

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

(1号、2号及び3号廃棄物埋設施設)

2021年6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考慮する事項.....	14
(4) その他の設計.....	15
5. 廃棄物埋設地の設計.....	23
(1) 1号廃棄物埋設地.....	23
(2) 2号廃棄物埋設地.....	50
(3) 3号廃棄物埋設地.....	75
[参考] 許可基準規則への適合性説明.....	103
(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).....	103
(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).....	114
(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).....	115
(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).....	118
6. 参考文献.....	120

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、廃棄物埋設施設(以下「本施設」という。)の安全機能を「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。)」、「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(以下「移行抑制機能」という。)及び「遮蔽機能」とする。これらの安全機能を有する施設は、埋設設備(漏出防止機能、移行抑制機能及び遮蔽機能)、排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層(漏出防止機能)及び覆土(移行抑制機能及び遮蔽機能)である。

また、安全機能を維持すべき期間は、第1表に示すとおりである。廃止措置の開始後は、移行抑制機能及び遮蔽機能を期待できるように設計する。

第1表 安全機能を維持すべき期間

安全機能	廃止措置の開始前	
	放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了*1まで	覆土完了*1から廃止措置の開始まで
漏出防止機能	○	-
移行抑制機能	-	○
遮蔽機能	○	○

○：安全機能を維持する

-：考慮しない

*1：覆土完了の時点埋設の終了とする。

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、1号廃棄物埋設施設のうち埋設設備7,8群及び覆土、2号廃棄物埋設施設のうち覆土、3号廃棄物埋設施設のうち埋設設備、ポーラスコンクリート層及び覆土とする。

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

本施設は、「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。

本施設は、「消防法」、「建築基準法」等の法令、規格及び基準を踏まえ適切な対策を講じた設計とする。

また、平常時において、周辺監視区域外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が「原子炉等規制法」に基づき定められている線量限度を超えないように設計する。さらに、公衆の受ける線量については、合理的に達成できる限り低くなるように設計する。

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

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。

異常が発生した場合においても事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないように設計する。

廃止措置の開始後、廃棄物埋設地は、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しのある設計とする。

「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、廃止措置の開始後の評価において、自然事象シナリオのうち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、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シナリオであっても評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮した人為事象シナリオにおいて評価される公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないことをいう。

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

本施設で取り扱う廃棄体は、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放射性廃棄物をセメント系充填材等で金属製の容器に固型化したもので、その容器が損傷しない限り、放射性物質は漏えいすることはない。また、取り扱う廃棄体の放射能濃度が低く、個々の廃棄体に含まれる放射性物質の量は少ないが、埋設する廃棄体の数量が多いという特徴を踏まえて、安全性を確保するために、漏出防止機能、移行抑制機能及び遮蔽機能を有する設計とする。本施設は、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、安全性を確保することとする。

(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

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、埋設設備及び排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層により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、雨水及び地下水が廃棄体と接触しないよう浸入を防止する設計と、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が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計

とする。

(a) 雨水及び地下水の浸入の防止

雨水及び地下水の浸入の防止として、埋設設備内への水の浸入の防止、浸入した水の排出及び廃棄体と水の接触の防止を行う設計とする。外周仕切設備及び覆いの低透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、仮に埋設設備内に水が浸入した場合においても、ポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外に排出して回収するとともに、セメント系充填材により廃棄体と水の接触を防止する設計とする。

1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設の埋設設備においては、以下の設計とする。

(一) 外周仕切設備及び覆いがひび割れ抑制を有する設計とするとともに、防水性を有する内部防水を設置することにより、埋設設備内への水の浸入を防止する。

(二) 内部防水を設置することにより廃棄体と水の接触を防止する。

(b) 放射性物質の漏出の防止

放射性物質の漏出の防止として、埋設設備外への水の漏出防止及び放射性物質を含む水の回収を行う設計とする。外周仕切設備及び覆いの低透水性により埋設設備外への水の漏出を防止する設計とする。また、放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外へ排出して回収する設計とする。回収した水は、放射性物質の濃度が周辺監視区域外の水中の濃度限度を十分下回ることを確認して、排水口から事業所外へ放出する。

1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設の埋設設備においては、外周仕切設備及び覆いがひび割れ抑制を有する設計とするとともに、防水性を有する内部防水を設置することにより、埋設設備外への水の漏出を防止する。

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。

埋設する廃棄体は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第

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

しかし、埋設設備への定置後において、廃棄体周辺が水で満たされ液相に連続性がある状態となると、廃棄体内の放射性物質は水を媒体として溶出・移行し、廃棄物埋設地の外に漏えいすることが考えられる。このため、埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止すること並びに埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水することにより、雨水及び地下水の浸入を防止する設計と、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が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。

(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設計

埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性を有する鉄筋コンクリート製の設計とする。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。

(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設計

(ア) ポーラスコンクリート層は、浸入した水を排水できるよう、外周仕切設備及び覆いとセメント系充填材との間に設置し、廃棄体定置後から覆土完了までの間において、排水性を有する設計とする。

(イ) セメント系充填材は、浸入した水が廃棄体と接触しないよう、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。

(三) 操業中における雨水の浸入を抑制する設計

(ア) 廃棄体定置後から埋設設備の覆いが完成するまでの間において、埋設設備の区画上部にコンクリート仮蓋を設置し、開口部から埋設設備内部

に雨水が浸入することを抑制する。

- (イ) 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。

(四) 1号廃棄物埋設施設の埋設設備 7, 8 群及び 3号廃棄物埋設施設の埋設設備の設計

- (ア) 埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止するため、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、底版部及び側壁の立上げ部の内側に防水性を有する内部防水を設置する。

- (イ) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水するため、外周仕切設備及び覆いの内側の、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防水性を有する内部防水を設置する。

(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設計

埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性を有する鉄筋コンクリート製の設計とする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により集水し、埋設設備外へ排出して回収する設計とする。

(二) 1号廃棄物埋設施設の埋設設備 7, 8 群及び 3号廃棄物埋設施設の埋設設備の設計

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、底版部及び側壁の立上げ部の内側に防水性を有する内部防水を設置する。

(c) その他の設計

- (一) 点検路(1号及び2号廃棄物埋設施設)及び点検管(3号廃棄物埋設施設)は、ポーラスコンクリート層により排水された水を作業員が回収する作業

空間が確保できる設計とする。

(二) 漏出防止機能を有するコンクリート構造物に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。2020年度時点での最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(三) 液体廃棄物を内蔵する機器等は、漏えいし難い構造とするとともに、万一の漏えいに備え、外部への漏出拡大防止を考慮した設計とする。

(ii) 移行抑制機能

a. 設計方針

移行抑制機能は、埋設設備及び覆土により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、地下水の浸入を抑制する機能及び放射性物質を収着する機能を有する設計とし、その機能の一つに過度に依存しない設計とする。

埋設設備内への地下水の浸入を抑制する機能として、低透水性を有する土質系材料の難透水性覆土及び下部覆土を埋設設備の上面及び側面に設置することにより埋設設備内に流入する地下水の量を抑制する設計とする。

放射性物質を収着する機能として、埋設設備及び覆土にそれぞれ収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。

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

これらにより、覆土完了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よる公衆の受ける線量が、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公衆の受ける線量並びに周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。また、廃止措置の開始後において、埋設した廃棄体に起因して発生することが想定される放射性物質によって公衆の受ける線量が、「許可基準規則」を満たす設計とし、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できる見通しのある設計とする。

b. 安全設計

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、地下水の浸入を抑制する機能及び放射性物質を収着する機能を有する設計とし、その機能の一つに過度に依存しない設計とする。

埋設設備内への地下水の浸入を抑制する機能として、低透水性を有する土質系材料の難透水性覆土及び下部覆土を埋設設備の上面及び側面に設置することにより埋設設備内に流入する地下水の量を抑制する設計とする。

放射性物質を収着する機能として、埋設設備及び覆土にそれぞれ収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とする。

廃棄物埋設地は、以下に示す設計を行うことにより、覆土完了から廃止措置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よる公衆の受ける線量が、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公衆の受ける線量並びに周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。

また、廃止措置の開始後において、埋設した廃棄体に起因して発生することが想定される放射性物質によって公衆の受ける線量が、「許可基準規則」を満たす設計とし、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できる見通しである設計とする。

(a) 覆土

(一) 難透水性覆土及び下部覆土は、低透水性を有する設計とする。

(二) 覆土は、収着性を有する土質系材料を用いる設計とする。

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

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

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

(五) 覆土は、劣化・損傷が生じた場合にも必要な移行抑制機能を有する構

成・仕様とするため、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土を十分な厚さで多層化する。

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

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

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

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

(九) 移行抑制機能を有する覆土に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等に基づくほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認し、現状入手できる材料を用いる。2020 年度時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾を参照する。

(b) 埋設設備

(一) 埋設設備は、収着性を有するセメント系材料を用いる設計とする。

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

(三) コンクリート製の埋設設備に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として最新の知見を確認する。2020 年度時点での最新の知見としては、「コ

ンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(c) 移行抑制機能は、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機能

	部材	地下水の浸入を抑制する機能 (低透水性)	放射性物質を収着する機能 (収着性)	
人工バリア	埋設設備	—	○	
	覆土	難透水性覆土	○	
		下部覆土	○	—*1
		上部覆土	—	○
天然バリア	岩盤(鷹架層)	○	○	

○：期待する

—：期待しない

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

(iii) 放射線の遮蔽機能

a. 設計方針

遮蔽機能は、廃棄体の表面線量当量率、位置等を考慮し、埋設設備及び覆土により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濃縮・埋設事業所(以下「事業所」という。)内の人が立ち入る場所に滞在する者の線量が、「線量告示」で定められた線量限度を超えないことはもとより、As Low As Reasonably Achievable (ALARA)の考えの下、合理的に達成できる限り低くできる設計とする。

放射線の遮蔽に関する構造は、廃棄物埋設地のうち埋設設備及び覆土により

構成し、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による放射線被ばくから敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに事業所内の人が立ち入る場所に滞在する者を防護する。埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間においては、放射線の減衰効果のあるコンクリート製の埋設設備により放射線の遮蔽を行い、外周仕切設備の上部にコンクリート仮蓋又は覆いを設置する。覆土完了から廃止措置の開始までの間においては埋設設備及びその上面及び側面の覆土により、放射線の遮蔽を行う。

平常時における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公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行による公衆の受ける線量及び周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。

b. 安全設計

(a) 放射線防護

(一) 本施設は、放射線業務従事者が受ける線量が「線量告示」で定められた線量限度を超えないことはもとより、不必要な放射線を受けることを防止するため、適切な放射線遮蔽設計を行う。

平常時における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公衆の受ける線量が、廃棄物埋設地からの放射性物質の移行による公衆の受ける線量及び周辺環境に対して放出される放射性物質による公衆の受ける線量を含め、実効線量で $50 \mu\text{Sv/y}$ 以下となる設計とする。

(二) 本施設は、埋設設備、覆土及び管理建屋に放射線遮蔽を考慮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り人の居住の可能性のある敷地外の公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低くできるように設計する。

放射線の遮蔽に関する構造は、廃棄物埋設地のうち埋設設備及び覆土により構成し、直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による放射線被ばくから敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに事業所内の人が立ち入る場所に滞在する者を防護する。

埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間においては、放射線の減衰効果のあるコンクリート製の埋設設備により放射線の遮

蔽を行い、外周仕切設備の上部にコンクリート仮蓋又は覆いを設置する。
覆土完了から廃止措置の開始までの間においては埋設設備及びその上面及び側面の覆土により、放射線の遮蔽を行う。

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考慮する事項

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

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

- ・劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること。

- ・劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること。

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

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

本施設は、設計、製作、建設及び試験検査を通じて信頼性のあるものとする。本施設の設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当たっては、本施設の安全機能を確保するため原則として国内法規に基づく規格及び基準に準拠する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにし、本施設の安全機能に問題がないことを確認する。

(4) その他の設計

(i) 廃棄物埋設地に関する設計の留意事項

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

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

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

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

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

廃棄物埋設地の設計は、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とし、既存の設計・施工実績を考慮する。

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

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

(a) 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間

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

(一) 合理的な建設・施工技術

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

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

コンクリート構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認し、施工の実現性及び品質を確保する。2020年度時点での最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

また、安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

・漏出防止機能は、雨水及び地下水の浸入の防止並びに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し、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(1号廃棄物埋設施設の埋設設備 7,8 群及び 3 号廃棄物埋設施設の埋設設備)、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(1号廃棄物埋設施設の埋設設備 7,8 群及び 3 号廃棄物埋設施設の埋設設備)並びに排水性としてポーラスコンクリート層の設置を考慮した設計と

すること。

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

(b) 覆土完了後

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

(一) 合理的な建設・施工技術

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

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

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。2020年度時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニュアル」⁽⁴⁾を参照とする。また、一般土工で用いられる重機を使用し、適切な品質管理を行うことで、目標の透水係数を有する覆土を施工できることを確認している。

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

安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

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

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

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備は、漏出防止機能を確保する期間に対して、劣化・損傷に対する抵抗性を有するよう鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。また、劣化抵抗性を有していることを「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽¹⁾に基づく耐久性照査によって確認する。対象項目は、設計条件及び立地条件を考慮し、耐久性に影響があると考えられる中性化、塩害及び凍害とする。

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

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

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

(b) 覆土

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

難透水性覆土及び下部覆土は、容易な露呈を防止する観点から安定した地盤を掘り下げて設置する設計とする。

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

これらにより、覆土は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

c. 劣化・損傷が生じた場合にも当該機能が維持できる構造・仕様であること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

埋設設備及び排水・監視設備は、廃棄体と水が接触することを防止するために、外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、セメント系充填材並びに内部防水(1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設

設の埋設設備)で多様化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様とする。

(b) 覆土

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

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

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

d. 放射性物質の漏出を低減する機能を有すること

(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。

この経路は、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、排水口から放出する液体廃棄物中の放射性物質が移行する尾駁沼の水産物の摂取による内部被ばくであり、食生活が標準的である人で、尾駁沼の水産物を摂取する人を対象とする。

(二) 線量評価モデル

廃棄物埋設地からの移行に関する評価対象とする線量評価モデルは、廃棄物埋設地から漏出する放射性物質が、廃棄物埋設地を通過する地下水に

より、沢を経て尾駸沼に流入するものとして設定する。この沼の水産物を摂取する場合の内部被ばくの評価は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）」の(1)式から(6)式及び(9)式を用いて計算する。

(三) 線量評価パラメータ

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

なお、覆土完了直後の放射エネルギーは、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価） 補足説明資料 9 線量評価パラメータ -パラメータ根拠集-」の第1表の値とし、覆土完了後の時間の経過による放射性物質の減衰を考慮する。その他の線量評価パラメータは同資料の第2表から第7表の値を用いる。

(c) 評価結果

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

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

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

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

10条第4項)」に示す。

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

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

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

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

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

(ii) 準拠規格及び基準等

本施設は、設計、製作、建設及び試験検査を通じて信頼性のあるものとする。本施設の設計、材料の選定、建設・施工及び検査に当たっては、本施設の安全機能を確保するため原則として国内法規に基づく規格及び基準に準拠する。ただし、外国の規格及び基準による場合又は規格及び基準で一般的でないものを適用する場合には、それらの規格及び基準の適用の根拠、国内法規に基づく規格及び基準との対比並びに適用の妥当性を明らかにし、本施設の安全機能に問題がないことを確認する。

本施設の設計等は、必要に応じて以下の法令、規格、基準等に準拠する。

- ・ 建築基準法
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 消防法
- ・ 電気事業法
- ・ 日本産業規格 (JIS)
- ・ 日本電機工業会規格 (JEM)
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会)
- ・ 建築基礎構造設計指針 (日本建築学会)
- ・ 建築工事標準仕様書・同解説 (日本建築学会)
- ・ 建築設備耐震設計・施工指針 (日本建築センター)
- ・ コンクリート標準示方書 (土木学会)
- ・ 道路橋示方書・同解説 (日本道路協会)

5. 廃棄物埋設地の設計

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) 1号廃棄物埋設地

(i) 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、敷地のほぼ中央北寄りに位置し、廃棄体最大 40,960m³(200L ドラム缶 204,800 本相当)を埋設する。

埋設設備は、1基当たり廃棄体約 1,024m³(200L ドラム缶 5,120 本相当)を埋設する埋設設備 5基を1埋設設備群とする埋設設備群 8群で構成し、東西方向に5基、南北方向に8基配置する。

埋設設備は、現造成面(標高約 45m~46m)基準から約 14m~19m掘り下げて、標高約 26m~32mとなるように構造物を安定的に支持できる N値 50以上の岩盤(鷹架層)に設置する。

(ii) 主要設備

a. 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(埋設設備 7,8群に設置)により構成する。

外周仕切設備及び覆いの低透水性、セメント系充填材の充填性により放射性物質の漏出を防止する。埋設設備 7,8群は、外周仕切設備及び覆いのひび割れ抑制及び内部防水の防水性によっても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。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

埋設設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(7) 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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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(低透水性及び充填性)であり、その設計項目は水結合材比、スランプフロー及びブリーディングである。埋設設備7,8群に対しては、技術要件として透水特性(ひび割れ抑制及び防水性)、設計項目として断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、鉄筋量、遮水性及びひび割れ追従性を含む。

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

(1) 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。

(ウ) 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事業所内の人が立ち入る場所に滞在する者の受ける線量(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、その設計項目は密度及び部材寸法(厚さ)である。

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

(二) 設計要件

設計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 *5	設計要件		
	技術要件 (必要な特性)	設計項目										
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*5	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*5	遮水性	—	—	—	—	—	—	○	水の浸入及び漏出を防止すること。	
	ひび割れ追従性		—	—	—	—	—	—	○	コンクリートのひび割れに追従すること。		
	漏出防止機能 を確保する ための要求 機能	力学特性	力学的 安定性	圧縮強度	○	○	○*2	○	○	—	—	必要な構造強度を有すること。
鉄筋強度				○	○	○*2	—	○	—	—	必要な構造強度を有すること。	
耐久性		鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。		
		材料配合	○	○	—	—	○	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。		
移行抑制機能	核種 収着性	収着性	—	—	—	—	—	—	—	設計項目を設定しない(評価において、埋設設備自体が副次的にもつ性能として設定するものとする。)*4		
遮蔽機能	放射線の 遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	○	○	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。	
			部材寸法 (厚さ)	○	○	○	○	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。	
	遮蔽機能を 確保するた めの要求機 能	力学特性	力学的 安定性	圧縮強度	○	○	○	○	○	—	—	必要な構造強度を有すること。
				鉄筋強度	○	○	○	—	○	○	—	—
		耐久性	鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。
			材料配合	○	○	—	—	○	—	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。

*1：防水シート等の併用により区画内に水を浸入させないよう考慮する。

*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間の厚さを確保するための力学的安定性を確保する。

*3：充填性を確保した上でひび割れ抑制の観点についても考慮する。

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

*5：埋設設備7,8群。

(c) 構造及び仕様

埋設設備の外形寸法は、約 24.4m(幅)×約 24.4m(奥行き)×約 6.2m～6.3m(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 4 行 4 列の 16 区画とする。

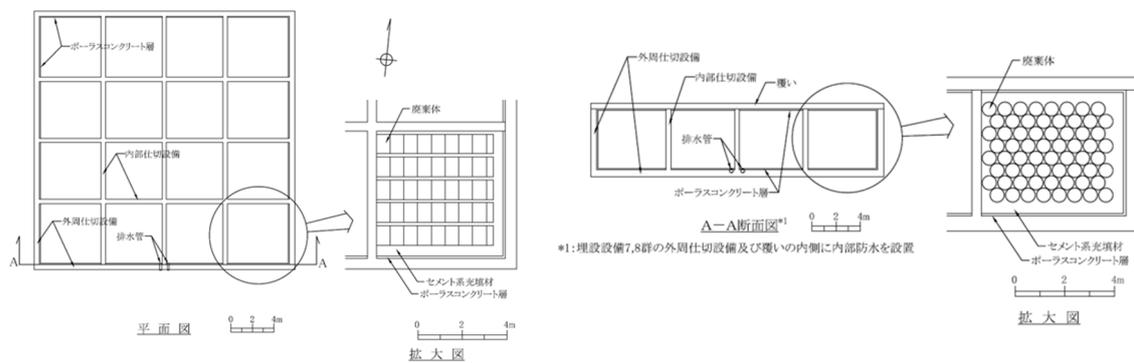
*1：小数点第一位までの記載とし、「約」と記載する。

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、8 段積みで廃棄体を定置する。廃棄体の定置後は、有害な空隙が残らないようにセメント系充填材を充填する。

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

埋設設備の平面図及び断面図を第 1 図に示す。

埋設設備の主要な部位と主な仕様を第 4 表に示す。



第 1 図 埋設設備の平面図及び断面図

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 ^{*2} 厚さ：約50cm(側壁)、約60cm(底版) 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40cm 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40cm 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 ^{*2} 厚さ：約50cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	コンクリート仮蓋	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.0N/mm ² 以上 厚さ：約60cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	内部防水 ^{*2}	防水性を有する材料を設置

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

*2：埋設設備7,8群。

以下に、各部位の仕様を記載する。

(一) 外周仕切設備

(ア) 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、側壁の厚さは約 50 cm (許容誤差を含む)、底版の厚さは約 60 cm (許容誤差を含む)とする。

(イ) 設計方針

外周仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 透水特性

コンクリートの低透水性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)」⁽²⁾に基づき、水結合材比を 55%以下とする。

埋設設備 7, 8 群については、ひび割れの抑制に配慮した設計とする。最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

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

② 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。

③ 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(二) 内部仕切設備

(ア) 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。

(イ) 設計方針

内部仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(三) 廃棄体支持架台

(ア) 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。

(イ) 設計方針

廃棄体支持架台は、セメント系充填材と一体となって漏出防止機能及び遮蔽機能を達成する。ポーラスコンクリート層と廃棄体の間のセメント系充填材が厚さ約 40cm(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。

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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。

(四) セメント系充填材

(ア) 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 40cm(許容誤差を含む)とする。

(イ) 設計方針

セメント系充填材に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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に充填するため、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。

② 遮蔽性能

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

③ 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。

(五) 覆い及びコンクリート仮蓋

(ア) 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 50cm (許容誤差を含む) とする。

また、廃棄体の定置開始から覆い施工開始までの間において、作業時を除き、区画の開口部にコンクリート仮蓋を設置する。その厚さは約 60cm (許容誤差を含む) とする。

(イ) 設計方針

覆いに求める安全機能は、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、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。

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆いは、コンクリートの低透水性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)」⁽²⁾に基づいて、水結合材比を 55% 以下とする。

埋設設備 7,8 群については、ひび割れ抑制に配慮した設計とする。最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

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

なお、コンクリート仮蓋は、区画内に雨水を浸入させないよう考慮する。

② 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。

③ 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。

覆いは、耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽¹⁾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。

(六) 内部防水

(ア) 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埋設設備 7, 8 群に内部防水を設置する。

内部防水については、以下の観点から設計する。

① 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。

② 外周仕切設備底版部及び側壁部の立上げ部

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。

(1) 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設置する。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上げ部に内部防水を設置する。

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

内部防水の設置位置概要図を第2図に示す。



注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 内部防水の設置位置概要図

(d) 既設設備の扱い

1号埋設設備1群から6群は、覆い設置から難透水性覆土施工までの間においては、水の浸入が有意に認められる埋設設備に対し、廃棄体への水の接触をより低減させるため、覆い上面から浸入した水が廃棄体に接触することを防止する対策を行う。

b. 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、排水管及び点検路により構成する。

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

点検路は、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	点検路	設計要件
	技術要件 (必要な特性)		設計項目				
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	○	—	○	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。
		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る。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

排水・監視設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(ア) 漏出防止機能

排水・監視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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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設計及び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、その設計項目は排水能力である。排水能力を期待する部位は、ポーラスコンクリート層であり、透水係数、通水断面積及び勾配により排水能力を算定する。

また、排水・監視設備は、漏出防止機能を確保する上で、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重並びに静的地震力に対する健全性を要求することから、技術要件として力学特性(力学的安定性及び耐久性)を考慮する。漏出防止機能の要求期間が一般的なコンクリート構造物の設計耐用期間と同程度であることから、現状の土木建築分野における構造設計及び耐久設計の方法が適用可能である。したがって、その設計項目は圧縮強度、鉄筋強度、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、その設計項目は内空寸法であり、それを期待する部位は点検路である。

(イ) 設計要件

設計項目である排水能力、圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋かぶり、排水管

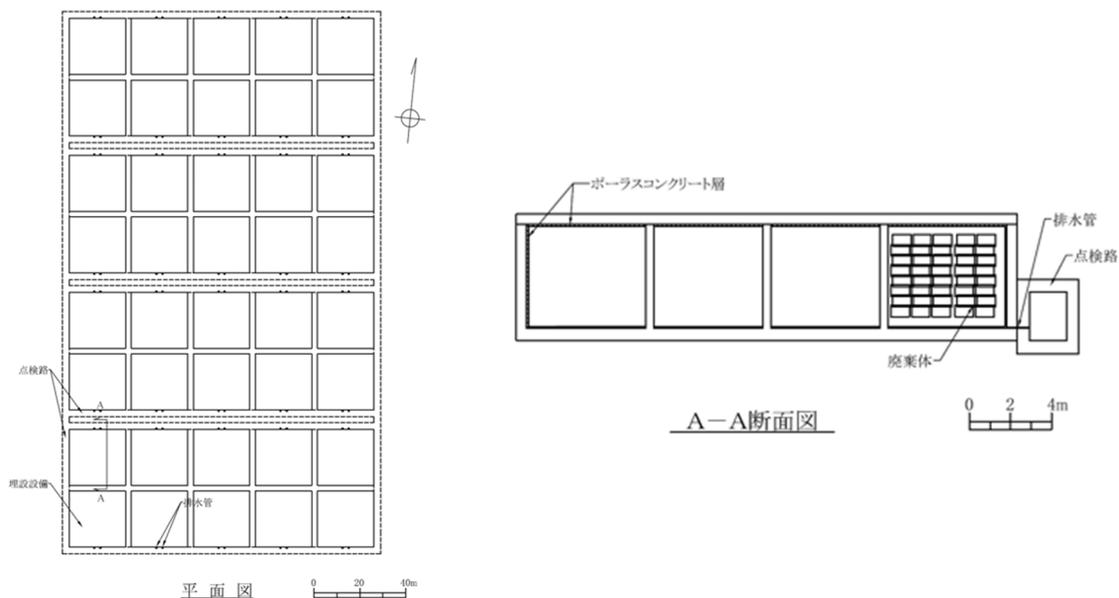
の腐食抵抗及び内空寸法については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

(c) 構造及び仕様

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

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・監視設備の平面図及び断面図

第6表 排水・監視設備の主要な部位と主な仕様

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

*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。

(一) ポーラスコンクリート層

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

ポーラスコンクリート層に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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1.0×10⁻³m/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。

② 力学特性

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

(二) 排水管

(ア) 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。

(イ) 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。

(ウ) 仕様

① 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。

(三) 点検路

(ア) 概要

点検路は、鉄筋コンクリート製であり、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する。

(イ) 設計方針

点検路は、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路の埋戻しを行う。また、点検路のうち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。

(ウ) 仕様

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/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)」⁽¹⁾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。

c. 覆土

(a) 構成及び安全機能

覆土は、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土により構成する。

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

なお、評価において収着性による移行抑制機能を期待できる設計とする。

(b) 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

覆土の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第 7 表に示す。

(一) 技術要件及び設計項目

土構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「道路橋示方書・同解説」、「道路土工要綱」、「河川土工マニュアル」等の基準類に従う。

覆土の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(ア) 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。

(イ) 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、その設計項目は密度及び厚さである。

(二) 設計要件

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

*1：影響要因及び影響機構を第8表に整理している。

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

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

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

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

第8表 長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構

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

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

(c) 構造及び仕様

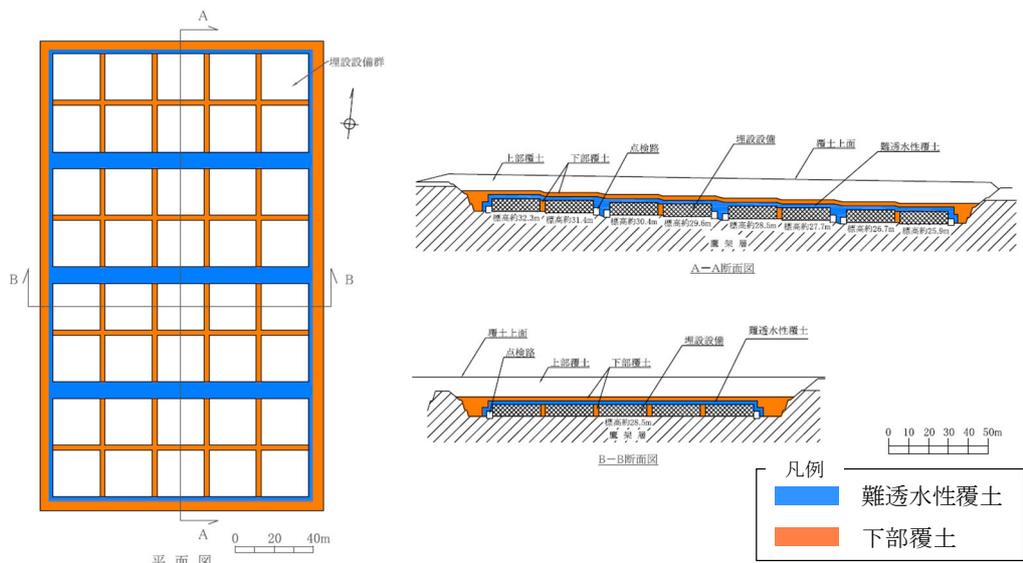
難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、下部覆土の上部に設置する。

埋設設備間狭隘部とは、具体的には埋設設備の東西方向の間及び埋設設備間の幅 2.5m 以下の南北方向の間を示す。

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

覆土の断面図を第 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 覆土の断面図

第9表 覆土の主要な部位及び主な仕様

設備	主要な部位	主な仕様
覆土	難透水性覆土	材料：ベントナイト混合土 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	下部覆土	材料：現地発生土に必要な応じてベントナイト、砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	上部覆土	材料：現地発生土に必要な応じて砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：廃棄物埋設地周辺の第四紀層の透水係数と同程度 厚さ：難透水性覆土及び下部覆土とあわせて埋設設備上面から6m以上

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

以下に各部位の仕様を示す。

(一) 難透水性覆土

(ア) 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。

(イ) 設計方針

難透水性覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

があるものとする。

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $1.1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

難透水性覆土は、化学的影響の要因である物質の供給源となるセメント系材料と隣接している。難透水性覆土の透水係数は、長期的に性能低下が生じることを想定し、施工時点において、巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下を確保する。また、埋設設備に内包される金属の腐食膨張及び廃棄体に内包される可溶性塩の溶出による陥没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。

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

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

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を

行う。

(一) 下部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

下部覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $1.1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

下部覆土の透水係数は、難透水性覆土によってセメント系材料起源の成分による化学的変質の影響が遅延・緩衝されることから、施工時点において、巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 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。

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

化学的影響により覆土が変質した場合においても、長期的に低透

水性を維持でき、化学的安定性の高いと考えられる天然の土質系材料を使用する。

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(三) 上部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 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 程度) を目安に施工し、上面は尾駁沼に向かって適切な排水勾配を設ける。

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

(ウ) 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 6m 以上の厚さとする。

(d) 1号覆土の期間について

1号の覆土については、1群から6群の埋設設備に対して、順次覆土を行

う。なお、6群の覆土は7群の作業が終了次第、行う。7,8群の覆土は、8群の作業が終了次第、行う。詳細については添付資料5「1号及び2号廃棄物埋設地の覆土について」に示す。

(2) 2号廃棄物埋設地

(i) 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号廃棄物埋設地の西側に位置し、廃棄体最大41,472m³(200Lドラム缶207,360本相当)を埋設する。

埋設設備は、1基当たり廃棄体約2,592m³(200Lドラム缶12,960本相当)を埋設する埋設設備2基を1埋設設備群とする埋設設備群8群で構成し、東西方向に4基、南北方向に4基配置する。

埋設設備は、現造成面(標高約52m)基準から約16m～21m掘り下げて、標高約31m～36mとなるように構造物を安定的に支持できるN値50以上の岩盤(鷹架層)に設置する。

(ii) 主要設備

a. 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、覆い及びコンクリート仮蓋により構成する。

外周仕切設備及び覆いの低透水性及びセメント系充填材の充填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10表に示す。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

埋設設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(ア) 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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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(低透水性及び充填性)であり、その設計項目は水結合材比、スランプフロー及びブリーディングである。

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

(イ) 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。

(ウ) 遮蔽機能

埋設設備の遮蔽機能は、公衆等の受ける線量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、その設計項目は密度及び部材寸法(厚さ)である。

また、埋設設備は、遮蔽機能を確保する上で、常時作用している荷重

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

(二) 設計要件

設計項目である水結合材比、スランプフロー、ブリーディング、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10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	設計要件		
	技術要件 (必要な特性)	設計項目									
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)。	
		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。	
	漏出防止機能 を確保する ための要求 機能	力学特性	力学的 安定性	圧縮強度	○	○	○*2	○	○	—	必要な構造強度を有すること。
				鉄筋強度	○	○	○*2	—	○	—	必要な構造強度を有すること。
		耐久性	鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。
			材料配合	○	○	—	—	○	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。
	移行抑制機能	核種 収着性	収着性	—	—	—	—	—	—	設計項目を設定しない(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。)*3	
遮蔽機能	放射線の 遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	○	○	○	○	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。	
			部材寸法 (厚さ)	○	○	○	○	○	○	○	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
	遮蔽機能を 確保するた めの要求機 能	力学特性	力学的 安定性	圧縮強度	○	○	○	○	○	○	必要な構造強度を有すること。
				鉄筋強度	○	○	○	—	○	○	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。

*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間の厚さを確保するための力学的安定性を確保する。

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

(c) 構造及び仕様

埋設設備の外形寸法は、約 36.0m(幅)×約 36.9m(奥行き)×約 6.9m(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 6 列の 36 区画とする。

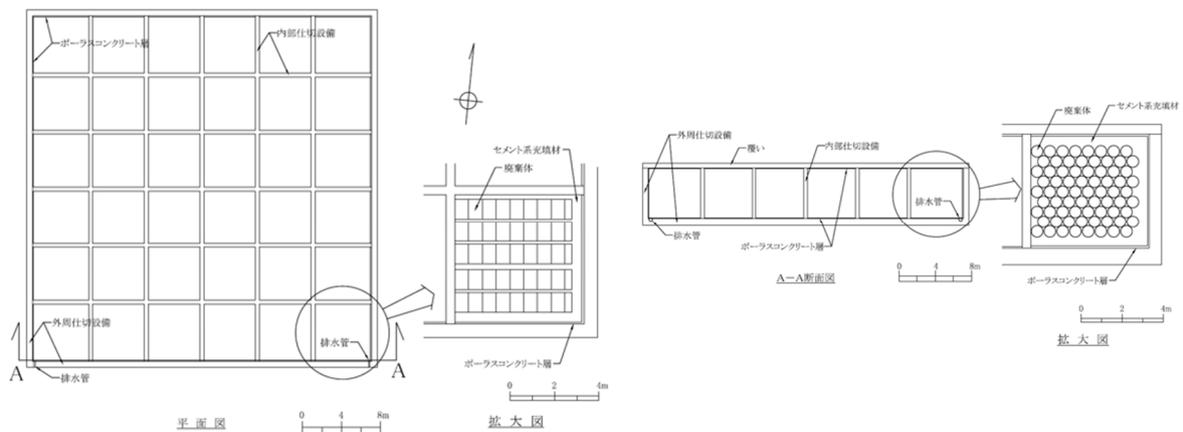
*1：小数点第一位までの記載都市、「約」と記載する。

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、9 段積みで廃棄体を定置する。廃棄体の定置後は、有害な空隙が残らないようにセメント系充填材を充填する。

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

埋設設備の平面図及び断面図を第 5 図に示す。

埋設設備の主要な部位と主な仕様を第 11 表に示す。



第 5 図 埋設設備の平面図及び断面図

第 11 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 厚さ：約 60cm(側壁)、約 80cm(底版) 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 40cm 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 40cm 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 厚さ：約 50cm 密度：2,100kg/m ³ 以上
	コンクリート仮蓋	材料：鉄筋コンクリート コンクリートの設計基準強度：24.0N/mm ² 以上 厚さ：約 50cm 密度：2,100kg/m ³ 以上

*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。

(一) 外周仕切設備

(ア) 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、側壁の厚さは約 60cm(許容誤差を含む)、底版の厚さは約 80cm(許容誤差を含む)とする。

(イ) 設計方針

外周仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 透水特性

コンクリートの低透水性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)」⁽²⁾に基づき、水結合材比を 55%以下とする。

② 遮蔽性能

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

③ 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(二) 内部仕切設備

(ア) 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。

(イ) 設計方針

内部仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(三) 廃棄体支持架台

(ア) 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。

(イ) 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との間のセメント系充填材が厚さ約 40cm (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。

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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。

(四) セメント系充填材

(ア) 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 40cm(許容誤差を含む)とする。

(イ) 設計方針

セメント系充填材に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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に充填するため、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。

② 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。

③ 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/mm² 以上とする。

(五) 覆い及びコンクリート仮蓋

(ア) 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 50cm(許容誤差を含む)とする。

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

(イ) 設計方針

覆いに求める安全機能は、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、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。

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆いは、コンクリートの低透水性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)」⁽²⁾に基づいて、水結合材比を 55%以下とする。

なお、コンクリート仮蓋は、区画内に雨水を浸入させないよう考慮する。

② 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。

③ 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。

覆いは、耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

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

(d) 既設設備の扱い

既設の 2 号埋設設備は、覆い設置から難透水性覆土施工までの間においては、水の浸入が有意に認められる埋設設備に対し、廃棄体への水の接触をより低減させるため、覆い上面から浸入した水が廃棄体に接触することを防止する対策を行う。

b. 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、排水管及び点検路により構成する。

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

点検路は、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 12 表に示す。

第 12 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	点検路	設計要件
	技術要件 (必要な特性)		設計項目				
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	○	—	○	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。
		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る。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

排水・監視設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(ア) 漏出防止機能

排水・監視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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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設計及び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、その設計項目は排水能力である。排水能力を期待する部位は、ポーラスコンクリート層であり、透水係数、通水断面積及び勾配により排水能力を算定する。

また、排水・監視設備は、漏出防止機能を確保する上で、常時作用している荷重及び操業中に作用する荷重並びに静的地震力に対する健全性を要求することから、技術要件として力学特性(力学的安定性及び耐久性)を考慮する。漏出防止機能の要求期間が一般的なコンクリート構造物の設計耐用期間と同程度であることから、現状の土木建築分野における構造設計及び耐久設計の方法が適用可能である。したがって、その設計項目は圧縮強度、鉄筋強度、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、その設計項目は内空寸法であり、それを期待する部位は点検路である。

(二) 設計要件

設計項目である排水能力、圧縮強度、鉄筋強度、鉄筋かぶり、排水管の

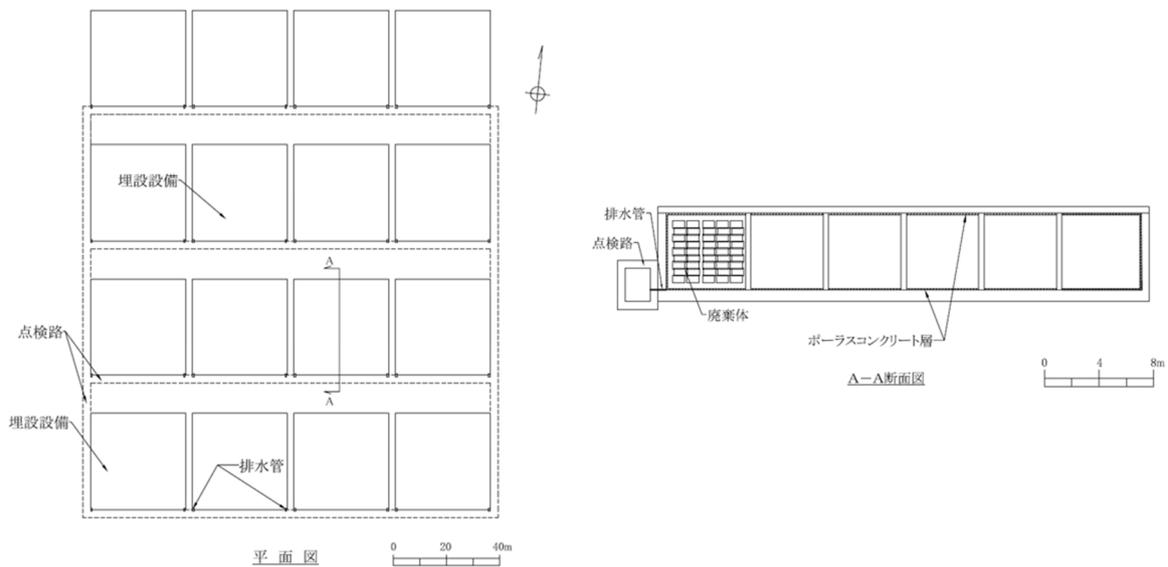
腐食抵抗及び内空寸法については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

(c) 構造及び仕様

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

排水・監視設備の平面図及び断面図を第 6 図に示す。

排水・監視設備の主要な部位と主な仕様を第 13 表に示す。



第 6 図 排水・監視設備の平面図及び断面図

第13表 排水・監視設備の主要な部位と主な仕様

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

*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。

(一) ポーラスコンクリート層

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

ポーラスコンクリート層に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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。

② 力学特性

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

(二) 排水管

(ア) 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。

(イ) 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。

(ウ) 仕様

① 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。

(三) 点検路

(ア) 概要

点検路は、鉄筋コンクリート製であり、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する。

(イ) 設計方針

点検路は、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路の埋戻しを行う。また、点検路のうち埋設設備

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。

(ウ) 仕様

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)」⁽¹⁾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。

c. 覆土

(a) 構成及び安全機能

覆土は、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土により構成する。

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

なお、評価において収着性による移行抑制機能を期待できる設計とする。

(b) 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

覆土の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第 14 表に示す。

(一) 技術要件及び設計項目

土構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「道路橋示方書・同解説」、「道路土工要綱」、「河川土工マニュアル」等の基準類に従う。

覆土の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(7) 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15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。

(1) 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、その設計項目は密度及び厚さである。

(二) 設計要件

設計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 14 表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		設計項目	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 15 表に整理している。

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

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

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

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

第 15 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

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

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

(c) 構造及び仕様

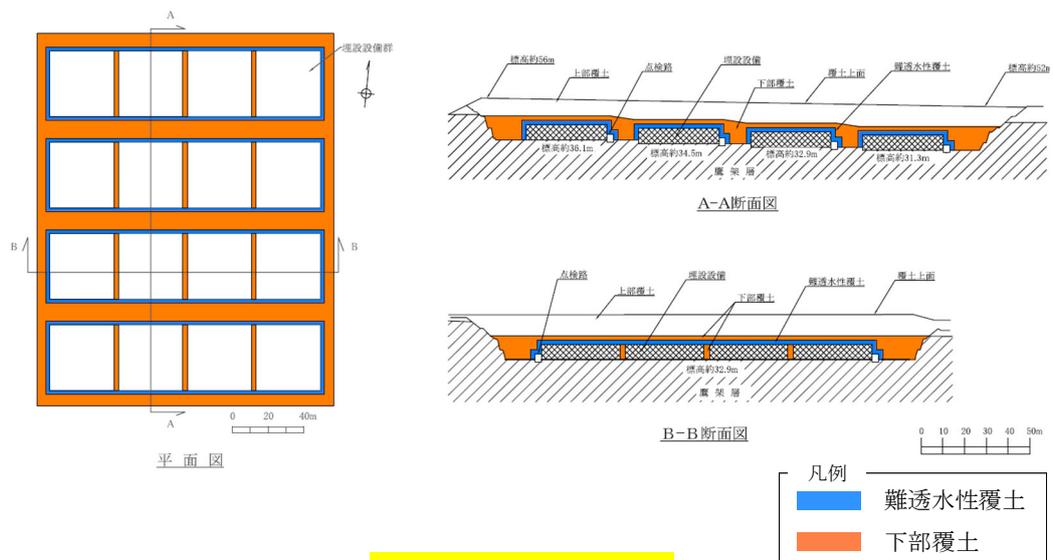
難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、下部覆土の上部に設置する。

埋設設備間狭隘部とは、具体的には埋設設備の東西方向の間を示す。

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

覆土の断面図を第7図に示す。

覆土の主要な部位と主な仕様を第16表に示す。



第7図 覆土の断面図

第 16 表 覆土の主要な部位及び主な仕様

設備	主要な部位	主な仕様
覆土	難透水性覆土	材料：ベントナイト混合土 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m 以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	下部覆土	材料：現地発生土に必要な応じてベントナイト、砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：巨視的透水係数*1として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 以下 厚さ：2m 以上 密度：1,100kg/m ³ 以上
	上部覆土	材料：現地発生土に必要な応じて砂及び砕石を混合 透水係数(施工時点)：廃棄物埋設地周辺の第四紀層の透水係数と同程度 厚さ：難透水性覆土及び下部覆土とあわせて埋設設備上面から 11m 以上

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

以下に各部位の仕様を示す。

(一) 難透水性覆土

(ア) 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。

(イ) 設計方針

難透水性覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

があるものとする。

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $7.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

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

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

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

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(二) 下部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

下部覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

(ウ) 仕様

① 透水特性

覆土の透水係数は、廃棄物埋設地の近傍に分布する岩盤(鷹架層)の透水係数が $7.8 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 程度であることを踏まえ、岩盤(鷹架層)の透水係数以下を長期的に維持することを目標として設計する。

下部覆土の透水係数は、難透水性覆土によってセメント系材料起源の成分による化学的変質の影響が遅延・緩衝されることから、施工時点において、巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 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。

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

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

料を使用する。

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(三) 上部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 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 程度) を目安に施工し、上面は尾駁沼に向かって適切な排水勾配を設ける。

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

(ウ) 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 11m 以上の厚さとする。

(3) 3号廃棄物埋設地

(i) 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となるように構造物を安定的に支持できる N値 50以上の岩盤(鷹架層)に設置する。

(ii) 主要設備

a. 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及び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 17 表に示す。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

埋設設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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、その設計項目は水結合材比、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみ、鉄筋量、スランプフロー、ブリーディング、遮水性及びひび割れ追従性である。

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

(イ) 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。

(ウ) 遮蔽機能

埋設設備の遮蔽機能は、公衆等の受ける線量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、その設計項目は密度及び部材寸法(厚さ)である。

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

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) 設計要件

設計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17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	—	—	—	—	—	—	—	設計項目を設定しない(評価において、埋設設備自体が副次的にもつ性能として設定するものとする。)*4	
遮蔽機能	放射線の遮蔽性能	遮蔽性	密度	○	○	○	○	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
			部材寸法(厚さ)	○	○	○	○	○	○	—	被ばくを低減するために必要な遮蔽性能を有すること。
	遮蔽機能を確保するための要求機能	力学特性	力学的安定性	圧縮強度	○	○	○	○	○	—	必要な構造強度を有すること。
				鉄筋強度	○	○	○	—	○	○	—
		耐久性	鉄筋かぶり	○	○	—	—	○	—	—	中性化に対して必要なかぶりを有すること。
			材料配合	○	○	—	—	○	—	—	塩害及び凍害に対して劣化抵抗性を有すること。

*1: 防水シート等の併用により区画内に水を浸入させないように考慮する。

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

*3: 充填性を確保した上でひび割れ抑制の観点についても考慮する。

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

(c) 構造及び仕様

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

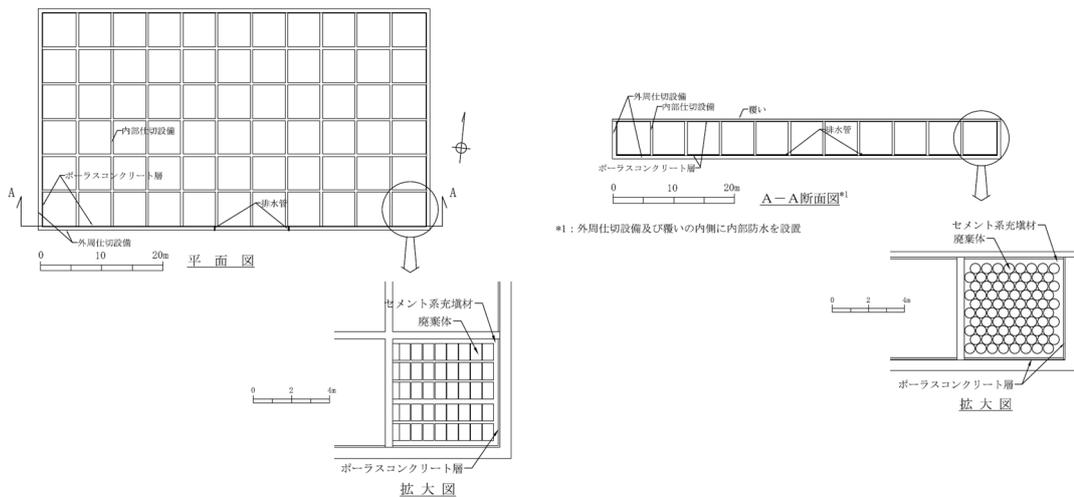
^{*1}：小数点第一位までの記載とし、「約」と記載する。

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

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

埋設設備の平面図及び断面図を第 8 図に示す。

埋設設備の主要な部位と主な仕様を第 18 表に示す。



第 8 図 埋設設備の平面図及び断面図

第 18 表 埋設設備の主要な部位と主な仕様

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

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

以下に、各部位の仕様を記載する。

(一) 外周仕切設備

(ア) 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。

(イ) 設計方針

外周仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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)」⁽²⁾に基づき、水結合材比を 55%以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

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

② 遮蔽性能

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

③ 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(二) 内部仕切設備

(ア) 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。

(イ) 設計方針

内部仕切設備に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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)」⁽¹⁾に基づき照査を行う。

(三) 廃棄体支持架台

(ア) 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。

(イ) 設計方針

廃棄体支持架台は、セメント系充填材と一体となって漏出防止機能及

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

(ウ) 仕様

① 遮蔽性能

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

② 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。

(四) セメント系充填材

(ア) 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。

(イ) 設計方針

セメント系充填材に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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に充填するため、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。

② 遮蔽性能

遮蔽性に配慮した設計として、公衆等の受ける線量を低減するよう

な密度及び厚さを確保するものとし、密度は $1,600\text{kg/m}^3$ 以上とする。

③ 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。

(五) 覆い及びコンクリート仮蓋

(ア) 概要

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

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

(イ) 設計方針

覆いに求める安全機能は、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、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。

(ウ) 仕様

① 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)」⁽²⁾に基づいて、水結合材比を 55% 以下とする。また、最大ひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とし、温度応力及び収縮による貫通ひび割れの発生を抑制するため、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを抑制する設計とする。

覆いの施工後から覆土完了の間において、可能な範囲に対し定期的な点検を行う。ひび割れは幅 0.1mm 以上を管理する。幅 0.1mm 以上のひび割れに対しては、排水・監視設備からの排水量及びひび割れの進

展状況を防水性の観点で評価した上で、適切に補修する。

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

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

なお、コンクリート仮蓋は、区画内に雨水を浸入させないように考慮する。

② 遮蔽性能

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

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

③ 力学特性

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

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

覆いは、耐久性を確保する観点から、中性化、塩害及び凍害に対して鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行う。これらについて、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽¹⁾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 $24.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とする。

(六) 内部防水

(ア) 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設置する。

内部防水については、以下の観点から設計する。

① 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。

② 外周仕切設備底版部及び側壁部の立上げ部

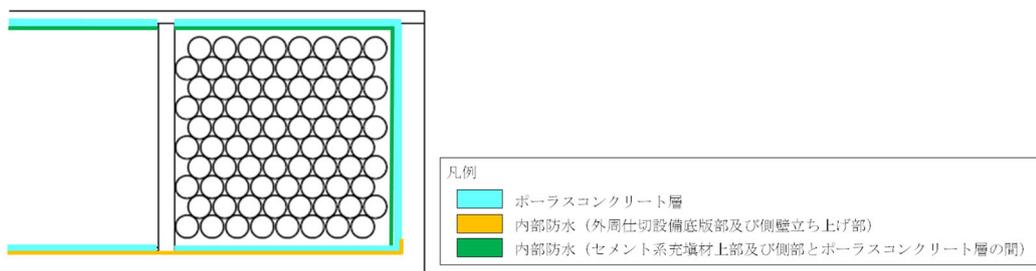
外周仕切設備底版からの地下水の浸入を防止するとともに、ポーラスコンクリート層からの放射性物質の漏出を防止する。

(イ) 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設置する。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上げ部に内部防水を設置する。

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

内部防水の設置位置概要図を第9図に示す。



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

第9図 内部防水の設置位置概要図

b. 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、排水性を有し、埋設設備内に浸入した水を排水し、廃棄体と浸入した水の接触を抑制する。

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

(b) 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

排水・監視設備の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第 19 表に示す。

第19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		設計項目	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)								
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る。

(一) 技術要件及び設計項目

コンクリート構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「コンクリート標準示方書」等の基準類に従う。

排水・監視設備の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(ア) 漏出防止機能

排水・監視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設計並びに放射性物質の漏出を防止する設計が相まって、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)から放射性物質が漏えいしない状況を達成できる設計とする。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設計及び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、その設計項目は排水能力である。排水能力を期待する部位は、ポーラスコンクリート層であり、透水係数、通水断面積及び勾配により排水能力を算定する。

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

(二) 設計要件

設計項目である排水能力、圧縮強度、鉄筋強度、鋼管強度、鉄筋かぶり、

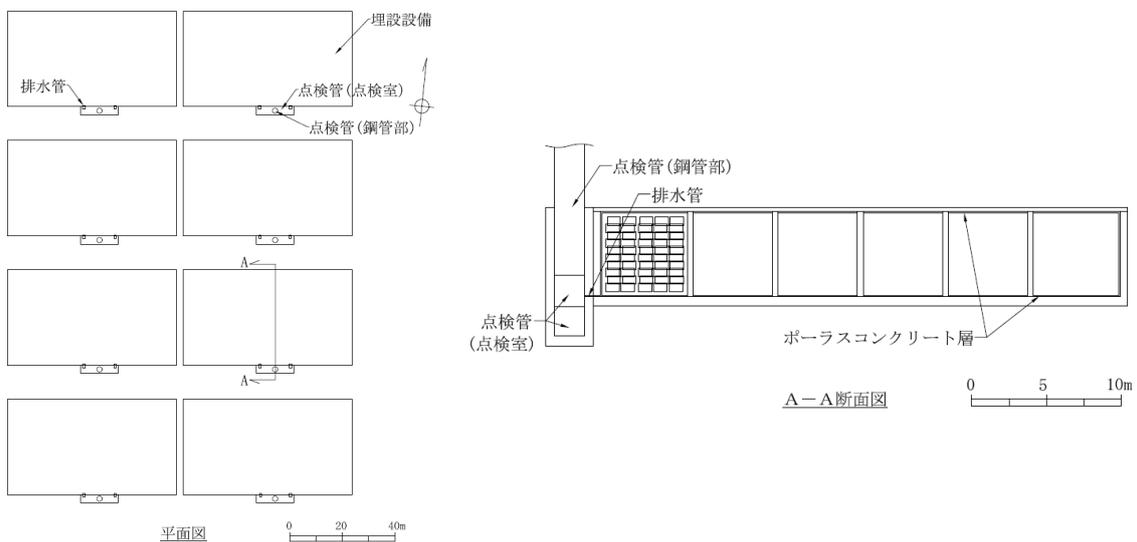
排水管の腐食抵抗及び内空寸法については、各部位が要求性能を満足するための設計要件を設定する。

(c) 構造及び仕様

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

排水・監視設備の平面図及び断面図を第 10 図に示す。

排水・監視設備の主要な部位と主な仕様を第 20 表に示す。



第 10 図 排水・監視設備の平面図及び断面図

第 20 表 排水・監視設備の主要な部位と主な仕様

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

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

以下に各部位の仕様を示す。

(一) ポーラスコンクリート層

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

ポーラスコンクリート層に求める安全機能は、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。

(ウ) 仕様

① 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 1.0×10⁻³m/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。

② 力学特性

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

(二) 排水管

(ア) 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。

(イ) 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。

(ウ) 仕様

① 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。

(三) 点検管

(ア) 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する。

(イ) 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。

(ウ) 仕様

① 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」⁽⁷⁾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。

② 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）」⁽¹⁾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。

c. 覆土

(a) 構成及び安全機能

覆土は、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土により構成する。

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

なお、評価において収着性による移行抑制機能を期待できる設計とする。

(b) 要求性能

安全機能を確保するために必要な要求性能を整理する。

覆土の部位ごとに設定した要求性能及び設計要件を第 21 表に示す。

(一) 技術要件及び設計項目

土構造物の一般的な設計・施工に係る事項については、「道路橋示方書・同解説」、「道路土工要綱」、「河川土工マニュアル」等の基準類に従う。

覆土の主な設計項目については、安全機能に係る技術要件及びそれに必要な特性を踏まえて、次のとおり整理する。

(7) 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22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。

(1) 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、その設計項目は密度及び厚さである。

(二) 設計要件

設計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 21 表 覆土の要求性能及び設計要件

安全機能	要求性能		設計項目	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	○	○	—
		液状化 ^{*1} 抵抗性		厚さ	○	○	—
			縮固め度	○	○	—	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 22 表に整理している。

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

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

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

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

第 22 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

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

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

(c) 構造及び仕様

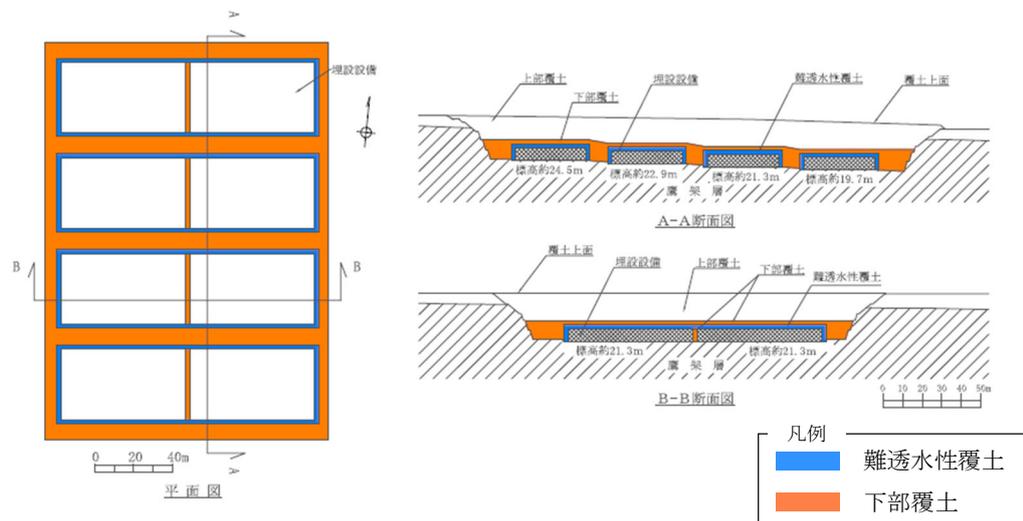
難透水性覆土は、埋設設備の底面及び埋設設備間狭隘部を除く外周部に設置する。下部覆土は、難透水性覆土の外周部及び埋設設備間狭隘部に設置する。上部覆土は、下部覆土の上部に設置する。

埋設設備間狭隘部とは、具体的には埋設設備の東西方向の間を示す。

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

覆土の断面図を第 11 図に示す。

覆土の主要な部位と主な仕様を第 23 表に示す。



第 11 図 覆土の断面図

第 23 表 覆土の主要な部位及び主な仕様

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

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

以下に各部位の仕様を示す。

(一) 難透水性覆土

(ア) 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。

(イ) 設計方針

難透水性覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

があるものとする。

(ウ) 仕様

① 透水特性

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

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

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

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

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(二) 下部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 設計方針

下部覆土に求める安全機能は、移行抑制機能及び遮蔽機能である。

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

遮蔽機能に対しては、遮蔽性能を確保する設計とする。

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

(ウ) 仕様

① 透水特性

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

下部覆土の透水係数は、難透水性覆土によってセメント系材料起源の成分による化学的変質の影響が遅延・緩衝されることから、施工時点において、巨視的透水係数として $1.0 \times 10^{-8} \text{m/s}$ 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。

② 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。

③ 長期機能維持特性

1) 化学的安定性

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

料を使用する。

2) 変形追従性

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

3) 液状化抵抗性

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

なお、実際に使用する材料の粒径分布に基づいて、「道路橋示方書（Ⅴ耐震設計編）・同解説」⁽⁶⁾に示される液状化判定法による確認を行う。

(三) 上部覆土

(ア) 概要

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

(イ) 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 程度) を目安に施工し、上面は尾駁沼に向かって適切な排水勾配を設ける。

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

(ウ) 仕様

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

[参考] 許可基準規則への適合性説明

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

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

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

(i) 確認方法

以下の事項が留意された設計になっていることを確認する。

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

(ii) 確認結果

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

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

(a) はじめに

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

(b) 均質・均一固化体及び充填固化体の特性

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、均質・均一固化体及び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、以下に示す均質・均一固化体及び充填固化体の固型化方法並びに放射性物質の性質及び放射能濃度を考慮した。

(一) 均質・均一固化体の固型化方法

(ア) 固型化材料は、以下のいずれかであること。

- ① 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。
- ② JIS K 2207(1990)に定める石油アスファルトで針入度が 100 以下のもの又はこれと同等以上の品質を有するアスファルトであること。
- ③ スチレンに溶解した不飽和ポリエステル(以下「不飽和ポリエステル樹脂」という。)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) セメントを用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、固型化された放射性廃棄物の一軸圧縮強度が 1,470kPa 以上であること。

(エ) アスファルト又は不飽和ポリエステル樹脂を用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、廃棄体中の固型化材料の重量が廃棄体の重量から容器の重量を差し引いた重量のそれぞれ 50%以上又は 30%以上となるようにすること。

(オ) 不飽和ポリエステル樹脂を用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、固型化された放射性廃棄物の JIS K 7215 に定める方法により測定した硬さ値が 25 以上であること。

(カ) 固型化に当たっては、固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料と放射性廃棄物を均質に練り混ぜ、又はあらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料と放射性廃棄物を均一に混合させること。この場合において、容器内に有害な空隙が残らないようにすること。

(二) 充填固化体の固型化方法

- (ア) 固型化材料は、JIS R 5210(1992)若しくは JIS R 5211(1992)に定めるセメント又はこれらと同等以上の品質を有するセメントであること。
- (イ) 容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器又はこれと同等以上の強度及び密封性を有するものであること。
- (ウ) 固型化に当たっては、あらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料を容器内の放射性廃棄物と一体となるように充填すること。この場合において、容器内に有害な空隙が残らないようにすること。

(三) 放射性物質の性質及び放射能濃度

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

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

(c) 地下水面下への設置

廃棄物埋設地は廃止措置の開始後、保全の措置を必要としない状況に移行できるように、以下の点について考慮した。

- ・第四紀層よりも侵食抵抗性の高い岩盤(鷹架層)内に設置する。
- ・人間侵入リスクが高い地表面を避ける。

・施設周辺の天然バリアである岩盤(鷹架層)が有する性能を有効利用するために、岩盤(鷹架層)中に設置する。

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

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

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

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

(d) 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間

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

(一) 合理的な建設・施工技術

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

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

コンクリート構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認し、施工の実現性及び品質を確保する。2020年度時点での最新の知見としては、「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

また、安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・漏出防止機能は、雨水及び地下水の浸入の防止並びに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し、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(1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設の埋設設備)、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(1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設の埋設設備)並びに排水性としてポーラスコンクリート層の設置を考慮した設計とすること
- ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び放射線業務従事者並びに事業所内の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するように、埋設設備の各部位の密度及び厚さを確保することで、放射線の遮蔽性能を有する設計とすること

(e) 覆土完了後

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

(一) 合理的な建設・施工技術

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

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

(二) 利用可能な最善の建設・施工技術

土構造物としての設計、材料の選定、建設・施工及び検査については、利用可能な最善の建設・施工技術として、最新の知見を確認する。2020年度時点での最新の知見としては、「道路土工要綱」⁽³⁾及び「河川土工マニユ

アル」⁽⁴⁾を参照とする。また、一般土工で用いられる重機を使用し、適切な品質管理を行うことで、目標の透水係数を有する覆土を施工できることを確認している。

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

安全機能ごとに対する設計としては以下のとおり。

- ・移行抑制機能は、低透水性として土質系材料により透水係数及び厚さを確保する設計とし、収着性を有するセメント系材料及び土質系材料を用いる設計とすること
- ・遮蔽機能は、敷地周辺の公衆及び事業所内の人が立ち入る場所に滞在する者への被ばくを低減するために、覆土の密度及び厚さを確保することで、長期的な放射線の遮蔽性能を有する設計とすること

覆土の施工実現性及び覆土の施工時における品質管理(案)について添付資料3「1. 覆土の施工実現性」及び「2. 覆土の施工時における品質管理(案)」に示す。

(f) 諸外国との比較

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

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

[設計方針に係る項目]

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

けること。

[技術的要件に係る項目]

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

設計方針に係る項目に関しては、「(1)(ii)(d) 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」及び「(1)(ii)(e) 覆土完了後」にて参考としている。また、技術的要件に係る項目に関しては、「(1)(ii)(b) 均質・均一固化体及び充填固化体の特性」及び「(1)(ii)(d) 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」にて参考としている。

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

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

(一) 漏出防止機能について

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

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

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

(二) 移行抑制機能について

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

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

(三) 遮蔽機能について

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

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

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

各部材の仕様等の詳細な比較は添付資料3「3. 諸外国との比較」に示す。

(g) まとめ

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

また、「(1)(ii)(b) 均質・均一固化体及び充填固化体の特性」～「(1)(ii)(f) 諸外国との比較」に示すとおり、埋設する放射性廃棄物に含まれる放射性物質の性質及び放射能濃度に応じて、設計時点において合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術によるものである。

b. 劣化・損傷に対する抵抗性を考慮すること

(a) 埋設設備及び排水・監視設備

漏出防止機能を確保する期間に対して、劣化・損傷に対する抵抗性を有するよう鉄筋かぶり及び材料配合の設計を行っている。また、劣化抵抗性を有していることを、「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽¹⁾に基づき耐久性照査によって確認している。対象項目は、設計条件及び立地条件を考慮し、耐久性に影響があると考えられる中性化、塩害及び凍害とした。

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

(一) 中性化

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

(二) 塩害

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

(三) 凍害

内部損傷及び表面損傷に対する劣化抵抗性を有する設計としている。

(b) 覆土

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

難透水性覆土及び下部覆土は、容易な露呈を防止する観点から安定した地盤を掘り下げて設置する設計としている。

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

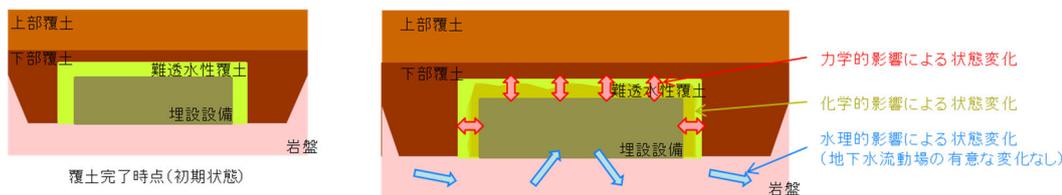
長期状態において覆土の透水特性に影響を及ぼす要因とその機構は、第 8 表、第 15 表及び第 22 表に示すとおりである。

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

具体的には、線量評価上の状態設定において、力学的影響及び化学的影響による覆土の性能(低透水性)の低下を考慮しており、設計上の設定値(初期状態)も性能の低下に配慮している。第 12 図に影響項目の概要を示す。

これらにより、覆土は劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。

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



- 状態変化の評価を反映(長期状態)
- 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 12 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(1号廃棄物埋設施設の埋設設備7,8群及び3号廃棄物埋設施設の埋設設備)で多様化し、各部位の劣化・損傷が生じた場合においても、漏出防止機能を維持する構造・仕様としている。

(b) 覆土

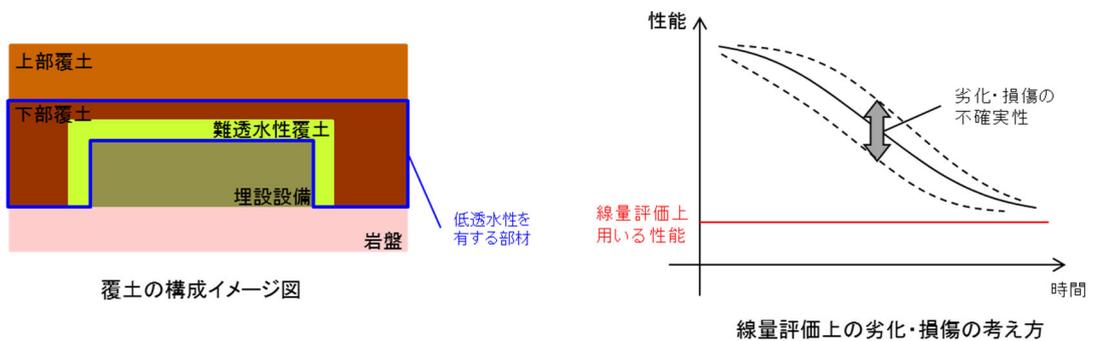
覆土は、長期的に発生が予想される力学的影響及び化学的影響のいずれに対しても機能維持が受動的に期待できるよう、多層化した十分な厚さの覆土を設置することで、劣化・損傷が生じた場合においても、移行抑制機能を維持する構造・仕様としている。

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

力学的影響及び化学的影響に対しては、低透水性を有する難透水性覆土及び下部覆土の2層を設置し、各覆土の厚さを2m以上確保することで、全体として覆土に要求する低透水性が容易に損失しないものとしている。第13図に線量評価上の劣化・損傷の考え方を示す。

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

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



第13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24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24表 各部材に期待する移行抑制機能を構成する特性

	部材	地下水の浸入を抑制する機能(低透水性)	放射性物質を収着する機能(収着性)	
人工バリア	埋設設備	—	○	
	覆土	難透水性覆土	○	
		下部覆土	○	—*1
		上部覆土	—	○
天然バリア	岩盤(鷹架層)	○	○	

○：期待する

—：期待しない

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

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

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

(2) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第10条第2項)

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

(i) 確認方法

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

(ii) 確認結果

雨水及び地下水の浸入を防止する構造は、外周仕切設備及び覆い、ポーラスコンクリート層、セメント系充填材並びに内部防水により構成する。放射性物質の漏出を防止する構造は、外周仕切設備、覆い、ポーラスコンクリート層及び内部防水(1号廃棄物埋設施設の埋設設備 7,8 群及び 3号廃棄物埋設施設の埋設設備)により構成する。これらの組合せにより、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、放射性物質の漏出を防止することとしている。

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

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

(3) 許可基準規則第十条第一号(許可基準規則解釈第 10 条第 4 項)

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

(i) 確認方法

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

(ii) 確認結果

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

また、この期間は、十分な厚さの覆土があるため、3号廃棄物埋設施設に対し

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

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 25 表に示す。線量評価に関するパラメータについては、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価 補足説明資料 9 線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-)」にて説明する。

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

第 25 表 埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの
期間において最大となる公衆の受ける被ばく線量の評価結果

線量評価 シナリオ*1	1号評価結果 (μ Sv/y)		2号評価結果 (μ Sv/y)		3号評価結果 (μ Sv/y)		評価結果の重畳 (μ 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
排気口から放出する 気体廃棄物中の放射 性物質の吸入摂取に よる内部被ばく*2	約 3.5×10^{-6}						約 3.5×10^{-6}	
液体廃棄物中の放射 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*2	約 1.7×10^{-2}						約 1.7×10^{-2}	
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	—*4	約 1.9	—*4	約 1.3	—*4	約 0.59	—*4	約 3.8
本施設に一時貯蔵及 び埋設する廃棄体中 に含まれる放射性物 質からの外部被ばく	約 27*7	—*5	約 25*7	—*5	約 6.5	—*5	約 23*6	—*5
	合計*3						約 23	約 3.8

*1: 「廃棄物埋設事業変更許可申請書」(平成10年10月8日付け、10安(廃規)第49号をもって事業変更許可)(以下「既許可」という。)において評価対象としている「沢への放射性物質の移行による外部被ばく及び内部被ばく」は、1号及び2号廃棄物埋設施設については、他の被ばく経路と比べて線量が無視できる程小さい。また、3号廃棄物埋設施設における線量も同じく低く(約 9.3×10^{-6} μ 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、「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」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: 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。

*7: 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。

(4) 許可基準規則第十条第三号(許可基準規則解釈第10条第5項)

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

(i) 確認方法

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

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

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

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

*1：覆土完了までにセメント系材料である埋設設備に生じる劣化として中性化

現象を考慮しても、鉄筋かぶり内に収まる結果であることから、埋設設備が著しく溶出することは考えられない。

(ii) 確認結果

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

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

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

6. 参考文献

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

以上

廃棄物埋設地の設計の基本的考え方

目 次

1. 廃棄物埋設地の設計の考え方	1
(1) 地下水面下への設置	1
(2) 移行抑制機能の設計	1
(3) 漏出防止機能の設計	3
2. 3号廃棄物埋設地の基本的考え方	6
(1) 廃棄物埋設施設の概要	6
(2) 設置位置	6
(3) 設置深度	7
(4) 埋設設備の大型化	8
(5) 点検管及び点検路方式の選定	9
(6) 耐埋設荷重強度	10
(7) セメント系充填材の厚さ	14
3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方	15
(1) 地下水の流れの一般的な知見	15
(2) 覆土の構成	15
(3) 覆土の機能維持	15
(4) 覆土の不均質性に対する考え方	18
4. 廃棄物埋設(1号廃棄物埋設施設)	19
5. 廃棄物埋設(2号廃棄物埋設施設)	29
6. 廃棄物埋設(3号廃棄物埋設施設)	36

1. 廃棄物埋設地の設計の考え方

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

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

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

(1) 地下水面下への設置

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

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

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

(2) 移行抑制機能の設計

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

<前提条件>

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

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

<埋設設備>

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

<覆土>

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

<まとめ>

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

(3) 漏出防止機能の設計

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

<漏出防止の目的>

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

<漏出防止設計の考え方>

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

(補足説明)

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

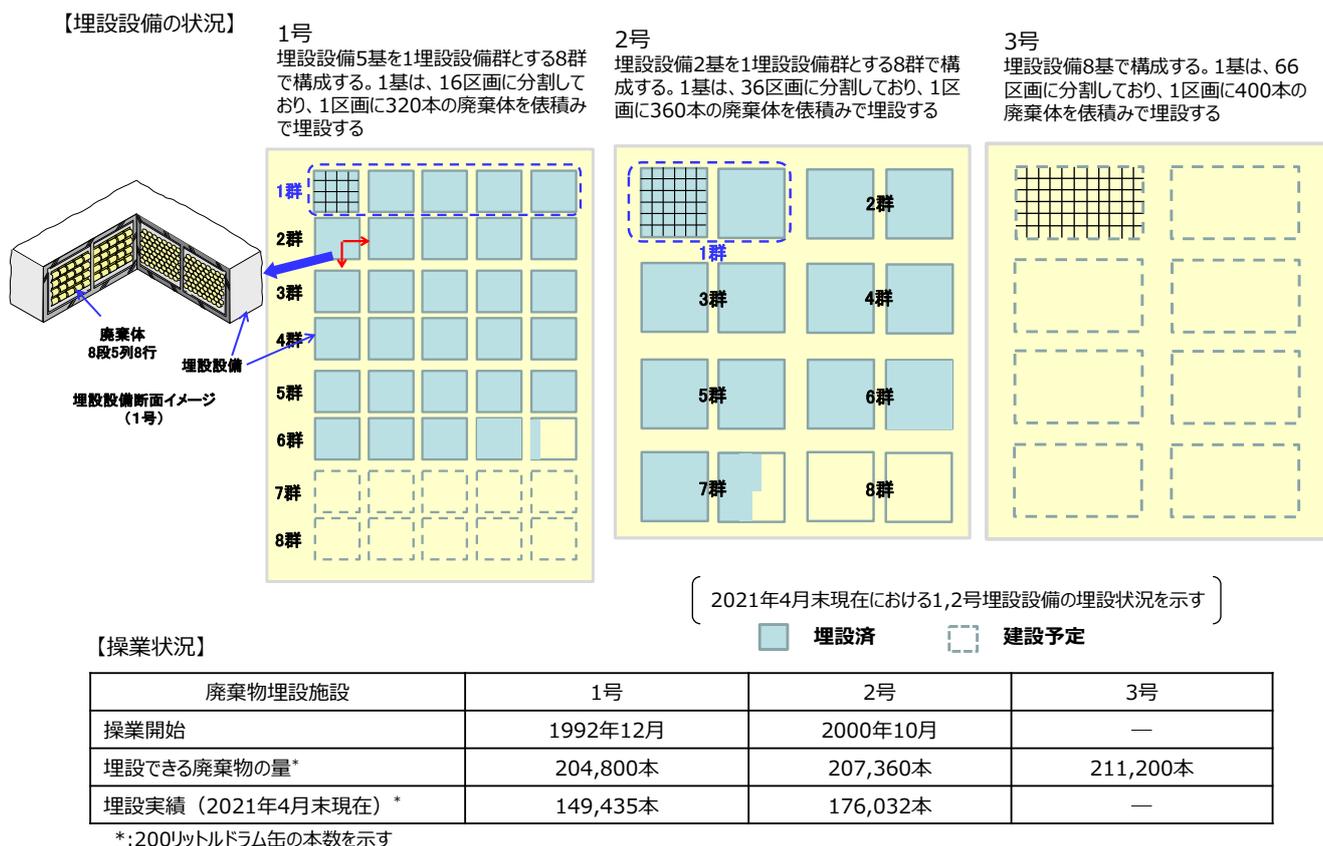
以下であったことから、この予測は十分保守的と考えられる。

- 1号及び2号廃棄物埋施設は、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) 廃棄物埋設施設の概要

1号～3号廃棄物埋設施設について、埋設設備の状況と操業状況を第1図に示す。

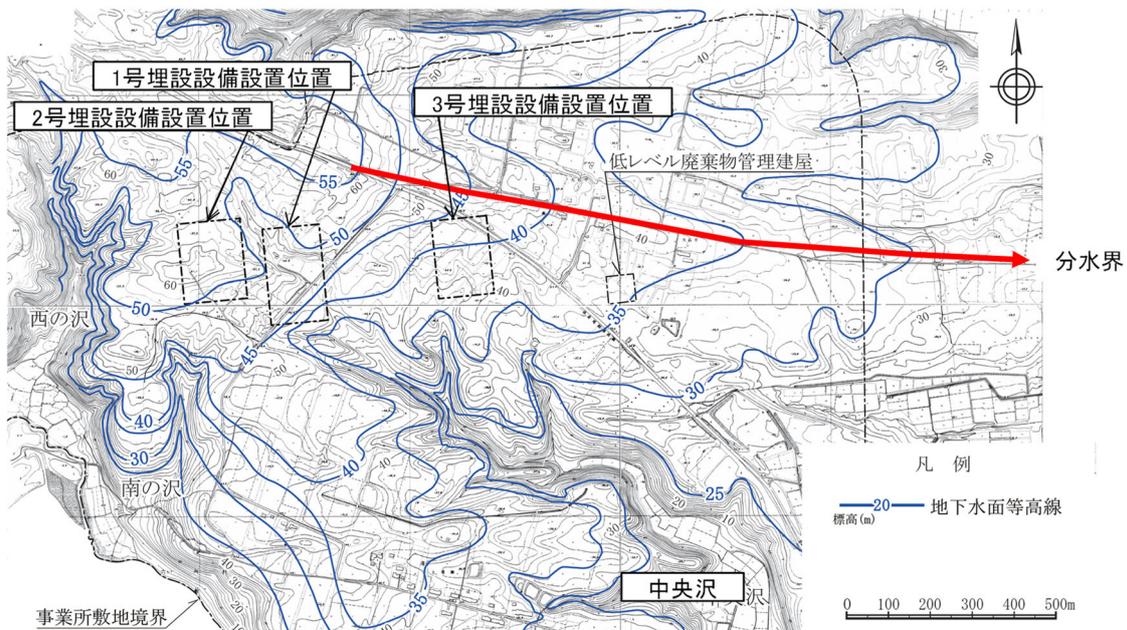


第1図 埋設設備の状況と操業状況

(2) 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、尾駸沼側に流れるよう、地下水の分水界の南側に設置する（第2図参照）。
 - (iv) 長期的に機能を維持する観点から、比較的岩盤（鷹架層）出現深度が浅い場所で、かつ、侵食抵抗性の観点から中央沢から離して設置する。
- これらを考慮した結果として、3号廃棄物埋設地は分水界の南側に位置している。

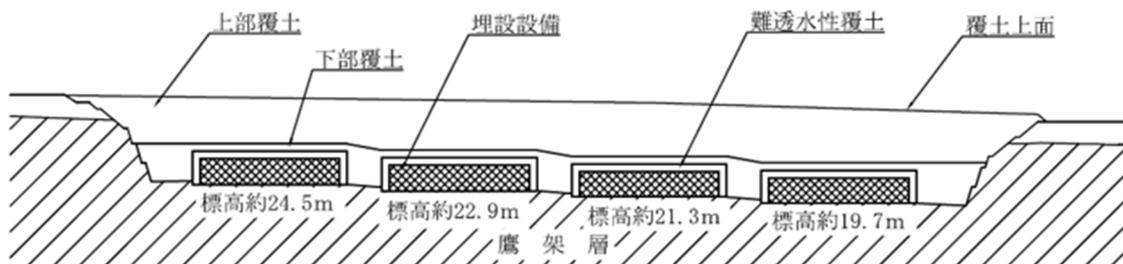


第2図 地下水面等高線図（1986年）

(3) 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3図に示す。

- (i) N値 50 以上の岩盤（鷹架層）上へ設置する。
- (ii) 掘削前の第三紀層（鷹架層）推定レベル以下へ埋設設備全体を埋設する。



第3図 3号廃棄物埋設地の設置深度（南北断面図）

(4) 埋設設備の大型化

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

- (i) 覆土完了までの間の遮蔽機能の観点で、スカイシャインガンマ線及び直接ガンマ線に対するリスクを低減するため、廃棄物埋設地全体での埋設設備の表面積を小さくする。
- (ii) 覆土完了後の移行抑制の観点では、第1表に示すとおり、廃棄体一本当たりの流出水量は1号～3号廃棄物埋設地で遜色なく、3号埋設設備における1基の大型化による大きな影響はない。
- (iii) 敷地の効率利用の観点で、埋設設備を大型化し、廃棄物埋設地当たりの面積を小さくする。

各廃棄物埋設地の埋設設備表面積及び廃棄物埋設地面積を第2表に示す。

第1表 各埋設設備の廃棄体一本当たりの流出水量

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

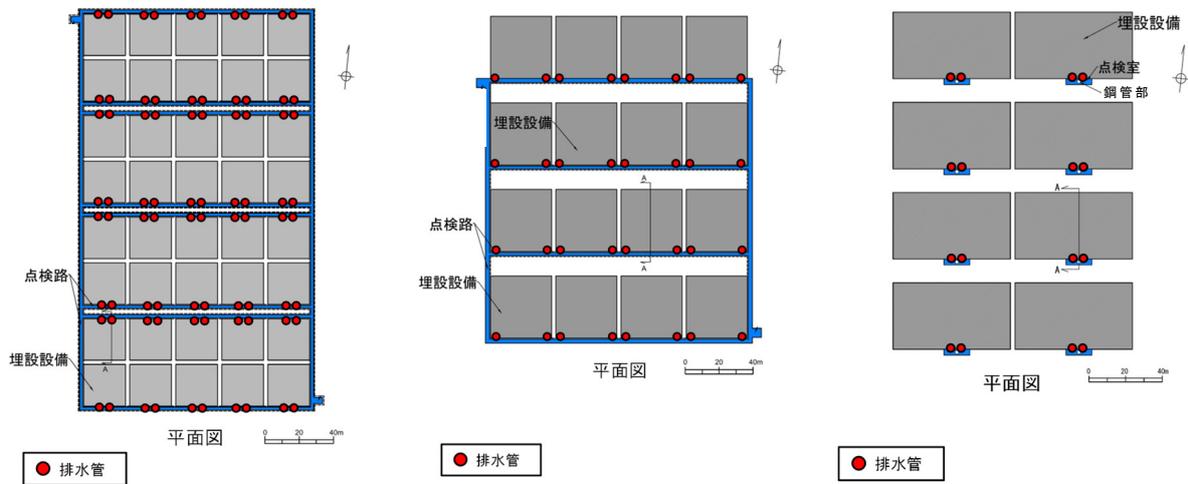
第2表 各廃棄物埋設地の埋設設備表面積及び廃棄物埋設地面積

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

(5) 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4図に示す。



(a) 1号

(b) 2号

(c) 3号

第4図 排水・監視設備の排水管位置図

(6) 耐埋設荷重強度

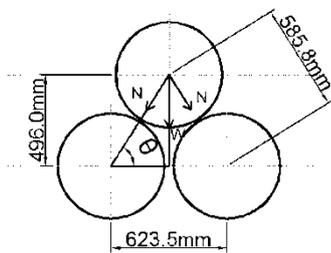
漏出防止機能に対する設計については、埋設設備内への定置及び充填が完了するまでに廃棄体から放射性廃棄物が漏出しないことが前提となっている。

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5図に示す。



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

第5図 廃棄体間に作用する荷重の角度

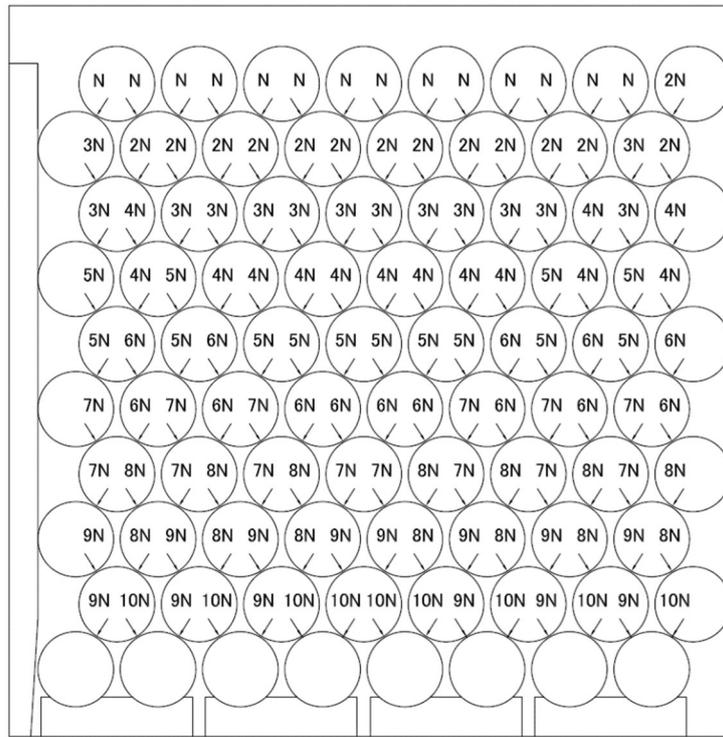
廃棄体重量 $W=1\text{t/本}$ のとき、角度 θ で作用する廃棄体荷重の分力 N を以下に示

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 6 図に示す。



第 6 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。

(7) セメント系充填材の厚さ

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

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

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

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

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

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

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

3. 第四紀層との隔離を安定的に確保する考え方

(1) 地下水の流れの一般的な知見

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

(2) 覆土の構成

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

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

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

(3) 覆土の機能維持

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

設計方針を第5表に記載する。

第5表 技術要件と設計方針

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

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

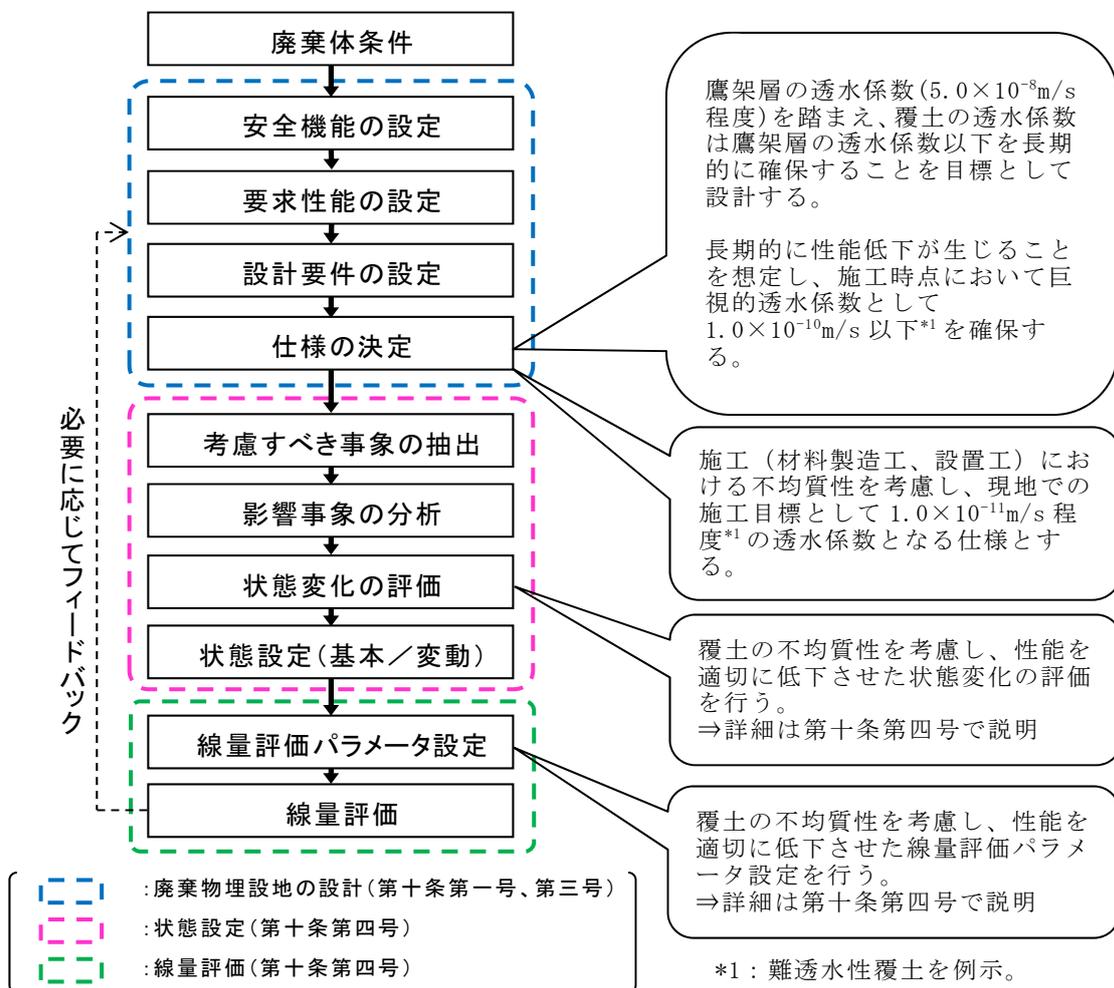
第6表 その他の考慮事項に対する設計方針

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

(4) 覆土の不均質性に対する考え方

廃棄物埋設地の設計から線量評価に至るフロー及び覆土の不均質性に対する考慮事項について、第7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7図 廃棄物埋設地の設計から線量評価に至るフロー

4. 廃棄物埋設(1号廃棄物埋設施設)

1号廃棄物埋設地の設計及び評価の前提となる、廃棄物や埋設の方法等について以下に述べる。

(1) 埋設する廃棄物

廃棄物埋設を行う放射性廃棄物で容器に固型化したもの(以下「廃棄物」という。)の種類は、以下のとおりである。

- ・実用発電用原子炉(沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉)の運転に伴い発生する放射性廃棄物及び本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物であって、廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰又はこれらをペレット化したものをセメント、アスファルト又は不飽和ポリエステルで固型化したものである。放射性廃棄物をセメント、アスファルト又は不飽和ポリエステルで固型化したものを「均質・均一固化体」という。
- ・実用発電用原子炉(沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉)の運転に伴い発生する固体状の放射性廃棄物(加圧水型原子炉の一次系の浄化系で使用している液体フィルタを除く)、均質・均一固化体として製作したセメント固化体の破砕物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で、セメント系充填材で一体となるように固型化したものである。固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で一体となるように固型化したものを「充填固化体」という。なお、充填固化体のうち、セメント固化体の破砕物を固型化したものは「セメント破砕物充填固化体」という。

廃棄物埋設地には東西方向に5基、南北方向に8基の計40基の埋設設備(東西方向の埋設設備5基を1埋設設備群とし、最北部の埋設設備群から順に1群から8群の構成とする。)を設置し、均質・均一固化体は1群から6群までの埋設設備30基及び8群の埋設設備1基に、充填固化体は7群の埋設設備5基及び8群の埋設設備4基に埋設する。

(i) 均質・均一固化体

均質・均一固化体は、「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り、本施設における受入れ上の要件も踏まえ、以下の仕様を満たすものである。

a. 固型化する方法

(a) 固型化材料

固型化材料は、以下のいずれかであること。

(一) 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。

(二) JIS K 2207(1990)に定める石油アスファルトで針入度が 100 以下のもの又はこれと同等以上の品質を有するアスファルトであること。

(三) スチレンに溶解した不飽和ポリエステル(以下「不飽和ポリエステル樹脂」という。)であること。

(b) 容器

容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器(1種、H級)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。

(c) 一軸圧縮強度

セメントを用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、固型化された放射性廃棄物の一軸圧縮強度が 1,470kPa 以上であること。

(d) 配合比

アスファルト又は不飽和ポリエステル樹脂を用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、廃棄体中の固型化材料の重量が廃棄体の重量から容器の重量を差し引いた重量のそれぞれ 50%以上又は 30%以上となるようにすること。

(e) 硬さ値

不飽和ポリエステル樹脂を用いて放射性廃棄物を固型化する場合は、固型化された放射性廃棄物の JIS K 7215 に定める方法により測定した硬さ値が 25 以上であること。

(f) 練り混ぜ・混合

固型化に当たっては、固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料と放射性廃棄物を均質に練り混ぜ、又はあらかじめ均質に練り混ぜた固型化材料若しくは固型化材料及び混和材料と放射性廃棄物を均一に混合すること。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。

b. 表面密度限度

廃棄体の表面密度が、アルファ線を放出する放射性物質は 0.4Bq/cm²、アルフ

α線を放出しない放射性物質は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ を超えないものであること。

c. 健全性を損なうおそれのある物質

廃棄物埋設地に定置するまでの間に、廃棄体に含まれる物質により廃棄体の健全性を損なうおそれのないものであること。

d. 耐埋設荷重

覆土完了までの間において、受けるおそれのある荷重に耐える強度を有するものであること。

e. 落下により飛散又は漏えいする放射性物質の量

廃棄物埋設地に定置するまでの間において、想定される最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないものであること。

f. 廃棄物発生からの経過期間

半減期の短い放射性物質による線量寄与を低減する観点から、受入れ時においてこれらの廃棄体に含まれる放射性物質は実用発電用原子炉で固型化後6ヶ月以上経過したものであること。ただし、本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物には経過期間の条件を設けない。

g. 廃棄体の表面線量当量率

$10\text{mSv}/\text{h}$ を超えないものであること。

h. 廃棄体の重量

1本当たり 500kg を超えないものであること。

(ii) 充填固化体

充填固化体は、「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り、1号廃棄物埋設施設における受入れ上の要件も踏まえ、以下の仕様を満たすものである⁽¹⁾。

a. 固型化する方法

(a) 固型化材料

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

(b) 容器

容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器(1種、H級)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。

(c) 充填方法

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

(d) 廃棄物の分別・処理方法

廃棄物を分別し、セメント系充填材が容器の内部に充填され易くなるように、必要に応じて、廃棄物の切断(破砕)、圧縮、小型混練固化、高圧圧縮又は熔融処理したものであること。

なお、安全機能への影響を低減するため、焼却可能な可燃物は除去し、大半がアルミニウムで構成されている製品は除去又は鉄と熔融処理し、鉛製品は除去したものであること。

b. 表面密度限度

廃棄体の表面密度が、アルファ線を放出する放射性物質は $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、アルファ線を放出しない放射性物質は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ を超えないものであること。

c. 健全性を損なうおそれのある物質

廃棄物埋設地に定置するまでの間に、廃棄体に含まれる物質により廃棄体の健全性を損なうおそれのないものであること。

d. 耐埋設荷重

覆土完了までの間において、受けるおそれのある荷重に耐える強度を有するものであること。

e. 落下により飛散又は漏えいする放射性物質の量

廃棄物埋設地に定置するまでの間において、想定される最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないものであること。

f. 廃棄物発生からの経過期間

半減期の短い放射性物質による線量寄与を低減する観点から、受入れ時においてこれらの廃棄体に含まれる放射性物質は実用発電用原子炉で発生後 6 ヶ月以

上経過したものであること。ただし、本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物には経過期間の条件を設けない。

g. 廃棄体の表面線量当量率

10mSv/h を超えないものであること。

h. 廃棄体の重量

1 本当たり 500kg を超えないものであること。

(2) 主要な放射性物質の種類

埋設を行う放射性廃棄物は、実用発電用原子炉の運転に伴って発生する放射性廃棄物及び本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物であり、主要な放射性物質の種類は以下のとおりとする。

また、「ニ 線量評価」においては廃棄体中に含まれる放射エネルギーに係る知見⁽²⁾を踏まえ、C1-36 による線量影響を評価する。この評価により、線量への寄与が最も大きい放射性物質の線量の最大値と比較して、C1-36 の線量の最大値が 1%以上となることから、C1-36 を主要な放射性物質に含める。

H-3、C-14、C1-36、Co-60、Ni-59、Ni-63、Sr-90、Nb-94、Tc-99、I-129、Cs-137、アルファ線を放出する放射性物質

(3) 廃棄物埋設の方法

廃棄物埋設は、廃棄物埋設地において、廃棄体定置、充填材充填、覆い設置及び覆土の順でそれぞれ以下のとおり行う。

なお、これらの作業は、公衆及び放射線業務従事者の受ける直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量が低くなるよう配慮しながら行う。

(i) 廃棄体定置

廃棄体は、管理建屋から廃棄物埋設地に構内廃棄体輸送車両により運搬する。廃棄体の定置前には、廃棄体を定置しようとする埋設設備の区画内の排水、危険物等の有無の確認を行う。廃棄体は、埋設設備の区画内に、専用の吊具を取り付けた埋設クレーンにより、8 本を取扱単位として定置する。定置は、俵積み方式とし、1 区画当たり 8 行、5 列、8 段積みの計 320 本を標準的な 1 日作業単位とする。

廃棄体の定置に当たっては、放射能濃度に極端な片寄りがないよう、以下のとおりとする。

- ・1群から6群までは、埋設設備1群ごとの放射エネルギーが1群から6群までの区画別放射エネルギーの1/6倍を超えないこと、かつ埋設設備1基ごとの放射エネルギーが1群から6群までの区画別放射エネルギーの2/30倍を超えないように定置する。
- ・7,8群のうち、充填固化体(セメント破砕物充填固化体を除く)を埋設する埋設設備は、埋設設備1群ごとの放射エネルギーが7,8群の区画別放射エネルギーの7群は5/8倍、8群は3/8倍を超えないこと、かつ埋設設備1基ごとの放射エネルギーが7,8群の区画別放射エネルギーの2/8倍を超えないように定置する。
- ・均質・均一固化体を埋設する埋設設備については、セメント以外で固型化した廃棄体が集中しないよう、セメント以外で固型化した廃棄体が、1群から5群までは埋設設備1群ごとに20%を超えないよう、かつ埋設設備1基ごとに40%を超えないよう、6群全体では40%を超えないよう定置する。
- ・埋設設備の最上段(8段目)及び北側側面に定置する廃棄体は、公衆及び放射線業務従事者の放射線防護の観点から表面線量当量率が2mSv/hを超えないものとする。

また、以下の措置を講ずる。

- ・埋設設備区画内への雨水等の浸入を防止するとともに外周仕切設備、内部仕切設備等の点検を随時行う。
- ・爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質及びその他の危険物は埋設しない。
- ・廃棄体定置後は速やかにコンクリート仮蓋を設置する。

(ii) 充填材充填

廃棄体を区画内に所定数量定置後、コンクリート仮蓋を設置した状態で、埋設設備の区画内に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。

(iii) 覆い設置

充填材の充填後、埋設設備の区画上部のコンクリート仮蓋を取り外し、充填材上部にポーラスコンクリート層を、その上部に覆いをそれぞれ設置する。

(iv) 覆土

埋設設備の覆い設置が終了した後、埋設設備の上面及び側面は、土砂等を締め

固めながら覆土を行う。

(4) 廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理の計画

廃棄物埋設地には、廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理(以下「段階管理」という。)を確実にを行うため、「事業規則」に基づいて埋設保全区域を設定し、放射性廃棄物の種類、埋設を開始した日及び埋設を終了した日並びに保安のための注意事項を表示した立札を設置して、保全のための措置を講ずる。また、「原子炉等規制法」に基づいて保全の措置の終了時期を設定するとともに、放射線防護の観点から敷地内の居住を禁止し、放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を行う。

放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置とは、本施設において、公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低く抑えるため、埋設した廃棄体の放射能が時間の経過に伴って低減することによって、放射性物質の生活環境に及ぼす影響が安全上支障のない状態になるまで、廃棄物埋設地に設置したバリアの施工状況や放射能の減衰に応じ、廃棄物埋設地を段階的に管理することをいう。

また、「事業規則」に基づいて実施する定期的な評価等では、本施設の廃止措置の認可を受ける日までの10年を超えない期間ごと及び放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を変更しようとするときに、最新の技術的知見を踏まえて、核燃料物質等による放射線の被ばく管理に関する評価を行う。

本施設では、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のある埋設の終了時期を覆土完了時点とする。

(i) 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

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、人工バリアにより埋設設備から放射性物質の漏出を防止する段階である。

また、この段階では周辺監視区域境界付近における外部放射線に係る線量の監視及び測定、本施設の巡視及び点検並びに排水・監視設備により排水した水の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により放射性物質の漏えいのないことを確認する。

この段階の終了予定時期は、埋設設備の設置、充填材充填、覆い設置及び覆土施工の期間を考慮し、1群から6群は埋設開始以降35年以内、7,8群は埋設開始以降43年以内とする。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を設定する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 排水・監視設備からの排水中における放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により、埋設設備外への放射性物質の漏えいがないことを監視し、埋設設備からの放射性物質の異常な漏えいがあったと認められる場合には、速やかに埋設設備の修復又はその他の放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、覆土施工中は必要に応じて覆土を修復する。
- e. 排水・監視設備により排水を行う。
- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの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。)、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(以下「移行抑制機能」という。)並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその地下水の状況等を監視及び測定し、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(ii) 廃棄物埋設地の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の間は、人工バリア及び天然バリアにより、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制を行う段階である。

また、この段階では公衆の敷地内への立入りは許容するが、放射線防護の観点から沢水の利用の禁止及び地表面の掘削の制約を行う。

この段階の終了予定時期は、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時期とし、敷地内の他の廃棄物埋設地の保全措置の終了時期を踏まえ、本施設の覆土完了後300年とする。

ここで「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、廃止措置の開始後の評価において、自然事象シナリオのうち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、評価される公衆の受ける線量が $10\ \mu\text{Sv}/\text{y}$ 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シナリオであっても評価される公衆の受ける線量が $300\ \mu\text{Sv}/\text{y}$ を超えないこと、自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮した人為事象シナリオにおいて評価される公衆の受ける線量が $1\text{mSv}/\text{y}$ を超えないことをいう。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を継続して設定する。設定した周辺監視区域は、本施設の覆土完了及び管理建屋の供用終了後に廃止する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えい状況を監視し、異常な漏えいがあったと認められる場合には、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、必要に応じて覆土を修復する。
- e. 周辺監視区域廃止後は、公衆が敷地内へ立ち入る可能性があるため、放射線防護の観点から沢水の利用を禁止し、地表面の掘削を制約する。また、周辺環境における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度を監視及び測定し、公衆の受ける線量が、「線量告示」に定められた周辺監視区域外の線量限度以下であることを確認する。

なお、地下水中の放射性物質の濃度の監視及び測定においては、地下水採取孔から地下水を定期的に採取して、地下水中の放射性物質の濃度を測定し、「線量告示」に示されている周辺監視区域外における水中の濃度限度以下であることを確認する。

- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの

移行抑制機能並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその周囲の状況を監視及び測定する。また、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(5) 埋設保全区域

「事業規則」に基づき、廃棄物埋設地の保全のために、特に管理を必要とする場所であって、管理区域以外のものを埋設保全区域として定める。埋設保全区域は、廃棄物埋設地を含み、放射性物質の漏出の防止、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制のために保全を行う必要のある区域とする。

なお、埋設保全区域を明らかに他の場所と区別するために、標識を設ける等の措置を講ずる。

5. 廃棄物埋設(2号廃棄物埋設施設)

2号廃棄物埋設地の設計及び評価の前提となる、廃棄体や埋設の方法等について以下に述べる。

(1) 埋設する廃棄体

廃棄物埋設を行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。)の種類は、実用発電用原子炉(沸騰水型原子炉、加圧水型原子炉及び黒鉛減速ガス冷却炉)の運転に伴い発生する固体状の放射性廃棄物(加圧水型原子炉の一次系の浄化系で使用している液体フィルタを除く)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で、セメント系充填材で一体となるように固型化したものである。固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で一体となるように固型化したものを「充填固化体」という。

廃棄物埋設地には東西方向に4基、南北方向に4基の計16基の埋設設備(東西方向の埋設設備2基を1埋設設備群とし、最北西部の埋設設備群から順に1群から8群の構成とする。)を設置する。黒鉛減速ガス冷却炉の運転に伴い発生する固体状の放射性廃棄物は3群に埋設する。

これらの放射性廃棄物は、「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り、本施設における受入れ上の要件も踏まえ、以下の仕様を満たすものである⁽¹⁾。

(i) 固型化する方法

a. 固型化材料

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

b. 容器

容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器(1種、H級)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。

c. 充填方法

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

d. 廃棄物の分別・処理方法

廃棄物を分別し、セメント系充填材が容器の内部に充填され易くなるように、必要に応じて、廃棄物の切断、圧縮、小型混練固化、高圧圧縮又は熔融処理したものであること。

なお、安全機能への影響を低減するため、焼却可能な可燃物は除去し、大半がアルミニウムで構成されている製品は除去又は鉄と熔融処理し、鉛製品は除去したものであること。

(ii) 表面密度限度

廃棄体の表面密度が、アルファ線を放出する放射性物質は $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、アルファ線を放出しない放射性物質は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ を超えないものであること。

(iii) 健全性を損なうおそれのある物質

廃棄物埋設地に定置するまでの間に、廃棄体に含まれる物質により廃棄体の健全性を損なうおそれのないものであること。

(iv) 耐埋設荷重

覆土完了までの間において、受けるおそれのある荷重に耐える強度を有するものであること。

(v) 落下により飛散又は漏えいする放射性物質の量

廃棄物埋設地に定置するまでの間において、想定される最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないものであること。

(vi) 廃棄物発生からの経過期間

半減期の短い放射性物質による線量寄与を低減する観点から、受入れ時においてこれらの廃棄体に含まれる放射性物質は実用発電用原子炉で発生後 6 ヶ月以上経過したものであること。ただし、本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物には経過期間の条件を設けない。

(vii) 廃棄体の表面線量当量率

$10\text{mSv}/\text{h}$ を超えないものであること。

(viii) 廃棄体の重量

1 本当たり $1,000\text{kg}$ を超えないものであること。

(2) 主要な放射性物質の種類

埋設を行う放射性廃棄物は、実用発電用原子炉の運転に伴って発生する放射性廃棄物及び本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物であり、主要な放射性物質の種類は以下のとおりとする。

H-3、C-14、Co-60、Ni-59、Ni-63、Sr-90、Nb-94、Tc-99、I-129、Cs-137、アルファ線を放出する放射性物質

(3) 廃棄物埋設の方法

廃棄物埋設は、廃棄物埋設地において、廃棄体定置、充填材充填、覆い設置及び覆土の順でそれぞれ以下のとおり行う。

なお、これらの作業は、公衆及び放射線業務従事者の受ける直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量が低くなるよう配慮しながら行う。

(i) 廃棄体定置

廃棄体は、管理建屋から廃棄物埋設地に構内廃棄体輸送車両により運搬する。廃棄体の定置前には、廃棄体を定置しようとする埋設設備の区画内の排水、危険物等の有無の確認を行う。廃棄体は、埋設設備の区画内に、専用の吊具を取り付けた埋設クレーンにより、8本を取扱単位として定置する。定置は、俵積み方式とし、1区画当たり8行、5列、9段積みの計360本を標準的な1日作業単位とする。

廃棄体の定置に当たっては、放射能濃度に極端な片寄りがないよう、埋設設備1基ごとの放射エネルギーが総放射エネルギーの2/16倍を超えないこと、かつ東西方向埋設設備2群ごとの放射エネルギーが総放射エネルギーの1/4倍を超えないように定置する。埋設設備の最上段(9段目)に定置する廃棄体は、公衆及び放射線業務従事者の放射線防護の観点から表面線量当量率が2mSv/hを超えないものとする。

また、以下の措置を講ずる。

- ・埋設設備区画内への雨水等の浸入を防止するとともに外周仕切設備、内部仕切設備等の点検を随時行う。
- ・爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質及びその他の危険物は埋設しない。
- ・廃棄体定置後は速やかにコンクリート仮蓋を設置する。

(ii) 充填材充填

廃棄体を区画内に所定数量定置後、コンクリート仮蓋を設置した状態で、埋設設備の区画内に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。

(iii) 覆い設置

充填材の充填後、埋設設備の区画上部のコンクリート仮蓋を取り外し、充填材上部にポーラスコンクリート層を、その上部に覆いをそれぞれ設置する。

(iv) 覆土

埋設設備の覆い設置が終了した後、埋設設備の上面及び側面は、土砂等を締め固めながら覆土を行う。

(4) 廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理の計画

廃棄物埋設地には、廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理(以下「段階管理」という。)を確実にを行うため、「事業規則」に基づいて埋設保全区域を設定し、放射性廃棄物の種類、埋設を開始した日及び埋設を終了した日並びに保安のための注意事項を表示した立札を設置して、保全のための措置を講ずる。また、「原子炉等規制法」に基づいて保全の措置の終了時期を設定するとともに、放射線防護の観点から敷地内の居住を禁止し、放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を行う。

放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置とは、本施設において、公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低く抑えるため、埋設した廃棄体の放射能が時間の経過に伴って低減することによって、放射性物質の生活環境に及ぼす影響が安全上支障のない状態になるまで、廃棄物埋設地に設置したバリアの施工状況や放射能の減衰に応じ、廃棄物埋設地を段階的に管理することをいう。

また、「事業規則」に基づいて実施する定期的な評価等では、本施設の廃止措置の認可を受ける日までの10年を超えない期間ごと及び放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を変更しようとするときに、最新の技術的知見を踏まえて、核燃料物質等による放射線の被ばく管理に関する評価を行う。

本施設では、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

る必要のある埋設の終了時期を覆土完了時点とする。

(i) 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

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、人工バリアにより埋設設備から放射性物質の漏出を防止する段階である。

また、この段階では周辺監視区域境界付近における外部放射線に係る線量の監視及び測定、本施設の巡視及び点検並びに排水・監視設備により排水した水の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により放射性物質の漏えいのないことを確認する。

この段階の終了予定時期は、埋設設備の設置、充填材充填、覆い設置及び覆土施工の期間を考慮し、埋設開始以降 30 年以内とする。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を設定する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 排水・監視設備からの排水中における放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により、埋設設備外への放射性物質の漏えいがないことを監視し、埋設設備からの放射性物質の異常な漏えいがあったと認められる場合には、速やかに埋設設備の修復又はその他の放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、覆土施工中は必要に応じて覆土を修復する。
- e. 排水・監視設備により排水を行う。
- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの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。)、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(以下「移行抑制機能」という。)並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその地下水の状況等を監視及び測定し、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(ii) 廃棄物埋設地の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の間は、人工バリア及び天然バリアにより、

廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制を行う段階である。

また、この段階では公衆の敷地内への立入りは許容するが、放射線防護の観点から沢水の利用の禁止及び地表面の掘削の制約を行う。

この段階の終了予定時期は、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時期とし、敷地内の他の廃棄物埋設地の保全措置の終了時期を踏まえ、本施設の覆土完了後 300 年とする。

ここで「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、廃止措置の開始後の評価において、自然事象シナリオのうち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、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シナリオであっても評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮した人為事象シナリオにおいて評価される公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないことをいう。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を継続して設定する。設定した周辺監視区域は、本施設の覆土完了及び管理建屋の供用終了後に廃止する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えい状況を監視し、異常な漏えいがあったと認められる場合には、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、必要に応じて覆土を修復する。
- e. 周辺監視区域廃止後は、公衆が敷地内へ立ち入る可能性があるため、放射線防護の観点から沢水の利用を禁止し、地表面の掘削を制約する。また、周辺環境における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放

放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定し、公衆の受ける線量が、「線量告示」に定められた周辺監視区域外の線量限度以下であることを確認する。

なお、地下水中の放射性物質の濃度の監視及び測定においては、地下水採取孔から地下水を定期的に採取して、地下水中の放射性物質の濃度を測定し、「線量告示」に示されている周辺監視区域外における水中の濃度限度以下であることを確認する。

- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの移行抑制機能並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその周囲の状況を監視及び測定する。また、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(5) 埋設保全区域

「事業規則」に基づき、廃棄物埋設地の保全のために、特に管理を必要とする場所であって、管理区域以外のものを埋設保全区域として定める。埋設保全区域は、廃棄物埋設地を含み、放射性物質の漏出の防止、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制のために保全を行う必要のある区域とする。

なお、埋設保全区域を明らかに他の場所と区別するために、標識を設ける等の措置を講ずる。

6. 廃棄物埋設(3号廃棄物埋設施設)

3号廃棄物埋設地の設計及び評価の前提となる、廃棄物や埋設の方法等について以下に述べる。

(1) 埋設する廃棄物

廃棄物埋設を行う放射性廃棄物で容器に固型化したもの(以下「廃棄物」という。)の種類は、実用発電用原子炉(沸騰水型原子炉及び加圧水型原子炉)の運転に伴い発生する固体状の放射性廃棄物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で、セメント系充填材で一体となるように固型化したものである。固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で一体となるように固型化したものを「充填固化体」という。

これらの放射性廃棄物は、「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り、本施設における受入れ上の要件も踏まえ、以下の仕様を満たすものである⁽¹⁾。

(i) 固型化する方法

a. 固型化材料

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

b. 容器

容器は、JIS Z 1600(1993)に定める金属製容器(1種、H級)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。

c. 充填方法

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

d. 廃棄物の分別・処理方法

廃棄物を分別し、セメント系充填材が容器の内部に充填され易くなるように、必要に応じて、廃棄物の切断、圧縮、小型混練固化、高圧圧縮又は熔融処理したものであること。

なお、安全機能への影響を低減するため、焼却可能な可燃物は除去し、大半が

アルミニウムで構成されている製品は除去又は鉄と熔融処理し、鉛製品は除去したものであること。

(ii) 表面密度限度

廃棄体の表面密度が、アルファ線を放出する放射性物質は $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、アルファ線を放出しない放射性物質は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ を超えないものであること。

(iii) 健全性を損なうおそれのある物質

廃棄物埋設地に定置するまでの間に、廃棄体に含まれる物質により廃棄体の健全性を損なうおそれのないものであること。

(iv) 耐埋設荷重

覆土完了までの間において、受けるおそれのある荷重に耐える強度を有するものであること。

(v) 落下により飛散又は漏えいする放射性物質の量

廃棄物埋設地に定置するまでの間において、想定される最大の高さからの落下による衝撃により飛散又は漏えいする放射性物質の量が極めて少ないものであること。

(vi) 廃棄物発生からの経過期間

半減期の短い放射性物質による線量寄与を低減する観点から、受入れ時においてこれらの廃棄体に含まれる放射性物質は実用発電用原子炉で発生後 6 ヶ月以上経過したものであること。ただし、本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物には経過期間の条件を設けない。

(vii) 廃棄体の表面線量当量率

$10\text{mSv}/\text{h}$ を超えないものであること。

(viii) 廃棄体の重量

1 本当たり $1,000\text{kg}$ を超えないものであること。

(2) 主要な放射性物質の種類

埋設を行う放射性廃棄物は、実用発電用原子炉の運転に伴って発生する放射性廃棄物及び本施設の操業に伴って付随的に発生する放射性廃棄物であり、主要な放射性物質の種類は以下のとおりとする。

H-3、C-14、Co-60、Ni-59、Ni-63、Sr-90、Nb-94、Tc-99、I-129、Cs-137、アルファ線を放出する放射性物質

(3) 廃棄物埋設の方法

廃棄物埋設は、廃棄物埋設地において、廃棄体定置、充填材充填、覆い設置及び覆土の順でそれぞれ以下のとおり行う。

なお、これらの作業は、公衆及び放射線業務従事者の受ける直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量が低くなるよう配慮しながら行う。

(i) 廃棄体定置

廃棄体は、管理建屋から廃棄物埋設地に構内廃棄体輸送車両により運搬する。廃棄体の定置前には、廃棄体を定置しようとする埋設設備の区画内の排水、危険物等の有無の確認を行う。廃棄体は、埋設設備の区画内に、専用の吊具を取り付けた埋設クレーンにより、8本を取扱単位として定置する。定置は、俵積み方式とし、1区画当たり8行、5列、10段積みの計400本を標準的な1日作業単位とする。

廃棄体の定置に当たっては、放射能濃度に極端な片寄りがないよう、埋設設備1基ごとの放射エネルギーが総放射エネルギーの2/8倍を超えないこと、かつ東西方向埋設設備2基ごとの放射エネルギーが総放射エネルギーの1/4倍を超えないように定置する。埋設設備の最上段(10段目)に定置する廃棄体は、公衆及び放射線業務従事者の放射線防護の観点から表面線量当量率が0.3mSv/hを超えないものとする。埋設設備の外周仕切設備の近傍に定置する廃棄体は、表面線量当量率が2mSv/hを超えないものとする。

また、以下の措置を講ずる。

- ・埋設設備区画内への雨水等の浸入を防止するとともに外周仕切設備、内部仕切設備等の点検を随時行う。
- ・爆発性の物質、他の物質を著しく腐食させる物質及びその他の危険物は埋設しない。
- ・廃棄体定置後は速やかにコンクリート仮蓋を設置する。

(ii) 充填材充填

廃棄体を区画内に所定数量定置後、コンクリート仮蓋を設置した状態で、埋設

設備の区画内に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。

(iii) 覆い設置

充填材の充填後、埋設設備の区画上部のコンクリート仮蓋を取り外し、充填材上部にポーラスコンクリート層を、その上部に覆いをそれぞれ設置する。

(iv) 覆土

埋設設備の覆い設置が終了した後、埋設設備の上面及び側面は、土砂等を締め固めながら覆土を行う。

(4) 廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理の計画

廃棄物埋設地には、廃止措置の開始までの段階的な長期間の管理(以下「段階管理」という。)を確実にを行うため、「事業規則」に基づいて埋設保全区域を設定し、放射性廃棄物の種類、埋設を開始した日及び埋設を終了した日並びに保安のための注意事項を表示した立札を設置して、保全のための措置を講ずる。また、「原子炉等規制法」に基づいて保全の措置の終了時期を設定するとともに、放射線防護の観点から敷地内の居住を禁止し、放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を行う。

放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置とは、本施設において、公衆の受ける線量を合理的に達成できる限り低く抑えるため、埋設した廃棄体の放射能が時間の経過に伴って低減することによって、放射性物質の生活環境に及ぼす影響が安全上支障のない状態になるまで、廃棄物埋設地に設置したバリアの施工状況や放射能の減衰に応じ、廃棄物埋設地を段階的に管理することをいう。

また、「事業規則」に基づいて実施する定期的な評価等では、本施設の廃止措置の認可を受ける日までの10年を超えない期間ごと及び放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を変更しようとするときに、最新の技術的知見を踏まえて、核燃料物質等による放射線の被ばく管理に関する評価を行う。

本施設では、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のある埋設の終了時期を覆土完了時点とする。

(i) 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

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、人工バリアにより埋設設備から放射性物質の漏出を防止する段階である。

また、この段階では周辺監視区域境界付近における外部放射線に係る線量の監視及び測定、本施設の巡視及び点検並びに排水・監視設備により排水した水の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により放射性物質の漏えいのないことを確認する。

この段階の終了予定時期は、埋設設備の設置、充填材充填、覆い設置及び覆土施工の期間を考慮し、埋設開始以降 27 年以内とする。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を設定する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 排水・監視設備からの排水中における放射性物質の濃度及び必要に応じて線量の測定により、埋設設備外への放射性物質の漏えいがないことを監視し、埋設設備からの放射性物質の異常な漏えいがあったと認められる場合には、速やかに埋設設備の修復又はその他の放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、覆土施工中は必要に応じて覆土を修復する。
- e. 排水・監視設備により排水を行う。
- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの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。)、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(以下「移行抑制機能」という。)並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその地下水の状況等を監視及び測定し、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(ii) 廃棄物埋設地の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の間は、人工バリア及び天然バリアにより、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制を行う段階である。

また、この段階では公衆の敷地内への立入りは許容するが、放射線防護の観点から沢水の利用の禁止及び地表面の掘削の制約を行う。

この段階の終了予定時期は、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時期とし、敷地内の他の廃棄物埋設地の保全措置の終了時期を踏まえ、本施設の覆土完了後 300 年とする。

ここで「廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態」とは、廃止措置の開始後の評価において、自然事象シナリオのうち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、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シナリオであっても評価される公衆の受ける線量が $300 \mu\text{Sv/y}$ を超えないこと、自然事象シナリオ以外の廃棄物埋設地の掘削による放射性物質の廃棄物埋設地からの漏えい、天然バリア中の移行及び当該掘削後の土地利用を考慮した人為事象シナリオにおいて評価される公衆の受ける線量が 1mSv/y を超えないことをいう。

この段階における保安のために必要な措置は、以下のとおりである。

- a. 周辺監視区域及び埋設保全区域を継続して設定する。設定した周辺監視区域は、本施設の覆土完了及び管理建屋の供用終了後に廃止する。
- b. 周辺監視区域境界付近における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定する。
- c. 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えい状況を監視し、異常な漏えいがあったと認められる場合には、放射性物質の異常な漏えいを防止するために必要な措置を講ずる。
- d. 本施設の巡視及び点検を行い、必要に応じて覆土を修復する。
- e. 周辺監視区域廃止後は、公衆が敷地内へ立ち入る可能性があるため、放射線防護の観点から沢水の利用を禁止し、地表面の掘削を制約する。また、周辺環境における直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線の放射線量及び地下水中の放射性物質の濃度及び必要に応じて線量を監視及び測定し、公衆の受ける線量が、「線量告示」に定められた周辺監視区域外の線量限度以下であることを確認

する。

なお、地下水中の放射性物質の濃度の監視及び測定においては、地下水採取孔から地下水を定期的に採取して、地下水中の放射性物質の濃度を測定し、「線量告示」に示されている周辺監視区域外における水中の濃度限度以下であることを確認する。

- f. 定期的な評価等に必要データを取得するため、人工バリア及び天然バリアの移行抑制機能並びに移行抑制機能に影響を及ぼす廃棄物埋設地及びその周囲の状況を監視及び測定する。また、必要に応じて廃棄物埋設地の保全のための措置を講ずる。

(5) 埋設保全区域

「事業規則」に基づき、廃棄物埋設地の保全のために、特に管理を必要とする場所であって、管理区域以外のものを埋設保全区域として定める。埋設保全区域は、廃棄物埋設地を含み、放射性物質の漏出の防止、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の低減及び生活環境への移行の抑制のために保全を行う必要のある区域とする。

なお、埋設保全区域を明らかに他の場所と区別するために、標識を設ける等の措置を講ずる。

参考文献

- (1) 北海道電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、中部電力株式会社、北陸電力株式会社、関西電力株式会社、中国電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社(2019)：充填固化体の標準的な製作方法
- (2) 日本原燃株式会社(平成 23 年)：日本原燃(株)六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける低レベル放射性廃棄物の線量評価と今後の対応について

技術要件における考え方

目 次

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

参考資料 1 3号埋設設備の構造設計について

参考資料 2 構造設計において想定する自然現象の選定について

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)
スランプフロー*1 (mm)	700	650	600
500 mm フロー到達時間の範囲*2 (秒)	5~20	3~15	3~15
V ₅ 漏斗またはO漏斗の流下時間の範囲*2 (秒)	9~20	7~13	4~11

*1 過去の実績におけるスラン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。

荷重として想定する自然現象の選定については、参考資料 2「構造設計において想定する自然現象の選定について」にて説明する。

(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/mm^2 を前提として検討を実施した。

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

4. 埋設設備及び排水・監視設備の耐久性

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

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

したがって、耐久性照査の対象を中性化、塩害及び凍害とする。

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

第3表 外周仕切設備及び覆いの配合例

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

*1：石灰石微粉末

*2：陸砂と砕砂の混合品

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

(1) 中性化

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

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

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

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

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

第4表 供用期間及び耐用年数

供用期間	27年
耐用年数 t	30年

第5表 中性化深さの設計値

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

第 6 表 鋼材腐食発生限界深さ

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

第 7 表 中性化の照査

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

γ_i : 構造物係数(1.0:健全性評価のため)

y_{lim} : 鋼材腐食発生限界深さ(mm)

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

y_d : 中性化深さの設計値(mm)

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

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

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

W/B : 有効水結合材比

フライアッシュ使用の場合: 単位水量/ポルトランドセメント量

β_e : 環境作用の程度を表す係数(1.6:乾燥しやすい環境)

γ_c : コンクリートの材料係数(覆い上面 1.3、外壁 1.0)

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

t : 中性化に対する耐用年数(供用期間に対し保守的に設定)

(2) 塩害

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

外部から塩害の影響を受けない環境であり、埋設設備に対して塩害の影響はない。

(参考)

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

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

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

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

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

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

第 9 表 鋼材腐食発生限界濃度

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

C_{lim} : 鋼材腐食発生限界濃度 (kg/m³)

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

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

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

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

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

第 10 表 塩害の照査

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

(3) 凍害

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

(i) 内部損傷

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

う。

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

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

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

第 11 表 凍結融解試験における相対動弾性係数の設計値 E_d

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

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

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

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

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

第 14 表 内部損傷の照査

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

(ii) 表面損傷(スケーリング)

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

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

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

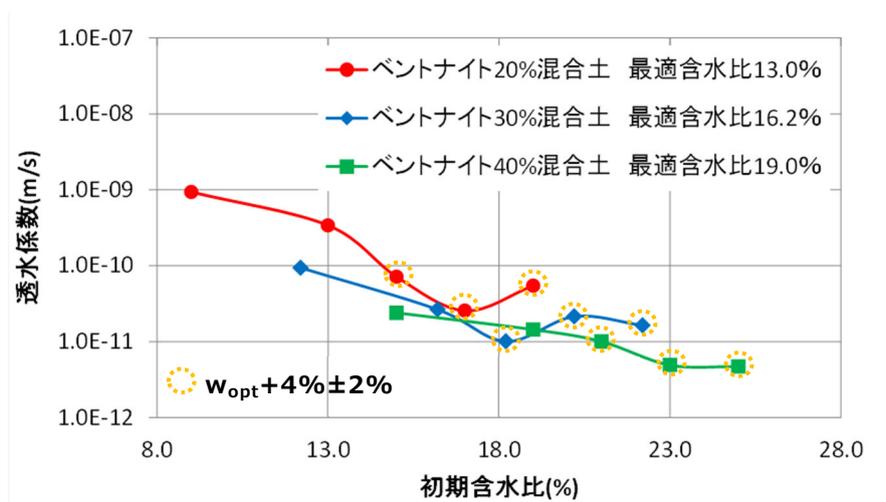
5. 埋設設備各部位の厚さ

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

6. 覆土の低透水性

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

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



第2図 ベントナイト混合率ごとの含水比と透水係数の関係

7. 覆土の液状化抵抗性

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

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

廃棄物埋設地においても、覆土施工における管理値を同等以上に設定する。

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

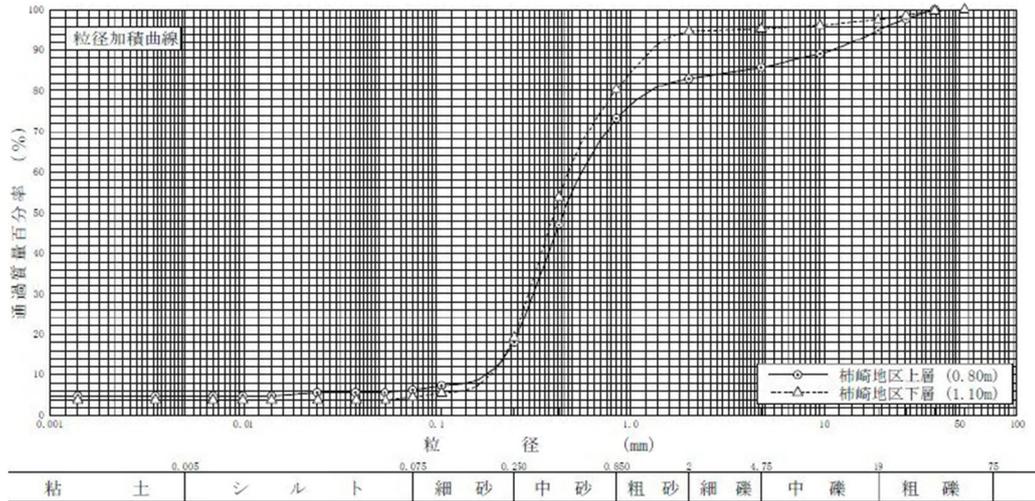
廃棄物埋設地で発生すると考えられる地震は、「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）、補足説明資料 1 地質環境に係る長期変動事象 3. (1) (ii) a. 地震」より震度 5 強を超えないため、過去事例における締固めによる対策を実施した箇所で発生した地震より小さい。

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する。

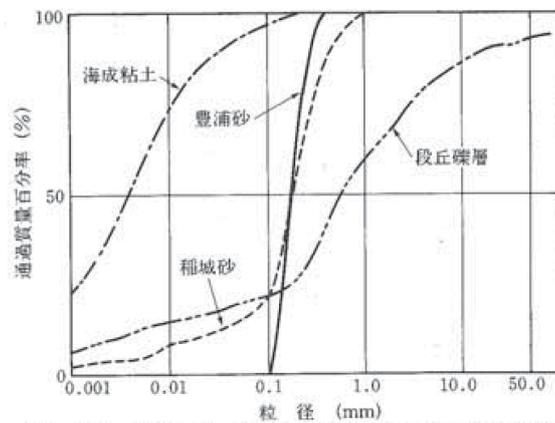
なお、「許可基準規則解釈第 10 条第 1 項に関する補足説明、添付資料 3、1. 覆土の施工実現性」で参照している河川土工マニュアル⁽⁷⁾は大雨に伴う洪水に対する土構造物の低透水性及び耐久性に着目しているため、地震に対する土構造物の液状化判定について詳述はないことから、力学特性として地震時安定性照査が示されている道路土工⁽⁵⁾及び道路橋示方書⁽⁶⁾を液状化判定の参考とした。

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

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



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



第4図 代表的な土の粒径加積曲線の例⁽⁸⁾

参考文献

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

3 号埋設設備の構造設計について

目 次

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

1. はじめに

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

2. 漏出防止設計の基本方針

(1) 基本方針

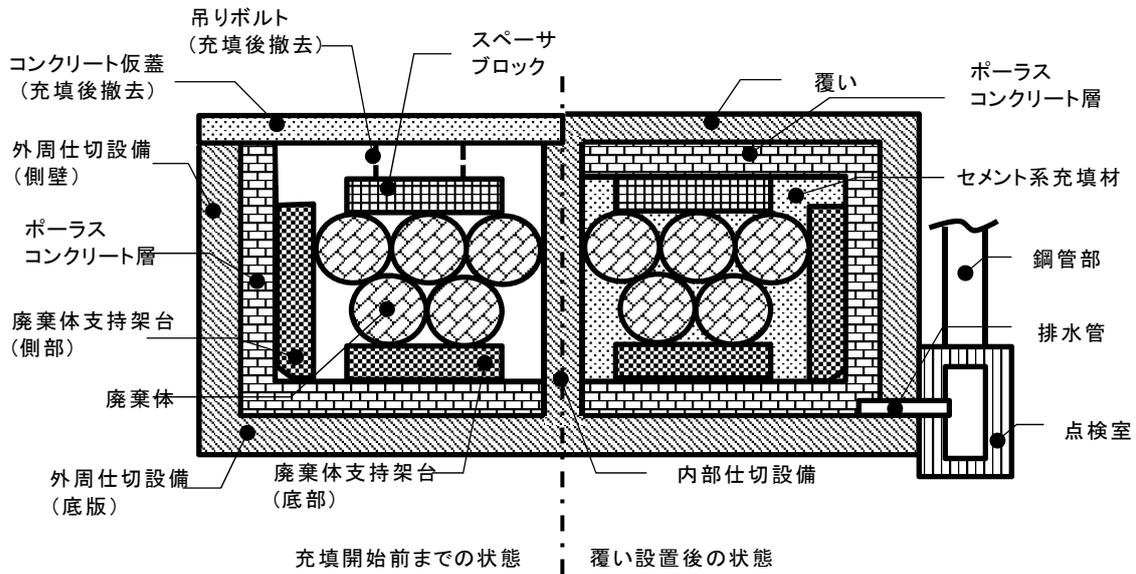
埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間において、廃棄物埋設地の限定された区域(埋設設備)からの放射性物質の漏出を防止する機能を有する設計とする。

(2) 設備の概要

埋設設備の概要図を第1図に示す。

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

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



第 1 図 埋設設備概要図

(3) 準拠する指針類

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

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

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

ている。

3. 埋設設備の設計

(1) 設計方針

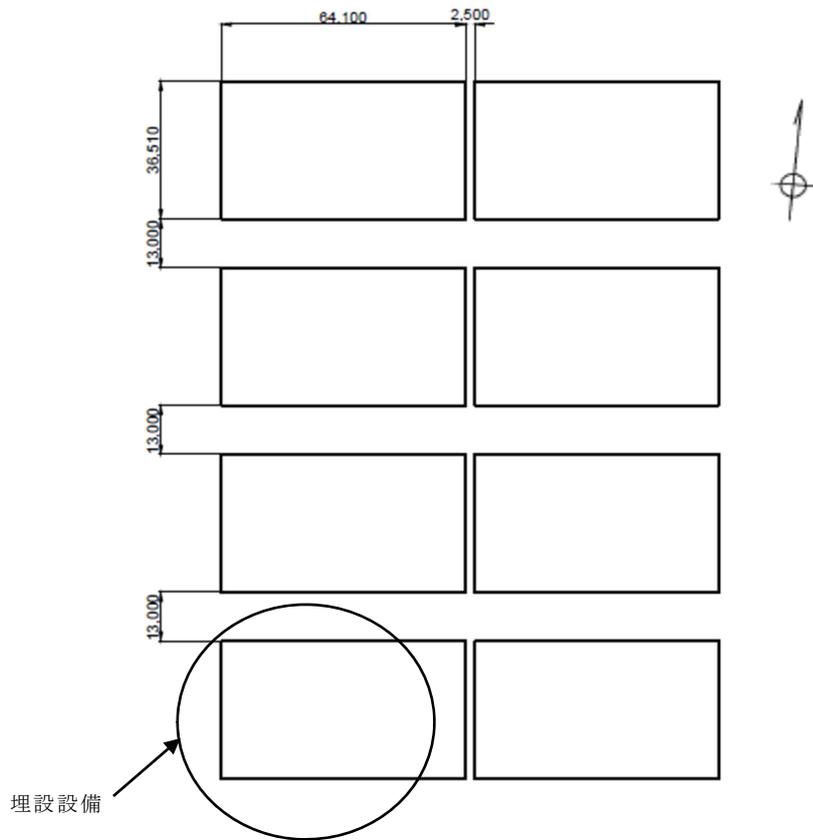
埋設設備の作業中の主な状態について、ピットの構造部位ごとに構造と荷重状態を想定し、許容応力度法による照査で構造安定性を確認する。

(2) 計算モデル

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

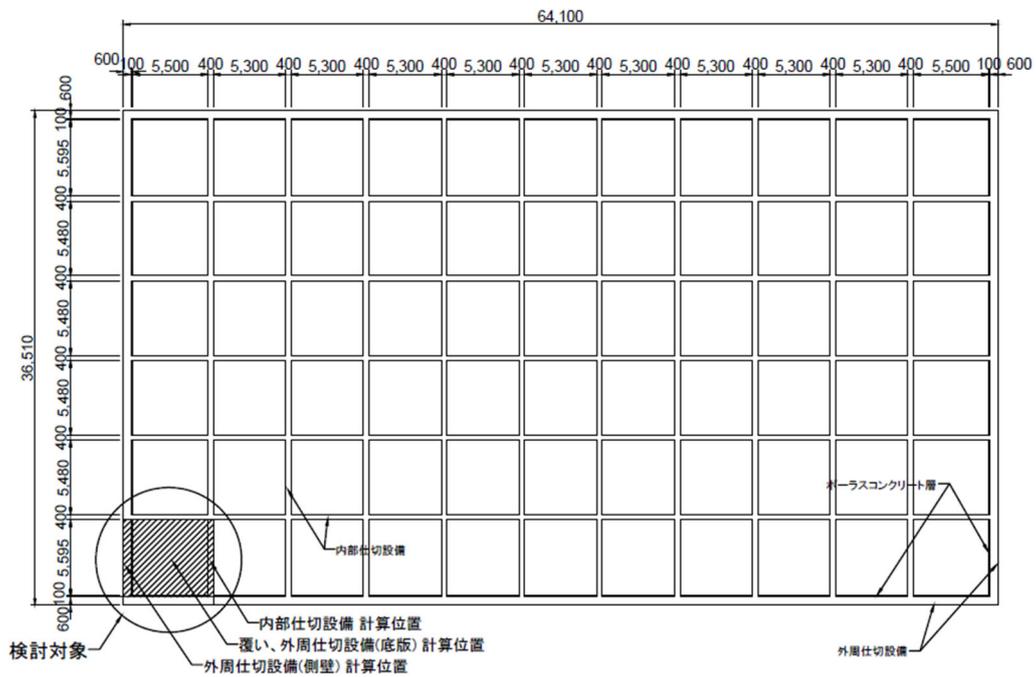
また、排水・監視設備として、外周仕切設備及び覆いとホワイトゾーンとの間に十分な集水機能を有する厚さ100mmのポーラスコンクリート層を設置する。

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

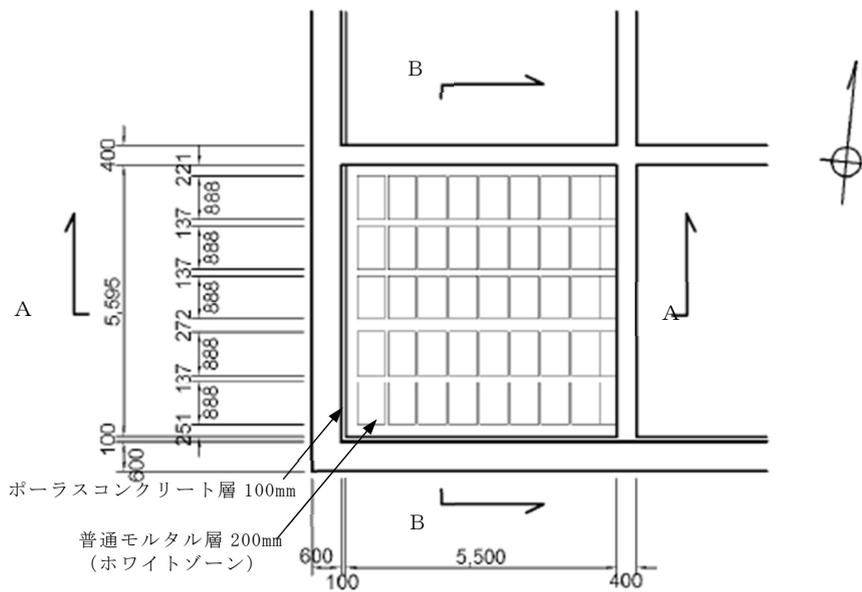


(a) 埋設設備平面図

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図(1/3)

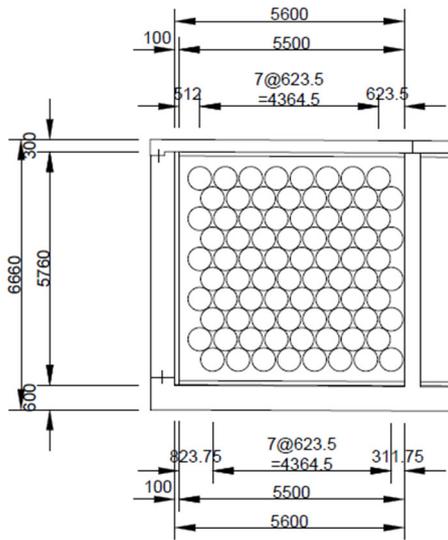


(b) 埋設設備拡大平面図

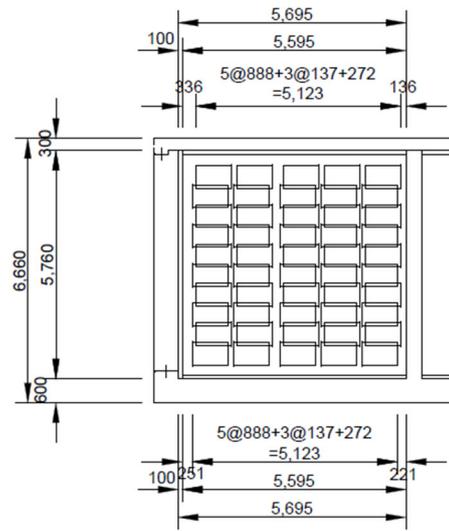


(c) 検討対象平面図

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図 (2/3)



(d) A-A 断面図（東西方向）



(e) B-B 断面図（南北方向）

第 2 図 検討対象区画の平面図・断面図 (3/3)

(3) 照査ケース

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

埋設設備の状態については、施設の作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

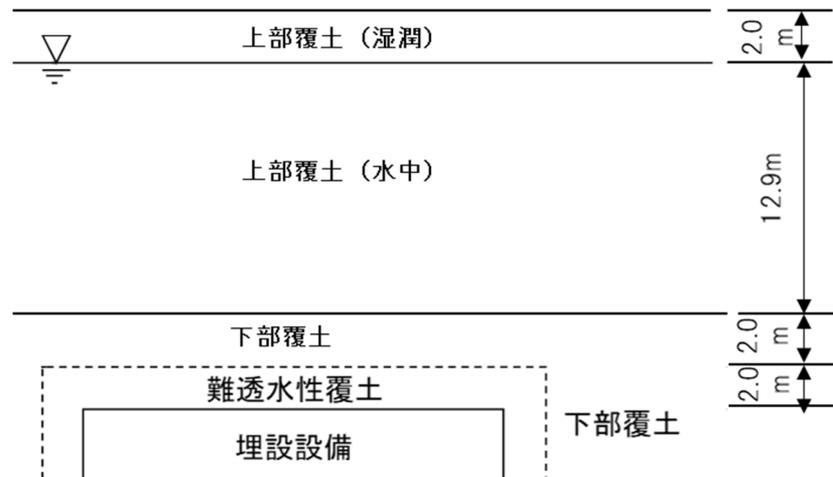
部材	応力度の種類		許容応力度 (N/mm ²)	備考
コンクリート 設計基準強度 24.6N/mm ²	曲げ	長期	9.20	*1
		短期	13.8	*1
	せん断	長期	0.455	*1
		短期	0.683	*1
鉄筋 SD345	引張	長期	196	
		短期	294	

*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

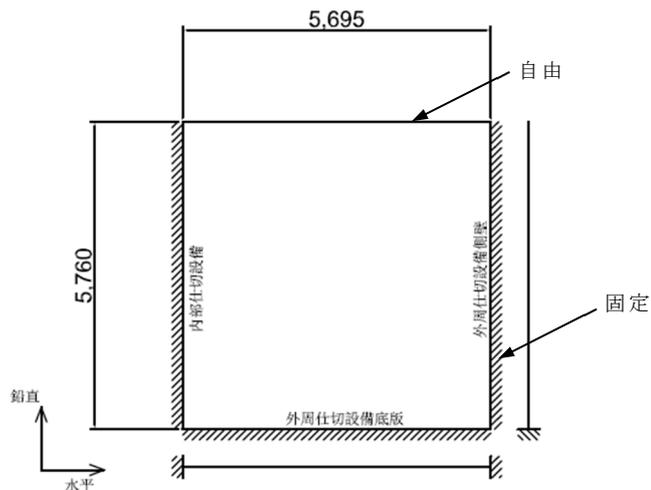
外周仕切設備側壁は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3辺固定1辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

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) 外周仕切設備底版

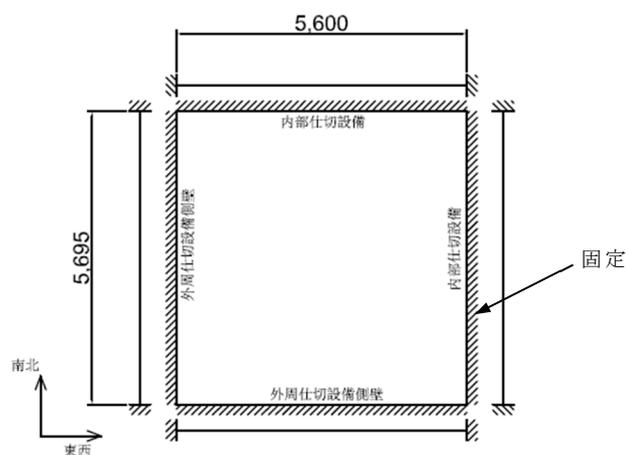
外周仕切設備底版は、埋設設備の自重、廃棄体及び充填モルタル等に対する地盤反力を考慮し、4 辺固定スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

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

第 5 表 外周仕切設備底版の検討ケース

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

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



第 5 図 外周仕切設備底版の解析モデル

(iii) 内部仕切設備

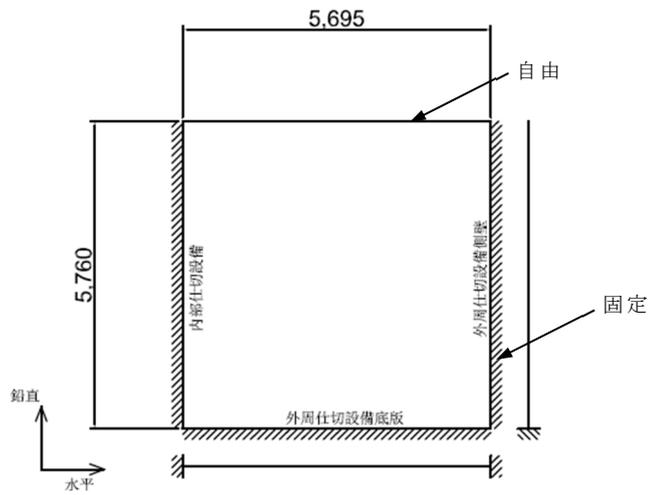
内部仕切設備は、廃棄体及びモルタル充填時の側圧等を考慮し、3 辺固定 1 辺自由スラブとして断面力を算出後、許容応力度法により照査する。

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

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

第 6 表 内部仕切設備の検討ケース

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



第 6 図 内部仕切設備の解析モデル

(iv) 埋設設備全体

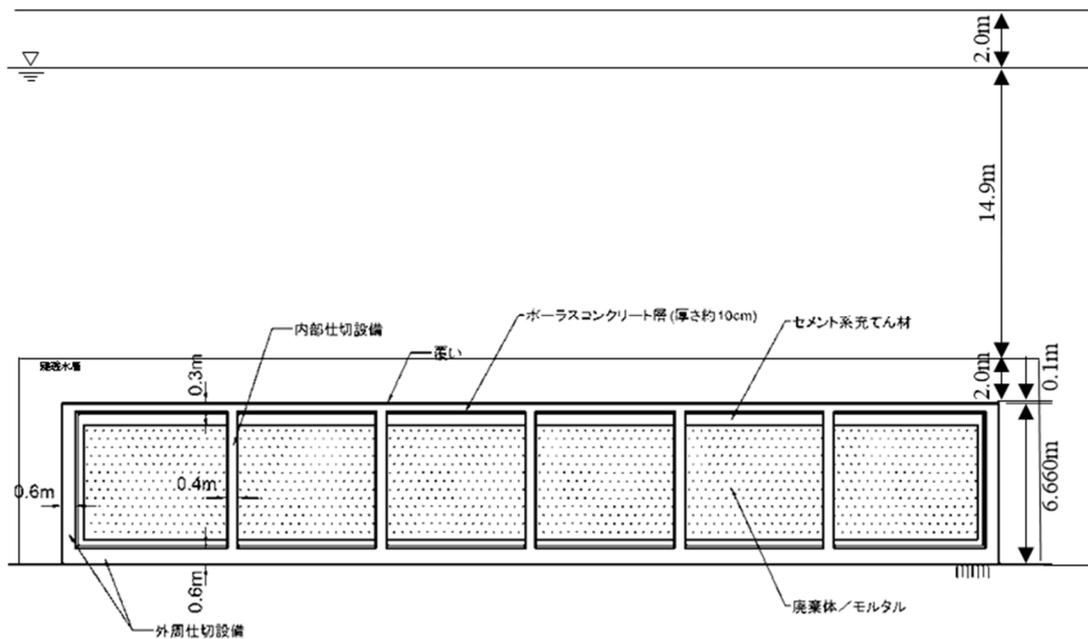
埋設設備全体は、外周仕切設備側壁、外周仕切設備底版、内部仕切設備、覆い、充填モルタルの層、ポーラスコンクリート層、廃棄体から成る埋設設備をモデル化し、モデル化する境界条件は設備の底面に地盤バネを配置し、常時と地震時に埋設設備に発生する応力を2次元FEM解析で評価する。なお、設計水平震度khは0.2とする。

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

第7表 埋設設備全体の検討ケース

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

*1：覆土後の荷重状態の方が覆土前より厳しいため、覆土前の検討を省略する。



第 7 図 解析対象断面図

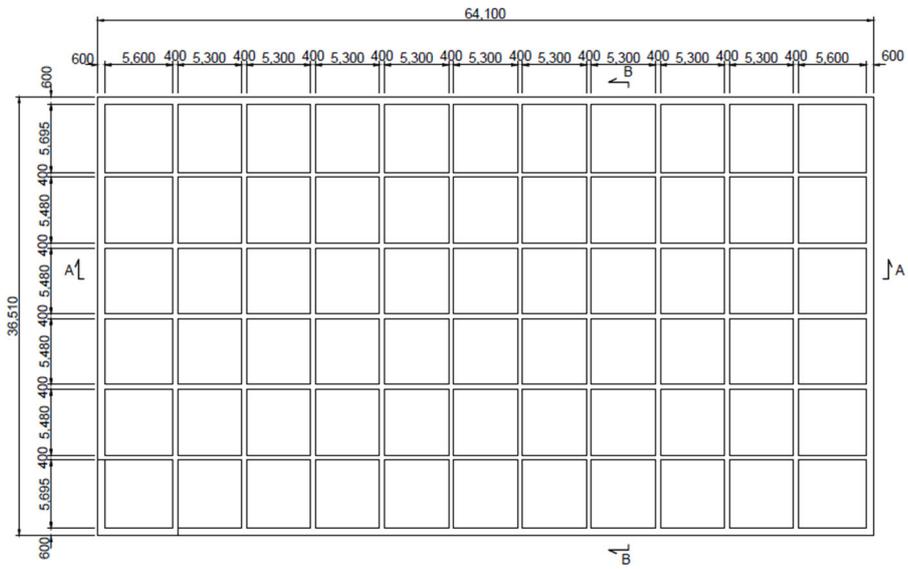
(7) 計算結果

(i) 計算結果

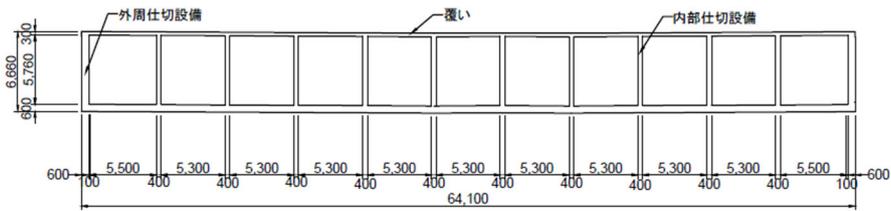
外周仕切設備、内部仕切設備、覆いの構造については、検討位置の鉛直方向及び水平方向に対して外側、内側に発生する応力度が、常時及び地震時において、曲げ圧縮、せん断、引張の各許容応力度以下であることを確認し、構造上の安定性を有する構造とする。

(ii) 埋設設備の構造

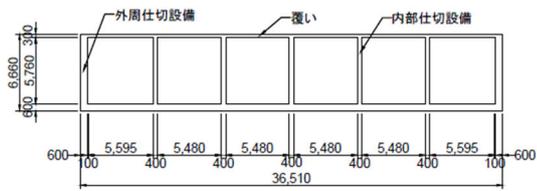
計算結果に基づき、埋設設備の構造図を第 8 図に示す。



(a) 埋設設備平面図



(b) 埋設設備 A-A 断面図



(c) 埋設設備 B-B 断面図

第 8 図 埋設設備構造図

構造設計において想定する
自然現象の選定について

目 次

1. 選定の基本方針	1
2. 自然現象の選定	1
3. 選定した自然現象に対する設計方針.....	1
4. 自然現象の重畳	1
(1) 重畳の組合せの検討.....	1
(2) 荷重の組合せについて.....	2

1. 選定の基本方針

埋設設備は、覆土完了までの漏出防止機能及び遮蔽機能を確保するために、力学的安定性を有する設計としている。その際の構造設計において荷重として考慮する自然現象を選定する。

2. 自然現象の選定

「第六条 外部からの衝撃による損傷の防止」において網羅的に抽出された70の自然現象のうち、地震を除いて、埋設設備に作用する荷重として考慮する自然現象は以下の4つの現象である。

- ・火山の影響
- ・風(台風)
- ・積雪
- ・竜巻

なお、ここで選定した4つの現象は、「第六条 外部からの衝撃による損傷の防止」における「安全機能に大きな影響を及ぼすおそれのある自然現象」ではないが、構造設計において荷重を及ぼす自然現象として選定することで、十条一、三号における「合理的かつ利用可能な最善の建設・施工技術」及び「劣化・損傷に対する抵抗性」に対応した設計とする。

3. 選定した自然現象に対する設計方針

上記で選定した自然現象について設計方針を示す。

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。

- ・火山の影響については、想定される降下火砕物の荷重に対して、漏出防止機能及び遮蔽機能を損なわない設計とする。具体的には、降下火砕物シミュレーション結果及び密度試験結果を考慮した結果としての7.0kN/m²を踏まえて設計する。
- ・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、漏出防止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、漏出防止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。

4. 自然現象の重畳

(1) 重畳の組合せの検討

選定した自然現象(4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、②いずれかの事象に代表される組合せを除外し、①、②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1表に示す。

第1表 重畳を考慮する自然現象の組合せ

	風(台風)	竜巻	降下火砕物	積雪
風(台風)				
竜巻	②			
降下火砕物	○	①		
積雪	○	○	○	

○：重畳を考慮する

①：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

②：いずれかの事象に代表される組合せ

(2) 荷重の組合せについて

重畳を考慮する自然現象については第2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3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合せと値を具体的に設定する。

第2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3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

$$190\text{cm} \times 30\text{N/m}^2/\text{cm} = 5.7\text{kN/m}^2$$

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

$$67\text{cm} \times 30\text{N/m}^2/\text{cm} = 2.0\text{kN/m}^2$$

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

$$20\text{cm} \times 1.3\text{g/cm}^3 = 2.6\text{kN/m}^2$$

火山の影響について

目 次

1. 火山の影響に係る検討の基本方針	1
2. 調査及び検討内容	1
(1) 文献調査	1
(2) 地形調査	2
(3) 地質調査	2
(4) 火山学的調査	2
(5) 地球物理学的調査	2
3. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の抽出	3
(1) 完新世に活動を行った火山	3
(2) 完新世に活動を行っていない火山	3
(3) 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山	4
4. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の火山活動に関する個別評価	11
(1) 詳細調査対象火山の抽出	11
(2) 十和田	16
(3) 八甲田山	47
(4) まとめ	66
5. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の火山活動に関する個別評価	66
(1) 降下火砕物	67
(2) その他の火山事象	83
6. 設計上考慮する降下火砕物に対する防護設計	85
(1) 放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了まで	85
(2) 覆土完了から廃止措置の開始まで	85
(3) 降灰に対する対応	85
7. 参考文献	87

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. 火山の影響に係る検討の基本方針

火山の影響については、「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。）及び当社再処理施設における火山の影響評価（「日本原燃株式会社再処理事業所再処理事業変更許可申請書」（令和 2 年 7 月 29 日付け許可 原規規発第 2007292 号））を参考に、廃棄物埋設地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。

評価は、立地評価と影響評価の 2 段階で行う。

立地評価では、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山を抽出し、設計対応不可能な火山事象が廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性について評価を行う。廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山のうち、設計対応不可能な火山事象の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれ、過去に巨大噴火が発生した火山については、「巨大噴火の可能性評価」を行った上で、「最後の巨大噴火以降の火山活動の評価」を行う。

影響評価では、廃棄物埋設地の安全性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、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漏出防止機能及び遮蔽機能を、覆土完了から廃止措置の開始までの間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. 調査及び検討内容

(1) 文献調査

第四紀に活動した火山（以下「第四紀火山」という。）のうち、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山を抽出し、立地評価及び影響評価を行うことを目的として、第四紀火山について、敷地を中心とする半径 160km の範囲（以下「地理的領域」という。）を対象に文献調査を実施した。

地理的領域内の第四紀火山の文献調査は、年代、活動様式等が網羅的に整理されているカタログを用いた。カタログは、日本の火山（第 3 版）（中野ほか編、2013）⁽¹⁾、日本活火山総覧（第 4 版）（気象庁編、2013）⁽²⁾、第四紀火山岩体・貫入岩体データベース（西来ほか編、2012）⁽³⁾、第四紀噴火・貫入活動データベース（西来ほか編、2014）⁽⁴⁾、日本の第四紀火山カタログ（第四紀火山カタログ委員会編、1999）⁽⁵⁾、1 万年噴火イ

ベントデータ集(産業技術総合研究所地質調査総合センター編、2017)⁽⁶⁾及び各種地質図幅である。また、カタログの引用文献等についても収集し、加えて、海域火山データベース(海上保安庁海洋情報部)⁽⁷⁾、日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図(山元、2015)⁽⁸⁾及び新編 火山灰アトラス(町田・新井、2011)⁽⁹⁾についても文献調査を実施した。さらに、文献収集の更なる網羅性向上のため、補足的に国内外の主な科学技術系論文データベースを用いて、地理的領域内の第四紀火山に関する論文等についても文献調査を実施した。

なお、降下火砕物については、上記文献を用いて、地理的領域外の火山についても文献調査を実施した。

また、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山のうち、設計対応不可能な火山事象の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれる火山については、地球物理学的調査の知見や近い将来の巨大噴火の発生可能性についても文献調査を実施した。

(2) 地形調査

主に国土地理院撮影の空中写真及び同院発行の地形図を使用して空中写真判読を行い、敷地を中心とする半径 30km の範囲及びその周辺地域において、第四紀火山の可能性のある地形の有無を把握した。

(3) 地質調査

地理的領域内の第四紀火山の噴出物を対象に地表踏査等を実施し、敷地を中心とする半径 30km の範囲及びその周辺地域において、噴出物の種類、分布、第四紀火山の活動時期等を把握した。

(4) 火山学的調査

地質調査において確認した降下火砕物及び火砕流堆積物を対象に、堆積物の厚さ、空間分布等を把握した。

(5) 地球物理学的調査

廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山のうち、設計対応不可能な火山事象の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれる火山を対象に、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、現在のマグマ溜まりの状況について把握した。

3. 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、文献調査並びに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、地理的領域内の火山地質図を第 2 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。

敷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ている。敷地は、下北半島南部の太平洋側に位置し、この位置は火山フロントの前弧側(東方)にある。

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抽出した。

(1) 完新世に活動を行った火山

日本の火山(第 3 版)(中野ほか編、2013)⁽¹⁾及び日本活火山総覧(第 4 版)(気象庁編、2013)⁽²⁾を参照し、地理的領域内の第四紀火山のうち、完新世に活動を行った火山(以下「活火山」という。)を抽出した。

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)⁽²⁾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)⁽²⁾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。

(2) 完新世に活動を行っていない火山

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、最後の噴火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。

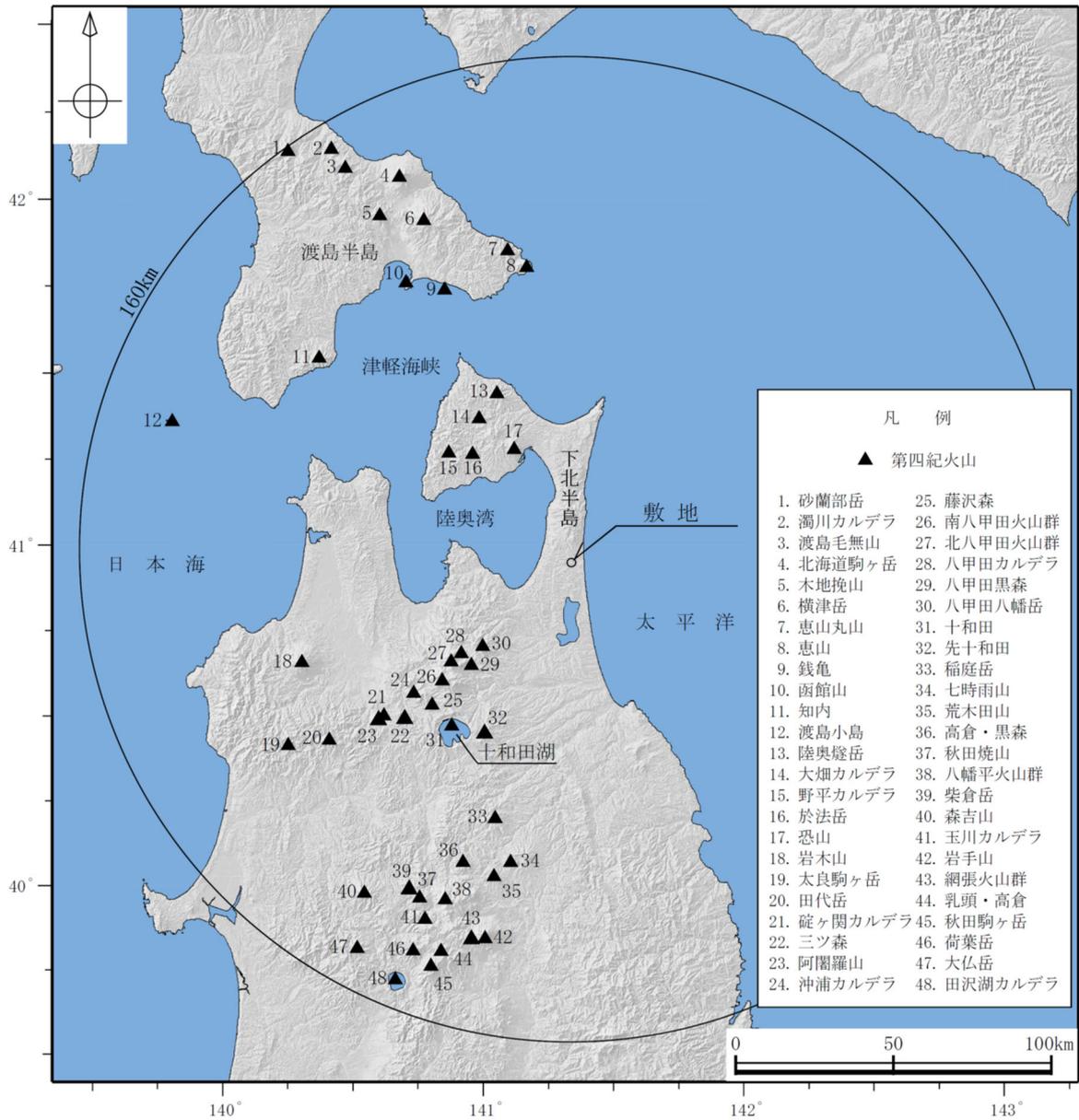
(3) 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山

廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山として、「(1) 完新世に活動を行った火山」及び「(2) 完新世に活動を行っていない火山」より、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 3 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け)	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け)	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

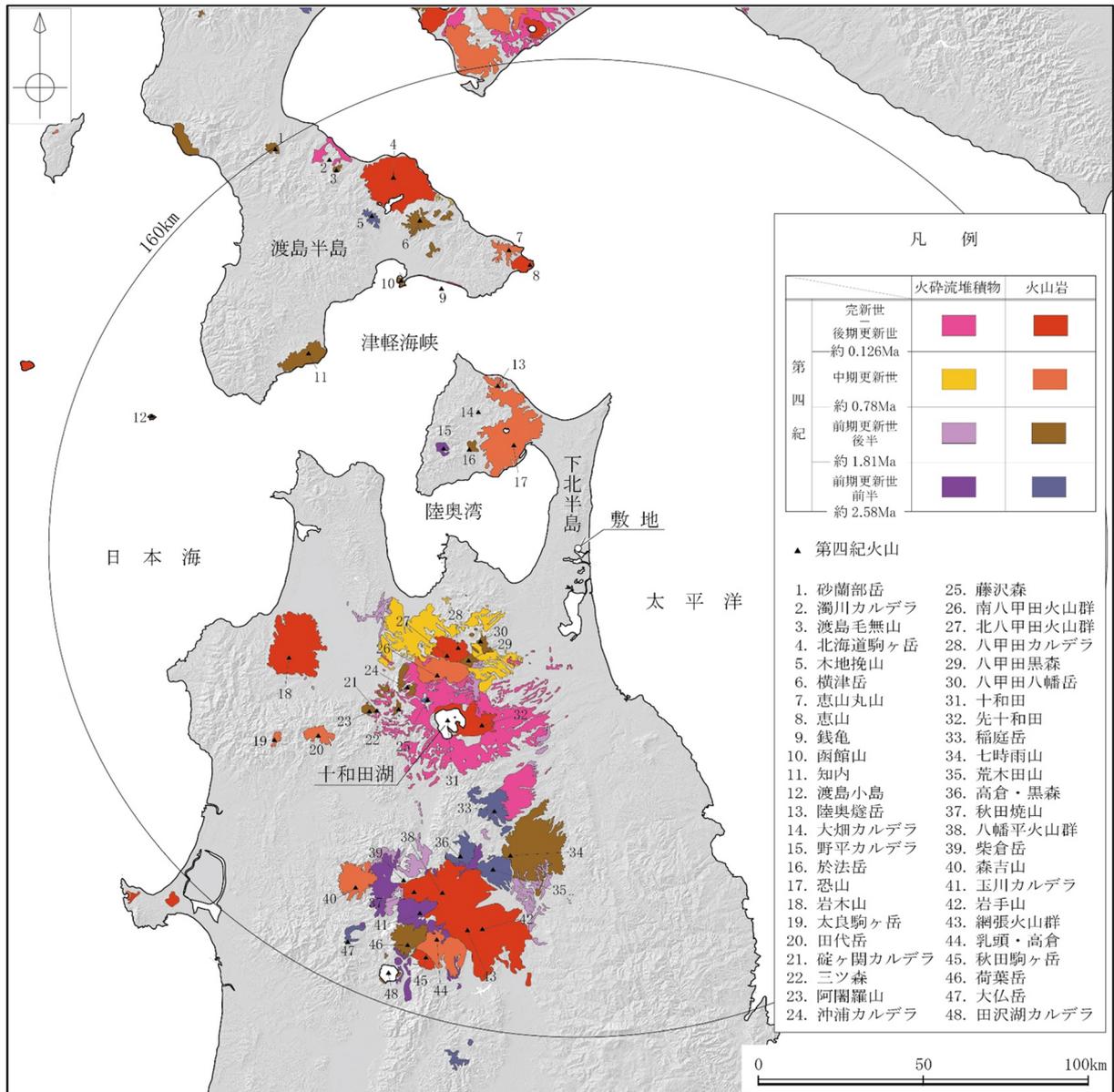
(中野ほか編(2013)⁽¹⁾による。)



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



第2図 地理的領域内の火山地質図

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

第2表 地理的領域内の第四紀火山における活動可能性(2/2)

火山名*1	形式*1	活動年代*1 (千年前)		最後の活動 からの経過 期間 (千年間)	廃棄物埋設地に 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 び小型楯状火山	100	～ A.D. 1,971	-	○	
46 荷葉岳 (かようだけ)	複成火山、溶岩流及 び小型楯状火山、溶 岩ドーム	2,200	～ 900	900		○
47 大仏岳 (だいはつだけ)	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)⁽³⁾及び西来ほか編(2014)⁽⁴⁾に基づき作成。

*2: 気象庁編(2013)⁽²⁾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)⁽⁴²⁾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)⁽⁴³⁾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・産業総合技術開発機構(1988)⁽⁴⁴⁾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。

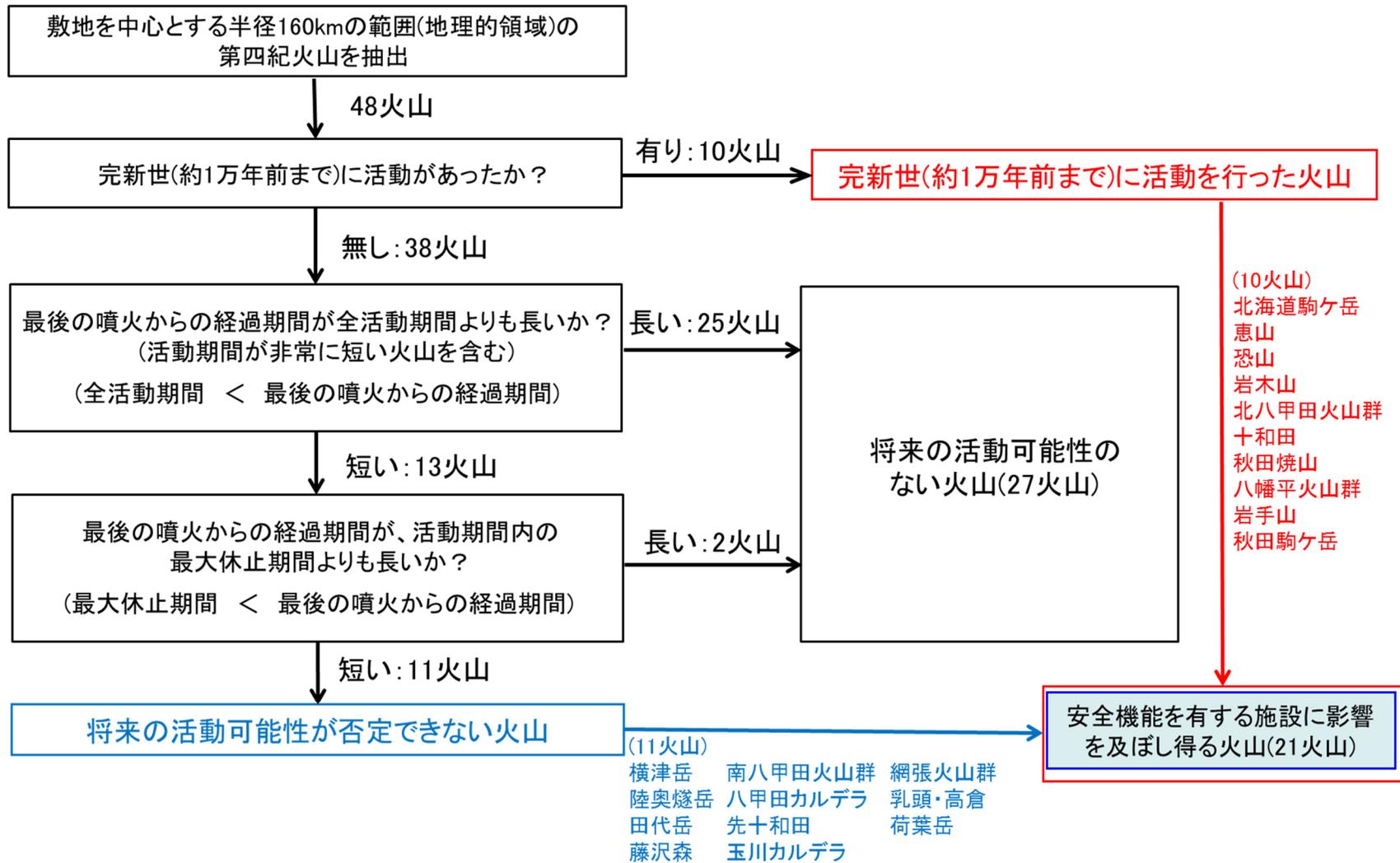
*7: 宝田(1991)⁽⁴⁵⁾によれば、層序的に十和田大不動火砕流(約3.5万年前)と十和田八戸火砕流(約1.55万年前)の噴出時期の間にあるとされる。

*8: 宝田・村岡(2004)⁽²⁷⁾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と評価した。

*10: 工藤(2018)⁽⁴⁶⁾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)⁽⁴⁷⁾によれば、柴倉岳火山噴出物と榑森火山噴出物は、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3図 火山の抽出フロー

4. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の火山活動に関する個別評価

(1) 詳細調査対象火山の抽出

廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)について、活動履歴に関する文献調査により、立地評価の対象となる設計対応不可能な火山事象の発生実績、過去最大規模の噴火による火山噴出物の敷地への到達可能性等について第3表に整理した。また、設計対応不可能な火山事象の評価フローを第4図に示す。

火砕物密度流については、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、十和田及び八甲田カルデラの過去最大規模の噴火における火砕流の到達可能性範囲に敷地若しくは敷地近傍が含まれる(第5図及び第6図参照)。一方、十和田及び八甲田カルデラ以外の廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山については、発生実績や敷地からの離隔等より、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。

溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊については、敷地から50km以内に分布する恐山及び八甲田カルデラが評価対象火山となる。恐山については、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊に伴う堆積物は敷地周辺には分布しない。一方、八甲田カルデラについては、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊の発生実績が認められない。その他の19火山については、敷地から50km以内に分布しないことから、評価対象外である。したがって、これらの火山事象が敷地に到達する可能性は十分に小さいと評価した。

新しい火口の開口及び地殻変動については、敷地が、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る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。

以上のことから、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)の火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象は、過去最大規模の噴火を想定しても、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。

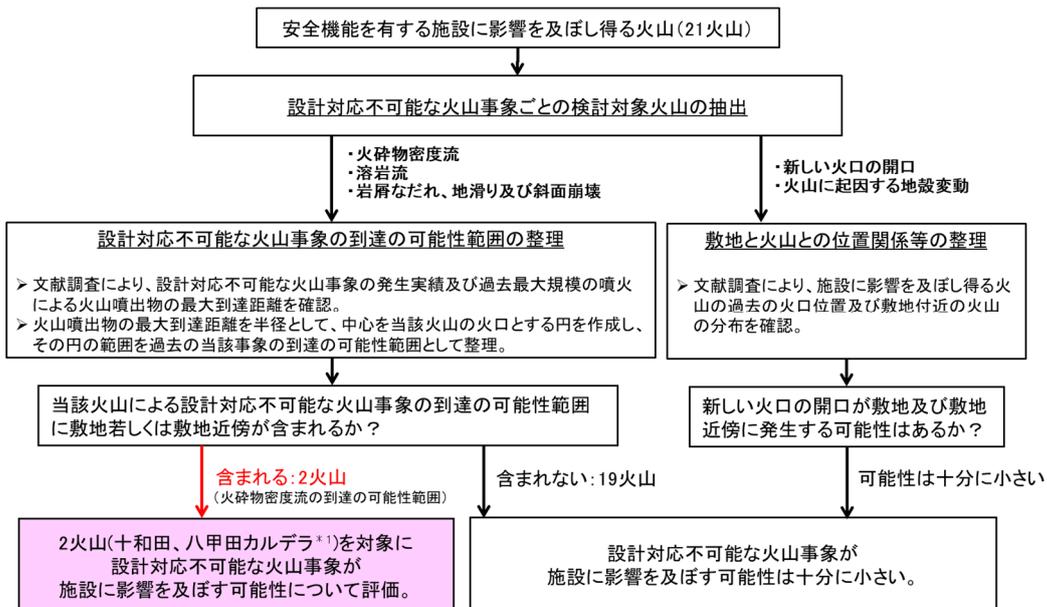
一方、火砕物密度流については、敷地及び敷地近傍が十和田及び八甲田カルデラの火砕流の到達可能性範囲に含まれることから、十和田及び八甲田カルデラについて、詳細な調査・検討を実施した。なお、八甲田カルデラについては、隣接する南八甲田火山群及び北八甲田火山群を含めて「八甲田山」として詳細な調査・検討を実施した。

第3表 設計対応不可能な火山事象とその噴出物の敷地への到達可能性評価

(地理的領域内の第四紀火山の文献調査結果に基づき作成)

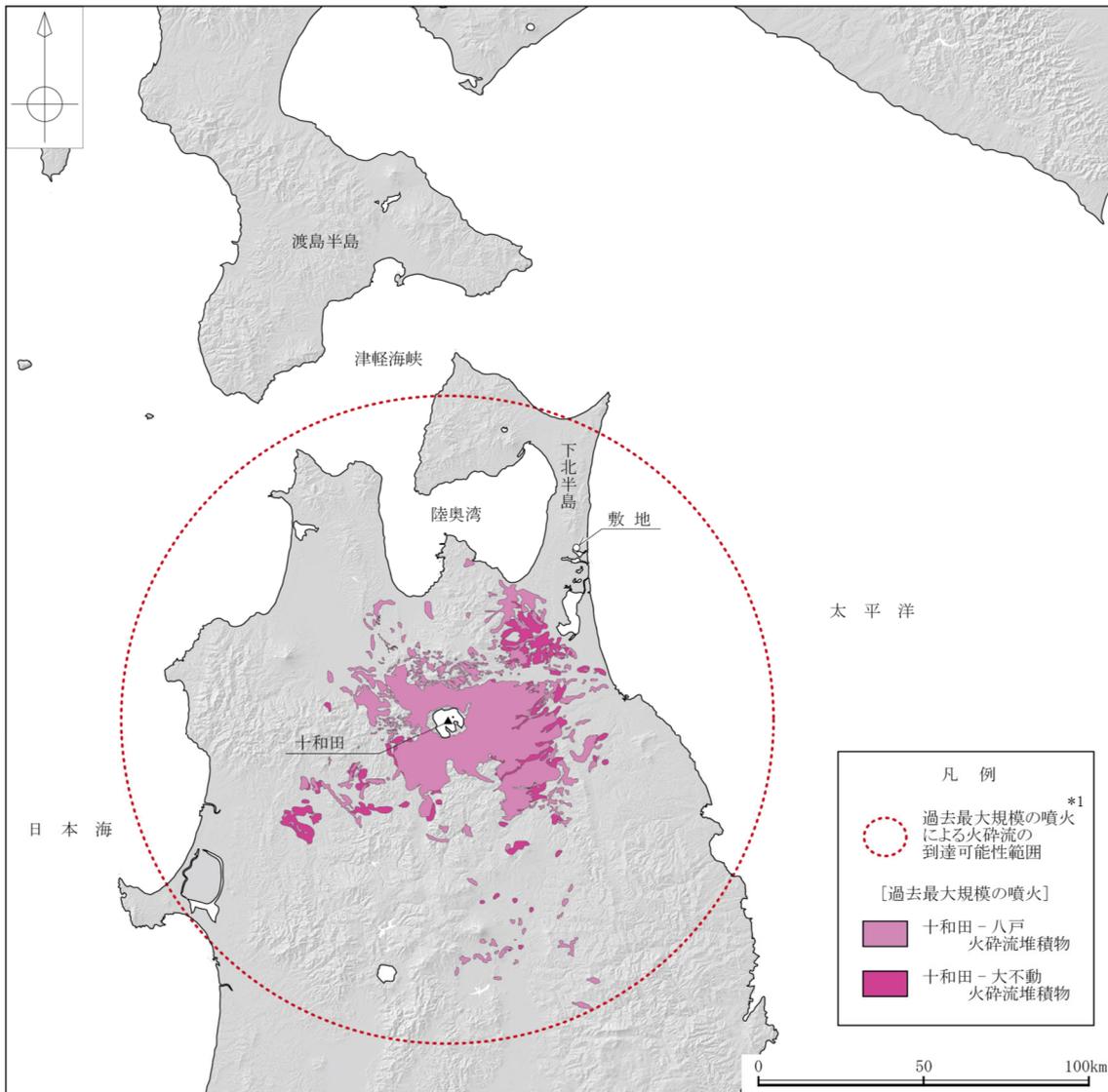
火山名	敷地からの距離 (km)	設計対応不可能な火山事象				
		火砕物 密度流	溶岩流	岩屑なだれ、 地滑り及び 斜面崩壊	新しい火口の 開口	地殻変動
		検討対象となる火山の敷地からの離隔				
		160km以内	50km以内	50km以内	—	—
4 北海道駒ヶ岳 (ほっかいどうこまがたけ)	133	○ (7km)	検討不要		○*1	○*1
6 横津岳 (よこつだけ)	118	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
8 恵山 (えさん)	94	○ (4km)	検討不要		○*1	○*1
13 陸奥燧岳 (むつひうちだけ)	57	○ (8km)	検討不要		○*1	○*1
17 恐山 (おそれざん)	39	○ (15km)	○ (9km)	○ (15km)	○*1	○*1
18 岩木山 (いわきさん)	95	○ (6km)	検討不要		○*1	○*1
20 田代岳 (たしろだけ)	100	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
25 藤沢森 (ふじさわもり)	67	◎	検討不要		○*1	○*1
26 南八甲田火山群 (みなみはっこうだ)	59	○ (13km)	検討不要		○*1	○*1
27 北八甲田火山群 (きたはっこうだ)	53	○ (10km)	検討不要		○*1	○*1
28 八甲田カルデラ (はっこうだ)	49	× (42km)	◎	◎	○*1	○*1
31 十和田 (とわだ)	68	× (100km)	検討不要		○*1	○*1
32 先十和田 (せんとわだ)	65	○ (24km)	検討不要		○*1	○*1
37 秋田焼山 (あきたやけやま)	123	○ (12km)	検討不要		○*1	○*1
38 八幡平火山群 (はちまんたい)	120	◎	検討不要		○*1	○*1
41 玉川カルデラ (たまがわ)	129	○ (41km)	検討不要		○*1	○*1
42 岩手山 (いわてさん)	128	○ (20km)	検討不要		○*1	○*1
43 網張火山群 (あみはり)	129	○ (8km)	検討不要		○*1	○*1
44 乳頭・高倉 (にゅうとう・たかくら)	137	◎	検討不要		○*1	○*1
45 秋田駒ヶ岳 (あきたこまがたけ)	142	○ (13km)	検討不要		○*1	○*1
46 荷葉岳 (かようだけ)	140	◎	検討不要		○*1	○*1

◎：当該火山の活動履歴上、発生実績が認められない火山事象。
 ○：当該火山の活動履歴上、発生実績は認められるが、敷地近傍への到達可能性が十分に小さい火山事象。
 ×：過去の最大規模の噴火による火山噴出物が、敷地及び敷地近傍に到達した可能性のある火山事象。
 ()内の距離：過去の最大規模の噴火による火山噴出物の到達距離。
 検討不要：敷地からの隔離による判断。
 *1：敷地は過去の火口及びその近傍に位置しないことによる。



*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。

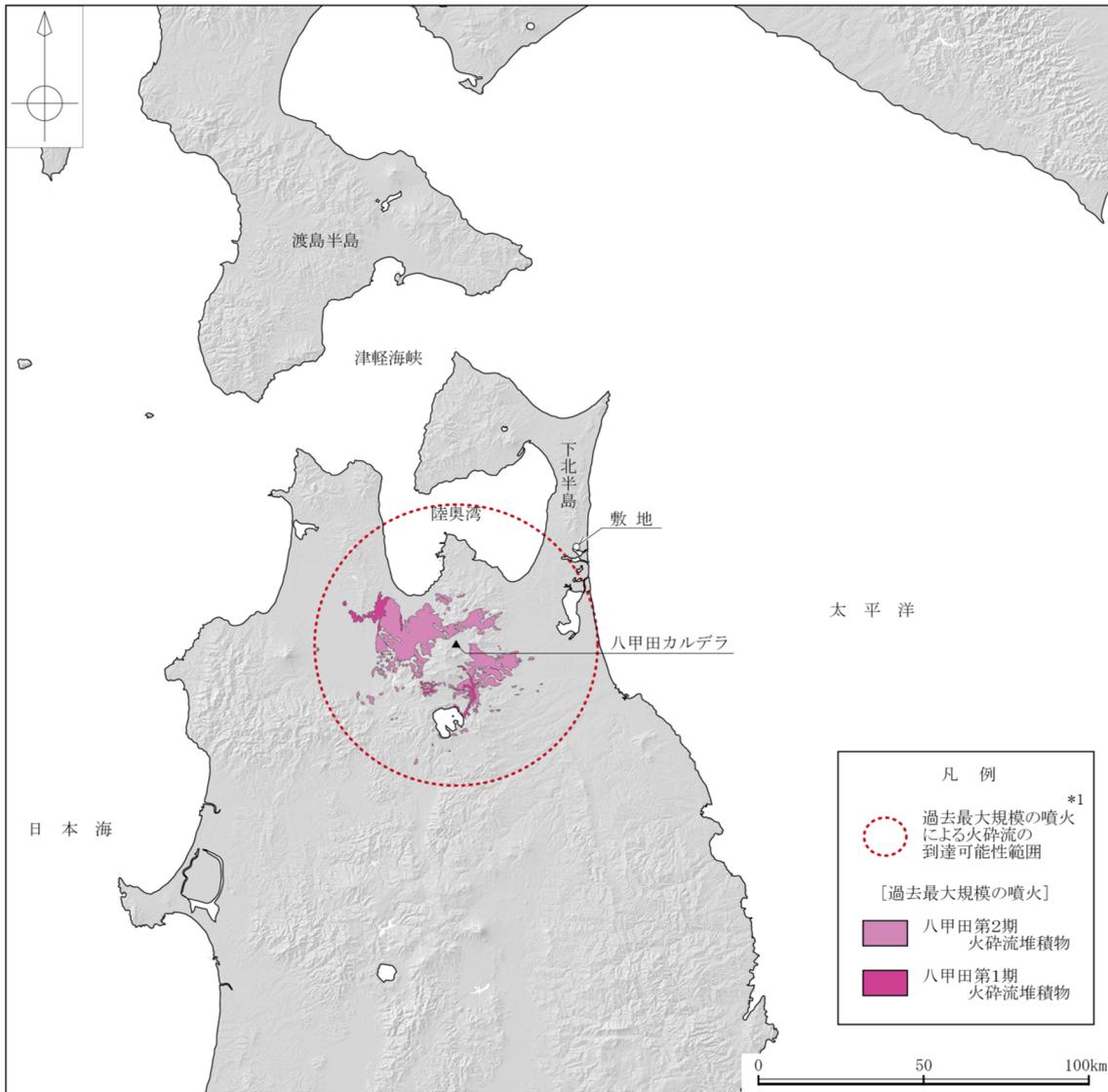
第4図 設計対応不可能な火山事象の評価フロー



*1：到達可能性範囲は、火山を中心に過去の最大規模の噴火に伴う火砕流の最大到達距離を半径とし、円を描いた。

町田・新井(2011)⁽⁹⁾、中川ほか(1972)⁽⁵³⁾、土井(1993)⁽⁵⁴⁾、村岡ほか(1991)⁽⁵⁵⁾、大沢ほか(1993)⁽⁵⁶⁾、大沢・須田(1978)⁽⁵⁷⁾及び長森ほか(2013)⁽⁵⁸⁾に基づき作成

第5図 十和田における過去最大規模の噴火による火砕流堆積物の分布と到達可能性範囲



*1：到達可能性範囲は、火山を中心に過去の最大規模の噴火に伴う火砕流の最大到達距離を半径とし、円を描いた。

村岡・高倉(1988)⁽²⁸⁾、工藤ほか(2019)⁽⁴⁸⁾、村岡ほか(1991)⁽⁵⁵⁾、大沢ほか(1993)⁽⁵⁶⁾、長森ほか(2013)⁽⁵⁸⁾及び青森県史編さん自然部会(2001)⁽⁵⁹⁾に基づき作成

第6図 八甲田カルデラにおける過去最大規模の噴火による火砕流堆積物の分布と到達可能性範囲

(2) 十和田

気象庁編(2013)⁽²⁾によると、十和田は先カルデラ成層火山群、十和田カルデラ及び後カルデラ成層火山・溶岩ドームからなるとしている。その活動は、Hayakawa(1985)⁽¹⁰⁾によると、先カルデラ期、カルデラ形成期及び後カルデラ期に区分されるとしている。

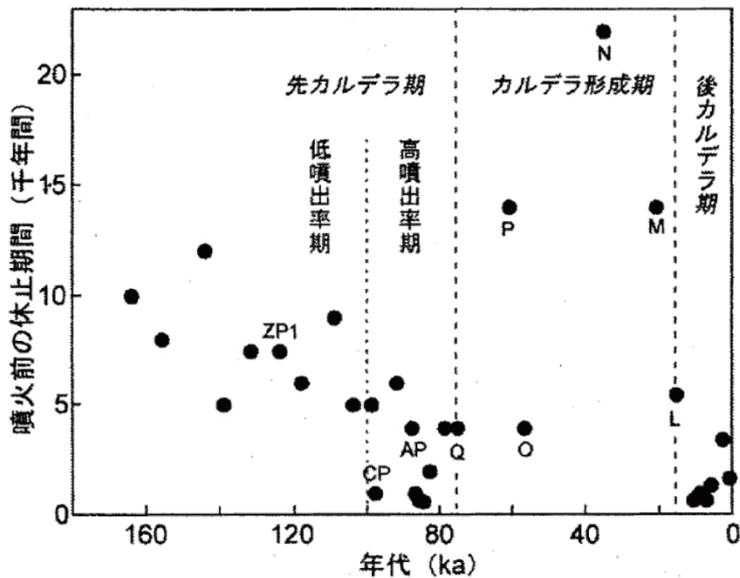
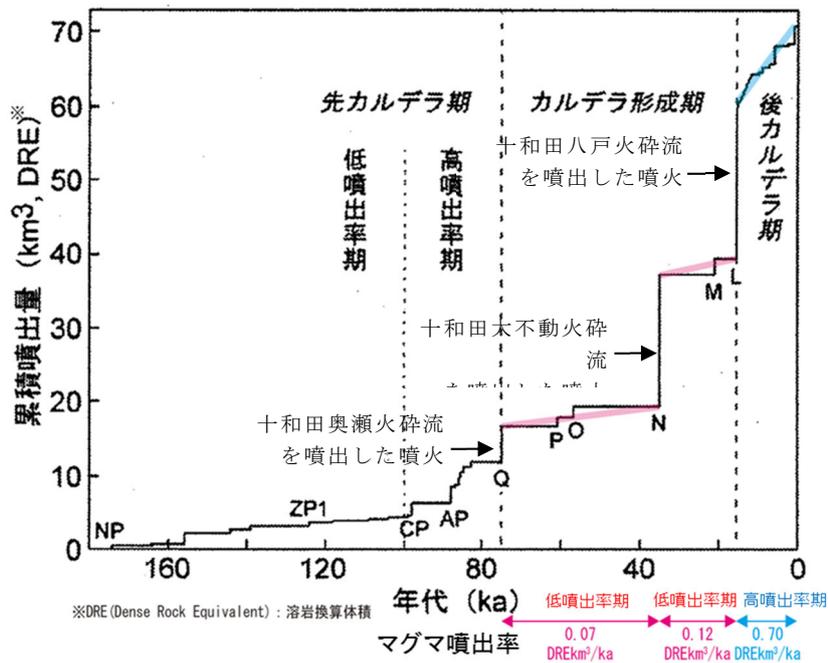
Hayakawa(1985)⁽¹⁰⁾及び工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾によると、カルデラ形成期に火砕流を伴う規模の大きな噴火を3回(十和田奥瀬火砕流、十和田大不動火砕流、十和田八戸火砕流)起こしている(第7図参照)。

一方、Yamamoto et al.(2018)⁽¹²⁾は、地球化学的特徴から十和田奥瀬火砕流を噴出した噴火を先カルデラ期とみなすとしており、見解が分かれている(第8図参照)。

Hayakawa(1985)⁽¹⁰⁾によると、後カルデラ期に毛馬内火砕流(見かけの噴出量は約5km³)を噴出したとしている。

これらの噴火のうち巨大噴火に該当する噴火は、十和田大不動火砕流(見かけの噴出量は約40km³)及び十和田八戸火砕流(見かけの噴出量は約40km³)を噴出した噴火(以下それぞれを「噴火エピソードN」及び「噴火エピソードL」という。)である。したがって、この2回の巨大噴火と最後の巨大噴火(噴火エピソードL)以降の噴火を対象に評価を実施した。

なお、十和田奥瀬火砕流(見かけの噴出量は約10km³)を噴出した噴火は巨大噴火に該当しないが、噴火の様式と規模に基づきカルデラ形成期として整理した。

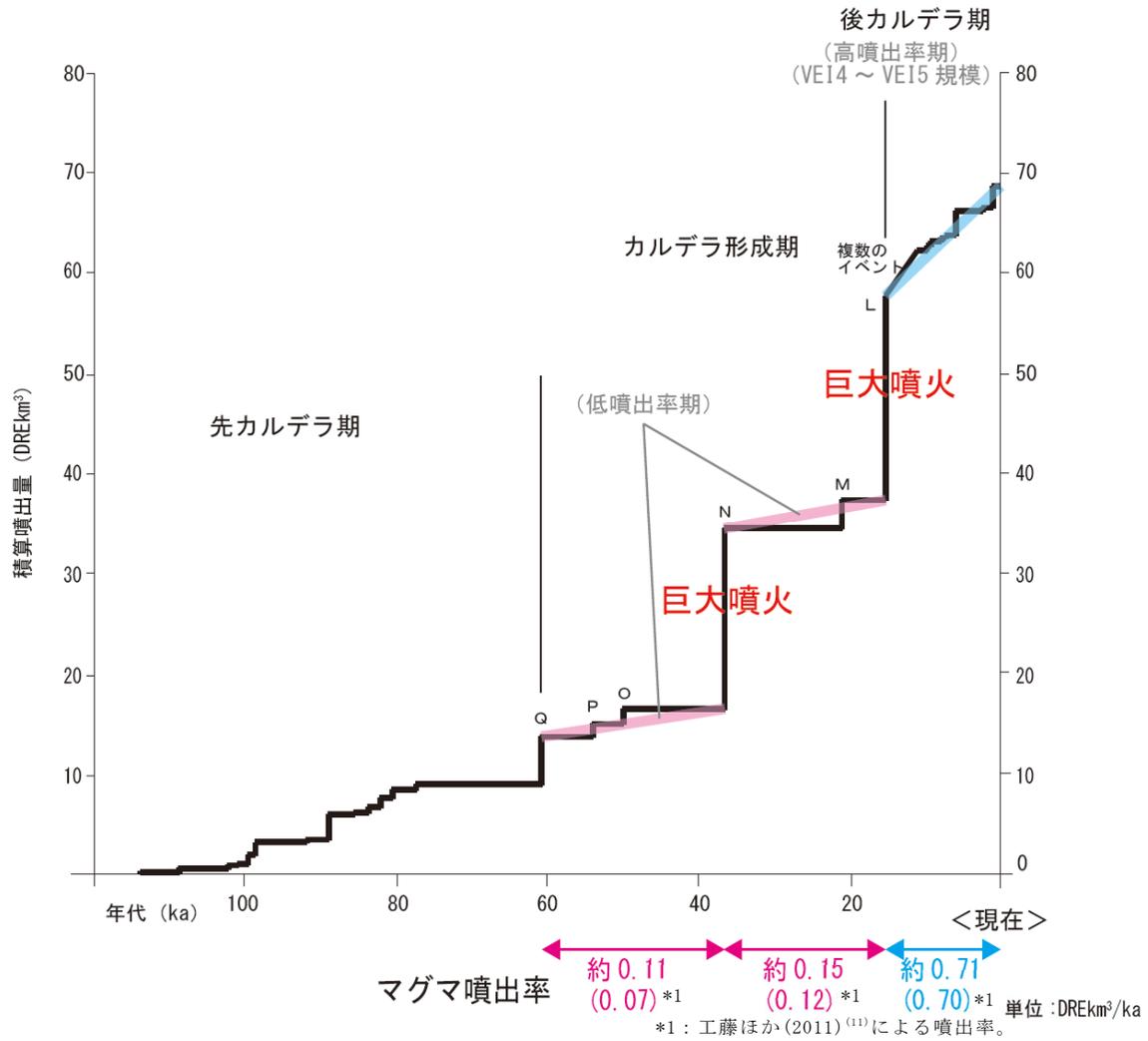


- | | |
|---------------------|-----------------|
| [カルデラ形成期] | [先カルデラ期] |
| L: 十和田八戸火砕流及び八戸テフラ | AP: 十和田アオスジテフラ |
| M: 十和田ビスケット2テフラ | CP: 十和田カステラテフラ |
| N: 十和田大不動火砕流及び切田テフラ | ZP1: 十和田ザラメ1テフラ |
| O: 十和田合同テフラ | NP: 十和田ヌカミソテフラ |
| P: 十和田キビダンゴテフラ | |
| Q: 十和田奥瀬火砕流及びレッドテフラ | |

工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾に基づき作成

注1: 八甲田ベタテフラの年代を190kaとした場合における各噴出物の年代。

第7図 十和田の階段ダイアグラム及び噴火前休止期間の時間変化



Yamamoto et al. (2018)⁽¹²⁾に基づき作成

第8図 十和田の階段ダイアグラム

a. 巨大噴火の可能性評価

(a) 活動履歴

工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾によると、現在の活動期である後カルデラ期は、高頻度(噴火間隔 3,400 年以下)かつ一回の噴出量が 2.5DREkm³以下であり、カルデラ形成期の低頻度(噴火間隔 22,000 年~4,000 年)かつ一回の噴出量 1.2DREkm³~20.3DREkm³とは異なるとしている(第7図参照)。

一方、十和田の10万年前以降のマグマ供給率はほぼ一定であり、また、後カルデラ期は先カルデラ期後期と活動様式が類似していることから、今後マグマ供給率が減少しなければ、長期的(数万年スケール)には再びカルデラ形成期に移行する可能性が指摘されるとしている。しかし、過去の活動履歴から、大規模噴火の前には数万年にわたって局在的な低噴出率期(噴火エピソードNの前は0.07DREkm³/千年、噴火エピソードLの前は0.12DREkm³/千年)が先行するとしており、現在の活動は、約15,000年間にわたって高噴出率期(0.70DREkm³/千年)にあり、噴出量1DREkm³以下の小規模噴火も数多く発生していることから、現状ではカルデラ形成期のような状態に至っていないと考えられるとしている。したがって、今後も短期的(数百年~数千年スケール)には、過去15,000年間と同様な活動が継続すると推定され、仮に、今後カルデラ形成を伴う大規模噴火が発生するとしても数万年先になると予想されるとしている。

なお、工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾の「カルデラ形成を伴う大規模噴火」は、「巨大噴火」に相当する。

一方、Yamamoto et al. (2018)⁽¹²⁾において、階段ダイアグラム(第8図参照)が示されており、これに基づき噴出率の傾向を確認した結果、カルデラ形成期の巨大噴火前は低噴出率期(噴火エピソードLの前は約0.15DREkm³/千年)であるが、現在の後カルデラ期は高噴出率期(約0.71DREkm³/千年)となっている。これは、工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾による噴出率の傾向と同様である。

また、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)⁽¹³⁾及び工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾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)⁽¹⁴⁾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。

(b) 地質調査及び火山学的調査

十和田における巨大噴火に伴う2回の大規模火砕流(十和田大不動火砕流及び十和田八戸火砕流)の噴出物を対象に調査を実施し、その分布を確認した。十和田近傍から敷地を中心とした地域にかけての地質柱状図を第9図に示す。なお、巨大噴火には該当しないものの、十和田奥瀬火砕流は敷地には到達していないことを確認した。

(一) 十和田大不動火砕流

十和田大不動火砕流を伴う巨大噴火では、火砕流の噴出に先立って爆発的噴火に伴う降下火砕物(十和田切田テフラ)が噴出しており、火砕流堆積物の直下に、この堆積物が認められる。十和田大不動火砕流堆積物及び十和田切田テフラの分布を第10図に示す。

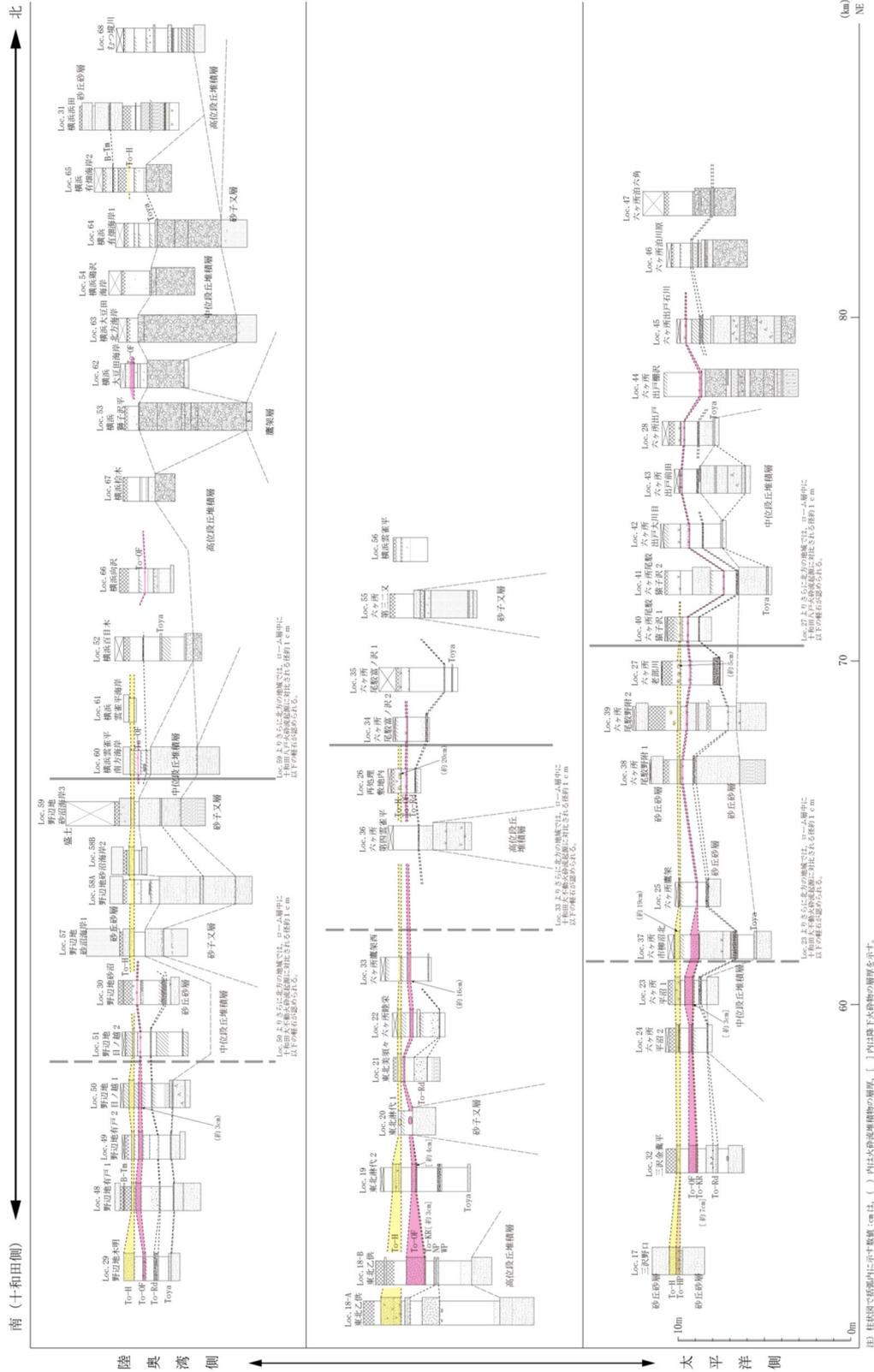
十和田大不動火砕流堆積物は、六ヶ所鷹架西(Loc. 33)及び野辺地目ノ越1(Loc. 50)において、ローム層中に軽石混じり火山灰層(火砕流堆積物)が層厚約16cm及び約3cmのパッチ状として認められる。また、敷地を含む更に北方の地域では、層相から火砕流堆積物と判断できないものの、ローム層中に十和田大不動火砕流起源に対比される径約1cm以下の軽石が認められ、再処理敷地内(Loc. 26)においては、最大平均径約4mmの軽石が認められる(第11図参照)。一方、十和田切田テフラは、北方に向かって層厚を減じ、東北淋代2(Loc. 19)、六ヶ所平沼1(Loc. 23)等において、層厚約3cm～約7cmで確認した。

(二) 十和田八戸火砕流

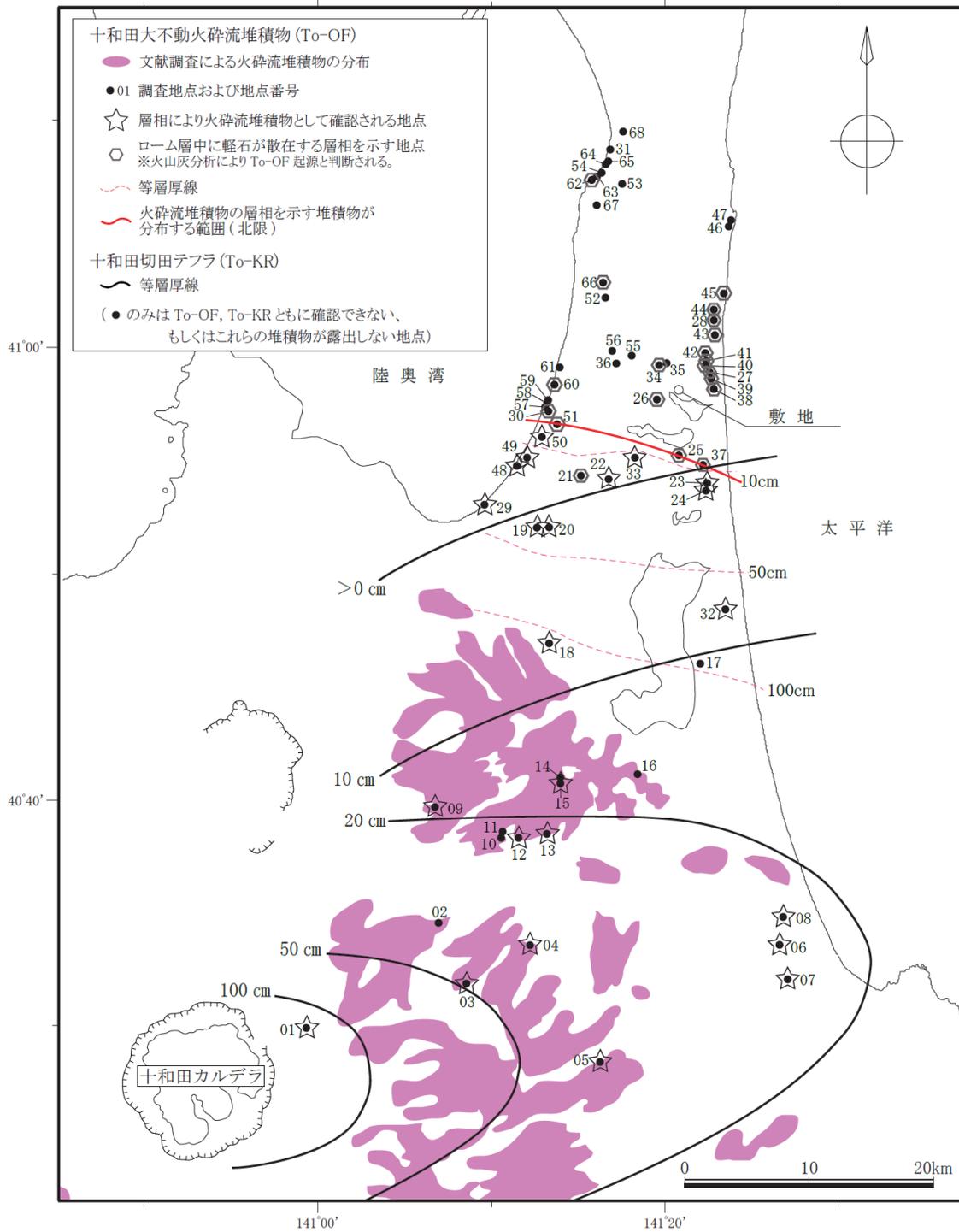
十和田八戸火砕流を伴う巨大噴火では、火砕流の噴出に先立って爆発的噴火に伴う降下火砕物(十和田八戸テフラ)が噴出しており、火砕流堆積物の直下に、この堆積物が認められる。十和田八戸火砕流堆積物及び十和田八戸テフラの分布を第12図に示す。

十和田八戸火砕流堆積物は、塊状無層理で淘汰が悪く、軽石を主体として褐灰～灰白色火山灰の基質からなる。敷地近傍では、ローム層中に軽石混じり火山灰層(火砕流堆積物)が層厚約5cm～約20cmのパッチ状を呈する火砕流堆積物として認められた(第11図参照)。また、敷地より北方の地域では、層相から火砕流堆積物と判断できないものの、ローム層中に十和田八戸火砕流起源に対比される径約1cm以下の軽石が認めら

れる。一方、十和田八戸テフラは、北方に向かい急激に層厚を減じ、三沢市野口 (Loc. 17) より北方では確認できない。



第9図 巨大噴火に伴う火砕流堆積物に着目した地質柱状図(2/2)
 (各調査地点の位置は第10図及び第12図に示す)

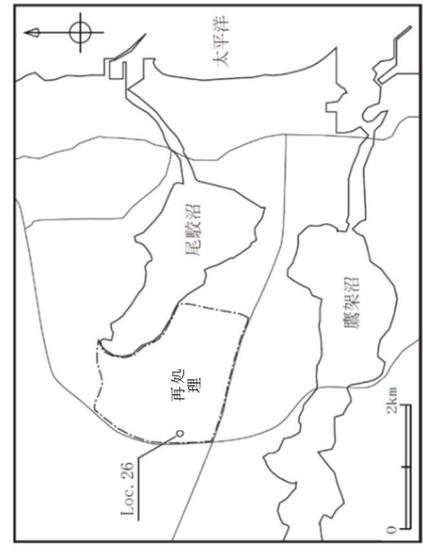


町田・新井(2011)⁽⁹⁾及び土井(1993)⁽⁵⁴⁾に基づき当社が作成

第 10 図 十和田大不動火砕流堆積物の分布及び十和田切田テフラの等層厚線図
(各調査地点の地質柱状図は第 9 図に示す)

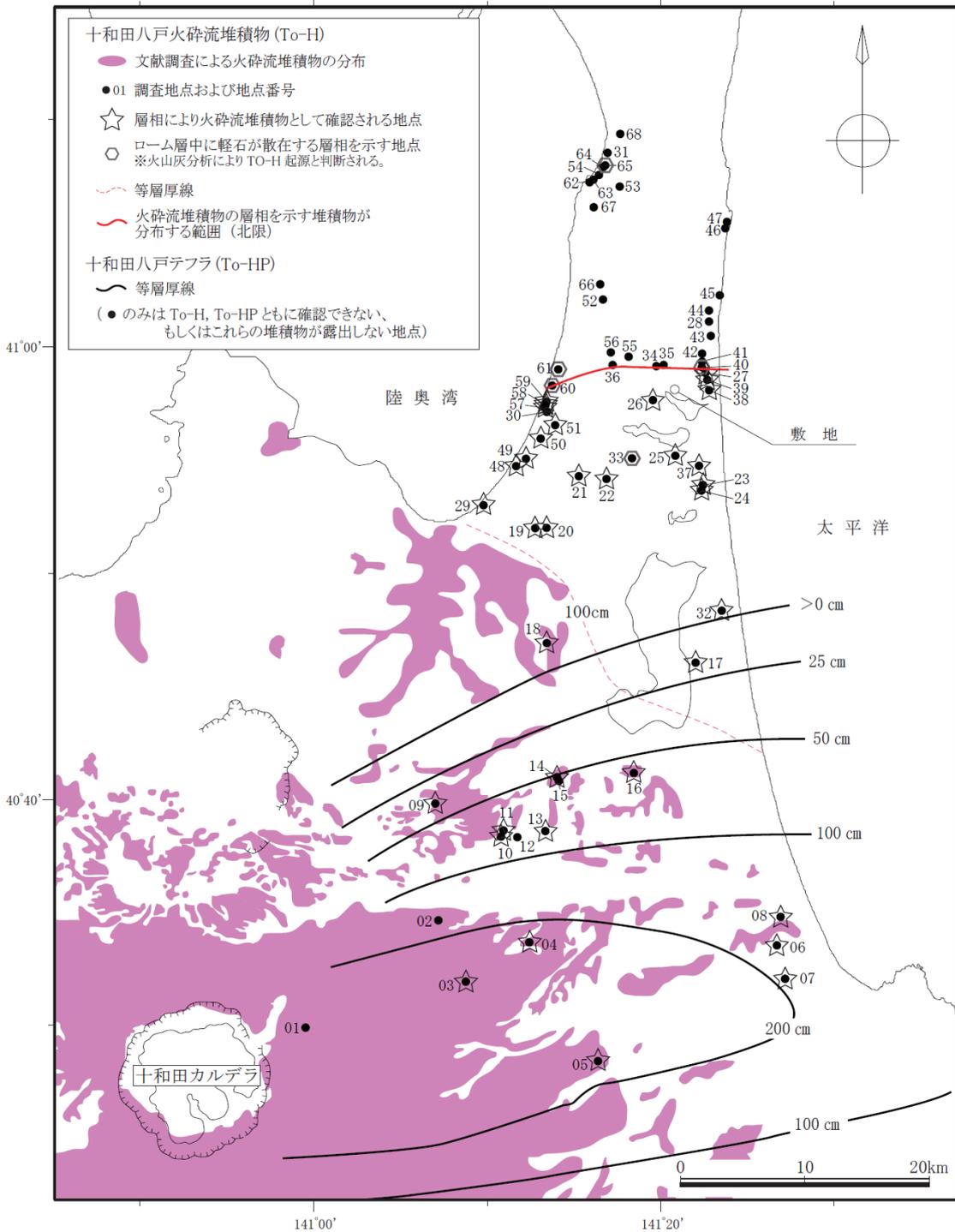


上位より、十和田八戸火砕流堆積物 (To-H)、十和田大不動火砕流堆積物 (To-OF) 起源の軽石が散在する層準、並びに軽石及び岩片が密集する十和田レッドテフラ (To-Rd) が確認される。



露頭位置図

第 11 図 Loc. 26 における十和田八戸火砕流堆積物及び十和田大不動火砕流堆積物の状況



町田・新井(2011)⁽⁹⁾、土井(1993)⁽⁵⁴⁾、村岡ほか(1991)⁽⁵⁵⁾、大沢ほか(1993)⁽⁵⁶⁾及び大沢・須田(1978)⁽⁵⁷⁾に基づき当社が作成

第 12 図 十和田八戸火砕流堆積物の分布及び十和田八戸テフラの等層厚線図

(各調査地点の地質柱状図は第 9 図に示す)

(c) 地球物理学的調査

下司(2016)⁽¹⁵⁾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・上昇及び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見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)⁽¹⁵⁾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。

(一) 地震波速度構造及び比抵抗構造

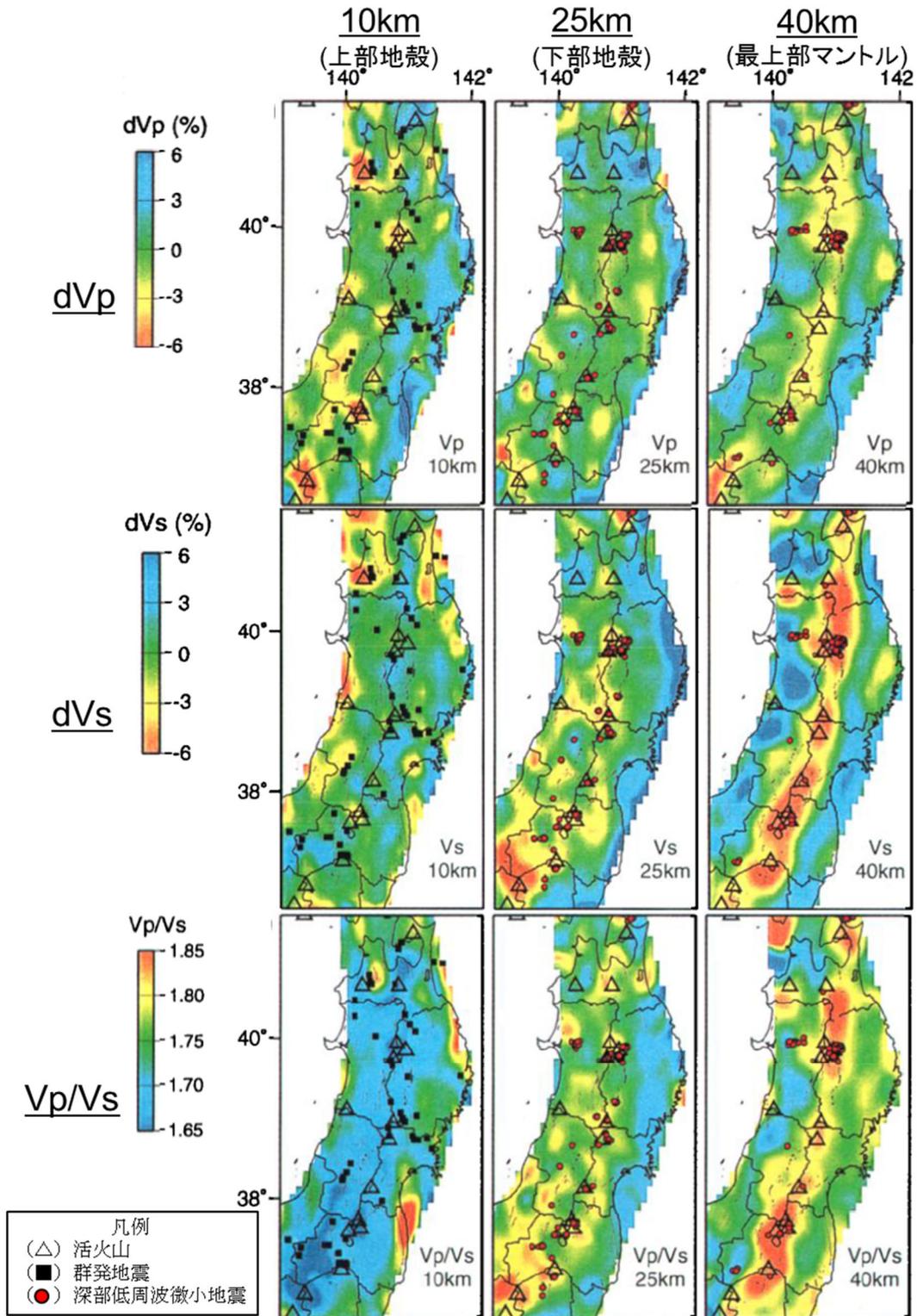
地震波速度構造について、Nakajima et al. (2001)⁽¹⁶⁾によると、火山フロントに沿った最上部マンツルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び低 V_p/V_s は、水の存在を示唆するとしている(第13図参照)。中島(2017)⁽¹⁷⁾によると、Nakajima et al. (2001)⁽¹⁶⁾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14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))⁽¹⁸⁾の地震波トモグラフィ解析結果(第15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16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。

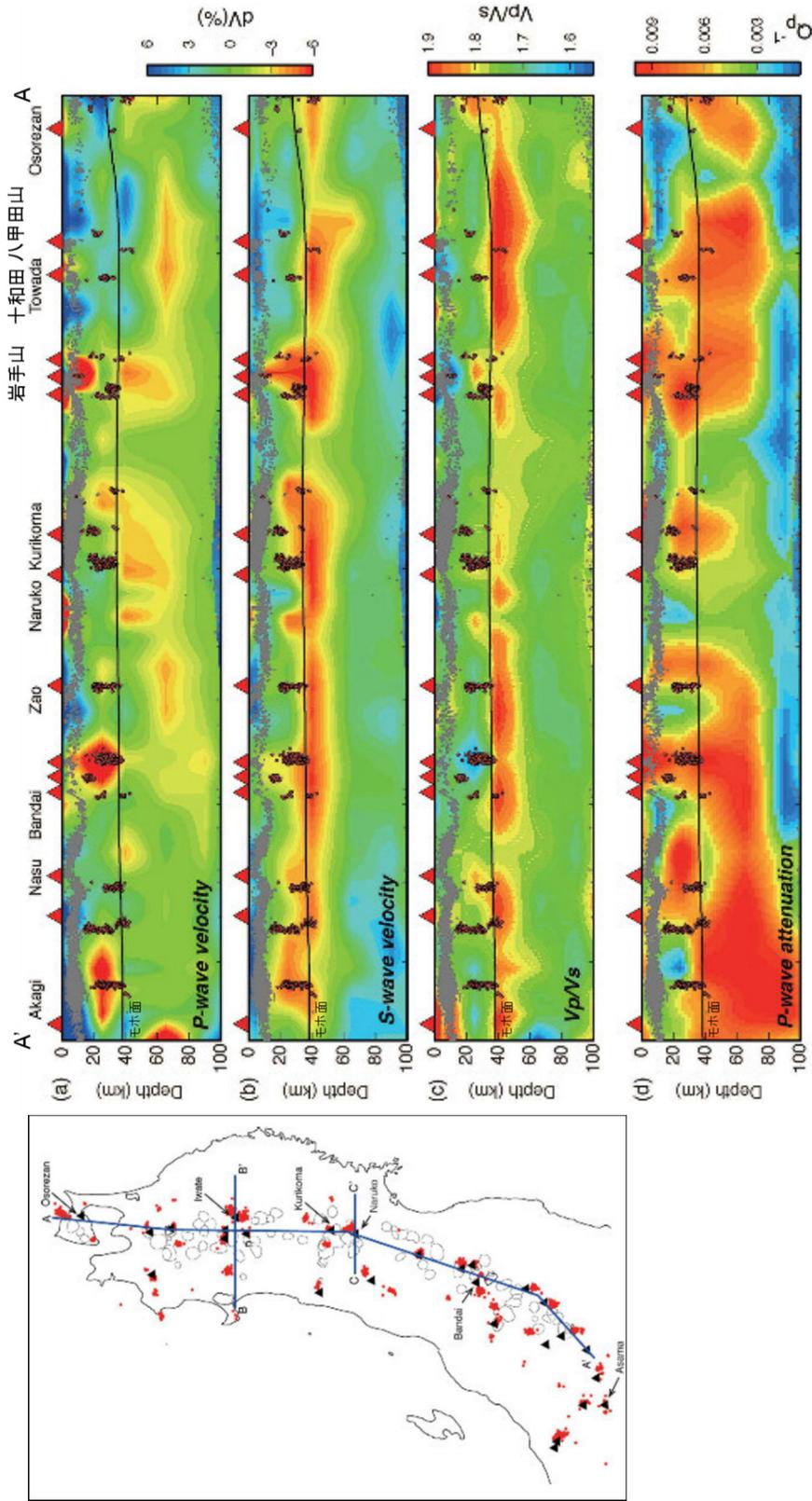
一方、比抵抗構造について、Kanda and Ogawa(2014)⁽¹⁹⁾によると、インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向があるとしている。Kanda and Ogawa(2014)⁽¹⁹⁾のインダクションベクトル(第17図参照)に基づく、16秒周期では、十和田に向くベクトルは認められず、顕著な低比抵抗異常は推定できない。また、磁場3成分を用いたインバージョン解析により、インダクションベクトルを再現できる北東北の三次元比抵抗構造が示されており、その解析結果(第18図参照)に基づく、十和田直下の上部地殻内にマグマ若しくは高塩濃度流体を示唆する顕著な低比抵抗領域は認められない。

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。



Nakajima et al. (2001)⁽¹⁶⁾に加筆

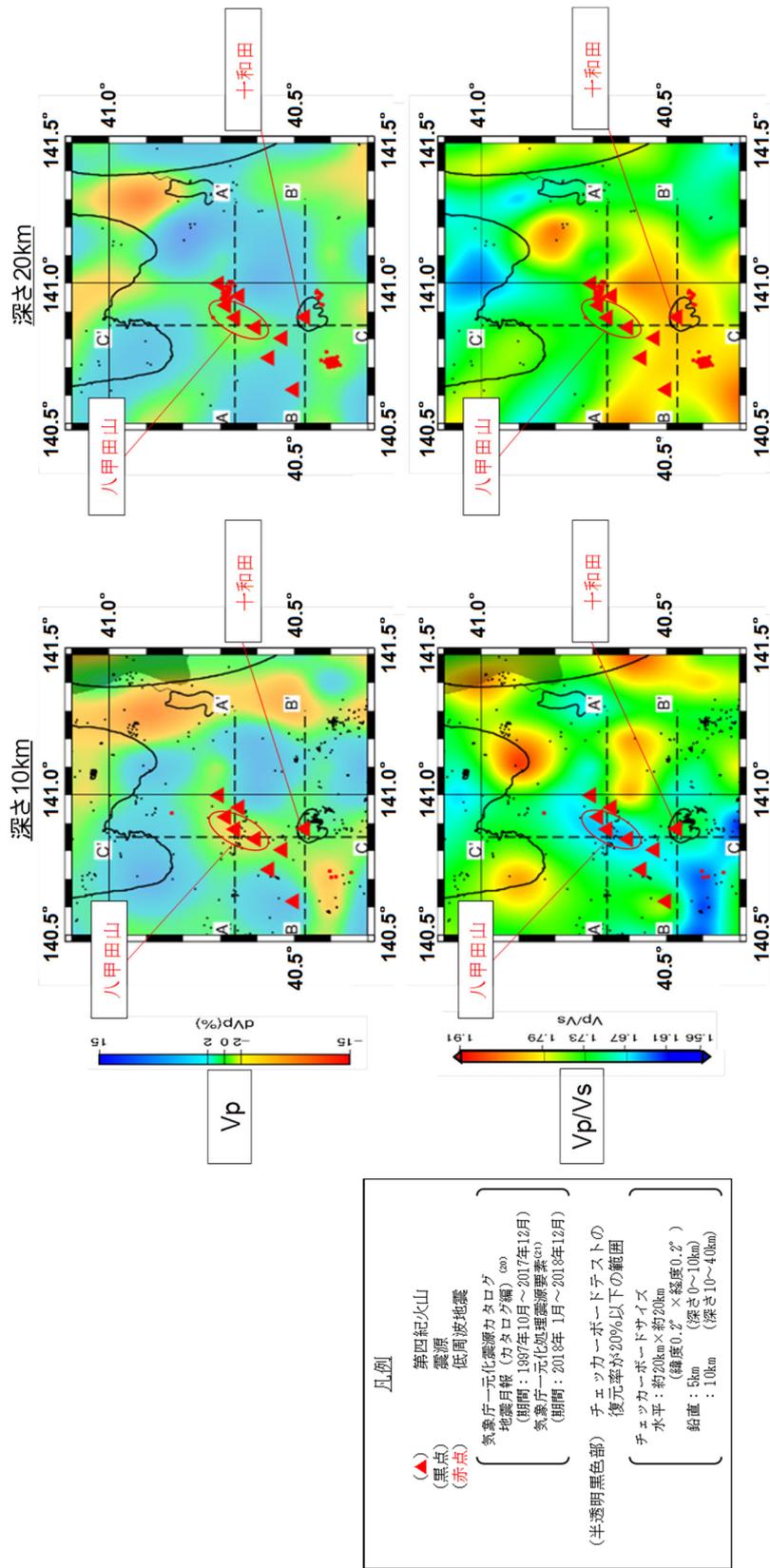
第13図 Nakajima et al. (2001)の地震波トモグラフィ解析結果



中島 (2017)⁽¹⁷⁾ に加筆*1

*1 : (a) ~ (c) の解析結果は Nakajima et al. (2001)⁽¹⁶⁾ と同じ。

第 14 図 中島 (2017) の地震波トモグラフィ解析結果

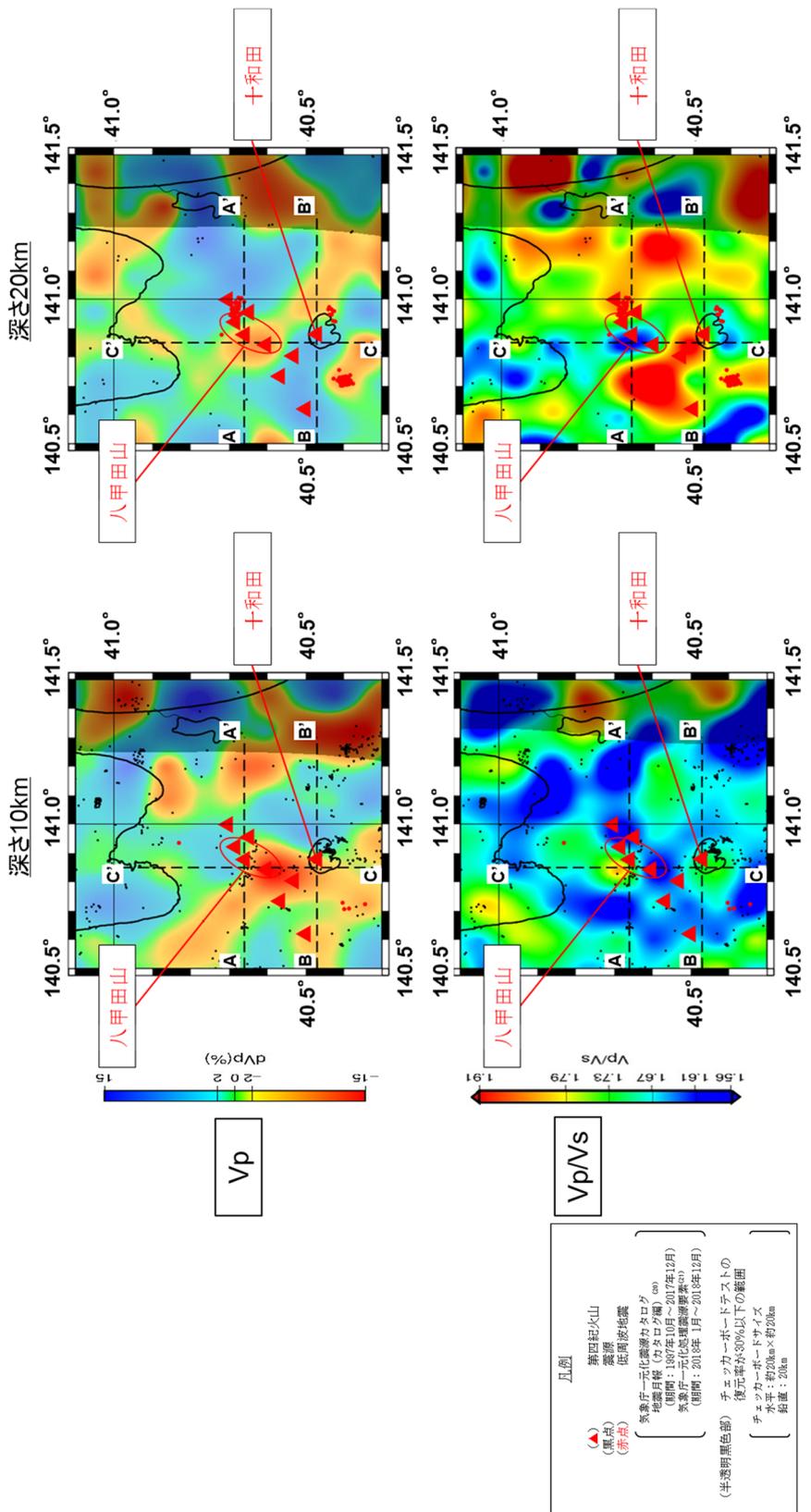


防災科学技術研究所 HP 上の日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大 2019 年版)地震波トモグラフィ解析結果の

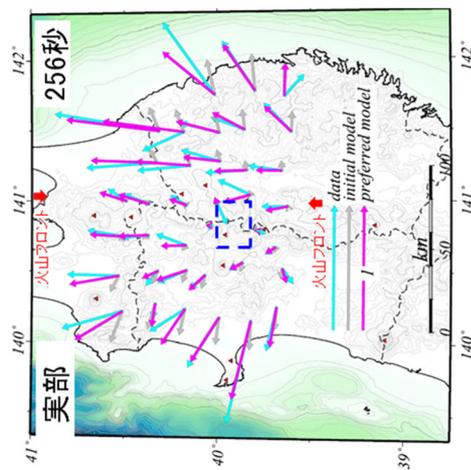
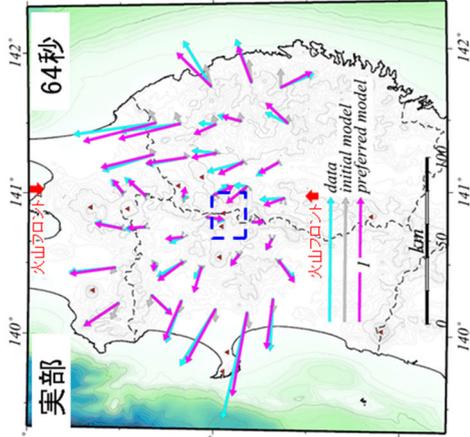
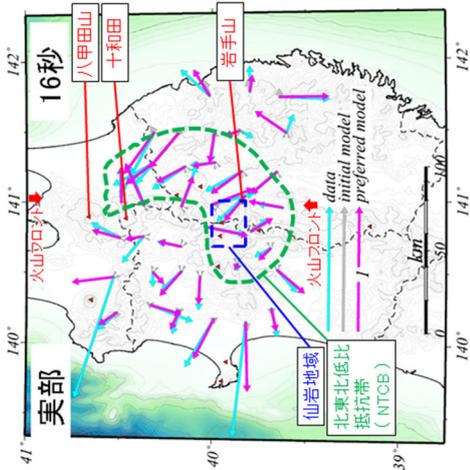
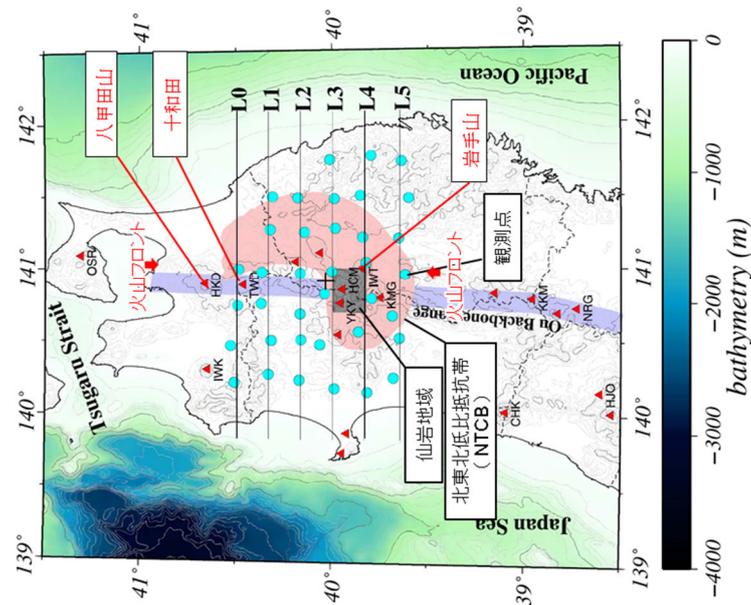
公開データを基に当社が作図(解析手法等は Matsubara et al. (2019) ⁽¹⁸⁾に記載)

第 15 図 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)の地

震波トモグラフィ解析結果(1/2)



第16図 Hi-netや東北大学等の観測データの用いた地震波トモグラフィ解析結果(1/2)

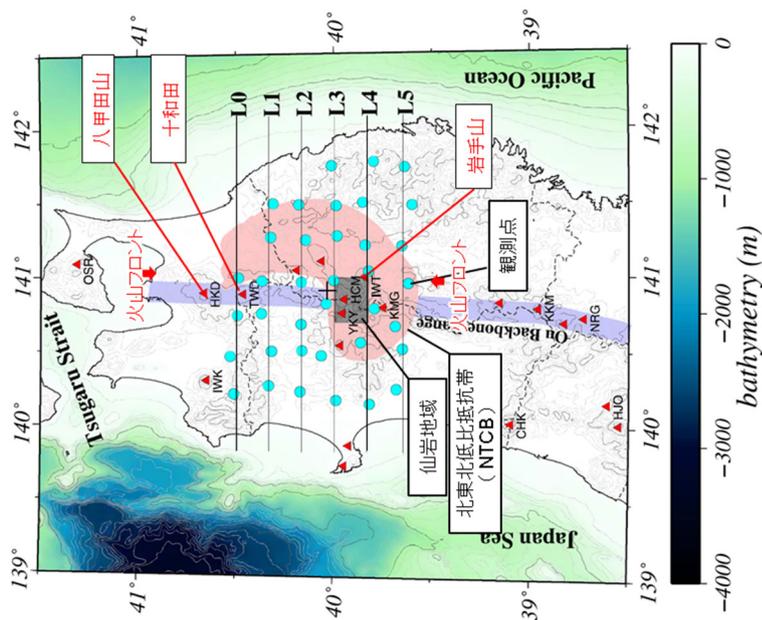
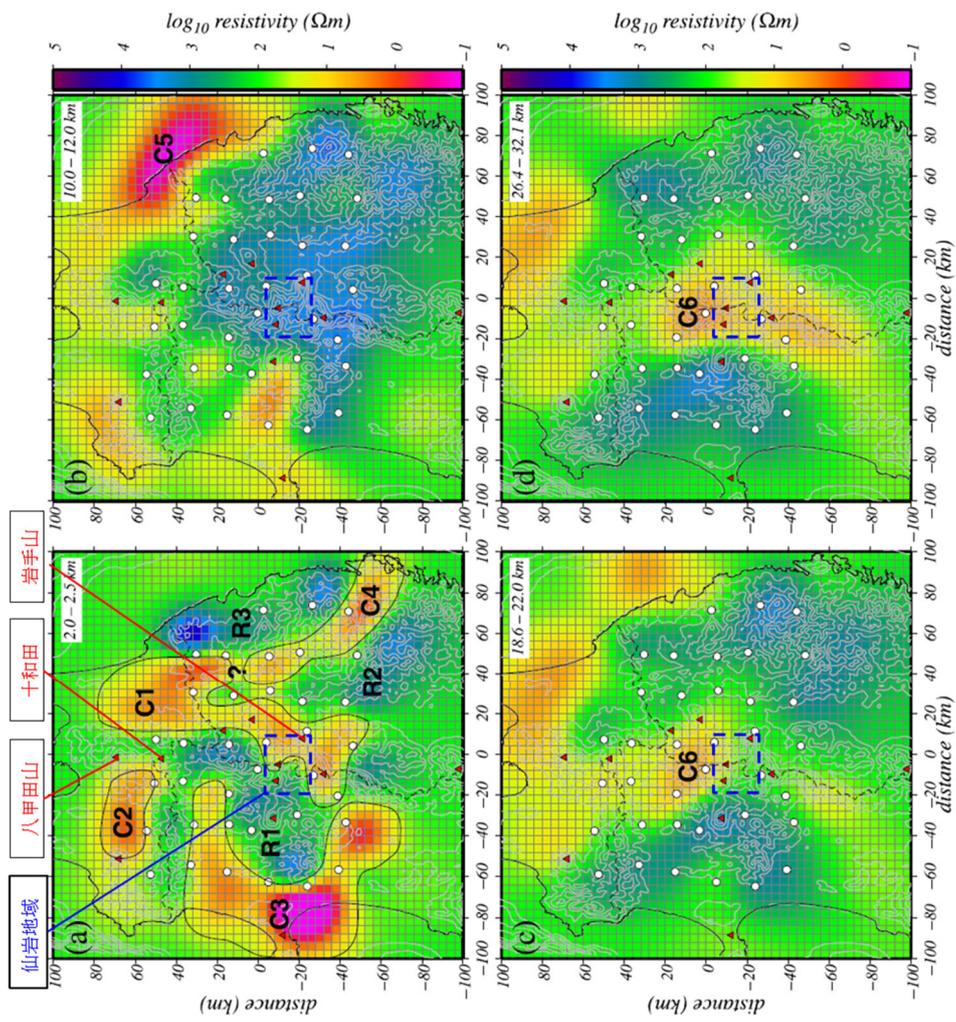


Kanda and Ogawa(2014)⁽¹⁹⁾のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)⁽⁶⁰⁾で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

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)⁽⁶¹⁾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。

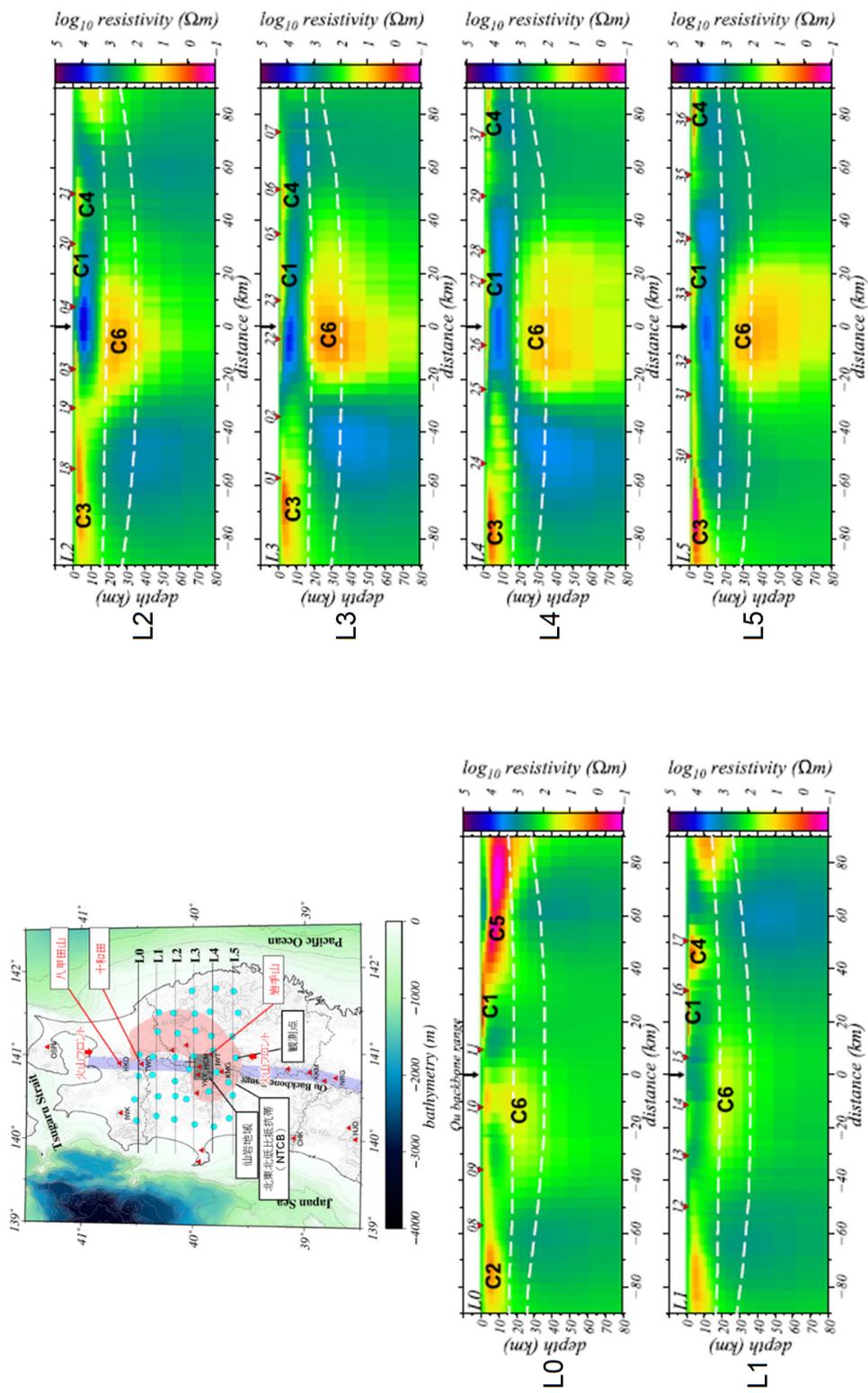
Kanda and Ogawa(2014)⁽¹⁹⁾に加筆

第17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) ⁽¹⁹⁾ に加筆

第 18 図 北東北の三次元比抵抗構造 (1/2) (水平断面)



Kanda and Ogawa (2014) ⁽¹⁹⁾ に加筆

第 18 図 北東北の三次元比抵抗構造 (2/2) (鉛直断面)

(二) 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)⁽²⁰⁾(期間：1997年10月～2017年12月)及び気象庁一元化処理震源要素⁽²¹⁾(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19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)⁽²²⁾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月に入ってからはおおむ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されている。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。

(三) 地殻変動

国土地理院(2018)⁽²³⁾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20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)⁽²²⁾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。

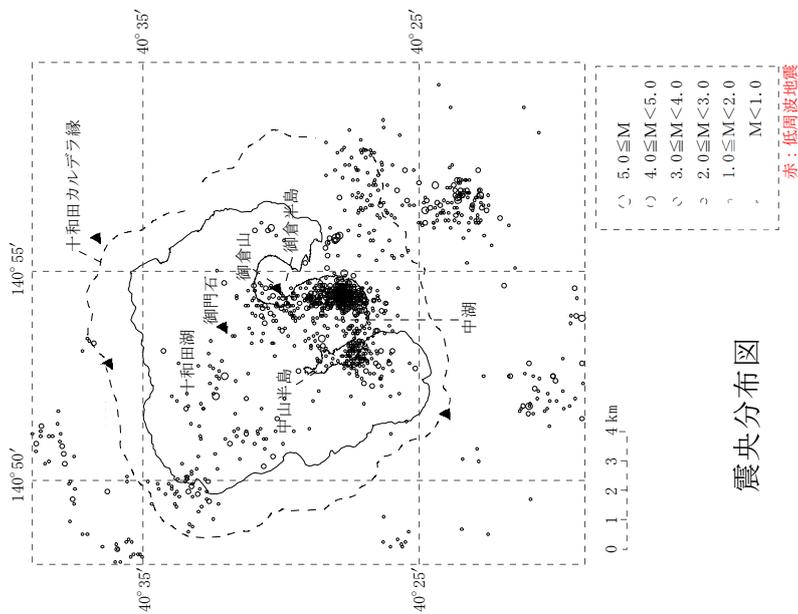
加えて、第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2015)⁽²⁴⁾によると、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果(2014年9月4日と2014年10月16日)について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2019)⁽²⁵⁾においても、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果(2015年10月8日と2018

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。

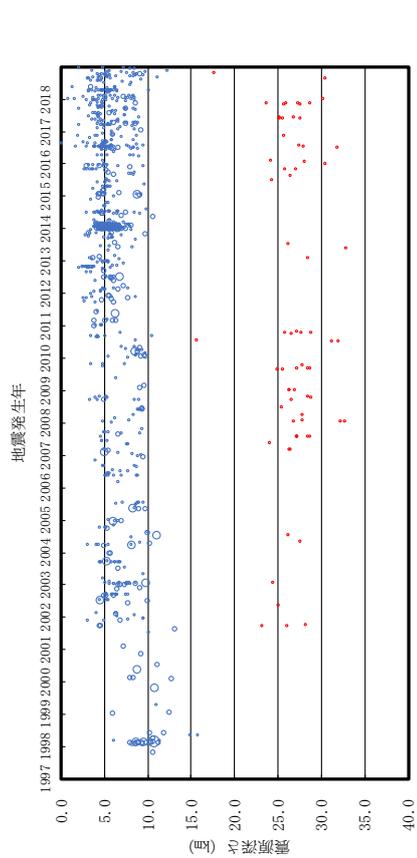
さらに、国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録を基に作成した、十和田付近の一等水準路線の上下変動(第21図参照)によると、大館付近において局所的な変動はあるが、十和田に最も近い碓ヶ関付近の一等水準点には継続的な変位の累積は認められず、十和田を中心とした継続的な変位の累積は認められない。

(四) 地球物理学的調査の評価

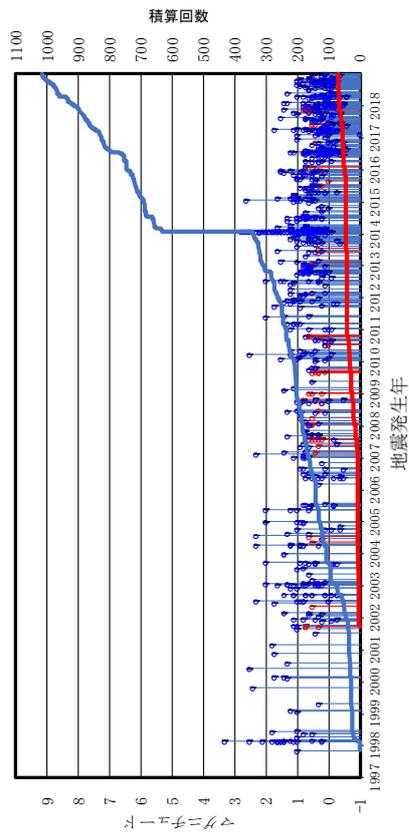
地震波速度構造、比抵抗構造並びに地震及び地殻変動から、現状、十和田直下の上部地殻(約20km以浅)には、巨大噴火が可能な量のマグマ溜まりが存在する可能性は十分小さく、大規模なマグマの移動・上昇等の活動を示す兆候は認められない(根拠資料参照)。



気象庁一元化震源カタログ
 地震月報(カタログ編)(気象庁、2019)⁽²⁰⁾(期間：1997年10月～2017年12月)
 気象庁一元化処理震源要素(防災科学技術研究所、2019)⁽²¹⁾(期間：2018年1月
 ～2018年12月)に基づき作成

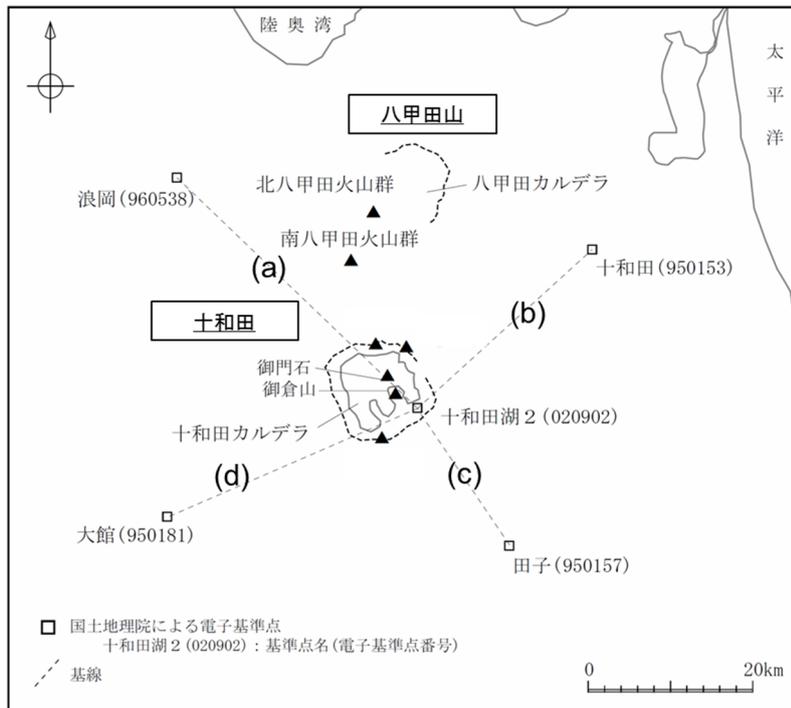


震源深さの時間変化図

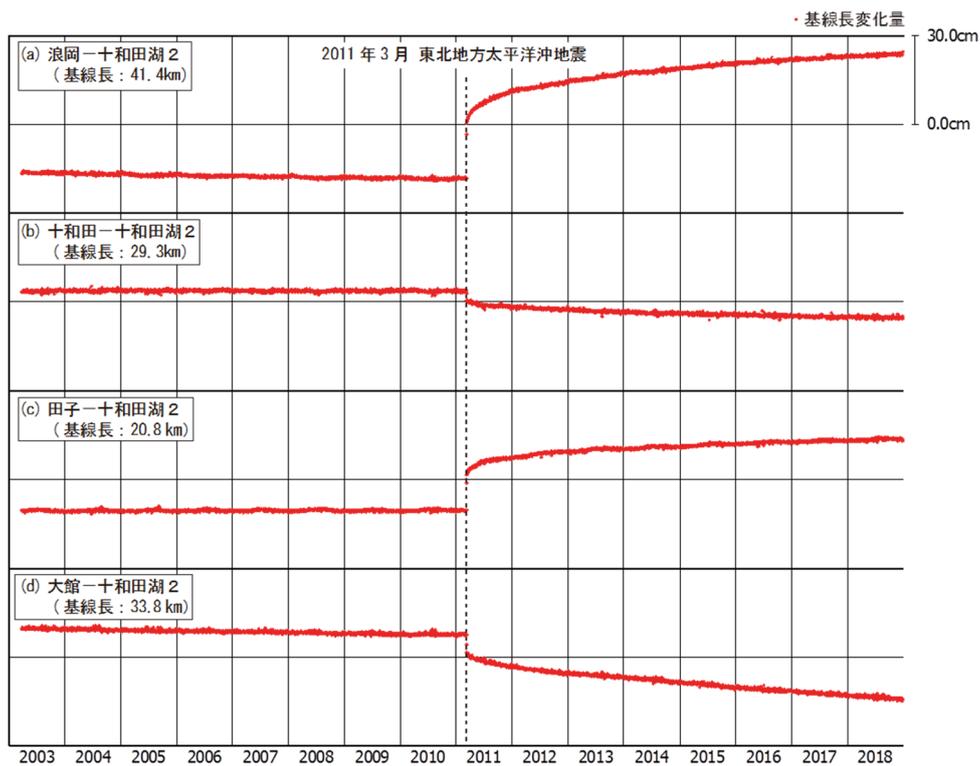


地震活動経過図及び回数積算曲線

第19図 十和田付近における地震活動



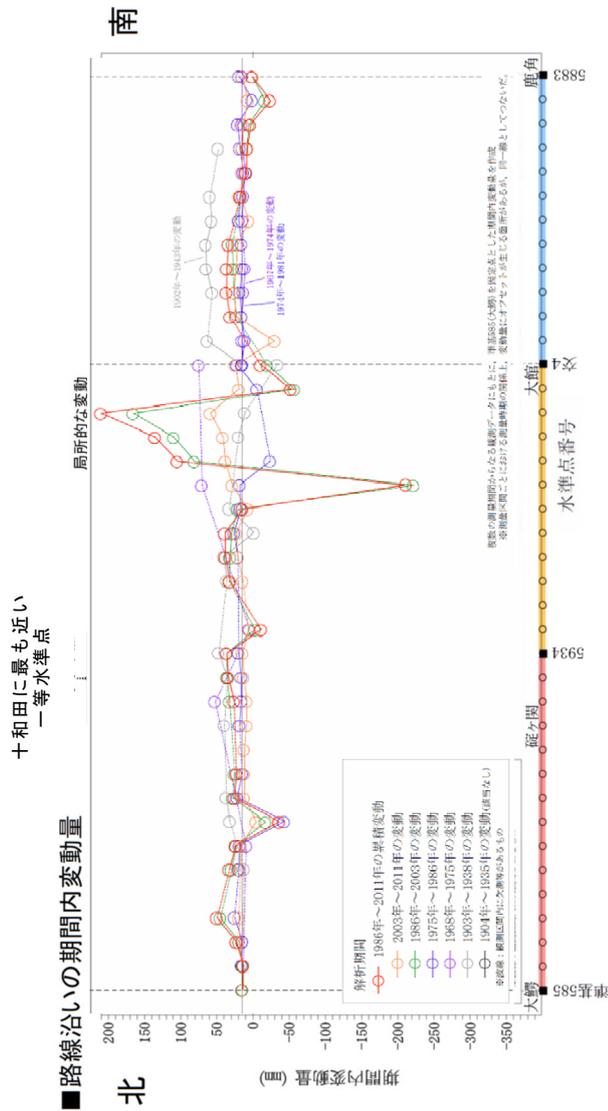
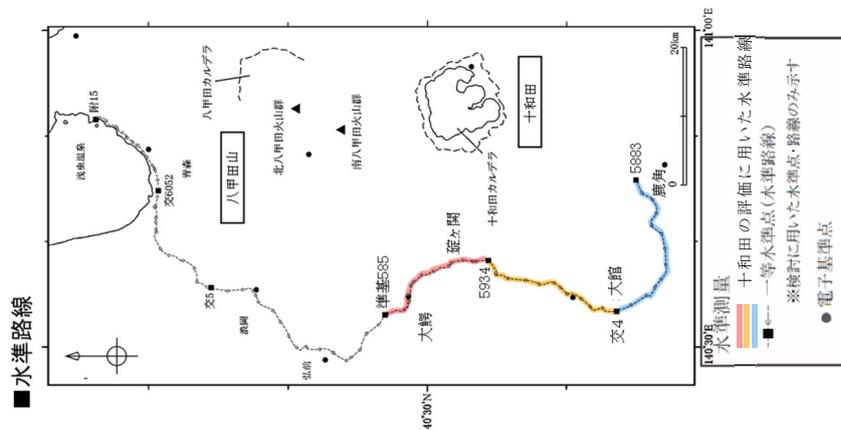
電子基準点及び基線位置図



基線長の時間変化

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)

第20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)



観測の測量期間からなる観測データを基に、準基 585(大鷹)を固定点とした期間内変動量を

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

第 21 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

(d) 巨大噴火の可能性評価のまとめ

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・噴出率が異なる(巨大噴火前には数万年間の低噴出率期が先行する傾向が見られるが、後カルデラ期は高噴出率期である)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)⁽¹¹⁾。

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と評価した。

地球物理学的調査の結果、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。

文献調査の結果、十和田について、高橋(2008)⁽¹³⁾及び工藤ほか(2011)⁽¹¹⁾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)⁽¹⁴⁾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小さいと評価した。

b. 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価

(a) 活動履歴

最後の巨大噴火(噴火エピソードL)以降の活動期である後カルデラ期は、1,000年単位で頻繁に噴火を続けており、後カルデラ期と同規模の活動可能性は十分小さいと判断できない。したがって、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(見かけの噴出量は約5km³)を対象として、敷地への到達の可能性を評価する。(第22図参照)

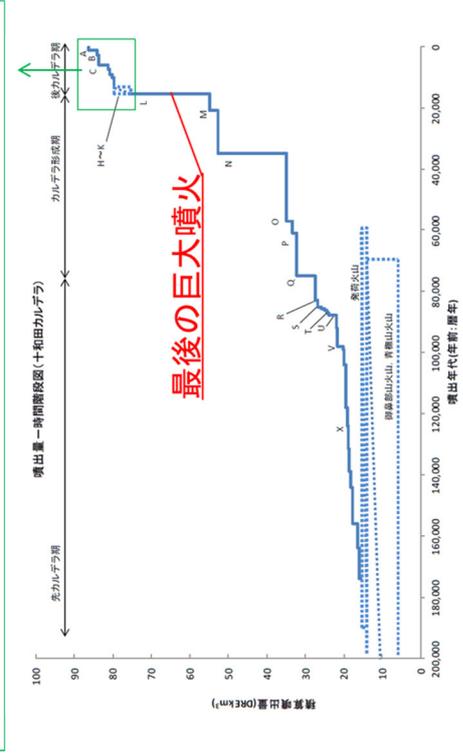
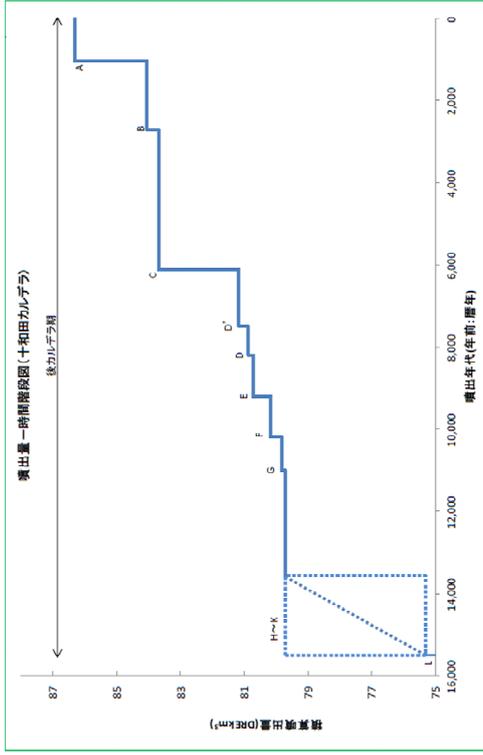
(b) 地質調査及び火山学的調査

町田・新井(2011)⁽⁹⁾及びHayakawa(1985)⁽¹⁰⁾は、毛馬内火砕流堆積物を十和田カルデラから主に河川沿いに図示している。また、十和田火山防災協議会(2018)⁽¹⁴⁾は、広井ほか(2015)⁽²⁶⁾等を考慮し、毛馬内火砕流堆積物及び

OYU-2b の火砕サージ堆積物の確認地点を基に、十和田カルデラの周囲約 20km の範囲を火砕流・火砕サージの推定到達範囲として図示している。それらを合わせて第 23 図に示す。いずれの知見においても、毛馬内火砕流は、敷地に到達していない。

(c) 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価のまとめ

活動履歴及び地質調査・火山学的調査の結果より、最後の巨大噴火以降の最大規模の毛馬内火砕流が敷地に到達していないことから、火砕物密度流が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。また、火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象は、「4. (1) 詳細調査対象火山の抽出」に記載するように、敷地と火山の離隔等から、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。

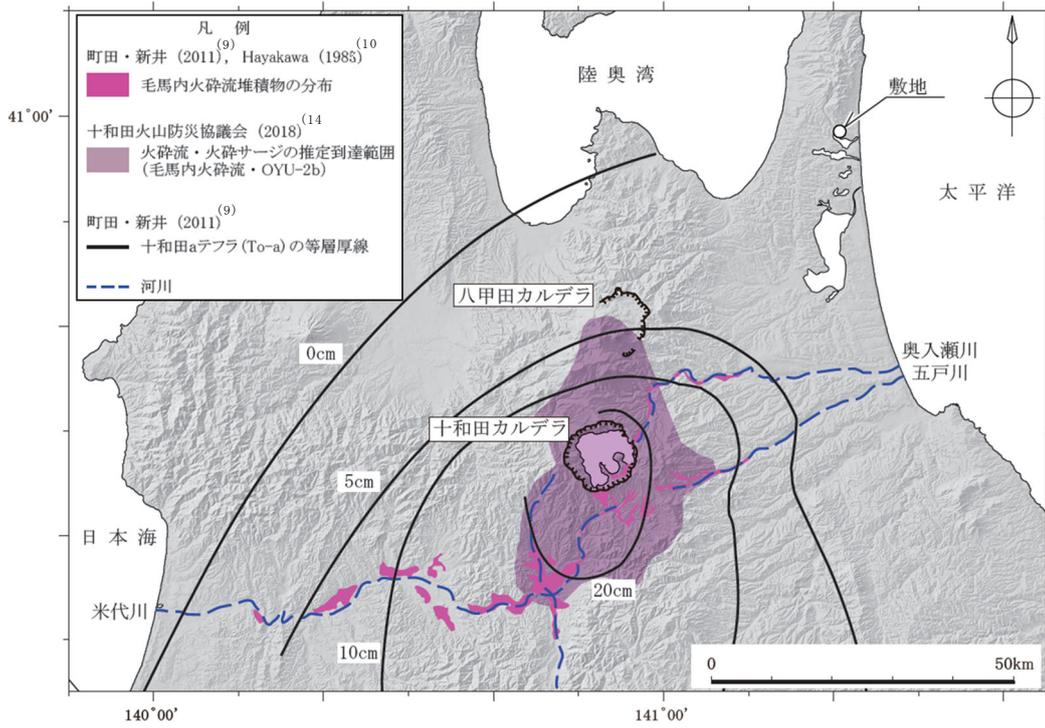


活動期	噴火エピソード (Hayakawa, 1985)	噴出物	マグマ種類	噴火様式	体積: km ³ (斜体はDRE 下線は算かけの噴出量)
後カルデラ 成層火山・ 溶岩ドーム (後カルデラ 期)	A	十和田アフラ 毛馬内火砕流 大湯3軽石 大湯2火山灰(OYL-2) 大湯1軽石 惣部火山灰 迷ヶ平軽石	流紋岩～ デイサイト — — 流紋岩 — 流紋岩 — 流紋岩	火砕流 降下軽石 降下火山灰、火砕サージ 降下軽石 降下火山灰 降下軽石	<i>2.2</i> ^{※2} <u>9.51</u> ^{※3} — — <i>0.35</i> ^{※2} <u>0.81</u> ^{※3}
	B	惣部火山灰 迷ヶ平軽石	流紋岩 — 流紋岩	降下火山灰 降下軽石	<i>0.35</i> ^{※2} <u>0.81</u> ^{※3}
	C	宇樽部火山灰 金ヶ沢軽石 中環軽石(CU)	デイサイト デイサイト 安山岩～ デイサイト	火砕サージ、降下火山灰 降下軽石 プリニ-式噴火、降下軽石	<i>2.52</i> ^{※2} <u>9.18</u> ^{※3}
	D'	御門石溶岩 御倉山溶岩 戸来火山灰	デイサイト デイサイト デイサイト	溶岩ドーム 溶岩ドーム マグマ水蒸気噴火、降下火山灰	<i>0.29</i> ^{※2} <u>0.325</u> ^{※3}
	D	中ノ沢火山灰 小国軽石	— デイサイト	降下火山灰 降下軽石、降下火山灰	<i>0.16</i> ^{※2} <u>0.34</u> ^{※3}
	E	貝守火山灰 南部軽石	— デイサイト	降下火山灰 プリニ-式噴火、降下軽石	<i>0.54</i> ^{※2} <u>2.51</u> ^{※3}
	F	柵山火山灰 夏坂スコリア	安山岩 安山岩	降下火山灰、スコリア 降下スコリア	<i>0.36</i> ^{※2} <u>1.26</u> ^{※3}
	G	新郷軽石	デイサイト	降下軽石	<i>0.1</i> ^{※2} <u>0.45</u> ^{※3}
	H	五色岩火山	玄武岩質	溶岩流、降下スコリア	<i>4.42</i> ^{※2}
	I	この倉子カラ群	安山岩	降下火山灰	<u>10.1</u> ^{※3}
	J				
	K				

※1: 第四紀火山カタログ委員会編(1999)⁽¹⁾より引用。
 ※2: 文献中でDRE換算されている値を階段図等から読み取った体積。
 ※3: Hayakawa (1985)⁽¹⁰⁾より引用。

山元(2015)⁽⁸⁾に基づき作成

第22図 十和田の後カルデラ期の階段ダイアグラム



町田・新井 (2011)⁽⁹⁾、Hayakawa (1985)⁽¹⁰⁾ 及び十和田火山防災協議会 (2018)⁽¹⁴⁾ に基づき作成

第 23 図 毛馬内火砕流堆積物の分布

(3) 八甲田山

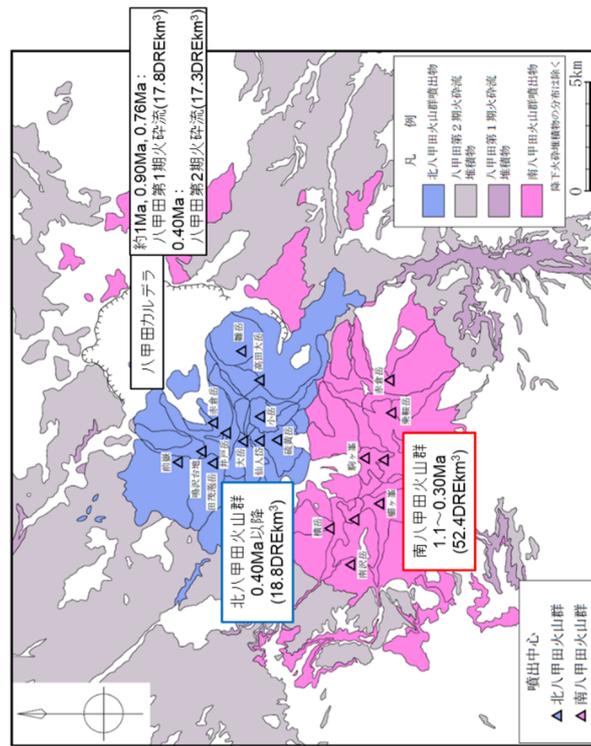
気象庁編(2013)⁽²⁾によると、八甲田山は、少なくとも17以上の成層火山や溶岩ドームからなり、南八甲田火山群及び北八甲田火山群に区分され、八甲田カルデラは、北八甲田火山群の直下～北東に存在するとしている。中野ほか編(2013)⁽¹⁾及び宝田・村岡(2004)⁽²⁷⁾によると、南八甲田火山群は、八甲田カルデラの先カルデラ火山であり、約1.1Ma～0.3Maに活動したとしている。

村岡・高倉(1988)⁽²⁸⁾によると、八甲田カルデラの噴出物として、八甲田第1期火砕流堆積物及び八甲田第2期火砕流堆積物が示されている。

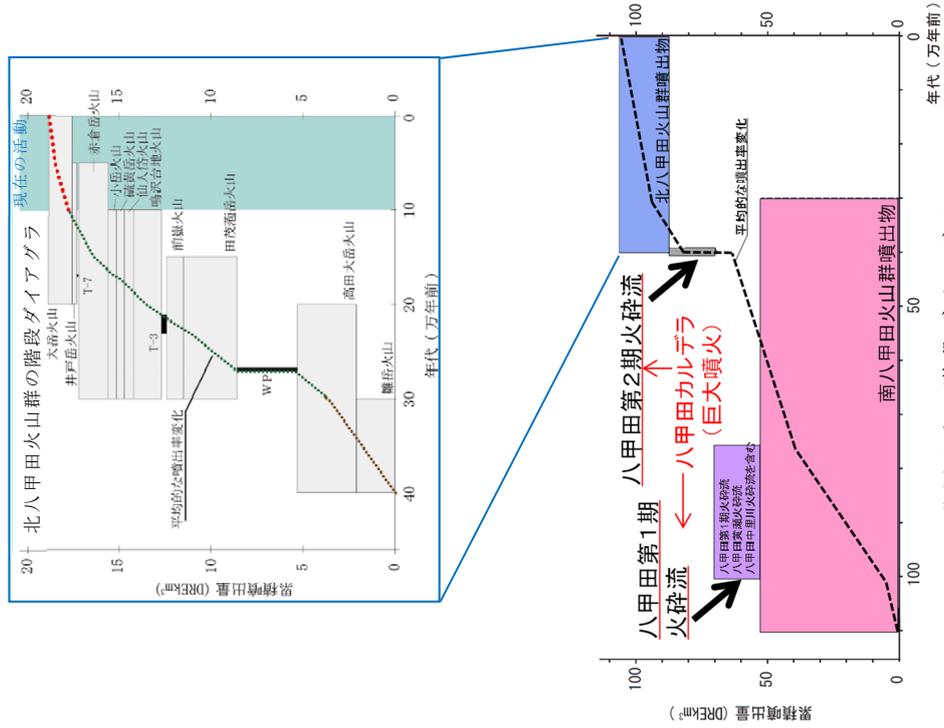
中野ほか編(2013)⁽¹⁾及び工藤ほか(2011)⁽²⁹⁾によると、八甲田山の活動を南八甲田火山群、八甲田カルデラ及び北八甲田火山群の活動に区分し、このうち、八甲田カルデラにおいては、約1Ma(八甲田中里川)、0.90Ma(八甲田黄瀬)、0.76Ma(八甲田第1期)及び0.40Ma(八甲田第2期)に大規模火砕流を噴出したとしている。

工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾によると、北八甲田火山群は、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としている。これらを踏まえた八甲田山の分布と階段ダイアグラムを第24図に示す。これらの噴火のうち、巨大噴火に該当する噴火は、八甲田カルデラの八甲田第1期火砕流(見かけの噴出量は37km³)及び八甲田第2期火砕流(見かけの噴出量は36km³)を噴出した噴火である。

したがって、この2回の巨大噴火と最後の巨大噴火(八甲田第2期火砕流を噴出した噴火)以降の噴火を対象に評価を実施した。



八甲田山の地質図



八甲田山の階段ダイアグラム

中野ほか編(2013)⁽¹⁾、宝田・村岡(2004)⁽²⁷⁾、村岡・高倉(1988)⁽²⁸⁾、工藤ほか(2011)⁽²⁹⁾、工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾及びUmeda et al.(2013)⁽⁶²⁾に基づき作成

第24図 八甲田山の噴出物の分布と階段ダイアグラム

a. 巨大噴火の可能性評価

(a) 活動履歴

八甲田山は、約 110 万年前から活動を開始し、南八甲田火山群及び八甲田カルデラの活動後、最近 30 万年間では北八甲田火山群のみ活動が継続している。工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾によると、北八甲田火山群は、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。また、北八甲田火山群の噴出率及び活動様式の時間変化から、その火山活動のピークは 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いるとしている。加えて、噴出中心が火山群中央部に収束する傾向が認められることから、北八甲田火山群の活動は、長期的にみると終息へ向かいつつある状態と解釈できるとしている(第 25 図)。

また、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)⁽³¹⁾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。

(b) 地質調査及び火山学的調査

八甲田山において、過去最大規模の火砕物密度流を噴出した八甲田カルデラの噴出物を対象に調査を実施した。

村岡・高倉(1988)⁽²⁸⁾、第四紀火山カタログ委員会編(1999)⁽⁵⁾によると、八甲田第 1 期火砕流の見かけの噴出量は 37km³、八甲田第 2 期火砕流の見かけの噴出量は 36km³とされているが、八甲田第 1 期火砕流堆積物は、工藤ほか(2006)⁽³²⁾、工藤ほか(2011)⁽²⁹⁾等によって示された年代測定、化学分析結果等によると、異なる時代の複数の火砕流堆積物で構成されている可能性があるとしてされている。これらのことから、2 回の巨大噴火のうち八甲田第 2 期火砕流が、八甲田山の過去最大規模の火砕流であると評価した。

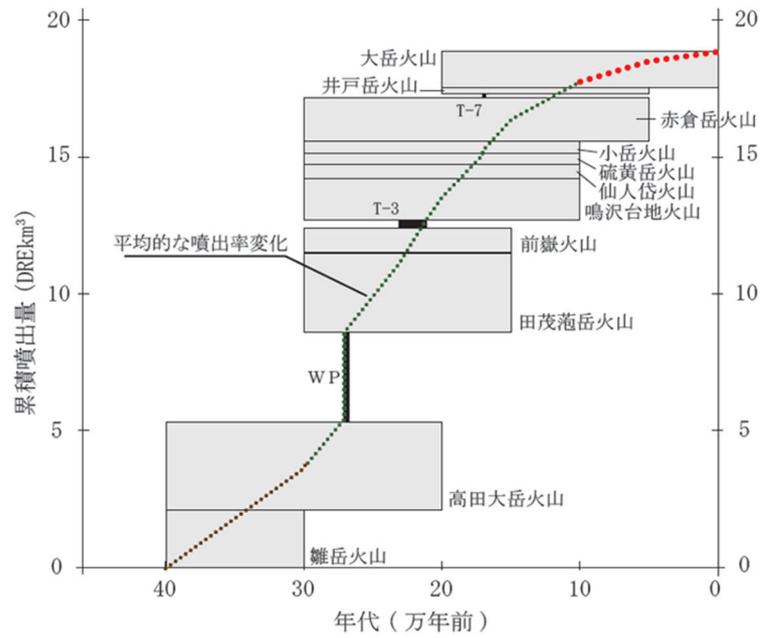
八甲田第 2 期火砕流堆積物は、第 26 図に示すように、八甲田山周辺に広く分布し、敷地方向では八甲田山から東北町西部にかけて分布し、八甲田山近傍の小幌内川林道(Loc. A05)及び十和田砂土路(Loc. A01)では層厚約 6m 及び約 4m、東北南平赤川支流(Loc. B13)では層厚約 2.5m 以上の火砕流堆積物として確認した。

一方、東北長者久保西方(Loc. B01)においては、オレンジテフラ、甲地軽石(工藤(2005)⁽³³⁾による「八甲田白ベタテフラ」に相当する。)及び複数の

降下火砕物(袋町テフラ群：桑原(2004)⁽³⁴⁾の「袋町1～13テフラ」に相当する。)が確認され、これらの中に挟まる袋町9aテフラは、おおむね淘汰良好な軽石を主体とすることから、降下火砕物と評価した。また、その年代及び鉱物的特徴(石英を非常に多く含む等)は、八甲田第2期の噴出物と類似することから、八甲田第2期の噴火に伴って噴出した降下火砕物と考えられる。

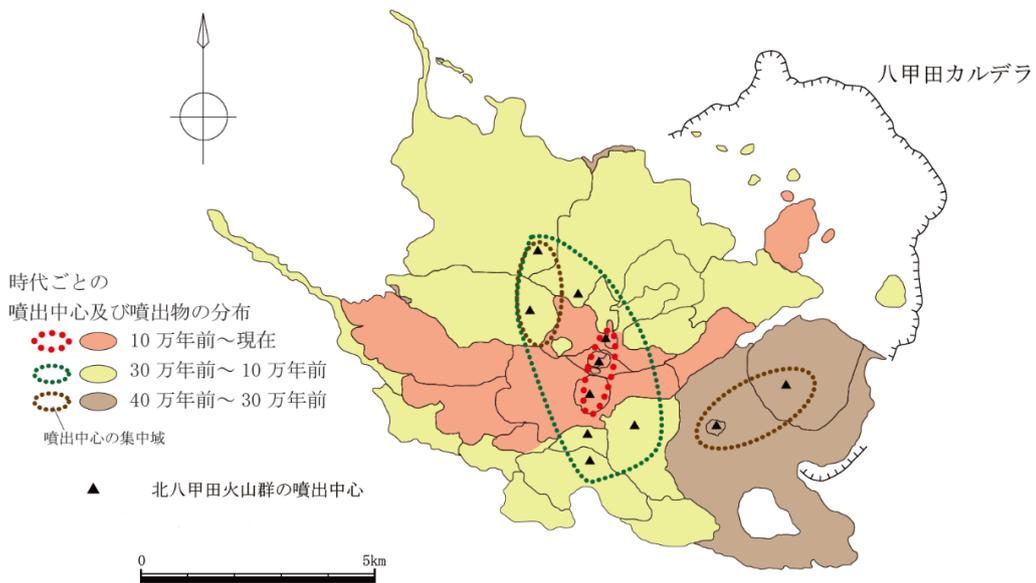
しかし、本地点には、八甲田第2期の噴火に伴う火砕流堆積物は確認できない。このことは、本地点には、八甲田第2期の噴火に伴う火砕流は到達していないことを示唆している(第27図)。加えて、桑原(2004)⁽³⁴⁾及び桑原ほか(2007)⁽³⁵⁾によると、野辺地町袋町地点における露頭から、降下火砕物等の層序等に関する報告がされているが、八甲田第2期火砕流堆積物は認められていない。

以上のことから、これらの地点より北方に位置する敷地に火砕流は到達していないと評価した。



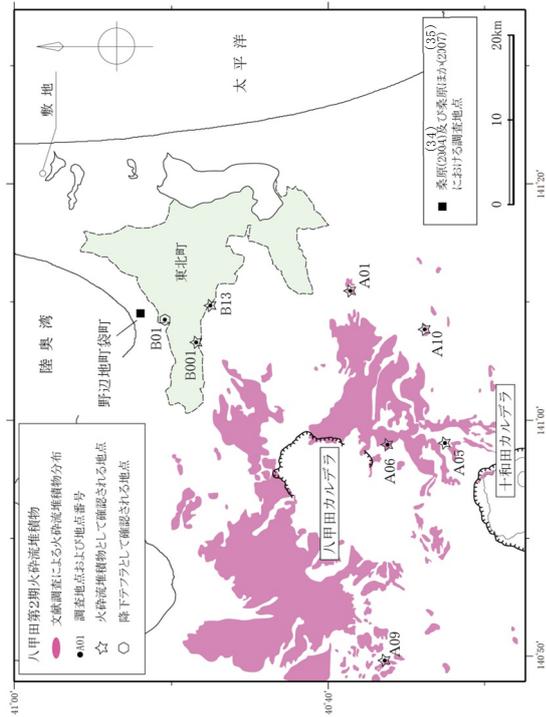
火山体	年代	噴出量	降下火砕物	年代*	噴出量
大岳火山	0.2Ma ~ 現在	1.3DREkm ³	T-7	0.17Ma	0.1DREkm ³
井戸岳火山	0.2Ma ~ 0.1Ma 以降	0.25DREkm ³	T-3	0.23Ma ~ 0.21Ma	0.3DREkm ³
赤倉岳火山	0.3Ma ~ 0.1Ma 以降	1.6DREkm ³	甲地軽石 (WP)	0.27Ma	3.3DREkm ³
小岳火山	0.3Ma ~ 0.1Ma	0.45DREkm ³			
硫黄岳火山	0.3Ma ~ 0.1Ma	0.43DREkm ³			
仙人袋火山	0.3Ma ~ 0.1Ma	0.51DREkm ³			
鳴沢台地火山	0.3Ma ~ 0.1Ma	1.4DREkm ³			
前嶽火山	0.3Ma ~ 0.15Ma	0.91DREkm ³			
田茂菴岳火山	0.3Ma ~ 0.15Ma	2.9DREkm ³			
高田大岳火山	0.4Ma ~ 0.2Ma	3.2DREkm ³			
雑岳火山	0.4Ma ~ 0.3Ma	2.1DREkm ³			

※北八甲田火山群の噴出物の区分(30) 年代及び噴出量は工藤ほか(2004)に基づく

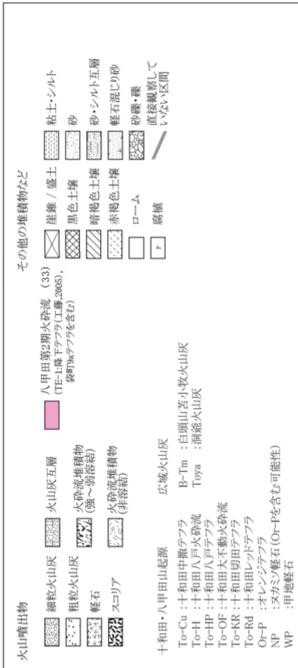
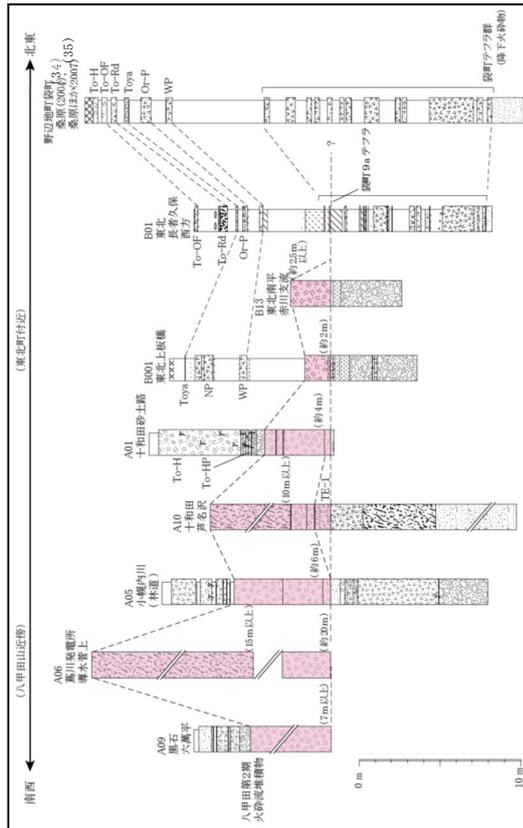


工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾に基づき作成

第 25 図 北八甲田火山群の噴出率の時間変化及び噴出中心の時空間分布

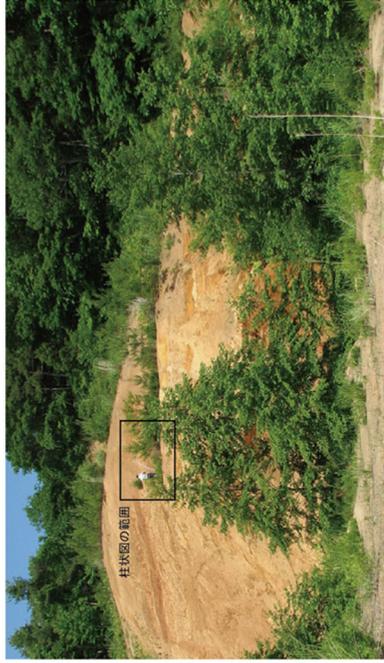
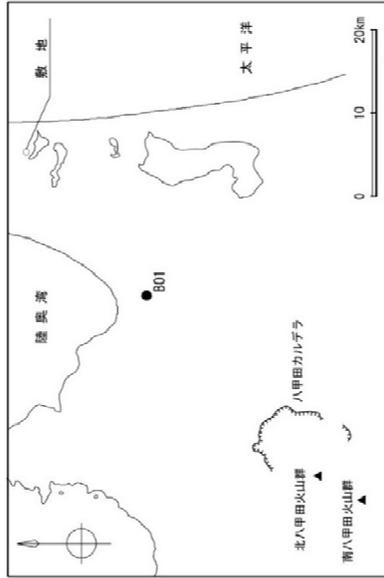


(村岡・高倉 (1988)⁽²⁸⁾、桑原 (2004)⁽³⁴⁾、桑原ほか (2007)⁽³⁵⁾、村岡ほか (1991)⁽³⁵⁾、大沢ほか (1993)⁽³⁶⁾ 及び青森県史編さん自然部会 (2001)⁽³⁵⁾ に基づ

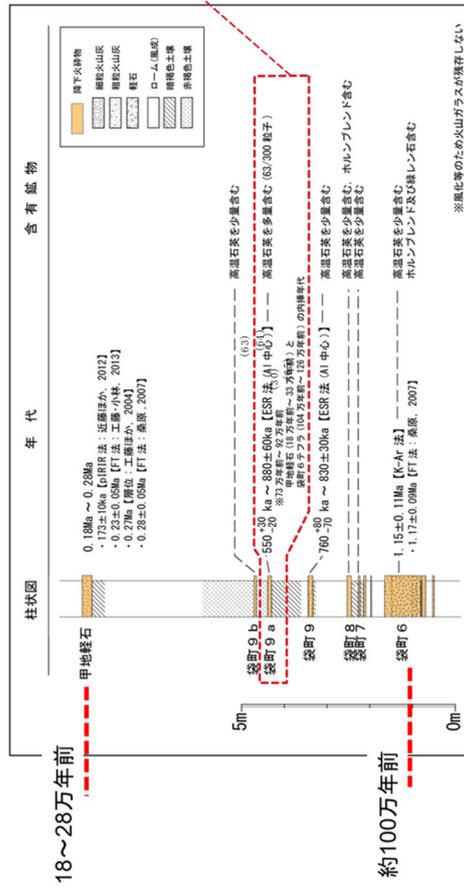


第26図 八甲田第2期火砕流堆積物に着目した地質柱状図

【東北町の露頭：B01地点】



露頭写真



八甲田山周辺に分布する主な堆積物

堆積物	年代	含有鉱物
八甲田第2期	約40万年前	高温石英を多量含む。 高温石英を少量含む。
八甲田第1期	約76万年前	高温石英、カニングトロン石を少量含む。 高温石英を含む。
八甲田東淵	約90万年前	(高温石英を含む)
黄瀬川	78万年前~99万年前	高温石英を少量含む
八甲田中里川	約100万年前	高温石英を含む

(27) 宝田・村岡 (2004)。(32) 宝田・村岡 (2006) 等に基づき作成

第27図 Loc. B01における八甲田カルデラの噴出物に着目した地質柱状図等

(c) 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。

(一) 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)⁽¹⁶⁾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 13 図参照)。中島(2017)⁽¹⁷⁾によると、Nakajima et al. (2001)⁽¹⁶⁾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 14 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))⁽¹⁸⁾の地震波トモグラフィ解析結果(第 15 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 16 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)⁽¹⁹⁾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)⁽³⁶⁾によると、周期 64 秒のインダクションベクトル(第 28 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)⁽³⁶⁾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 29 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。

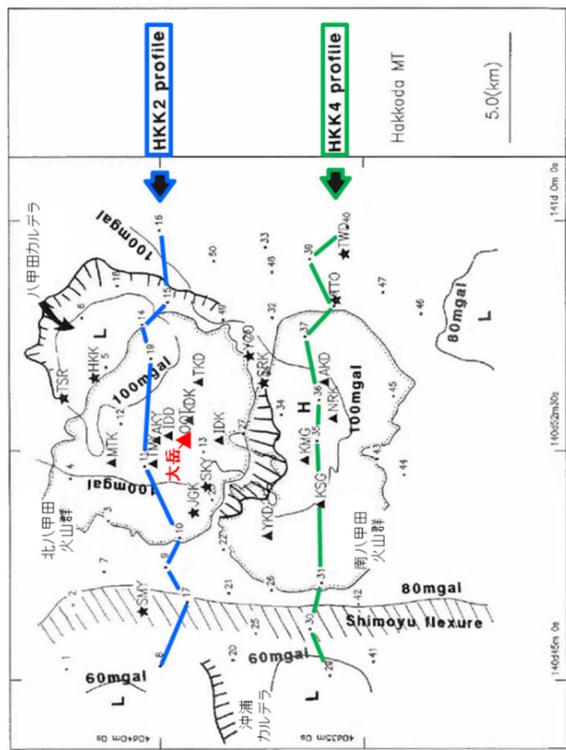
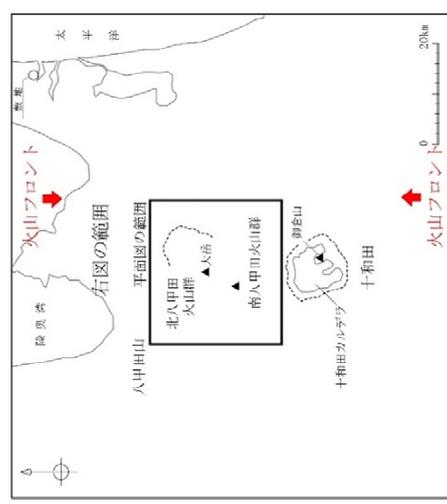
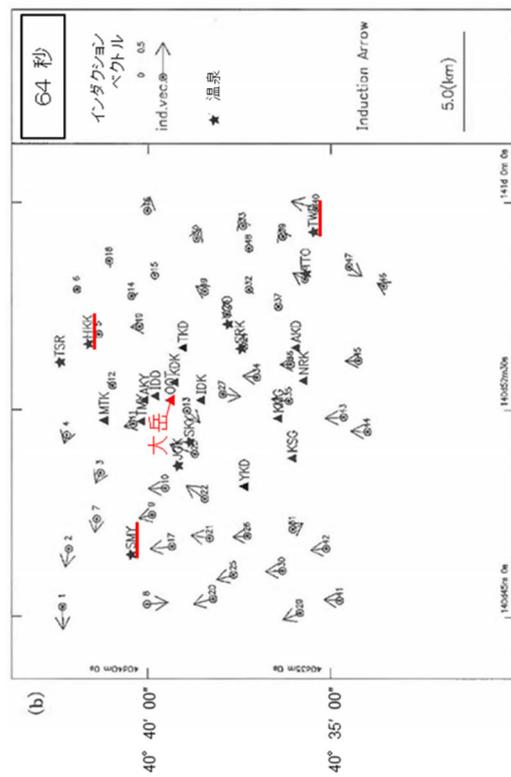
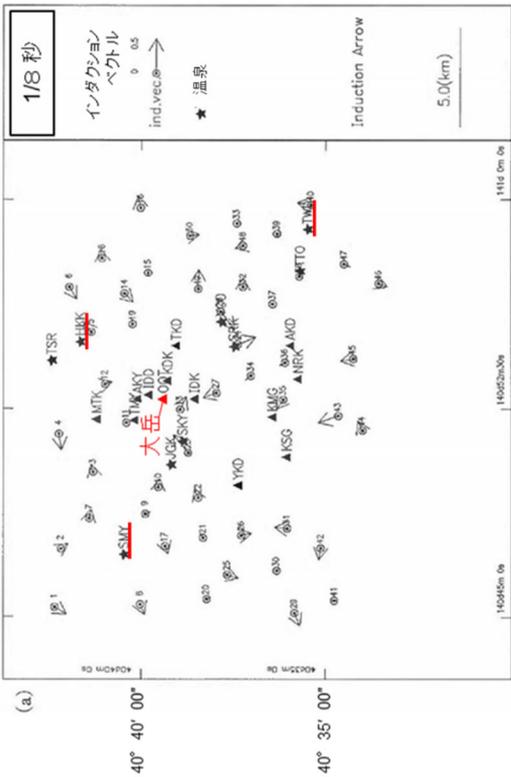
地震波速度構造及び比抵抗構造を統合的に解釈すると、八甲田山直下の上部地殻内の 10km 以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低 V_p かつ低 V_p/V_s であることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高 V_p/V_s かつ低比抵抗領域は認められない。

(二) 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⁽²⁰⁾)(期間：1997 年 10 月～2017 年 12 月)及び気象庁一元化処理震源要素⁽²¹⁾(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 30 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)⁽³⁷⁾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 時までには 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。

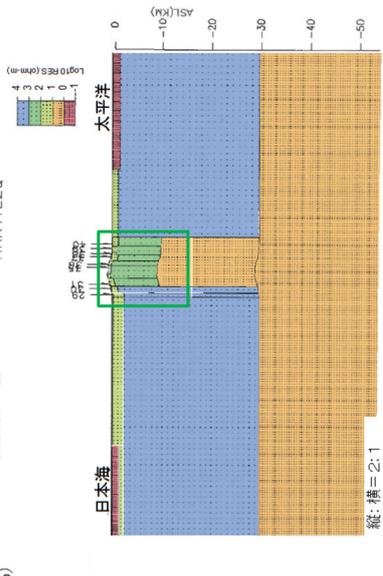
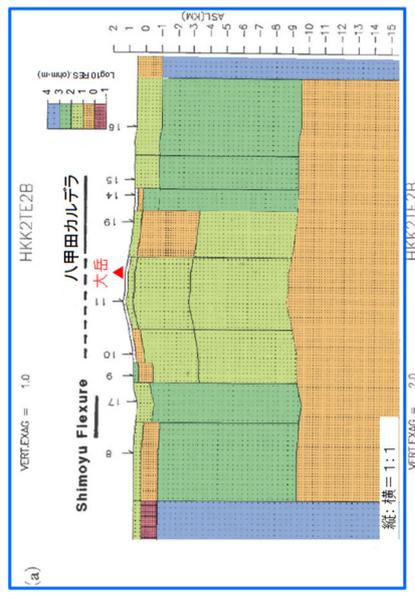
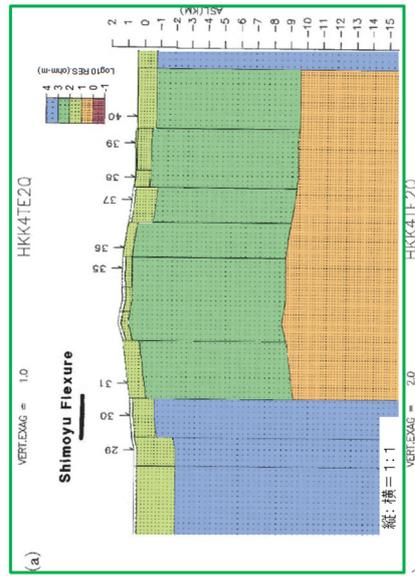
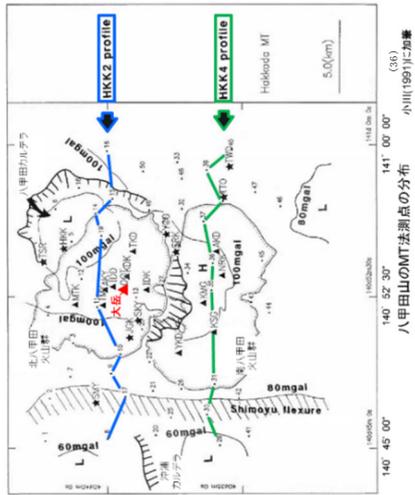
加えて、火山の状況に関する解説情報(八甲田山第 3 号)令和元年 10 月 8 日 16 時 00 分(気象庁、2019)⁽³⁸⁾によると、2019 年 10 月 7 日 6 時頃から始まった八甲田山周辺での地震は、2019 年 10 月 8 日 10 時以降観測されていないとしている。加えて、低周波地震や火山性微動は観測されておらず、地殻変動には火山活動に伴う変化はみられないとしている。また、監視カメラによる観測では、地獄沼付近及び大岳周辺に特段の変化はみられず、火山活動の活発化を示す変化は認められないとしている。



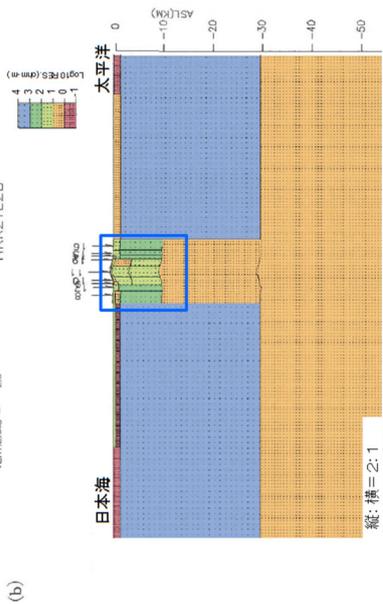
八甲田山のMT法測点の分布

小川(1991)⁽³⁶⁾に加筆

第28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



南八甲田火山群を切る測線(HKK4)



北八甲田火山群と八甲カルデラを切る測線(HKK2)

小川(1991)⁽³⁶⁾に加筆及び塗色

第29図 八甲田山の比抵抗構造

(三) 地殻変動

国土地理院(2018)⁽²³⁾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31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、全ての基線において余効変動が継続している。

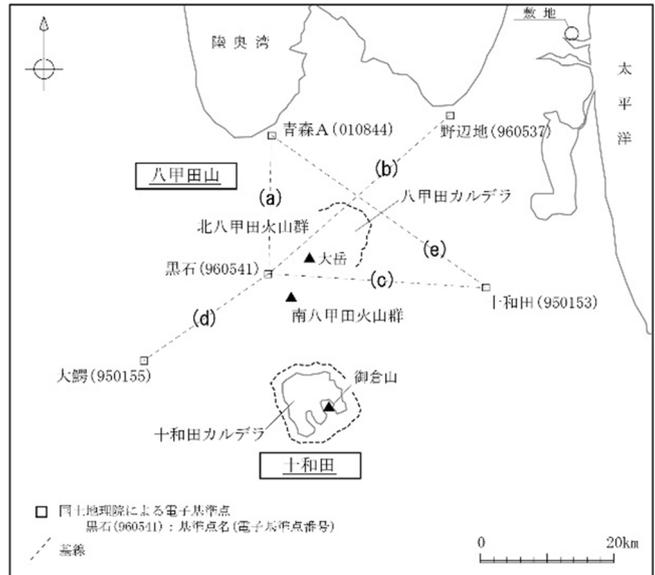
また、八甲田山の火山活動解説資料(平成26年6月)(気象庁、2014)⁽³⁹⁾によると、2013年2月頃以降わずかな膨張を示す地殻変動がみられていたが、8月頃から鈍化し、11月頃からは停滞しその状態が続いているとしている。

加えて、第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2015)⁽²⁴⁾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)⁽²⁵⁾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。

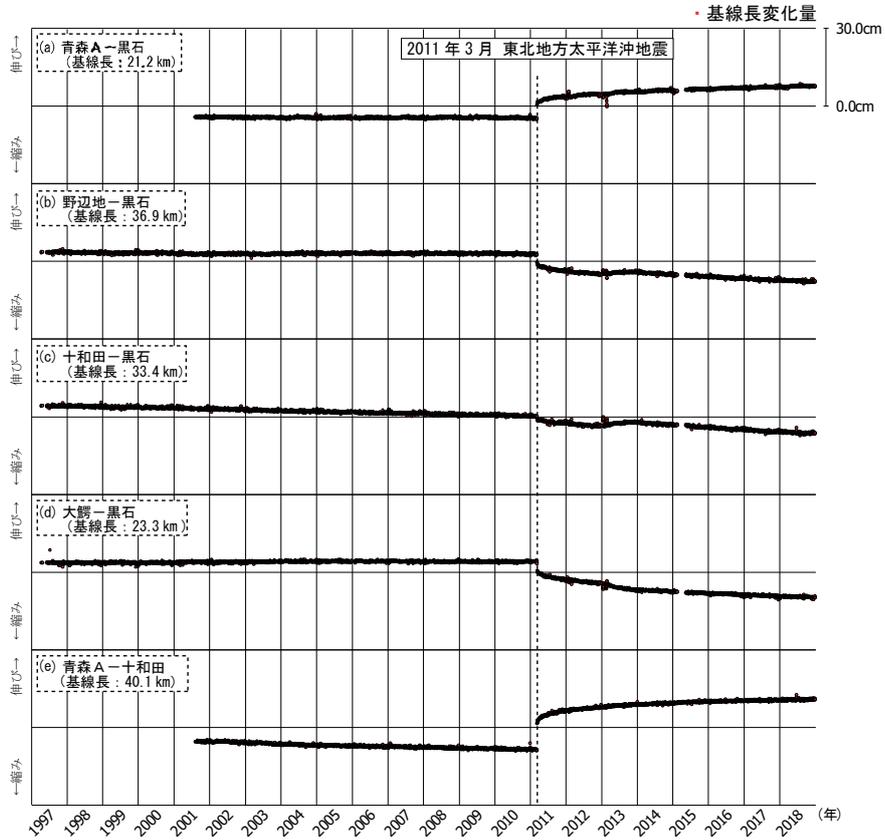
さらに、国土地理院による基盤地図情報及び一等水準点検測成果収録を基に作成した、八甲田山付近の一等水準路線の上下変動(第32図参照)によると、青森及び藤崎町付近において地盤沈下による局所的な変動はあるが、八甲田山に最も近い青森付近の一等水準点には継続的な変位の累積は認められず、八甲田山を中心とした継続的な変位の累積は認められない。

(四) 地球物理学的調査の評価

地震波速度構造、比抵抗構造並びに地震及び地殻変動から、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。



電子基準点及び基線位置図



基線長の時間変化

国土地理院の電子基準点データより作成(期間：1997年1月～2018年12月)

第31図 八甲田山を囲む電子基準点間の基線長の時間変化(斜距離成分)

(d) 巨大噴火の可能性評価のまとめ

活動履歴について、工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾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。

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期火砕流は敷地に到達していないと評価した。

地球物理学的調査の結果、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。

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)⁽³¹⁾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。

b. 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価

(a) 活動履歴

最後の巨大噴火(八甲田第2期火砕流を噴出した噴火)以降の活動について、北八甲田火山群は、工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾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としていることから、北八甲田火山群における最大規模の火山活動を評価した。一方、八甲田カルデラの先カルデラ火山である南八甲田火山群については、宝田・村岡(2004)⁽²⁷⁾によると、約1.1Ma頃に活動を開始し八甲田カルデラ形成後の約0.3Maまで活動したとしていることから、最後の巨大噴火(約40万年前)以降、約30万年前までの活動における最大規模の火山活動を評価した。

(b) 地質調査及び火山学的調査

工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾によると、最後の巨大噴火以降の火山活動である北八甲田火山群(40万年前以降)の活動における最大規模の噴火に伴う噴出物は高田大岳溶岩類(3.2DREkm³)であり、その分布は噴出中心付近に限られ、敷

地が位置する北東方向では、八甲田カルデラを越えて分布していない。なお、北八甲田火山群の全噴出物や岩屑なだれを含め、八甲田カルデラを越えて分布していない(第 33 図参照)。

一方、宝田・村岡(2004)⁽²⁷⁾によると、八甲田カルデラの先カルデラ火山である南八甲田火山群について、最後の巨大噴火(約 40 万年前)以降、約 30 万年前まで活動したとされるが、それらの噴出物の分布は南八甲田火山群の山体周辺に限られ、敷地が位置する北東方向では、八甲田カルデラを越えて分布していない(第 34 図参照)。

c. 最後の巨大噴火以降の火山活動の評価のまとめ

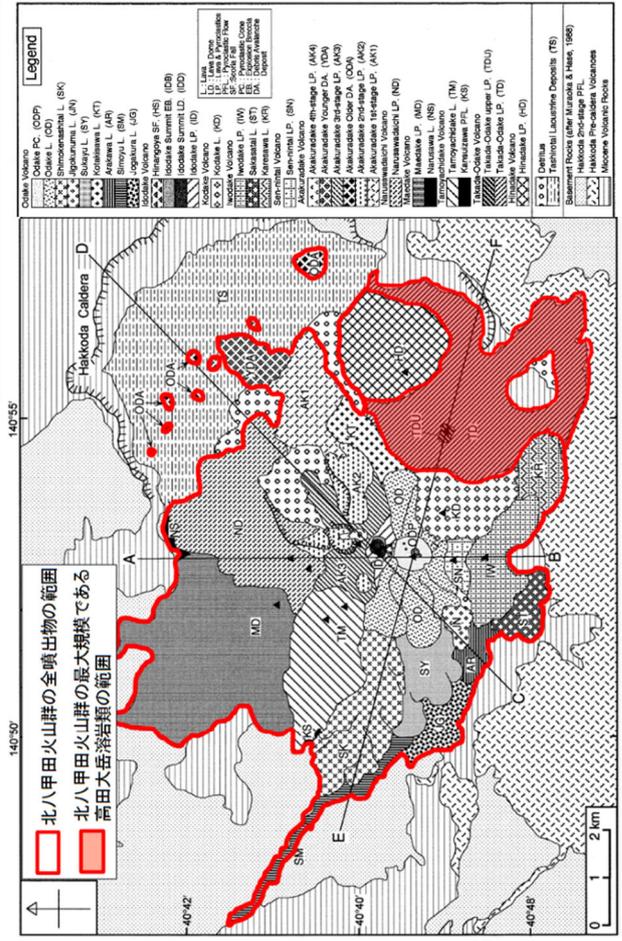
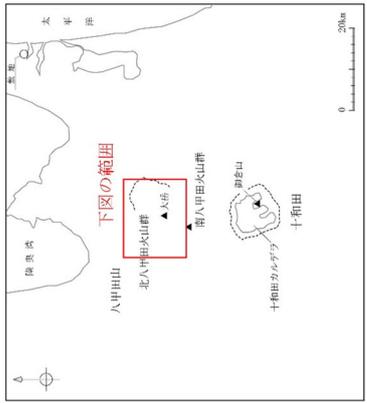
活動履歴調査、地質調査及び火山学的調査から、最後の巨大噴火以降の火山活動では、北八甲田火山群における最大規模の噴出物として高田大岳溶岩類があるが、噴出物の分布は噴出中心付近に限られ(第 33 図参照)、敷地が位置する北東方向では、八甲田カルデラを越えた位置の分布は認められない。一方、南八甲田火山群は最後の巨大噴火以降、約 30 万年前まで活動したとされるが、それらの噴出物の分布は南八甲田火山群の山体周辺に限られ、敷地が位置する北東方向では、八甲田カルデラを越えて分布していない。

また、新しい火口の開口及び地殻変動については、「4. (1) 詳細調査対象火山の抽出」に記載するように、敷地において発生する可能性は十分小さいと評価した。

以上のことから、八甲田山の最後の巨大噴火以降の火山活動に伴う設計対応不可能な火山事象は、発生実績や敷地と火山離隔等から、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。

Volcano	Geological Unit* Abbreviation	Volume** (DRE, km ³)
Odake	ODP	0.01
	OD	0.18
	SK	0.27
	JN	0.02
	SY	0.22
	KT	0.09
	SM	0.17
	AR	0.11
	JG	0.19
	Total	1.3
Idodake	HS	0.001
	IDE	0.001
	IDD	0.004
	ID	0.25
Total	0.25	
Kodake	KD	0.45
	IW	0.23
	ST	0.11
	KZ	0.09
	Total	0.43
Sen-nintai	SN	0.51
	AK4	0.002
	AK3	0.11 (0.02)
	AK2	0.79 (0.23)
	AK1	0.39 (0.08)
Total	1.6	
Narusawadaichi	ND	1.3 (0.09)
	Total	1.4
Maedake	MD	0.88
	NS	0.03
Total	0.91	
Tamoyachidake	TM	2.9
	KS	0.02
Total	2.9	
Takada-Odake	TDU	0.003
	TD	3.2
Total	3.2	
Hinadake	HD	2.1
	YDA	0.03
Avalanche	ODA	0.40
	Total	15

北八甲田火山群起源の噴出物



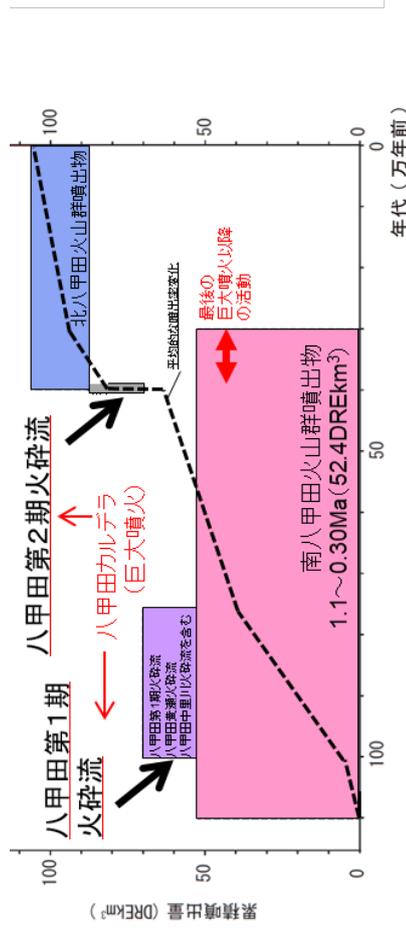
北八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布 (赤線内)

工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾に加筆

第33図 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

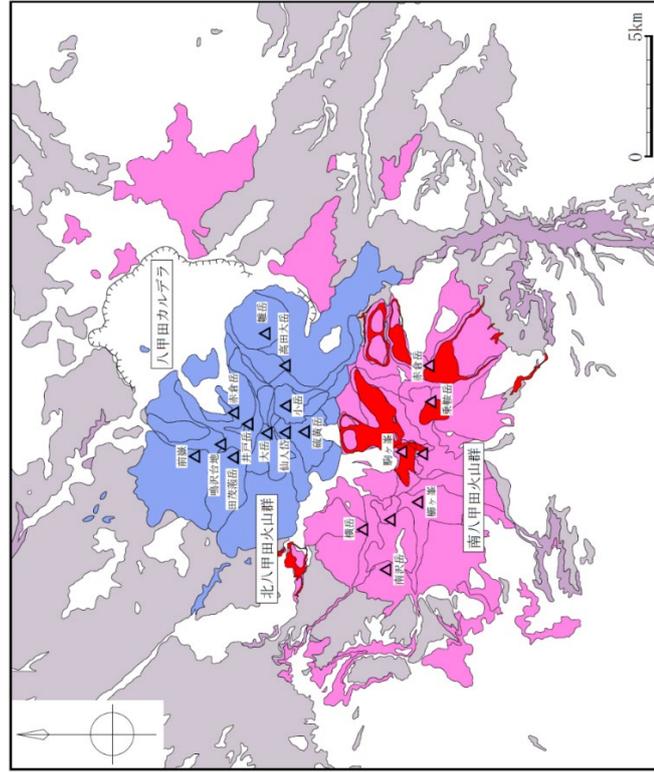
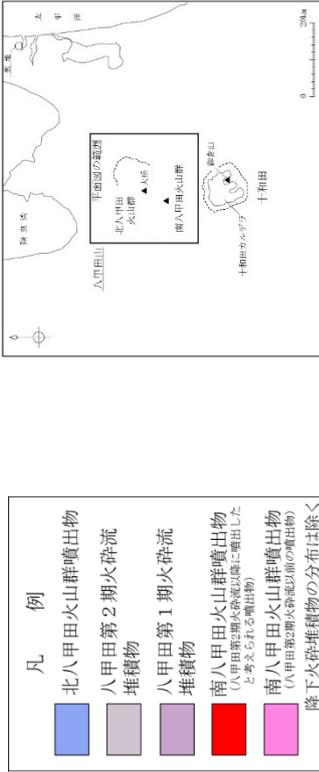
噴出物	噴火様式	年代	体積
駒ヶ峯溶岩, 駒ヶ峯火砕岩	溶岩流, 溶岩ドーム, 火砕岩	0.3Ma	最後の 巨大噴火以降 の活動
黄金平溶岩	溶岩流	0.3Ma	
南八甲田第3ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	0.5Ma~0.3Ma	52.4 km ³ (ORE)
鳶川火砕堆積物	降下火砕物, 火砕流	0.65Ma~0.35Ma	
南八甲田第2ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	0.8Ma~0.6Ma	
黄瀬川火砕流	火砕流	1.0Ma~0.8Ma	
南八甲田第1ステージ溶岩・火砕岩	成層火山体: 溶岩流, 火砕岩	1.1Ma~0.8Ma	

宝田・村岡 (2004) ⁽²⁷⁾、Umeda et al. (2013) ⁽⁶²⁾に基づき作成。
なお、鳶川火砕堆積物は八甲田第2期火砕流(0.4Ma)よりも下位層準である。



年代は中野ほか編(2013) ⁽¹⁾、噴出量は工藤ほか(2011) ⁽²⁹⁾、工藤ほか(2004) ⁽³⁰⁾及び Umeda et al. (2013) ⁽⁶²⁾に基づく

八甲田山の階段ダイアグラム



八甲田山起源の火山噴出物の分布

第34図 南八甲田火山群起源の設計対応不可能な火山事象の分布

(4) まとめ

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敷地への到達可能性を評価した。

火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象については、発生実績や敷地と火山の離隔等から、過去最大規模の噴火を想定しても、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さい。

一方、火砕物密度流については、文献調査の結果、十和田及び八甲田カルデラの巨大噴火に伴う火砕流の到達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、十和田及び八甲田山について、詳細な調査・検討を実施した。

十和田の巨大噴火の可能性評価については、地質調査及び火山学的調査の結果、敷地は巨大噴火による火砕流の末端に位置すると考えられるが、活動履歴、地震波速度構造、比抵抗構造、地震・地殻変動データ等から、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。

八甲田山の巨大噴火の可能性評価については、地質調査及び火山学的調査の結果、巨大噴火による火砕流は敷地に到達していないと考えられ、活動履歴、地震波速度構造、比抵抗構造、地震・地殻変動データ等から、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、本施設の運用期間中における巨大噴火の可能性は十分に小さいと評価した。

また、最後の巨大噴火以降の火山活動については、活動履歴及び地質調査・火山学的調査の結果より、最後の巨大噴火以降の最大規模の火砕流が敷地に到達していないことから、廃棄物埋設地に影響を及ぼす可能性は十分小さく、火砕物密度流以外の設計対応不可能な火山事象は、敷地と火山の離隔等から、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。

5. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の火山活動に関する個別評価

廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山(21火山)に対して、現状(覆土までの操業期間中)における活動可能性及び規模を考慮し、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) 降下火砕物

a. 給源を特定できる降下火砕物

新編 火山灰アトラス(町田・新井、2011)⁽⁹⁾等による、地理的領域内外における第四紀火山起源の主な降下火砕物の分布を第 35 図及び第 36 図に示す。

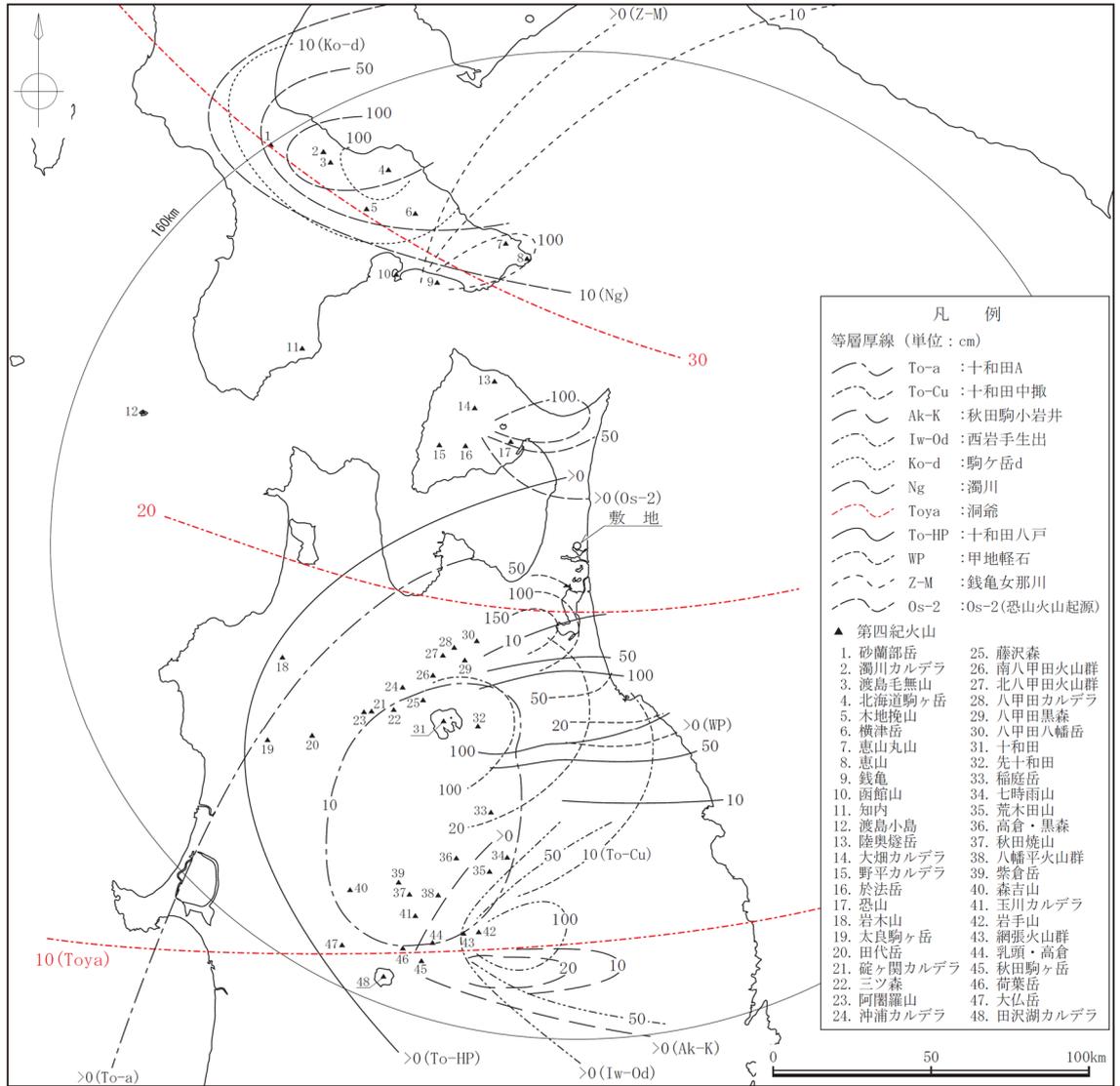
町田・新井(2011)⁽⁹⁾及び地質調査により、敷地及び敷地近傍に分布する主な地理的領域内の火山を給源とする降下火砕物は、オレンジテフラ、十和田レッドテフラ、十和田切田テフラ、十和田八戸テフラ、濁川テフラ、甲地軽石、十和田中掬テフラ及び十和田 a テフラがあげられる。また、地理的領域外の火山を給源とする降下火砕物は、洞爺火山灰、鬼界葛原テフラ、阿蘇 4 テフラ、支笏第 1 テフラ、始良 Tn テフラ及び白頭山苫小牧テフラがあげられる(第 4 表参照)。甲地軽石の給源である八甲田山は 10 万年以降の火山活動が比較的低調であり、長期的にみると終息に向かっているとされているが、「原子力発電所の火山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。

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、十和田レッドテフラ及び十和田切田テフラは最後の巨大噴火以前の噴出物、十和田八戸テフラは最後の巨大噴火の噴出物であり、現在は、最後の巨大噴火以降の活動である後カルデラ期の活動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。加えて、濁川テフラの給源である濁川カルデラは「3. 廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山の抽出」において、廃棄物埋設地に影響を及ぼし得る火山ではないとしたことから、評価対象外とした。

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。このうち、敷地及び敷地近傍での層厚が最も大きい洞爺火山灰を噴出した洞爺カルデラの階段ダイアグラムを第 37 図に示す。

以上を踏まえると、評価対象となる十和田中掬テフラ、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 4 表に示すとおり、甲地軽石であり、再処理敷地内の複数地点で確認した(第 38 図参照)。再堆積を含む層厚が最大である KP-1 孔(第 39 図

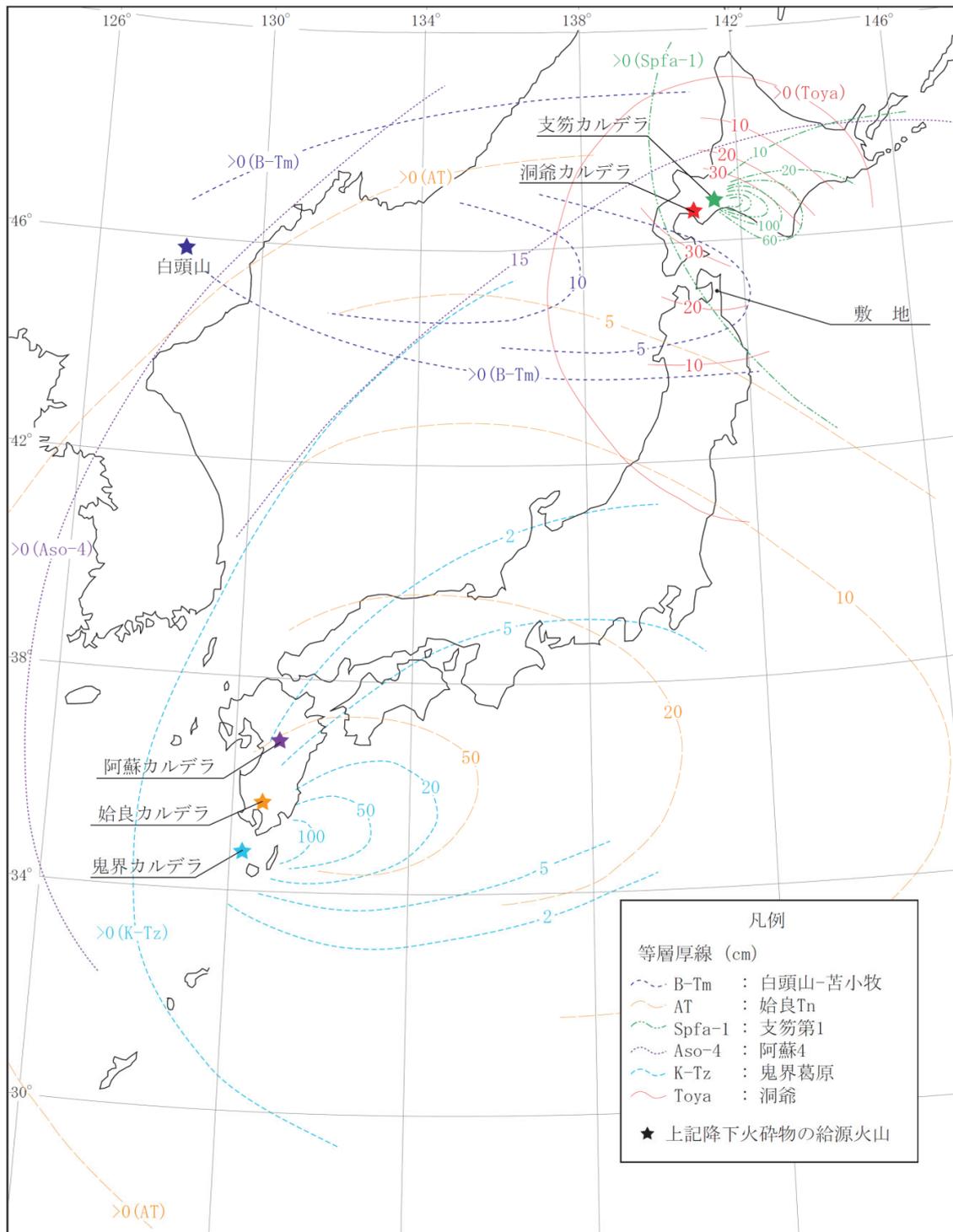
参照)において、軽石が比較的密に集積する主部(層厚 21cm)と、その上位に堆積する甲地軽石を含む再堆積層(火山灰質シルト：層厚 22cm)を確認したことから、再堆積を含む甲地軽石の層厚を 43cm と評価した。



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)⁽⁹⁾、工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾及びリサイクル燃料貯蔵
 株式会社(2007)⁽⁶⁶⁾に基づき作成

第 35 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
 地理的領域外もあわせて示す)



町田・新井(2011)⁽⁹⁾に基づき作成

第 36 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4表 評価対象とする降下火砕物の選定及び諸元

(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)

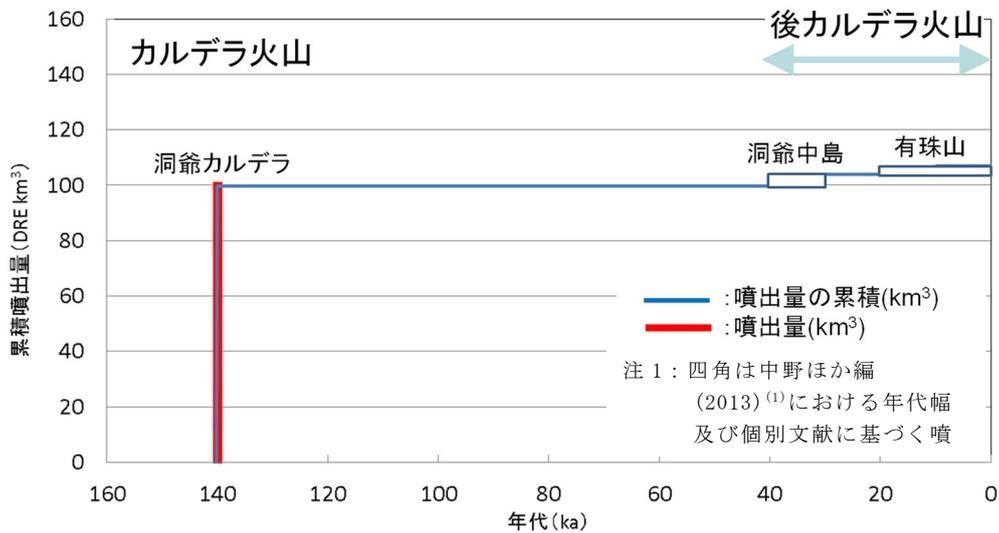
敷地と火山の 距離	噴出源	降下火砕物	年代	層厚 (cm)	
				文献調査	地質調査
半径 160km 内	十和田	十和田 a テフラ (To-a)	約 1,100 年前 ⁽¹⁾	< 5 ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾	—
	十和田	十和田中掘テフラ (To-Cu)	約 6,200 年前 ⁽⁴⁸⁾	< 10 ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽⁴⁹⁾	—
	北八甲田 火山群	甲地軽石 (WP)	約 18 万年前～28 万 年前	20～50 ⁽³⁰⁾	43
	濁川 カルデラ	濁川テフラ (Ng)	約 1.5 万年前 ⁽⁹⁾	— ⁽⁹⁾	—
	十和田	十和田八戸テフラ (To-HP)	約 1.55 万年前 ⁽¹¹⁾	< 10 ⁽⁹⁾⁽³³⁾	—
	十和田	十和田切田テフラ (To-KR)	約 3.6 万年前 ⁽⁴⁸⁾	< 10 ⁽⁹⁾⁽³³⁾	—
	十和田	十和田レッドテフ ラ (To-Rd)	約 6.1 万年前 ⁽⁴⁸⁾	< 10 ⁽⁹⁾⁽³³⁾	30
	十和田	オレンジテフラ (Or-p)	約 17 万年前	< 30 ⁽³⁰⁾	25
半径 160km 外	白頭山	白頭山苫小牧テフ ラ (B-Tm)	約 1,000 年前 ⁽⁹⁾	5～10 ⁽⁹⁾	—
	始良 カルデラ	始良 Tn テフラ (AT)	約 2.8 万年前～3.0 万年前 ⁽⁹⁾	< 5 ⁽⁹⁾	—
	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 ⁽⁹⁾	> 0 ⁽⁹⁾	—
	阿蘇	阿蘇 4 テフラ (Aso-4)	約 8.5 万年前～9 万 年前 ⁽⁹⁾	> 15 ⁽⁹⁾	—
	鬼界 カルデラ	鬼界葛原テフラ (K-Tz)	約 9.5 万年前 ⁽⁹⁾	< 2 ⁽⁹⁾	—
	洞爺	洞爺火山灰 (Toya)	約 11.2 万年前～ 11.5 万年前 ⁽⁹⁾	20～30 ⁽⁹⁾	15
給源不明	—	A テフラ	—	—	約 7 ^{*1}
	—	B テフラ	—	—	約 11 ^{*1}
	—	C テフラ	—	—	約 12 ^{*1}
	—	D テフラ	—	—	約 10 ^{*1}

*1：敷地内には確認されないが、近隣の再処理敷地内で確認された層厚を示す。

洞爺カルデラ・洞爺中島・有珠山の活動履歴

年代 (ka)	活動期, 火山名	主要噴出物名	噴出量 (DRE km ³)	参考文献
AD.2000	後カルデラ火山 有珠山	2000年噴火	3.0	中野ほか編(2013) ⁽¹⁾ 町田・新井(2011) ⁽⁹⁾ 曾屋ほか(2007) ⁽⁶⁷⁾ 中川ほか(2005) ⁽⁶⁸⁾ 第四紀火山カタログ委員会編(1999) ⁽⁶⁾
		1663年噴火(Us-b)		
20ka 30ka 40ka	洞爺中島	中島火山噴出物	4.2	
140ka	カルデラ火山 洞爺カルデラ	洞爺火砕流	100	
		洞爺火山灰 *1		

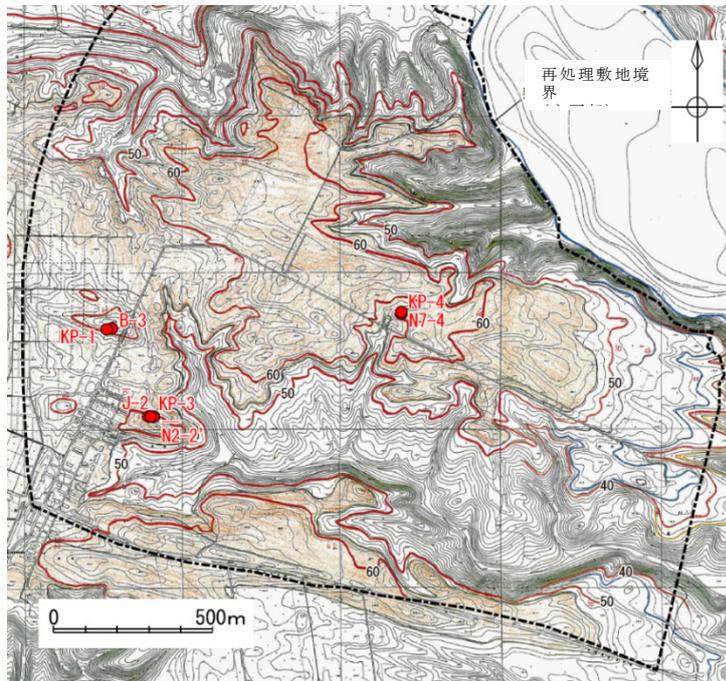
*1：町田・新井(2011)⁽⁹⁾によると、11.2～11.5万年前に噴出したテフラとしている。



第 37 図 洞爺カルデラの階段ダイアグラム

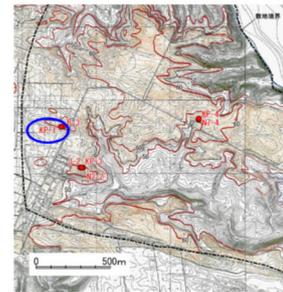
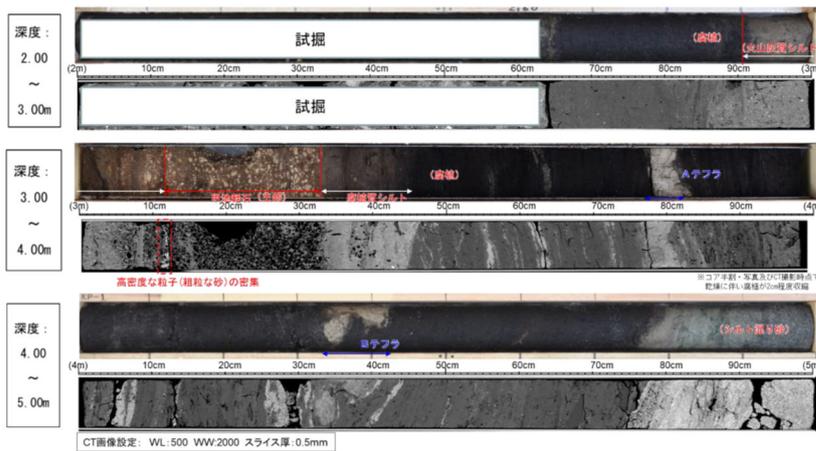
再処理敷地内で確認した甲地軽石の層厚

ボーリング 孔名	層厚	確認深度 (確認標高)	備考
KP-1 孔	43cm	2.90m～3.33m (50.46m～50.89m)	・火山灰質シルト(甲地軽石の再堆積含む)22cm ・甲地軽石(主部)21cm
B-3 孔	37cm	8.57m～8.94m (50.98m～51.35m)	・火山灰質シルト(甲地軽石の再堆積含む)5cm ・甲地軽石(主部)32cm
KP-3 孔	—	—	シルト質砂層中に散在(深度：3.50m～3.72m、 標高：51.53m～51.75m)するため層厚評価不適
N2-2' 孔	—	—	砂層中に散在(深度：3.90m～3.92m、 標高：51.60m～51.62m)するため層厚評価不適
J-2 孔	10cm	3.60m～3.70m (51.48m～51.58m)	
KP-4 孔	17cm	2.21m～2.38m (53.06m～53.23m)	
N7-4 孔	16cm	7.50m～7.66m (53.37m～53.53m)	



甲地軽石を確認した再処理敷地内ボーリング調査位置図

第 38 図 甲地軽石に着目した地質調査結果



再処理敷地内のボーリング位置図

CT画像設定: WL: 500 WW: 2000 スライス厚: 0.5mm

KP-1 孔の各深度のコア写真(上)とCT画像(下)

- ・深度 2.90m~3.12m (層厚 22cm): 再堆積層
火山灰質シルトからなる。
下部 5cm に軽石が散在し、基底部に粗粒砂が密集する。
- ・深度 3.12m~3.33m (層厚 21cm): 甲地軽石 (主部)
灰白色の軽石からなる。有色鉱物を多く含まない。
軽石は歪角~歪円形で、指圧で潰れる程度に風化をうける。軽石の間隙はシルトで充填される。

第 39 図 再処理敷地で確認された甲地軽石の堆積状況

b. 給源不明な降下火砕物

地質調査により敷地内に給源不明な降下火砕物は確認されなかったが、敷地近傍の再処理敷地内において確認された主な給源不明な降下火砕物としてA～Dテフラがある(第4表参照)。これらの降下火砕物のうち、最も層厚が大きい降下火砕物はCテフラ(約12cm)である。

c. 降下火砕物シミュレーション

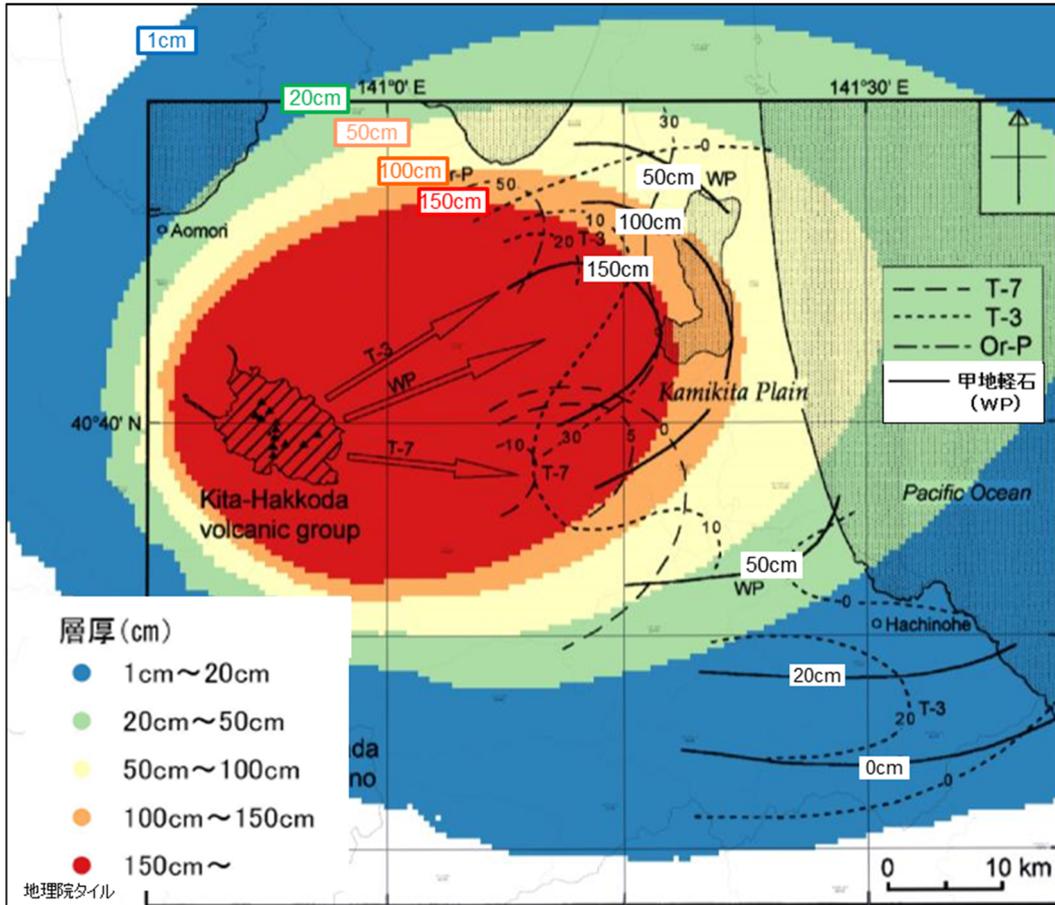
降下火砕物シミュレーションの実施に当たって、解析可能な給源を特定できる降下火砕物について、同規模噴火の可能性、地質調査結果(最大層厚)、敷地と火山との離隔及び噴出量を検討し、敷地に最も影響を与える甲地軽石を対象に解析を実施した。降下火砕物は、一般的に給源から離れるほど層厚が減少する傾向を示すため、甲地軽石の給源に近い再処理事業所地点での計算結果を参照する。

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という保守性を考慮した上で実施した。

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)⁽³⁰⁾の等層厚線の分布主軸方向の風を抽出・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40図参照)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5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41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42図参照)。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。



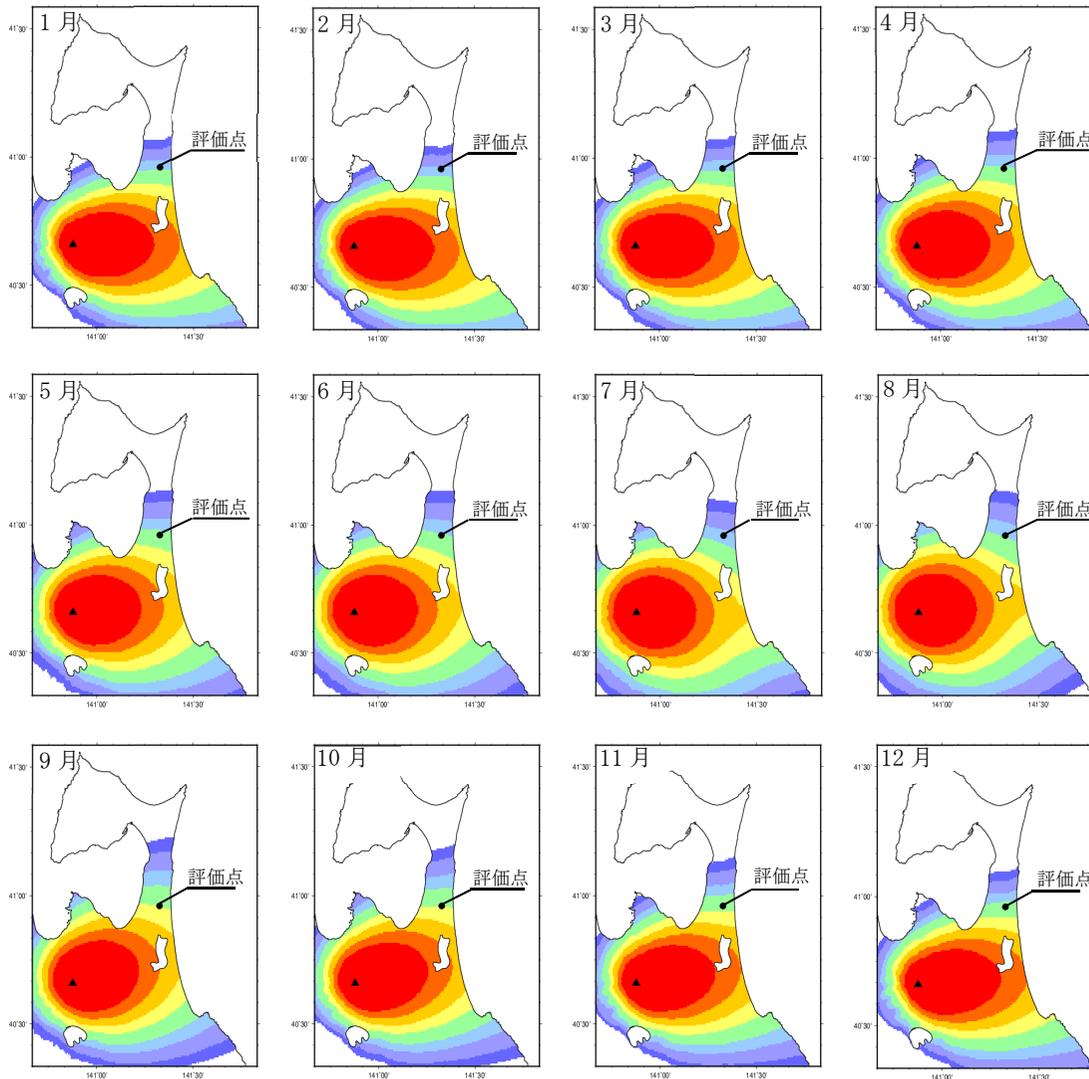
工藤ほか(2004)⁽³⁰⁾に当社の解析結果を重ね合わせて作成

第 40 図 甲地軽石 (WP) の再現性解析結果

第5表 降下火砕物シミュレーションの主な計算条件

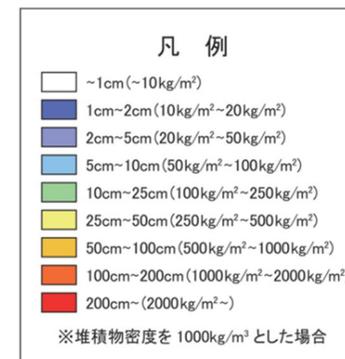
想定 噴火規模	パラメータ	単位	値	設定根拠等	
甲地軽石 (WP)	噴出物量	kg	8.25×10^{12}	工藤ほか(2004) ⁽³⁰⁾ に基づき設定(噴出量： 3.3km ³ (DRE)、マグマ密度2.5t/m ³)	
	噴煙柱高度	m	25,000	再現性解析結果に基づき設定	
	粒径	最大	mm	$1/2^{-10}$	Tephra2 推奨値
		最小	mm	$1/2^{10}$	Tephra2 推奨値
		中央	mm	$1/2^{-3}$	再現性解析結果に基づき設定
		標準 偏差	φ	2.5	再現性解析結果に基づき設定
	岩片密度	t/m ₃	2.6	Tephra2 推奨値	
	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) ⁽⁵⁰⁾ 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) ⁽⁵⁰⁾ 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	
風	月別平年値の風*1		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		

*1:「火山防災マップ作成指針」(内閣府(防災担当)ほか、2013)⁽⁵¹⁾によると、シミュレーションに用いる風向・風速は、気象庁ホームページの気象庁統計情報にある過去の気象データ検索(高層)で紹介されている月平均値を使うと良いとされており、この月平均値の風は、「気象観測統計指針」(気象庁、2018)⁽⁵²⁾において「その時々気象や天候を評価する基準」として示されている月別平年値の風に相当する。

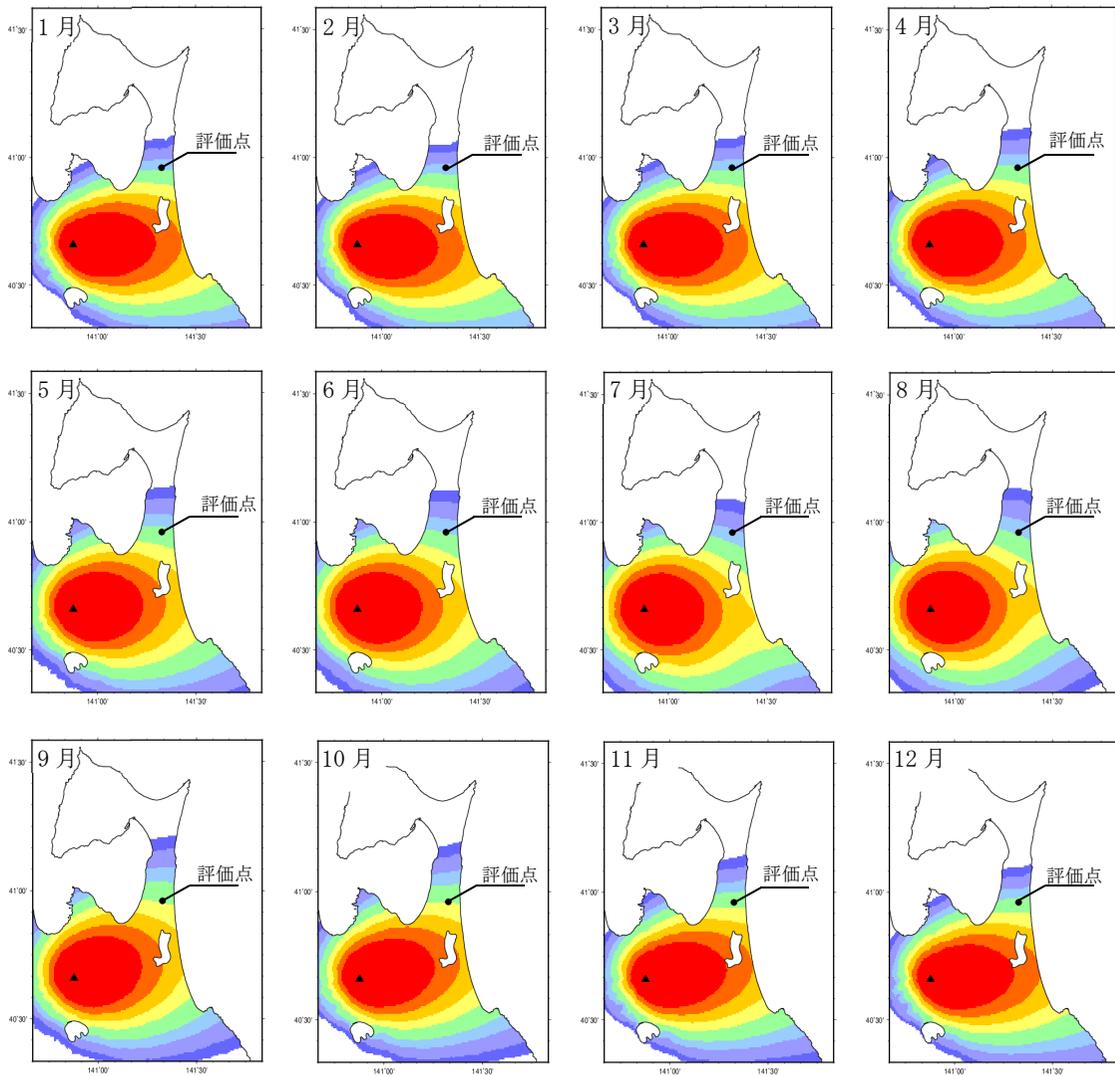


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.4×10^1	8.4×10^0
2月	6.1×10^1	6.1×10^0
3月	8.8×10^1	8.8×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	1.1×10^2	1.1×10^1
7月	6.7×10^1	6.7×10^0
8月	9.3×10^1	9.3×10^0
9月	2.5×10^2	2.5×10^1
10月	2.5×10^2	2.5×10^1
11月	1.9×10^2	1.9×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値(9時)の風の際の評価点での層厚(1981年~2010年)

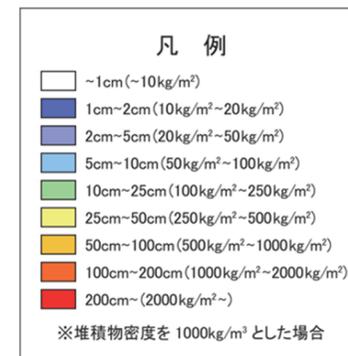


第41図 降下火砕物シミュレーションの解析結果(1/2) (月別平年値の風：9時)

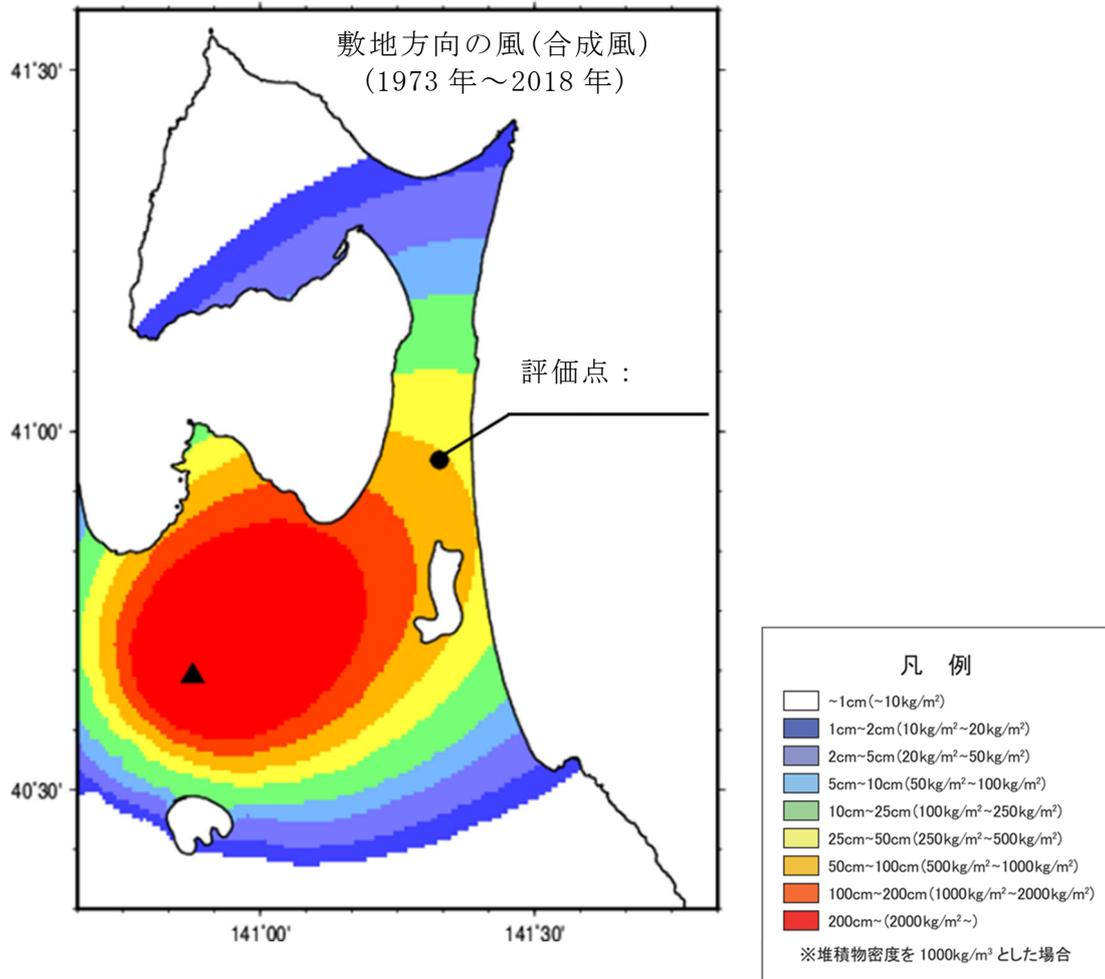


	質量 (kg/m ²)	層厚 (cm)
1月	8.9×10^1	8.9×10^0
2月	6.5×10^1	6.5×10^0
3月	8.6×10^1	8.6×10^0
4月	1.1×10^2	1.1×10^1
5月	1.3×10^2	1.3×10^1
6月	9.9×10^1	9.9×10^0
7月	6.0×10^1	6.0×10^0
8月	9.0×10^1	9.0×10^0
9月	2.3×10^2	2.3×10^1
10月	2.4×10^2	2.4×10^1
11月	1.8×10^2	1.8×10^1
12月	1.3×10^2	1.3×10^1

月別平年値(21時)の風の際の評価点での層厚(1981年~2010年)



第41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42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)

d. 降下火砕物の密度

軽石の密度に関する文献調査の結果、新版地学辞典(新版地学事典編集委員会編、2007)⁽⁴⁰⁾によると、軽石について、火山砕屑物の一種で、多孔質で見かけ密度が小さく淡色を呈するとしている。

また、小尾ほか(2019)⁽⁴¹⁾において、細粒火山灰との比較検討として有史以降の噴火の軽石を対象とした堆積密度を計測しており、乾燥状態では約 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 、自然状態では約 $0.5\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿潤状態(試料を2日間浸水させて計測した密度)では約 $0.6\text{g}/\text{cm}^3$ ～約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ の結果を示している。

層厚が最大となる甲地軽石を対象に密度試験を実施した結果、乾燥密度は $0.43\text{g}/\text{cm}^3$ 、飽和密度 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ であり(第43図参照)、文献調査結果と整合的である。

e. 設計に用いる降下火砕物の層厚及び密度

敷地及び敷地近傍で確認される主な降下火砕物のうち、給源を特定できる降下火砕物については、甲地軽石の層厚が最大で、地質調査によると再堆積を含み43cmであり、文献調査によると20cm～50cmである。また、給源不明な降下火砕物については、Cテフラの層厚が最大で、地質調査の結果、約12cmである。加えて、現状における同規模の噴火の可能性、地質調査結果及び噴出量等を踏まえ、甲地軽石を対象とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、風向の不確かさを考慮したケースにおいて、評価地点での層厚は53cmとなった。

甲地軽石の密度試験の結果、乾燥密度は $0.43\text{g}/\text{cm}^3$ 、飽和密度 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ である。

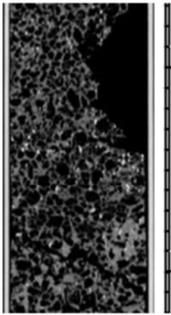
以上を踏まえ、設計に用いる降下火砕物の層厚を55cm、密度を湿潤状態で $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ とする。

甲地軽石の密度試験結果

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

KP-1孔（本孔）の
甲地軽石（主部）
のCT画像

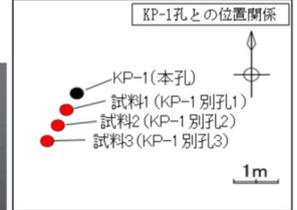
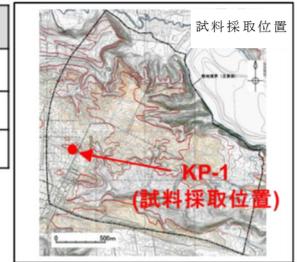
（第39図の
CT画像より抜粋）



CT画像設定:
WL:500 WW:2000
スライス厚:0.5mm



密度試験に用いた供試体の写真



試料採取位置

第43図 甲地軽石の密度試験結果

(2) その他の火山事象

その他の火山事象として、土石流、火山泥流及び洪水、火山から発生する飛来物(噴石)、火山ガス、津波、静振、大気現象、火山性地震とこれに関連する事象、熱水系及び地下水の異常について、文献調査及び地質調査等の結果より検討した。

a. 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、先十和田及び八幡平火山群の 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。

b. 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、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、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。

c. 火山ガス

火山ガスについては、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。

d. その他の火山事象

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。

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。

6. 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、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漏出防止機能及び遮蔽機能を、覆土完了から廃止措置の開始までの間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

a. 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漏出防止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】」、「道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説 平成29年版」等に基づき防護設計を講ずる。

b. 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が生じないように、上部覆土に十分な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、埋設する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 ($0.24\text{MN}/\text{m}^2=240\text{kN}/\text{m}^2$) 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。

7. 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) 気象庁編(2013)：日本活火山総覧(第4版)
- (3) 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
- (4) 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
- (5) 第四紀火山カタログ委員会編(1999)：日本の第四紀火山カタログ
- (6) 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)：1万年噴火イベントデータ集、Ver.2.3、産業技術総合研究所 地質調査総合センター
- (7) 海上保安庁海洋情報部 海域火山データベース
<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>(参照2016-09-06)
- (8) 山元孝広(2015)：日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図、地質調査総合センター研究資料集、No.613、産総研地質調査総合センター
- (9) 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、pp.276
- (10) Hayakawa, Y. (1985) : Pyroclastic Geology of Towada Volcano, Bulletin of the Earthquake Research Institute University of Tokyo, Vol.60, pp.507-592
- (11) 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
- (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) 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

- (14) 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)、pp.15
- (15) 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、Vol. 61、No.1
- (16) 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
- (17) 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
- (18) Matsubara, M., Sato H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K., Kamiya, S(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*, IntechOpen
- (19) 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
- (20) 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)
- (21) 防災科学技術研究所(2019)：気象庁一元化処理震源要素、防災科学技術研究所ホームページ、<https://hinetwww11.bosai.go.jp/auth/?LANG=ja>(参照2019-03-17)
- (22) 気象庁(2014)：十和田の火山活動解説資料(平成26年1月)
- (23) 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)
- (24) 気象庁(2015)：第131回火山噴火予知連絡会資料、2015-02-24.
- (25) 気象庁(2019)：第143回火山噴火予知連絡会資料、2019-02-27.
- (26) 広井良美、宮本毅、田中倫久(2015)：十和田火山平安噴火(噴火エピソードA)の噴出物

- 層序及び噴火推移の再検討、火山、Vol. 60、No. 2.
- (27) 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、pp. 86
- (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、pp. 27
- (29) 工藤崇、檀原徹、山下透、植木岳雪、佐藤大介(2011)：八甲田カルデラ起源火砕流堆積物の層序の再検討、日本第四紀学会講演要旨集、徳島、日本第四紀学会
- (30) 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
- (31) 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、pp. 14、青森県防災ホームページ、
<http://www.bousai.pref.aomori.jp/DisasterFireDivision/council/hakkodaAgreement/index.html>(参照2018-3-27)
- (32) 工藤崇、植木岳雪、宝田晋治、佐々木寿、佐々木実(2006)：八甲田カルデラ南東地域に分布する鮮新世末期～中期更新世火砕流堆積物の層序と給源カルデラ、地学雑誌、Vol. 115、No. 1
- (33) 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、pp. 79
- (34) 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
- (35) 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、pp. 63-66
- (36) 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
- (37) 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)
- (38) 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)
- (39) 気象庁(2014)：八甲田山の火山活動解説資料(平成26年6月)
- (40) 地学団体研究会 新版地学事典編集委員会編(2007)：新版地学事典、平凡社

- (41) 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
- (42) 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
- (43) 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
- (44) 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、pp. 1170
- (45) 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
- (46) 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
- (47) 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、pp. 73
- (48) 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、pp. 192
- (49) 早川由紀夫(1983)：十和田火山中掇テフラ層の分布、粒度組成、年代、火山、第2集、Vol. 28、No. 3、pp. 263-273
- (50) 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
- (51) 内閣府(防災担当)、消防庁、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁(2013)：火山防災マップ作成指針
- (52) 気象庁(2018)：気象観測統計指針
- (53) 中川久夫、中馬教允、石田琢二、松山力、七崎修、生出慶司、大池昭二、高橋一(1972)：十和田火山発達史概要、東北大學理學部地質學古生物學教室研究邦文報告、No. 73
- (54) 土井宣夫(1993)：盛岡市付近に分布する十和田一大不動、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
- (55) 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.

- (56) 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
- (57) 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
- (58) 長森英明、宝田晋治、吾妻崇(2013)：青森西部地域の地質、地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、産業技術総合研究所 地質調査総合センター
- (59) 青森県史編さん自然部会(2001)青森県史 自然編 地学、青森県史友の会
- (60) Ogawa, Y. (1987): Preliminary interpretation on detailed magnetovariational profilings in the Northern Tohoku district, Journal of geomagnetism and geoelectricity, Vol. 39.
- (61) 上嶋誠(2009)：MT法による電気伝導度構造研究の現状、地震第2輯、vol. 61
- (62) 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
- (63) 近藤玲介、塚本すみ子、工藤崇、遠藤邦彦、小林淳、坂本竜彦(2012)：レス堆積物のpIRIR年代測定による十和田火山周辺におけるテフラ降下年代の推定、日本第四紀学会講演要旨集、埼玉、2012-08-20/22, 日本第四紀学会
- (64) 工藤崇、小林淳(2013)：十和田火山、先カルデラ期～カルデラ形成期テフラの放射年代測定、地質調査研究報告、Vol. 64、No. 9/10
- (65) 桑原拓一郎(2007)：青森県上北平野に分布する白ベタテフラ(WP)のジルコン・フィッシュョン・トラック年代、第四紀研究、Vol. 45、No. 5
- (66) 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)
- (67) 曾屋龍典、勝井義雄、新井田清信、堺幾久子、東宮昭彦(2007)：有珠火山地質図(第2版)、産業技術総合研究所 地質調査総合センター
- (68) 中川光弘、松本亜希子、田近淳、広瀬亘、大津直(2005)：有珠火山の噴火史の再検討：寛文噴火(1663年)と明和噴火(1769年)に挟まれた17世紀末の先明和噴火の発見、火山、Vol. 50、No. 2