限界値(目標検出限界値 1×10^{-3})
Cs-137	検出限界値(目標検出限界値 7×10^{-4})

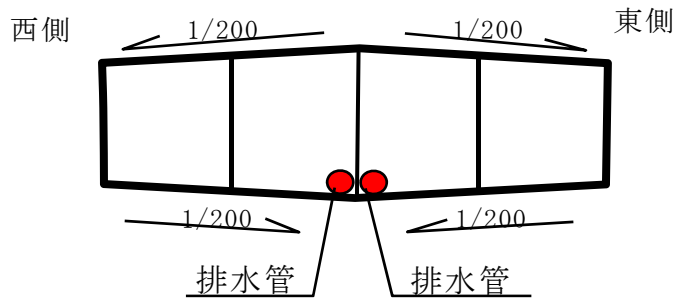
年間想定排水量の考え方

1,2号排出量20Lの考え方							3号現状の想定浸入水量の考え方					
<p>動水勾配が最大となる覆土完了後での健全なコンクリート(外周仕切設備及び覆い)からの浸入を想定する。</p> <p>動水勾配設定図 数字は1号での数字を示し、1,2号で異なる場合は()内に2号の数字を示す。</p> <p>$Q=K \cdot i \cdot S$</p> <ul style="list-style-type: none"> Q: 浸入水量 K: コンクリートの透水係数(=1.0×10⁻¹²m/s)と、ベントナイト混合土の透水係数(=1.0×10⁻¹¹m/s)より求まる等価透水係数 i: 動水勾配(=(外部の水頭-内部の水頭)/(浸入距離)) S: 面積 							<p>動水勾配が最大となる覆土完了後での健全なコンクリート(外周仕切設備及び覆い)からの浸入を想定する。</p> <p>動水勾配設定図</p> <p>$Q=K \cdot i \cdot S$</p> <ul style="list-style-type: none"> Q: 浸入水量 K: コンクリートの透水係数(=1.0×10⁻¹²m/s) i: 動水勾配(=(外部の水頭-内部の水頭)/(浸入距離)) S: 面積 					
浸入箇所	埋設設備	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)	浸入箇所	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)
覆い	1号	4.5	0.0	2.5	24.4×24.4	0.16	覆い	18.3	0.0	0.3	36.51×64.10	4.5
	2号	9.5	0.0	2.5	36×36.91	0.57	側壁	21.33	0.0	0.6	(36.51+64.10)×6.66×2	1.5
側壁	1号	7.05	0.0	2.5	24.4×6.2×4	0.26	底板	24.66	0.0	0.6	36.51×64.10	3.0
	2号	12.3	0.0	2.6	(36+36.91)×6.9×2	0.49	合計					9.0
底板	1号	10.2	0.0	0.6	24.4×24.4	0.32						
	2号	15.9	0.0	0.8	36×36.91	0.83						
合計	1号					0.74						
	2号					1.89						
<p>上記計算結果より、想定される各埋設設備全体での浸入水量は以下の通り</p> <p>1号: 0.74m³/y × 40ピット ≒ 30m³/y</p> <p>2号: 1.89m³/y × 16ピット ≒ 30m³/y</p>							<p>上記計算結果より、想定される浸入水量を保守的に10m³/y・ピットと設定すると、埋設設備全体での浸入水量は以下の通り</p> <p>3号: 10.0m³/y × 8ピット = 80m³/y</p>					

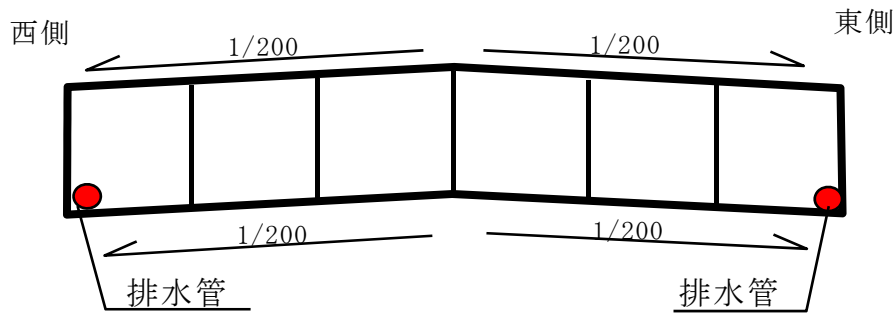
なお、本資料は1号及び2号事業変更許可申請時と、今回の3号申請時のポーラスコンクリート想定浸入水量の考え方について比較したものである。



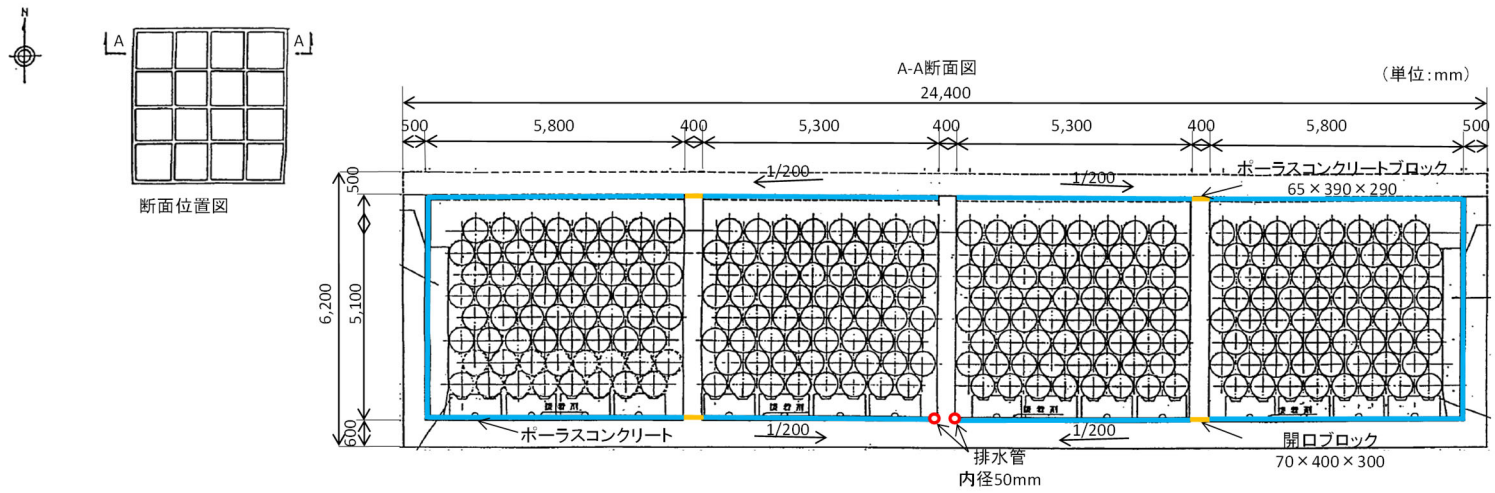
第 1 図 1 号及び 2 号埋設設備設置平面図



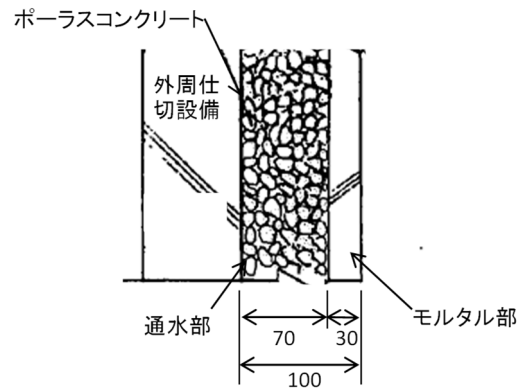
第 2 図 1 号集水構造断面図



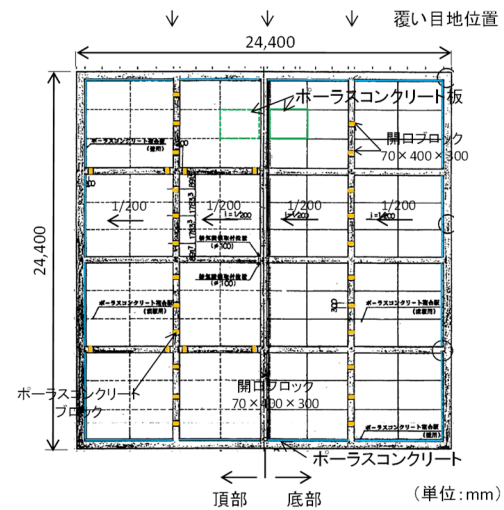
第 3 図 2 号集水構造断面図



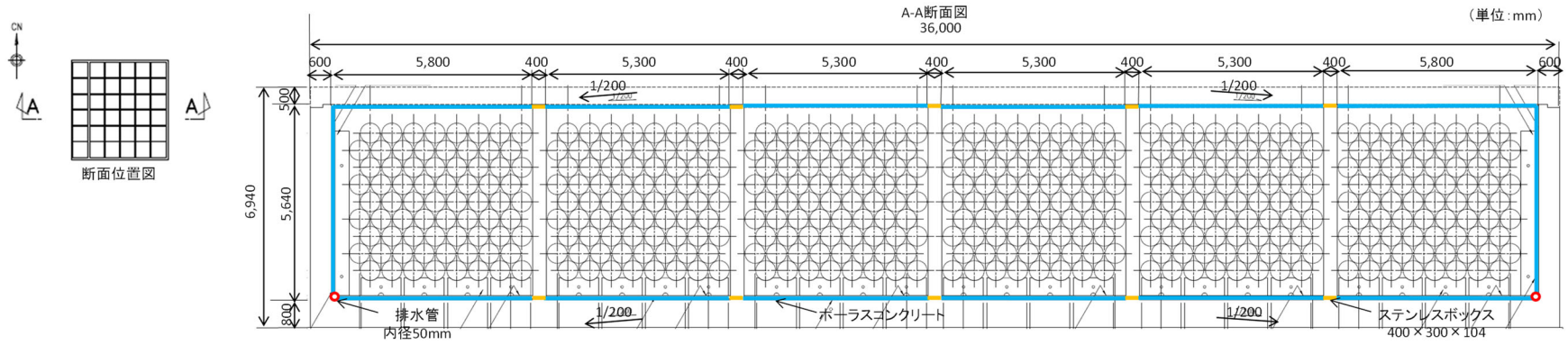
第4図 排水・監視設備配置断面図(1号)



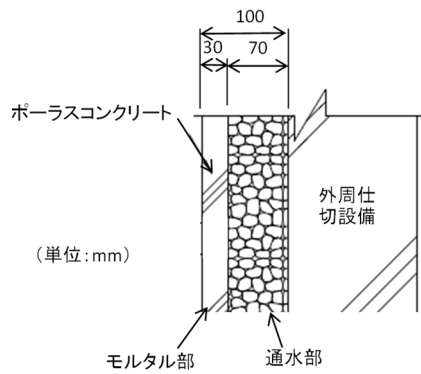
第5図 ポラスコンクリート詳細図(1号)



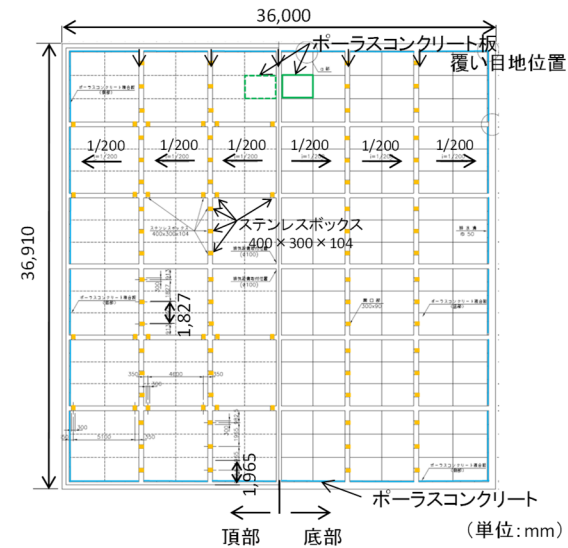
第6図 ポラスコンクリート・開口ブロック、ポラスコンクリートブロック平面配置図



第7図 排水・監視設備配置断面図 (2号)





第8図 ポラスコンクリート詳細図 (2号)



第9図 ポラスコンクリート・ステンレスボックス平面配置図

主な保修工法の概要

	表面被覆工法	注入力法	ひび割れ表面止水工法
(1) 保修概要	埋設設備の表面に発生したひび割れ(平均的なひび割れ幅:0.1~0.2mm程度)に対して、表面被覆工法による保修を実施することで、水密性の確保及び耐久性を維持することとした。 なお、幅0.2mm以上のひび割れ部は、注入力法実施後に表面被覆を施した。	埋設設備の表面の確認したひび割れ(幅0.2mm以上)に対して、樹脂系の注入力材を低圧注入力した。	埋設設備の表面に確認したひび割れ(幅0.2mm以上)に対して、表面をシリコンシーリング材で閉塞した。 表面被覆を実施しているものについては表面被覆材を撤去後に実施した。
(2) 工法説明	工法:アロンウォール工法 コンクリートのひび割れ表面に塗膜を構成し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の防水性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 	工法:注入力法(低圧) コンクリートのひび割れ部に注入力材を注入力し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の水密性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 	工法:表面シール工法 コンクリートのひび割れ表面にシリコンシーリング材を貼付し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の防水性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 
(3) 保修材料の選定理由	表面被覆材:屋外環境における耐久性及び原子力関連施設での実績を踏まえ、アクリルゴム系の表面被覆材を使用した。	注入力材:施工性及び乾燥収縮に対する抵抗性が高い樹脂系の注入力材を使用した。	シリコンシーリング材:施工性、耐寒性、コンクリート構造物での施工実績を踏まえ、シリコンシーリング材を使用した。
(4) 保修対象箇所	底部を除く全面	覆い、側壁、底版に確認されたひび割れ	覆い、側壁、底版に確認されたひび割れ

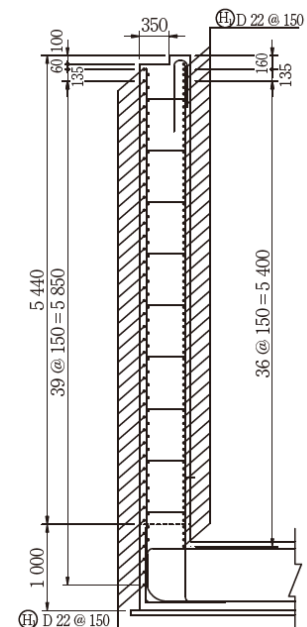
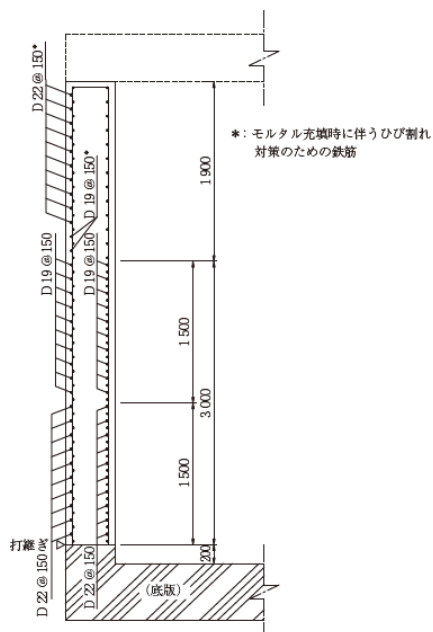
その他、覆い天端部及び側部の目地シールの交換並びに構築時に底版の断面修復を実施している。

既設備の損傷状況と改修履歴

1. ひび割れ制御鉄筋について

1号1,2群においては、コンクリートの打ち込み後、数ヶ月経過した時点から外周仕切設備側壁下部から鉛直方向にひび割れが発生した。このため、側壁のコンクリートに発生するひび割れ幅、本数を抑制する対策として、1号3群以降の埋設設備には従来の構造鉄筋（水平、鉛直ともに主鉄筋でD19@150mm）に加えD22@150mm、D19@150mmをひび割れ制御鉄筋として追加した（第1図）。また、覆い表面に対しても同様に、構造鉄筋（D16@150mm）に加えD13@150mmをひび割れ制御鉄筋として追加した。

2号埋設設備は1号埋設設備と比較し、側壁の延長が約1.5倍、高さが約1.1倍となるため、拘束条件、区画内に充填する流動性の高いモルタルの充填圧の影響が厳しくなることが想定された。このため1号で蓄積したひび割れ実測データや、最新の知見を踏まえて、平均ひび割れ幅0.04mm以下、最大ひび割れ幅0.2mm以下を目標とし、構造鉄筋D19@150mm（水平、鉛直方向）に加え、ひび割れ制御鉄筋D22@150mm（水平方向）を追加した（第2図）。



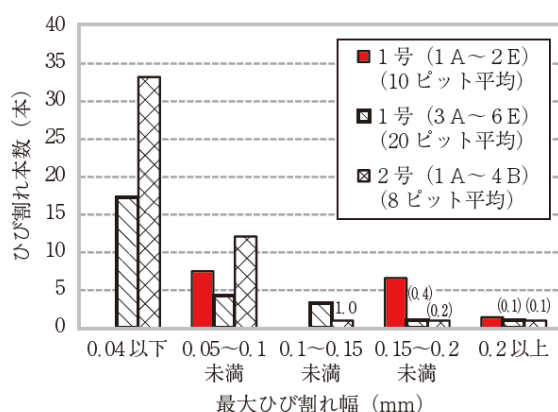
第1図 1号埋設設備3群から6群側壁の配筋図

第2図 2号埋設設備側壁の配筋図

2. ひび割れ制御鉄筋の効果

ひび割れ制御鉄筋が配置されていない1号(1A~2E)と、ひび割れ制御鉄筋を配置した1号(3A~6E)、2号(1A~4B)のひび割れ幅、本数について比較した。埋設設備に実際に発生した最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数を第3図に示す。側壁の打ち込み後、数ヶ月経過した頃から外周仕切設備側壁下部から鉛直方向にひび割れが発生した。これは温度降下に起因するものと考えられる。また、側壁施工から1年程度経過後において、充填材施工後、数日~4週間以内に、ひび割れが発生しており、それらはモルタル充填圧によるものと推測された。

1号(1A~2E)の最大ひび割れ幅は0.2mm以上、平均ひび割れ幅は0.13mmであった。これに対して、1号(3A~6E)の最大ひび割れ幅は0.2mm未満、平均ひび割れ幅は0.06mmとなった。また、1号より側壁長さが長い2号埋設設備の最大ひび割れ幅は、部分的に0.2mm以上が発生しているが、平均ひび割れ幅は0.05mmであった。設計したひび割れ制御鉄筋により、所要のひび割れ抑制効果が得られた。



第3図 最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数 (ひび割れ制御鉄筋効果比較)

3. コンクリート配合について

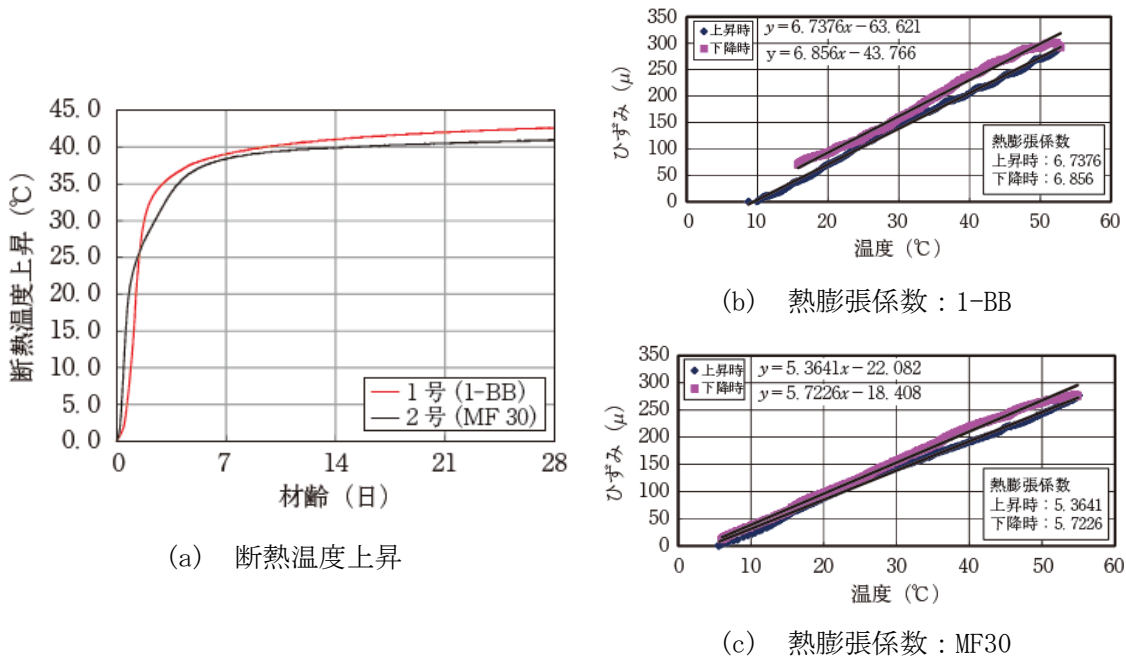
1号埋設設備では高炉スラグ配合(1-BBと称す)を、2号1A~4B埋設設備では、高炉スラグ配合(2-BBと称す)を使用していたが、ひび割れ抑制の向上のため、2号5A~8B埋設設備では、中庸熱セメント(フライアッシュ30%置換、MF30と称す)を使用した。変更前後の配合を第1表に、1-BB配合とMF30配合の熱種物性を第4図に示す。1-BB配合と比較して、断熱温度上昇特性はMF30配合と1-BB配合ともあまり変わらないが、

熱膨張係数はMF30配合の方が小さい結果であることから、温度変化によるひずみ量が小さくなり性能向上が期待できる。

第1表 埋設設備に用いたコンクリートの配合表

埋設施設	配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
				水 (W)	結合材 (B)			石灰石微粉末 (LS)	細骨材 (S)		粗骨材 (G)
					BB	MF 30	EX		砕砂	陸砂	
1号	1-BB	55.0	46.9	153	249	-	30	-	533	355	1 023
2号	1A~4B	53.7	45.8	145	240	-	30	-	530	354	1 048
	5A~8B	46.5	44.1	155	-	318	15	60	313	470	999

BB：高炉セメントB種，MF30：中層熱フライアッシュセメント，EX：膨張材



第4図 コンクリートの熱物性比較

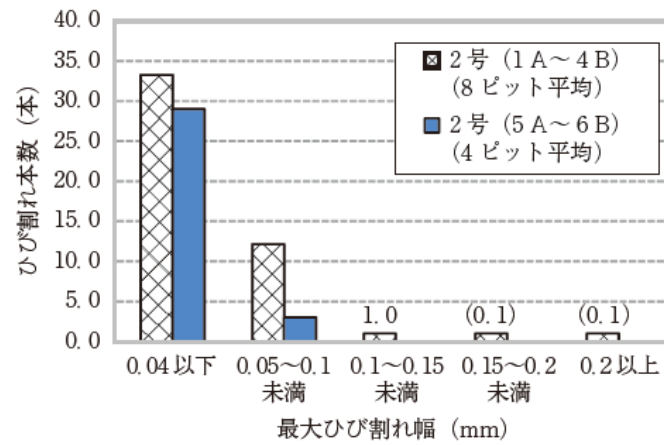
4. コンクリート配合の効果

配合変更によるひび割れ抑制効果について実測により評価した。最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数を第5図に示す。

2-BB配合では、最大で0.2mm幅程度のひび割れが発生しているのに対し、MF30配合では最大ひび割れ幅は0.08mm程度となっており、配合変更によるひび割れ抑制効果が確認された。

なお、2号埋設設備におけるひび割れ制御鉄筋は同一仕様であることから、ひび割

れ発生状況の相違は、主に配合変更の効果であるといえる。



第5図 最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数（配合変更効果比較）

外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について

1. 概要

本資料では、埋設設備への水の浸入経路のうち、底版からの浸入の可能性について検討する。

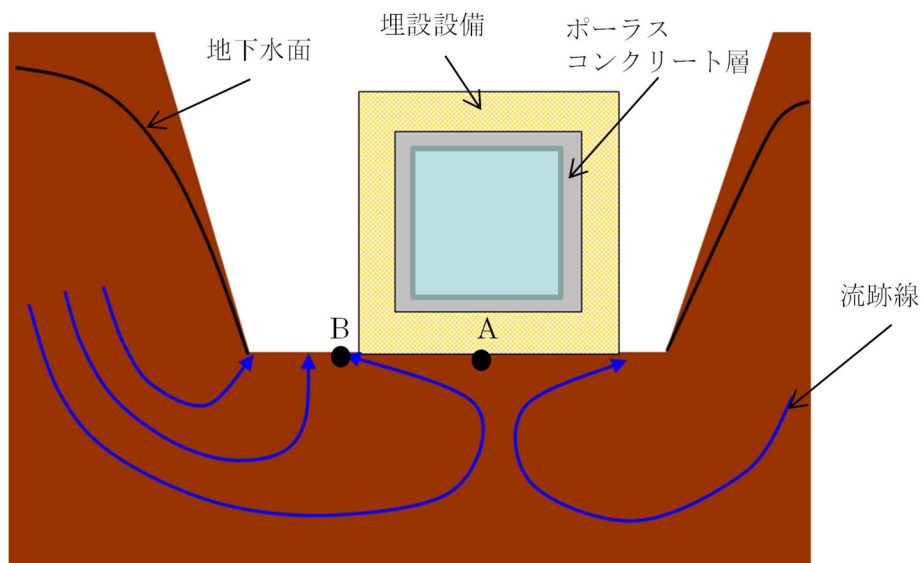
埋設設備は、廃棄物埋設地を掘削し、掘り下げた岩盤(鷹架層)の上に設置している。外周仕切設備底版(以下「底版」という。)の上に設置する底部のポーラスコンクリート層は、掘削底面よりも高い位置(底版厚さとして1号で約60cm、2号で約80cm)にある。

地下水位の低い覆土前の期間は、地下水は、掘削底面よりも高い位置にある底版上のポーラスコンクリート層に容易に浸入しないと考えられる。しかし、埋設設備は岩盤(鷹架層)を掘り込んで設置し、低透水の底版が広く広がっていることから、底版下部の水頭(地下水圧)が上昇し、底版にひび割れが存在した場合は、底部のポーラスコンクリート層に地下水が浸入する可能性が否定できない。

2. 底版から地下水が浸入するメカニズム

(1) 一般論

一般的に周辺の地下水位が高い領域を掘削し、地下水や雨水を排水することにより、地下水位は掘削底面付近まで低下する。掘削した廃棄物埋設地も同様に掘削底面まで地下水位が低下した状態である。掘削完了し、埋設設備の構築後の地下水流動場の概念図を第1図に示す。廃棄物埋設地の掘削底面は上方が開放されているため湧水箇所(B点)となるが、埋設設備底版が設置される範囲(1基当たり1号では約24m×約24m、2号では約36m×約37m)は低透水のコンクリートにより塞がれるため、地下水が湧水できない。埋設設備底版の下では地下水が湧水できないことから、埋設設備底版下から上方が開放されている湧水箇所(B点)まで岩盤(鷹架層)内を横方向に地下水が流動する。このため、図のように、埋設設備底版中央部(A点)は、湧水可能な箇所から距離があることから、埋設設備の中央部に行くほど水頭(間隙水圧)が高くなる傾向にある。この場合、底版コンクリートに貫通ひび割れがあり、ポーラスコンクリート層の位置以上の高い水頭が作用すると、そこから底部のポーラスコンクリート層に水が浸入する可能性がある。



A点の水圧がB点より高くなる

第1図 地下水流動の概念図

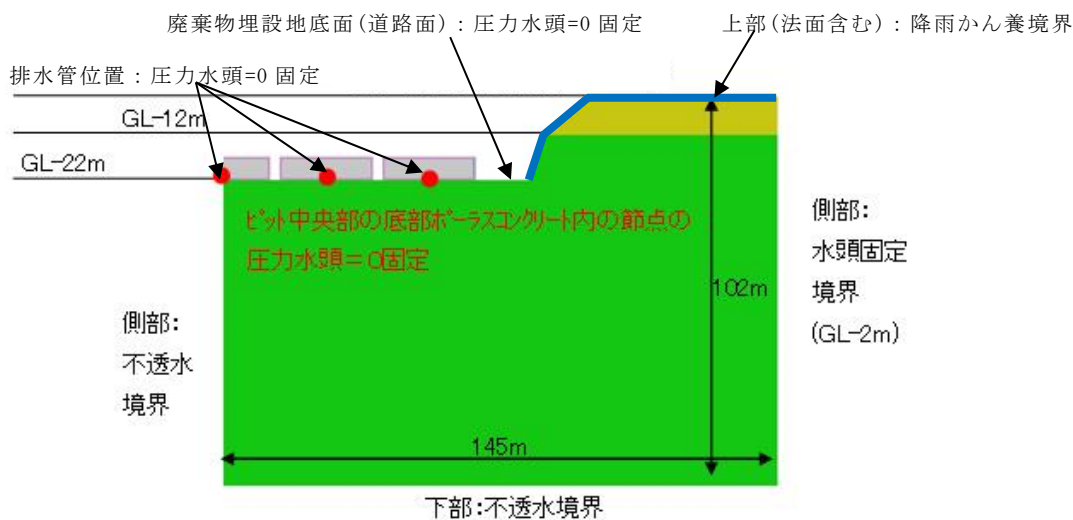
(2) 解析による地下水位の分布

1号埋設設備を対象として、埋戻前の全水頭(間隙水圧)の分布を求めるため、地下水流動解析を実施した。

(i) 解析条件及び解析モデル

1号埋設設備を対象として、東西方向断面で2Dモデル解析を実施した。解析モデルを第2図、各部位の透水係数を第1表に示す。

境界条件については、第2図に示すとおり、左側側部は対象モデルであることから不透水境界、右側側部は水頭固定境界、モデル下部は不透水境界、廃棄物埋設地法面を含む上部は降雨かん養境界、廃棄物埋設地底面(道路面)及び廃棄物埋設地底面の排水管位置(中央部1か所)には圧力水頭0に固定した水頭固定境界を設定した。埋設設備の表面については、降雨を考慮せず不透水境界とした。



第2図 解析モデル図

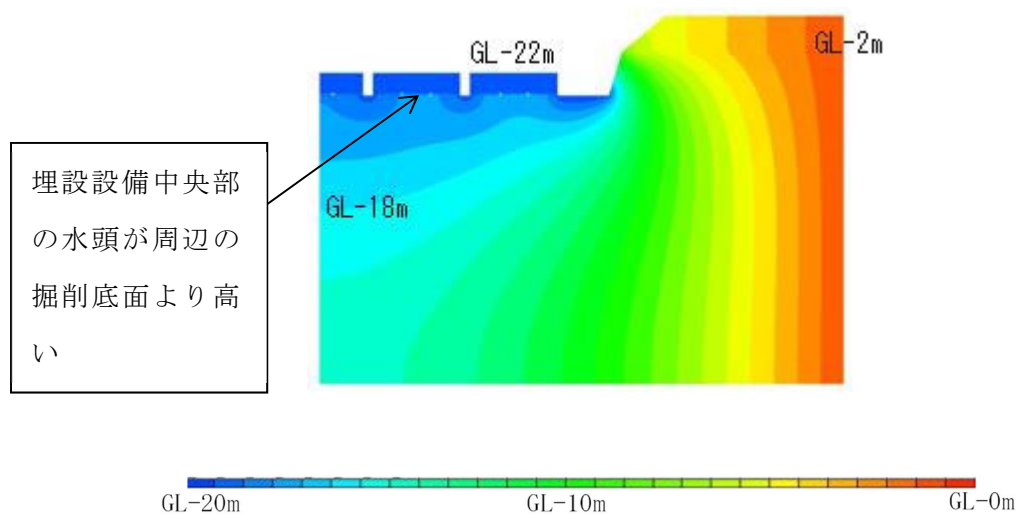
第1表 透水係数の設定値

部位	透水係数
岩盤(鷹架層)	1×10^{-7} (m/s)
埋設設備コンクリート 廃棄体+セメント系充填材	1×10^{-12} (m/s)
埋設設備底版内のひび割れ (想定)	8.7×10^{-7} (m/s) (幅 0.3mm、2か所、貫通)
ポーラスコンクリート層	1.0×10^{-3} (m/s) (幅 0.1m)

(ii) 解析結果

地下水流動解析により、掘削した状態の廃棄物埋設地近傍の全水頭分布の解析結果を第3図に示す。本解析では、濃い青色の埋設設備の中央部は周辺の掘削底面よりも水頭が高くなる傾向が確認できる。廃棄物埋設地はすり鉢状の掘削地であり、周辺の地下水は掘削地に向かって流動し、掘削底面では下から上への地下水流動も発生している。埋設設備底面付近では、埋設設備底版が鉄筋コンクリー

ト製の低透水性材料であることから、それ以外の廃棄物埋設地底面(道路面)が湧水箇所となる。このため、埋設設備底面では湧水箇所に向かって流動する傾向になる。埋設設備底面中央部の水頭が高くなることから、底版コンクリートに貫通ひび割れを想定しポーラスコンクリート層内(排水管位置)に圧力水頭0の境界条件を設定すると、埋設設備内に地下水が浸入する現象がみられる。このような条件設定下の解析結果では、底版に貫通ひび割れがあった場合、ポーラスコンクリート層に地下水が浸入する可能性があることを示している。



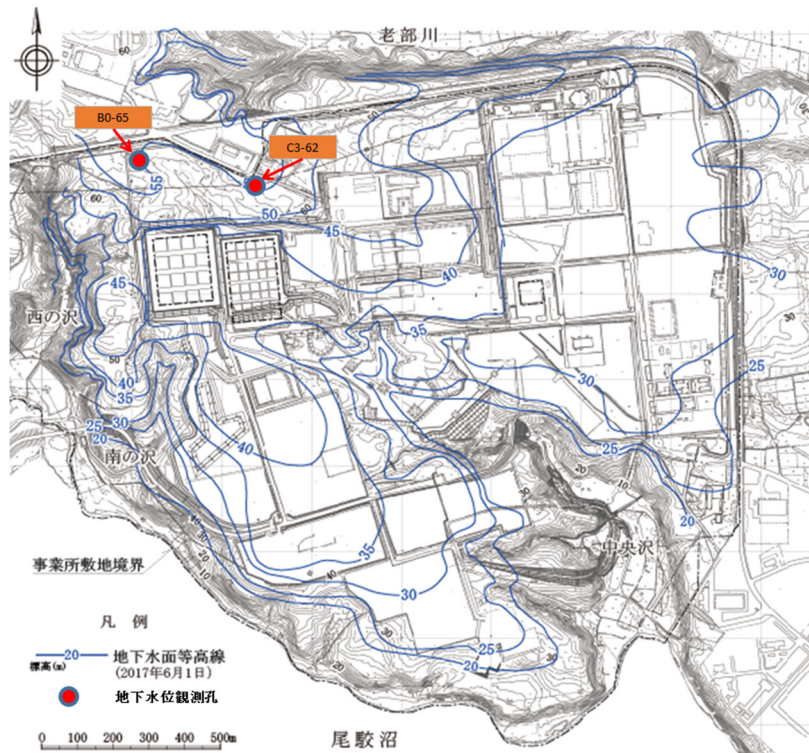
第3図 全水頭分布の解析結果(コンターピッチ:1m)

3. 地下水の観測結果と排水量の関係

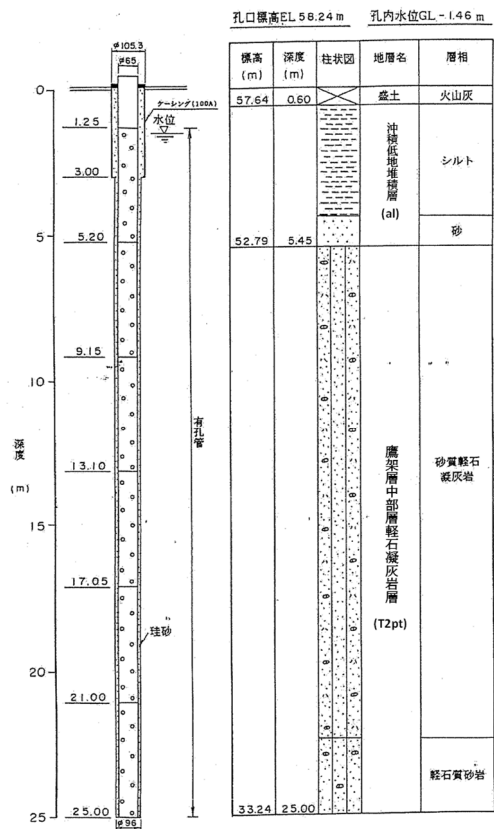
以下に、地下水位の観測結果と排水・監視設備からの排水量の関係を示す。

地下水位の観測位置を第4図に示す。次に井戸(観測孔)の構造図を第5図に示す。計測方法としては、孔内に圧力センサー方式の水位計を設置して自動計測した。

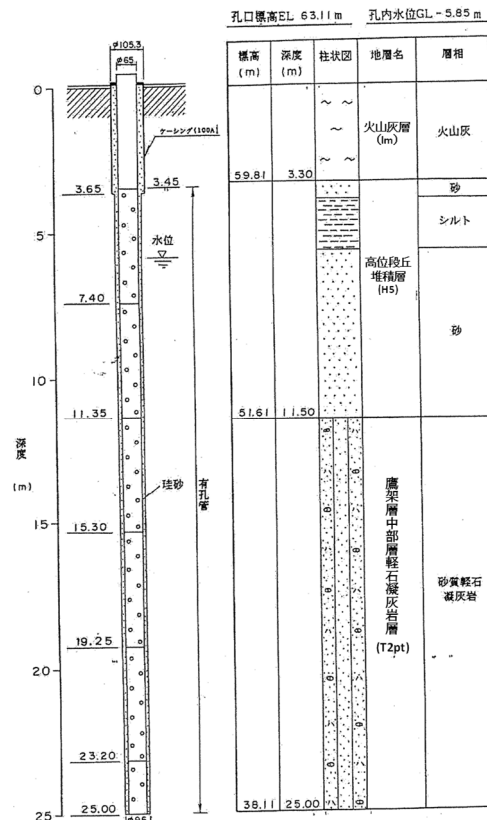
地下水位が高いときは降雨量も多いことが一般的であるが(第6図)、排水・監視設備からの排水量と降雨及び地下水との間に相関があるか明確にはわからなかった。なお、2号1-Aの12月26日から1月4日にかけて、排水量の増加が見られるが(第7図及び第8図)、12月26日は8日間の排水量、1月4日は10日間の排水量、1月7日は3日間の排水量となっていることが要因であり、水の浸入量については、目立った変化ではない。



第4図 地下水位の観測位置図

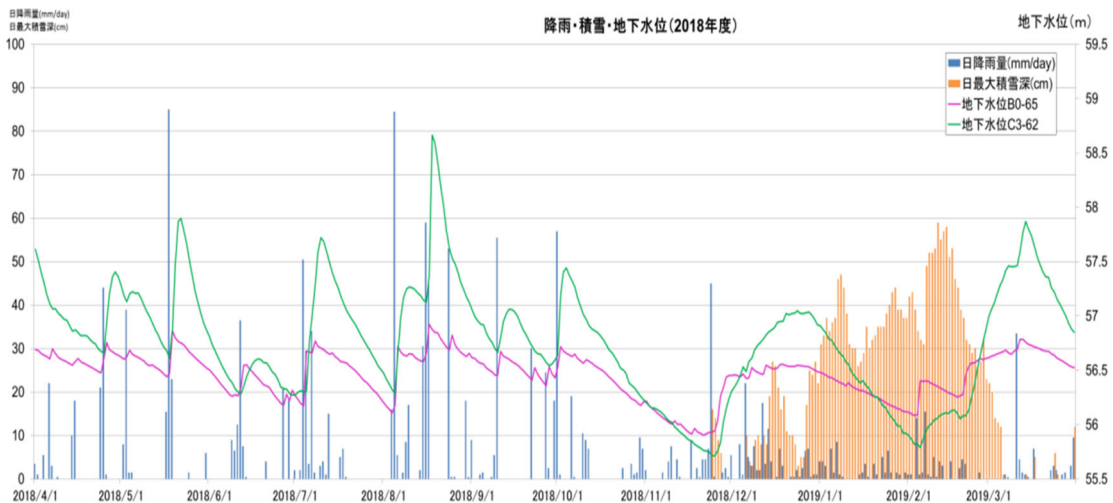


B0-65

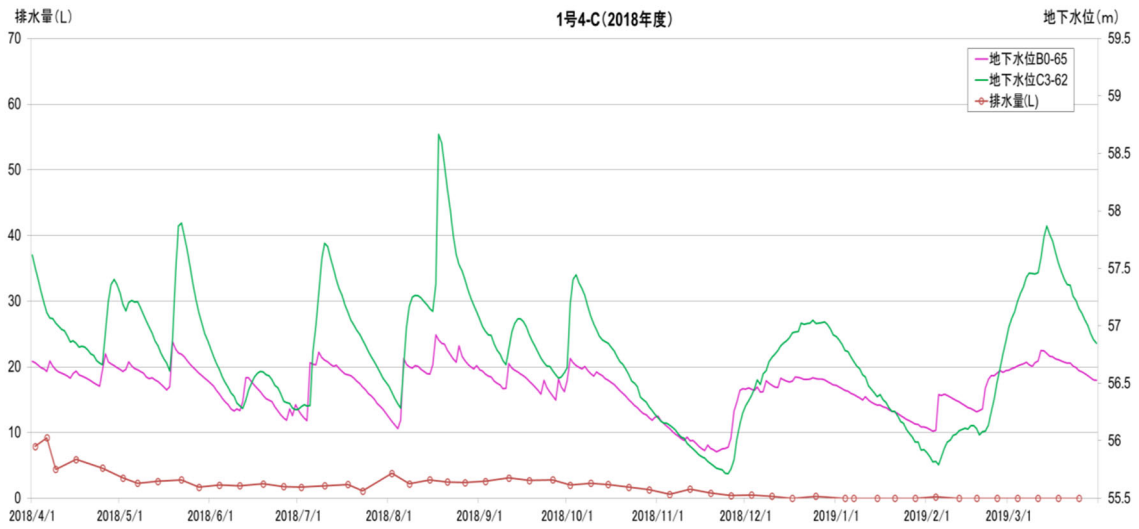


C3-62

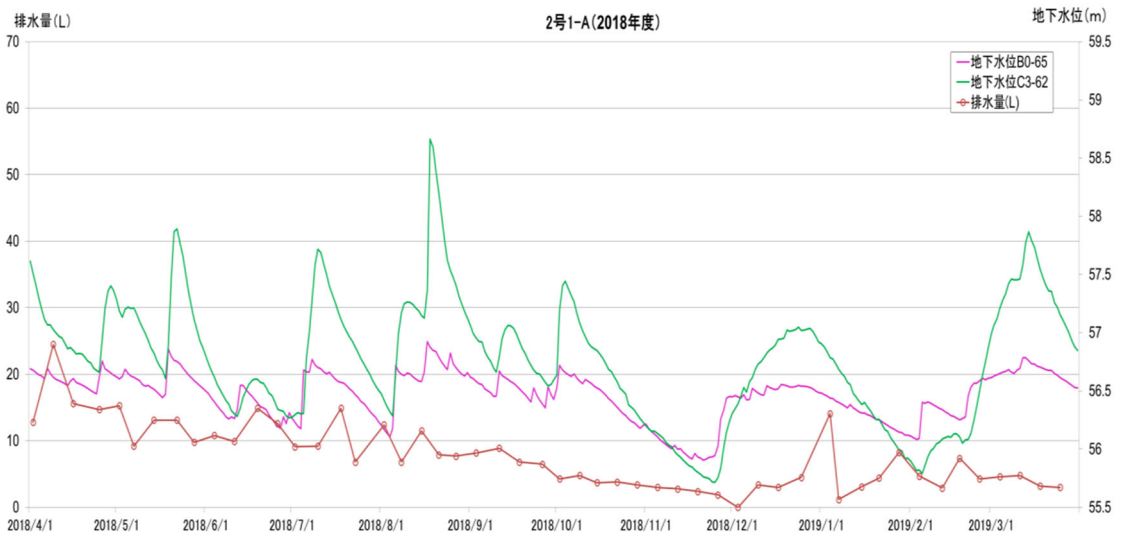
第 5 図 井戸(観測孔)の構造図



第 6 図 降雨・降雪・地下水の関係 (2018 年度)

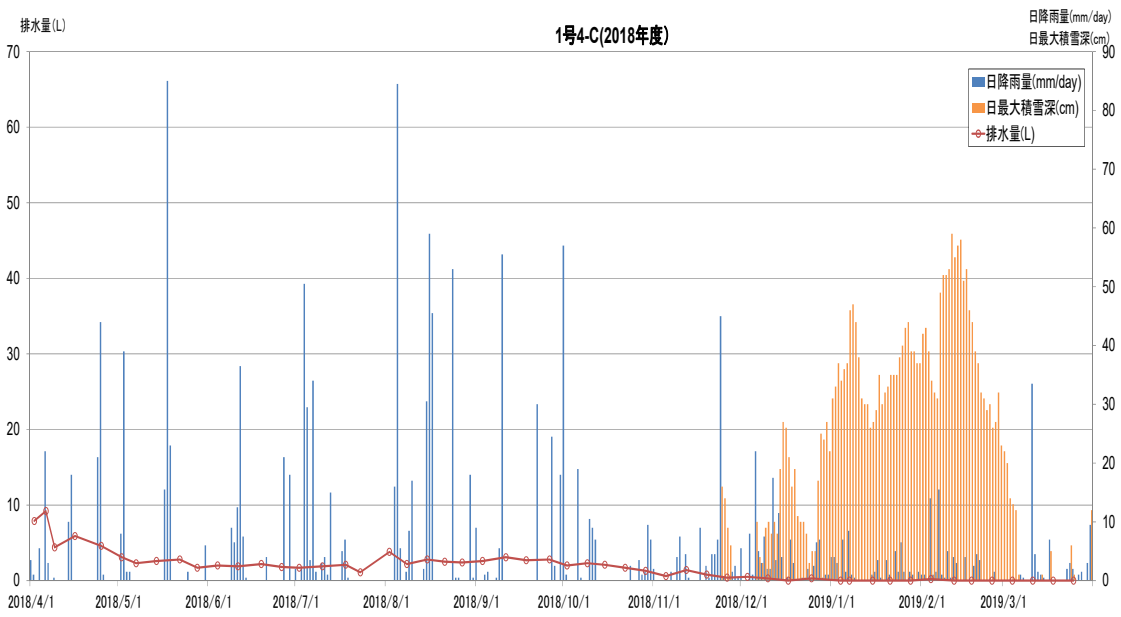


1号 4-C

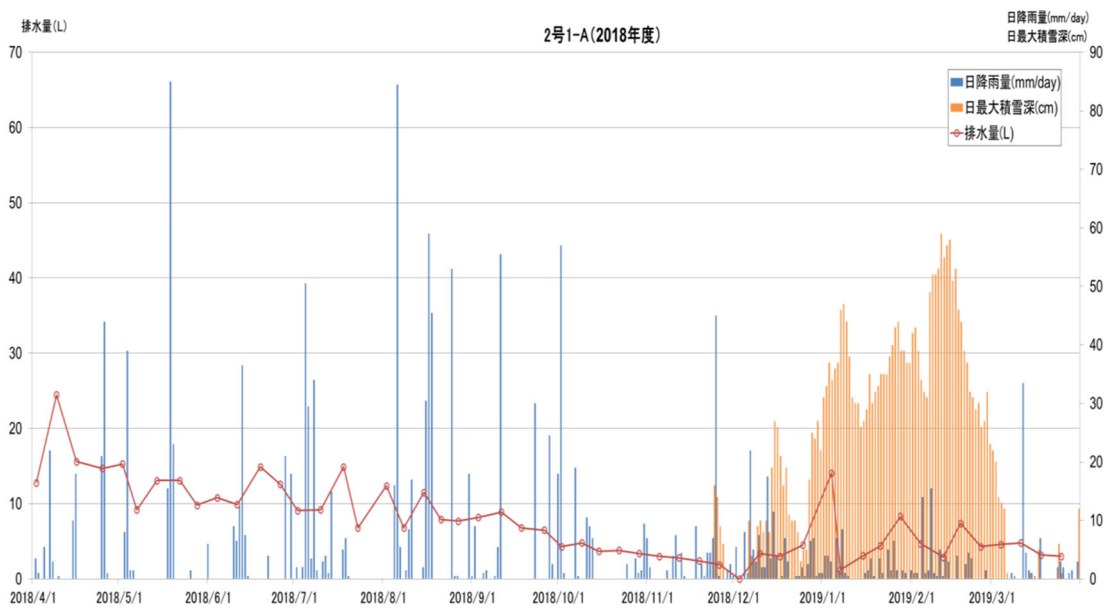


2号 1-A

第7図 地下水位と排水量の関係(2018年度)



1号 4-C



2号 1-A

第8図 降雨量、積雪量と排水量の関係(2018年度)

4. 底版にひび割れが発生する可能性

(1) 底版のひび割れの観察結果

1号については、底版打設後に底版上面にひび割れは確認されていない。

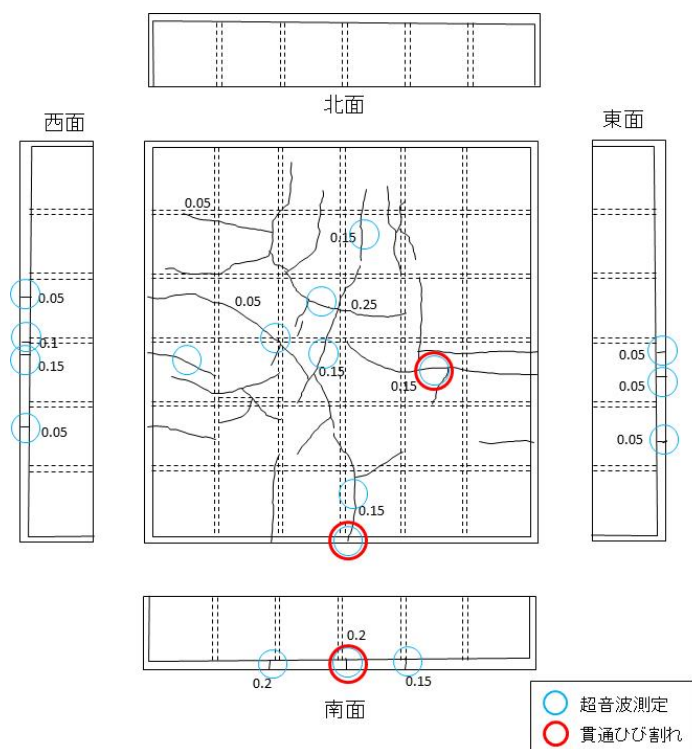
2号については、1-Aで底版にひび割れが確認されたことから、2号2-A及び2-Bで底版打設後に底版のひび割れ観察を実施した(第9図及び第10図)。

ひび割れ幅は最大で0.25mm、一部のひび割れでは超音波測定結果から貫通していると判断した。そのため、3群以降では温度収縮や自己収縮を小さくすることを目的に底版コンクリートに膨張材を添加することとした。

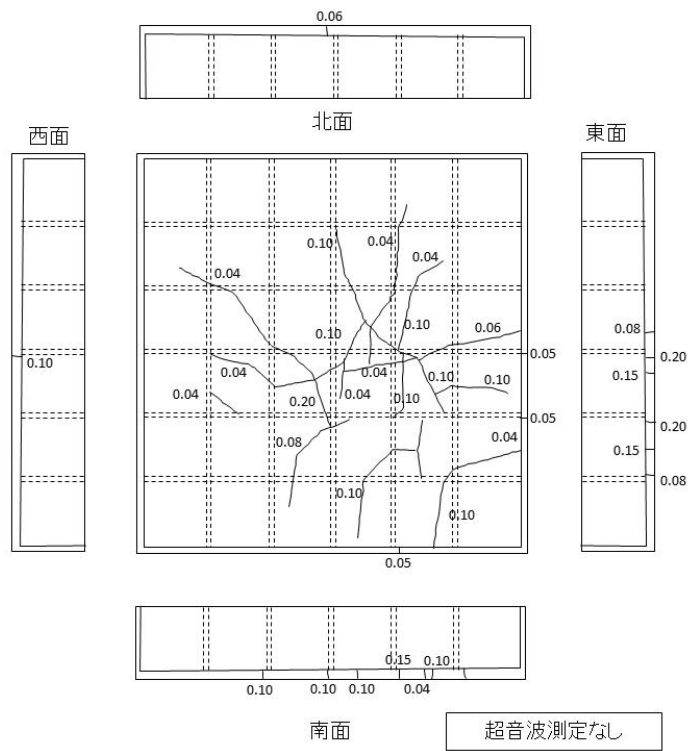
2号3-Aでも同様に底版打設後にひび割れ観察を実施した結果、膨張材添加効果として、ひび割れの抑制を確認した(第11図)。

なお、2号1-A、2-A及び2-Bに発生した底版上面のひび割れに対しては、保修を実施している。

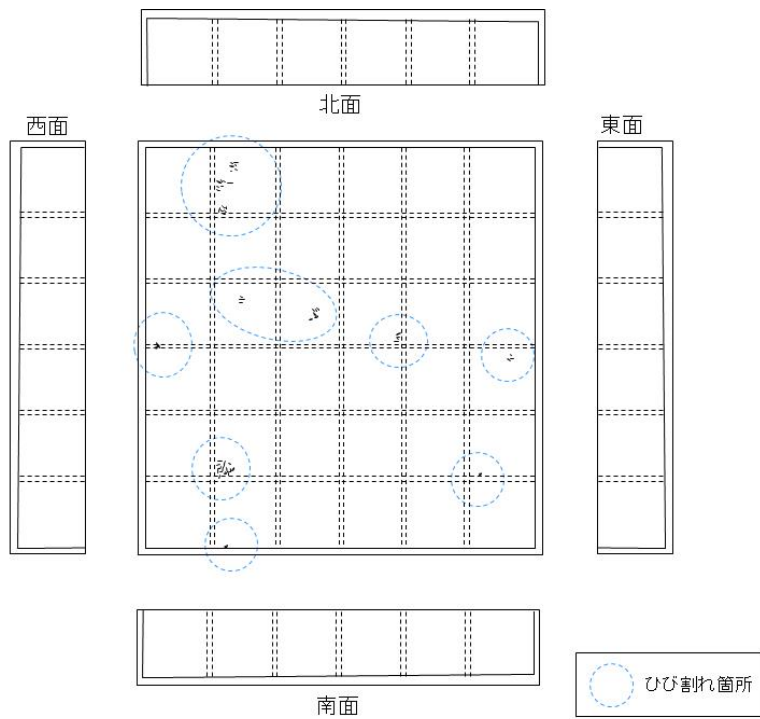
1号にひび割れが確認されなかった理由として、1号の寸法が2号の約2/3程度であることから、2号に比べて収縮変形量が相対的に小さいため、ひび割れの発生が抑制された可能性も考えられる。



第9図 2号2-A(底版コンクリート打設17日後)



第 10 図 2号 2-B(底版コンクリート打設 22 日後)



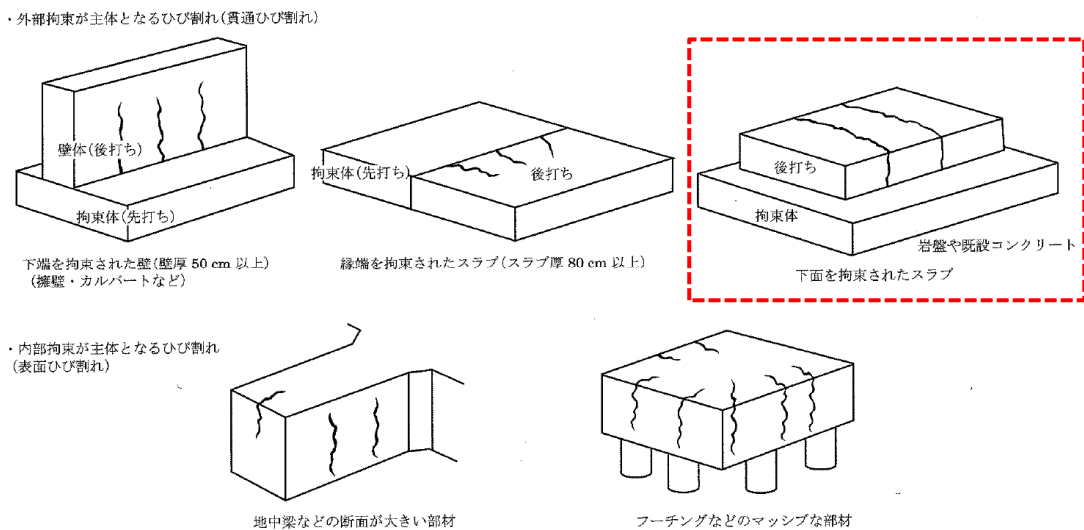
第 11 図 2号 3-A(底版コンクリート打設 35 日後)

(2) 底版に発生するひび割れ原因の推定

ひび割れ観察記録によれば、底版コンクリート打設後 8 日に側面中央部で確認し、その後底版上面でも確認している。ひび割れ発生時期は、おおむね打設後 2 週間以内に発生しているものが大半であり、ひび割れ発生タイミングがコンクリート内部の温度上昇から下降に転じ、外気温と同等になるまでの期間と一致する。

また、底版はコンクリート自身の収縮変形が下面の岩盤(鷹架層)等に拘束される条件を有していることを考慮すれば、発生したひび割れの原因は「水和熱」及び「自己収縮」によるものと推察される。

なお、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」⁽¹⁾に示されるひび割れ原因推定方法に準拠した検討を実施した場合でも、同様の原因に該当、絞り込みできる。同指針に示される水和熱によるひび割れ発生パターンは第 12 図に示すとおりであり、今回 2 号 2 群に発生したひび割れは下面を拘束されたスラブに発生するとされているパターン(右上図)に合致する。



第 12 図 ひび割れ模式図⁽¹⁾

5. まとめ

掘削した廃棄物埋設地に埋設設備を設置していることから、埋設設備の底版下部の水頭が高くなる可能性がある。

2 号 1, 2 群について、底版に貫通ひび割れが確認され、その後 3 群以降については

ひび割れを低減させる対策を取ってきているが、底版にひび割れがあれば地下水が浸入する可能性は否定できない。

これまでの排水量の実績から、1基当たり、多くても2L/日～3L/日程度と埋設設備の規模の割には非常に少ないものであり、地下水位及び降雨量の観測結果と排水量との相関は明確ではない。

以 上

参考資料

- (1) 日本コンクリート工学会(2013):コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-

排水中のトリチウム濃度を用いた
漏出防止評価について

目 次

1. 目的.....	1
(1) 評価モデル・条件.....	1
(2) 評価結果.....	8

1. 目的

漏出防止機能を確保する期間中は、排水・監視設備により排水し続けることにより、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となる。しかし、仮に設計で想定した状態とならず、ポーラスコンクリート層の排水能力以上の水が浸入した状態でポーラスコンクリート層が常時飽和して廃棄体周囲のモルタル層も飽和状態となった場合には、ドラム缶へ水が流入する可能性があることから、流入した場合のポーラスコンクリート層における放射能濃度を参考に評価した。

(1) 評価モデル・条件

埋設設備上部からポーラスコンクリート層に浸入した雨水が充填モルタルに発生した亀裂内を流れて、廃棄体の上部空隙内に滞留することを想定する。廃棄体へ到達した水は、ドラム缶蓋部から入り込み、放射性物質と接触し、廃棄体上部空隙内に滞留する水へ拡散により移行すると想定する。さらに、廃棄体の周囲の充填モルタル、廃棄体部分と排水・監視設備であるポーラスコンクリート層の間にある充填モルタル層(以下「ホワイトゾーン(WZ)」という。)(亀裂を含む)も拡散によって移行し、ポーラスコンクリート層へ到達することを想定し、以下のようにモデル化する。

廃棄体内部の固型化部分は拡散で移行し、廃棄体上部の空隙部分のたまり水部分は均一混合層とする。上部空隙に留まった水が移流によって移行することは想定しない。

放射性物質と接触した水は、ドラム缶蓋部の間隙を通過後に、廃棄体周囲の充填モルタル層に入るため、瞬時に廃棄体周囲の充填モルタルと平衡状態になると想定し、均一混合セルとする。

次に、放射性物質はホワイトゾーンに移行するため、ホワイトゾーンは、ひび割れ部分とひび割れのない健全部の2経路が並行して存在するとする。

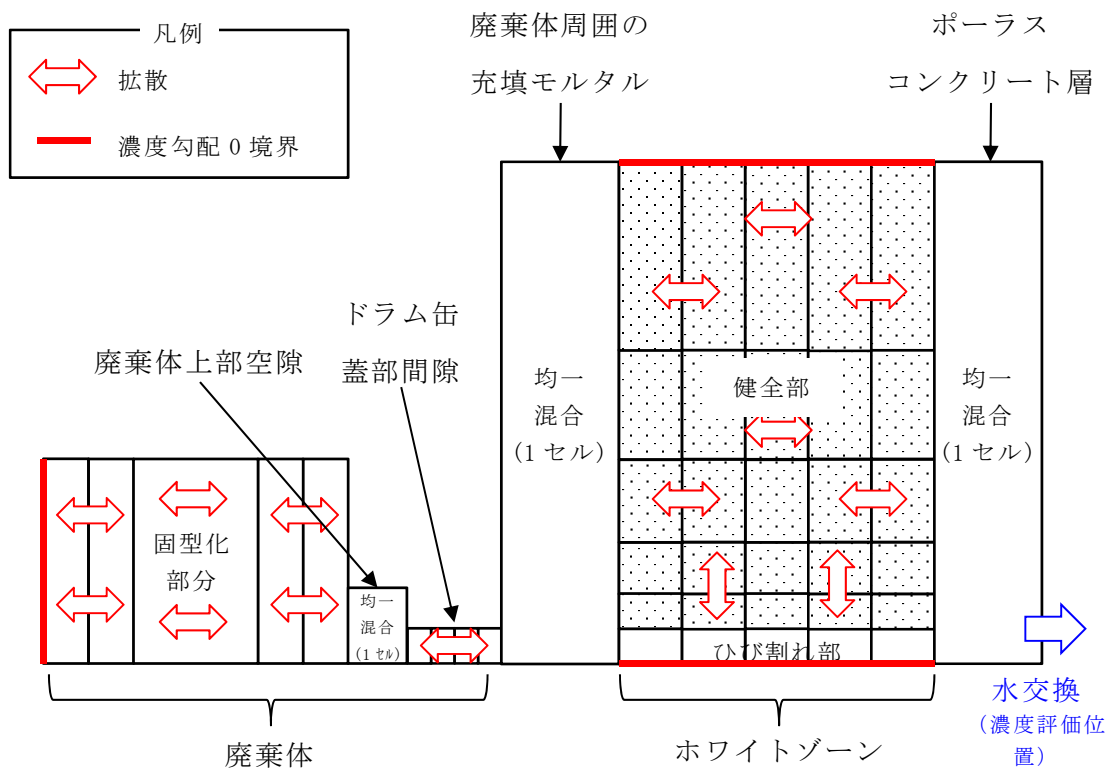
最後に、排水・監視設備のポーラスコンクリート層へ移行するため、ポーラスコンクリート層は均一混合層とする。

ホワイトゾーンのひび割れ部が移流場であるとしても、健全部を含めた全体系では、ひび割れ部は限られた部分的なものであり、水が流れ難いことには変わりはなく、放射性物質の移行は拡散が支配的であると考えられることを踏まえてモデル化して

いる。

なお、ホワイトゾーンのひび割れ部については、移流によってトリチウムが移行することを否定できないことから、参考として移流を模擬した評価も行う。

モルタル層は充填性が良く、亀裂も少ないことから、ポーラスコンクリート層を流れる水が廃棄体内部に到達する割合は極めて少ないと考えられる。仮に、埋設したドラム缶のうち1%のドラム缶に水が到達とした場合の評価を、拡散により移行しやすいトリチウムを対象に行う。拡散による移行のモデルを第1図に、評価に使用したパラメータを第1表及び第2表に示す。



第1図 拡散移行評価モデル概念図

(i) 廃棄体(固型化部分)

$$\varepsilon Rf(i) \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial t} = De \frac{\partial^2 C(x, t, i)}{\partial x^2} - \lambda(i) \varepsilon Rf(i) C(x, t, i)$$

$$Rf(i) = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \rho K_d(i)$$

$$C(x, 0, i) = \frac{A_0(i)}{\varepsilon Rf(i) V_w}$$

$$\left. \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad C(L, t, i) = C_v(t, i)$$

(ii) 廃棄体上部空隙(均一混合)

$$V_v \frac{dC_v(t, i)}{dt} = -S_w De \left. \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=L} + S_a D_0 \left. \frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a} \right|_{x_a=0} - V_v \lambda(i) C_v(t, i)$$

$$C_v(0, i) = 0, \quad C_a(0, t, i) = C_v(t, i)$$

(iii) ドラム缶蓋部間隙

$$\frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a^2} - \lambda(i) C_a(x_a, t, i)$$

$$C_a(x_a, 0, i) = 0, \quad C_a(L_a, t, i) = C_m(t, i)$$

(iv) 廃棄体周囲の充填モルタル(均一混合)

$$\begin{aligned} V_m \varepsilon_m Rf_m(i) \frac{dC_m(t, i)}{dt} \\ = -S_a D_0 \left. \frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a} \right|_{x_a=L_a} + \int_0^{L_c} S_m(y) De_w(y) \left. \frac{\partial C_w(x_w, y, t, i)}{\partial x_w} \right|_{x_w=0} dy \\ - V_m \varepsilon_m Rf_m(i) \lambda(i) C_m(t, i) \end{aligned}$$

$$C_m(0, i) = 0, \quad C_m(t, i) = C_w(0, y, t, i)$$

(v) ホワイトゾーン

$$\begin{aligned} & \varepsilon_w(y)Rf_w(y,i)\frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial t} \\ &= De_w(y)\frac{\partial^2 C_w(x_w,y,t,i)}{\partial x_w^2} + De_w(y)\frac{\partial^2 C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y^2} \\ & \quad - \lambda(i)\varepsilon_w(y)Rf_w(y,i)C_w(x_w,y,t,i) \\ Rf_w(y,i) &= 1 + \frac{1-\varepsilon_w(y)}{\varepsilon}\rho_w(y)Kd_w(y,i) \end{aligned}$$

$$C_w(x_w,y,0,i) = 0, \quad C_w(L_w,y,t,i) = C_p(t,i)$$

$$\left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y} \right|_{y=L_c} = 0$$

(vi) ポーラスコンクリート層

$$V_p \frac{dC_p(t,i)}{dt} = -Q C_p(t,i) - \int_0^{L_c} S_m(y)De_w(y)\left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial x_w} \right|_{x_w=L_w} dy - V_p\lambda(i)C_p(t,i)$$

$$C_p(0,i) = 0$$

$C(x,t,i)$	固化体中の位置 x 、時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)
$C_p(t,i)$	廃棄体上部空隙水たまりの時間 t における核種 i の濃度 (Bq/m ³)
$C_a(x_a,t,i)$	ドラム缶蓋隙間部の位置 x_a 、時間 t における核種 i の水中濃度 (Bq/m ³)
$C_m(t,i)$	廃棄体間モルタル中の時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)

$C_w(x_w, y, t, i)$	ホワイトゾーン内の位置 (x_w, y) 、時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)
$C_p(t, i)$	ポーラスコンクリート層水中の時間 t における核種 i の濃度 (Bq/m ³)
$\varepsilon, \varepsilon_m, \varepsilon_w(y)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の間隙率 (-)
$\rho, \rho_m, \rho_w(y)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の粒子密度 (kg/m ³)
$Rf(i), Rf_m(i), Rf_w(y, i)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の核種 i の遅延係数 (-)
$Kd(i), Kd_m(i), Kd_w(y, i)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の核種 i の分配係数 (m ³ /kg)
V_w, V_v, V_m, V_p	固化体、廃棄体上部空隙水たまり、廃棄体間モルタル及びポーラスコンクリート層滞留水の全体積 (m ³)
$S_w, S_a, S_w(y)$	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の微小区間の全断面積 (m ²)
$De, D_0, De_w(y)$	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の実効拡散係数 (m ² /s)
L, L_a, L_c, L_w	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンの厚さ (m)
Q	ポーラスコンクリート層の交換水量 (m ³)
$\lambda(i)$	核種 i の崩壊定数 (1/s)

第1表 評価パラメータ(1号)

パラメータ		単位	値	備考
トリチウム放射エネルギー		Bq	3.10×10^{10}	1-6群の放射エネルギー/基数
ドラム缶の直径		m	0.567	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の高さ		m	0.8332	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の厚さ		m	1.6×10^{-3}	JIS-Z1600 (開口部拡散長さとしても利用)
ドラム缶の開口幅		m	1×10^{-3}	ドラム缶天蓋部と胴体部の寸法差
埋設設備数		基	1	
埋設設備内の区画数		区画/基	16	
1区画当たりの廃棄体本数		本/区画	320	
廃棄体1本当たりの固型化材料の平均充填量		m ³ /本	0.14	
廃棄体上部空隙の長さ		m	0.1	上部空隙率30%以下であるが、保守的に濃度勾配が大きくなるよう充填固化体と同じ値を設定
埋設設備の寸法	長さ	m	24.40	
	幅	m	24.40	
	高さ	m	6.200	
	覆い(上部)厚さ	m	0.50	
	底版(下部)厚さ	m	0.60	
	側壁厚さ	m	0.50	
ポーラスコンクリート厚さ		m	0.10	
ホワイトゾーン(WZ)厚さ		m	0.40	
間隙率	廃棄体	—	0.35	
	モルタル(WZ)	—	0.20	
	ポーラスコンクリート	—	0.25	
粒子密度	廃棄体	kg/m ³	2,400	
	モルタル(WZ)	kg/m ³	2,500	
	ポーラスコンクリート	kg/m ³	2,500	モルタルと同等と仮定して設定
実効拡散係数	廃棄体	m ² /s	1×10^{-11}	
	モルタル(WZ)健全部	m ² /s	1×10^{-11}	
	WZひび割れ部	m ² /s	2×10^{-9}	自由水中のトリチウムの拡散係数を設定
ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)		m ³ /y	0.75	年間排水量(施設全体:40基)を保守的に30m ³ /yと仮定し1基分の値を設定
WZひび割れ割合		—	1.89×10^{-4}	5,300mm当たりの乾燥収縮幅から1mmと設定($1/5,300 = 1.89 \times 10^{-4}$)

第2表 評価パラメータ(2号)

パラメータ		単位	値	備考
トリチウム放射エネルギー		Bq	7.50×10^{10}	放射エネルギー/基数
ドラム缶の直径		m	0.567	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の高さ		m	0.8332	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の厚さ		m	1.6×10^{-3}	JIS-Z1600 (開口部拡散長さとしても利用)
ドラム缶の開口幅		m	1×10^{-3}	ドラム缶天蓋部と胴体部の寸法差
埋設設備数		基	16	
埋設設備内の区画数		区画/基	36	
1区画当たりの廃棄体本数		本/区画	360	
廃棄体1本当たりの固型化材料の平均充填量		m ³ /本	0.1	
廃棄体上部空隙の長さ		m	0.1	上部空隙率30%以下であるが、保守的に濃度勾配が大きくなるよう充填固化体と同じ値を設定
埋設設備の寸法	長さ	m	36.00	
	幅	m	36.91	
	高さ	m	6.940	
	覆い(上部)厚さ	m	0.50	
	底版(下部)厚さ	m	0.80	
	側壁厚さ	m	0.60	
ポーラスコンクリート厚さ		m	0.10	
ホワイトゾーン(WZ)厚さ		m	0.40	
間隙率	廃棄体	—	0.35	
	モルタル(WZ)	—	0.20	
	ポーラスコンクリート	—	0.25	
粒子密度	廃棄体	kg/m ³	2,500	
	モルタル(WZ)	kg/m ³	2,500	
	ポーラスコンクリート	kg/m ³	2,500	モルタルと同等と仮定して設定
実効拡散係数	廃棄体	m ² /s	1×10^{-11}	
	モルタル(WZ)健全部	m ² /s	1×10^{-11}	
	WZひび割れ部	m ² /s	2×10^{-9}	自由水中のトリチウムの拡散係数を設定
ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)		m ³ /y	1.875	年間排水量(施設全体:16基)を保守的に30m ³ /yと仮定し1基分の値を設定
WZひび割れ割合		—	1.89×10^{-4}	5,300mm当たりの乾燥収縮幅から1mmと設定($1/5,300 = 1.89 \times 10^{-4}$)

(2) 評価結果

(i) 線量評価

既設 1 号及び 2 号それぞれの結果を第 3 表及び第 2 図に示す。いずれの施設においても水中濃度限度を十分に下回る結果となった。この濃度の水が外周仕切設備の外に漏出した場合は、設備の外を流れる地下水で希釈され、更に濃度が下がるため、これによる環境への影響は十分に無視できると考えられる。

廃棄体内部に滞留した水が、充填モルタル、ホワイトゾーン内の亀裂内を移流によって移行し、ポーラスコンクリート層へ到達することも否定できないことから、参考としてホワイトゾーン内を拡散ではなく、移流により移行した場合の評価結果を第 4 表及び第 3 図に示す。本評価においては、廃棄体から漏出したトリチウムが速やかにポーラスコンクリート層の排水に到達するとし、ホワイトゾーンのひび割れ割合を 99.9%とし、ホワイトゾーンひび割れ部の実効拡散係数を $1.0 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$ とすることにより、簡易的に移流を模擬している。本評価においても、いずれの施設においても水中濃度限度を十分に下回る結果となった。必要に応じて、防水対策の詳細説明にあわせて、より現実的な評価を実施する。

(ii) 線量評価の妥当性確認

線量評価結果の妥当性を検証するため、ポーラスコンクリートの排水濃度を実測定にて確認した。実測結果を第 5 表に示す。その結果、環境中のトリチウム濃度と同等程度(約 $2 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ 若しくは測定限界の約 $4 \times 10^2 \text{Bq}/\text{m}^3$ 以下)であった。

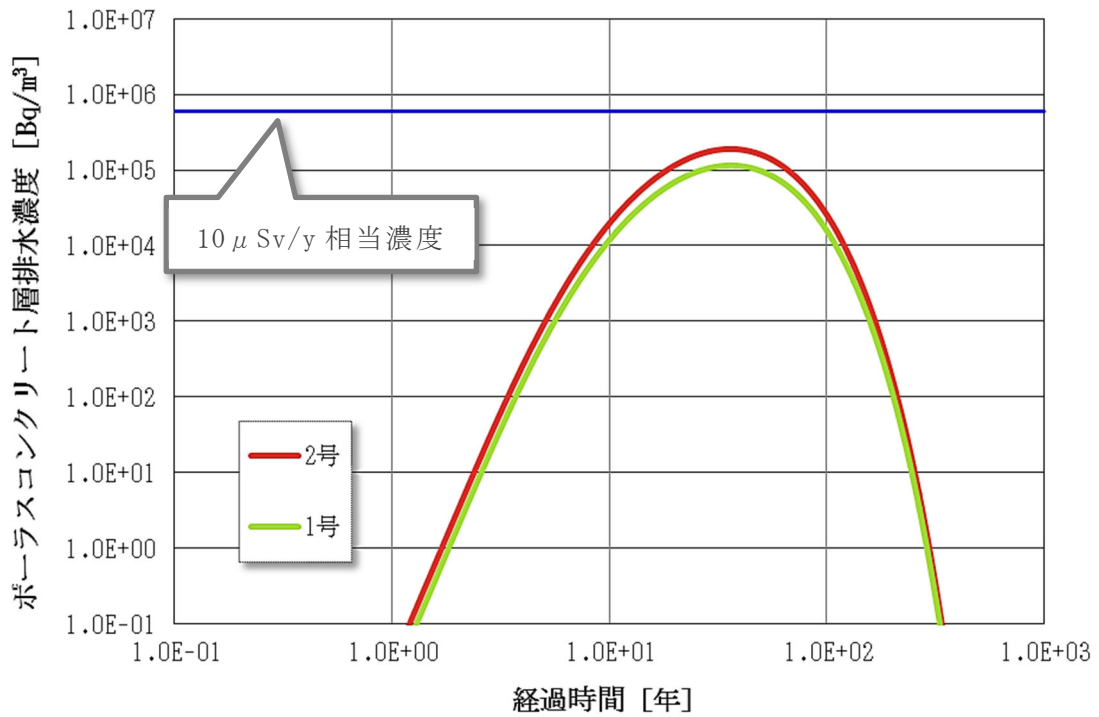
今回 $2 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ の濃度が測定された箇所の年間排水量は約 $0.08 \text{m}^3/\text{年}$ であったことから、解析結果が実態を表しているならば、今回の解析で用いた排水量を考慮すると実測される濃度は解析結果よりも高くなる(漏出放射エネルギーは同等)。一方で、埋設実績に基づくトリチウムの放射エネルギーは、この解析に用いた申請の放射エネルギーの 1/50 以下であること、埋設開始から 20 年以上経過し現時点が線量のピークだと仮定することもあわせて考えると、解析結果が実態を表しているとすれば、実測結果は解析結果の同程度～1 桁低い濃度となると想定している。しかし、実測結果は解析結果の約 1/100 であったことから、この評価モデルや計算に用いた廃棄体への水の到達割合、ひび割れ割合等のパラメータは十分に保守側となっていると考えられる。

第3表 排水中のトリチウム濃度の比較(拡散による移行)

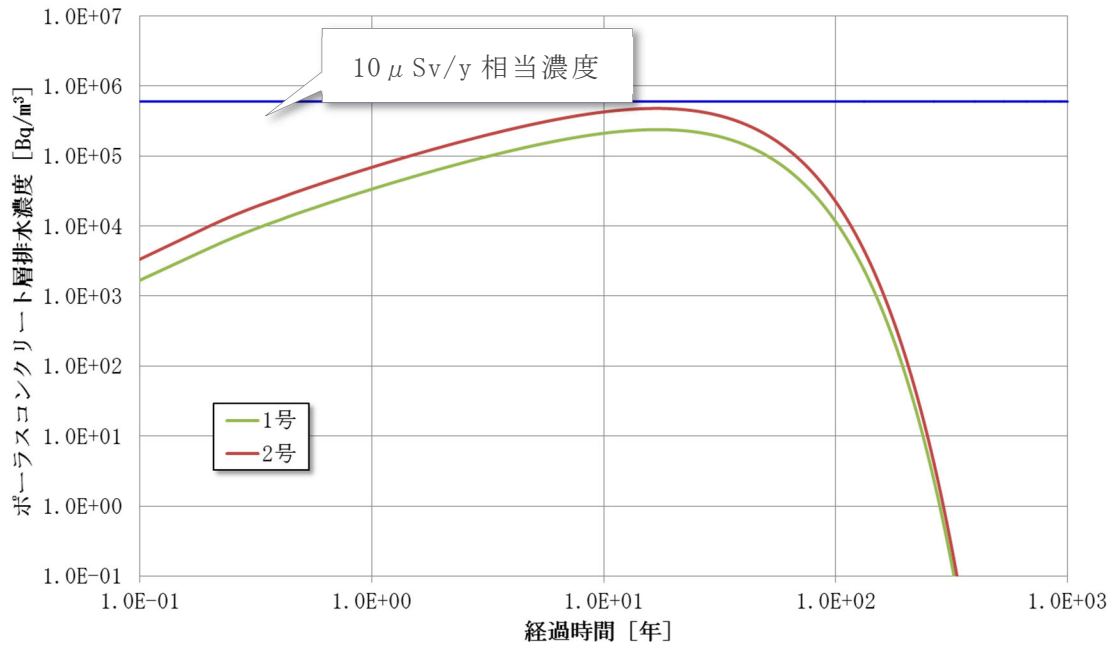
	トリチウム濃度最大値(Bq/m ³)	参考 告示濃度(Bq/m ³)
1号	1.20×10^5	6.00×10^7
2号	1.90×10^5	

第4表 排水中のトリチウム濃度の比較(移流による移行)

	トリチウム濃度最大値(Bq/m ³)	参考 告示濃度(Bq/m ³)
1号	2.38×10^5	6.00×10^7
2号	4.79×10^5	



第2図 ポーラスコンクリート排水中のトリチウム濃度(拡散による移行)



第 3 図 ポーラスコンクリート排水中のトリチウム濃度(移流による移行)

第 5 表 排水中のトリチウム濃度の実測結果*1

試料名	N 数	トリチウム放射能濃度 (Bq/L*2)	検出下限値 (Bq/L*2)
1 号 1-D 東	1	不検出	0.39
	2	不検出	0.38
	3	不検出	0.38
1 号 3-A 西	1	1.84±0.13	0.35
	2	1.80±0.14	0.38
	3	2.01±0.14	0.37
2 号 1-A 西	1	不検出	0.34
	2	不検出	0.35
	3	不検出	0.35

*1：測定値は試料の採取日時を考慮し減衰補正した。

*2：1,000Bq/m³=1Bq/L

(iii) 主なパラメータの結果への感度

今回の評価条件では結果への感度が高いパラメータは実効拡散係数及びポーラスコンクリート浸入水量であり、感度の小さいパラメータはひび割れ割合であった。ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)の実績と計算の条件の関係は、結果に対し、実績の排水量が少ない場合は、負の相関(値が大きくなる)がある。今回の計算では $30\text{m}^3/\text{y}$ としたが、現状の排水実績は $1\text{m}^3/\text{y}$ 以下であることから、今回の計算どおりにドラム缶の蓋部からの放射性物質が漏出したとすると、実績の放射能濃度は 30 倍以上の感度で計測されると考える。