

2020年7月7日提出版

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)

2020年7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.....	12
5. 廃棄物埋設地の設計.....	19
(1) 構成及び設置位置.....	19
(2) 主要設備.....	19
[参考] 許可基準規則への適合性説明.....	46
(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).....	46
(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).....	56
(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).....	56
(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).....	59
6. 参考文献.....	61

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. 廃棄物埋設施設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設の位置、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、廃棄物埋設施設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。

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		廃止措置の開始後
	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	
放射性物質の漏出を防止する機能	○	-	-
移行抑制機能	-	○	△
遮蔽機能	○	○	△

○：安全機能を維持する
 △：必要な安全機能を期待できるように設計する
 -：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、廃棄物埋設施設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、埋設する総本数が多い。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、放射線障害を引き起こす可能性があることから、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に伴う公衆の受ける線量、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による濃縮・埋設事業所(以下「事業所」という。)周辺の線量並びに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、公衆の受ける線量が 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。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(以下「確からしい自然事象シナリオ」という。)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(以下「厳しい自然事象シナリオ」という。)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、人為事象シナリオの公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないこととする。

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してきた放射性物質の生活環境への移行の抑制を行う地盤(岩盤及び第四紀層)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、放射性物質の漏出を防止する必要がある期間の終了時期である埋設の終了時期を覆土完了時点とする。

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物が接触しないよう浸入を防止する設計とし、万一、廃棄物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は、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回収し、埋設設備外に排出するとともに、セメント系充填材及び内部防水により廃棄物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は、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回収し、埋設設備外へ排出する設計とする。

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るものとする。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。

埋設する廃棄物は、「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、廃棄物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「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ことに対して、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ことに対して、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、定置・充填後から覆土完了までの間、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ことに対して、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及び地下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は、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。

- ・ 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。

(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ことに対して、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回収し、埋設設備外へ排出する設計とする。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「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において、移行抑制機能を維持する設計とし、廃止措置の開始後において、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、埋設設備内への水の浸入を抑制するとともに、放射性物質を収着する設計とする。

水の浸入の抑制に関して、覆土は、土質系材料の低透水性により埋設設備内への水の浸入を抑制する設計とする。

放射性物質の収着に関して、埋設設備及び覆土は、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う。

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、埋設設備の上部及び側部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鷹架層及び第四紀層により構成する。

(a) 覆土

(一) 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。また、収着性を有する土質系材料を用いる設計とする。

(二) 覆土は、劣化・損傷に対する抵抗性を考慮し、長期的な力学的影響及び化学的影響に対して、変形追従性及び化学的安定性に優れた自然材料である現地発生土、ベントナイト、砕砂及び砕石を採用する。

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。

(三) 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して存在させる。

(四) 難透水性覆土及び下部覆土は、周辺の岩盤(鷹架層)と同等以下の透水係数とし、埋設設備の底面を除く外周部に設置することで埋設設備に劣化・損傷が生じた場合にも、埋設設備内に浸入する地下水量を極力低減させる

設計とする。

また、難透水性覆土は、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鷹架層に漏出するように、透水係数を周辺の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。

(五) 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「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾を参照し、現状入手できる材料を用いる。

(b) 埋設設備

(一) 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量及び埋設設備から流出する地下水量の抑制のため、透水性の小さい岩盤(鷹架層)を掘り下げて設置する。

(二) 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。

(三) 埋設設備の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「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、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を実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下に低減できる設計とする。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。

覆土完了後においては、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 $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下に低減できる設計とする。また、管理区域以外の人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は、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。

覆土完了後においては、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公衆の線量限度以下に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。

- ・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。

(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. 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

設備ごと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、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。具体的には、安全機能に対する期間ごとに以下に示す。

(a) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの期間

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの期間では、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

当該期間は、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、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づくことで、施工の実現性及び品質を確保する。

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。
- ・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。

(b) 覆土完了後

覆土完了後では、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

当該期間は、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、「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。
- ・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、放射線の遮蔽性能を有する設計とする。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

(a) 埋設設備

埋設設備は、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。

- ・埋設設備は、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。
- ・埋設設備は、塩害に対する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。
- ・埋設設備は、凍害に対す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。

(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、粒形分布に広がりを持った土質系材料を用いる。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。覆土の長期状態においては、覆土の透水特性に影響を及ぼす要因に対して、長期的に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。

なお、線量評価において、影響事象分析及び状態設定により劣化・損傷に
対する影響がないことを評価する。

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重化し、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・仕様とする。

また、劣化・損傷の程度及び期間の不確実性を考慮して、必要な性能に対し
て、できるだけ裕度のある設計とする。

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	○	○	

○：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 $50 \mu \text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。**

(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駁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混入し、沢を経て尾駁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(11)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算定に当たっては、覆土完了直後から放射性物質の漏出が開始するとして評価し、線量評価パラメータを設定する。

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

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、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被ばく線量について評価を行った結果、約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ となった。また、この線量に廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出による線量約 $1.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ を合計しても約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ であり、公衆が受ける実効線量が $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となった。

なお、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量は覆土により覆土前よりも大幅に減少し、無視できるレベルとなっているため考慮しない。

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十条第4項)」に示す。線量評価に関するパラメータについては、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。

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を損なわ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は含まれない。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、更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。

覆土完了前の安全機能については、埋設設備及び排水・監視設備において漏

出防止機能及び遮蔽機能を期待している。埋設設備及び排水・監視設備には雨水及び地下水と廃棄体との接触を抑制する設計としており、覆土完了までの数年間の期間においては、水との接触により埋設設備が容易に溶解・変質すること、更には水を媒体として埋設設備内の化学物質(有機物)が溶解して、化学反応により埋設設備が著しく損傷することはない。したがって、覆土完了前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。

覆土完了後の安全機能については、覆土において移行抑制機能及び遮蔽機能を期待している。遮蔽機能については、覆土が十分な厚さを有しており、化学物質との接触による覆土の厚さ減少及び密度低下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、地下水の浸入に伴う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及びに覆土の低透水性及び収着性に影響を生じる可能性がある。

上記のように可能性が考えられる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、漏出防止機能を維持する上で、常時作用している荷重及び作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、遮蔽機能を維持する上で、作用する荷重、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。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	○	○	—	—
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。
	遮蔽機能を維持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、材料仕様及び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 36.6m(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。

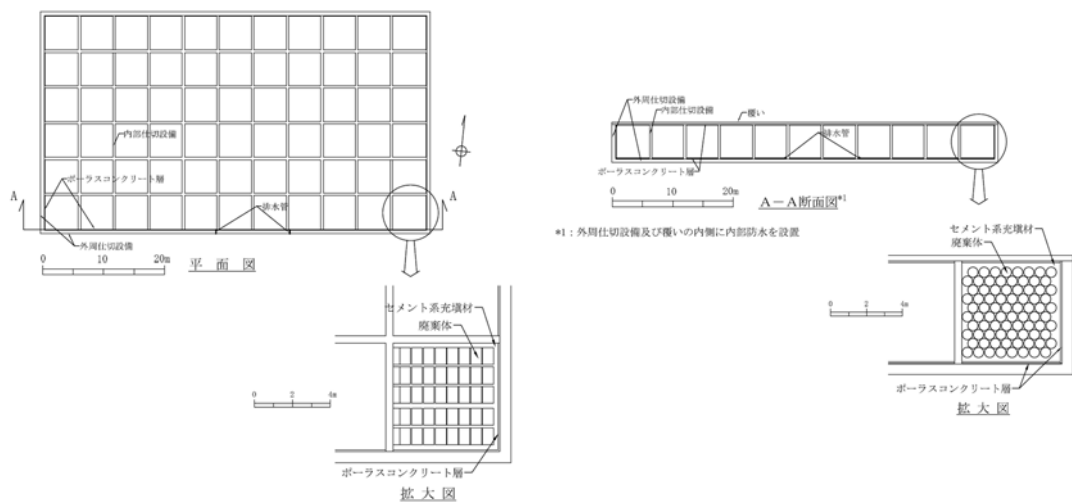
*1：小数点第一位までの記載とし、「約」と記載する。

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期間は、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 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の設置

*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漏出防止機能及び遮蔽機能である。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、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。

(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/mm² 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覆土完了までの遮蔽機能である。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 2,100kg/m³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/mm²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ー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の厚さが約 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 1,600kg/m³ 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漏出防止機能及び遮蔽機能である。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 1,600kg/m³ 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期間は、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漏出防止機能及び遮蔽機能である。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、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。

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 $2,100\text{kg/m}^3$ 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 $2,100\text{kg/m}^3$ 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 24.6N/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。

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/mm^2 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

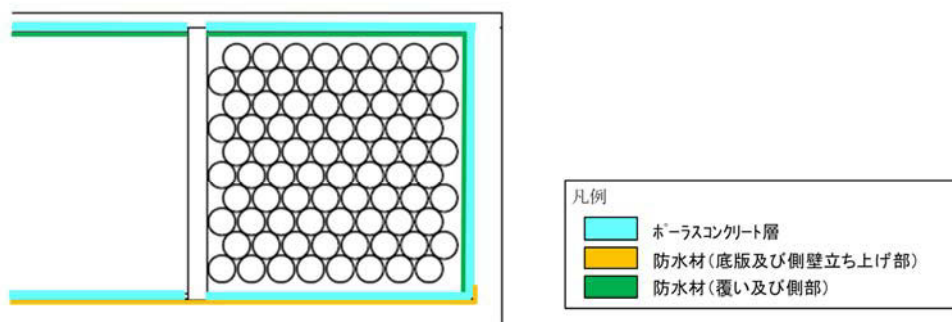
外周仕切設備底版からの地下水の浸入を防止するとともに、ポーラスコンクリート層からの放射性物質の漏出を防止する。

(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、ポーラスコンクリート層、排水管及び点検管により構成する。

ポーラスコンクリート層は、排水性により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、透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、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

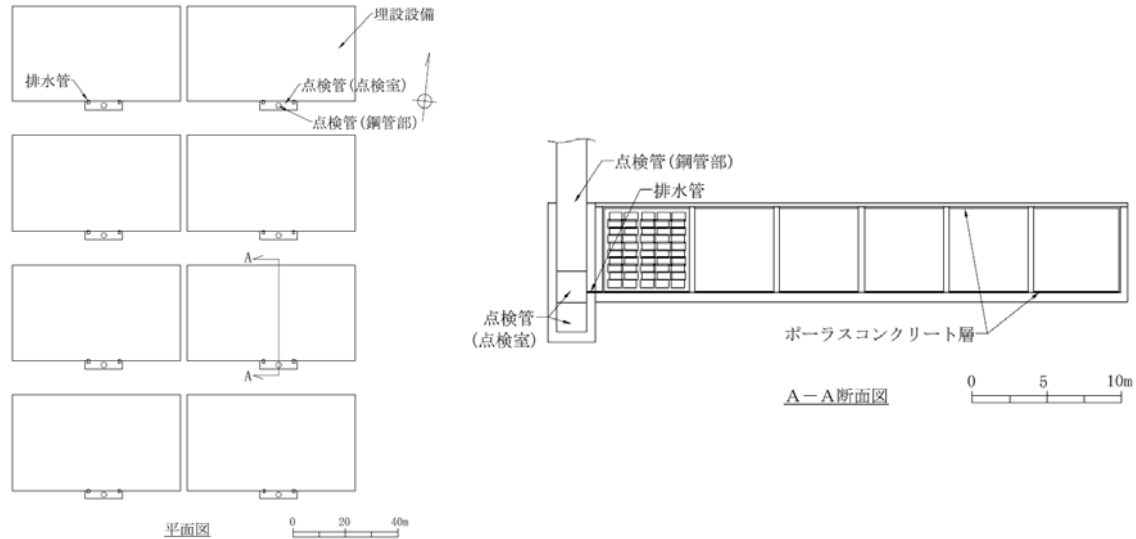
設計仕様項目である排水能力、コンクリート圧縮強度、鉄筋強度、鋼管強度、鉄筋かぶり、排水管の腐食抵抗及び内空寸法については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

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。排水管から排水される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 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 ・(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、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する。

難透水性覆土及び下部覆土は、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。

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、材料仕様及び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

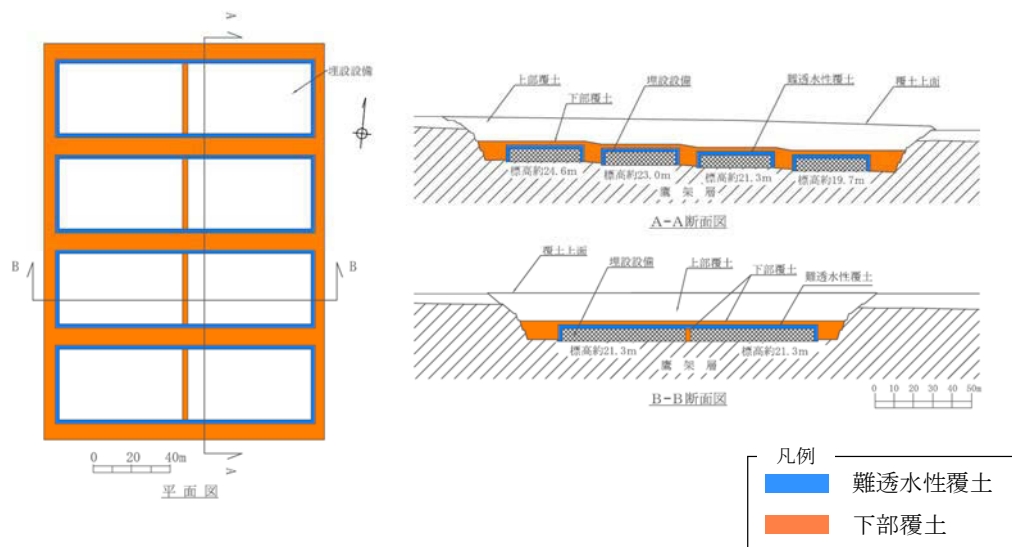
難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、難透水性覆土及び下部覆土とあわせて埋設設備上面から 15m 以上に設置する。

埋設設備間狭隘部とは、例として、埋設設備の東西方向の間や 1 号埋設設備南北方向の間である。

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 1.0×10^{-10} 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、砕砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として 1.0×10^{-8} 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砕砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：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全体系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、覆土完了後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。

また、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、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、埋設設備に内蔵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系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。

(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、砕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、覆土完了後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。

また、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、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系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。

(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砕砂及び砕石を混合したもので構成し、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、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棄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、液状化抵抗性を有するものとする。

(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 以上とする。

[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. 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. 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に関する特性を考慮した。

(一) 充填固化体

(ア) 固化化材料は、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) 固化化に当たっては、あらかじめ均質に練り混ぜた固化化材料若しくは固化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。

(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が有する性能を有効利用するために、岩盤中に設置する。

したがって、埋設設備は、岩盤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期間

放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの期間では、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

当該期間は、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、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づくことで、施工の実現性及び品質を確保する。

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。
- ・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。

(e) 覆土完了後

覆土完了後では、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

当該期間は、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、「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。
- ・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、放射線の遮蔽性能を有する設計とする。

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⁽⁷⁾⁽⁸⁾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⁽⁷⁾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) 埋設設備及び排水・監視設備の設計」及び「(1)(ii)(e) 覆土の設計」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) 埋設設備及び排水・監視設備の設計」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・監視設備及び覆土は、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

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

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

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、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。

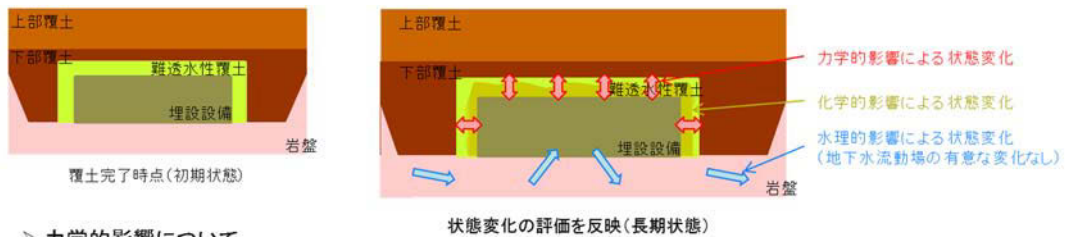
抽出した要因は、廃棄物埋設地の覆土完了後の再冠水による水の接触に伴う、ベントナイト特性の変化、有効粘土密度の変化及び短絡経路の形成である。これらの要因に対して、長期機能維持特性として、化学的安定性、変形追従性及び液状化抵抗性を考慮しており、これらが長期状態において考慮する性能を満たす見通しがあるような設計としている。

具体的には、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、粒形分布に広がりを持った土質系材料を用いる。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。

なお、線量評価において、影響事象分析及び状態設定により劣化・損傷に対する影響がないことを評価する。

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。

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内部防水で多重化し、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。

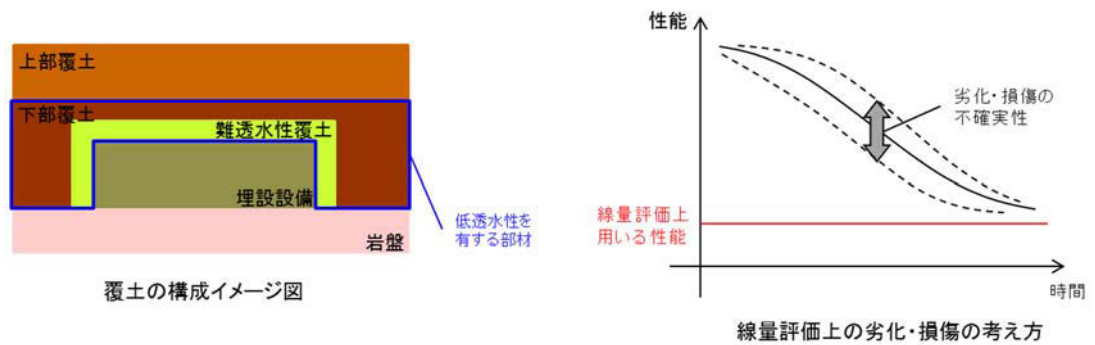
(b) 覆土

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。

線量評価上用いる性能は、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、必要な性能に対して、できるだけ裕度のある設計としている。

線量評価上の状態設定において考慮した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。

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	○	○	

○：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、確からし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) 4.(2)(v)d.その他」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、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被ばく線量について評価を行った結果、約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ となった。また、この線量に廃棄物埋設施設からの環境への放射性物質の放出による線量約 $1.7 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/y}$ を合計しても約 $3.8 \mu\text{Sv/y}$ であり、公衆が受ける実効線量が $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となった。なお、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による線量は覆土により覆土前よりも大幅に減少し、無視できるレベルとなっているため考慮しない。

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、「許可基準規則第十条第四号」にて説明する。

以上より、廃棄物埋設地は、覆土完了から廃止措置の開始までの間、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

事象	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}	
液体廃棄物が尾駱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駱沼へ漏出し、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 9.2	—*5	約 27*6	—*5	約 25*6	—*5	約 26*7+	—*5
	合計*3						約 26	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 9.3×10^{-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駱沼へ漏出し、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は含まれない。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。

覆土完了前の安全機能については、埋設設備及び排水・監視設備において漏出防止機能及び遮蔽機能を期待している。埋設設備及び排水・監視設備には雨水及び地下水と廃棄体との接触を抑制する設計としており、覆土完了までの数年間の期間においては、水との接触により埋設設備が容易に溶解・変質すること^{*1}、さらには水を媒体として埋設設備内の化学物質(有機物)が溶解して、化学反応により埋設設備が著しく損傷することはない。したがって、覆土完了前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。

覆土完了後の安全機能については、覆土において移行抑制機能及び遮蔽機能を期待している。遮蔽機能については、覆土が十分な厚さを有しており、化学物質との接触による覆土の厚さ減少及び密度低下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、地下水の浸入に伴う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生じる可能性がある。

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) (公社)日本道路協会(2009)：道路土工要綱
- (4) (財法)国土技術研究センター(2009)：河川土工マニュアル
- (5) (社)土木学会(2002)：2002年制定コンクリート標準示方書(構造性能照査編)
- (6) (社)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) (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター：放射性廃棄物ハンドブック(2019年版)
- (8) 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。埋設設備を岩盤に掘り込んで設置し、埋設設備の周囲を岩盤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 基当たりの放射能量： 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。

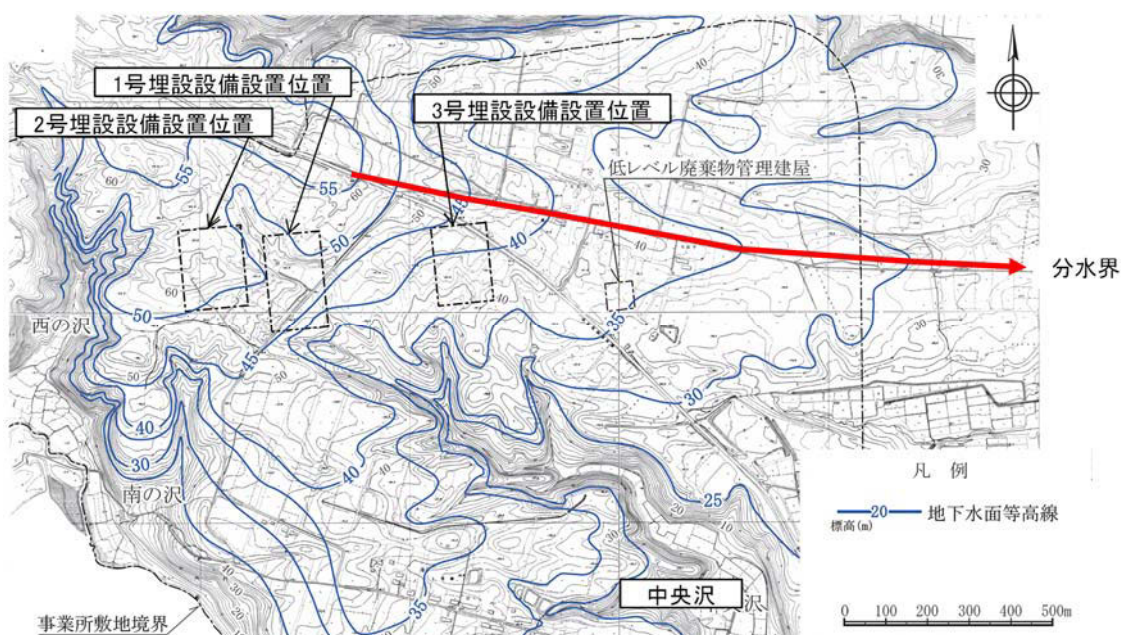
2. 3号廃棄物埋設地の基本的考え方

(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。



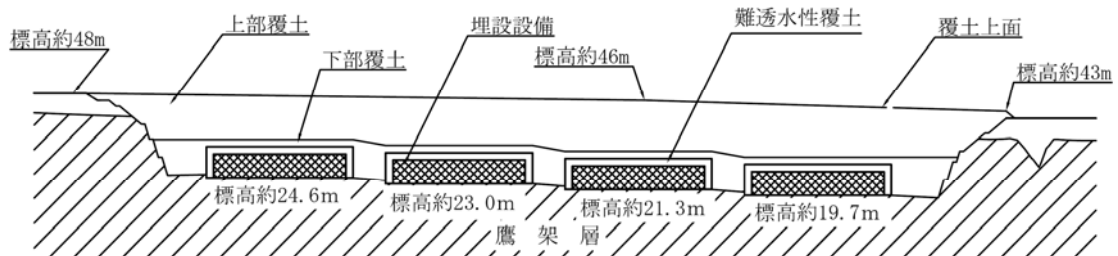
第1図 地下水面等高線図（1986年）

(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))	
		確からしい設定	厳しい設定	確からしい設定	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

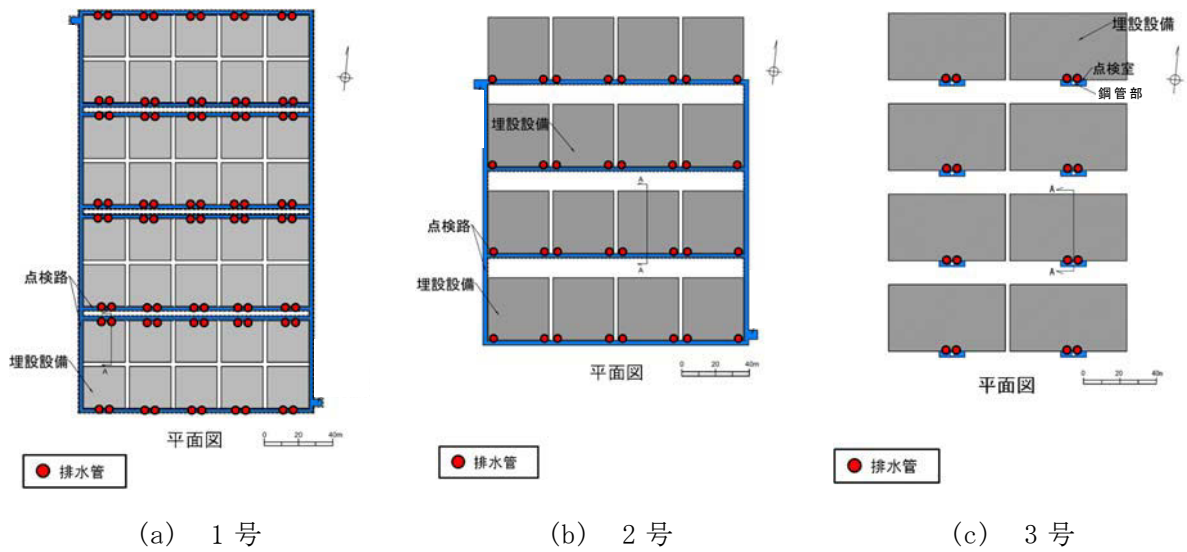
第2表 各廃棄物埋設地の埋設設備表面積及び廃棄物埋設地面積

	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。



第3図 排水・監視設備の排水管位置図

(5) 耐埋設荷重強度

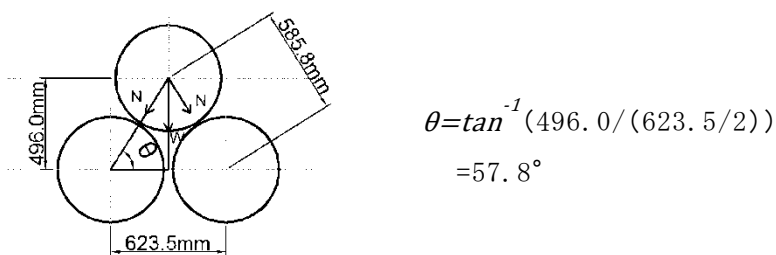
漏出防止機能に対する設計については、埋設設備内への定置及び充填が完了するまでに廃棄体から放射性廃棄物が漏出しないことが前提となっている。

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。



第4図 廃棄体間に作用する荷重の角度

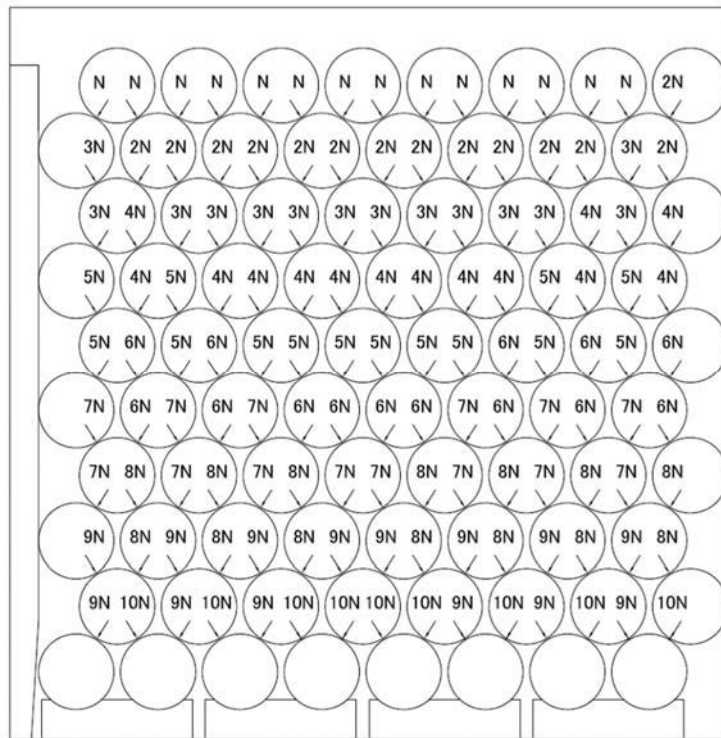
廃棄体重量 $W=1\text{t/本}$ のとき、角度 θ で作用する廃棄体荷重の分力 N を以下に示

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。

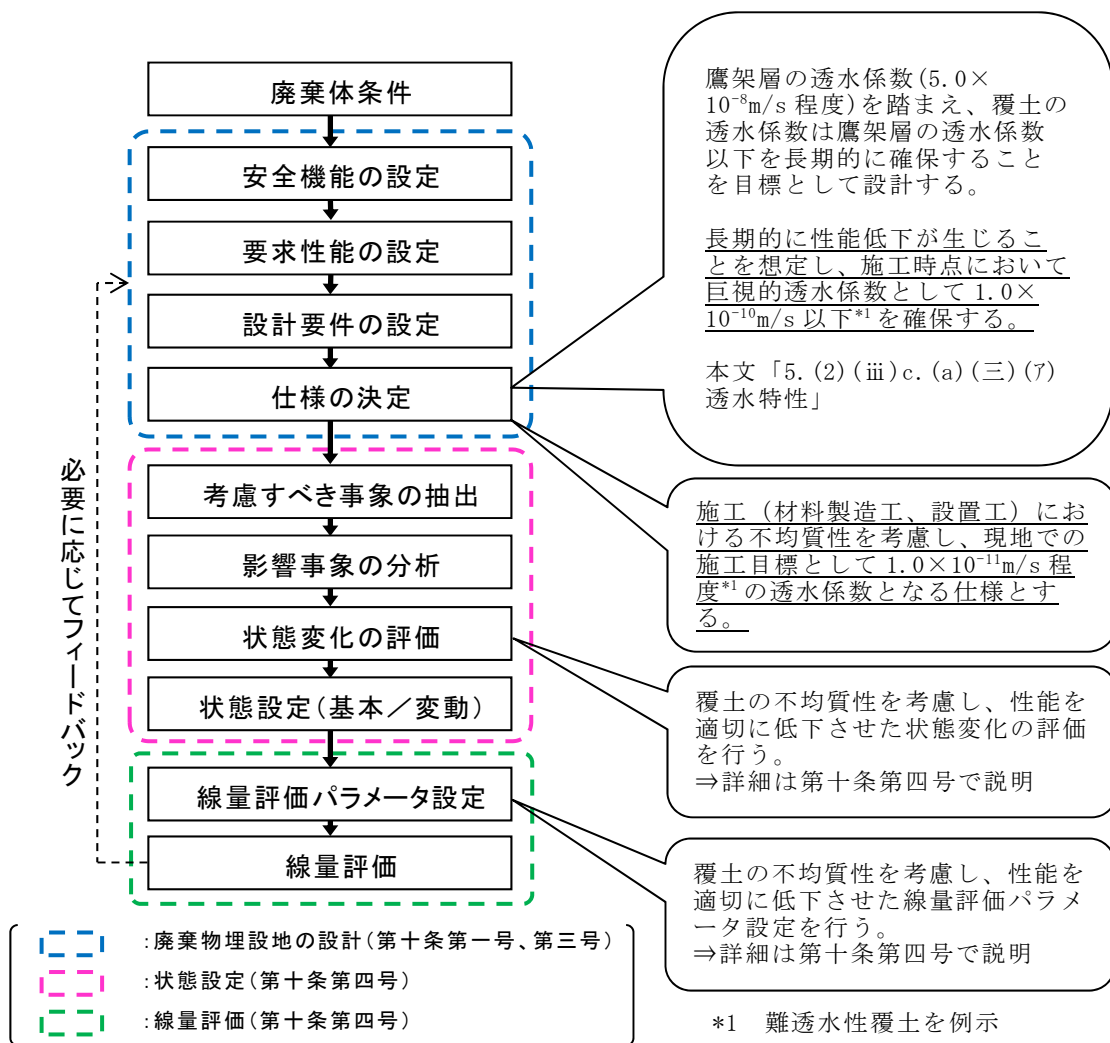
第 6 表 その他の考慮事項に対する設計方針

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. 埋設設備の耐久性.....	4
(1) 中性化.....	4
(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

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)
目			
スランプフロー*1 (mm)	700	650	600
500 mm フロー到達時間の範囲** (秒)	5~20	3~15	3~15
値			
V ₅ 漏斗または O 漏斗の流下時間の範囲** (秒)	9~20	7~13	4~11

*1 過去の実績におけるスランプ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プフロー目標値

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. 埋設設備の耐久性

供用期間中、埋設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。

(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。

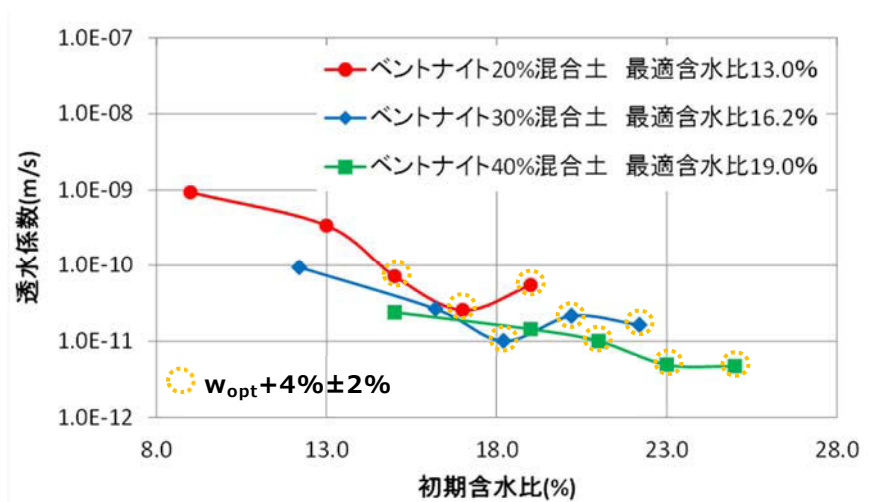
5. 埋設設備各部位の厚さ

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

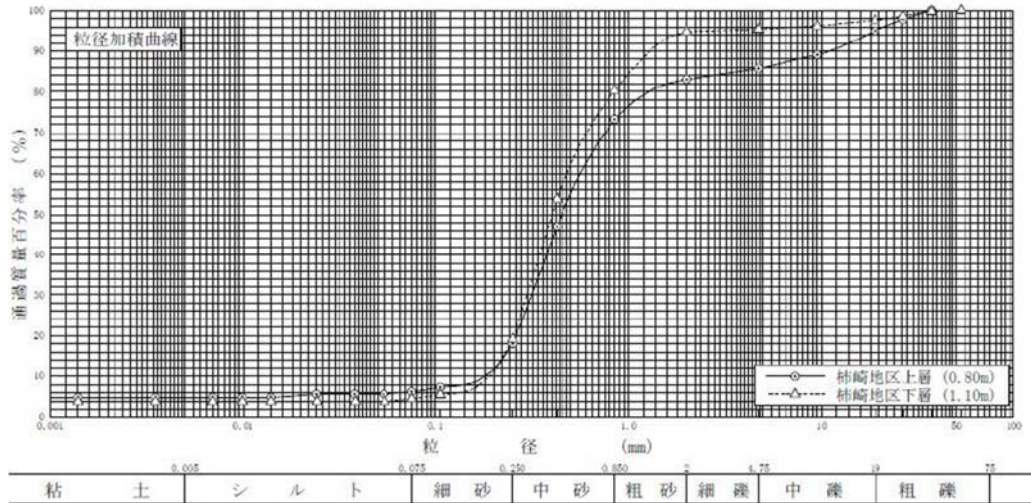
3. (1) (ii) a. 地震」より震度 5 強を超えないため、過去事例における締固めによる対策を実施した箇所で発生した地震より小さい。

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し、必要に応じて液状化により線量評価上の影響がないことを確認する。

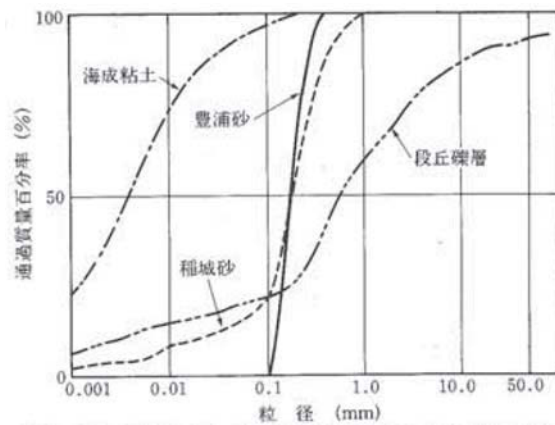
なお、「許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明、添付資料 3、1. 覆土の施工実現性」で参照している河川土工マニュアル⁽⁷⁾は大雨に伴う洪水に対する土構造物の低透水性及び耐久性に着目しているため、地震に対する土構造物の液状化判定について詳述はないことから、力学特性として地震時安定性照査が示されている道路土工⁽⁵⁾及び道路橋示方書⁽⁶⁾を液状化判定の参考とした。

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) (社法)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) (公社)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) (社法)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

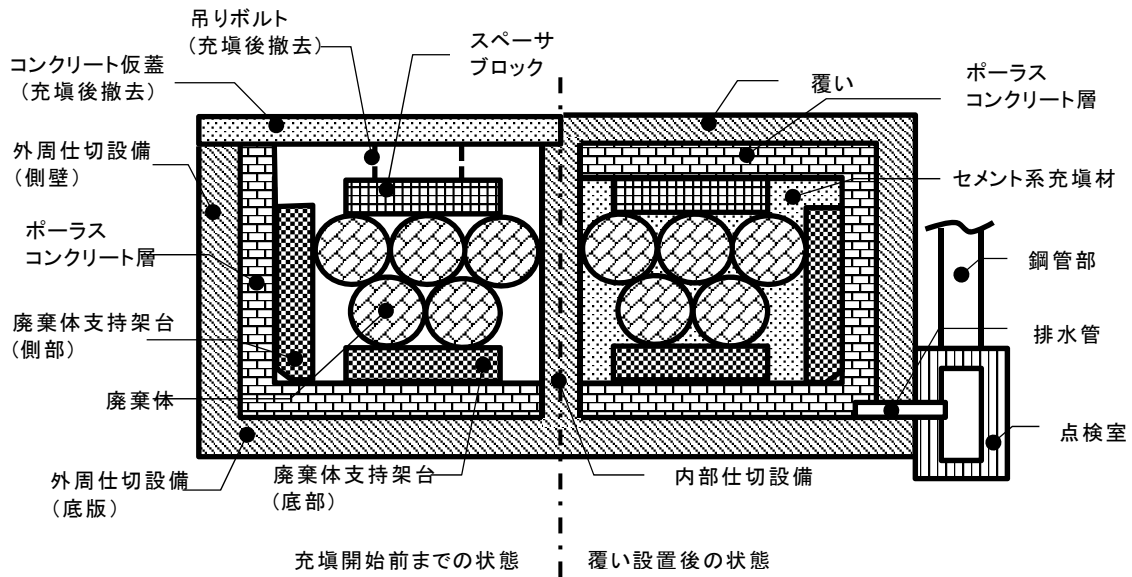
埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する機能を有する設計とする。

(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

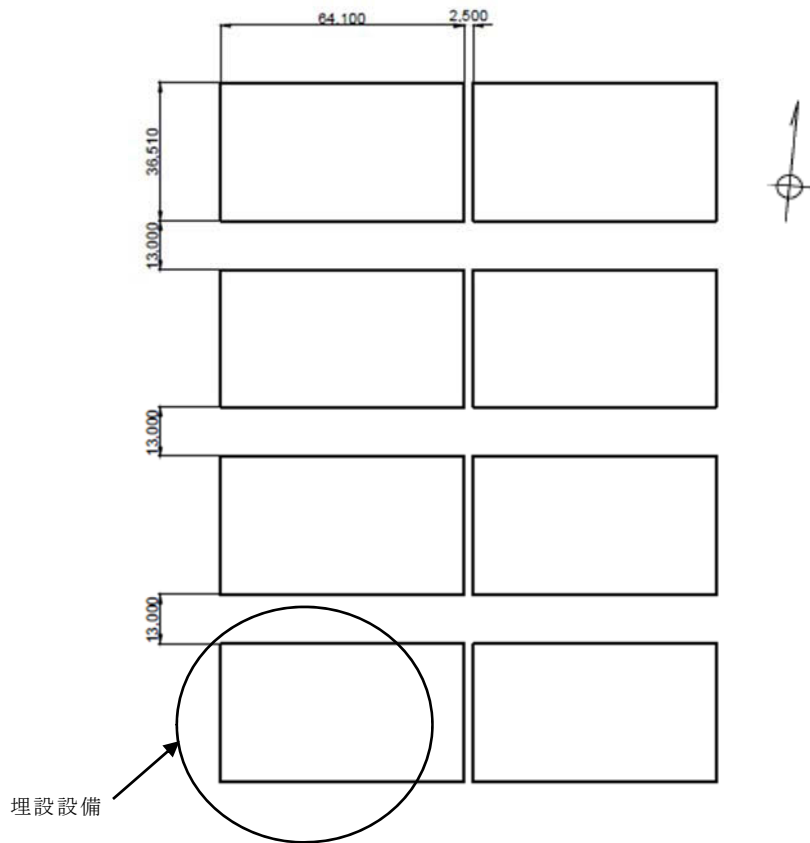
埋設設備の作業中の主な状態について、ピットの構造部位ごとに構造と荷重状態を想定し、許容応力度法による照査で構造安定性を確認する。

(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。

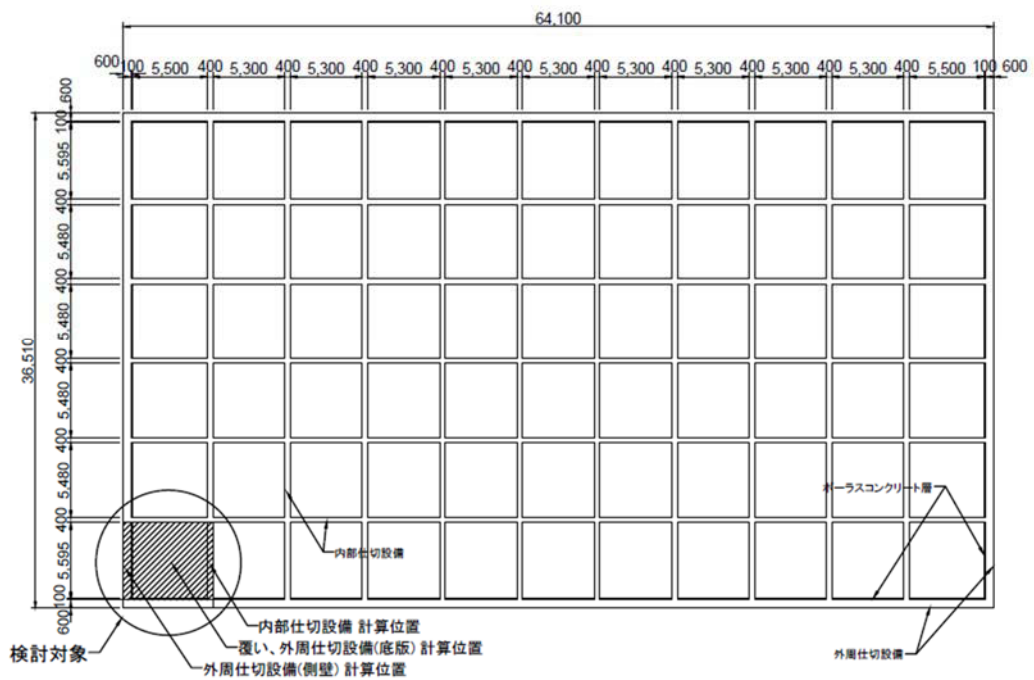
また、排水・監視設備として、外周仕切設備及び覆いとホワイトゾーンとの間に十分な集水機能を有する厚さ100mmのポーラスコンクリート層を設置する。

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。

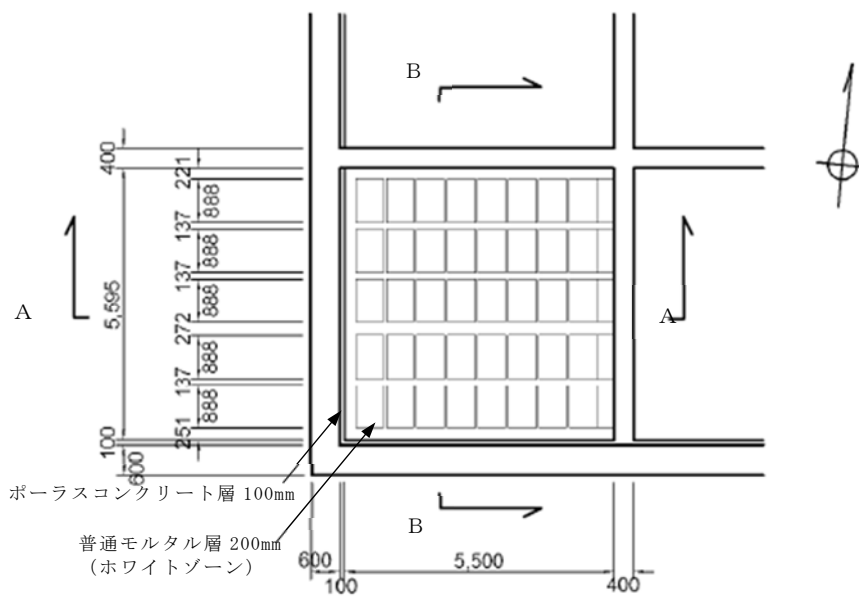


(a) 埋設設備平面図

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図(1/3)

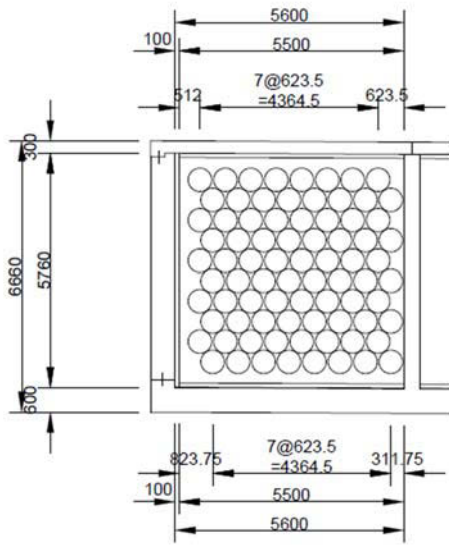


(b)埋設設備拡大平面図

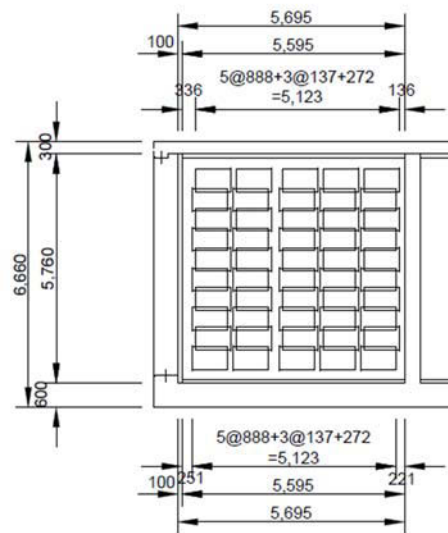


(c)検討対象平面図

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 側壁	常時	○	○			
		地震時					
	外周仕切設備 底版	常時	○	○			
		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

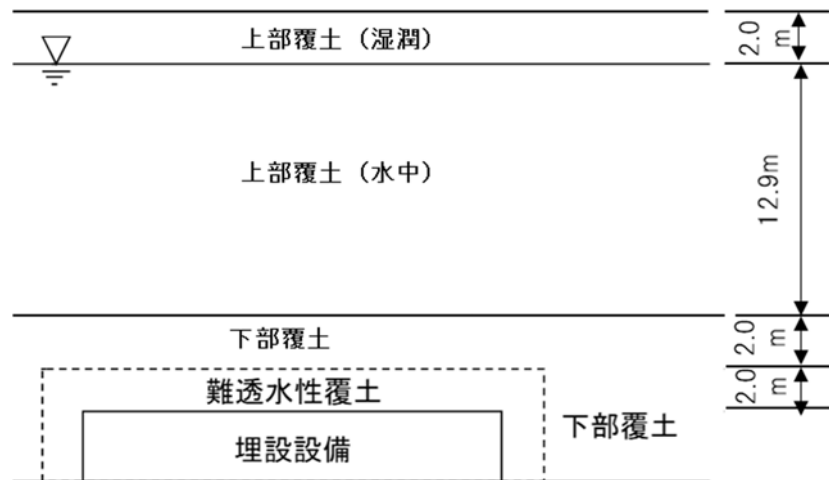
部材	応力度の種類		許容応力度 (N/mm ²)	備考
コンクリート 設計基準強度 24.6N/mm ²	曲げ	長期	9.20	*1
		短期	13.8	*1
	せん断	長期	0.455	*1
		短期	0.683	*1
鉄筋 SD345	引張	長期	196	
		短期	294	

*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

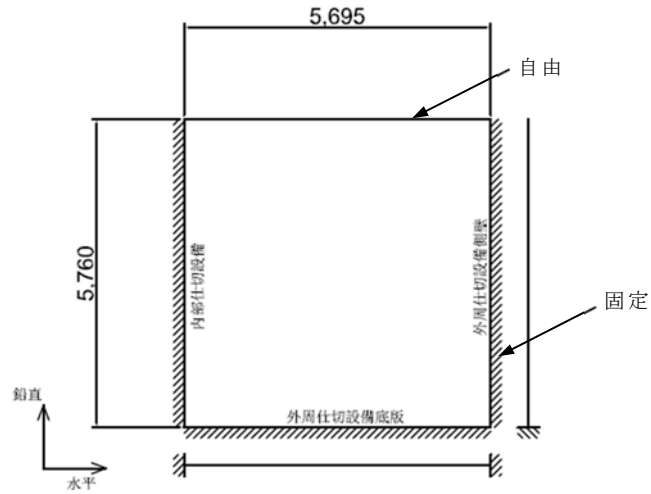
外周仕切設備側壁は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3辺固定1辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

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) 外周仕切設備底板

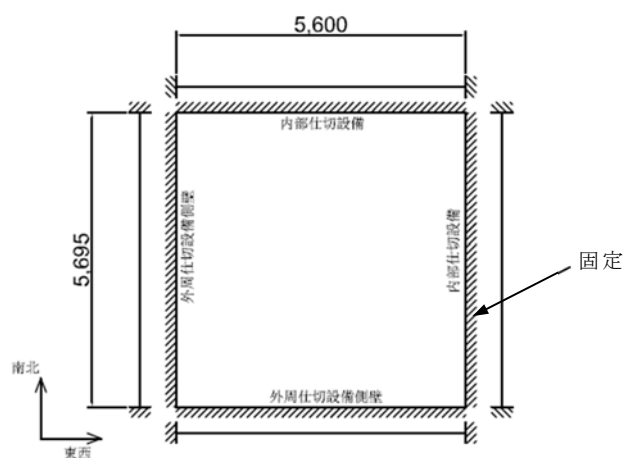
外周仕切設備底板は、埋設設備の自重、廃棄体及び充填モルタル等に対する地盤反力を考慮し、4 辺固定スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

検討位置は、第 2 図に示す。外周仕切設備の底板は、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 外周仕切設備底板の検討ケース

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

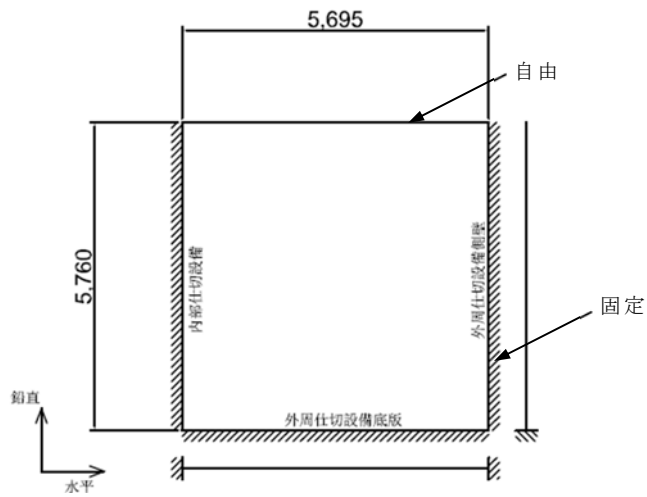
内部仕切設備は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3 辺固定 1 辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

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

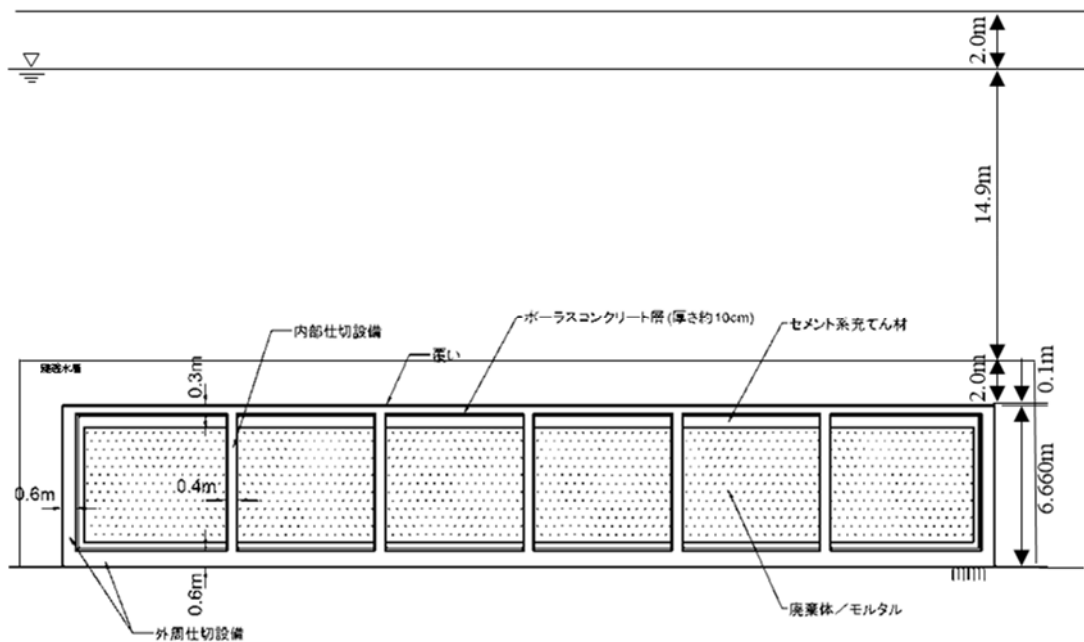
埋設設備全体は、外周仕切設備側壁、外周仕切設備底版、内部仕切設備、覆い、充填モルタルの層、ポーラスコンクリート層、廃棄体から成る埋設設備をモデル化し、モデル化する境界条件は設備の底面に地盤バネを配置し、常時と地震時に埋設設備に発生する応力を2次元FEM解析で評価する。なお、設計水平震度khは0.2とする。

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

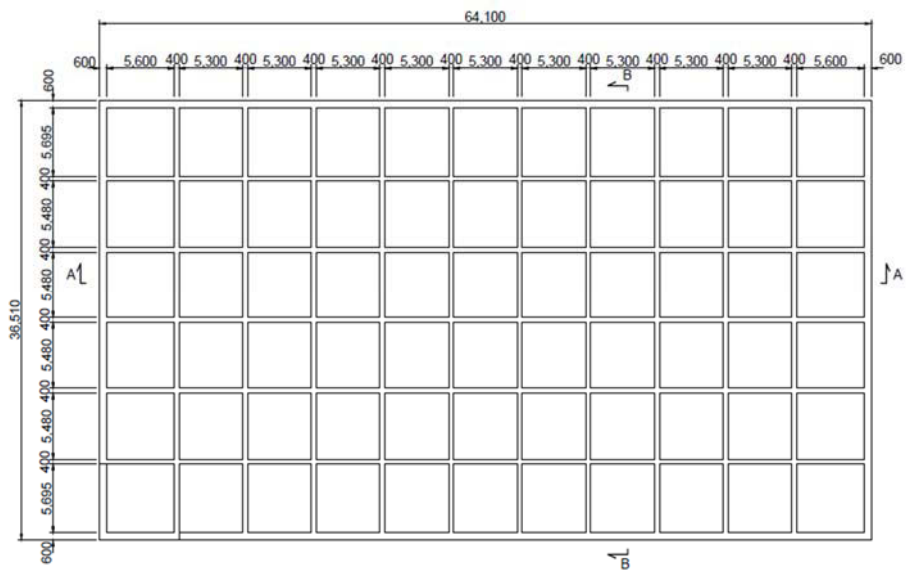
(7) 計算結果

(i) 計算結果

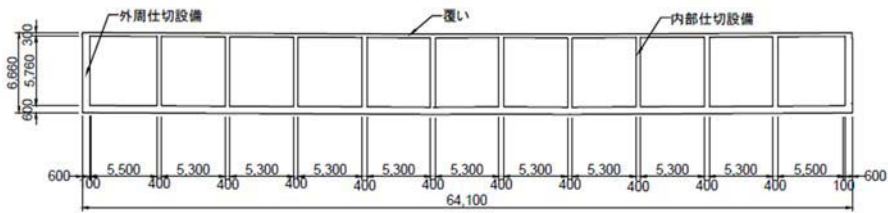
外周仕切設備、内部仕切設備、覆いの構造については、検討位置の鉛直方向及び水平方向に対して外側、内側に発生する応力度が、常時及び地震時において、曲げ圧縮、せん断、引張の各許容応力度以下であることを確認し、構造上の安定性を有する構造とする。

(ii) 埋設設備の構造

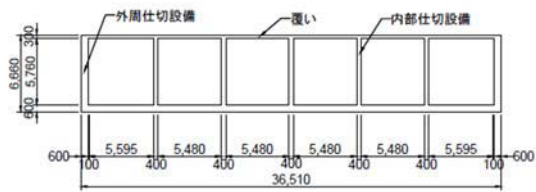
計算結果に基づき、埋設設備の構造図を第 8 図に示す。



(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、必要に応じて保守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

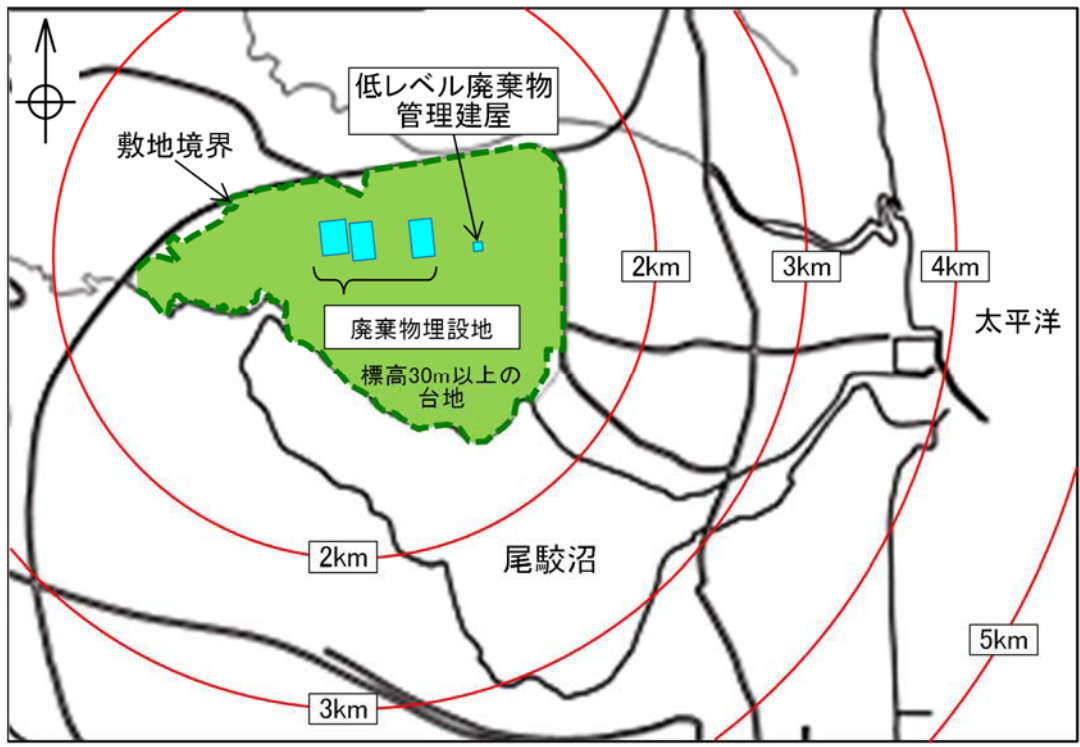
第 1 表 事象の除外基準及び考え方

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	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	○																								
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.....	1
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)~(40)}、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。

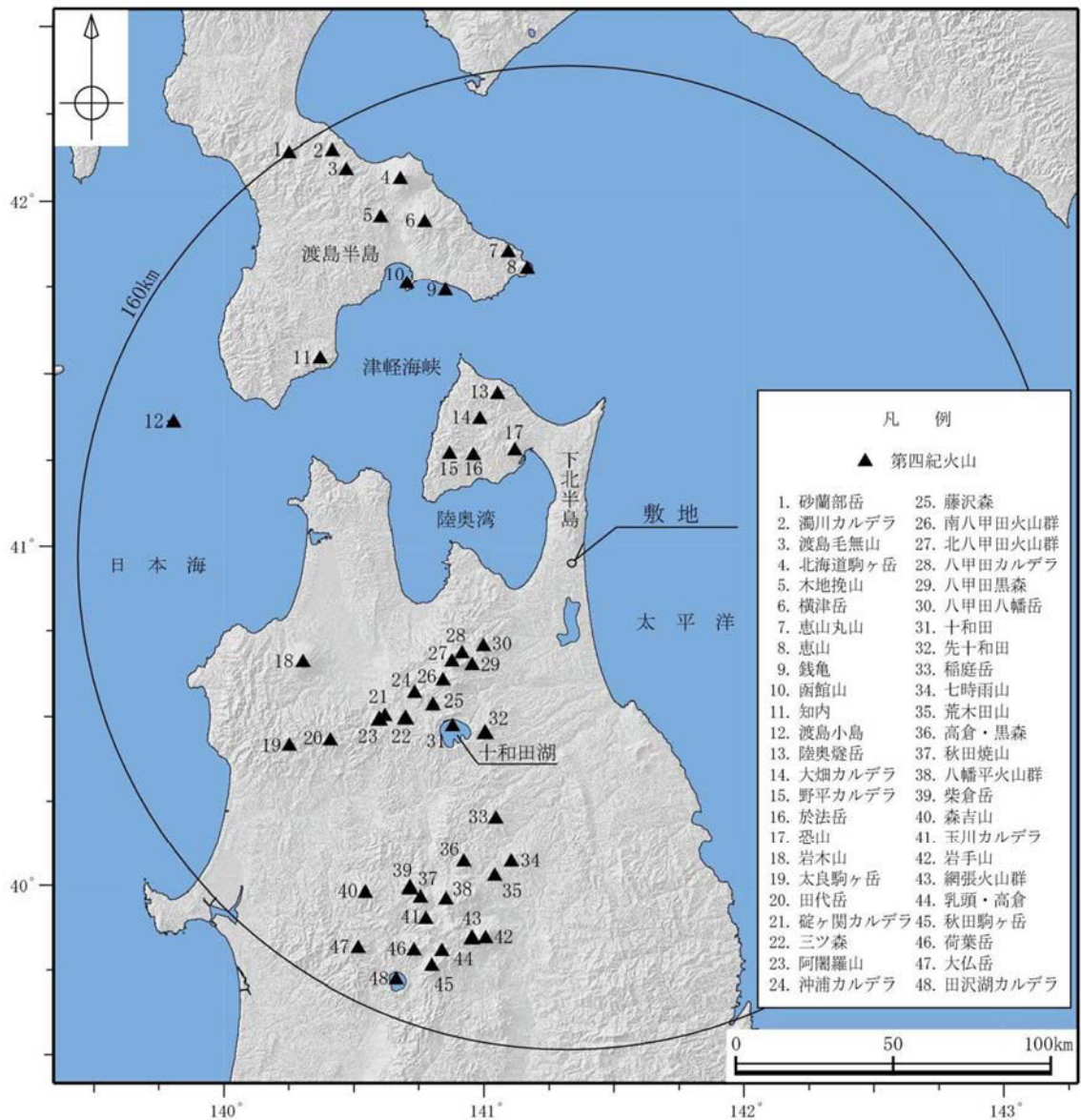
その結果、横津岳、陸奥燧岳、田代岳、藤沢森、南八甲田火山群、八甲田カルデラ、先十和田、玉川カルデラ、網張火山群、乳頭・高倉及び荷葉岳の 11 火山を抽出した。

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 (あじやらやま)	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

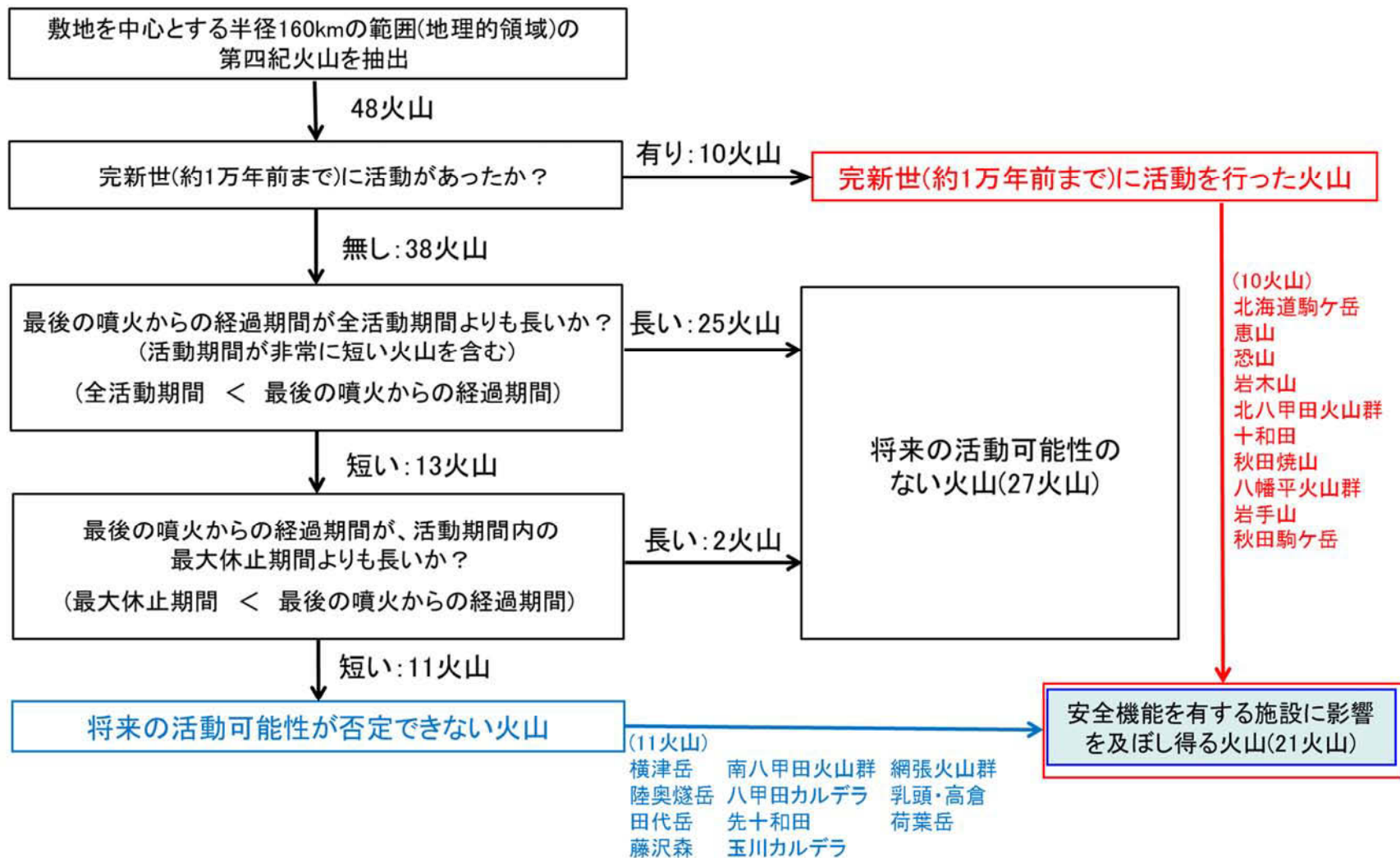
*7: 宝田(1991)⁽⁸⁾によれば、層序的に十和田大不動火砕流(約3.5万年前)と十和田八戸火砕流(約1.55万年前)の噴出時期の間にあるとされる

*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

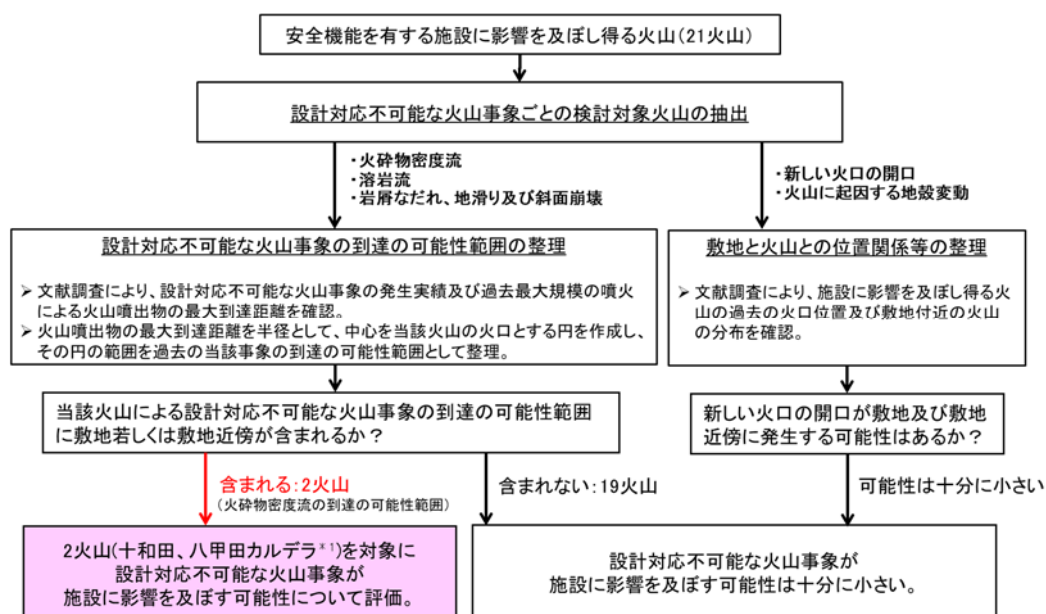
3. 廃棄物埋設地の安全機能に影響を与える可能性のある火山事象の影響評価

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

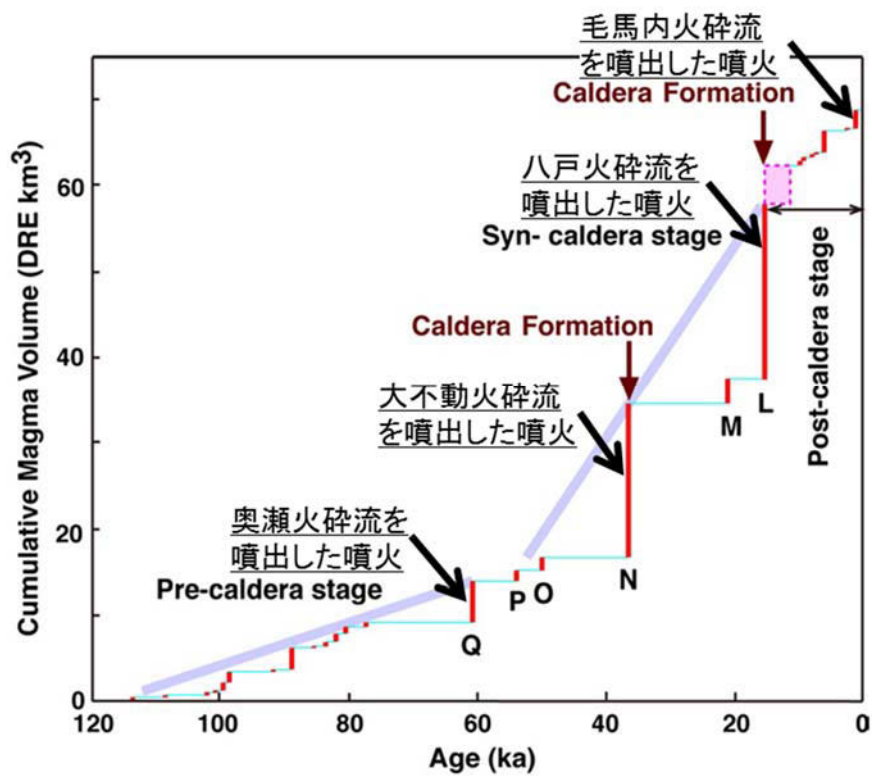
十和田の活動履歴(階段ダイアグラム)を第4図に示す。活動履歴から、巨大噴火が発生したカルデラ形成期と現在の活動期である後カルデラ期は、噴火の頻度、噴出量及び噴出率が異なること等から、現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる(工藤ほか、2011)⁽¹³⁾。

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。

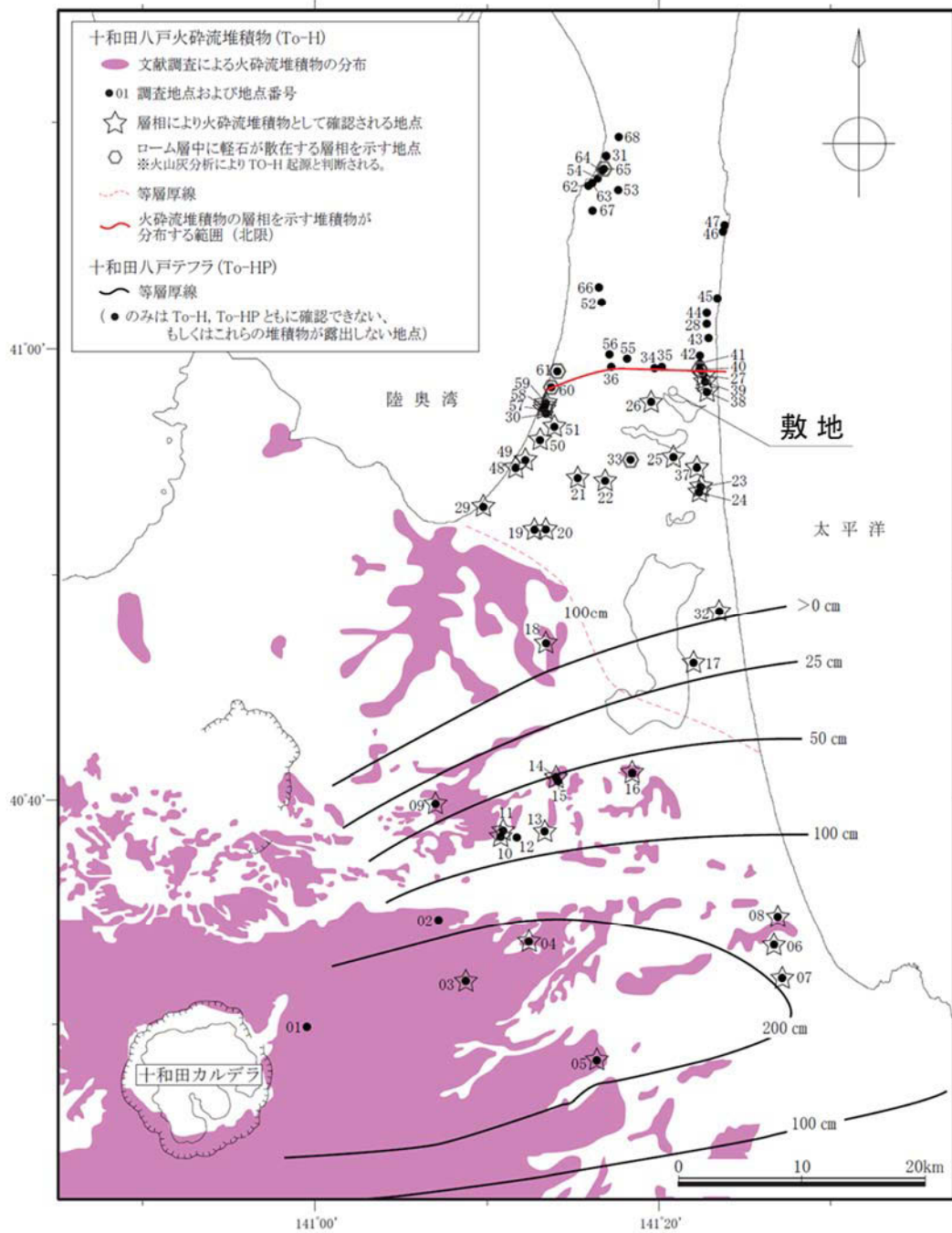
また、地震波速度構造⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾、比抵抗構造⁽²²⁾、地震及び地殻変動⁽²³⁾から、現状、十和田直下の上部地殻(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない(根拠資料参照)。

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。

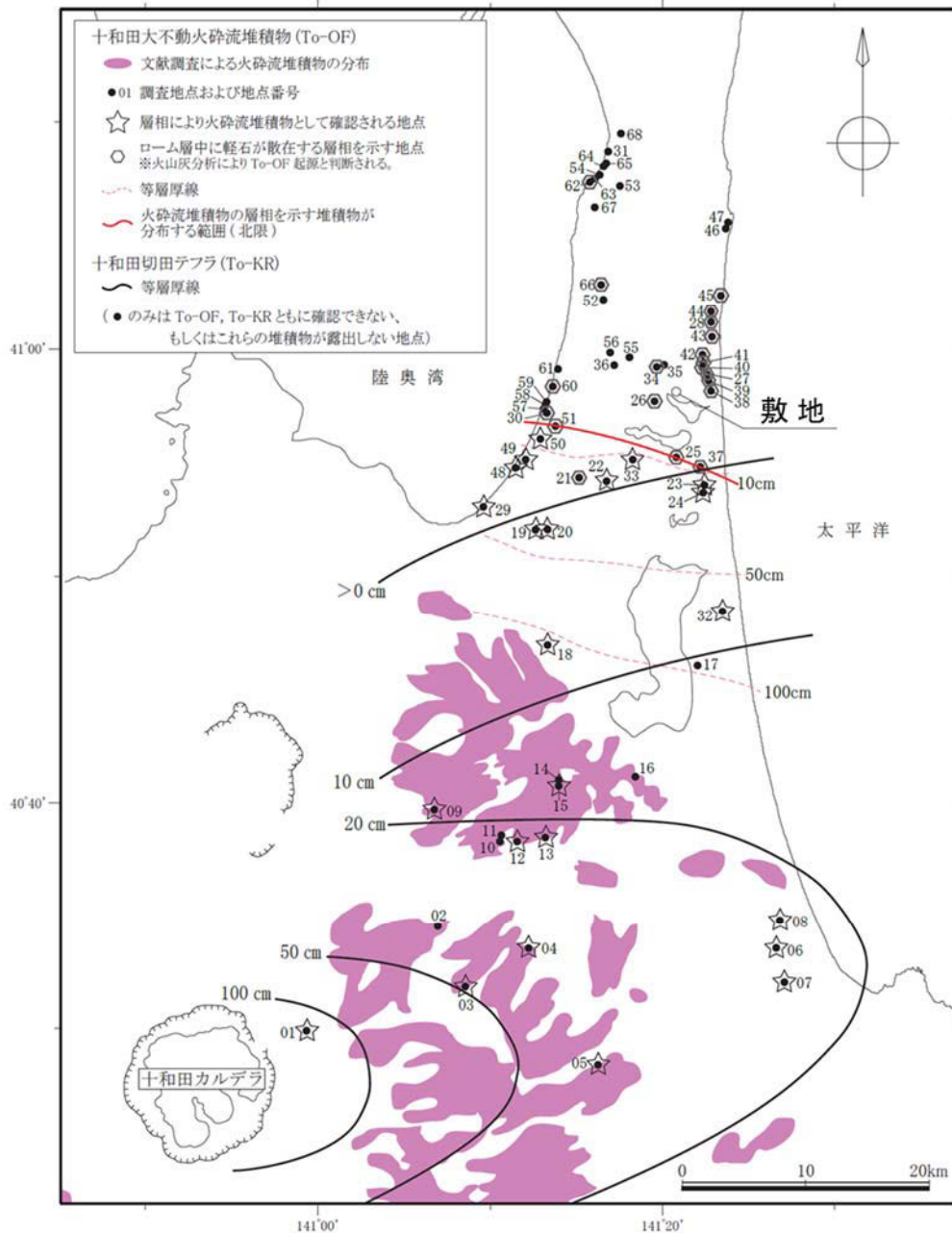


第 4 図 十和田の階段ダイアグラム (Yamamoto et al. (2018)⁽¹²⁾ に一部加筆)



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



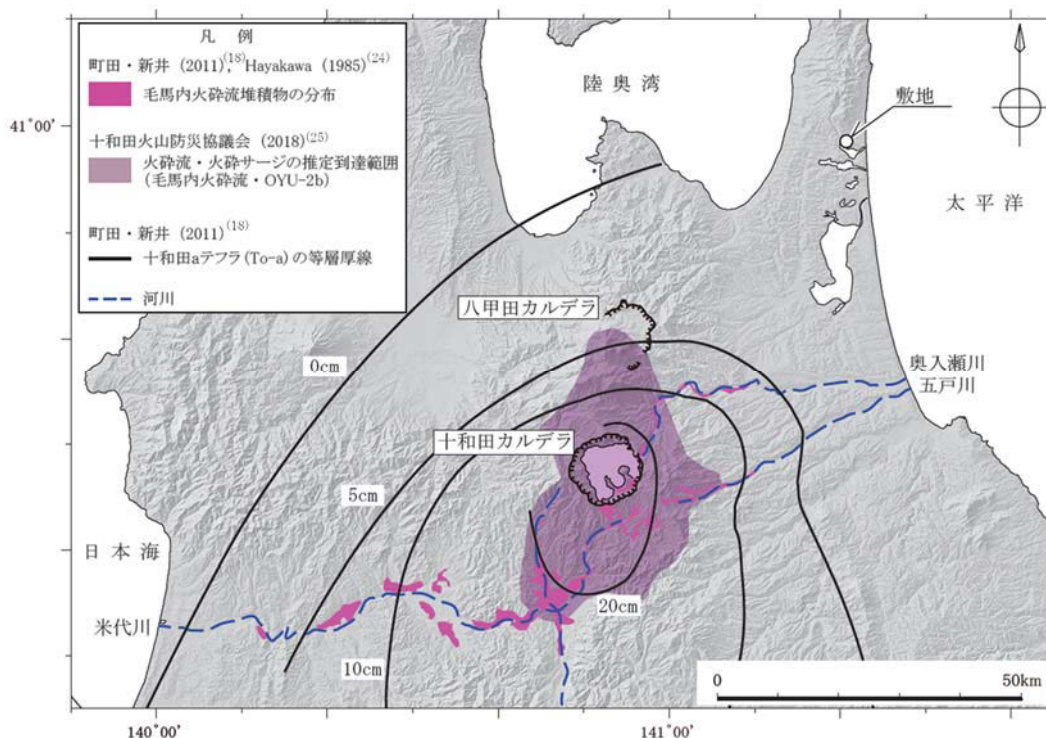
土井 (1993)⁽¹⁷⁾、町田、新井 (2011)⁽¹⁸⁾ に基づき当社が作成。

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

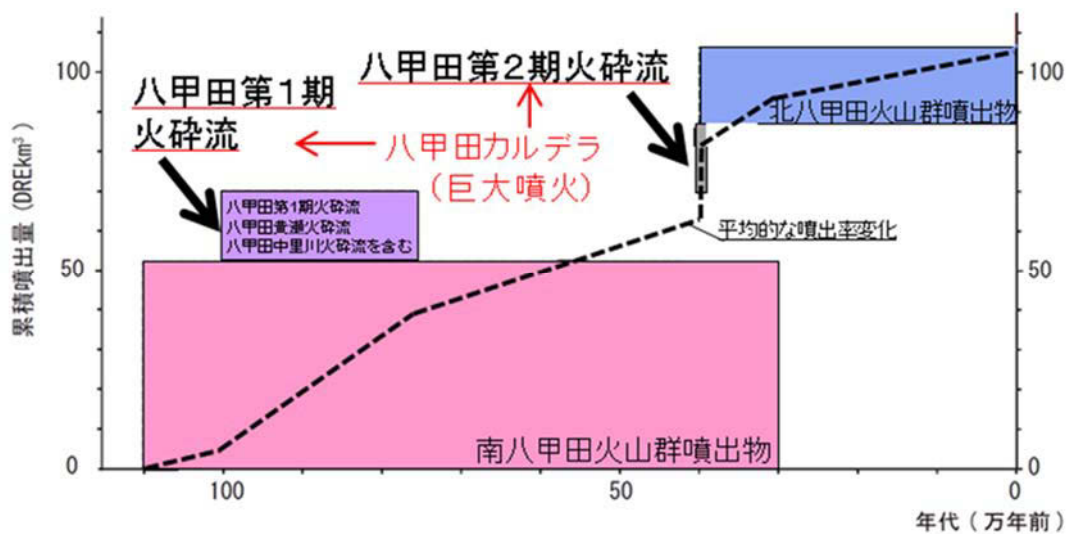
活動のピークは40万年前～10万年前までの間にあったと考えられ、10万年前以降の火山活動は比較的低調になっており、長期的にみると終息へと向かっているとしている。

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)。

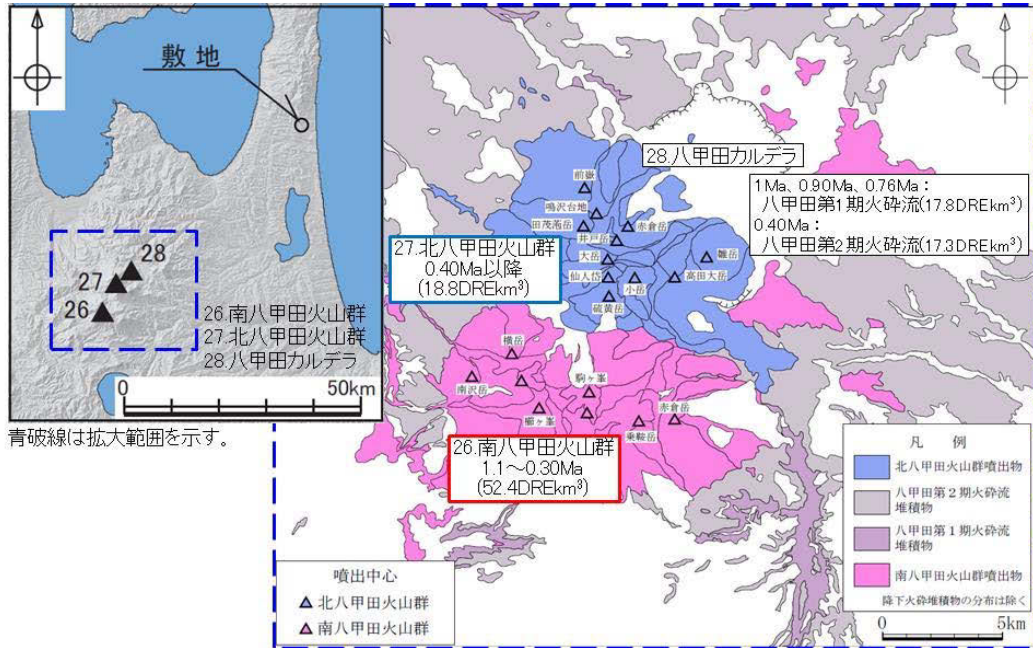
文献調査の結果、八甲田山について、現状、巨大噴火が起こる可能性があるとする知見は認められず、八甲田山火山防災協議会(2014)⁽⁴⁰⁾による火山災害予想区域図においても、巨大噴火を想定していない。

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。



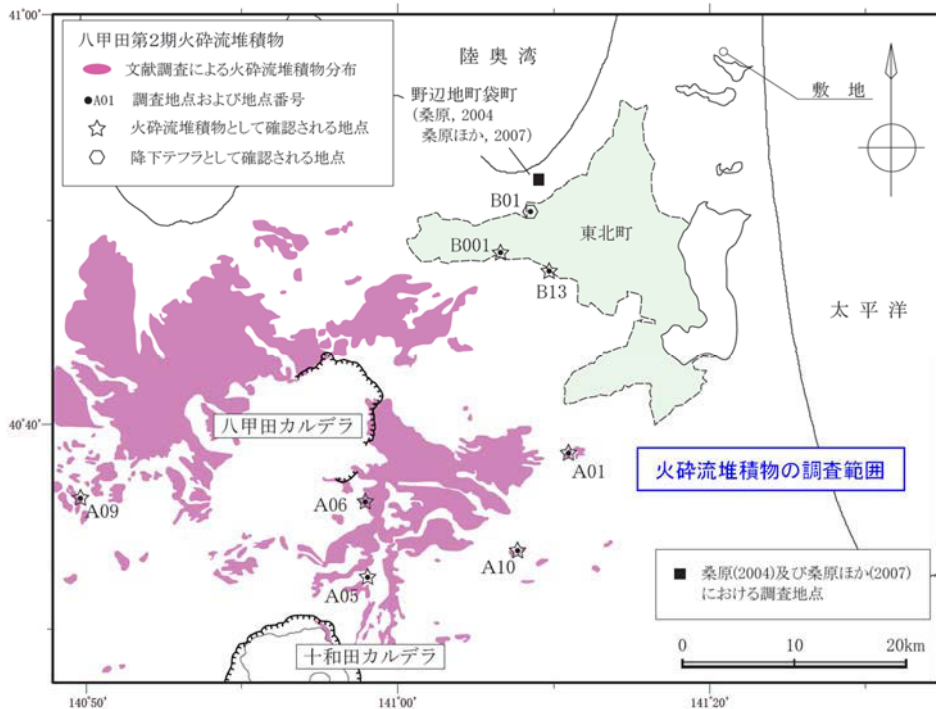
年代は中野ほか編(2013)⁽¹⁾、噴出量はUmeda et al.(2013)⁽²⁶⁾及び工藤ほか(2004)⁽²⁷⁾に基づく。

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)⁽¹¹⁾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

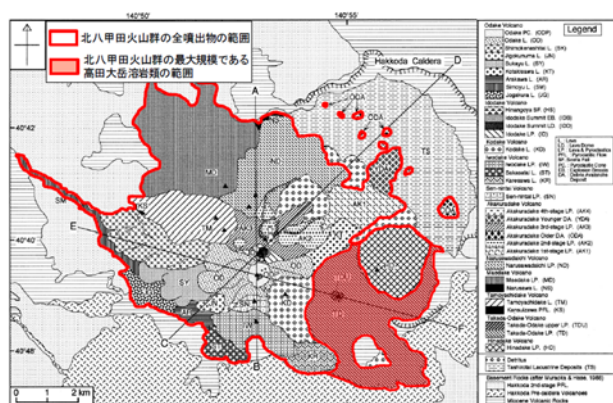


村岡、高倉(1988)⁽²⁸⁾、村岡ほか(1991)⁽¹⁴⁾、大沢ほか(1993)⁽¹⁵⁾、桑原(2004)⁽²⁹⁾、桑原ほか(2007)⁽³⁰⁾に基づき当社が作成。

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 Kansuzawa 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 テフラ及び白頭山苫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苫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）

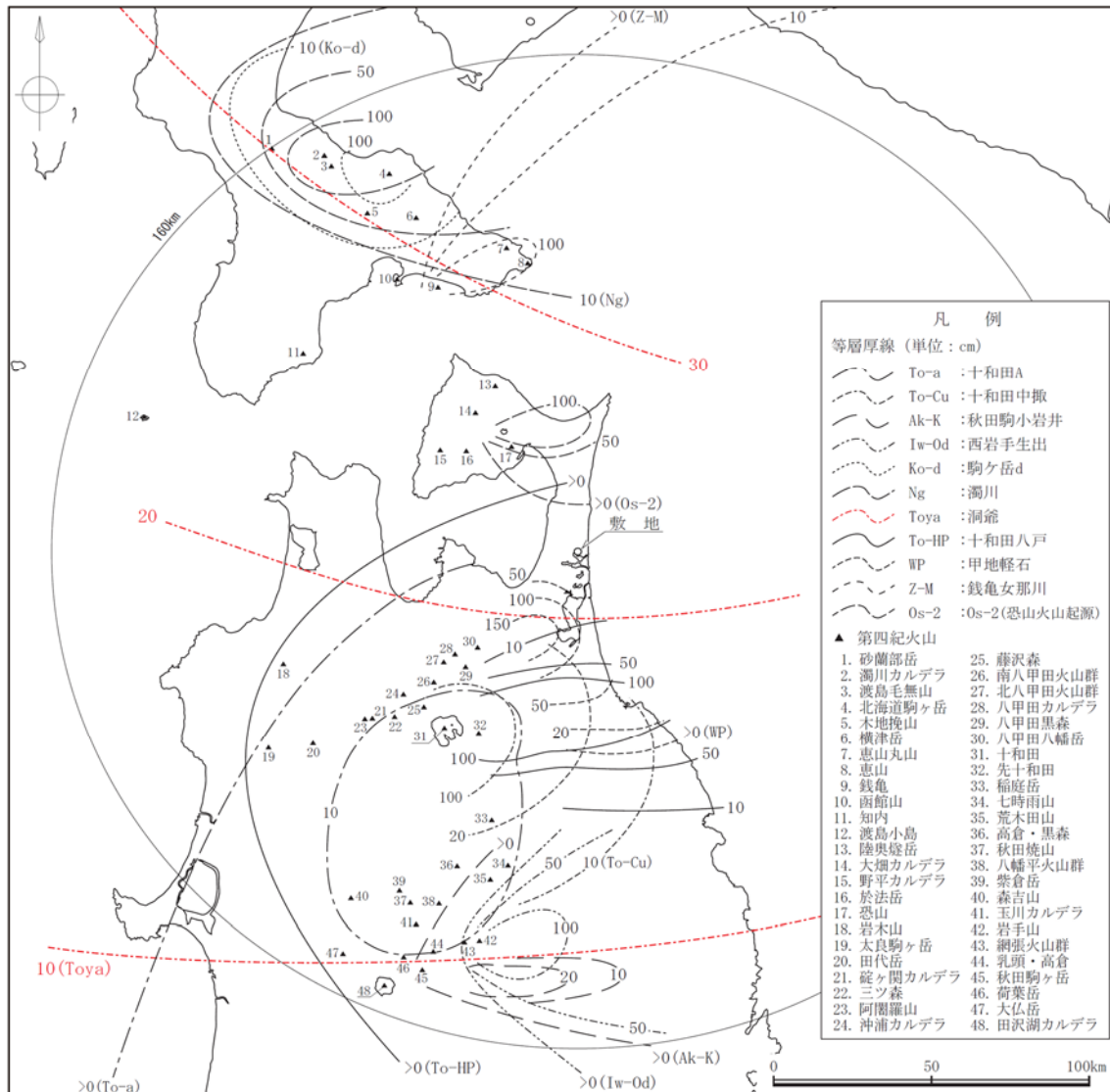
本解析は、移流拡散モデルを用いた解析プログラムであり、降下火砕物が全て降下するまで、一定方向に同じ風速の風が吹き続ける条件で実施した。

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 0.43g/cm^3 、飽和密度 1.25g/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 0.4g/cm^3 ～約 1.2g/cm^3 、自然状態では約 0.5g/cm^3 ～約 1.3g/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 0.6g/cm^3 ～約 1.3g/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 1.3g/cm^3 とする。



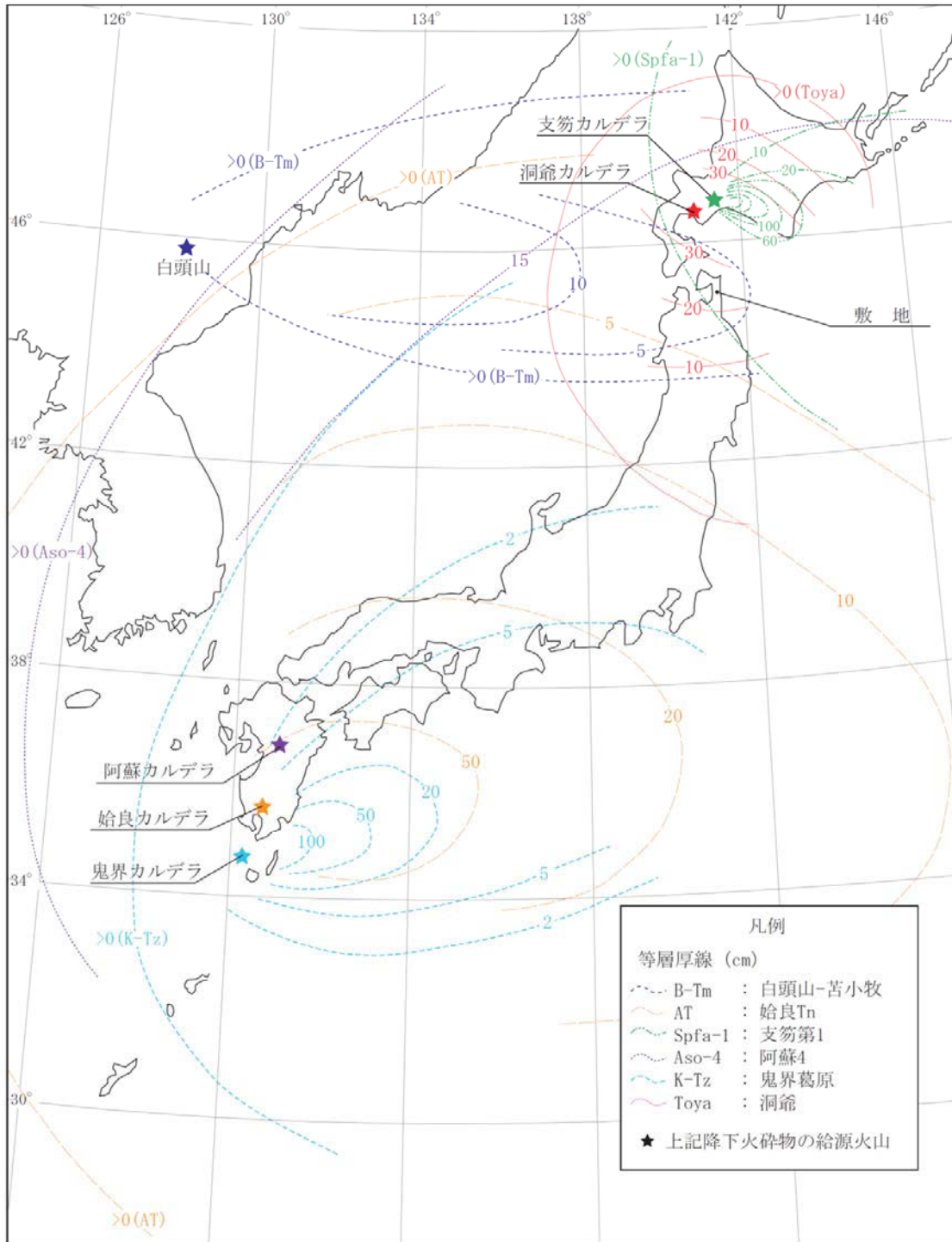
(第四紀火山の位置及び名称は、中野ほか編(2013)⁽¹⁾に基づき作成。)

(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)



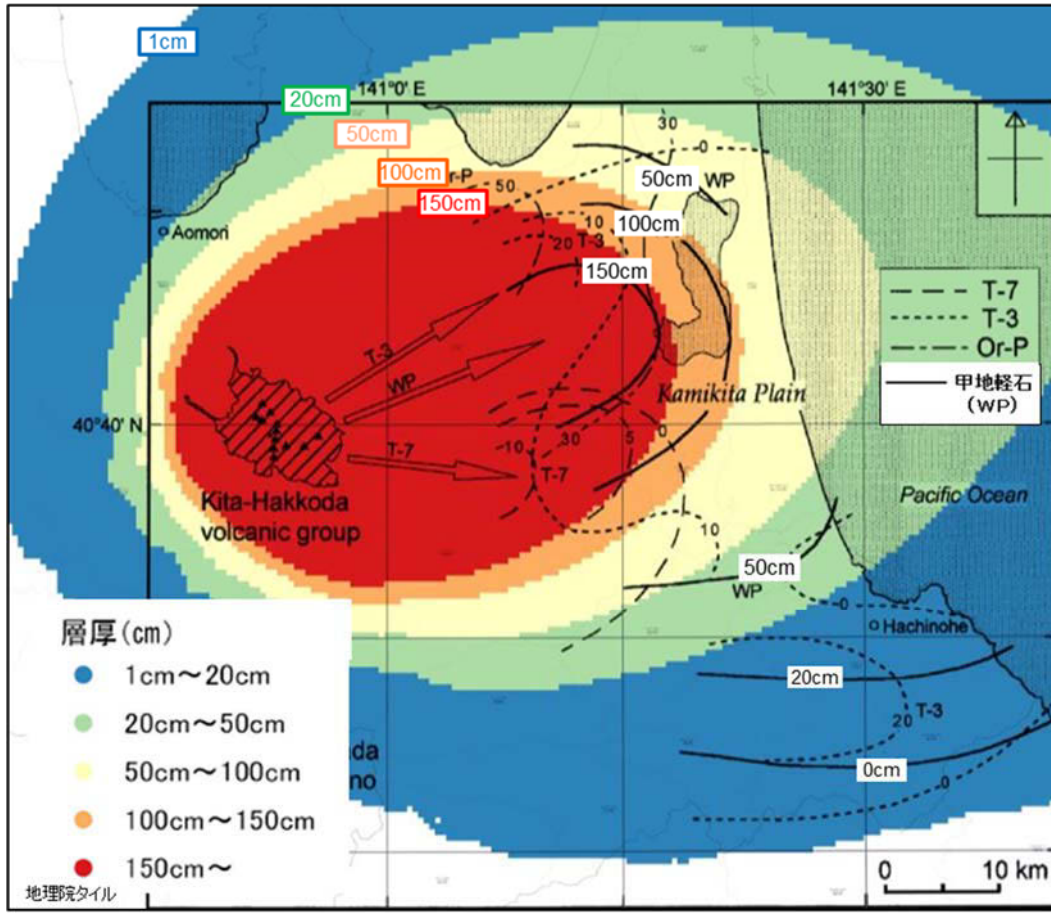
第 14 図 再処理施設敷地で確認された甲地軽石の堆積状況^{*1}

*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 苫小牧テフ 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

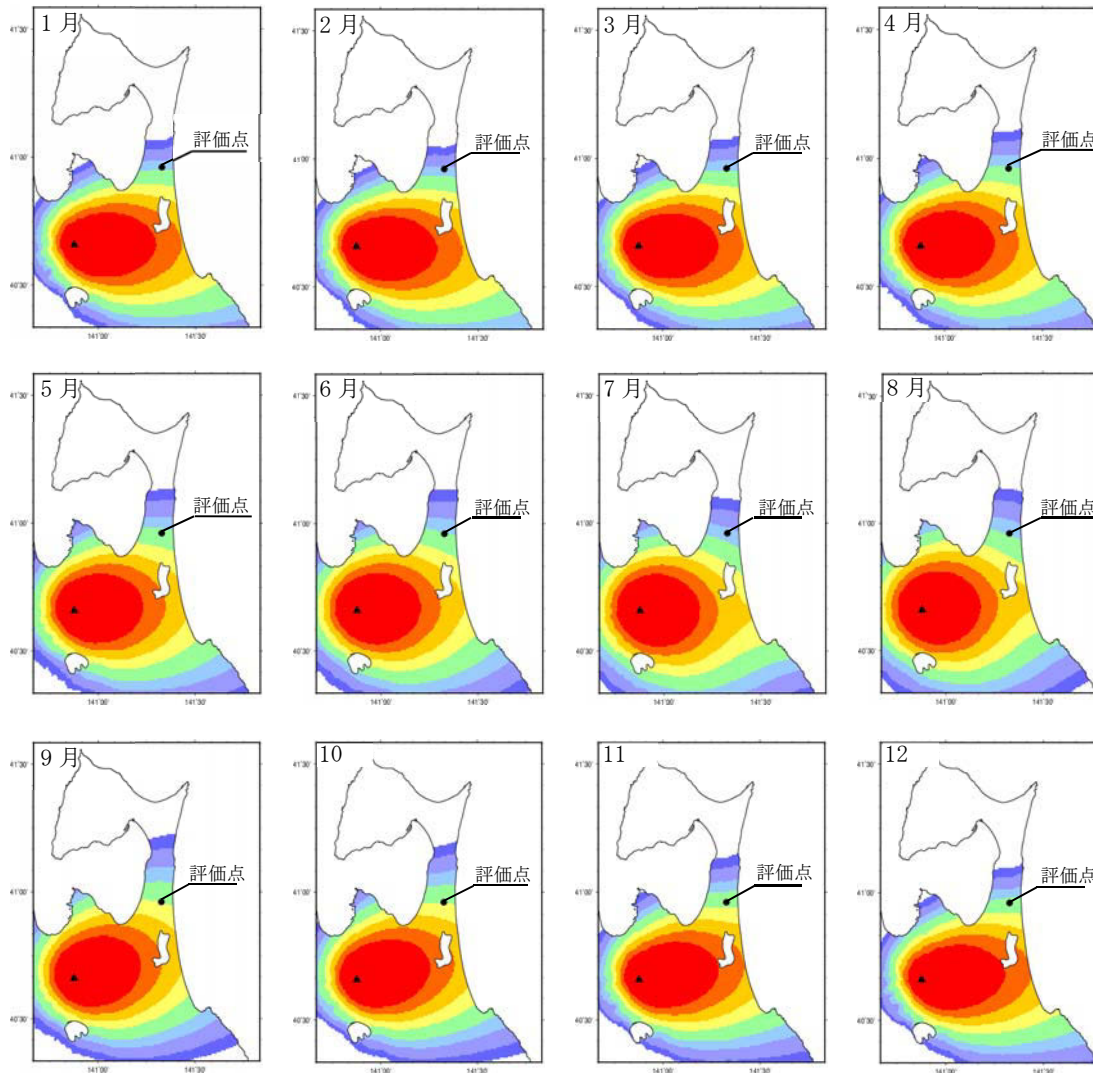


(工藤ほか(2004) ⁽²⁷⁾に当社の解析結果を重ね合わせて作成)

第 15 図 甲地軽石 (WP) の再現性解析結果

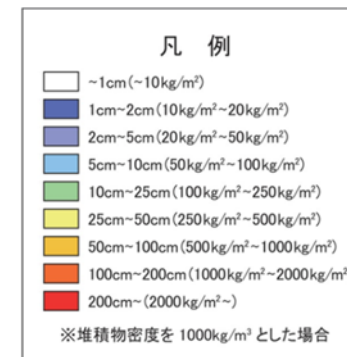
第4表 降下火砕物シミュレーションの主な計算条件

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		

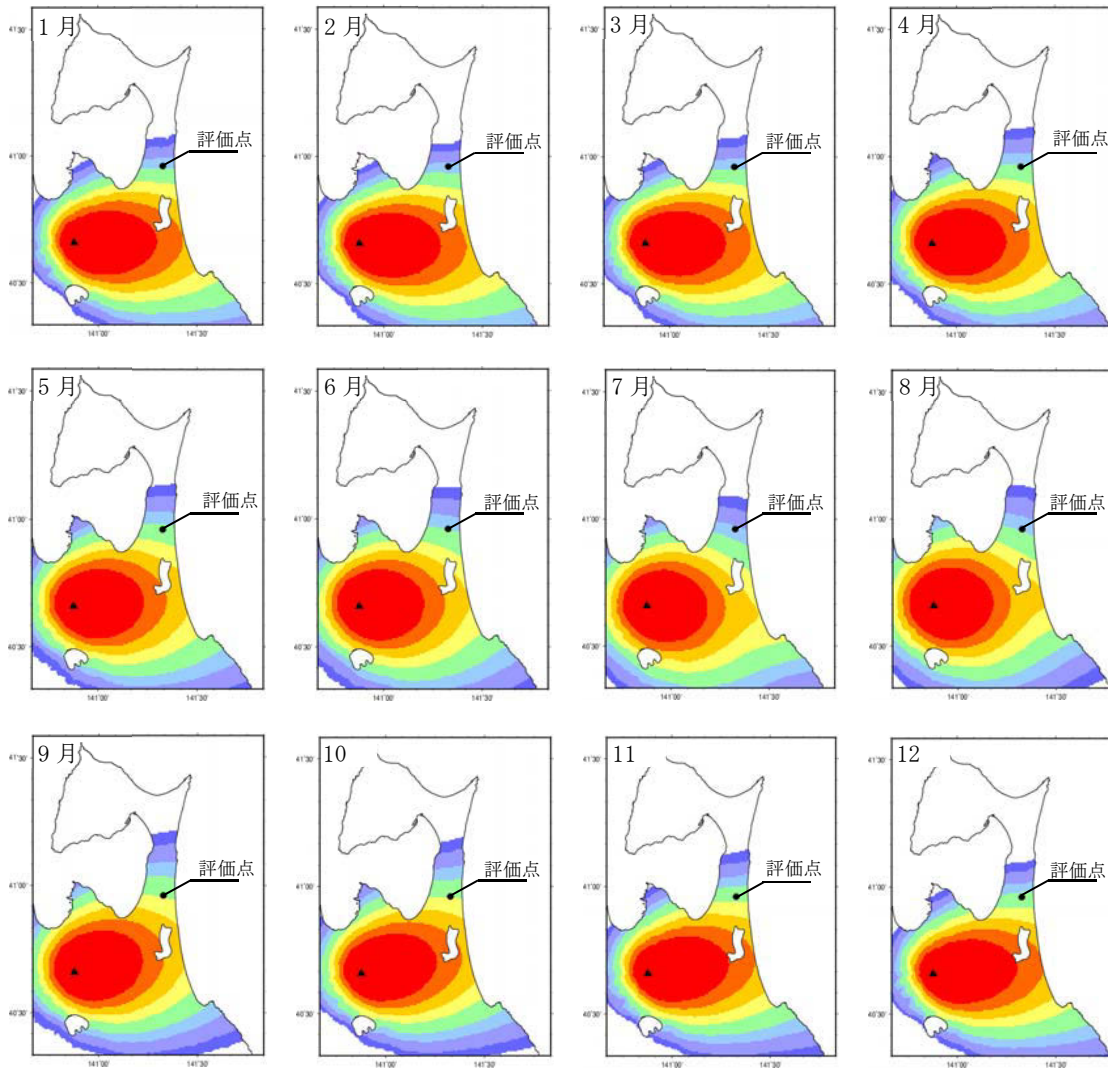


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.4×10^1	8.4×10^0
2月	6.1×10^1	6.1×10^0
3月	8.8×10^1	8.8×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	1.1×10^2	1.1×10^1
7月	6.7×10^1	6.7×10^0
8月	9.3×10^1	9.3×10^0
9月	2.5×10^2	2.5×10^1
10月	2.5×10^2	2.5×10^1
11月	1.9×10^2	1.9×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値(9時)の風の際の評価点での層厚(1981~2010年)

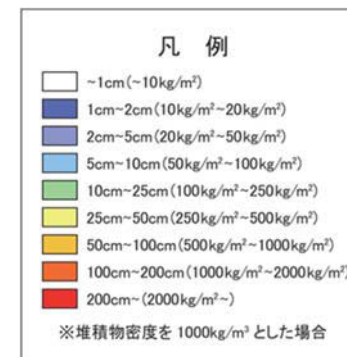


第16図 降下火砕物シミュレーションの解析結果(1/2) (月別平年値の風：9時)

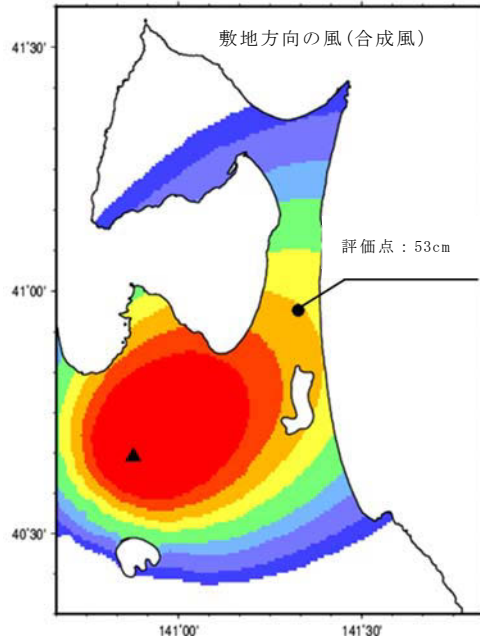


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.9×10^1	8.9×10^0
2月	6.5×10^1	6.5×10^0
3月	8.6×10^1	8.6×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	9.9×10^1	9.9×10^0
7月	6.0×10^1	6.0×10^0
8月	9.0×10^1	9.0×10^0
9月	2.3×10^2	2.3×10^1
10月	2.4×10^2	2.4×10^1
11月	1.8×10^2	1.8×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

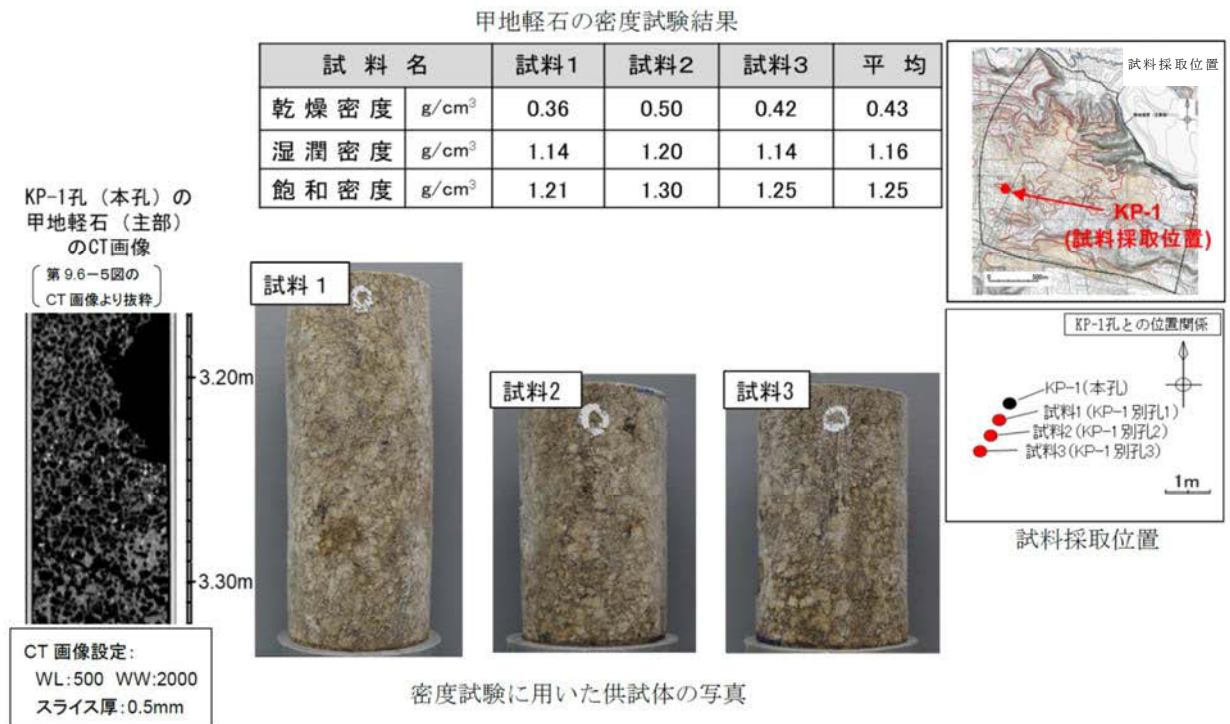
月別平年値(21時)の風の際の評価点での層厚(1981~2010年)



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)



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) 地球物理学の調査.....	1
3. 八甲田山	17
(1) 地球物理学の調査.....	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

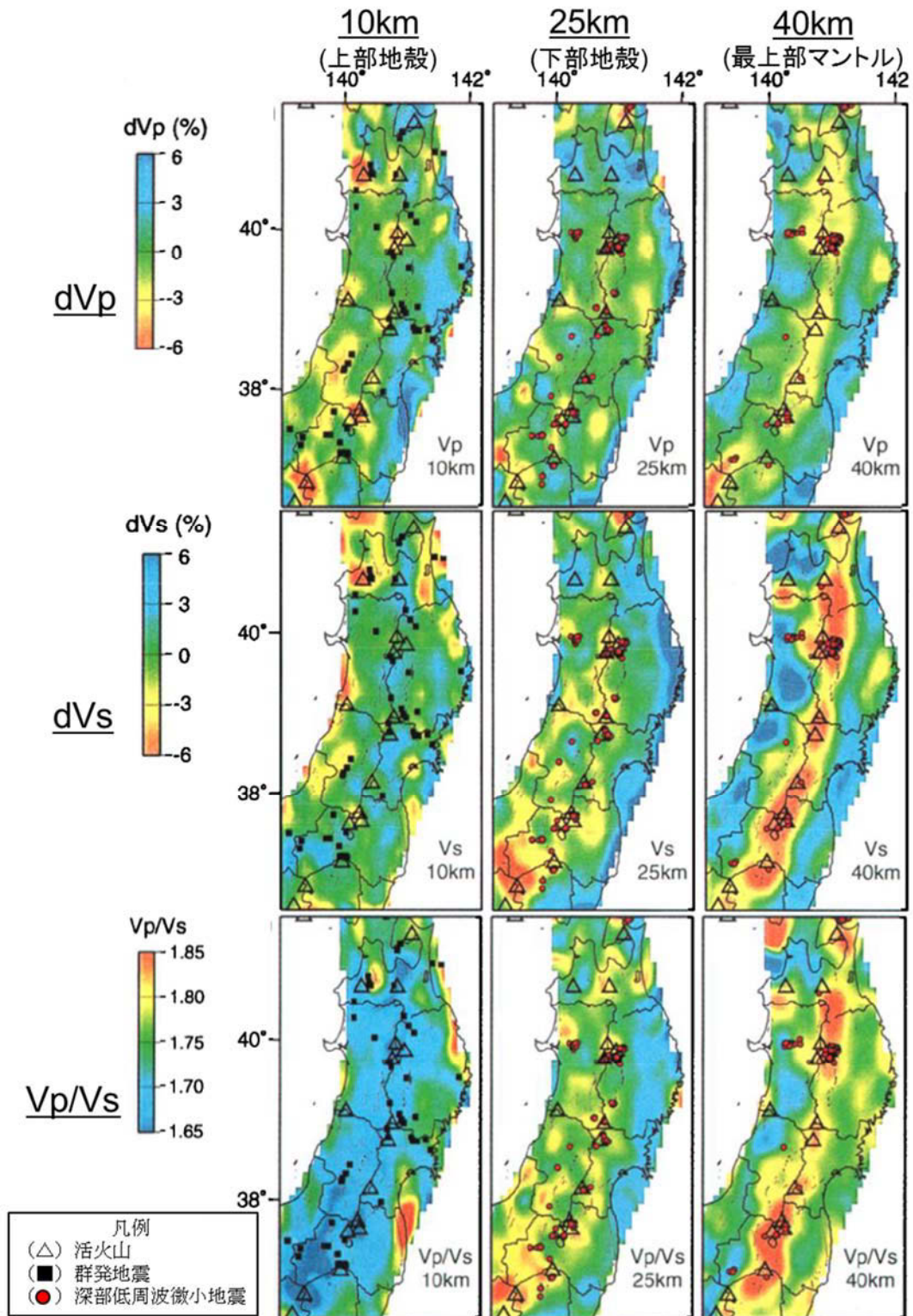
地震波速度構造について、Nakajima et al (2001) ⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、

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）。

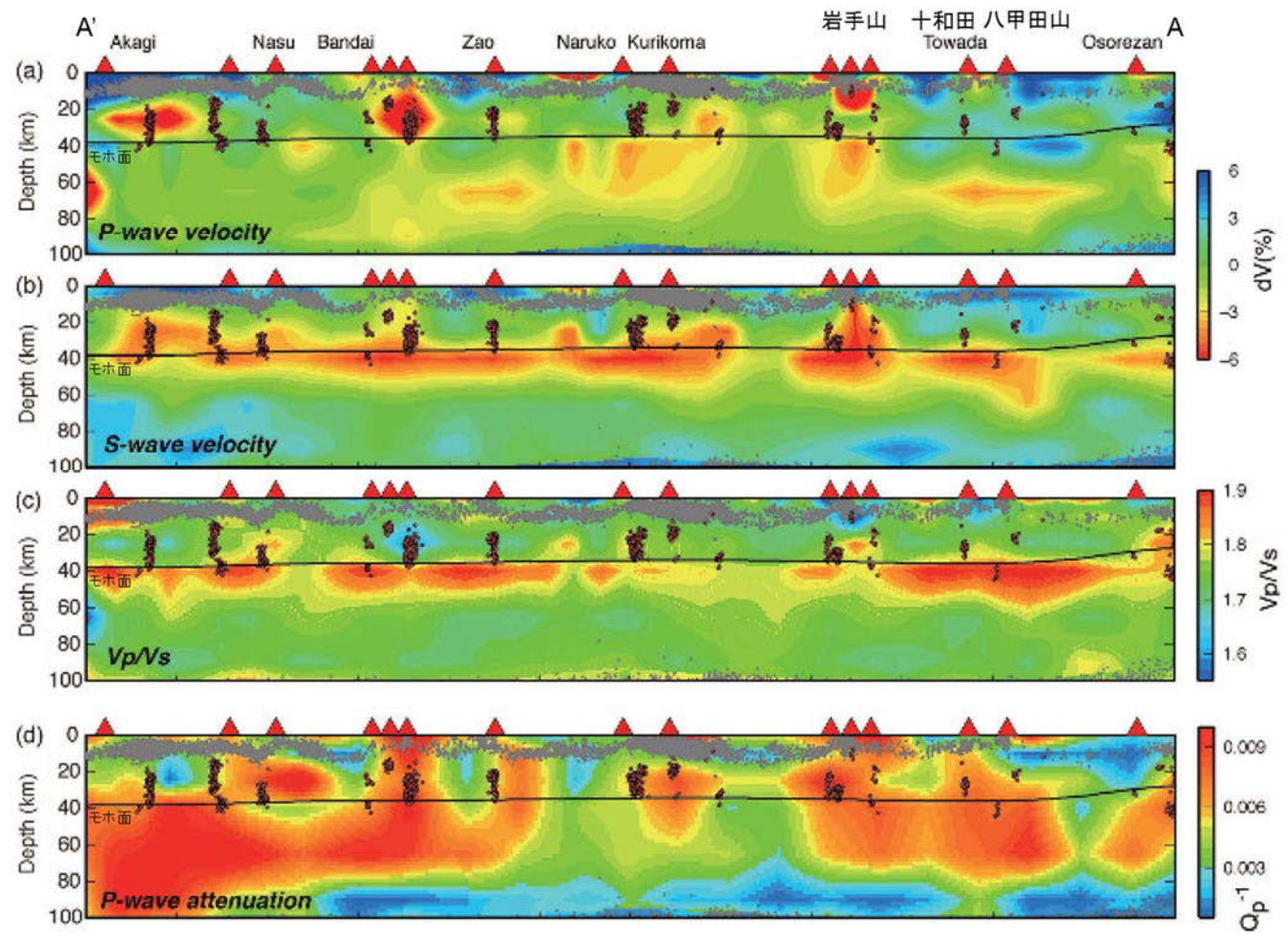
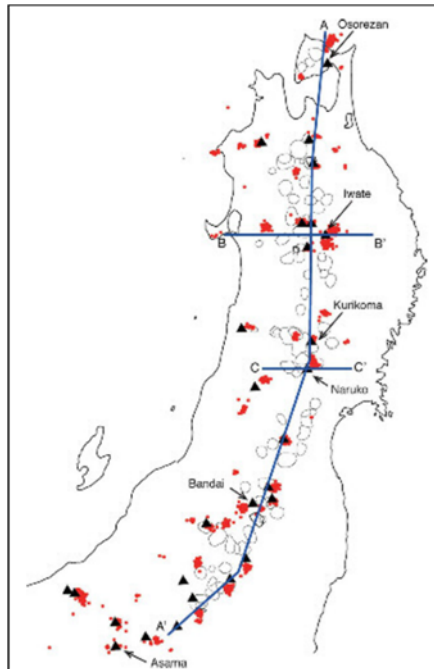
防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造（海域拡大 2019 年版）」（Matsubara, 2019）⁽⁴⁾の地震波トモグラフィ解析結果（第3図参照）及び Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果（第4図参照）に基づく、いずれの結果でも十和田直下の上部地殻内（約 20 km 以浅）に、メルトの存在を示唆する顕著な低 V_p かつ高 V_p/V_s 領域は認められない。

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。

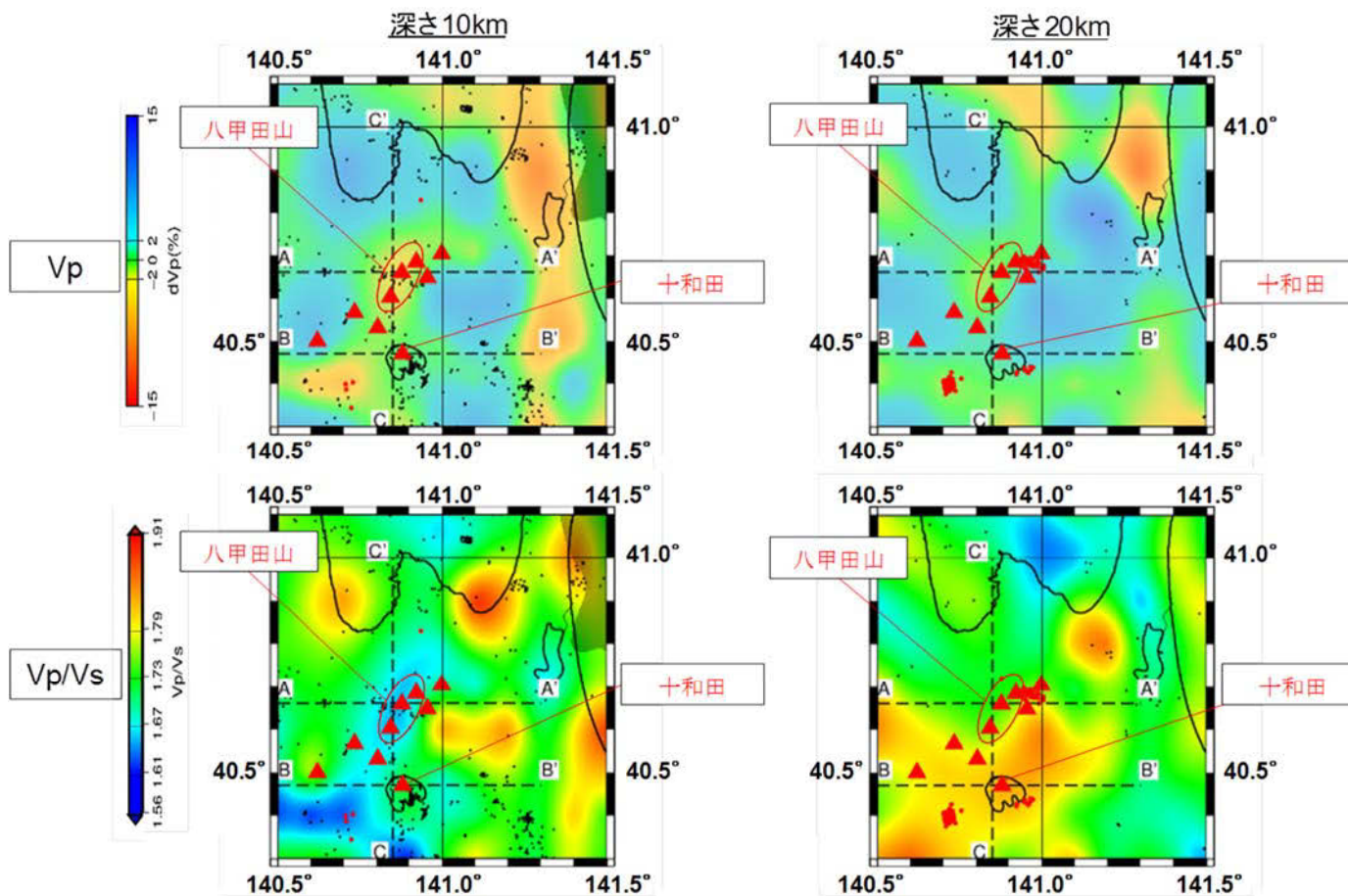
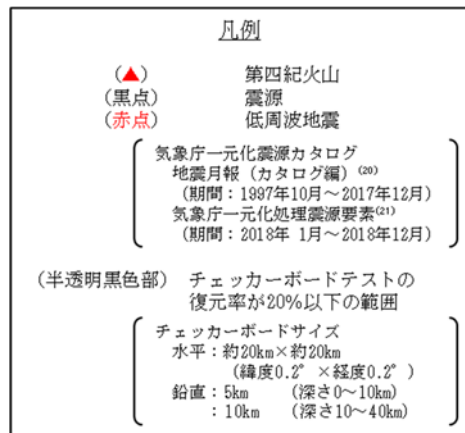


第1図 地震波トモグラフィ解析結果 (Nakajima et al (2001) ⁽²⁾に加筆)



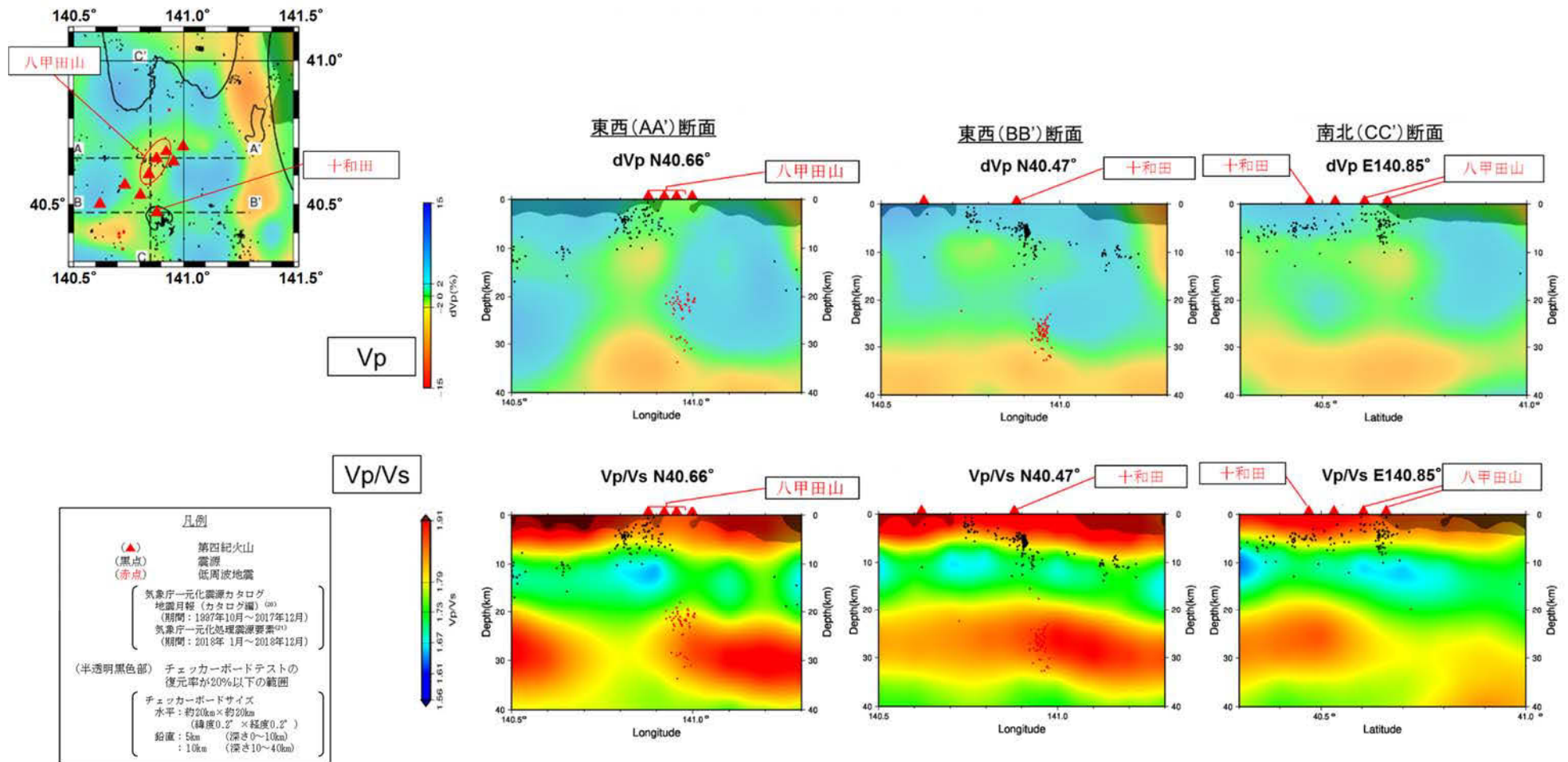
*1 : (a)~(c)の解析結果はNakajima et al (2001) ⁽²⁾と同じ。

第2図 地震波トモグラフィ解析結果(中島 (2017) ⁽³⁾に加筆)



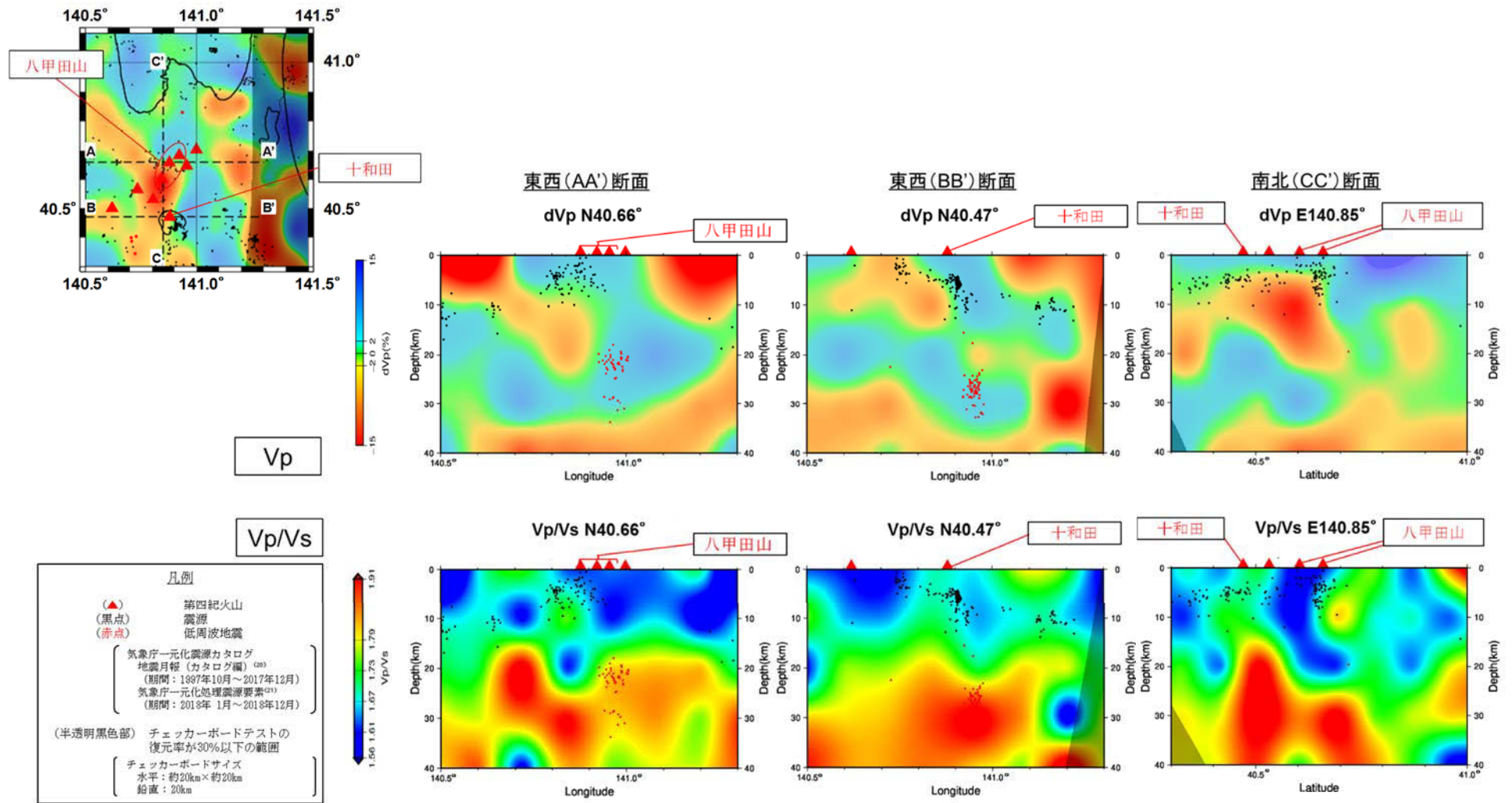
第3図 地震波トモグラフィ解析結果

(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)

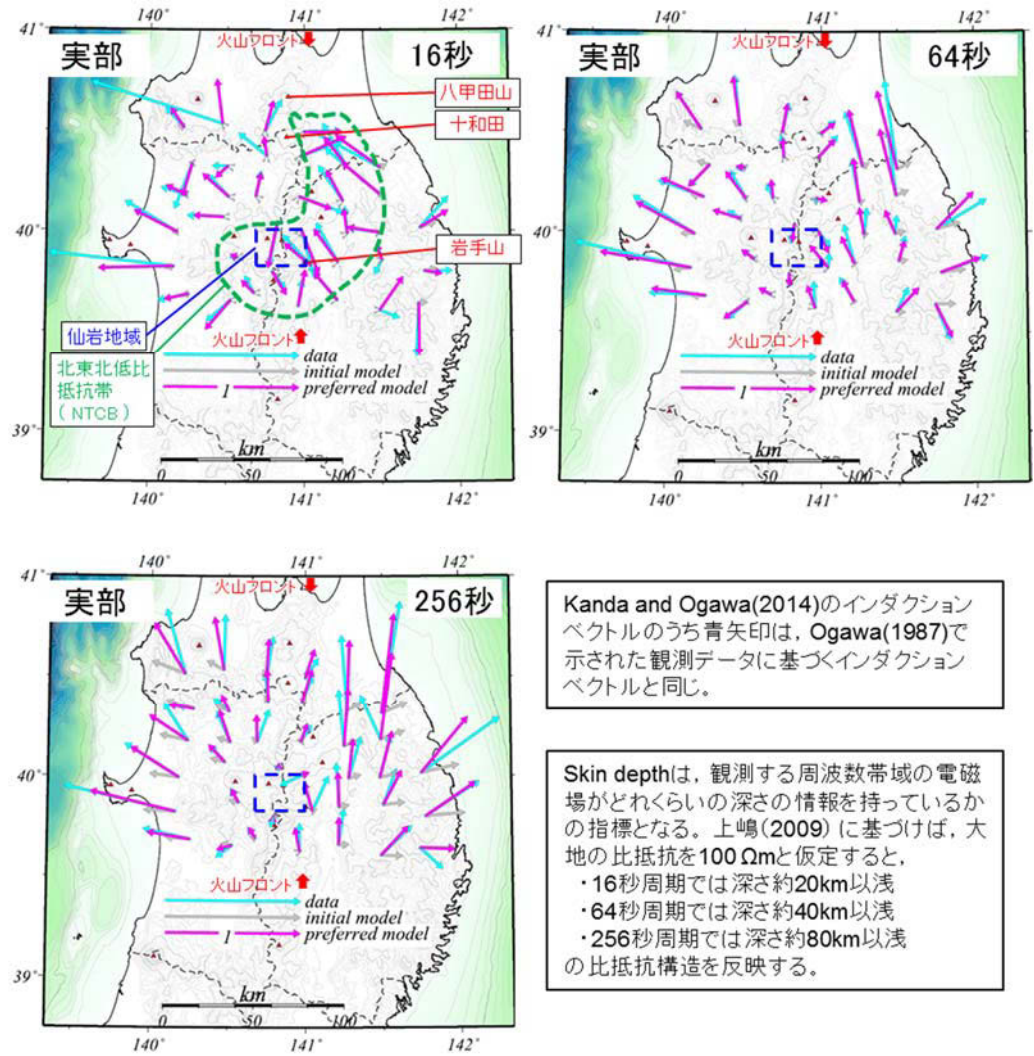
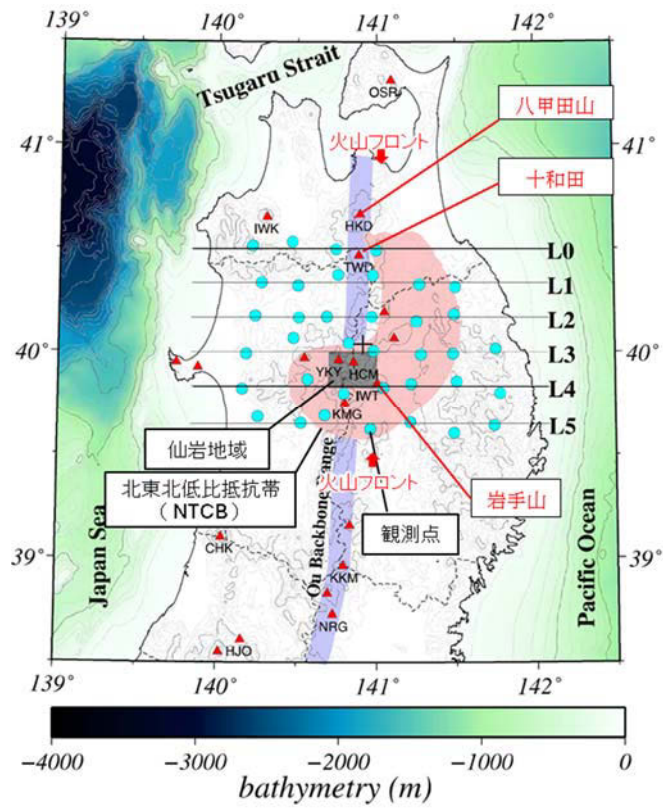


第3図 地震波トモグラフィ解析結果

(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)



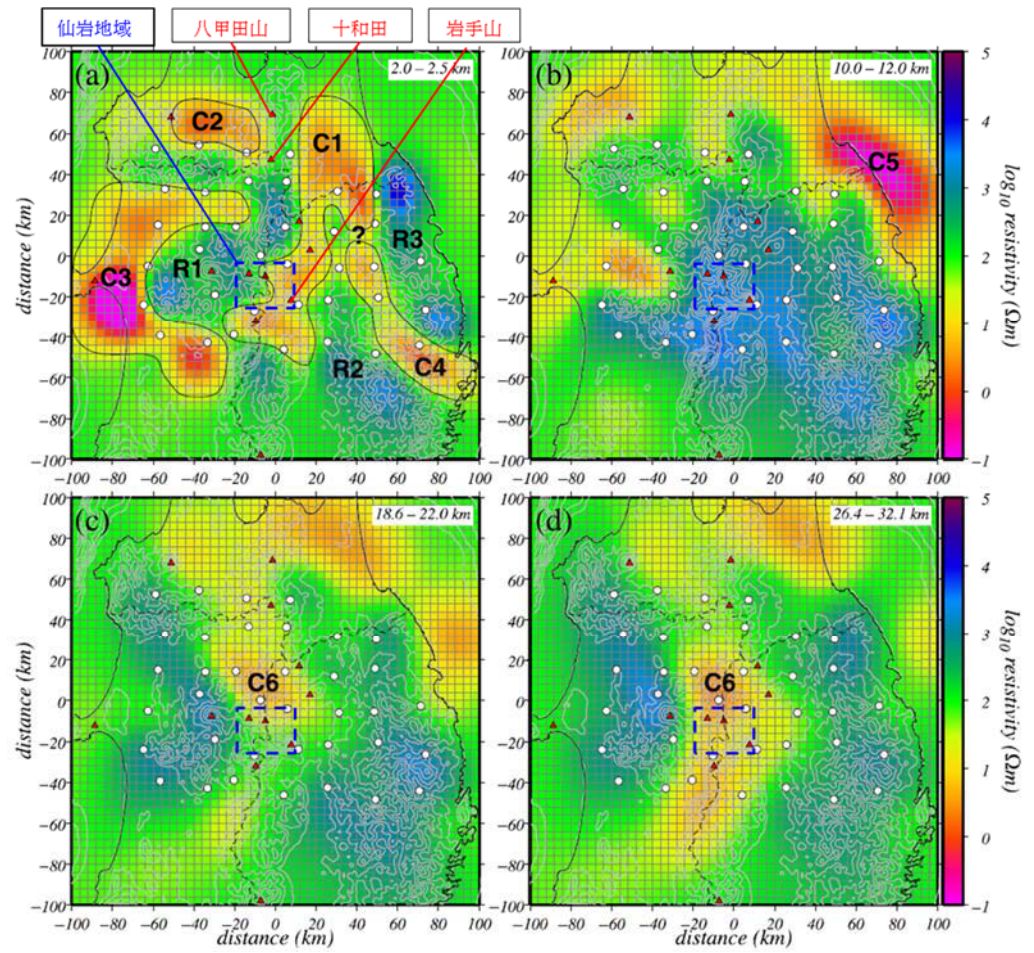
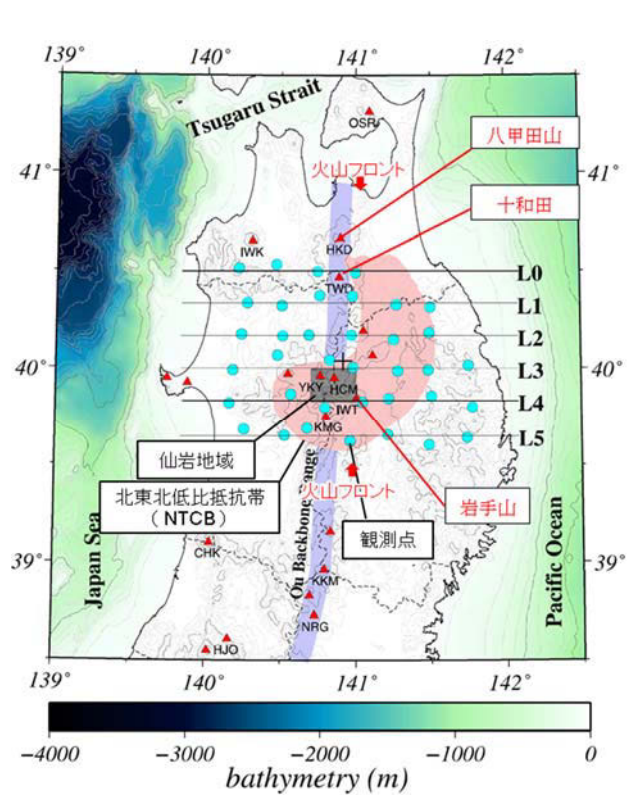
第4図 Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果(2/2)



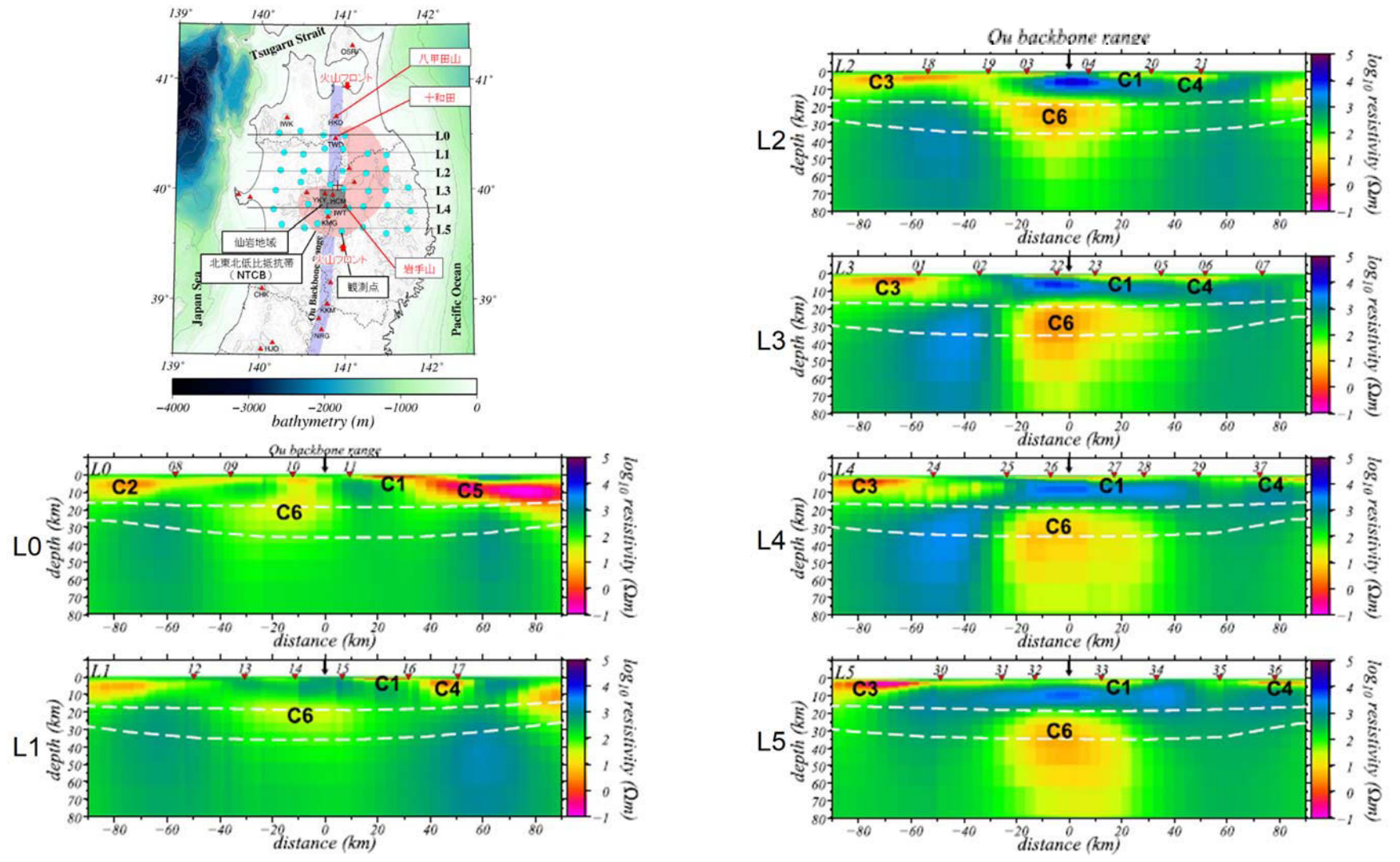
Kanda and Ogawa(2014)のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

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

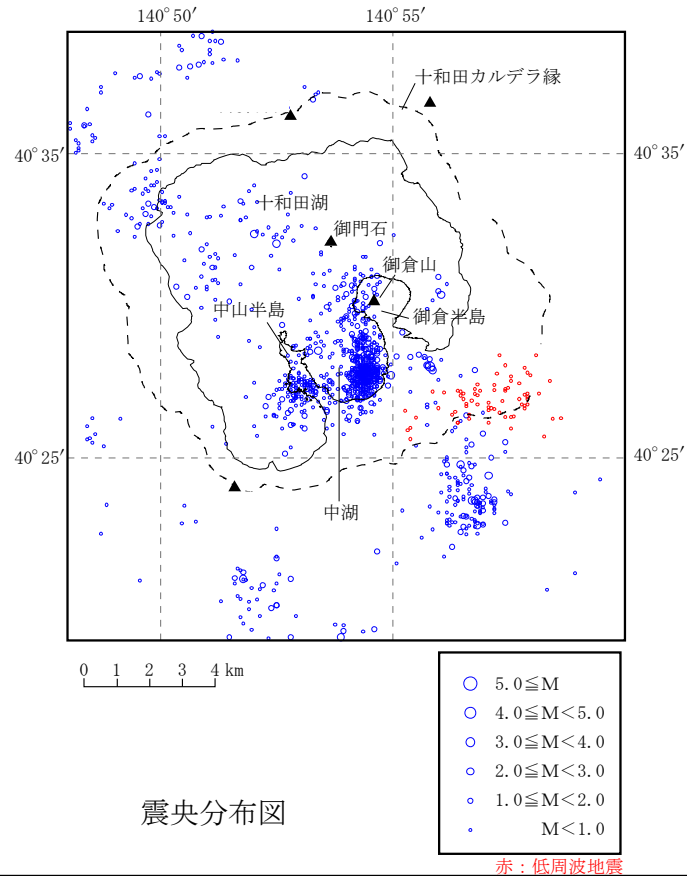
国土地理院（2018）⁽⁹⁾によると、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の余効変動が、東日本の広い範囲でみられるとしている。

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。

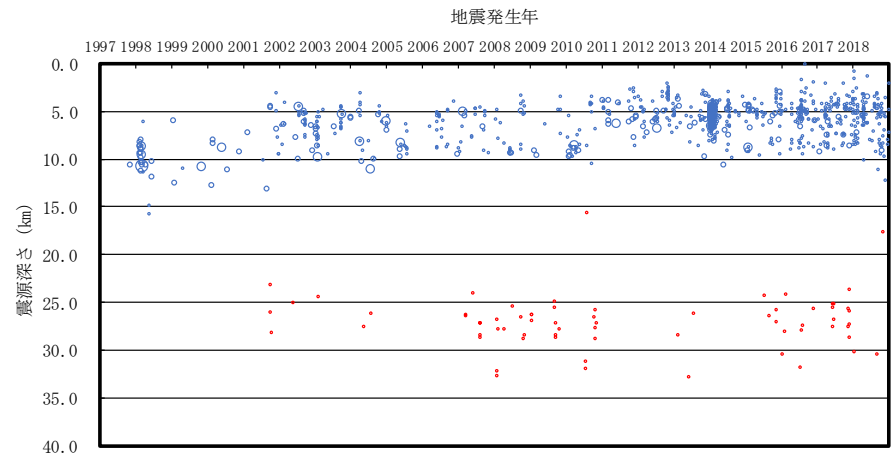
加えて、第 131 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2015）⁽¹⁰⁾によると、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2014 年 9 月 4 日と 2014 年 10 月 16 日）について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第 143 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2019）⁽¹¹⁾においても、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2015 年 10 月 8 日と 2018 年 10 月 18 日）について、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められないとしている。

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。

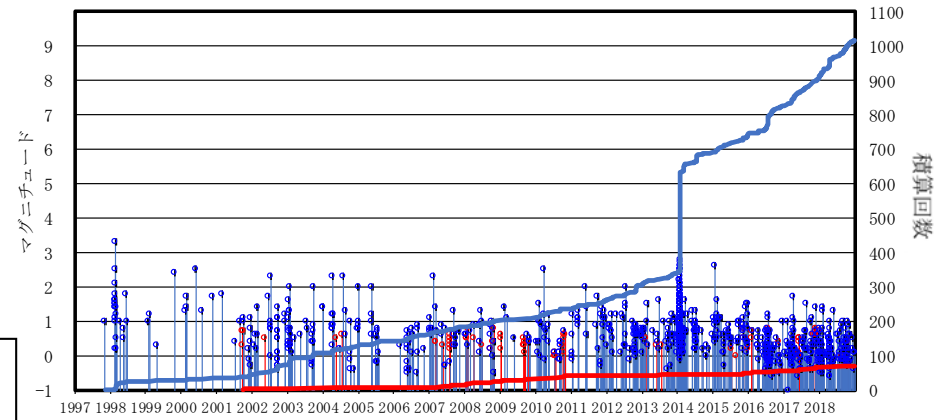


震央分布図

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

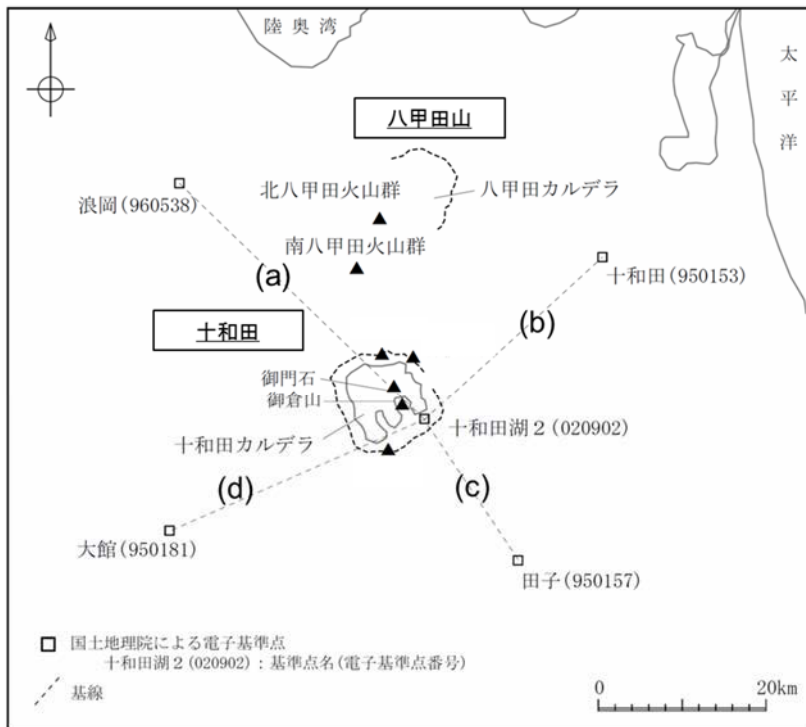


震源深さの時間変化図

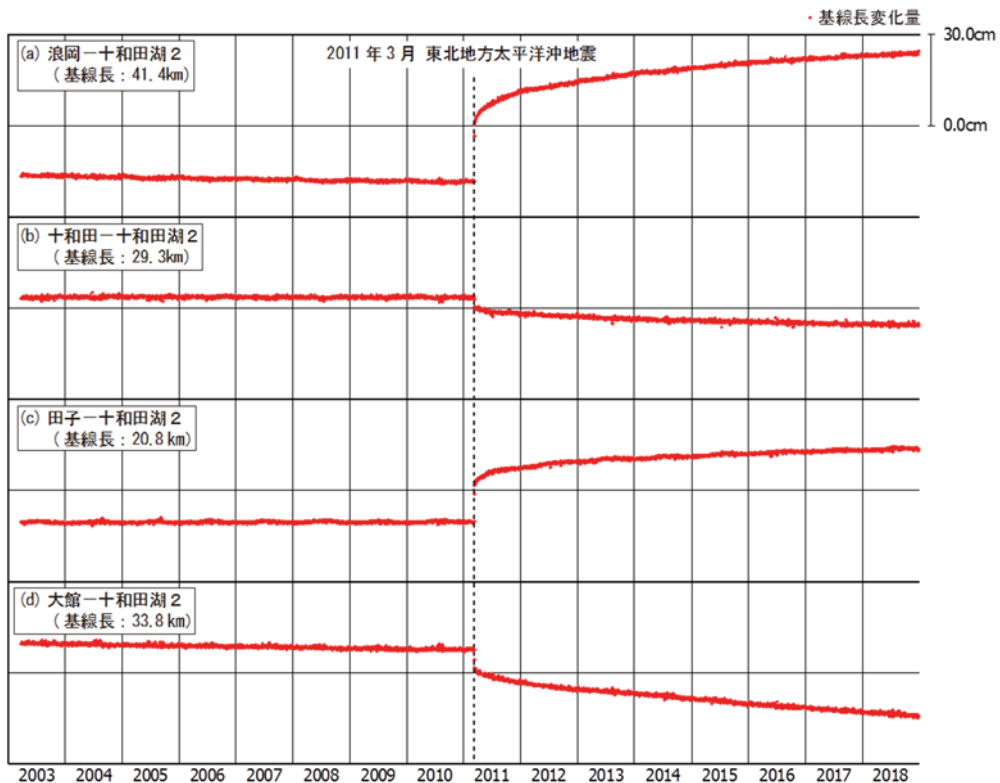


地震活動経過図及び回数積算曲線

第7図 十和田付近における地震活動

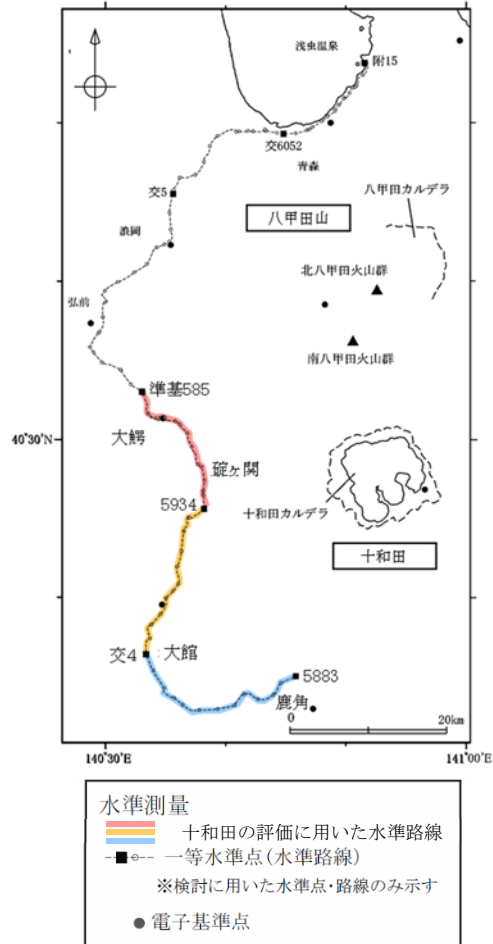


電子基準点及び基線位置図

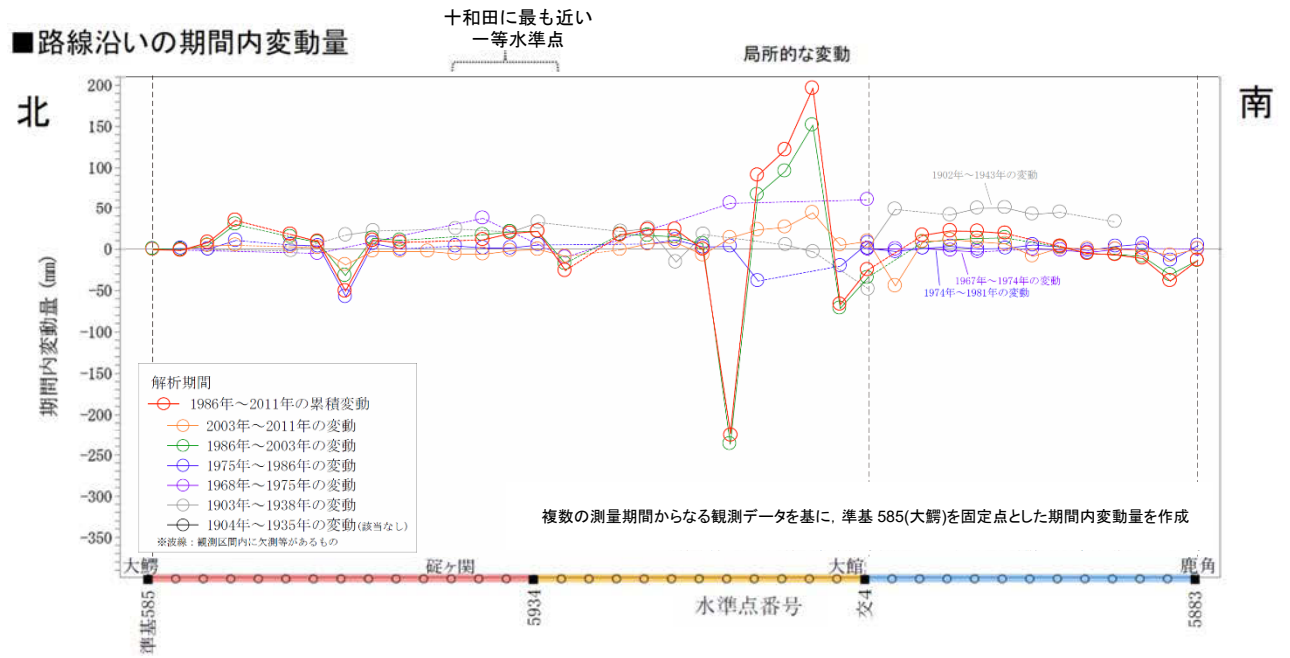


第 8 図 十和田を囲む電子基準点間の基線長の時間変化 (斜距離成分)
(国土地理院の電子基準点データより作成 (期間: 2003 年 1 月~2018 年 12 月))

■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

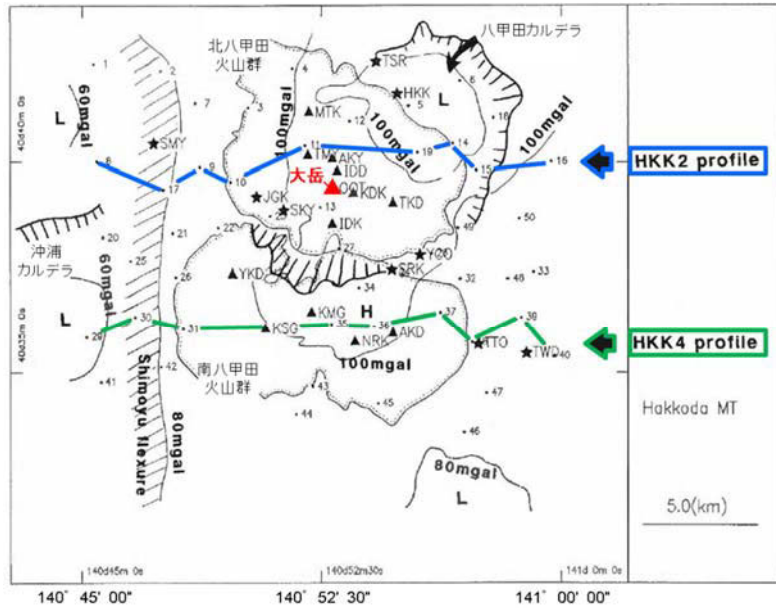
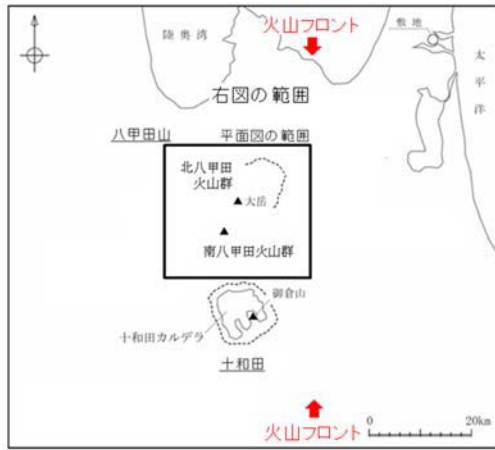
地震波速度構造について、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び低 V_p/V_s は、水の存在を示唆するとしている(第1図参照)。中島(2017)⁽³⁾によると、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾の解析結果等から、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。

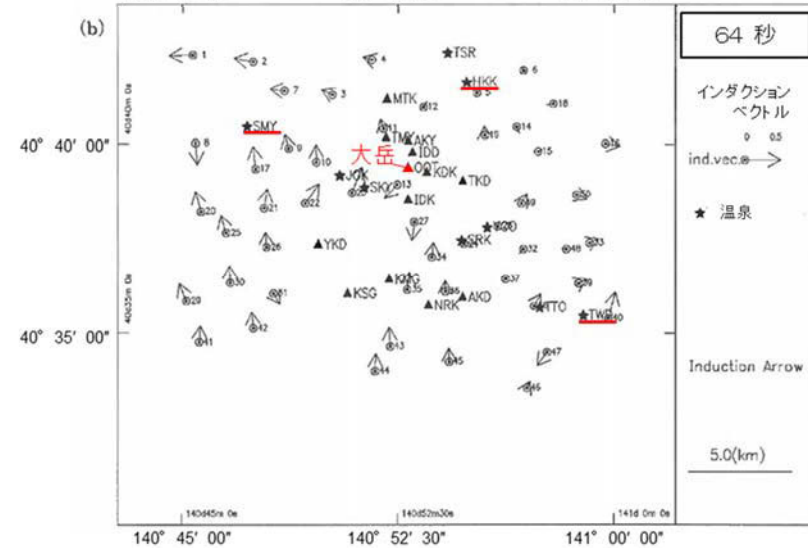
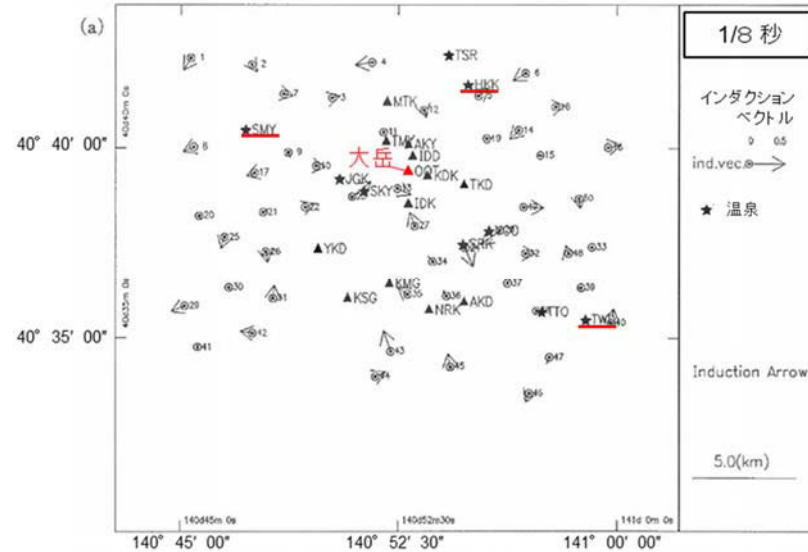
一方、比抵抗構造について、Kanda and Ogawa(2014)⁽⁵⁾によると、インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向があるとしている。小川(1991)⁽¹²⁾によると、

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。

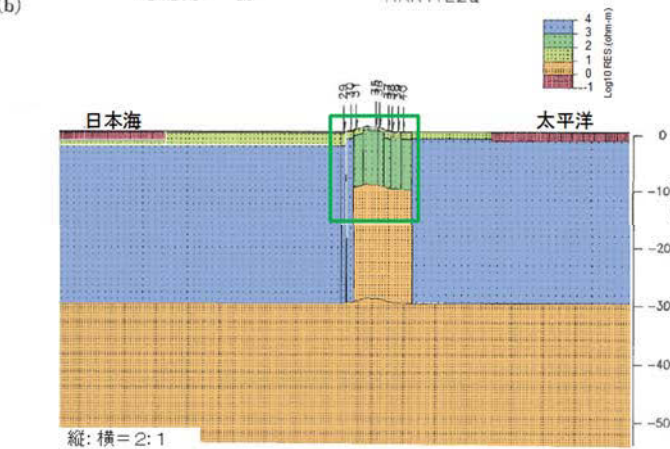
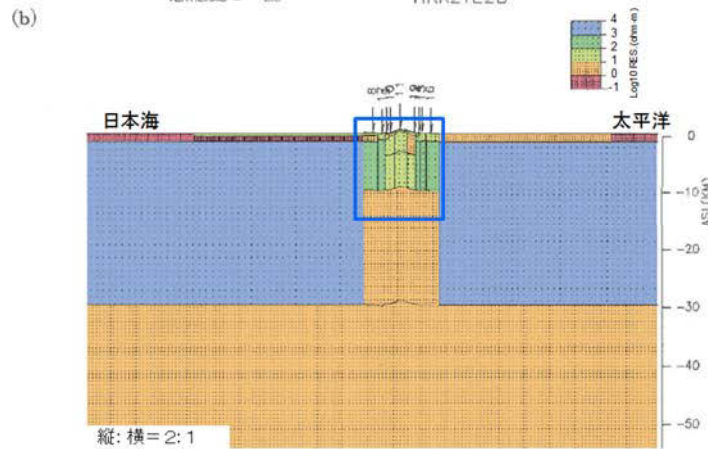
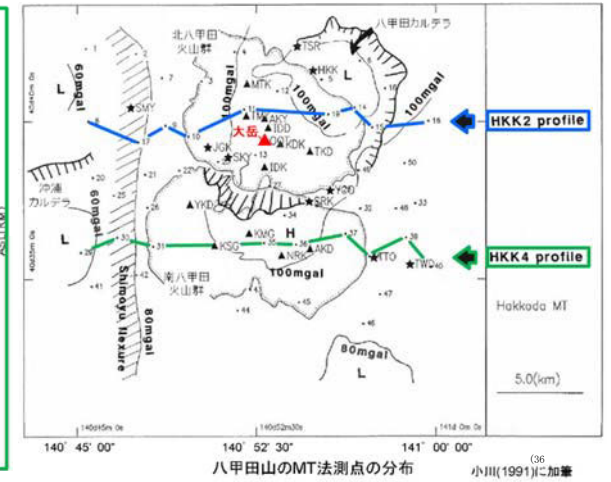
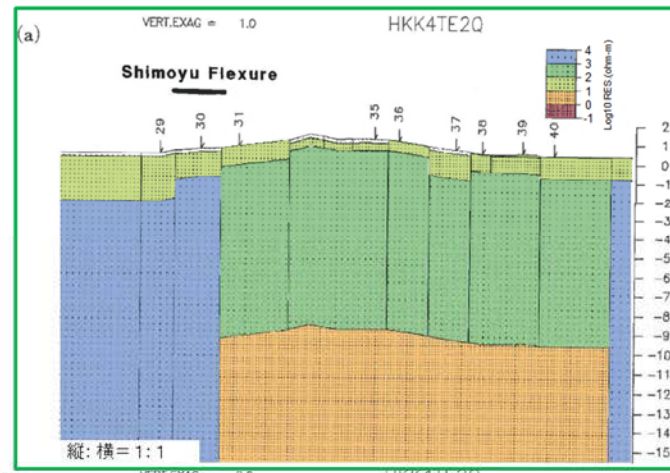
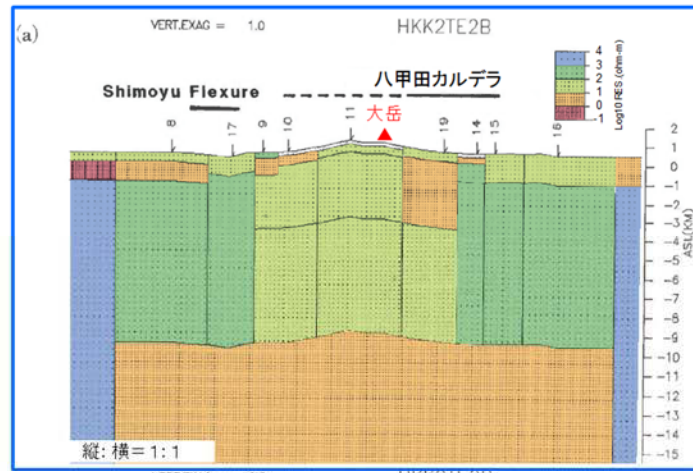
地震波速度構造及び比抵抗構造を統合的に解釈すると、八甲田山直下の上部地殻内の 10km 以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低 V_p かつ低 V_p/V_s であることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高 V_p/V_s かつ低比抵抗領域は認められない。



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)

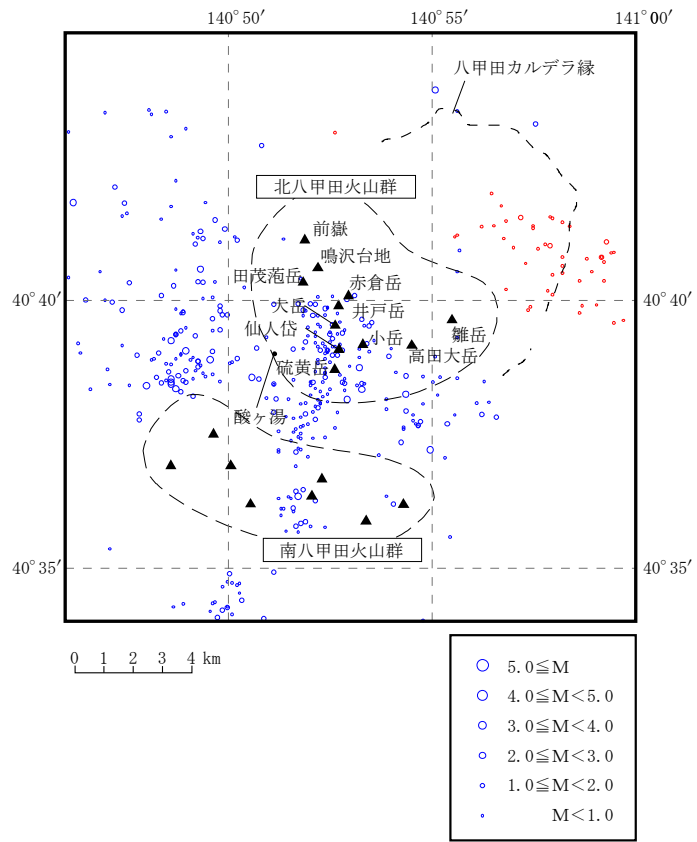
第 11 図 八甲田山の比抵抗構造 (小川(1991)⁽¹²⁾に加筆及び塗色)

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。

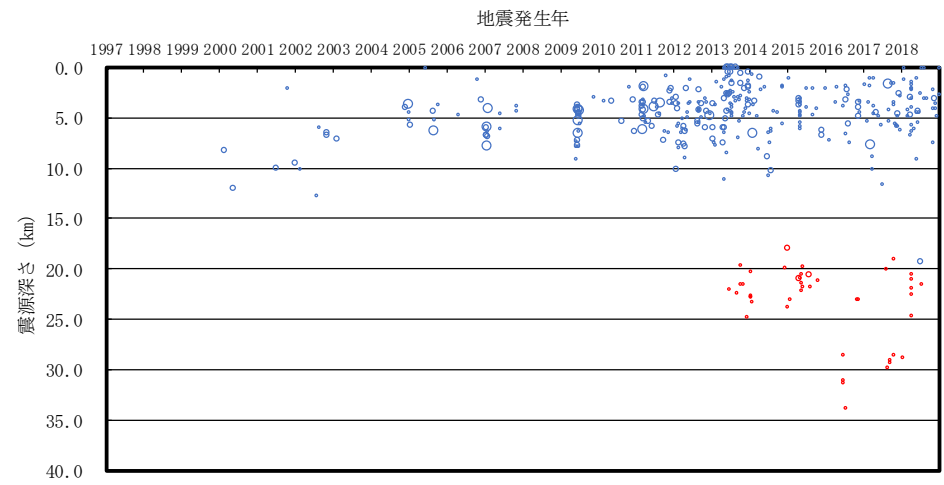
加えて、「火山の状況に関する解説情報（八甲田山第3号）令和元年10月8日16時00分」（気象庁、2019）⁽¹⁴⁾によると、2019年10月7日6時頃から始まった八甲田山周辺での地震は、2019年10月8日10時以降観測されていないとしている。加えて、低周波地震や火山性微動は観測されておらず、地殻変動に火山活動に伴う変化は認められないとしている。また、監視カメラによる観測では、地獄沼付近及び大岳周辺に特段の変化はみられず、火山活動の活発化を示す変化は認められないとしている。



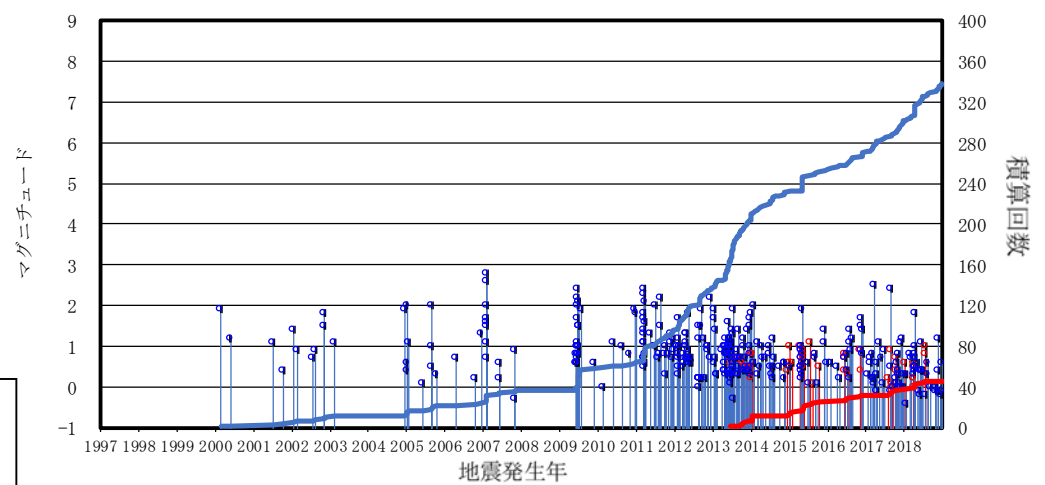
震央分布図

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。

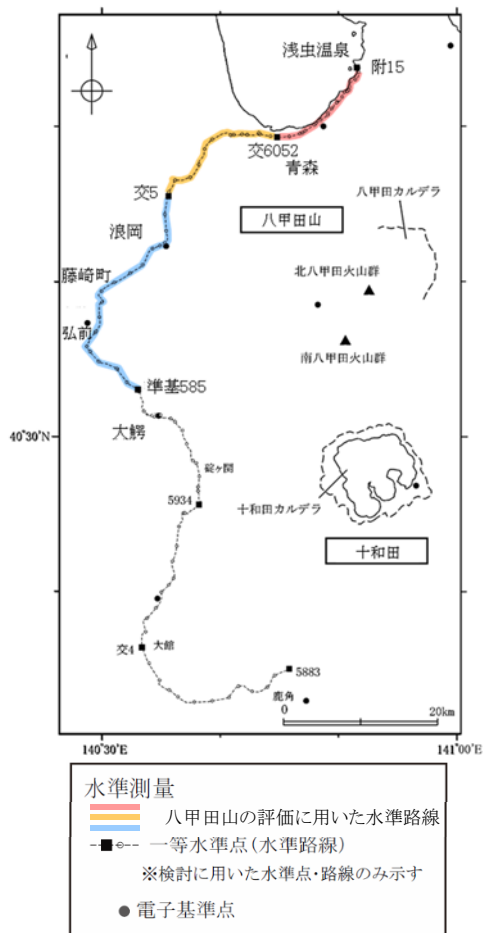
加えて、第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2015)⁽¹⁰⁾によると、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2014年9月4日と2014年10月16日)について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2019)⁽¹¹⁾において、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2015年10月8日と2018年10月18日)について、山頂の西側周辺で衛星視線方向伸長の位相変化が認められるが、気象ノイズによる可能性があるとしている。

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。

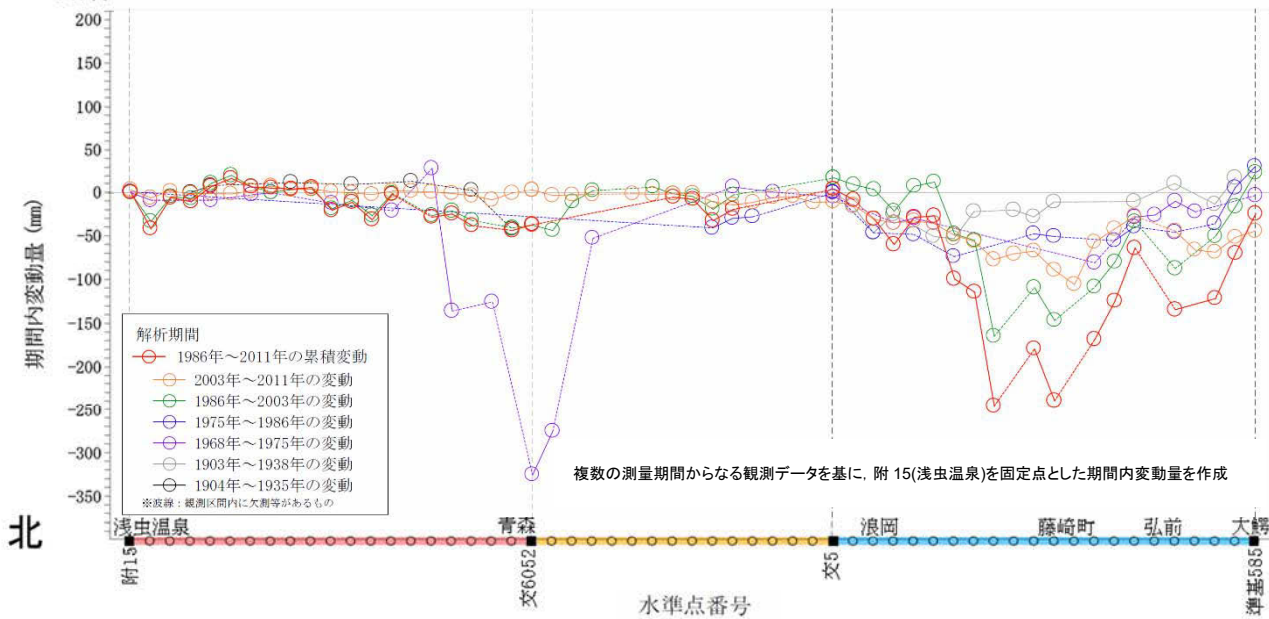
d. 地球物理学的調査の評価

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):気象庁一元化处理震源要素、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）