

十和田および八甲田山における
地球物理学的調査について

目次

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

1. 目的

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

2. 十和田

(1) 地球物理学的調査

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

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

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

a. 地震波速度構造及び比抵抗構造

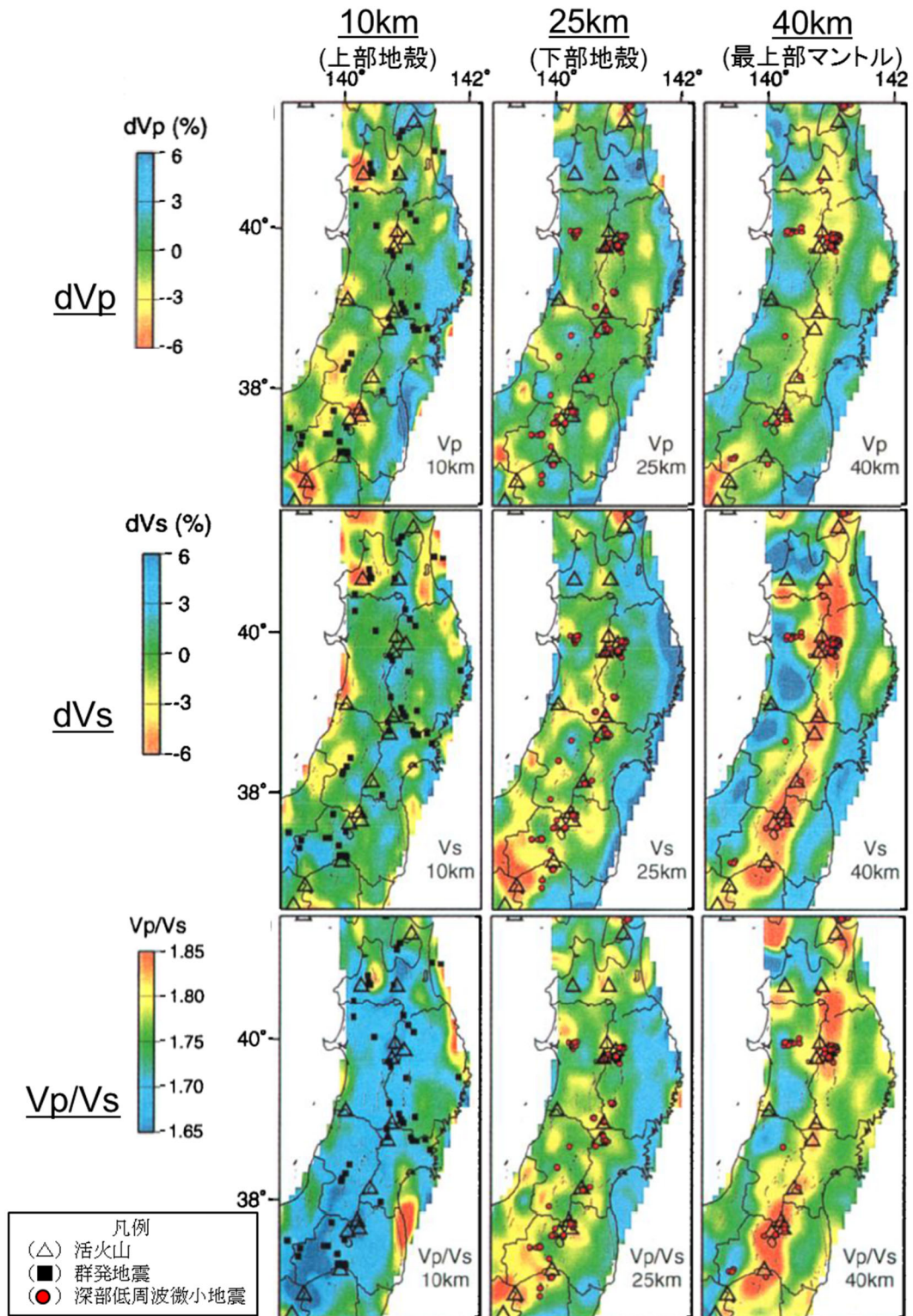
地震波速度構造について、Nakajima et al (2001) ⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、

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

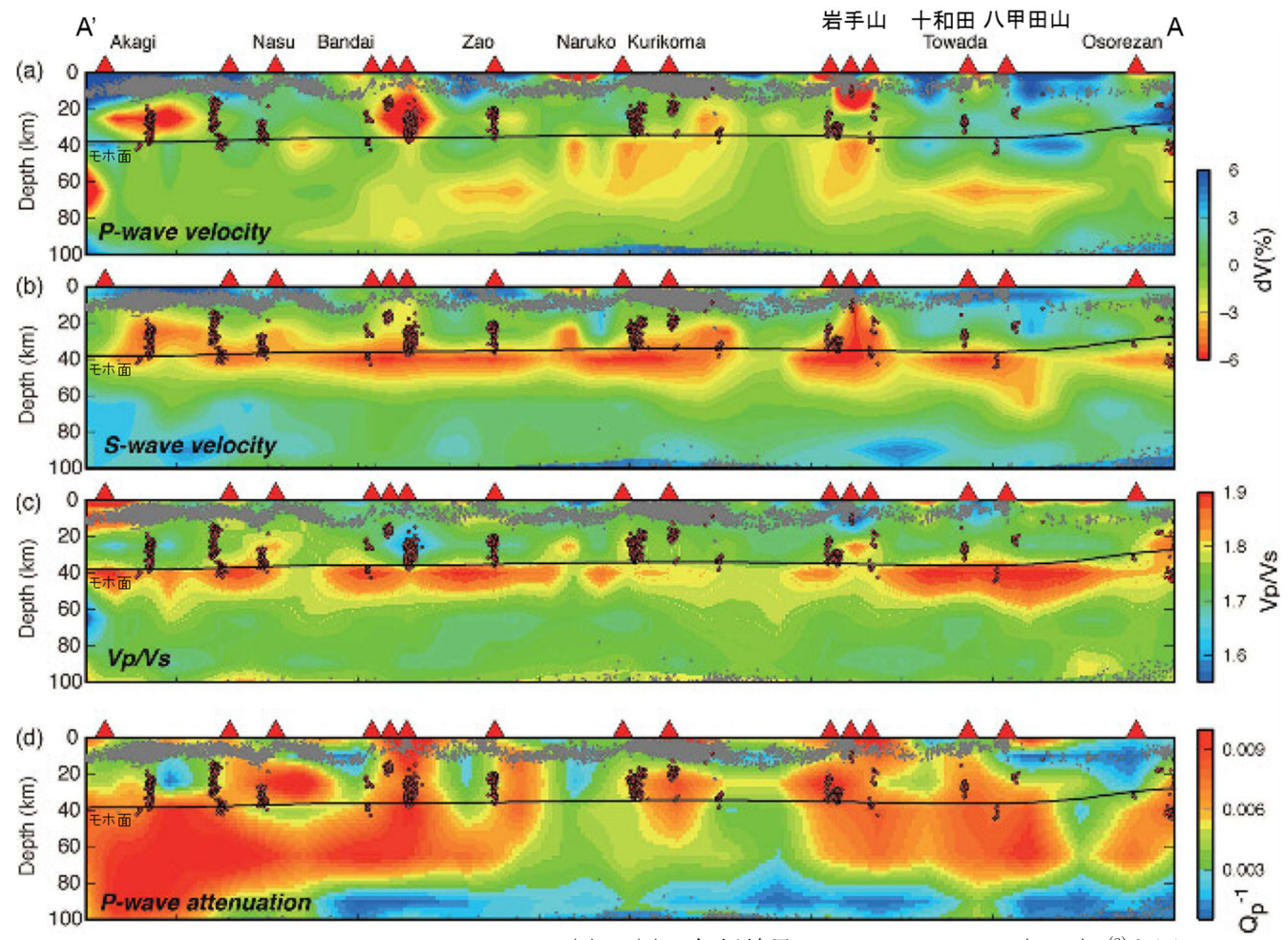
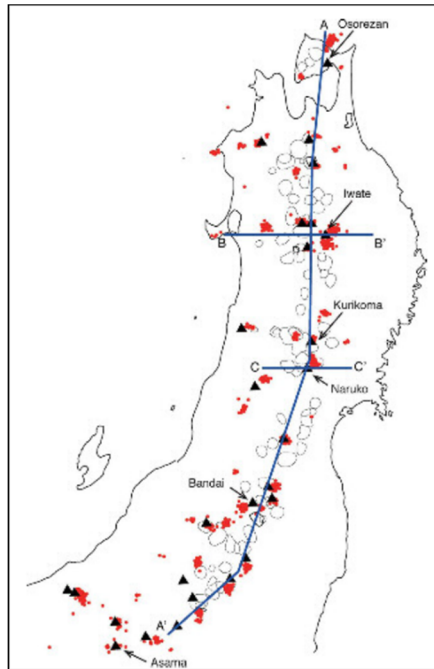
防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造（海域拡大 2019 年版）」（Matsubara, 2019）⁽⁴⁾の地震波トモグラフィ解析結果（第 3 図参照）及び Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果（第 4 図参照）に基づく、いずれの結果でも十和田直下の上部地殻内（約 20 km 以浅）に、メルトの存在を示唆する顕著な低 V_p かつ高 V_p/V_s 領域は認められない。

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

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



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



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

第2図 地震波トモグラフィ解析結果(中島 (2017)⁽³⁾に加筆)

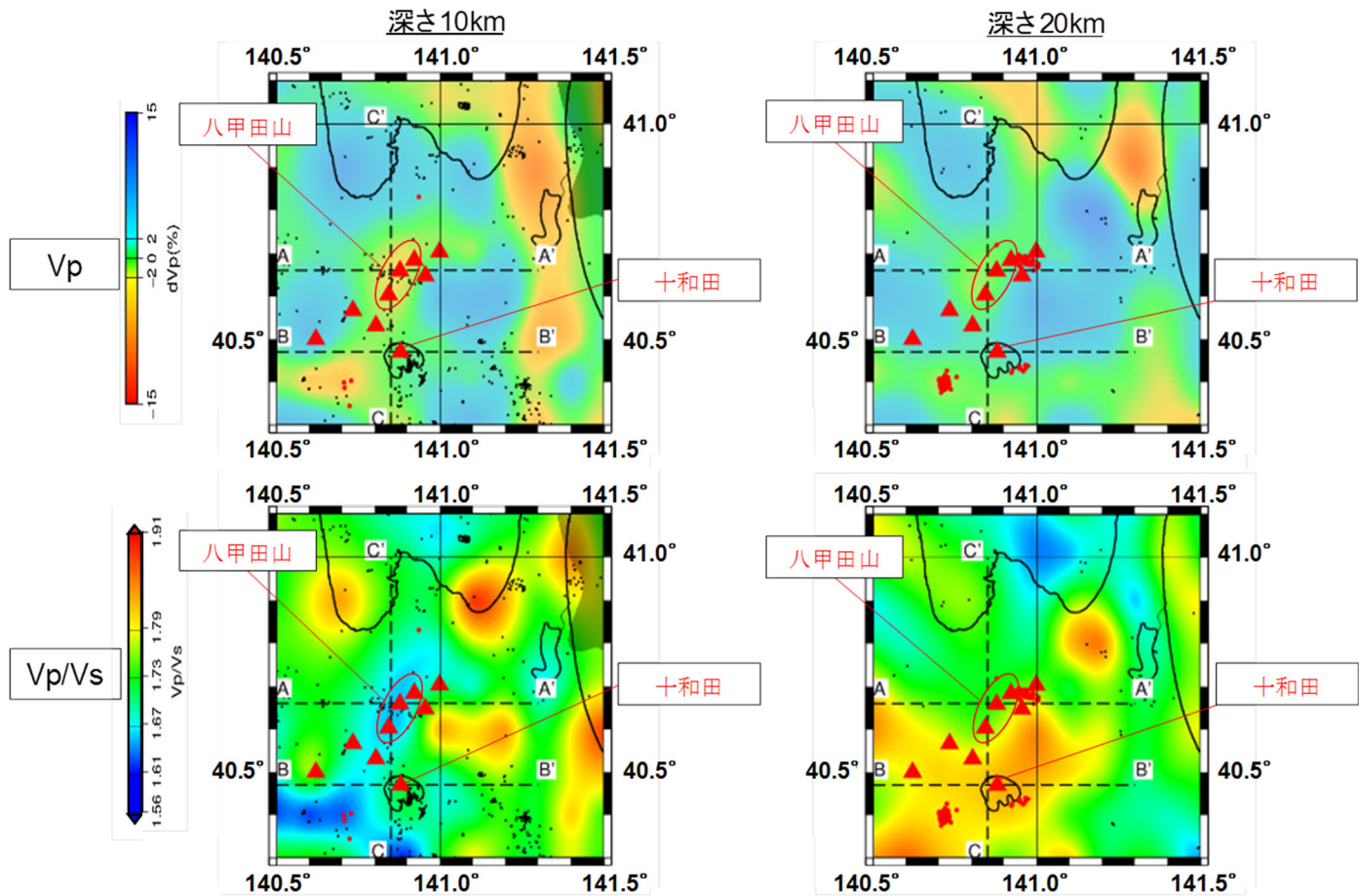
凡例

- (▲) 第四紀火山
- (黒点) 震源
- (赤点) 低周波地震

() 気象庁一元化震源カタログ
 地震月報 (カタログ編)⁽²⁰⁾
 (期間: 1997年10月~2017年12月)
 気象庁一元化処理震源要素⁽²¹⁾
 (期間: 2018年1月~2018年12月)

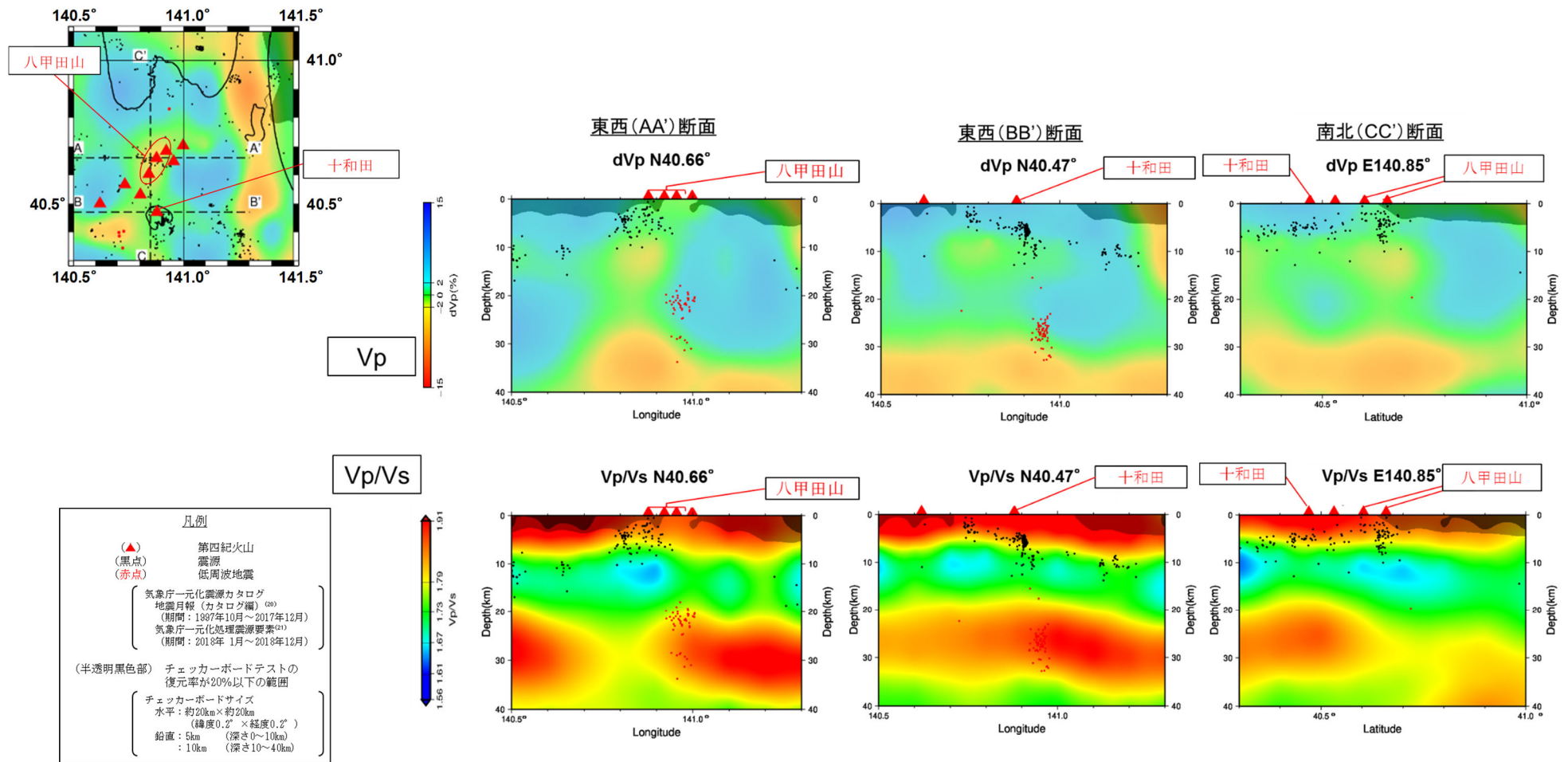
(半透明黒色部) チェッカーボードテストの復元率が20%以下の範囲

() チェッカーボードサイズ
 水平: 約20km×約20km
 (緯度0.2°×経度0.2°)
 鉛直: 5km (深さ0~10km)
 : 10km (深さ10~40km)



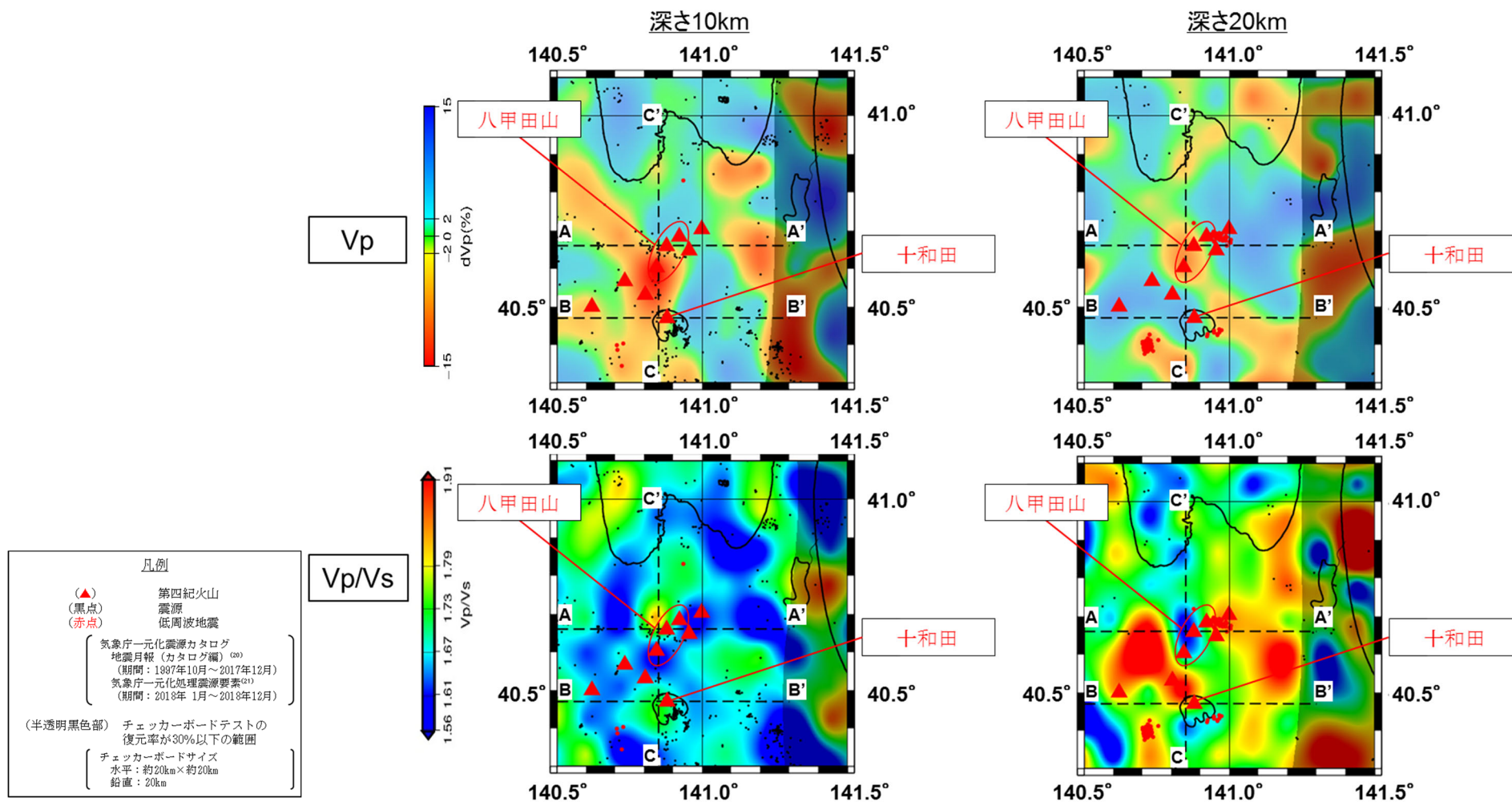
第3図 地震波トモグラフィ解析結果

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

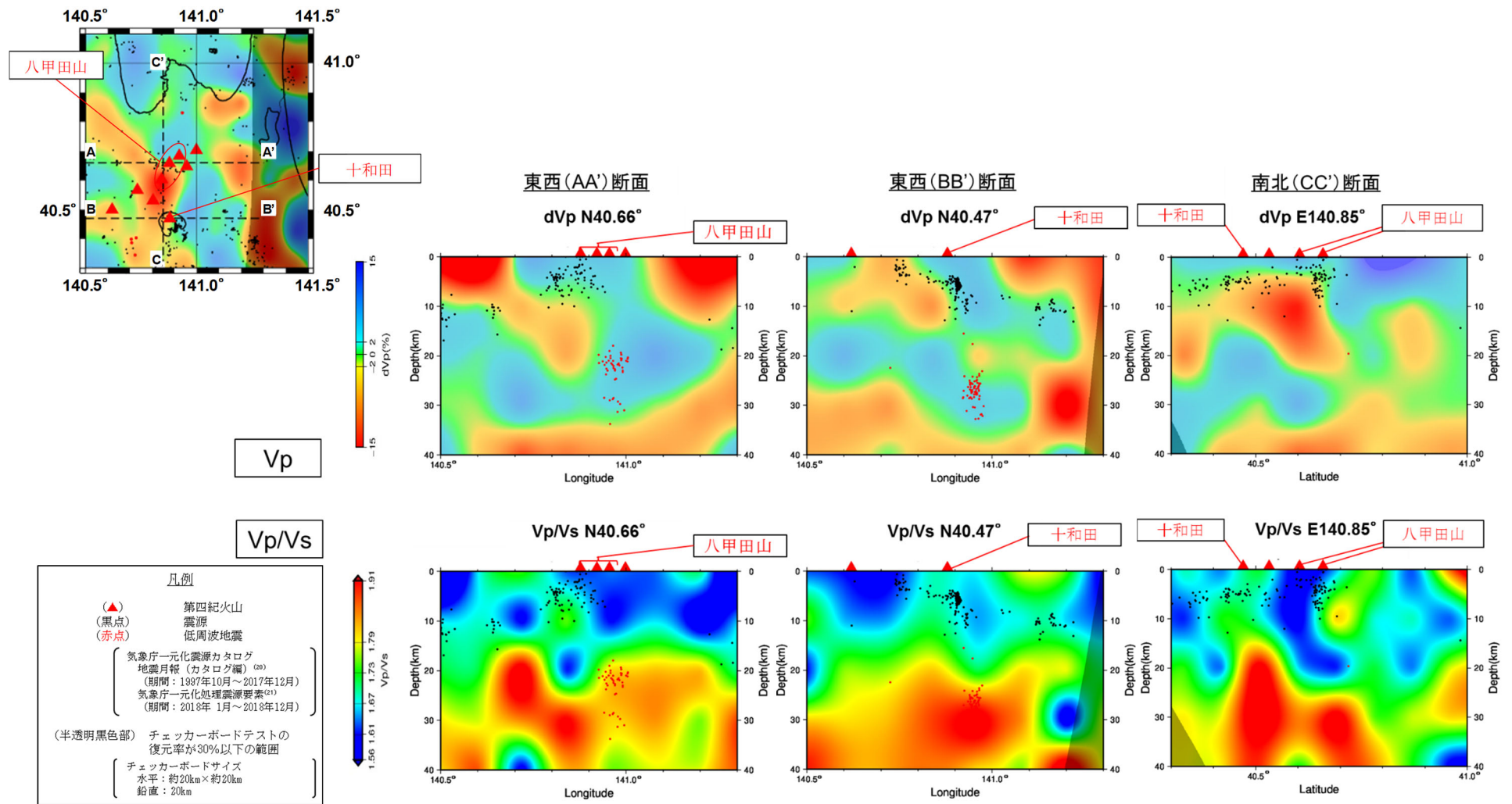


第3図 地震波トモグラフィ解析結果

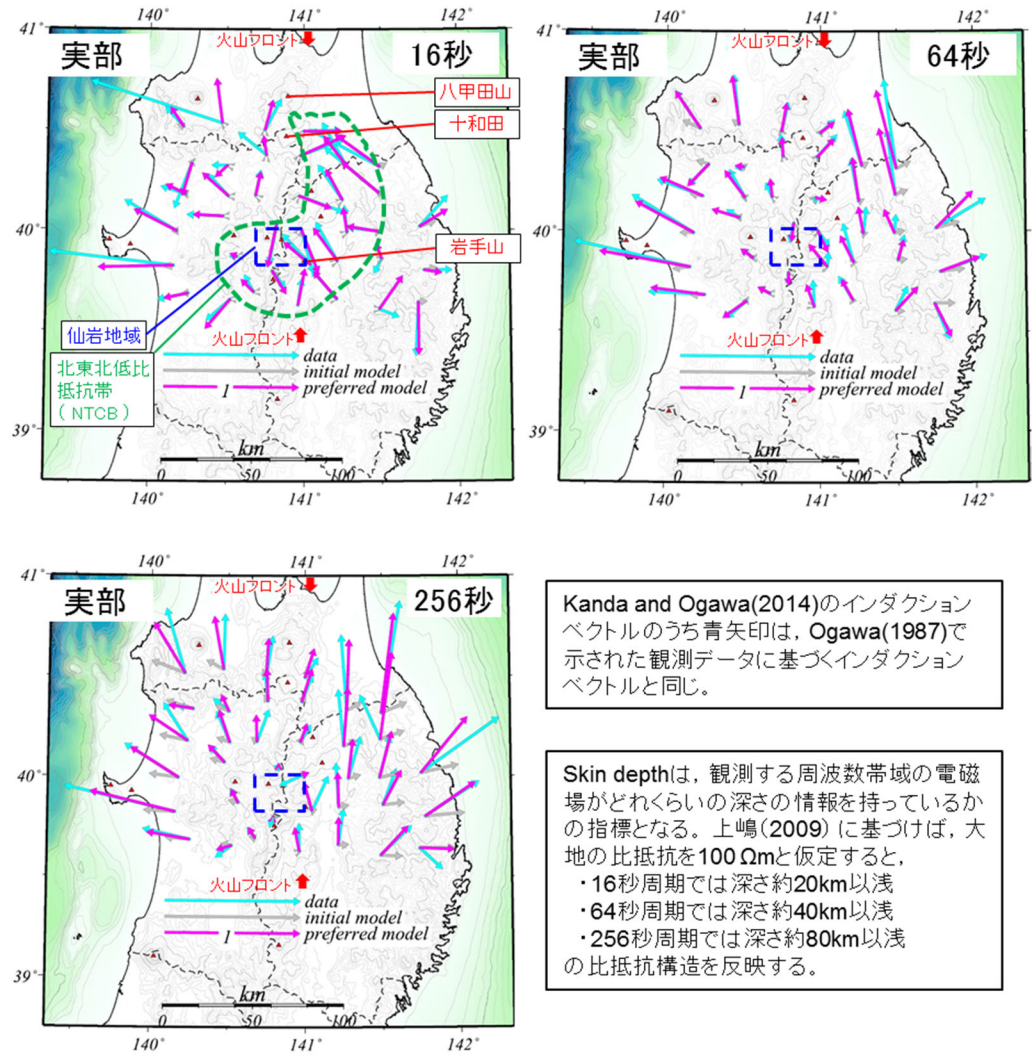
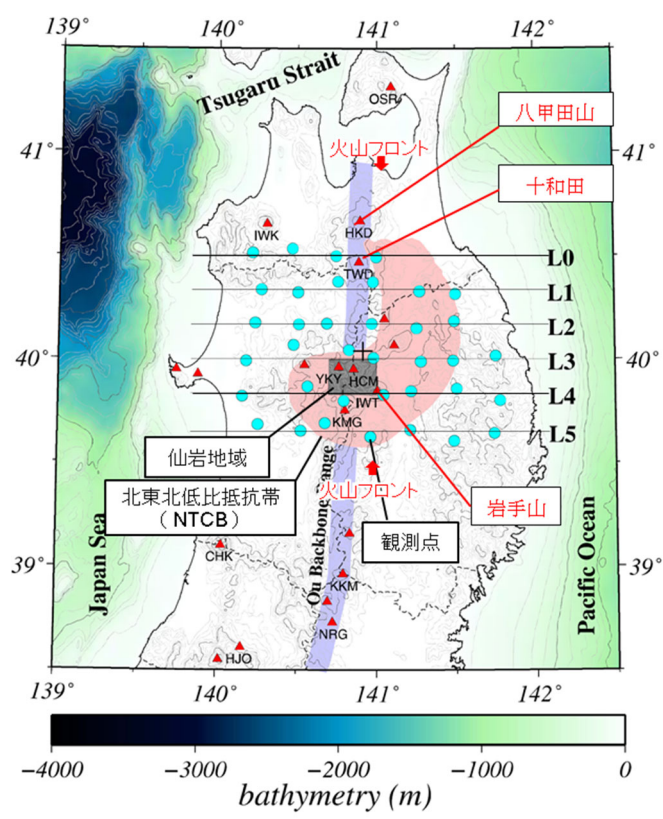
(防災科学技術研究所 HP 上の「日本列島下の三次元地震波速度構造(海域拡大2019年版)」地震波トモグラフィ解析結果の公開データを基に当社が作図(解析手法等は Matsubara, 2019⁽⁴⁾に記載))(2/2)



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



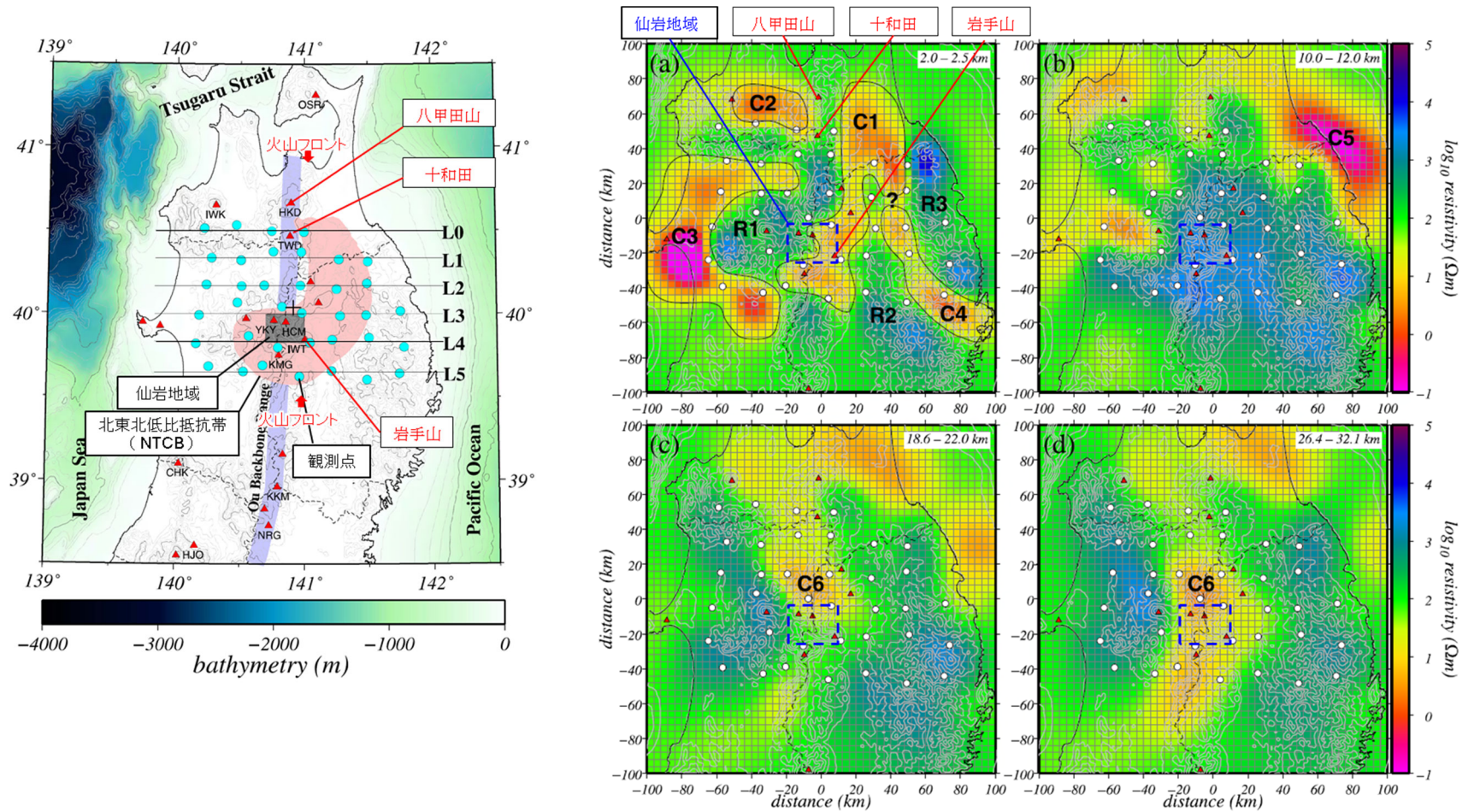
第4図 Hi-net や東北大学等の観測点の観測データを用いた地震波トモグラフィ解析結果(2/2)



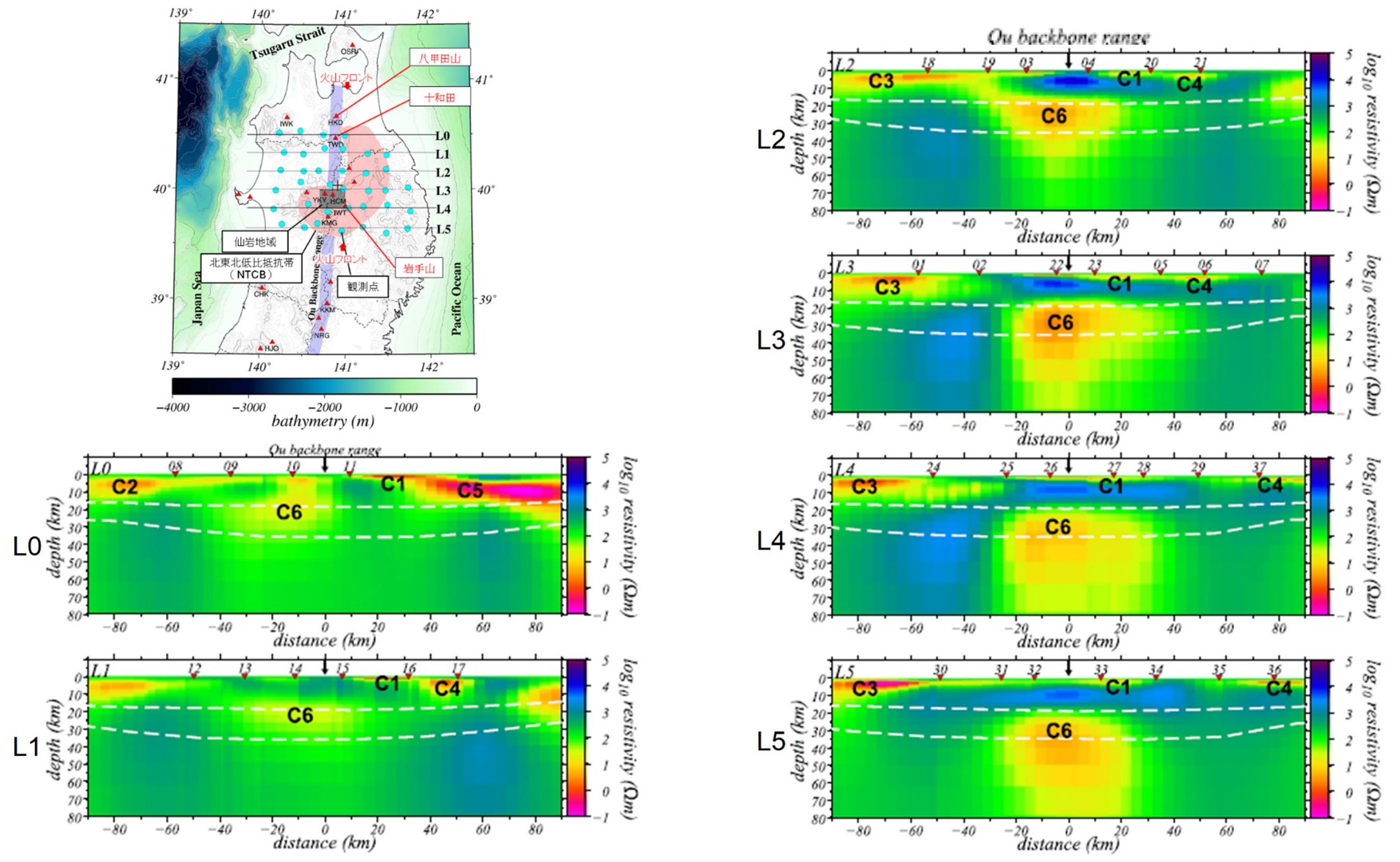
Kanda and Ogawa(2014)のインダクションベクトルのうち青矢印は、Ogawa(1987)で示された観測データに基づくインダクションベクトルと同じ。

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

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



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



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

b. 地震活動

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

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

c. 地殻変動

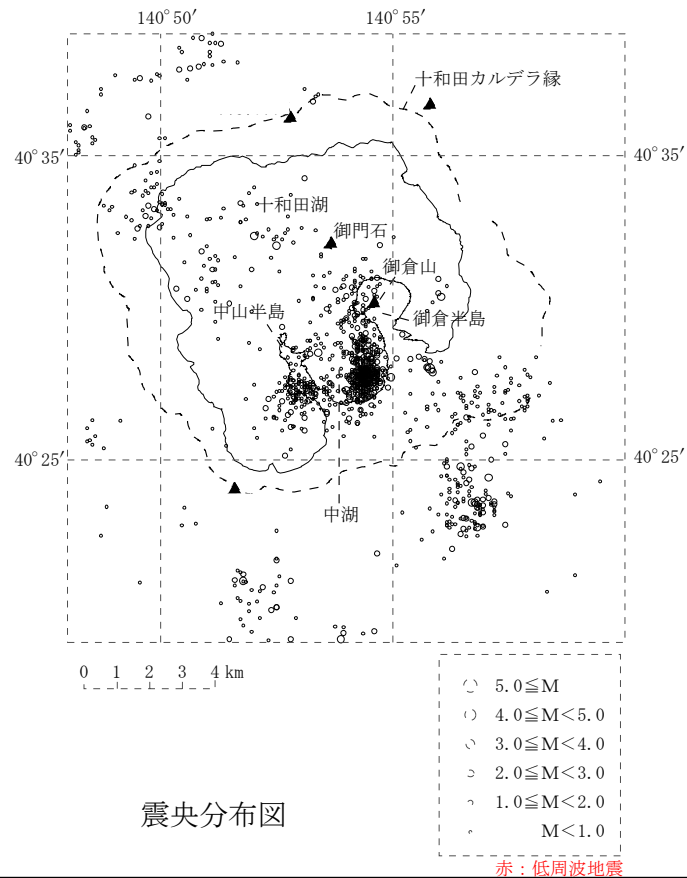
国土地理院（2018）⁽⁹⁾によると、平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震後の余効変動が、東日本の広い範囲でみられるとしている。

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

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

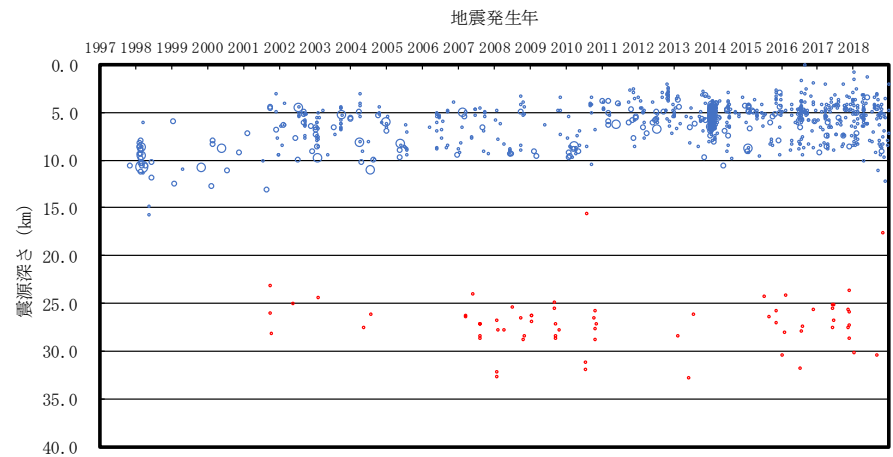
加えて、第 131 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2015）⁽¹⁰⁾によると、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2014 年 9 月 4 日と 2014 年 10 月 16 日）について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第 143 回火山噴火予知連絡会資料（気象庁、2019）⁽¹¹⁾においても、十和田周辺における干渉 SAR の解析結果（2015 年 10 月 8 日と 2018 年 10 月 18 日）について、ノイズレベルを超えるような位相変化は認められないとしている。

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

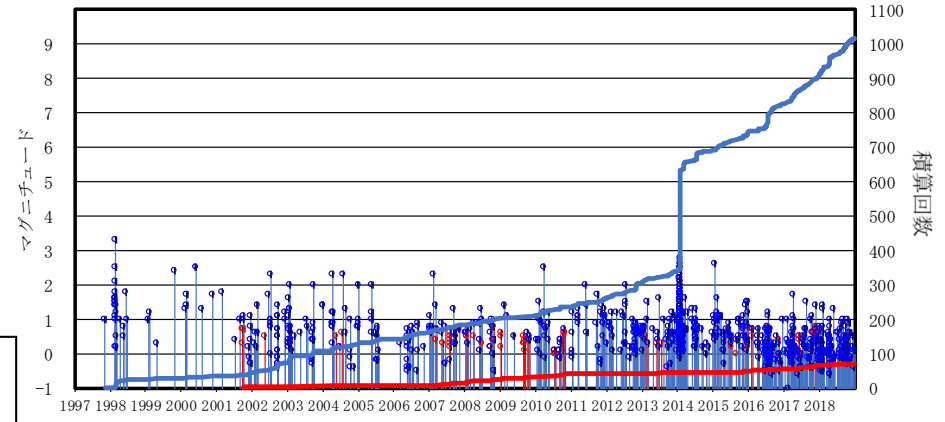


震央分布図

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

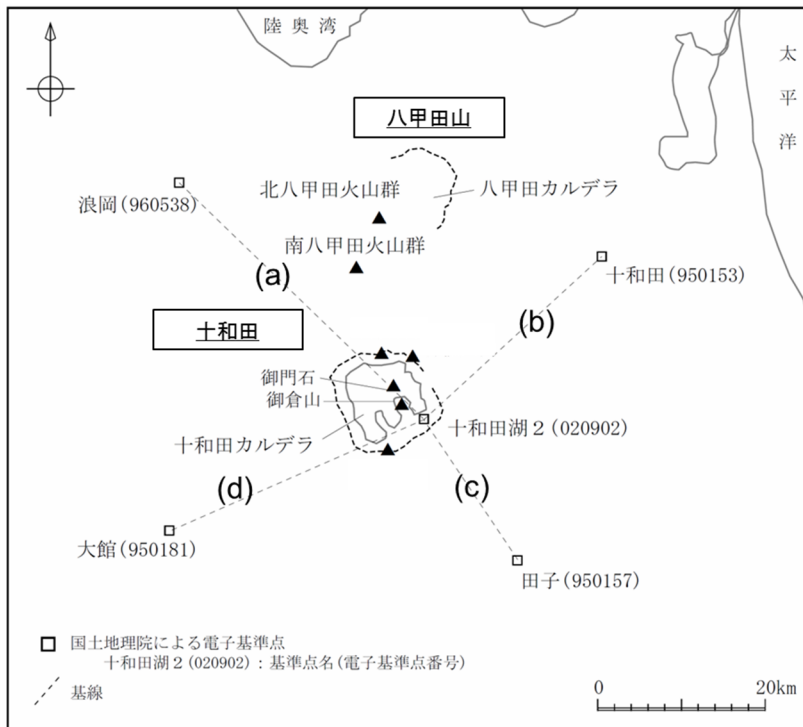


震源深さの時間変化図

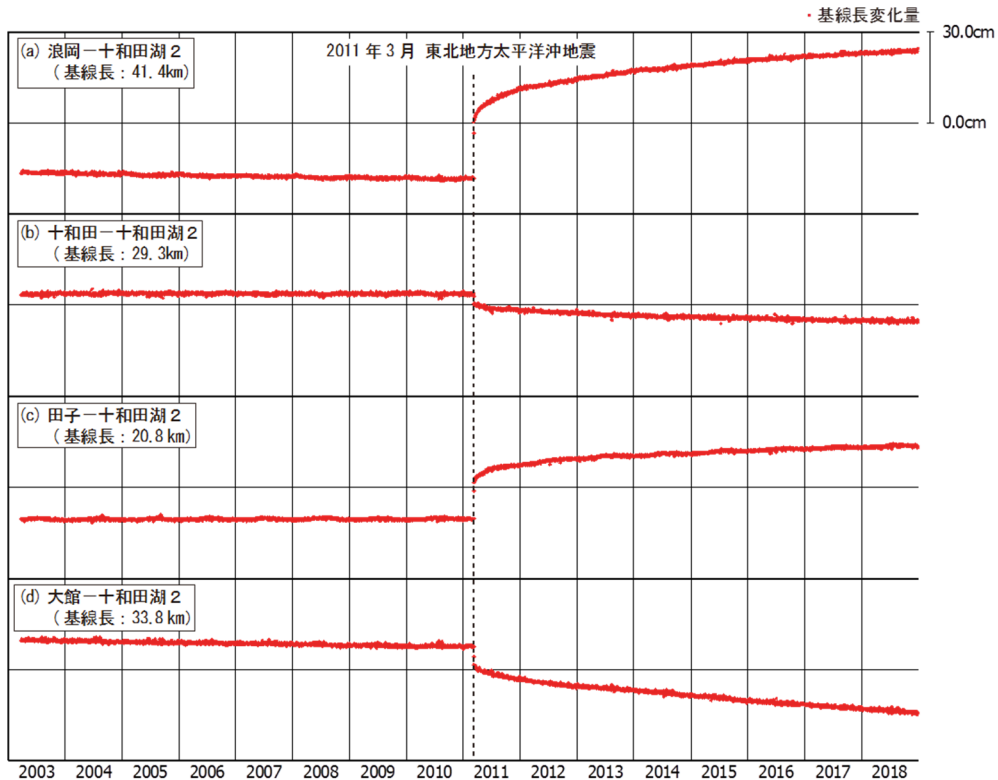


地震活動経過図及び回数積算曲線

第7図 十和田付近における地震活動

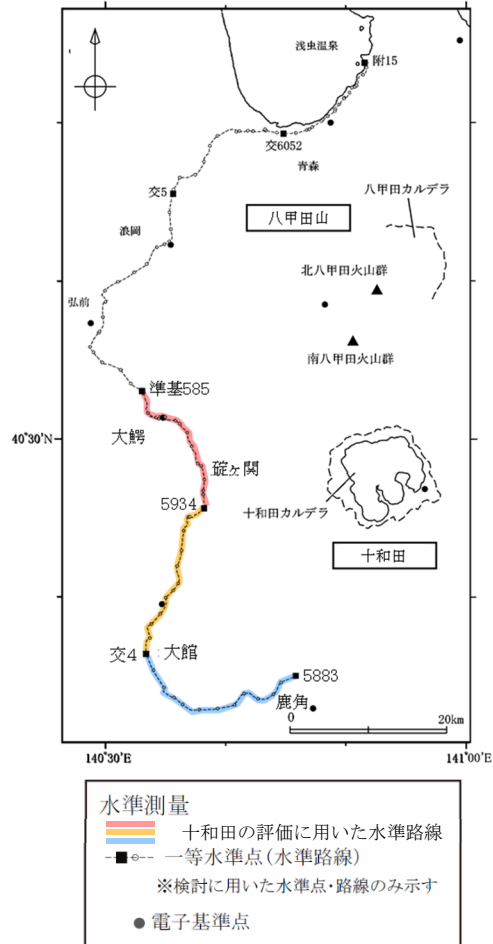


電子基準点及び基線位置図

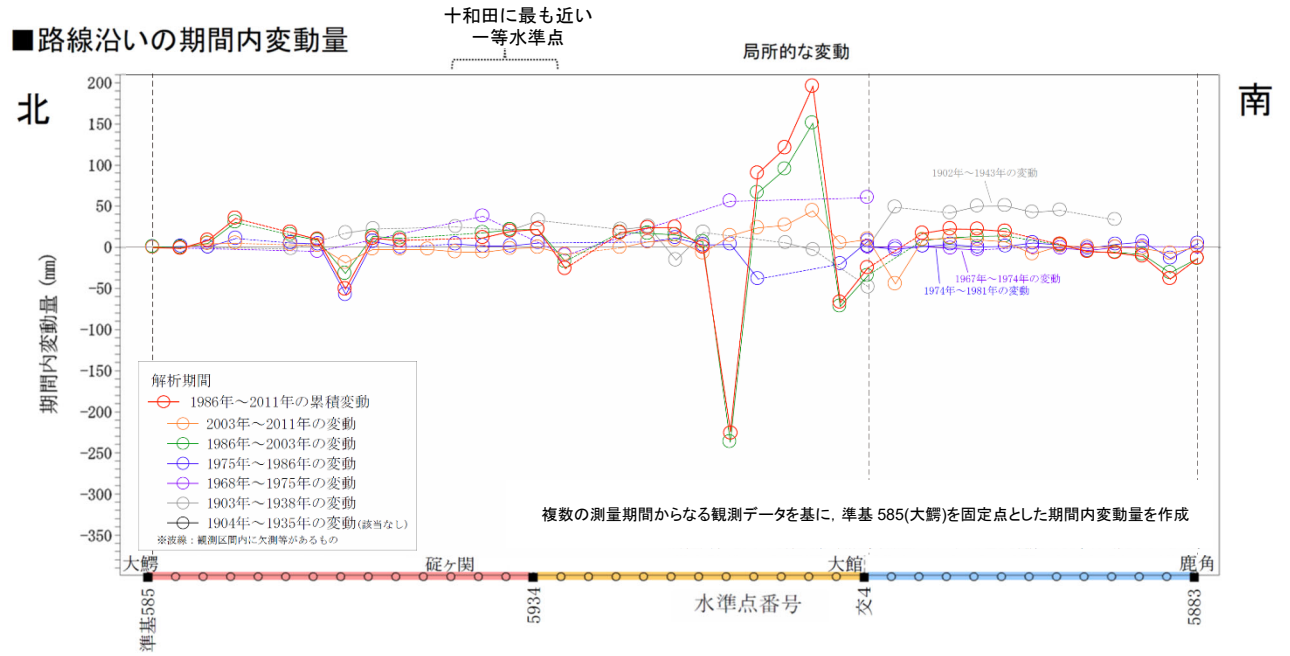


第 8 図 十和田を囲む電子基準点間の基線長の時間変化 (斜距離成分)
 (国土地理院の電子基準点データより作成 (期間 : 2003 年 1 月 ~ 2018 年 12 月))

■水準路線



■路線沿いの期間内変動量



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

d. 地球物理学的調査の評価

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

3. 八甲田山

(1) 地球物理学的調査

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

a. 地震波速度構造及び比抵抗構造

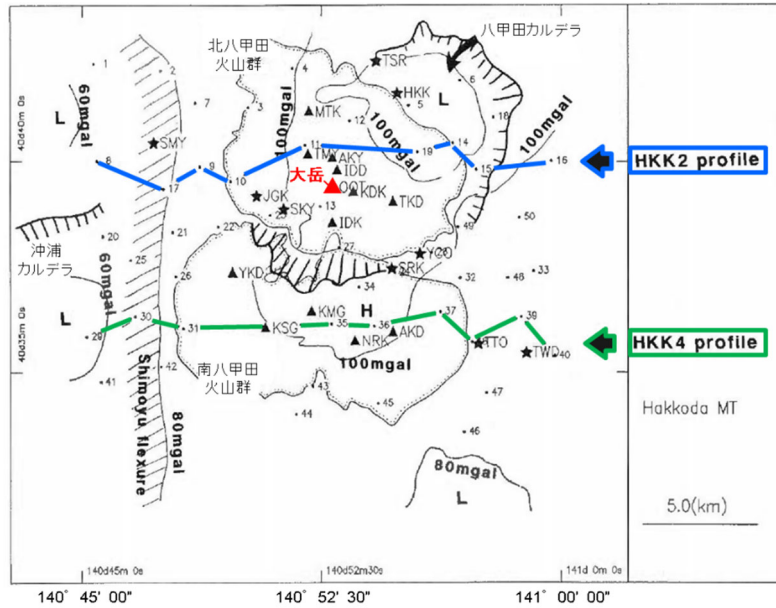
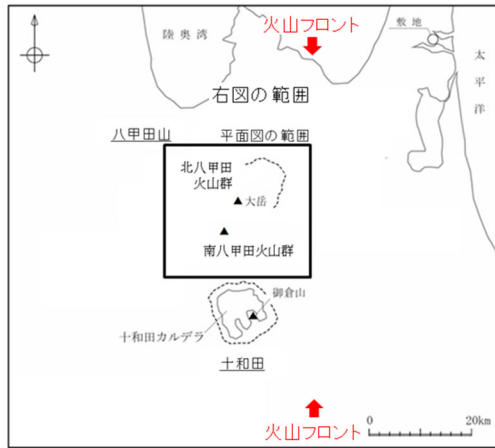
地震波速度構造について、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾によると、火山フロントに沿った最上部マントルの低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、大量のメルトの存在を示唆するとしている。また、火山フロントに沿った下部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び高 V_p/V_s は、メルトの存在を示唆するとしている。加えて、火山フロントに沿った上部地殻のうち活火山の直下の低 V_p 、低 V_s 及び低 V_p/V_s は、水の存在を示唆するとしている(第1図参照)。中島(2017)⁽³⁾によると、Nakajima et al. (2001)⁽²⁾の解析結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

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

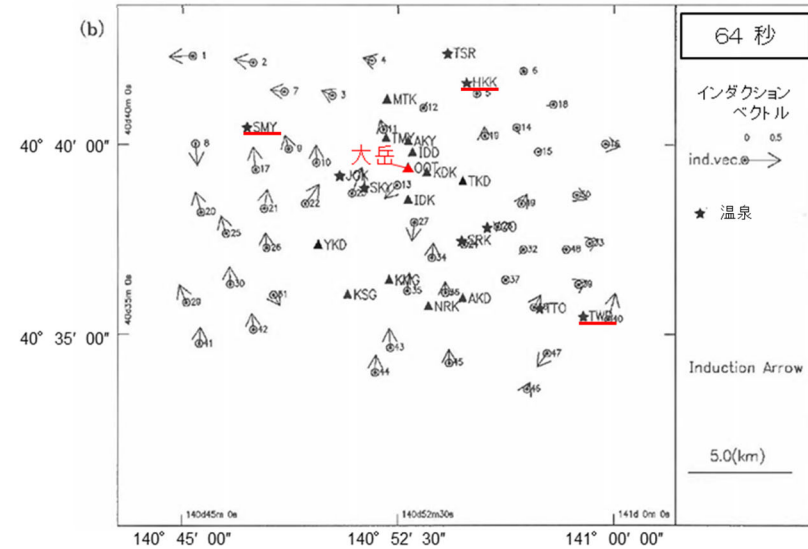
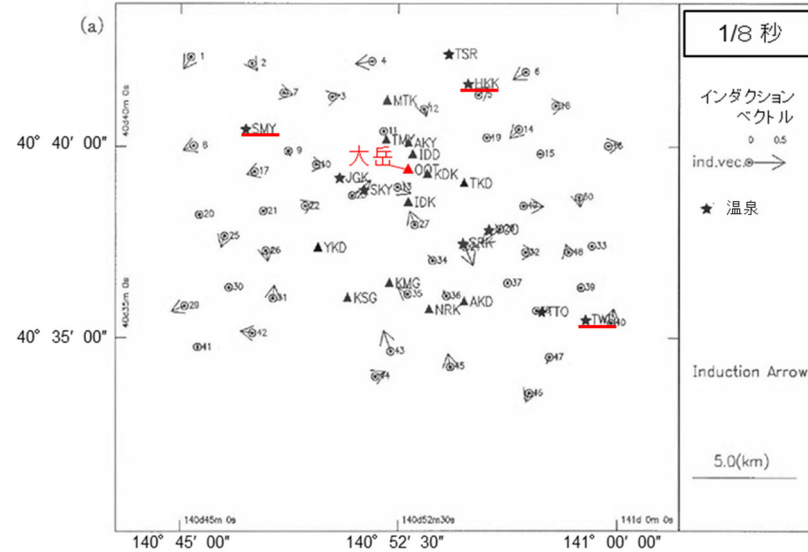
一方、比抵抗構造について、Kanda and Ogawa(2014)⁽⁵⁾によると、インダクションベクトルの実部は本質的に低比抵抗の方向を指す傾向があるとしている。小川(1991)⁽¹²⁾によると、

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

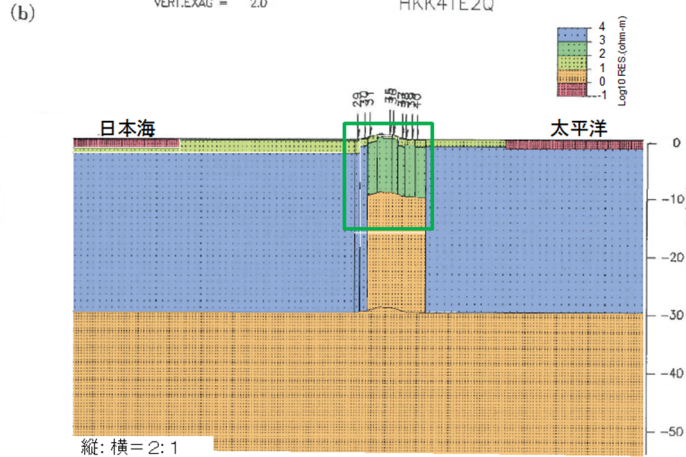
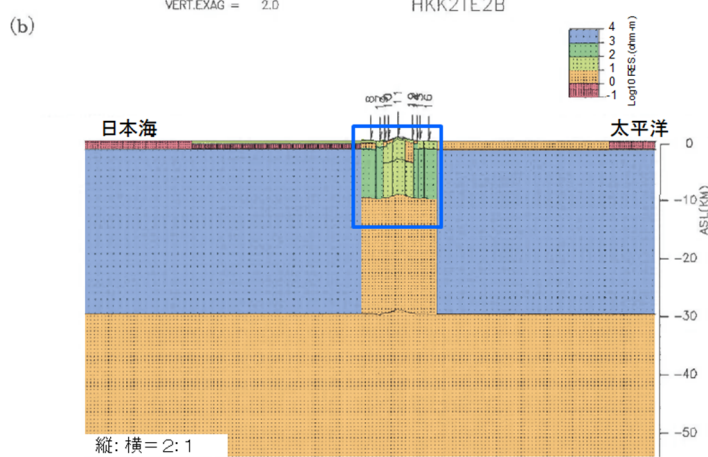
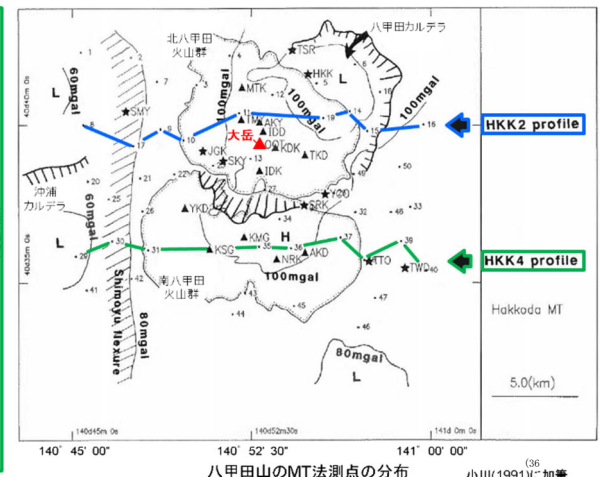
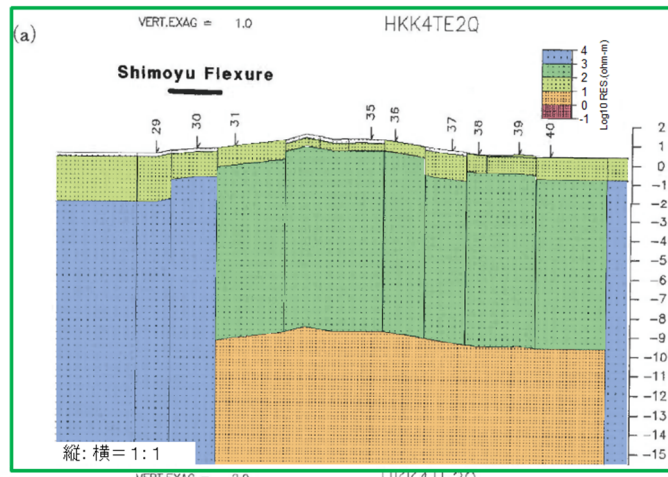
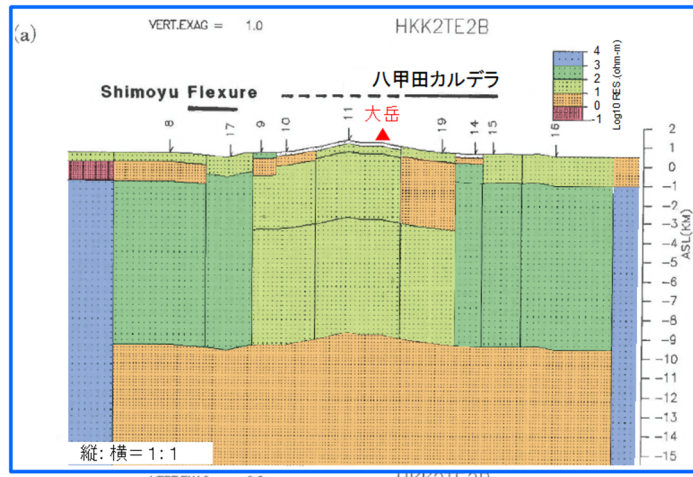
地震波速度構造及び比抵抗構造を統合的に解釈すると、八甲田山直下の上部地殻内の 10km 以深は低比抵抗領域であるが、その領域は低 V_p かつ低 V_p/V_s であることから、上部地殻内に大規模なマグマ溜まりの存在を示唆する顕著な低速度・高 V_p/V_s かつ低比抵抗領域は認められない。



八甲田山のMT法測点の分布



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



北八甲田火山群と八甲田カルデラを切る測線 (HKK2)

南八甲田火山群を切る測線 (HKK4)

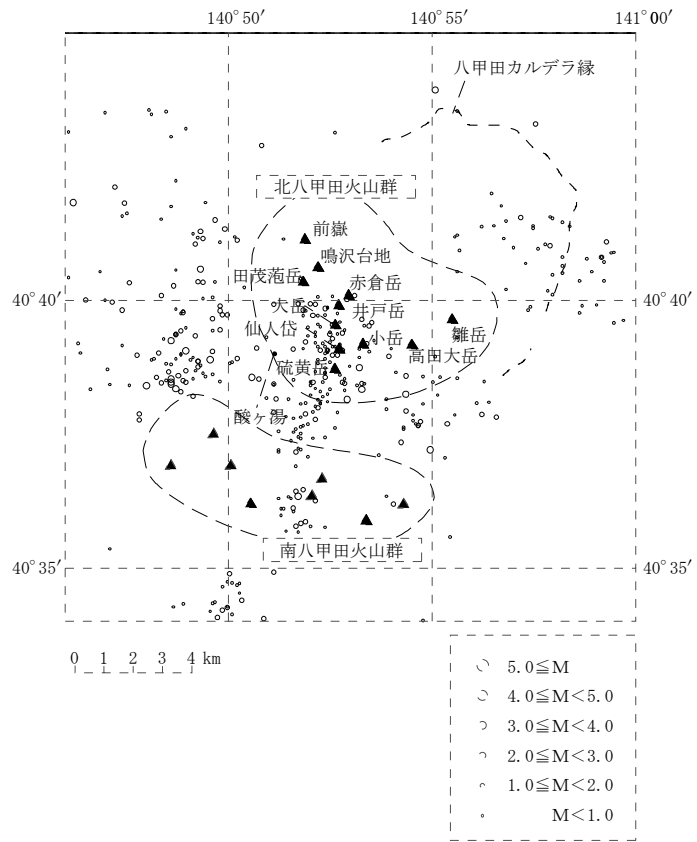
第 11 図 八甲田山の比抵抗構造 (小川(1991)⁽¹²⁾に加筆及び塗色)

b. 地震活動

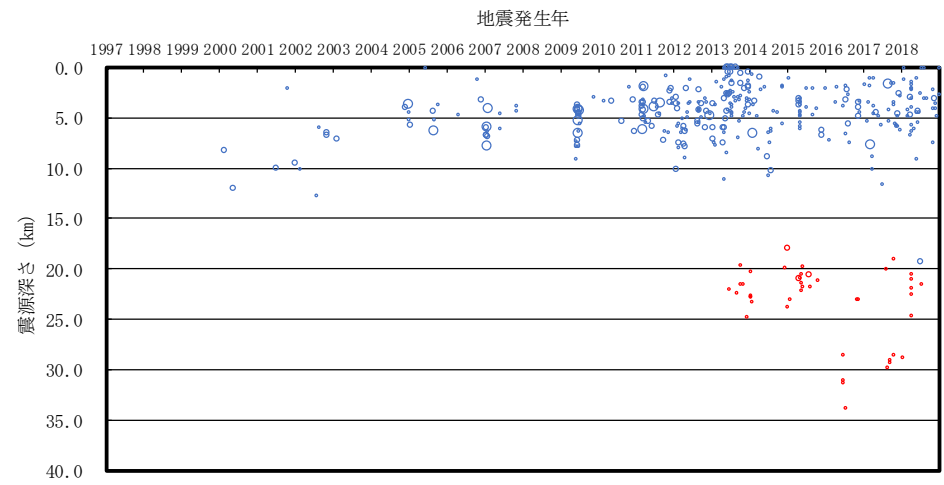
気象庁一元化震源カタログ（地震月報（カタログ編⁽⁶⁾）（期間：1997年10月～2017年12月）及び気象庁一元化処理震源要素⁽⁷⁾（期間：2018年1月～2018年12月）より作成した八甲田山付近の震央分布及び地震活動の時間変化を第12図に示す。八甲田山においては、通常の地震が観測期間を通じて北八甲田火山群付近の深さ10km以浅に集中している。

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

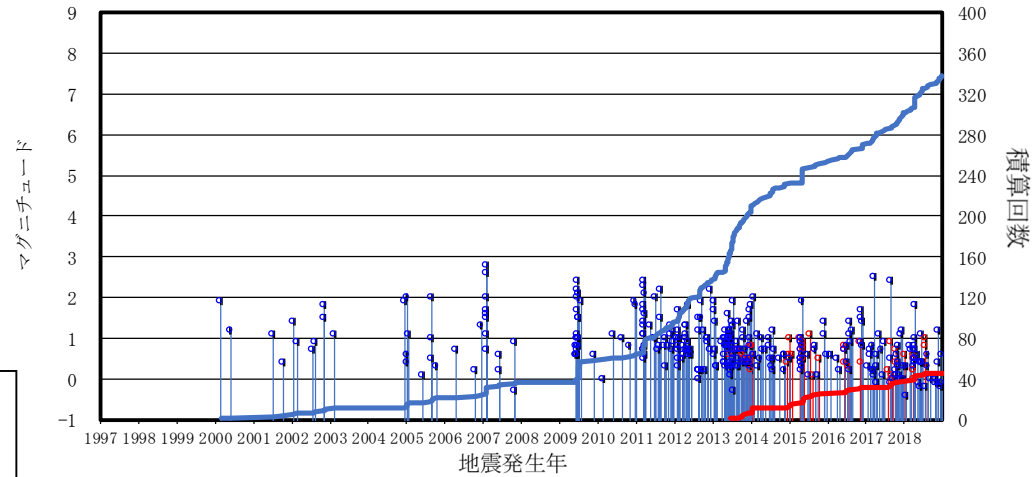
加えて、「火山の状況に関する解説情報（八甲田山第3号）令和元年10月8日16時00分」（気象庁、2019）⁽¹⁴⁾によると、2019年10月7日6時頃から始まった八甲田山周辺での地震は、2019年10月8日10時以降観測されていないとしている。加えて、低周波地震や火山性微動は観測されておらず、地殻変動に火山活動に伴う変化は認められないとしている。また、監視カメラによる観測では、地獄沼付近及び大岳周辺に特段の変化はみられず、火山活動の活発化を示す変化は認められないとしている。



震央分布図



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

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

第12図 八甲田山付近における地震活動

c. 地殻変動

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

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

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

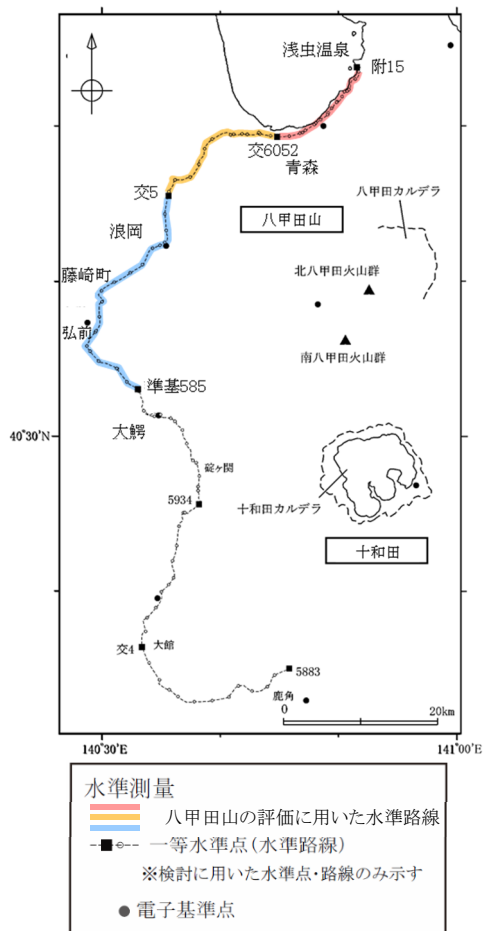
加えて、第131回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2015)⁽¹⁰⁾によると、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2014年9月4日と2014年10月16日)について、ノイズレベルを超える位相変化は認められないとしており、第143回火山噴火予知連絡会資料(気象庁、2019)⁽¹¹⁾において、八甲田山周辺における干渉SARの解析結果(2015年10月8日と2018年10月18日)について、山頂の西側周辺で衛星視線方向伸長の位相変化が認められるが、気象ノイズによる可能性があるとしている。

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

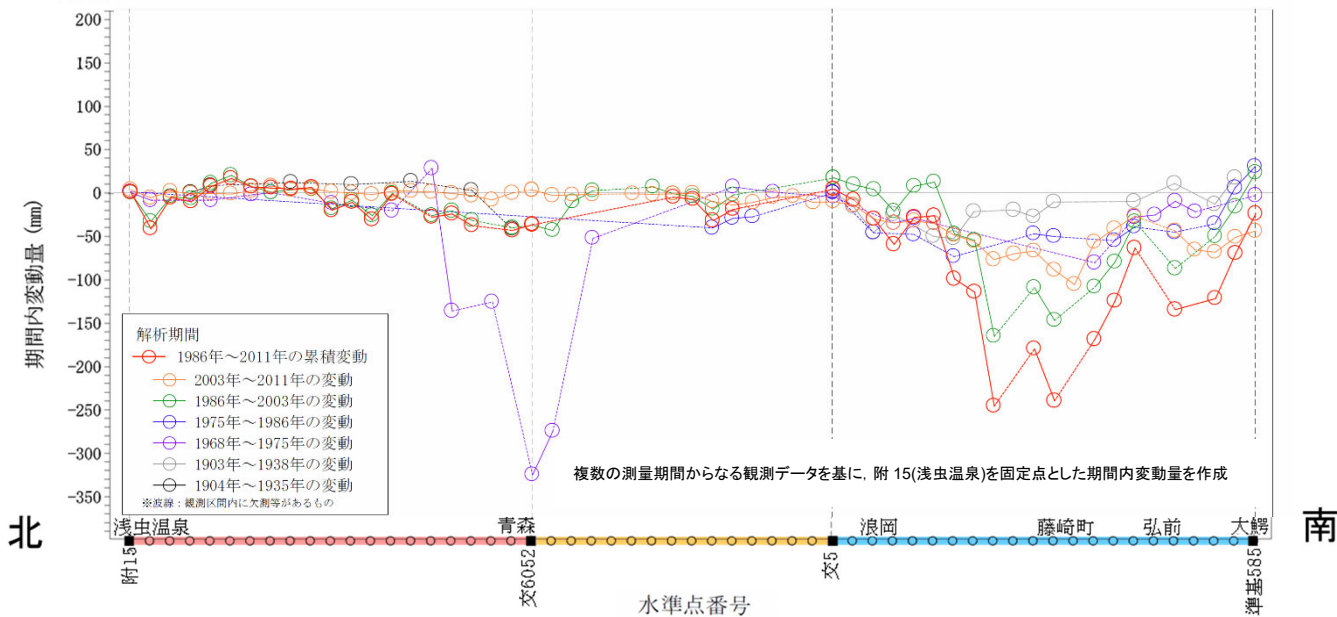
d. 地球物理学的調査の評価

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

■水準路線



■路線沿いの期間内変動量



第13図 八甲田山付近の一等水準路線の

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

参考文献

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

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

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

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

許可基準規則解釈第 10 条第 1 項
に関する補足説明

目 次

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

1. 覆土の施工実現性

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

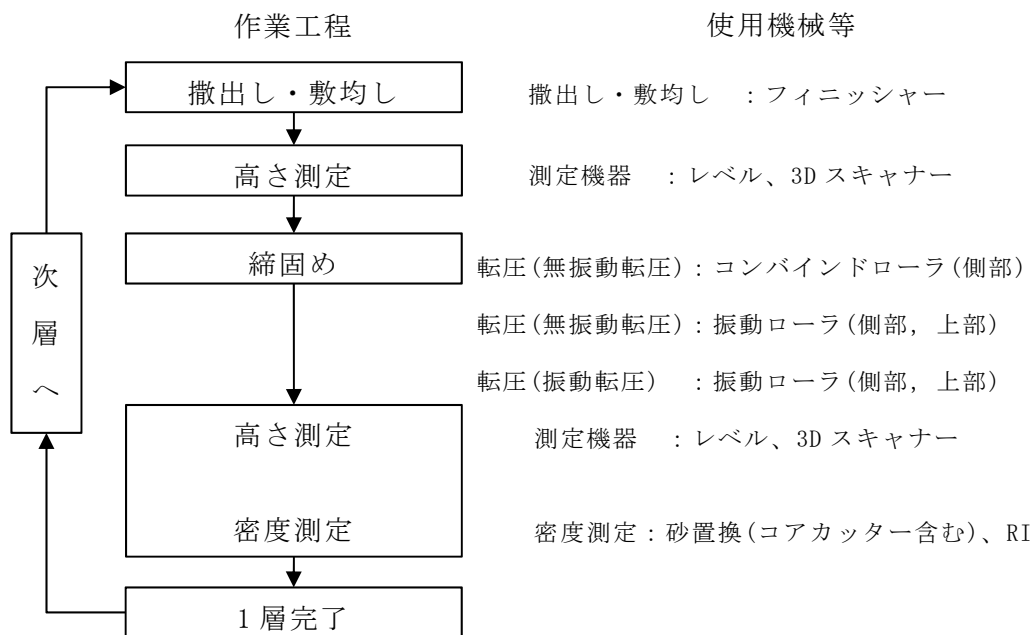
(1) 現地施工試験の概要

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

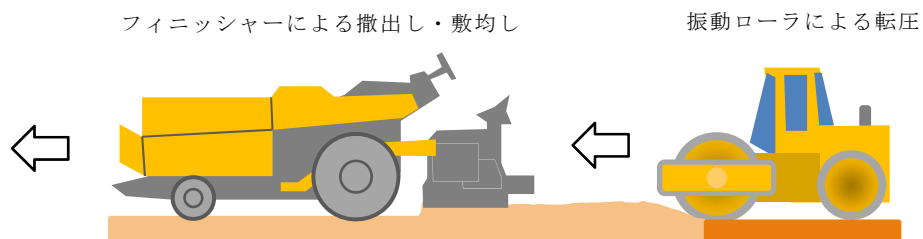
第1図に難透水性覆土の試験施工フローを、第2図に難透水性覆土の施工イメージ図を示す。また、第1表に現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較を示す。

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

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



第1図 難透水性覆土の試験施工フロー



第2図 難透水性覆土の施工イメージ図

第1表 現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較

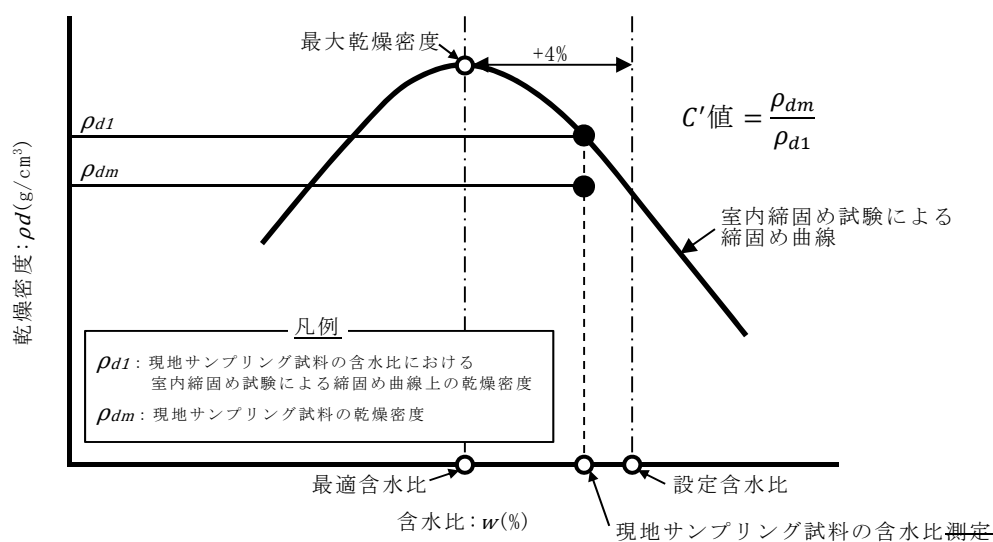
比較項目	現地施工試験	一般土工（河川土工マニュアル ⁽²⁾ ）
撒出し 敷均し	撒出し厚さ：10cm 施工機械：フィニッシャー	撒出し厚さ：35cm～45cm 施工機械：ブルドーザ 他
締固め	締固め回数：6回～8回 施工機械：振動ローラ	締固め回数：10回程度以下 施工機械：振動ローラ 他

第2表 現地施工試験一覧

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

*1：メチレンブルー吸着量であり、モンモリロナイトの量を表す指標である。

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



第3図 締固め規定値の概要

(2) 混合土の製造について

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

ントナイト混合土の仕様を第3表に、主要材料を第4表に示す。

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

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

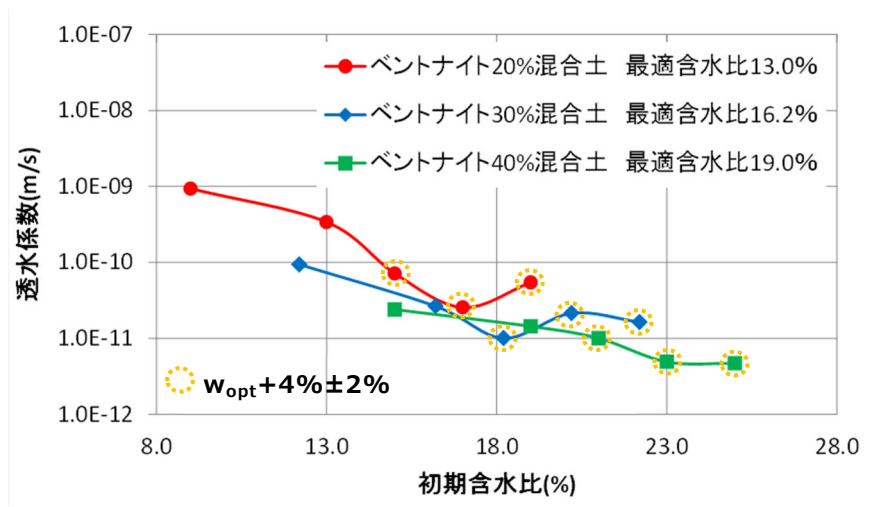
第3表 ベントナイト混合土の仕様

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

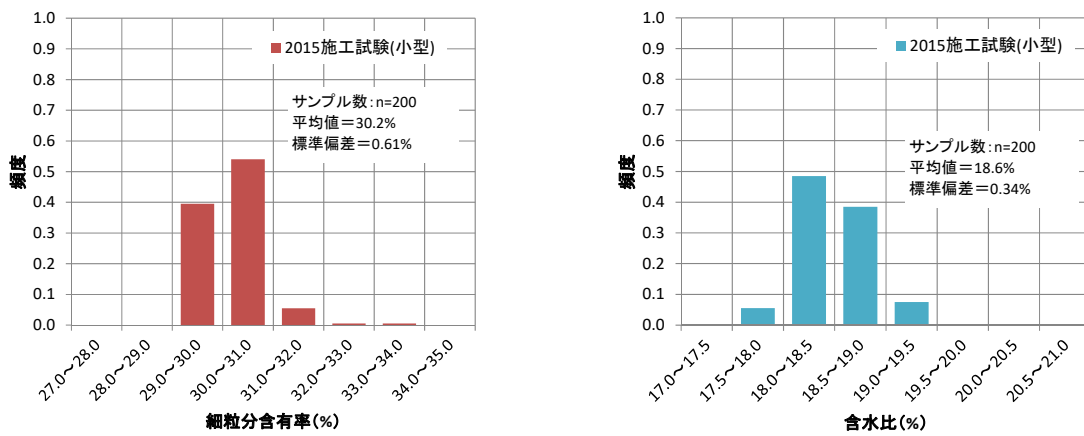
*1：最適含水比

第4表 主要材料

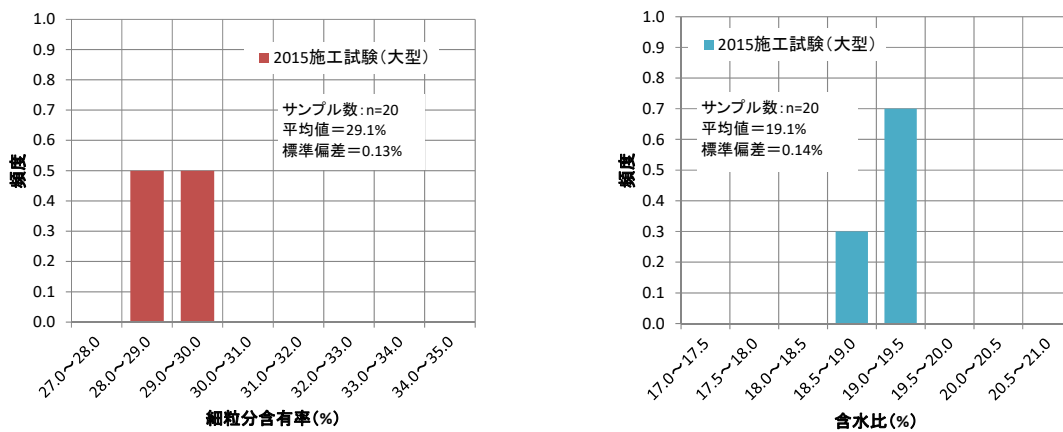
項目	仕様
Ca型ベントナイト(クニボンドRW)	MBC120以上
コンクリート用細骨材	青森県三沢市砂森産



第4図 ベントナイト混合率ごとの含水比と透水係数の関係



第5図 混合土の製造確認結果：小型施工機械分

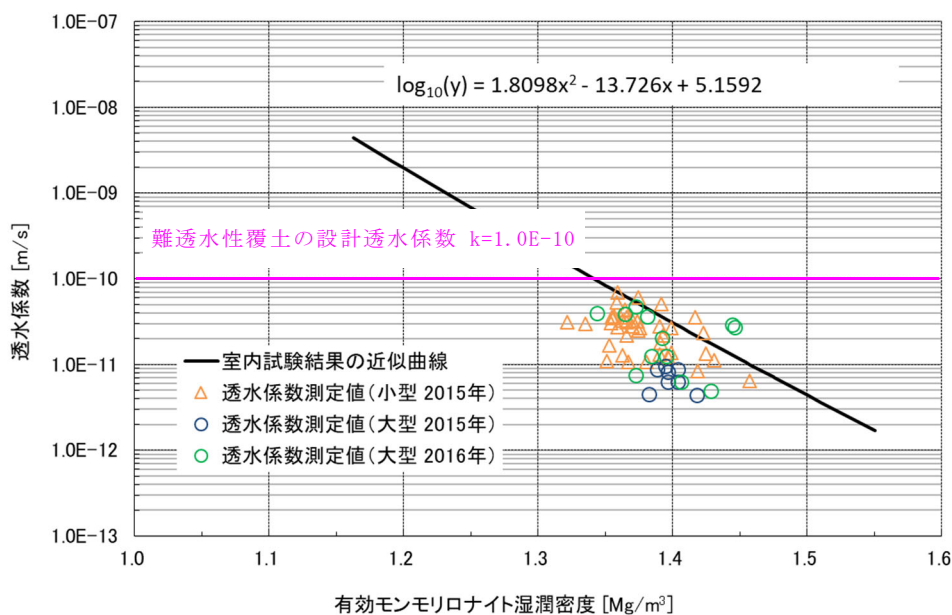


第6図 混合土の製造確認結果：大型施工機械分

(3) 現地施工試験の結果

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

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

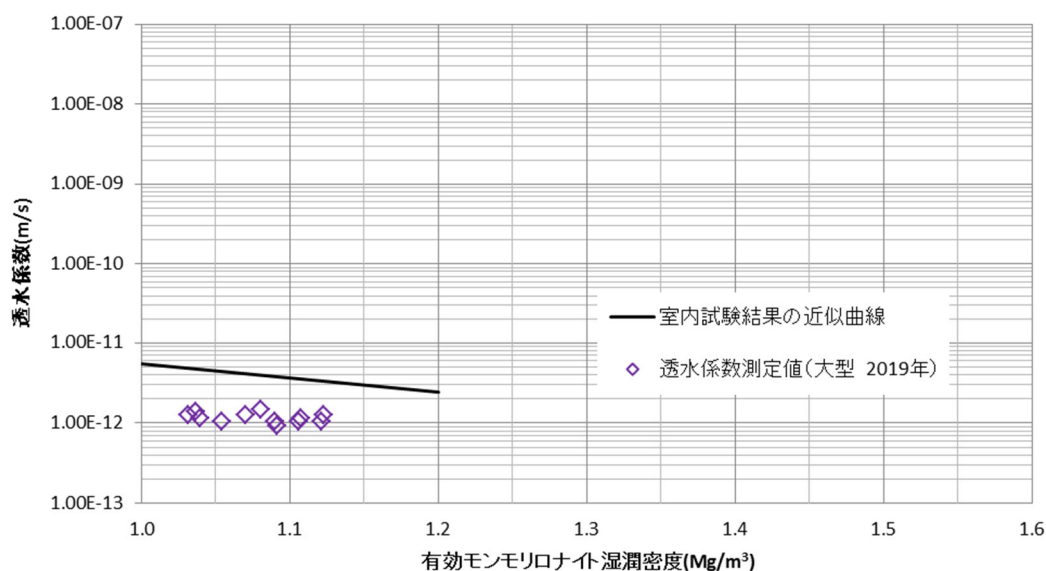


第7図 有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係
(現地施工試験結果プロット、Ca型ベントナイト混合土)

(4) 特性の異なるベントナイト混合土を用いた現地施工試験結果について

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

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



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

2. 覆土の施工時における品質管理(案)

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

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

(1) 完了確認時における品質管理項目

(i) 有効モンモリロナイト湿潤密度の確認

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

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

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

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

(ii) 原位置サンプリング試料による透水係数の確認

原位置サンプリング試料を用いた透水試験結果より、巨視的透水係数として設計透水係数が確保されていることを確認する。

(2) 材料納入時、覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目

完了確認時における品質管理項目である有効モンモリロナイト湿潤密度は、下式で表される。

$$\rho_{emt} = \rho_{em} + \frac{\frac{100}{100 - R_s} w \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

ここに、

$$\rho_{em} = \frac{C_m \cdot \rho_b}{100 - (100 - C_m) \frac{\rho_b}{\rho_{nm}}}$$

$$\rho_b = \frac{\rho_d(100 - R_s)}{100 - \frac{R_s \cdot \rho_d}{\rho_s}}$$

ρ_{emt} : 有効モンモリロナイト湿潤密度 (Mg/m³)

ρ_{em} : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_b : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

w : 含水比 (%)

C_m : モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m³)

ρ_d : 乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_s : 骨材の土粒子密度 (Mg/m³)

R_s : 骨材混合率 (%)

これより、有効モンモリロナイト湿潤密度を定義するための管理項目として、「含水比」「モンモリロナイト含有率（ベントナイト混合率、メチレンブルー吸着量）」、「乾燥密度（現場密度）」、及び「土粒子密度」があげられる。

よって、その他の品質管理では、「覆土完了時」に所定の品質を確保できるように「材料納入時」、「覆土材料製造時」及び「覆土施工時」の各段階において、第5表に示す所定の管理を実施することにより、有効モンモリロナイト湿潤密度の確認を間接的に行う。

この管理基準は、「覆土完了時」の覆土全体の巨視的透水係数が所定の値（ 1.0×10^{-10} m/s）以下となるような目標値として設定する。透水係数と各種代替指標との関係

性は、実際の覆土施工時に行う施工試験で確認を行う。

また、第5図及び第6図に示す混合土の製造確認結果より混合土は均質に作製できていることから、第5表における覆土施工時のばらつきを確認することで、覆土内に連続的な弱部がないことを確認する。

なお、巨視的透水係数は平均透水係数よりも大きい値となるのが一般的であることから、巨視的透水係数及び平均透水係数のどちらも $1.0 \times 10^{-10} \text{m/s}$ 以下となる。

第5表 難透水性覆土の品質管理項目(案)

施工フロー	対象	管理項目	管理基準	管理方法		
(1) 材料納入 	ベントナイト	(1)-①	基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	ミルシート確認	
		(1)-②	モンモリロナイト含有量	所定のメチレンブルー吸着量以上	メチレンブルー吸着試験	JIS Z 2451:2019
	購入砂	(1)-③	基本物理特性 (粒度分布等)	製品における各種品質基準	ミルシート確認	
(2) 覆土材料製造 	混合土	(2)-①	材料構成比	所定の構成比	混合前の計量	—
		(2)-②	含水比	所定の含水比	含水比試験	JIS A 1203:1999
		(2)-③	ベントナイト混合率	所定のベントナイト混合率 ※サンプリング試料において一定のベントナイト混合率であることを確認し、均質に混合されていることを確認する	細粒分含有試験	JIS A 1223:2009
(3) 覆土施工 	混合土	(3)-①	1層当たり撒き出し厚	所定の厚さ かさ密度測定 ※フィニッシャーを用いて施工することにより覆土の均質性を確保	測量 密度, 含水比測定	レーザ測量等
		(3)-②	1層当たり仕上がり厚	所定の厚さ	測量	レーザ測量等
		(3)-③	締固め回数	基準密度を満たす回数	目視	記録管理
		(3)-④	施工範囲	所定の範囲・位置に施工されていること	測量	レーザ測量等
		(3)-⑤	現場密度	所定の現場密度	砂置換法 RI 測定	JIS A 1214:2013 JGS 1614-2012
(4) 完了確認 ① 性能確認 サンプリングにより有意な水みちを形成することを避けるため、サンプリング位置が深さ方向で連続しないことに留意し、埋戻しには元の覆土と同等以上の低透水性の材料を用いる。	混合土	(4)-①	透水係数	所定の透水係数	一軸透水試験	JGS 0312-2018
				所定の有効モンモリロナイト湿潤密度	有効モンモリロナイト湿潤密度を算定	—

参考文献

- (1) (社)日本道路協会(2009)：道路土工要綱
- (2) (財法)国土技術研究センター(2009)：河川土工マニュアル
- (3) (社)土質工学会(1991)：土の締固めと管理

3. 諸外国との比較

(1) 日本の廃棄物埋設施設

本施設は、廃止措置の開始後において、廃棄物埋設地の保全に関する措置を必要としない状態に移行する見通しを得る必要がある。よって、地表面に対し離隔を図り、自然事象(隆起・侵食等)及び人為事象によるリスクを低減することが望ましい。このため、埋設設備は岩盤(鷹架層)を掘り込んで設置することとした。その結果、本施設は諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設と異なり、地下水面より下に埋設設備を設置し、難透水性覆土で覆う構成としている。

(2) 諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設との比較

本施設の人工バリアが、合理的かつ利用可能な最善の技術(BAT: Best Available Technique)を使用して施工されていることを確認するため、諸外国の低レベル放射性廃棄物処分施設を調査した。

比較対象として、廃棄体処分量及び総放射エネルギーが同等か上回る4ヶ国を選定し、第6表に示す。

選定した各国の処分施設の人工バリアの仕様を第7表に示す。

コンクリートピットに関しては、各施設ともに鉄筋コンクリート製であり、部材厚は35cm～70cmである。本施設のうち、鉄筋コンクリート製である埋設設備の部材厚は約30cm～60cmであり、要求する力学的安定性及び遮蔽性としての十分な厚さを有していると考えられるため、各国に対し本施設は同等である。

充填材に関しては、各国では砂利若しくはセメント系材料を用いているのに対し、本施設では充填性に配慮した高流動モルタルを使用している。埋設設備内に有害な空隙を残さないようにし、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制する目的に配慮した材料を用いているため、各国に対し本施設は同等以上であるといえる。

覆土に関して、材料については、本施設及び各国ともに粘土系材料及び土砂を用いている。厚さについては、各国においては3m～6m程度である。透水係数については、本施設の難透水性覆土の値が各国の粘土層に対し1桁程度小さいものである。これらについては、本施設を地下水面下に設置することから、透水特性及び長期機能維持特性を考慮した設計の結果であり、諸外国と同等以上のものである。

止水対策に関しては、各国では防水対策を施しているのに対し、本施設では外周

仕切設備及び覆いにおいてひび割れ幅の設計目標値を 0.1mm とすること及び内部防水を実施することとしている。覆土完了までの期間において漏出防止機能として廃棄体と水の接触を抑制する目的に応じた方法を選定している。

排水・監視設備に関しては、本施設及び各国ともに排水・監視設備が存在し、廃棄物と接触して発生した汚染水を排水する機能を有する施設もあることから、各国に対し本施設は同等であるといえる。

以上のことから、本施設の人工バリアに関しては、各国に対して遜色ない技術が用いられているといえる。諸外国では地下水面より上に埋設施設を敷設しているのに対し、本施設は地下水面以深に埋設施設を敷設しているため、施設全体に関して単純な比較を行うことは難しいが、埋設設備については、使用材料及び部材厚は諸外国と同程度である。また、覆土については、地下水面下への設置に応じて、透水特性に優れた設計を行っている。

第6表 本施設及び諸外国の処分事業の結果の整理一覧表*1

対象施設 調査項目	日本	フランス	イギリス	スペイン	ベルギー	本施設と の比較
	六ヶ所村 日本原燃	オーブ処分場	ドリッグ処分場	エルカブリラ処分場	デッセル処分場	
概要	<p>操業中(1992～) 浅地中コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体間をモルタル 充填、覆土 地下水面下に敷設</p>	<p>操業中(1992～) 半地下式コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体 地下水面上の粘土層に敷設、 300年管理する</p>	<p>操業中(1959～) 第8トレンチ以降、浅地中コ ンクリートポルト処分 ドラム缶廃棄体を圧縮シコ ンテナへ格納、コンクリート 充填 地下水面上に敷設</p>	<p>操業中(1992～) 浅地中コンクリートピット 処分 ドラム缶廃棄体 地下水面上の結晶欠岩系の 岩盤に敷設</p>	<p>建設計画中 浅地中コンクリートモジュ ール処分 ドラム缶廃棄体をモルタル でブロック化 地下水面上に敷設</p>	
廃棄体形態	<p>廃棄物をドラム缶に収納、モ ルタル等で固型化</p>	<p>ドラム缶に廃棄物を収納、圧 縮後、400Lドラム缶に収納、 セメントグラウトで固型化 等</p>	<p>廃棄物を金属製の箱やドラ ム缶に収納、圧縮し、コンテ ナに圧縮体を収納・コンクリ ートで固型化</p>	<p>廃棄物を220Lドラム缶に収 納、一時貯蔵 コンクリート容器に収納、モ ルタルで固型化</p>	<p>コンクリートケーシングに 廃棄物ドラムを収納 空隙にセメントモルタルで 固型化</p>	同等
処分深度 (参考)	地下水面より下	地下水面より上	地下水面より上	地下水面より上	地下水面より上	本施設のみ地下水 面下

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

第7表 本施設及び諸外国の人工バリア仕様の整理一覧表*1

対象施設 調査項目	日本	フランス	イギリス	スペイン	ベルギー	本施設と の比較
	六ヶ所村 日本原燃	オーブ処分場	ドリッグ処分場	エルカブリル処分場	デッセル処分場	
施設仕様	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 60cm (例として3号廃棄物埋設地を示す)	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 50cm	材料 鉄筋コンクリート製 代表部材厚 35cm	材料 コンクリート (鉄筋コンクリート製と推定) 代表部材厚 60cm	材料 鉄筋コンクリート 代表部材厚 70cm	同等
充填材材料 (充填性)	高流動モルタル	砂利あるいはコンクリート	free draining granular material (砂利等と推定)	砂利	モルタル	同等以上
覆土の仕様	材料：ベントナイト混合土、現場発生土 厚さ：難透水性覆土2m以上 下部覆土2m以上 透水係数：難透水性覆土 1.0×10^{-10} m/s 以下 下部覆土 1.0×10^{-8} m/s 以下	材料：土、砂、粘土 厚さ：表土層4-6m 透水係数： 10^{-5} m/s	材料：ベントナイト、砂、砂利、岩、土 厚さ：工学キャップの厚さ3m 透水係数：(具体的記載無し 材料が当施設と同等であるため、透水係数も同程度だと考えられる)	材料：表層土、粗礫、整粒砂、圧密施工粘土、砂、 厚さ：約3m 透水係数：粘土層 10^{-9} m/s 覆土の第1層 10^{-4} m/s	材料：砂、砂利、ローム層、粘土 厚さ：約4.5mを想定 透水係数： 粘土ライナー(GCL) 10^{-9} m/s	同等
止水対策	外周仕切設備及び覆いのひび割れ幅設計目標値0.1mm 内部防水	コンクリートピットの上面及び側面にポリウレタンコーティング 覆土中にビチューメン又はアスファルト	覆土中にジオメンブレン(厚さ：2mm)	覆土中に最低厚さ2mmの高密度ポリエチレン製ジオメンブレン	全てのモジュールを防水膜でカバーする	立地条件にあわせて設置していると推定
排水・監視設備	ポーラスコンクリート層、排水管、点検管、点検路	セルの底部防水、排水口、点検用通路 廃棄物と接触した可能性のある水を集水し、汚染されている場合、廃棄物に組み込むか、認可施設で処理	コンクリート内張り 床下廃水路 排水は、能動的管理の終了まで汚水槽に集められ、処理システムへと排水される	処分ポールの底部の点検通路に水の収集システムを設置 放射性核種を含む液体の放出をゼロとする原則のため、浸出水をモニタリング	排水システム、検査坑道 排水システムは、侵入する汚染水を管理し、検査坑道から排水できるような構造にする	同等

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

許可基準規則解釈第 10 条第 2 項
に関する補足説明

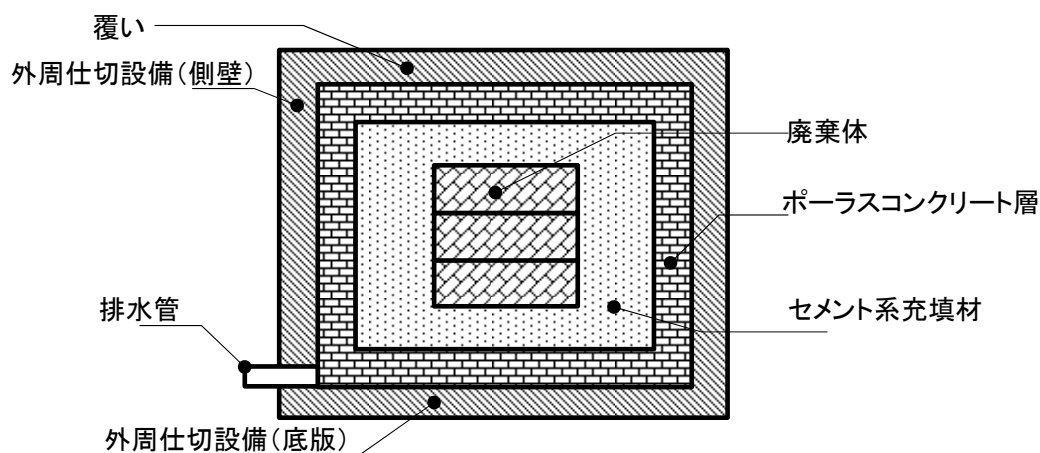
目 次

1. 漏出防止設計の基本方針.....	1
2. 外周仕切設備及び覆いの設計.....	2
(1) 全体概要.....	2
(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定.....	2
(3) 配合設計の整理.....	4
(4) その他の防水に対する設計.....	7
3. 操業中の雨水浸入防止対策.....	9
4. ポーラスコンクリート層の排水能力.....	9
5. 排水管の排水能力.....	10
6. 覆土の施工に応じた排水管理.....	10
(1) 浸入水量の算定.....	11
(2) 浸入水の対策について.....	12
7. セメント系充填材について.....	13
(1) 全体概要.....	13
(2) 配合設計の整理.....	13
8. 内部防水.....	16
(1) 内部防水の要求性能.....	16
(2) 内部防水の配置.....	16
(3) 内部防水の工法選定.....	17
9. 漏出防止機能に関する設計方針の変遷.....	20
参考資料 1 1号及び2号排水・監視設備からの排水実績と漏出防止機能の健全性について	
参考資料 2 排水中のトリチウム濃度を用いた漏出防止評価について	
参考資料 3 セメント系充填材の性能について	
参考資料 4 セメント系充填材の配合選定経緯について	

1. 漏出防止設計の基本方針

廃棄物埋設地(3号及び1号7,8群)は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から覆土完了までの間、埋設設備のうち外周仕切設備、セメント系充填材、覆い及び内部防水並びに排水・監視設備のうちポーラスコンクリート層により限定された区域からの放射性物質の漏出を防止する機能を有する設計とする。

埋設設備の基本構造を第1図に示す。



第1図 埋設設備の基本構造

廃棄体は、埋設設備の中で4層構造で囲まれている。1層目は鉄筋コンクリートからなる外周仕切設備及び覆い、2層目はポーラスコンクリート層及び排水管からなる排水・監視設備、3層目は廃棄体周囲のセメント系充填材、4層目はセメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間並びに外周仕切設備底版とポーラスコンクリート層の間に設置する内部防水である。

廃棄体内部に水が浸入し難くするために、まず、1層目の外周仕切設備及び覆いにより、埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を極力防止する。

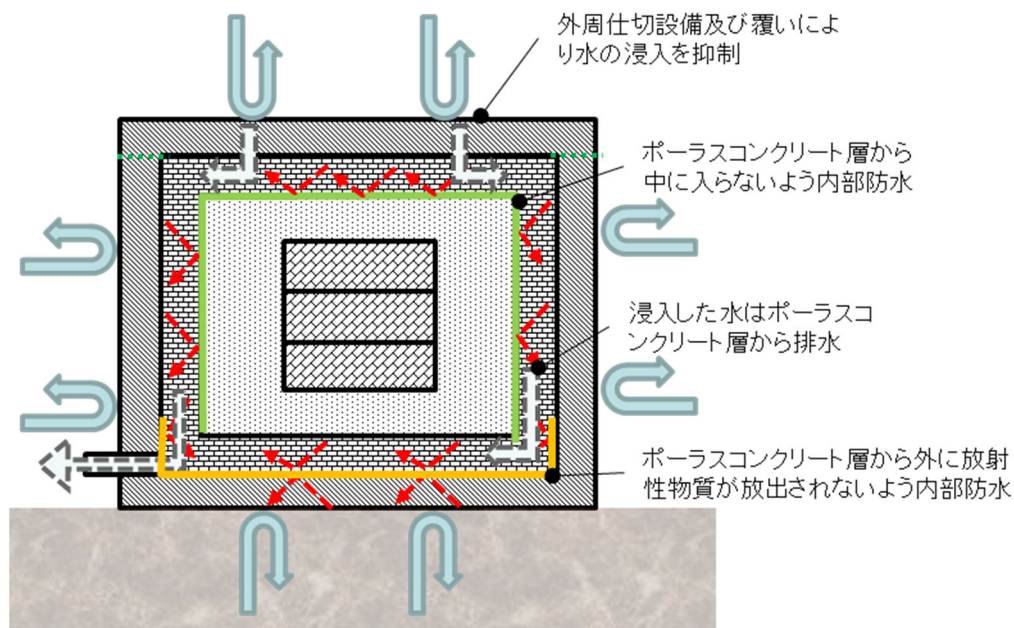
次に2層目のポーラスコンクリート層では、透水性と排水勾配により排水しやすくすることで、仮に外部から水が浸入した場合であっても、廃棄体に接触する前に埋設設備の外に排水する。

さらに、3層目のセメント系充填材は、ポーラスコンクリート層と廃棄体の間に有害な空隙が残らないよう充填することにより、大量の水が廃棄体に接触することを抑

制する。

また、4層目として、浸入水の移動経路等を考慮し、雨水及び地下水の浸入及び放射性物質の漏出を防止するため内部防水を行う。

雨水及び地下水の浸入防止を具体的にした漏出防止の概念図を第2図に示す。



第2図 漏出防止機能の概念図

2. 外周仕切設備及び覆いの設計

(1) 全体概要

外部からの水の浸入を極力防止するために、外周仕切設備及び覆いに対し、コンクリート標準示方書設計編 2017年版の本編 12章「初期ひび割れに対する照査」に基づき、ひび割れ抑制を行う。具体的には、「最大ひび割れ幅の低減」を目標とし、ひび割れ抑制を考慮した低発熱に配慮したコンクリート配合の材料を使用し、目標のひび割れ幅を達成できる鉄筋量を確保する。

(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定

埋設設備の外周仕切設備及び覆いのコンクリートに施工段階に発生するひび割れは、「温度ひび割れ」、「初期乾燥収縮によるひび割れ」及び「沈下ひび割れ」を

対象とする。

水の浸入に対し最も影響がある貫通ひび割れは、温度ひび割れであり、主に最高温度と温度降下量が影響する。よって、外周仕切設備及び覆いの設計においては、「最大ひび割れ幅の低減」を目標とし、発熱量の低下を指向したコンクリート配合を行うとともに、ひび割れ幅を低減できる鉄筋量を確保する（第3図）。

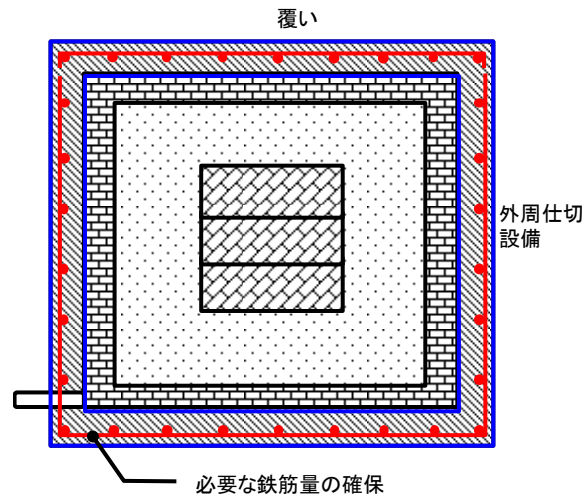
第1表に「コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定」^{(1)*1}で示されている、コンクリートの水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安⁽¹⁾を示す。

なお、ひび割れ幅の設計限界値の設定に用いた既往の研究は、全て貫通ひび割れを生じた結果によるものである。

第1表より、一般の水密性を確保する場合の水密性に対するひび割れ幅の限界値の目安は、温度応力による断面力が軸引張力のため0.1mmである。したがって、最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとし、これに対応した鉄筋量を考慮した設計をする。

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

*1：ひび割れに対する最新の知見である「コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定」⁽¹⁾を参照する



*1：最大ひび割れ幅の目標値を 0.1mm とし、発熱量の低下を指向したコンクリート配合を用い、必要な鉄筋量を確保する。

第 3 図 外周仕切設備及び覆いの初期ひび割れに対する設計

第 1 表 水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安(mm)⁽¹⁾

要求される水密性の程度		高い水密性を確保する場合	一般の水密性を確保する場合
卓越する断面力	軸引張力	—*1	0.1
	曲げモーメント*2	0.1	0.2

*1：断面力によるコンクリート応力は全断面において圧縮状態とし、最小圧縮応力度 0.5N/mm²

以上とする。なお、詳細解析による検討を行う場合には、別途定めるものとする。

*2：交番荷重を受ける場合には、軸引張力が卓越する場合に準じることとする。

(3) 配合設計の整理

安全機能を確保できるようコンクリートの配合検討を行う。力学的安定性、耐久性、遮蔽性及び低透水性を確実に満足するものとして配合設計を行う。ひび割れ抑制については、可能な限り向上を図る(第 2 表参照)。

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

①低透水性

外周仕切設備及び覆いからの水の浸入を極力防止する目的から、基質部を緻密なコンクリートとするため、水結合材比が 55%以下となる配合とする。

②ひび割れ抑制

外周仕切設備及び覆いからの水の浸入を抑制する目的から、ひび割れの発生に繋がる要因を可能な限り抑制する。具体的には、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ及び乾燥収縮ひずみの抑制である。水和熱、自己収縮及び乾燥収縮を可能な限り抑制する配合とする。

③力学的安定性

埋設設備内部に廃棄体を安定して定置できる強度を有するものとして力学的安定性を確保する。必要な圧縮強度である 24.6N/mm^2 を確保する配合とする。

④耐久性

漏出防止期間に埋設設備が環境に暴露されることによる埋設設備の劣化が生じないように、耐久性を確保する。供用期間内に機能を損失しない劣化抵抗性を有する配合とする。

⑤遮蔽性

公衆が受ける線量の低減のため、遮蔽性を確保する。遮蔽に必要な密度として 2.1t/m^3 を確保する配合とする。

第2表 外周仕切設備及び覆いの配合設計に係る項目

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
①低透水性	水結合材比	55%以下	配合表により目標性能を満足すること
②ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	低発熱の結合材を用い、温度上昇量が可能な限り小さいこと	①③④⑤の性能を満たし、温度上昇量が抑制されていること
	自己収縮ひずみ 乾燥収縮ひずみ	収縮量が低減できる結合材を用い、収縮量を可能な限り抑制できること	①③④⑤の性能を満たし、収縮ひずみ量が抑制されていること
③力学的安定性	圧縮強度	24.6N/mm ² 以上	圧縮強度試験により目標性能を満足すること
④耐久性	材料配合	供用年数で機能を損失しない劣化抵抗性を有すること	コンクリート標準示方書に基づく耐久性照査により目標性能を満足すること
⑤遮蔽性	密度	2.1t/m ³ 以上	密度試験により目標性能を満足すること

配合例を第3表に示す。目標性能を満足するよう、膨張材、混和材及び混和剤を含めた配合設計を行っている。目標性能に対応する試験を実施し、性能を満足することを確認している。したがって、外周仕切設備及び覆いの配合は安全機能上の要求性能を満足するものである。

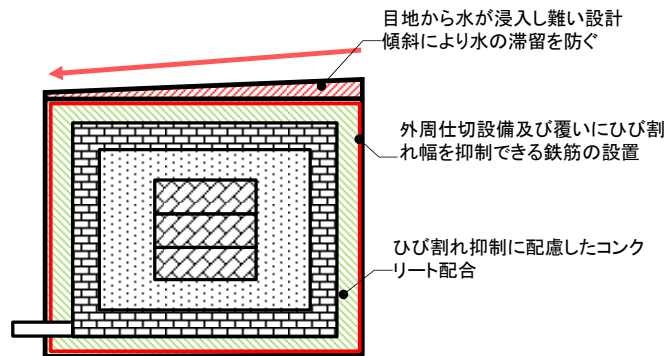
第3表 3号埋設設備の外周仕切設備・覆いの配合例

W/B (%)		単用量 (kg/m ³)								
		結合材 B			混和材	細骨材 S* ¹		粗骨材	混和剤* ¹	
		中庸熱 ポルトランド セメント	フライ アッシュ	膨張 材	石灰石 微粉末	砕砂	陸砂	砕石	AE 減水剤	AE 剤
46.5	155	333			60	762		1,004	2.0	0.03
		223	95	15		232	530			

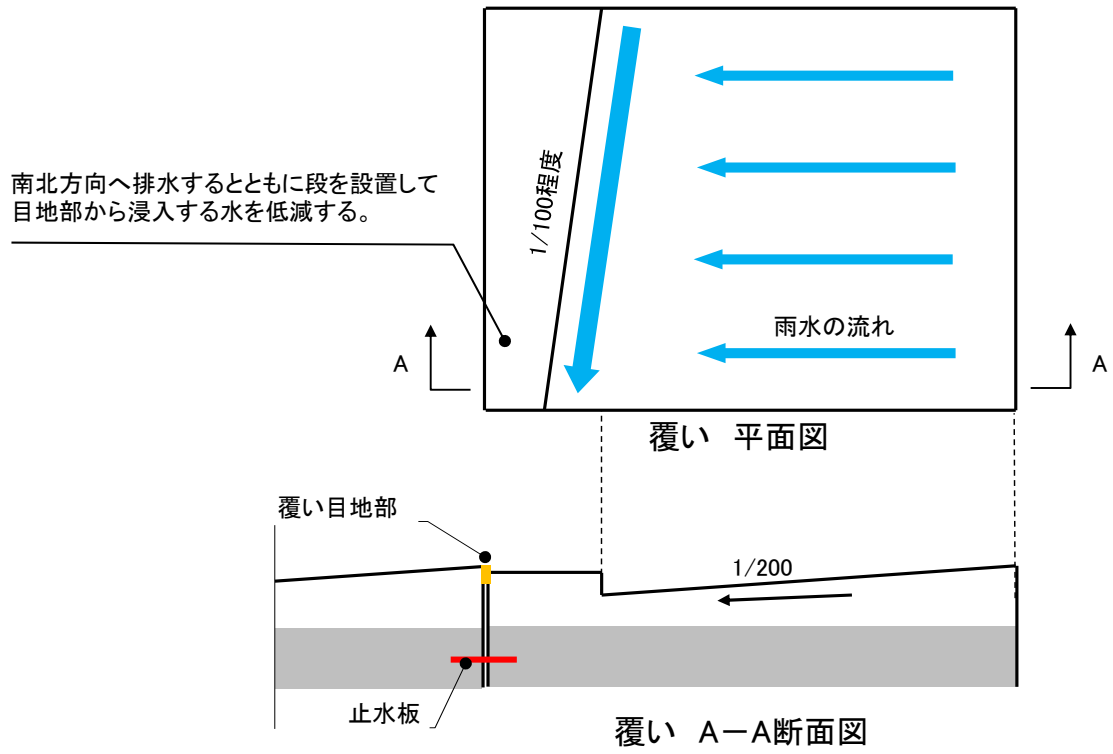
*1：混和剤及び細骨材の混合比は、所定のフレッシュ性状が確保できるよう施工時に微調整を行う。

(4) その他の防水に対する設計

覆いからの浸入水が経路として挙げられる。このため、覆いの上面に傾斜を設け、水が覆い上面に滞留し難くする設計とする(第4図及び第5図参照)。



第4図 排水を考慮した設計断面図



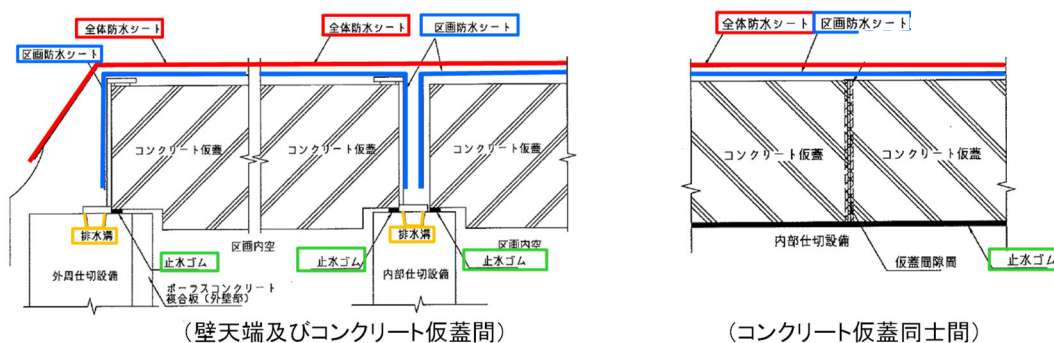
第 5 図 覆い上面の排水構造例

3. 作業中の雨水浸入防止対策

廃棄体定置後からセメント系充填材充填までの期間においては、区画上部へのコンクリート仮蓋の設置のほかに、下記の対策(第6図参照)を実施することで、区画内への水の浸入を極力防止する。

また、廃棄体定置作業時においては、埋設クレーンに屋根等を設置して、雨水の浸入を防ぐ。

- ・埋設設備上部を防水シートで覆う。区画防水シート及び全体防水シートを2重に設置する。
- ・シート内部へ浸入する水の排水を考慮し、内部仕切設備上部に勾配を設けた排水溝を設置し、外へ排水する。
- ・排水溝からのオーバーフローを考慮し、区画端部とコンクリート仮蓋との接点に止水ゴム等を設置する。



第6図 雨水浸入防止対策イメージ図

4. ポーラスコンクリート層の排水能力

最大ひび割れ幅の設計目標値を0.1mmとした外周仕切設備及び覆いからは水の浸入は極めて少ないと想定されるが、それでも浸入した水は、廃棄体に接触し難くするために透水性の高いポーラスコンクリート層を通過させ、排水・監視設備から埋設設備の外に排水させる設計とする。

ポーラスコンクリート層の透水係数は、 $3.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ (平均値：自社の受入基準値)であり、メーカー下限値($1.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$)の3倍)及び $1.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$ (メーカー上限値)とし、以下の式を用いて設定する。

ダルシー則より、 $Q=k \cdot i \cdot S$

ここに、

Q : 1ピット当たり浸入水量(m^3/y)

k : ポーラスコンクリートの透水係数($=3.0 \times 10^{-3} \text{m/s} \sim 1.0 \times 10^{-2} \text{m/s}$)

i : 設置勾配($=0.005$)

S : 通水断面積($=3.331 \text{m}^2$)

上記計算結果より、ポーラスコンクリート層の排水能力は、 $1,576 \text{m}^3/\text{y} \sim 5,252 \text{m}^3/\text{y}$ となる。

5. 排水管の排水能力

排水管(内径: 50mm)1本当たりの排水能力は、流量算定式より以下に示す。

排水能力 $Q=A \cdot V$

A : 排水管(内径 50mm)の内空断面積($=0.00196 \text{m}^2$)

V : 流速(m/s)、マンニングの式より

$$V=1/n \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)}$$

n : 配管の粗度係数($=0.012$)

R : 配管 50mm の径深(周長に対する通水断面積の割合)($=0.013$)

I : 配管の設置勾配($=0.1\%$ と仮定)

上記計算結果より、排水管1本当たりの排水能力は、 $8,789 \text{m}^3/\text{y}$ となり、ポーラスコンクリート層から排水される全水量を滞留することなく排水することが可能である。

6. 覆土の施工に応じた排水管理

覆土施工に伴い地下水圧が上昇し、埋設設備内部と外部の水圧の差が大きくなると浸入水量が増える可能性がある。埋設設備への浸入経路は、覆土開始前に外周仕切設備側壁部及び覆いのひび割れについて点検し必要に応じて補修すること、また埋設設備側部及び上部には、難透水性覆土、下部覆土及び上部覆土が構築されることから、水の浸入経路は底版部からが主な経路と想定される。一方、底版部は、設計の段階か

ら、浸入経路となるひび割れ発生の防止につとめ、ひび割れが発生しても、可能な限りの補修等を実施する計画であり、ひび割れ幅の制御及び防水材料による防水対策が施されていることから、顕著な水の浸入は少ないと考えている。

仮に覆土期間中に地下水の浸入があった場合には、底版上部のポーラスコンクリート層が機能して浸入水を排水すると考える。

(1) 浸入水量の算定

底版に発生する貫通ひび割れを想定した浸入水量は、次式*1より求める。

$$Q = \frac{\pi k(H - h_0)l}{2.3 \log_{10} \left\{ \frac{L}{b} + \sqrt{\left(\frac{L}{b}\right)^2 - 1} \right\}}$$



Q : 1ピット当たり浸入水量(m^3/y)

k : 地盤透水係数(=5.0水係数 $^{-8}\text{m}/\text{s}$)

H : 底版下面地下水圧(=0.6m~24.7m)

h_0 : 底版厚(=0.6m)

L : 影響範囲(=9.7m~18.3m)

l : 底版ひび割れ長さ(ひび割れ本数×底版長さ m)

b : 底版ひび割れ幅(=0.1mm)

*1: 「集水暗きよの取水量公式」土木学会、昭和60年度版 水理公式集、p.613

1ピット当たりのひび割れ幅は、0.1mmと仮定した。また、1ピット当たりのひび割れ本数は、浸入水の流下方向(南北方向)に対して6本(南北方向の6区画に各1本の貫通ひび割れ)と仮定した。

検討期間は覆土開始から覆土完了までとする。覆土施工が進むにつれて浸入水量は増大し、覆土完了時には、1ピット当たりの浸入水量は、 $567\text{m}^3/\text{y} \sim 2,547\text{m}^3/\text{y}$ となる。

(2) 浸入水の対策について

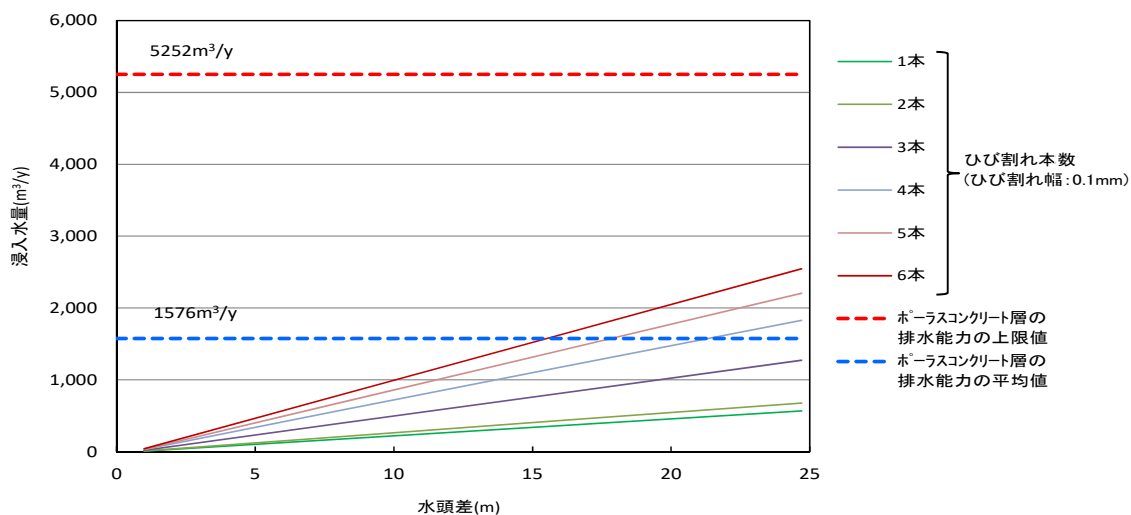
水頭差と浸入水量の関係を第7図に示す。破線は、ポーラスコンクリート層の排水能力を示す。

想定したひび割れ本数が1本～3本であれば、覆土完了までの期間において浸入水量はポーラスコンクリート層の排水能力の平均値を下回るため、不飽和を維持できる。

一方、想定したひび割れが4本～6本の場合、浸入水量は覆土施工中にポーラスコンクリート層の排水能力の平均値を上回るが、排水能力の上限値に対して浸入水量は十分に下回ることから不飽和を維持できる。

浸入水量は、埋設設備内部と外部の水圧の差に依存するため、覆土期間中の初期の段階で浸入水量と内外の水圧差を計測することで、覆土の進捗による将来の浸入水量をある程度推定することが可能である。

このため、覆土の進捗に伴いポーラスコンクリート層の排水能力を超えるような評価になった場合でも、覆土施工にあわせて、地下水位を一時的に低下させる等の対策を行うとともに、覆土期間中は、埋設設備内の排水量及び地下水位をモニタリングとあわせて排水監視する。



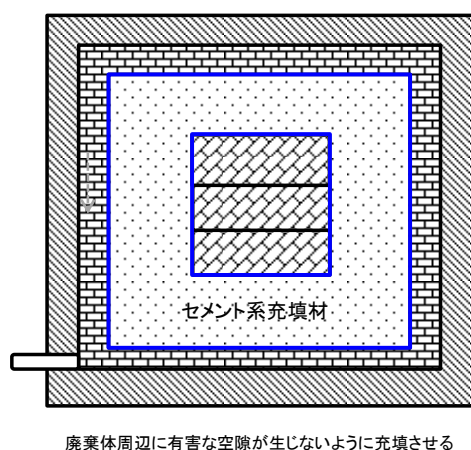
第7図 水頭差と浸入水量の関係

7. セメント系充填材について

(1) 全体概要

雨水及び地下水がポーラスコンクリート層で排水されずに区画内に浸入した場合でも、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するため、有害な空隙が残らないように流動性を考慮したセメント系充填材により埋設設備内を充填する(第8図参照)。

したがって、廃棄体周りのセメント系充填材は、流動性を良くし充填性を上げ、廃棄体間の空隙を隙間なく充填するとともに、低発熱配合のセメント系充填材を選定し、温度応力によるひび割れを抑制する設計とする。



廃棄体周辺に有害な空隙が生じないように充填させる

第8図 セメント系充填材の設計方針

(2) 配合設計の整理

安全機能を確保できるようモルタルの配合検討を行う。充填性、遮蔽性を確実に満足するものとして配合設計を行う。ひび割れ抑制、凝結遅延抑制及び力学的安定性については、可能な限り向上を図る(第4表及び第5表参照)。

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

① 充填性

埋設設備内に有害な空隙を残さない充填性を有するものとして、流動性と材料分離抵抗性を確保する。廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填でき、材料分離による空隙を生じさせないために、スランプフローは65cm以上を確保し、ブリーディングについては極力生じない配合とする。

②遮蔽性

公衆が受ける線量の低減のため、遮蔽性を確保する。遮蔽に必要な密度として 1.6t/m^3 を確保する配合とする。

③ひび割れ抑制

セメント系充填材内を水が通過することを極力低減するため、ひび割れの発生につながる要因を可能な限り抑制する。具体的には、断熱温度上昇量、自己収縮ひずみ及び乾燥収縮ひずみの抑制である。水和熱、自己収縮及び乾燥収縮を可能な限り抑制する配合とする。

④力学的安定性

廃棄体と充填材の一体化の観点から必要な力学的安定性を確保する。必要な圧縮強度である 10N/mm^2 を確保する配合とする。

⑤凝結遅延抑制

作業上の工程の関係から凝結時間を抑制する。作業工程を考慮し、48時間以内に終結する配合とする。

第4表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(安全機能)

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
①充填性	スランプフロー	65cm以上	スランプフロー試験により目標性能を満足すること
	ブリーディング	極力生じないこと	試験結果でブリーディングが極力生じていないこと
②遮蔽性	密度	1.6t/m ³ 以上	密度試験により目標性能を満足すること
③ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	低発熱の結合材を用い、温度上昇量を可能な限り抑えること	①②④⑤の性能を満たし、温度上昇量が抑制されていること
	自己収縮ひずみ	収縮量が低減できる結合材を用い、収縮量を可能な限り抑制できること	①②④⑤の性能を満たし、収縮ひずみ量が抑制されていること
	乾燥収縮ひずみ		
④力学的安定性	圧縮強度	10N/mm ² 以上	圧縮強度試験により目標性能を満足すること

第5表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(その他)

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
⑤凝結遅延抑制	凝結時間	終結が48時間以内	凝結試験により目標性能を満足すること

配合例を第6表及び第7表に示す。目標性能を満足するよう、膨張材、混和材及び混和剤を含めた配合設計を行っている。目標性能に対応する試験を実施し、性能が満足していることを確認している。したがって、セメント系充填材の配合は安全機能上の要求性能を満足するものである。

セメント系充填材の有する性能及びその配合の選定経緯については、参考資料3

「セメント系充填材の性能について」及び参考資料4「セメント系充填材の配合選定経緯について」に詳細を示す。

第6表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例①

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)							
	水 W	結合材 B		細骨材 S		水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
		中庸熱 ポルトラン ドセメント	高炉 スラグ 微粉末	砕砂	陸砂			
67.1	283	422		1,466		1.5	0.844	6.33
		42	380	440	1026			

第7表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例②

W/B (%)	単位量 (kg/m ³)							
	水 W	結合材 B			細骨材 S		水中 不分離性 混和剤	高性能 AE 減水剤
		中庸熱 ポルトラン ドセメント	高炉 スラグ 微粉末	膨張材	砕砂	陸砂		
55.0	252	458			1,454		1.1	4.58
		131	307	20	872	582		

8. 内部防水

(1) 内部防水の要求性能

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

内部防水としては、以下の2つの観点で設計する。

(i) 外周仕切設備側壁部及び覆い部

ポーラスコンクリート層から廃棄体方向に浸入する水の流れを防止する。

(ii) 外周仕切設備底版部及び側壁部の立ち上げ部

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

(2) 内部防水の配置

外周仕切設備側壁部及び覆い部における内部防水は、セメント系充填材上部及び

側部とポーラスコンクリート層の間に行う。また、外周仕切設備の内側で外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に内部防水を行う。（第9図及び第10図）。

【内部防水の配置場所設定理由】

- ・外周仕切設備側壁部及び覆い部からの浸入水に対する内部防水は、上部ポーラスコンクリート層及び側部ポーラスコンクリート層の内側に配置する。その目的は、浸入水が廃棄体と接触し難くすること及び浸入水をポーラスコンクリート層を介して下部へ排水するためである。
- ・外周仕切設備底版部からの浸入水に対する内部防水は、下部ポーラスコンクリート層外側の底版側に行う。その目的は、外周仕切設備底版部において地下水を浸入し難くすること及びポーラスコンクリート層を介して排水される浸入水が外部に漏出し難くすることであり、外周仕切設備側壁の下部内側の一部の立ち上げた箇所にも内部防水を行う。

(3) 内部防水の工法選定

(i) 主な要求

内部防水の目的は、コンクリート材料の水の移動を抑制する性能を向上させることである。

水の移動を抑制する性能を向上するには、防水材そのものの遮水性と、遮水性を維持するために、防水材の施工面となる底版及び側壁(底部)、ポーラスコンクリート層(側部)並びにセメント系充填材(上部)について、防水材施工後のコンクリート材料のひび割れの発生及び進展を想定し、ひび割れ追従性が必要となる。

防水材に要求される遮水性及びひび割れ追従性の性能については、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾に記載されている。

「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾は、コンクリート構造物の耐久性の向上及び劣化因子の侵入を防止・抑制することを目的とした設計及び施工に関する一般的な標準である。「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾では、表面保護工法を表面処理工法(表面被覆工法及び表面含浸工法)と断面修復工法に分類しているが、本施設の内部防水は新設の構造物に施工するものであるため、表面処理工

法に該当する(第 11 図参照)。

本施設における内部防水は、遮水性及びひび割れ追従性を要求性能としてい
ることから、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾の遮水性及びひび割れ追従
性に関する記載を参照して表面処理工法の中から工法を選定し、設計を行う。

以上より、内部防水は、「表面保護工法 設計施工指針(案)」⁽²⁾を参照し、
JSCE-K523-1999(表面被覆材の透水量試験方法)で透水量 0.2g 以下又は同等の遮
水性及び JSCE-K532-1999(表面被覆材のひび割れ追従性試験方法)で 0.15mm 以上
又は同等のひび割れ追従性が確認できる材料を使用する。

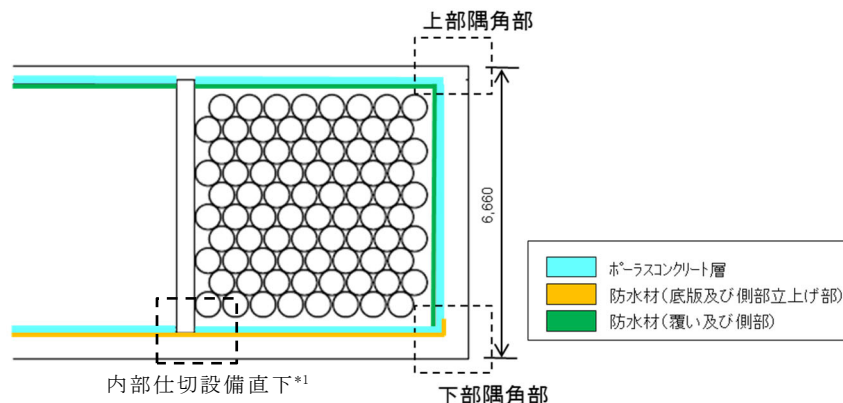
(ii) その他の考慮事項

内部防水の材料選定に当たっては、以下の事項を考慮する。

- ・施工基面に対して施工できるような付着性を有すること
- ・廃棄体の自重やセメント系充填材の打設時の液圧等の圧力作用条件下にお
いても、遮水性を有する材料仕様であること
- ・埋設設備の構造安定性に影響を与えない材料仕様であること

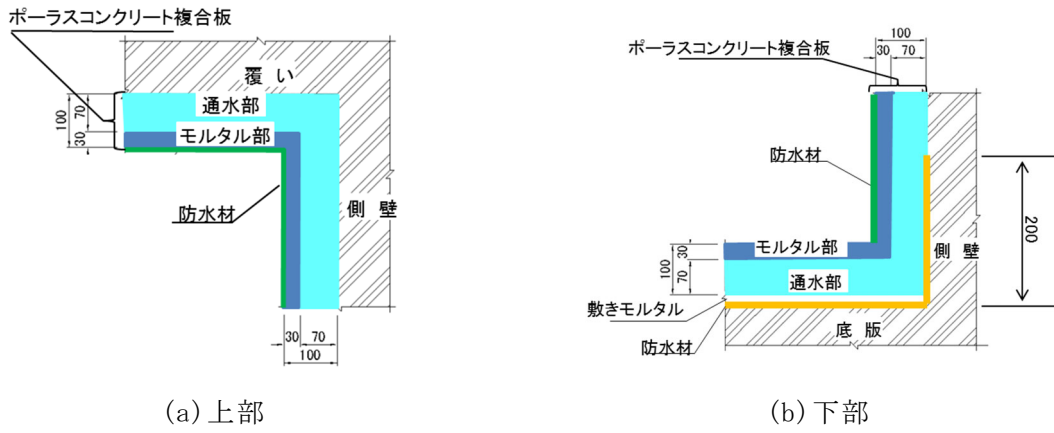
上記(i)(ii)を考慮して、内部防水は、遮水性及びひび割れ追従性の要求性能を
満足し、かつ、その他の考慮事項にも対応できる工法を選定し、現段階では、表面
処理工法のうち、表面被覆工法で有機系の塗装工法を候補とする。

なお、今後施工段階で、有機系の塗装工法以外の表面処理工法でも、上記と同様
の性能を発揮する良い工法があれば採用を検討する。

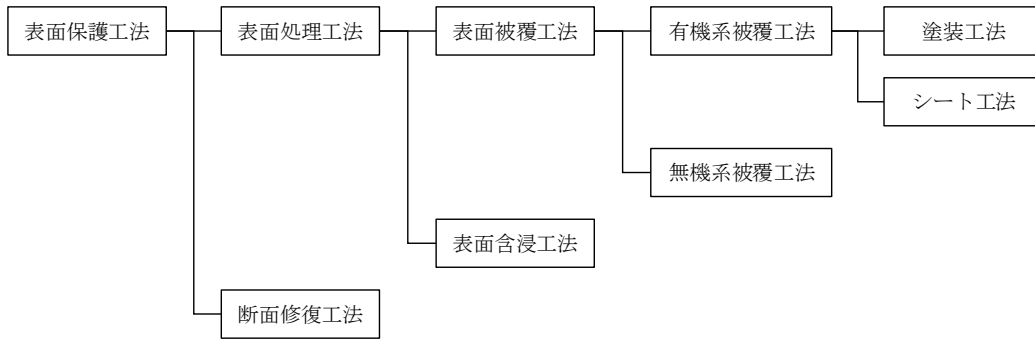


*1：内部仕切設備直下の内部防水は、選定された防水材・工法に応じて施工範囲を決定する。

第 9 図 3 号埋設設備東西断面図(単位：mm)



第 10 図 隅角部図(単位 : mm)



第 11 図 表面保護工法の種類⁽³⁾

9. 漏出防止機能に関する設計方針の変遷

1号及び2号埋設設備の既許可時の漏出防止機能に関する安全設計方針は、「放射性物質が埋設設備の外へ漏出することを防止する。」としており、その具体的な設計方針は以下のとおりとしていた。

閉じ込めの機能に関する安全設計方針

(1号許可(平成2年11月15日)、2号許可(平成10年10月8日))

廃棄物埋設地

廃棄物埋設地においては、以下に示す設計を行うことにより、第1段階において放射性物質が埋設設備の外へ漏出することを防止するものとする。

埋設設備は、鉄筋コンクリート造とし、十分な地耐力を有する地盤に設置する。埋設設備を構成する外周仕切設備、内部仕切設備及び覆いは、地震力、自重、土圧等の荷重に対し、十分な構造上の安定性を有するよう、許容応力度法により設計する。

なお、使用するコンクリートは「土木学会 コンクリート標準示方書」に準拠して設計、施工を行う。

また、埋設設備は、廃棄体定置後、セメント系充てん材により区画内を充てんする。

廃棄物埋設地に設置する排水・監視設備により、仮に埋設設備の外周仕切設備及び覆いから地下水が浸入した場合でも、その水が廃棄体に達することなく排水ができるよう考慮した設計とする。

既往の設計に基づく、埋設設備からの排水実績等については、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」に示す。

これに対し、本資料では漏出防止機能に関する設計方針について、以下のとおりとしている。

漏出防止機能に関する安全設計方針

(i) 漏出防止機能

b. 安全設計

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

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) 作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号廃棄物埋施設)及び点検管(3号廃棄物埋施設)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。

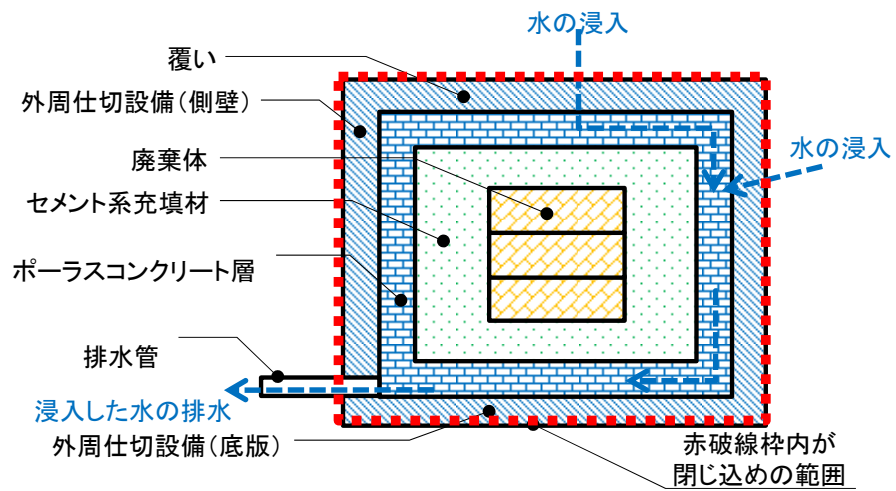
(三) 液体廃棄物を内蔵する機器等は、漏えいし難い構造とするとともに、万一の漏えいに備え、外部への漏出拡大防止を考慮した設計とする。

(1) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(施工編)

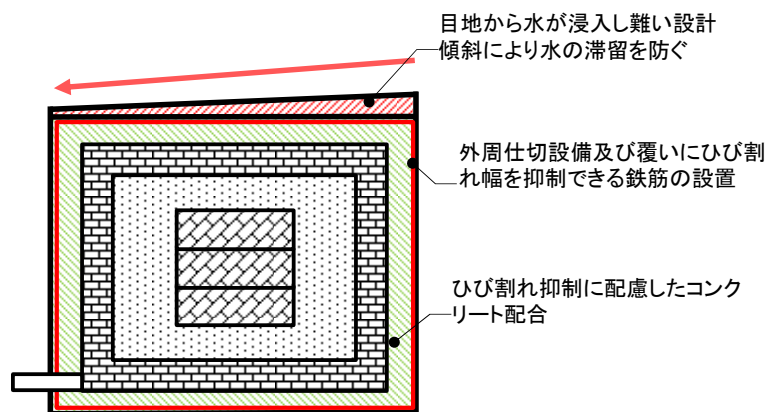
(2) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)

本設計方針では、第12図に示すように、外周仕切設備及び覆いの内側から放射性物質を漏出させないことは、1号の当初から変わっていないが、各部位の機能や、廃棄体周囲が水で満たされた状態にならないようにする方針など、より具体的に記載している。

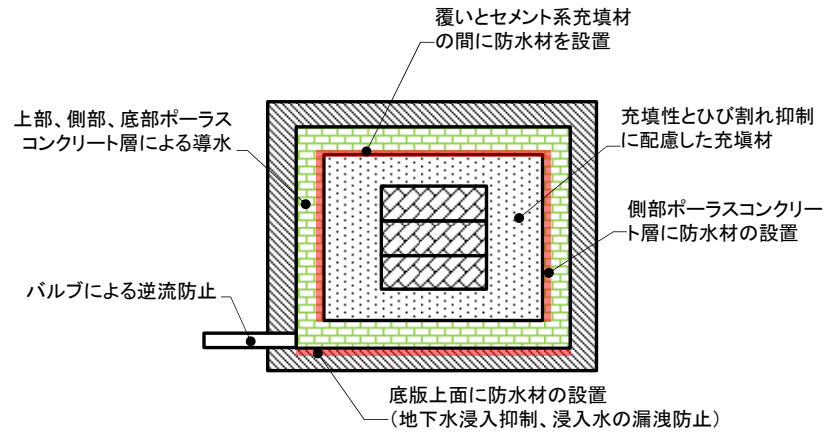
また、水の浸入を抑制するための防水対策を第13図及び第14図に示す。



第 12 図 漏出防止機能の概念図



第 13 図 外部からの水を浸入し難くさせるための防水対策のイメージ図



第 14 図 不飽和をできるだけ維持する対策のイメージ図

参考文献

- (1) (公社)土木学会：コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017 年度制定、4 編
4.4 設計限界値の目安
- (2) (社)土木学会(平成 17 年)：コンクリートライブラリー119 表面保護工法 設計
施工指針(案)

1 号及び 2 号排水・監視設備からの排水実績
と漏出防止機能の健全性について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 排水監視について.....	1
(1) 排水監視の方法について.....	1
(2) 排水監視開始時期等.....	2
3. 排水の状況について.....	4
(1) 1号排水・監視設備の排水実績.....	4
(2) 2号排水・監視設備の排水実績.....	6
4. 代表的な埋設設備の排水に伴う対策と浸入経路について.....	7
(1) 1号4-C埋設設備の対策について.....	7
(2) 1号4-C埋設設備のまとめ.....	19
5. 排水実績に基づく埋設設備の漏出防止性能について.....	19
(1) 漏出防止設計の考え方.....	19
(2) 漏出防止評価.....	20
(3) 埋設設備に浸入する水と漏出防止設計の関係.....	21
(4) 外周仕切設備及び覆いのひび割れに対する管理.....	21

別紙1 排水・監視設備の監視強化について

別紙2 年間想定排水量の考え方

別紙3 排水・監視設備構造

別紙4 排水実績一覧表(1993年度～2018年度)

別紙5 主な保修工法の概要

別紙6 既設備の損傷状況と改修履歴

別紙7 外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について

1. はじめに

排水・監視設備による排水の監視は 1993 年 5 月から開始しており、排水された水から放射性物質が検出されたことはなく、漏出防止機能は健全に維持されている。

本資料では以下のとおり、今までの排水状況及び漏出防止性能に与える影響について整理した。

- ・埋設設備は覆土完了までの間、外周仕切設備及び覆いの水密性により埋設設備内への水の浸入を抑制しており、埋設設備内に浸入した水は、廃棄体に接触する前に排水・監視設備により埋設設備外に排出して回収できる構造としており、回収した水の放射性物質濃度の測定を行っている。
- ・外周仕切設備及び覆いと廃棄体の間は、廃棄体及び廃棄体支持架台間の狭隙部を充填できるような流動性を持つセメント系充填材で充填する。このセメント系充填材は温度応力によるひび割れ抑制に配慮したモルタル(中庸熱ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%)を使用しており、排水・監視設備に浸入した水が廃棄体内部に浸入することは考え難い。
- ・これまで 1 号及び 2 号排水・監視設備からの排水を確認しているが、排水中に放射性物質は検出されておらず、埋設設備に浸入した水は廃棄体に接触する前に排水・監視設備を通して排水されていることから、漏出防止機能は有効に機能している。
- ・保安規定に基づき、排水・監視設備からの排水を監視し、必要に応じた保修を適切に行っている。

2. 排水監視について

(1) 排水監視の方法について

(i) 監視方法

排水・監視設備の排水管出口部に取り付けた 20L の容器により、埋設設備からの排水を回収する。

(ii) 監視頻度

週 1 回排水状況を確認する。

(iii) 記録事項

「確認年月日」、「埋設設備番号」、「排水の有無」、「排水量」等を記録す

る。

(iv) 監視強化

20L/(排水管・週)*¹を超える排水があった場合又は20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視・採取頻度の増加及び排水管バルブの開閉操作による監視強化を行う。

(別紙1「排水・監視設備の監視強化について」参照)

(v) 調査・補修

監視強化した埋設設備に対しては、調査を行い、原因を特定した場合は必要に応じて保修を行う。

*1：20L/(排水管・週)の根拠

1,2号事業変更許可申請時の排水・監視設備からの年間排水量想定(1号：30m³/年、2号：30m³/年)より設定している。(別紙2「年間想定排水量の考え方」参照)

1号：(30m³/年÷40基)÷52週/年≒14.4L/週 →7.2L/排水管・週

2号：(30m³/年÷16基)÷52週/年≒36.0L/週 →18L/排水管・週

(2) 排水監視開始時期等

これまでの各廃棄物埋設施設の排水監視開始時期、定置期間及び覆いコンクリート打設完了日を第1表及び第2表に整理した。

第1表 1号廃棄物埋設施設の排水監視開始時期等

埋設設備	排水監視 開始時期	定置期間		覆いコンクリート打 設、完了日	
		開始日	完了日		
1号	1-A	1993.5	1992.12.15	1993.3.23	1993.6.11
	1-B	1993.7	1993.3.24	1993.6.24	1993.8.26
	1-C	1993.10	1993.7.6	1993.10.19	1993.11.10
	1-D	1994.7	1993.10.20	1994.1.19	1994.7.26
	1-E	1994.8	1994.1.21	1994.4.4	1994.8.26
	2-A	1994.8	1994.4.8	1994.6.28	1994.9.2
	2-B	1994.11	1994.6.30	1994.10.19	1994.11.25
	2-C	1995.5	1994.10.21	1994.12.21	1995.5.19
	2-D	1995.8	1994.12.22	1995.3.16	1995.8.22
	2-E	1995.8	1995.3.22	1995.6.12	1995.8.29
	3-A	1995.11	1995.6.26	1995.10.15	1995.11.21
	3-B	1996.4	1995.10.12	1995.12.12	1996.4.23
	3-C	1996.8	1995.12.20	1996.3.12	1996.8.23
	3-D	1996.8	1996.3.14	1996.6.18	1996.8.30
	3-E	1996.11	1996.6.25	1996.8.9	1996.11.22
	4-A	1997.5	1996.10.22	1997.1.21	1997.5.23
	4-B	1997.9	1997.1.22	1997.4.8	1997.9.12
	4-C	1997.11	1997.4.10	1997.6.26	1997.11.18
	4-D	1998.6	1997.7.2	1998.3.20	1998.7.3
	4-E	1998.8	1998.5.12	1998.7.31	1998.8.28
	5-A	1998.4	1997.9.25	1998.1.21	1998.4.24
	5-B	1998.11	1998.1.23	1998.8.4	1998.11.10
	5-C	1999.6	1998.8.5	1999.3.18	1999.6.8
	5-D	2004.7	1999.3.19	2004.3.15	2004.7.29
	5-E	2007.9	2002.3.18	2013.2.26	2013.7.22
6-A	1999.6	1999.1.26	1999.4.20	1999.6.25	
6-B	1999.10	1999.6.16	1999.10.7	1999.11.1	
6-C	2007.4	1999.10.13	2009.3.9	2011.10.27	
6-D	2010.2	2010.2.24	定置中	—	
6-E	2018.11	2018.10.30	定置中	—	

(埋設設備の設置位置は別紙3「排水・監視設備構造」を参照)

第2表 2号廃棄物埋設施設の排水監視開始時期等

埋設設備	排水監視 開始時期	定置期間		覆いコンクリート打 設、完了日	
		開始日	完了日		
2号	1-A	2003.11	2000.10.25	2003.2.25	2003.11.27
	1-B	2004.9	2003.2.27	2004.3.22	2004.9.24
	2-A	2005.9	2004.4.20	2005.4.11	2005.9.23
	2-B	2006.11	2005.4.13	2006.10.2	2006.11.20
	3-A	2008.1	2006.12.5	2008.12.4	2010.5.24
	3-B	2009.2	2009.2.25	2010.6.25	2010.9.21
	4-A	2010.10	2010.9.27	2011.10.12	2012.5.23
	4-B	2011.10	2011.10.14	2013.2.22	2013.10.9
	5-A	2013.3	2013.3.13	2014.6.20	2014.10.9
	5-B	2014.6	2014.6.25	2015.9.16	2016.5.20
	6-A	2015.10	2015.10.9	2016.9.29	2018.7.9
	6-B	2016.11	2016.11.8	定置中	—

(埋設設備の設置位置は別紙3「排水・監視設備構造」を参照)

3. 排水の状況について

排水量について四半期ごとに整理した(別紙4「排水実績一覧表(1993年度～2018年度)」参照)。

いくつかの埋設設備において、覆いや側壁のひび割れが要因と考えられる排水が認められたことから、調査及びそれに基づく保守を行うことで排水の低減を行ってきた(別紙5「主な保守工法の概要」参照)。後に構築した埋設設備については、都度対策を行うことで改善を進めてきた(別紙6「既設備の損傷状況と改修履歴」参照)。現在までの排水中に放射性物質は検出されていない。

現在までの状況は以下に示すとおりである。(以下の○数字は、別紙4と対応)

(1) 1号排水・監視設備の排水実績

①1,2群では、定置完了直後に排水が発生している。これは、覆いコンクリート打設に伴う排水が主な要因であったことから、その後は排水量を削減できる施工方法に変更した。

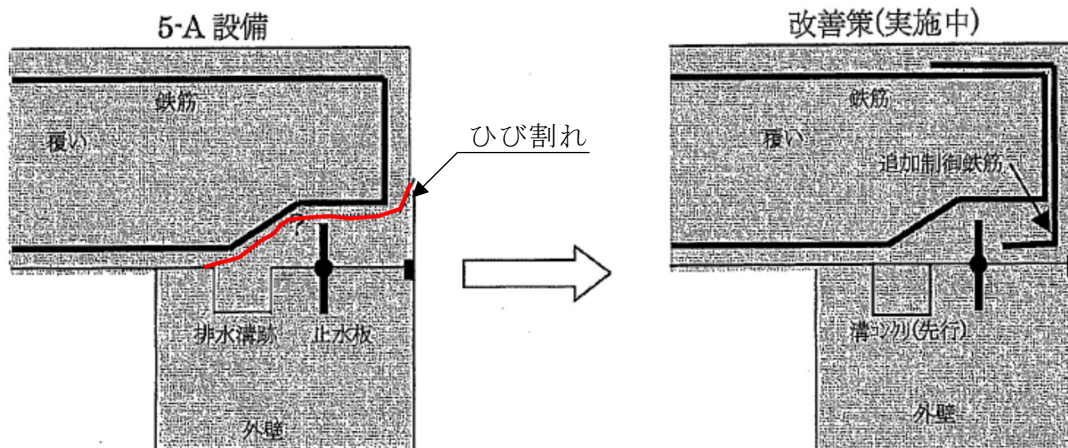
②1,2群では、側壁と覆いにひび割れがあり、それが要因と考えられる排水があった。1994年度～1995年度にかけて表面被覆及びひび割れ注入工法による保

修を実施した結果、保修直後に排水の発生が収束した。

- ③ひび割れ発生の抑制のため、3群以降に対しては、ひび割れ制御鉄筋を覆い及び側壁に設置した。その結果、3群以降の初期の排水量は低減された。
- ④表面被覆及びひび割れ注入工法による保修については、1996年度～1999年度にかけて3,4群についても実施した結果、これらの保修直後に排水の発生が収束した。
- ⑤2001年度の台風時に5-A埋設設備の覆い側部のひび割れを浸入経路として排水が認められた。保修を実施したところ効果が見られた。5-A埋設設備の覆い側部のひび割れ発生原因としては、覆いと側壁は突起部(噛み合わせ部)が設けられており、覆いが温度降下により収縮した際に突起部に応力集中が生じひび割れが発生したと推定された(写真1)。5-C以降の覆い施工には追加制御鉄筋を入れた(第1図)。1群から4群の表面被覆完了以後の2000年度以降にいくつかの埋設設備で同様の覆い側部からと考えられる継続的な排水が確認された。



写真1 覆い側部のひび割れ状況

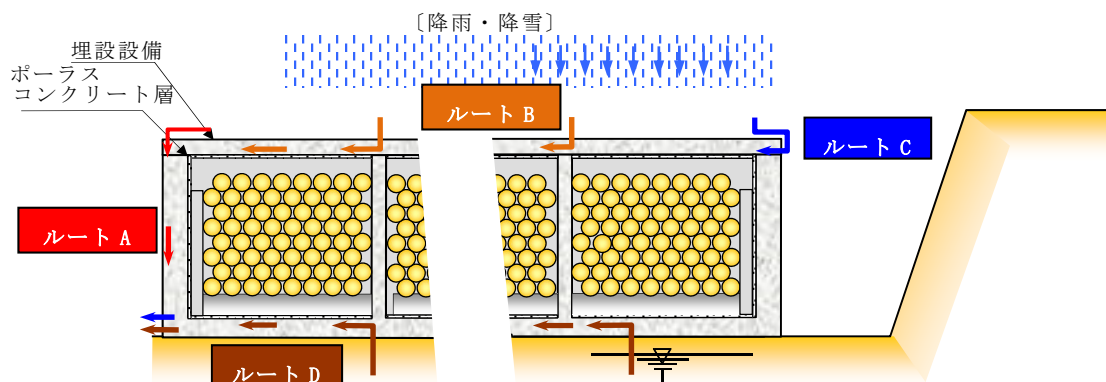


第1図 追加制御鉄筋による止水対策

- ⑥2007年度～2008年度にかけて覆いに表面止水工法による保守を実施した結果、排水量は低減された。
 - ⑦2010年度以降も排水量の増加が見られる箇所において、表面止水工法による保守を行った結果、排水量は低減された。
 - ⑧至近の数年においても、若干量の排水が確認しており、一時的に監視強化を行った箇所はあるものの、2018年度末現在では監視強化対象の箇所はない。
- (2) 2号排水・監視設備の排水実績
- ⑨1-Aで継続的な排水が確認されるが、監視強化を継続するほどの排水とはなっていない。
 - ⑩1群から4群においては、大きな排水は継続していないが、排水増加の要因と考えられるひび割れが確認されたことから、2006年度～2007年度にかけて表面止水工法による保守を実施した。
 - ⑪5群以降においては、ひび割れ発生抑制のさらなる向上として、配合をフライアッシュセメントに変更するとともに、底版側部にもひび割れ制御鉄筋を設置した。その他の埋設設備についても若干量の排水が確認されるが継続的なものではなく、2018年度末現在では監視強化対象の箇所はない。

4. 代表的な埋設設備の排水に伴う対策と浸入経路について

排水の浸入経路として考えられるルートを第2図に示す。



ルート A：覆い及び側壁からの浸入

ルート B：覆い天端の目地からの浸入

ルート C：覆い側部からの浸入

ルート D：底版からの浸入

(別紙7「外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について」参照)

第2図 排水の浸入経路

1号及び2号埋設設備においては、埋設設備の排水実績を踏まえて次埋設設備では、配合及びひび割れ制御対策の工夫をしてきている。

また点検結果に基づき、保守を行うことで、排水量が低減されている。しかし中には、保守を行っても排水が継続している埋設設備がいくつかある。

この代表的な例として、1号4-C埋設設備の状況を整理した。

(1) 1号4-C埋設設備の対策について

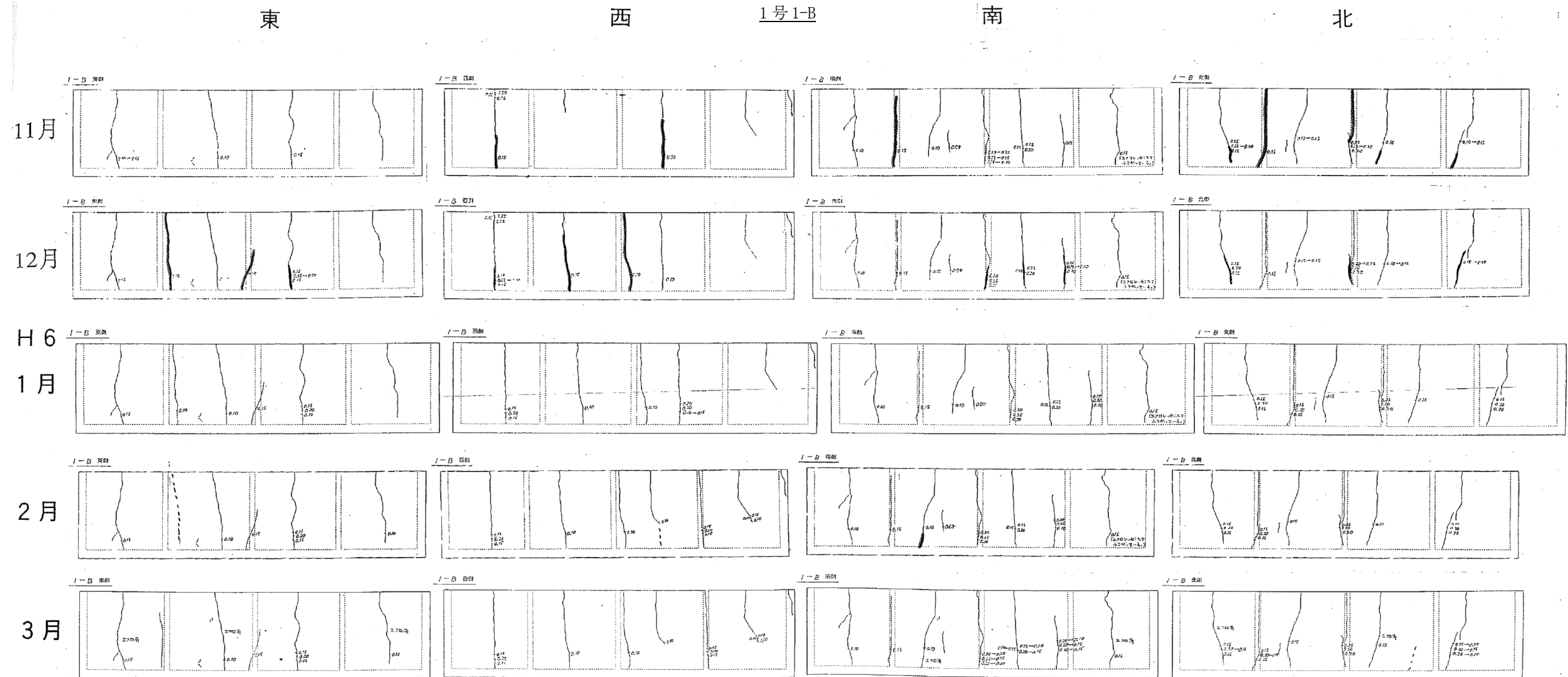
(i) 1号4-C構築前までの経緯(1995年以前)

1992年度頃の初期の1号埋設設備1,2群において側壁にひび割れが発生し、充填後にもひび割れ数が増加した。第3図にひび割れ調査結果の一例を示す。当時のひび割れ発生の原因推定結果は、「外部拘束による温度応力」、「乾燥収縮」であり、充填後には、これに、「モルタル充填に伴う温度応力」、「モルタル液

圧」、「モルタルの乾燥収縮」が加わると考察した⁽¹⁾⁽²⁾。

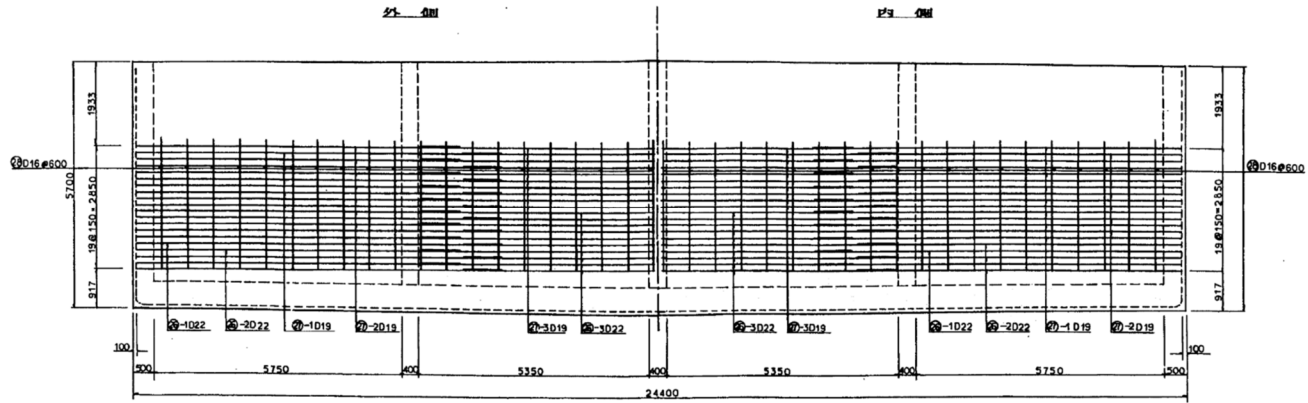
ひび割れ幅は0.2mm以下が大半で、外気温によりひび割れ幅は季節で増減していた。また、ひび割れ幅はセメント系充填材施工後に増加する傾向にあった。

1号3-A以降の埋設設備に関してはひび割れ対策として、覆い及び側壁に対してひび割れ制御鉄筋を配置した(第4図)。さらに、ひび割れ注入工法及び表面被覆工法による保修を実施した結果、排水量が低減された(写真2及び写真3)。

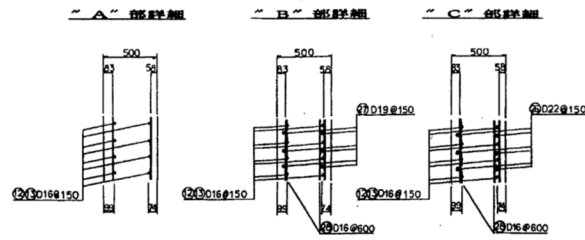
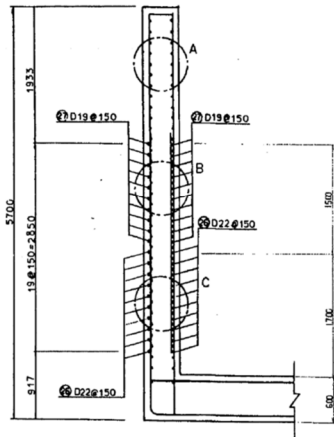


第3図 ひび割れ発生・進展状況図(1991年10月3日打設、1993年度観察状況)

ひびわれ制御鉄筋配置図 S=1/50



断面図
S=1:30



第4図 側壁ひび割れ制御鉄筋配置図

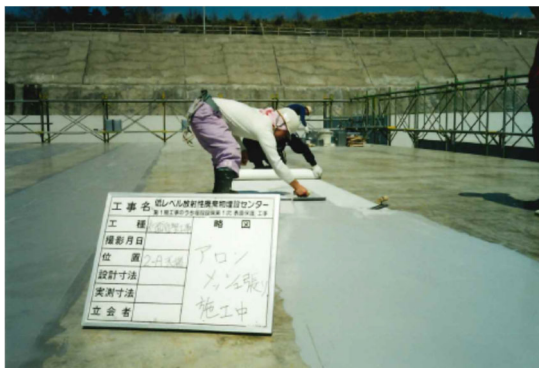


保修前



保修後

写真2 ひび割れ注入工(1号1-B 西面)



保修材張り



防水材吹付け



仕上げ材吹付け

写真3 表面被覆工(1号2-A)

(ii) 1号4-C埋設設備の対策

a. 覆いコンクリート打設直後の対策(1998年)

1号4-Cにおいては、1号3-A以降のひび割れ対策として実施した覆い及び側壁に対するひび割れ制御鉄筋を配置している(第4図)。また、覆いコンクリート打設後の1998年度に表面被覆を実施している(写真4)。この結果、初期の排水は止まった。



写真4 表面被覆状況(1号4-C)

b. 2001年度～2009年度の状況

2001年度から排水が再発しているが、原因は、1号5-A埋設設備で生じた覆い側部のひび割れからの浸入と同様と考えられる(第1図参照)。これまでに表面被覆工を実施しており、直接外観確認ができない場合もあったが、2007年度に覆い等を対象とした表面止水工法による保守を実施した。また、合わせて目地部の保守を実施した(写真5、写真6及び写真7)。この結果、排水量が大きく低減された。



保修前



保修後

写真5 表面止水工(1号4-C 覆い側部)



保修前



保修後

写真6 表面止水工(1号4-C 底版端部)



保修前



保修後

写真7 表面止水工(1号4-C 覆い目地部)

c. 2010 年度以降の状況 (2010 年度～現在)

2010 年度以降に再び排水が始まり、2013 年度に覆いの目地部及び側部の表面止水工法による保修(写真 8、写真 9 及び写真 10)も実施したが、現在も排水が続いている状態である。引き続き点検を継続しており、覆い側部のひび割れ箇所についても仮保修を実施している(写真 11 及び写真 12)。

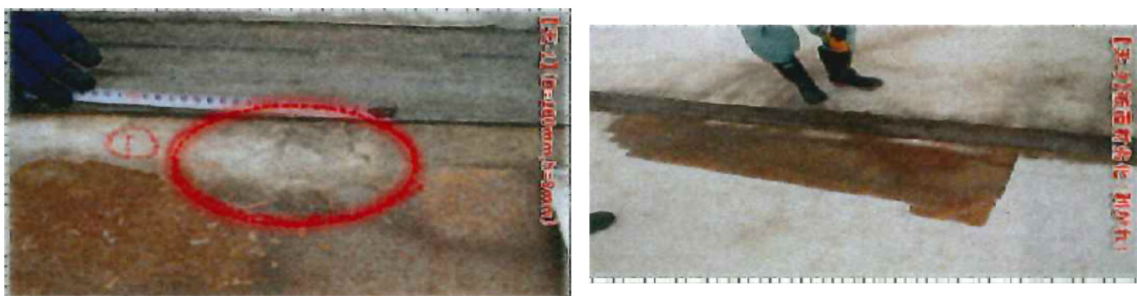


写真 8 表面止水工(1号 4-C 覆い目地部)

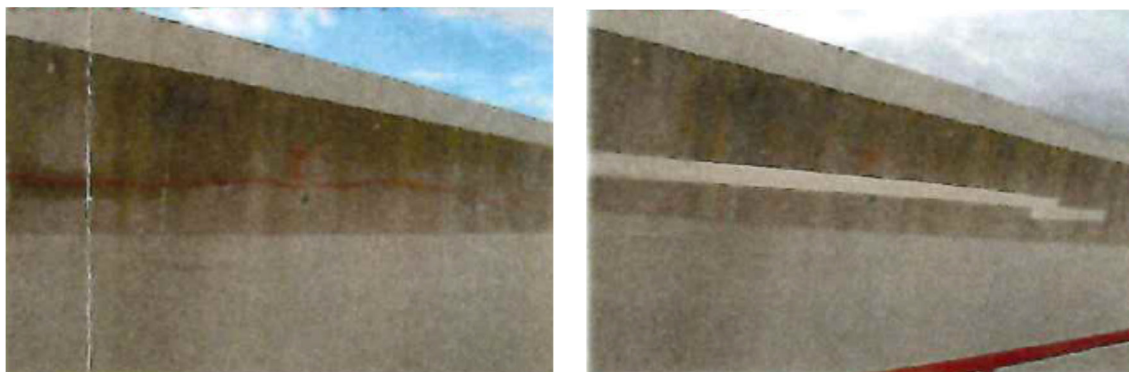


写真 9 表面止水工(1号 4-C 覆い側部)



写真 10 表面被覆の剥離(1号 4-C 覆い側部)



写真 11 調査対象箇所(1号 4-C)

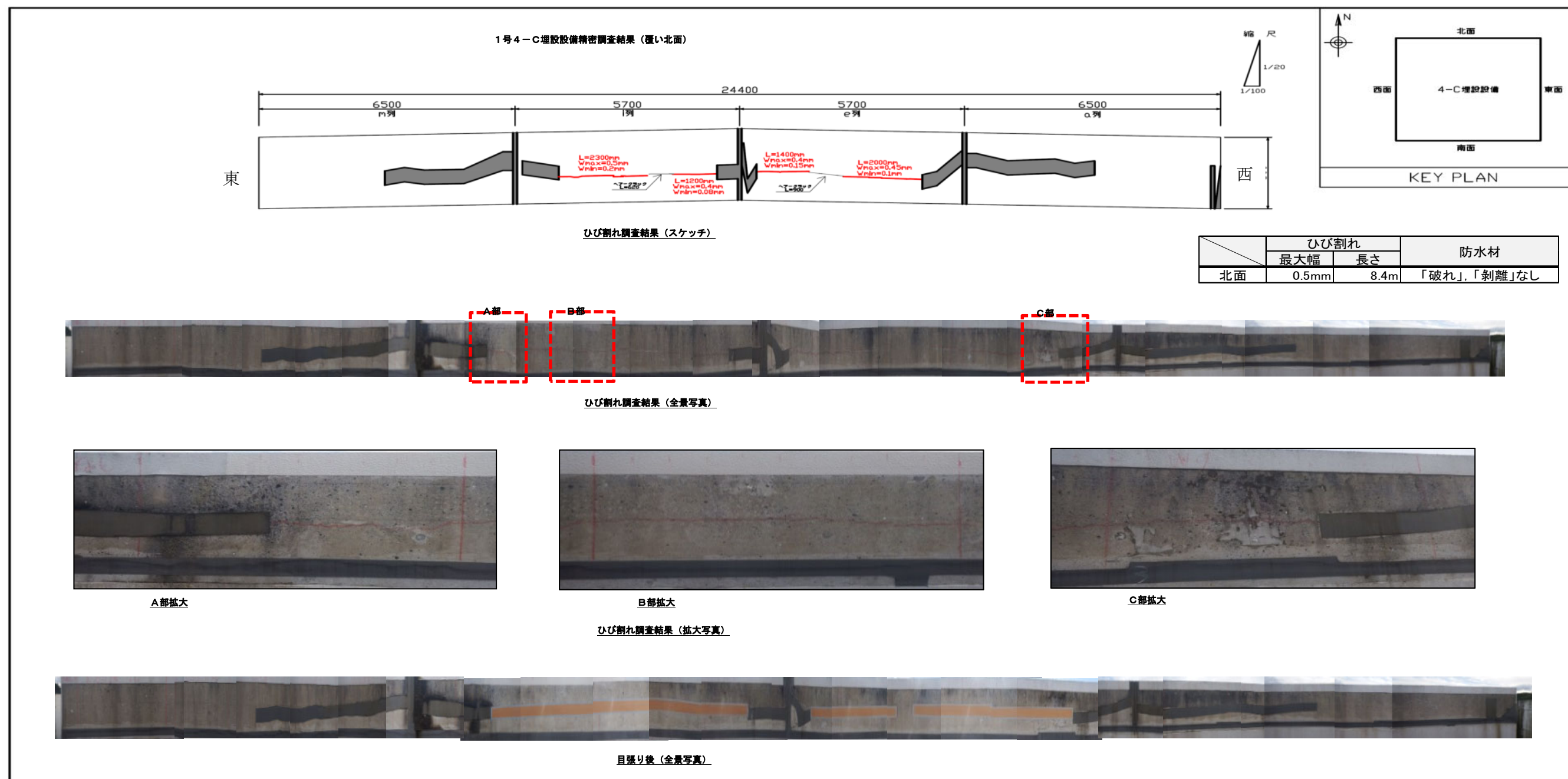


写真 12 調査結果(1号4-C 覆い側部)

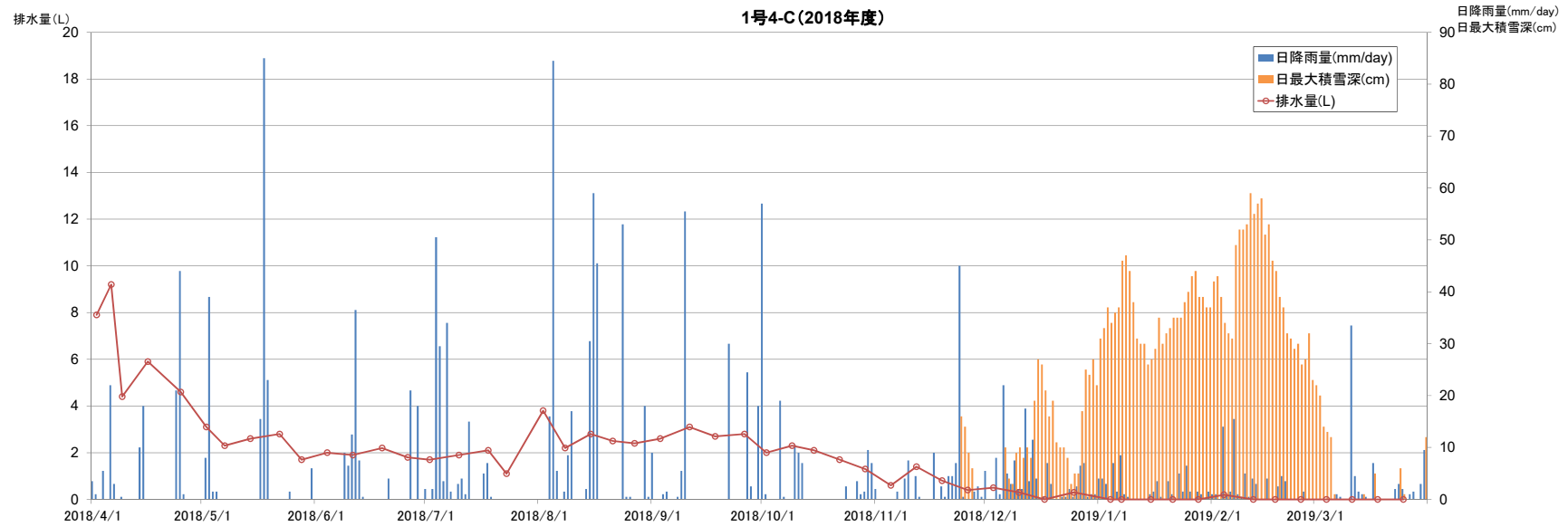
d. 1号4-Cの実績から推察される要因

排水の多くは、発生したひび割れを經由した降雨に起因するものと推定している。

2018年度の降雨量と排水量の関係(第5図)を見ると、全体として季節変動に伴う排水量の変化として以下の傾向が確認できる。

- ・4月は、雪解けによる排水量の増加が見られる。
- ・6月～9月を比較した場合、降雨量の多い時期(8月～9月：計約490mm)は、降雨量が少ない時期(6月～7月：計約275mm)に比べて排水量が増加する傾向にある。
- ・冬の時期は、積雪となることで、排水量が減少する。

なお、7月23日から8月2日にかけて、排水量の増加が見られるが、7月23日は5日間の排水量、8月2日は10日間の排水量となっていることが要因であり、水の浸入量については、目立った変化ではない。



第5図 排水量と降雨量及び積雪深さの関係(1号4-C 2018年度)

(2) 1号4-C埋設設備のまとめ

1号4-C埋設設備の排水状況について評価する。

ルートA：覆い及び側壁で発生したひび割れは、ひび割れ制御鉄筋を設置したことによりひび割れ発生を抑制し、排水を改善した。

ルートB：覆い天端の目地の劣化は、目地部を保修することで、排水を改善した。

ルートC：覆い側部で発生したひび割れは、ひび割れ部を表面止水工法による保修することで、排水を改善した。

ルートD：底版は状態を確認することはできず、ひび割れの発生やそれに伴う排水の可能性は否定できない。

5. 排水実績に基づく埋設設備の漏出防止性能について

(1) 漏出防止設計の考え方

(i) 漏出防止の期間は、覆土完了までとし、この期間、埋設設備は外周仕切設備及び覆いの水密性により埋設設備内への水の浸入を抑制し、埋設設備内に浸入した水は、廃棄体に接触する前に排水・監視設備により埋設設備外に排出して回収することで、漏出防止を達成する。

(ii) 漏出を防止する領域としては、外周仕切設備及び覆いの内側とする。

(iii) 放射性物質はドラム缶内に固型化されていることから、放射性物質が埋設設備の外に漏出するには、ドラム缶内に水が浸入する必要がある。放射性物質の漏出防止のため、ドラム缶内へ水が浸入し難くなるよう以下に配慮した設計とする。

a. 外周仕切設備及び覆いは水を透し難い設計とする。具体的には、地震力等外力を適切に考慮するとともに、水結合材比55%以下の水密性を確保し発熱量が小さいコンクリートを用いるなどの設計とする。

b. 外周仕切設備及び覆いから水が浸入した場合でも、その水が廃棄体に接触する前に外周仕切設備及び覆いの外に回収できるよう、外周仕切設備及び覆いの内側に透水性の高いポーラスコンクリート層からなる排水・監視設備を設け、ポーラスコンクリート層に接続した排水管により、外周仕切設備及び覆いの外に水を排出し、その放射性物質の濃度が確認できる構造とする。

c. ポーラスコンクリート層を流れる水が廃棄体の方へ浸入し難くさせるため、廃棄体の周りにはモルタル(セメント系充填材)を充填する。このモルタルは、廃

棄体間の狭隘部にも隙間なく充填されるような、ブリーディングの極めて少ない高流動のモルタルで、かつ温度応力ひび割れを起こし難くさせるため、低発熱となるようなモルタルとする(参考資料3「セメント系充填材の性能について」参照)。

(2) 漏出防止評価

- ・漏出防止期間中は、外周仕切設備及び覆いから浸入した水は排水・監視設備で排水し、ポーラスコンクリート中の水位が廃棄体の位置より低く保たれていれば、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となる。不飽和状態では、移流による核種の移行は起こらないが、トリチウムは不飽和中でも拡散で移行する可能性がある。
- ・現状の1号及び2号の排水量は1埋設設備当たり最大で $0.6\text{m}^3/\text{y}$ (過去最大で、 $11.8\text{m}^3/\text{y}$)であり、排水・監視設備の排水能力(保守的に少なめに想定した場合、1号： $105.0\text{m}^3/\text{y}$ 、2号： $159.5\text{m}^3/\text{y}$ *1参照)に比較して小さいことから廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態が維持されてきたと考えられる。
- ・仮に今後排水・監視設備の排水能力以上の水が浸入し、排水・監視設備が常時飽和し、廃棄体周囲のモルタル層も飽和状態となった場合を仮定したトリチウムの拡散評価を行った。廃棄体周囲のモルタル層は充填性が良く、亀裂も少ないこと、ドラム缶はアルカリ性のモルタルに囲まれ腐食は容易に進まないことから、排水・監視設備を流れる水がドラム缶内部に到達する割合は極めて少ないと考えられ、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度は、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」(平成30年6月8日原子力規制委員会告示第4号)で定められている周辺監視区域外の水中の濃度限度(以下「水中濃度限度」という。)と比べて十分に低い(参考資料2「排水中のトリチウム濃度を用いた漏出防止評価について」参照)。

*1：排水・監視設備の排水能力の算定方法

$$\text{排水能力 } Q = A \times k \times i$$

ここに、

A : ポーラスコンクリート層通水断面積

1号 : 高さ 0.05m、幅 22.2m、2号 : 高さ 0.05m、幅 33.71m

k : ポーラスコンクリート層の透水係数であり、品質管理基準の下限値である $3.0 \times 10^{-3} \text{m/s}$ に対し、接続部の影響を考慮し、排水能力が少なく見積もれるよう 1 オーダー保守的に $3.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ とする。

i : 動水勾配であり、1/200 とする。

(3) 埋設設備に浸入する水と漏出防止設計の関係

- ・ 外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備に浸入した水の量が、排水・監視設備の排水能力より小さければ、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となり、放射性物質は極めて移行し難くなり、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度は、水中濃度限度より十分小さくなる。現在の排水量は、排水・監視設備の排水能力以下であり、問題ない。
- ・ 覆土施工中から、外周仕切設備及び覆いの周囲の地下水が上昇し、外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備へ浸入する流量が増える可能性がある。この場合排水・監視設備の排水能力を超えると、廃棄体周囲のモルタル層は徐々に飽和状態となる。覆土施工開始から、漏出防止期間が終了するまでの期間は 10 年程度と短期であり、この間に廃棄体周囲のモルタル層は完全に飽和に至らない可能性がある。仮に飽和になれば、放射性物質は不飽和状態より移行しやすくなるが、排水・監視設備で排水している状態は、外周仕切設備及び覆いの外から、排水・監視設備の方向へ水が流れる状態であり、浸入した水は排水・監視設備から回収され、管理されることから、漏出防止としては問題ない状態である。

(4) 外周仕切設備及び覆いのひび割れに対する管理

- ・ 覆土施工前及び、覆土施工により埋設設備周囲の地下水面が上昇し外周仕切設備及び覆いの外から地下水が浸入する状態になるまでの間は、外周仕切設備（特に底版）にひび割れがあると、排水・監視設備から外周仕切設備の外の方へ向かう流れが生じる可能性があるため、廃棄体周囲のモルタル層が不飽和状態で放射性物質が移行し難くなる状態となるよう、排水・監視設備から排水され

る流量が排水・監視設備の排水能力を超えないよう、外周仕切設備及び覆いのひび割れの保修を行う。現状 20L/(排水管・週)を超える排水があった場合又は 20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視強化を行い、必要があれば保修を行うこととしている。

- ・排水・監視設備から実際に排水される水の量や放射性物質濃度を測定し、排水・監視設備の部分での計算上の放射性物質濃度の評価結果と比較することで、廃棄体周囲のモルタルの性能が想定通りになっているか推定することが可能である。現状排水・監視設備の排水は、移行しやすいトリチウムに対し水中濃度限度の 1/100 の精度で測定しているが、検出されたことはない。仮に今後、排水・監視設備で放射性物質が検出され、さらに、外周仕切設備及び覆いの外での放射性物質濃度が水中濃度限度より十分小さくならないと想定された場合は、埋設設備のひび割れ保修も含めた必要な対策をとることとしている。
- ・覆土施工後、設備周囲の地下水面の上昇で外周仕切設備及び覆いから排水・監視設備に浸入する流量が増加する可能性がある。流量が増加しても、外周仕切設備及び覆いの外から中に向かう流れなので漏出防止機能に問題はないが、廃棄体周囲のモルタルが飽和しない方が漏出防止性能が高いので、覆土施工前に表面のひび割れについて保修する。

参考文献

- (1) 戸栗ほか(2005)：放射性廃棄物埋設施設におけるひび割れ制御に関する設計と施工, 日本コンクリート工学協会論文集
- (2) 工藤ほか(2015)：浅地中処分施設における鉄筋コンクリート側壁のひび割れ制御の変遷, コンクリート工学, Vol. 53, No. 6

排水・監視設備の監視強化について

1. はじめに

本資料は、1号及び2号排水・監視設備における排水の監視における監視強化に関して説明するものである。

排水監視の実施に関して、「常時における監視頻度」、「監視強化を行う場合の条件」、「監視強化の解除の条件」、「排水管バルブの開閉運用」及び「排水中に有意とする濃度^{*1}以上の放射性物質が検出された場合の措置」について説明する。

2. 排水・監視設備における排水監視

当該埋設設備の廃棄体定置開始日から排水・監視設備における排水監視を開始する。

1基の埋設設備に対して、東西合計2つの排水管に各20Lの採取容器を設ける。排水を採取した場合は排水状況の記録を関係箇所に通知することとしている。

(1) 常時における監視頻度

排水監視開始後、毎週1回(原則として週の第一営業日)排水状況を確認する。ただし、目安値で排水量が0.1L未満の排水は採取しない。

(2) 監視強化

20L/(排水管・週)を超える排水があった場合又は20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合は、監視・採取頻度の増加(毎営業日)及び排水管バルブの開閉操作による監視強化に移行する。

20L/(排水管・週)を超える排水が予想される場合とは、排水状況が以下のいずれかに該当する場合である。

- ①1基当たり東西合計20L/週を超える排水があった場合
- ②1基当たり東西合計20L/週を超える排水が予想される場合
- ③1基の東西どちらかの採取容器に10L/週を超える排水があった場合
- ④1基の東西どちらかの採取容器に10L/週を超える排水が予想される場合

なお、監視強化中において、次回の排水監視までに排水量が1つの採取容器で20Lを超えないと判断した場合は排水を採取しない。

(3) 監視強化の解除

排水状況が以下であることが確認された場合に監視強化を解除する。

- ①排水が東西合計 20L/週を超えないこと
- ②排水が東西どちらかの採取容器で 10L/週を超えないこと

3. 排水管バルブの開閉について

排水管バルブは、排水管内に排水が滞留しないよう通常「開」状態としている。ただし、採取容器への排水量が次回の排水監視までに1つの採取容器で20Lを超える排水が予想される場合は排水管バルブを「閉」状態とし、そのおそれが無くなった時点で排水管バルブを「開」状態に戻すこととしている。

また、大雨が予想される場合には、排水管から埋設設備内部への水の逆流を防止するため、排水管バルブを「閉」状態として操作をすることとしている。

4. 排水中に有意とする濃度*1以上の放射性物質が検出された場合の措置

排水中に有意とする濃度以上の放射性物質が検出された場合には、放射線防護上の措置を講じた上で排水の監視を実施する。

*1 有意とする濃度

(単位：Bq/cm³)

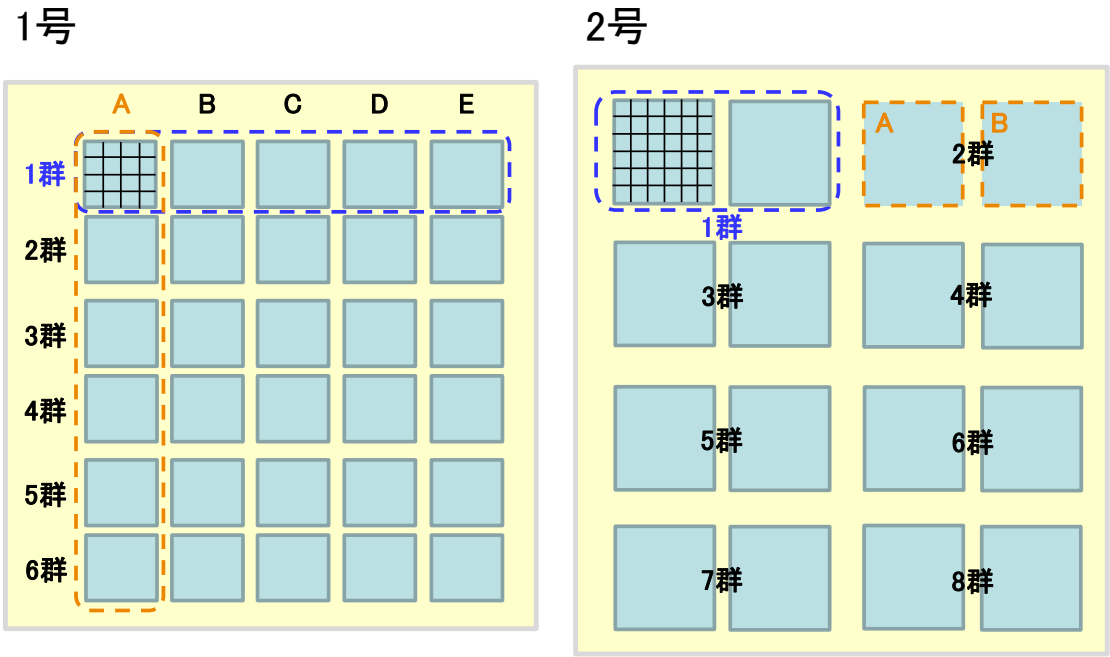
核種	排水・監視設備からの排水中の放射性物質濃度の評価
H-3	1×10^0
Co-60	検出限界値(目標検出限界値 1×10^{-3})
Cs-137	検出限界値(目標検出限界値 7×10^{-4})

年間想定排水量の考え方

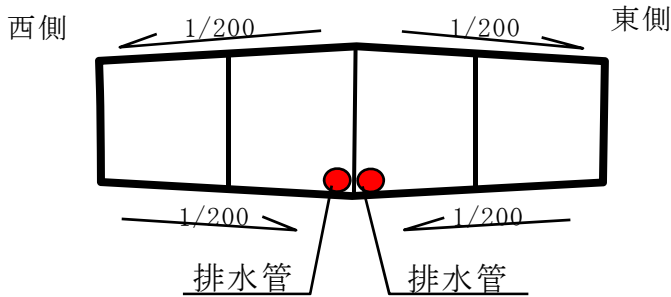
1,2号排出量20Lの考え方	3号現状の想定浸入水量の考え方																																																																																									
<p>動水勾配が最大となる覆土完了後での健全なコンクリート(外周仕切設備及び覆い)からの浸入を想定する。</p> <p style="text-align: center;">動水勾配設定図</p> <p style="text-align: center;">数字は1号での数字を示し、1,2号で異なる場合は()内に2号の数字を示す。</p> <p style="text-align: center;">$Q=K \cdot i \cdot S$</p> <p style="text-align: center;"> Q : 浸入水量 K : コンクリートの透水係数(=1.0×10⁻¹²m/s)と、 ベントナイト混合土の透水係数(=1.0×10⁻¹¹m/s)より 求まる等価透水係数 i : 動水勾配(=(外部の水頭-内部の水頭)/(浸入距離)) S : 面積 </p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>浸入箇所</th> <th>埋設設備</th> <th>外部の水頭(m)</th> <th>内部の水頭(m)</th> <th>浸入距離(m)</th> <th>面積(m²)</th> <th>浸入水量(m³/y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">覆い</td> <td>1号</td> <td>4.5</td> <td>0.0</td> <td>2.5</td> <td>24.4×24.4</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>2号</td> <td>9.5</td> <td>0.0</td> <td>2.5</td> <td>36×36.91</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">側壁</td> <td>1号</td> <td>7.05</td> <td>0.0</td> <td>2.5</td> <td>24.4×6.2×4</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>2号</td> <td>12.3</td> <td>0.0</td> <td>2.6</td> <td>(36+36.91)×6.9×2</td> <td>0.49</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">底板</td> <td>1号</td> <td>10.2</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>24.4×24.4</td> <td>0.32</td> </tr> <tr> <td>2号</td> <td>15.9</td> <td>0.0</td> <td>0.8</td> <td>36×36.91</td> <td>0.83</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">合計</td> <td colspan="5">1号</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td colspan="5">2号</td> <td>1.89</td> </tr> </tbody> </table> <p>上記計算結果より、想定される各埋設設備全体での浸入水量は以下の通り 1号: 0.74m³/y × 40ピット ≒ 30m³/y 2号: 1.89m³/y × 16ピット ≒ 30m³/y</p>	浸入箇所	埋設設備	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)	覆い	1号	4.5	0.0	2.5	24.4×24.4	0.16	2号	9.5	0.0	2.5	36×36.91	0.57	側壁	1号	7.05	0.0	2.5	24.4×6.2×4	0.26	2号	12.3	0.0	2.6	(36+36.91)×6.9×2	0.49	底板	1号	10.2	0.0	0.6	24.4×24.4	0.32	2号	15.9	0.0	0.8	36×36.91	0.83	合計	1号					0.74	2号					1.89	<p>動水勾配が最大となる覆土完了後での健全なコンクリート(外周仕切設備及び覆い)からの浸入を想定する。</p> <p style="text-align: center;">動水勾配設定図</p> <p style="text-align: center;">$Q=K \cdot i \cdot S$</p> <p style="text-align: center;"> Q : 浸入水量 K : コンクリートの透水係数(=1.0×10⁻¹²m/s) i : 動水勾配(=(外部の水頭-内部の水頭)/(浸入距離)) S : 面積 </p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>浸入箇所</th> <th>外部の水頭(m)</th> <th>内部の水頭(m)</th> <th>浸入距離(m)</th> <th>面積(m²)</th> <th>浸入水量(m³/y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>覆い</td> <td>18.3</td> <td>0.0</td> <td>0.3</td> <td>36.51×64.10</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>側壁</td> <td>21.33</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>(36.51+64.10)×6.66×2</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>底板</td> <td>24.66</td> <td>0.0</td> <td>0.6</td> <td>36.51×64.10</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td colspan="4"></td> <td>9.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>上記計算結果より、想定される浸入水量を保守的に10m³/y・ピットと設定すると、埋設設備全体での浸入水量は以下の通り 3号: 10.0m³/y × 8ピット = 80m³/y</p>	浸入箇所	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)	覆い	18.3	0.0	0.3	36.51×64.10	4.5	側壁	21.33	0.0	0.6	(36.51+64.10)×6.66×2	1.5	底板	24.66	0.0	0.6	36.51×64.10	3.0	合計					9.0
浸入箇所	埋設設備	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)																																																																																				
覆い	1号	4.5	0.0	2.5	24.4×24.4	0.16																																																																																				
	2号	9.5	0.0	2.5	36×36.91	0.57																																																																																				
側壁	1号	7.05	0.0	2.5	24.4×6.2×4	0.26																																																																																				
	2号	12.3	0.0	2.6	(36+36.91)×6.9×2	0.49																																																																																				
底板	1号	10.2	0.0	0.6	24.4×24.4	0.32																																																																																				
	2号	15.9	0.0	0.8	36×36.91	0.83																																																																																				
合計	1号					0.74																																																																																				
	2号					1.89																																																																																				
浸入箇所	外部の水頭(m)	内部の水頭(m)	浸入距離(m)	面積(m ²)	浸入水量(m ³ /y)																																																																																					
覆い	18.3	0.0	0.3	36.51×64.10	4.5																																																																																					
側壁	21.33	0.0	0.6	(36.51+64.10)×6.66×2	1.5																																																																																					
底板	24.66	0.0	0.6	36.51×64.10	3.0																																																																																					
合計					9.0																																																																																					

なお、本資料は1号及び2号事業変更許可申請時と、今回の3号申請時のポーラスコンクリート想定浸入水量の考え方について比較したものである。

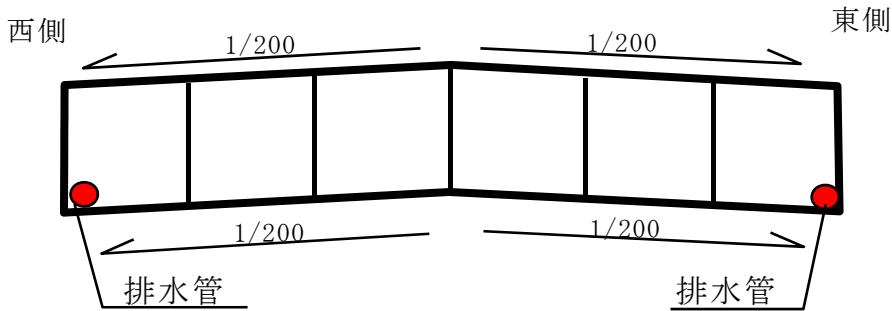
排水・監視設備構造



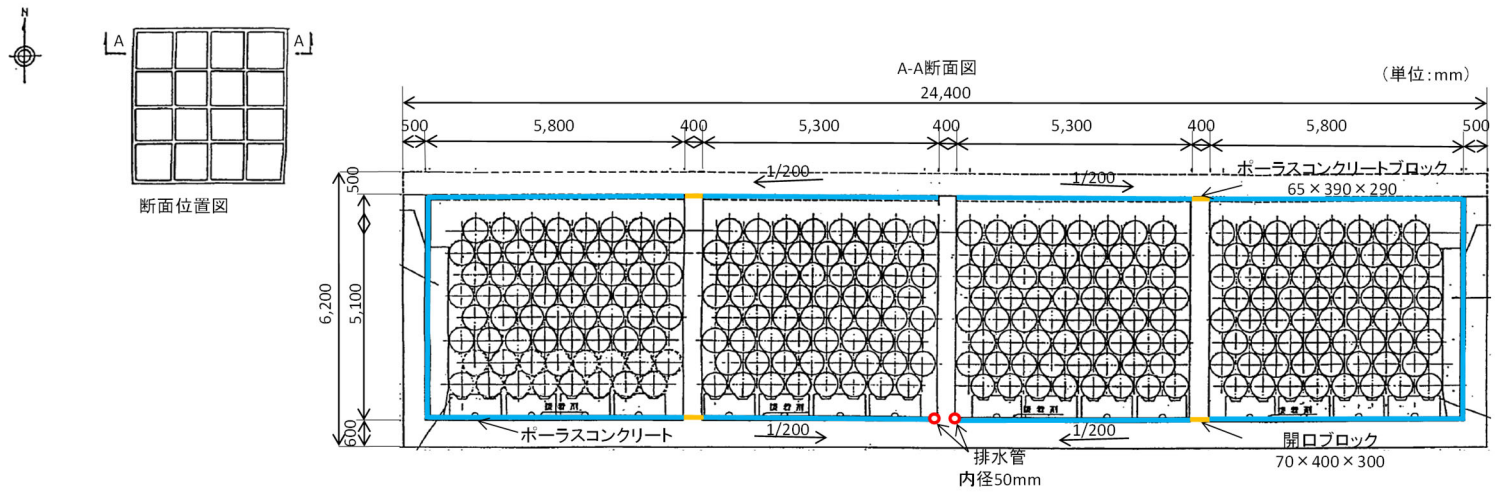
第 1 図 1 号及び 2 号埋設設備設置平面図



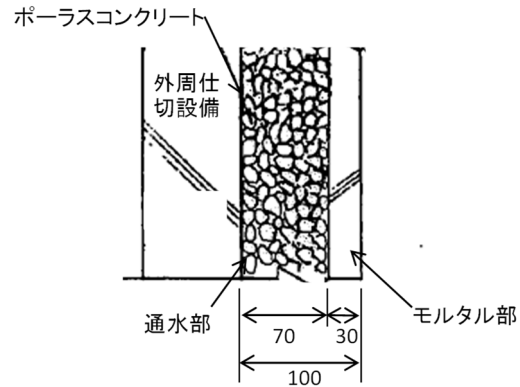
第 2 図 1 号集水構造断面図



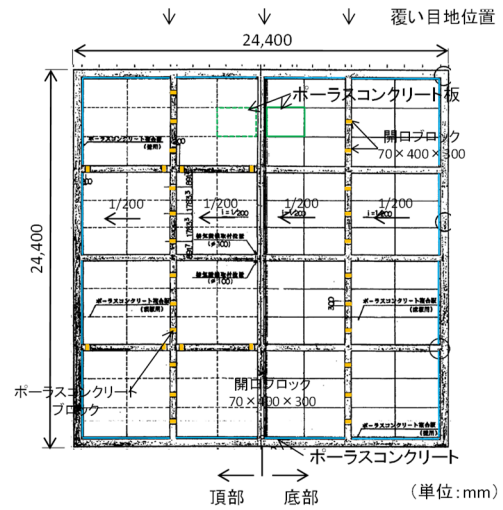
第 3 図 2 号集水構造断面図



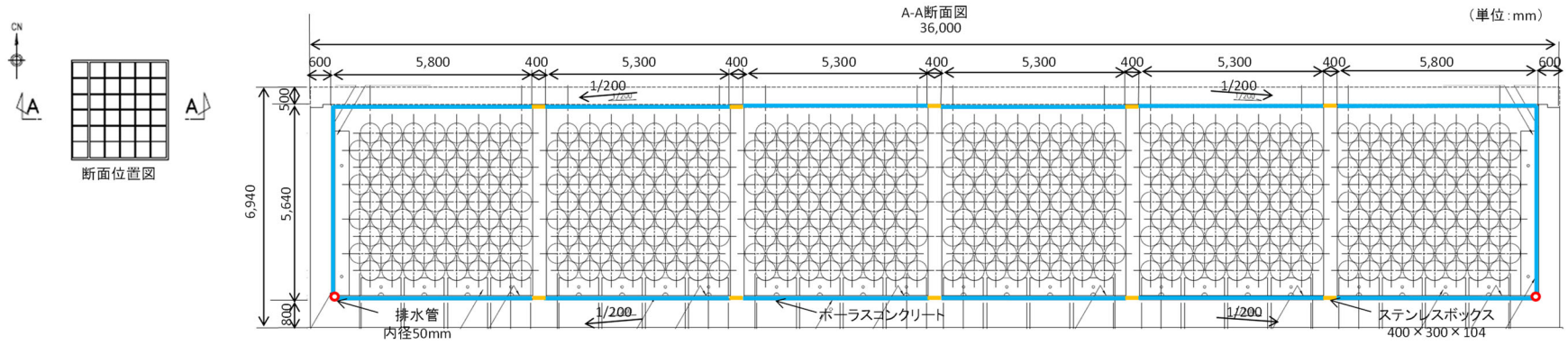
第4図 排水・監視設備配置断面図(1号)



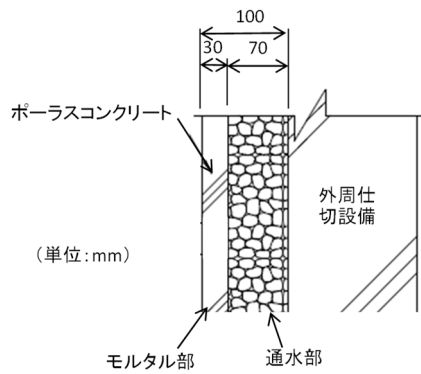
第5図 ポーラスコンクリート詳細図(1号)



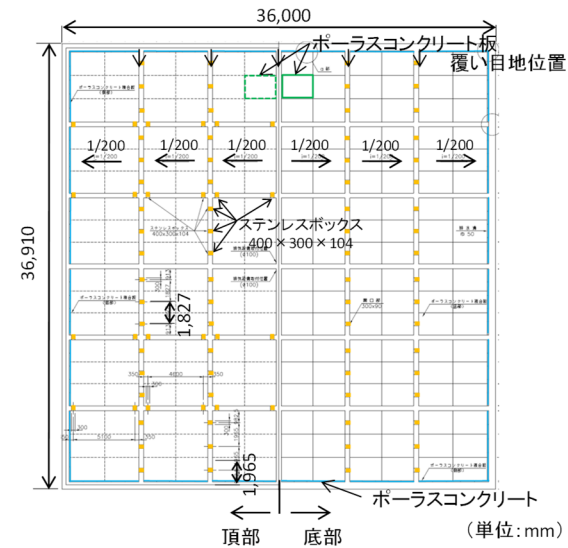
第6図 ポーラスコンクリート・開口ブロック、ポーラスコンクリートブロック平面配置図



第7図 排水・監視設備配置断面図 (2号)



第8図 ポラスコンクリート詳細図 (2号)



第9図 ポラスコンクリート・ステンレスボックス平面配置図

排水実績一覧表(1993年度～2018年度)(1/2)

別紙4

【凡例】 □: 四半期毎の排水量(赤色は240L以上 240L=20L/週×4週×3ヶ月) ■: 設置期間

(単位:L) ※四捨五入した整数値を記載。「0」は0.5L未満を示す。各四半期に排水がないものは空欄とする。

【1号】

年度	1992			1993			1994			1995			1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			2014			2015			2016			2017			2018			ひび割れ抑制対策		
月	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	配合	ひび割れ抑制対策	実施	箇所	回数															
A																																																																																				

※1 BB: 高炉セメントB種(普通ポルトランドセメント45%、高炉スラグ微粉末55%)

排水実績一覧表(1993年度～2018年度)(2/2)

別紙4

《凡例》 四半期毎の排水量(赤色は240L以上)
 設置期間
 240L=20L/週×4週×3ヶ月

(単位:L) ※四捨五入した整数値を記載。「0」は0.5L未満を示す。
 各四半期に排水がないものは空欄とする。

【2号】 年度 月	1992			1993			1994			1995			1996			1997			1998			1999			2000			2001			2002			2003			2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			2014			2015			2016			2017			2018																
	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
1	A	▽表面止水保修(底版側面)																															9	▽表面止水保修(底版側面)																																																													
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															8	106	31	2	1	105	3	1	▽表面止水保修(底版側面)																																																						
2	A	▽表面止水保修(底版側面)																															93	6	4	2	9	3	1	1	0	2	0	3	0	▽表面止水保修(底版側面)																																																	
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															73	17	0	0	0	3	0	1	1	2	1	1	0	1	0	1	▽表面止水保修(底版側面)																																														
3	A	▽表面止水保修(底版側面)																															▽表面止水保修(底版側面)																																																														
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															20	▽表面止水保修(底版側面)																																																													
4	A	▽表面止水保修(底版側面)																															2	23	▽表面止水保修(底版側面)																																																												
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															10	4	▽表面止水保修(底版側面)																																																												
5	A	▽表面止水保修(底版側面)																															17	4	35	56	▽表面止水保修(底版側面)																																																										
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															3	8	209	▽表面止水保修(底版側面)																																																											
6	A	▽表面止水保修(底版側面)																															120	5	▽表面止水保修(底版側面)																																																												
	B	▽表面止水保修(底版側面)																															8	▽表面止水保修(底版側面)																																																													


配合	ひび割れ抑制対策		
	底版側面	側壁	覆い
BB ^{#1}	○	○	○
BB	○	○	○
BB	○	○	○
BB	○	○	○
BB	○	○	○
MF ^{#2}	○	○	○
MF	○	○	○
MF	○	○	○
MF	○	○	○

年度	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
主な変遷	▽1号1-A埋設設備設置開始			▽排水監視(自主)開始				▽第3次保安規定改正(排水監視を保安記録化)								▽2号5群以降、配合変更、ひび割れ抑制対策(底版側面)の実施											
	▽1号3群以降、ひび割れ抑制対策(側壁、覆い)の実施																										

11

※1 BB:高炉セメントB種(普通ポルトランドセメント45%、高炉スラグ微粉末55%)
 ※2 MF:フライアッシュセメントC種(中庸熟ポルトランドセメント70%、フライアッシュ30%)

主な保修工法の概要

	表面被覆工法	注入力法	ひび割れ表面止水工法
(1) 保修概要	埋設設備の表面に発生したひび割れ(平均的なひび割れ幅:0.1~0.2mm程度)に対して、表面被覆工法による保修を実施することで、水密性の確保及び耐久性を維持することとした。 なお、幅0.2mm以上のひび割れ部は、注入力法実施後に表面被覆を施した。	埋設設備の表面の確認したひび割れ(幅0.2mm以上)に対して、樹脂系の注入力材を低圧注力した。	埋設設備の表面に確認したひび割れ(幅0.2mm以上)に対して、表面をシリコンシーリング材で閉塞した。 表面被覆を実施しているものについては表面被覆材を撤去後に実施した。
(2) 工法説明	工法:アロンウォール工法 コンクリートのひび割れ表面に塗膜を構成し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の防水性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 	工法:注入力法(低圧) コンクリートのひび割れ部に注入力材を注力し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の水密性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 	工法:表面シール工法 コンクリートのひび割れ表面にシリコンシーリング材を貼付し、ひび割れ部からの水の浸入を遮断することによりコンクリート構造物の防水性を回復させ、耐久性の低下を防止することを目的とする工法である。 
(3) 保修材料の選定理由	表面被覆材:屋外環境における耐久性及び原子力関連施設での実績を踏まえ、アクリルゴム系の表面被覆材を使用した。	注入力材:施工性及び乾燥収縮に対する抵抗性が高い樹脂系の注入力材を使用した。	シリコンシーリング材:施工性、耐寒性、コンクリート構造物での施工実績を踏まえ、シリコンシーリング材を使用した。
(4) 保修対象箇所	底部を除く全面	覆い、側壁、底版に確認されたひび割れ	覆い、側壁、底版に確認されたひび割れ

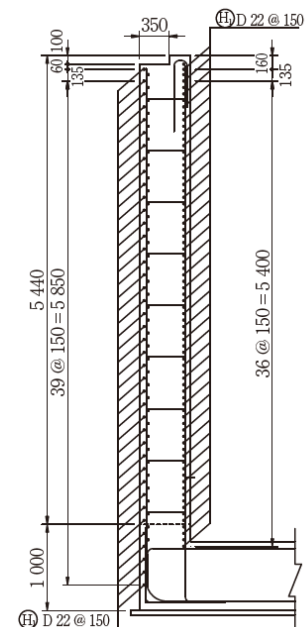
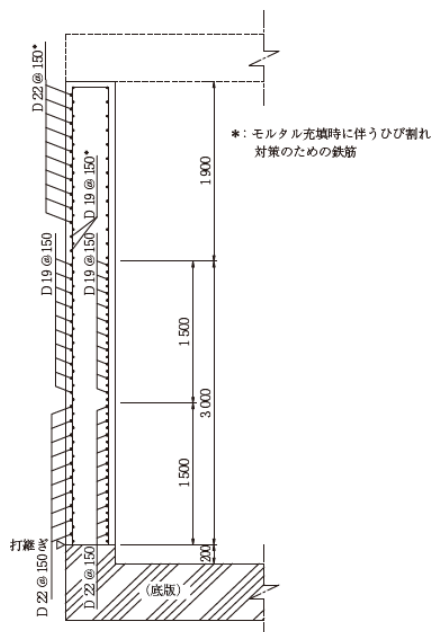
その他、覆い天端部及び側部の目地シールの交換並びに構築時に底版の断面修復を実施している。

既設備の損傷状況と改修履歴

1. ひび割れ制御鉄筋について

1号1,2群においては、コンクリートの打ち込み後、数ヶ月経過した時点から外周仕切設備側壁下部から鉛直方向にひび割れが発生した。このため、側壁のコンクリートに発生するひび割れ幅、本数を抑制する対策として、1号3群以降の埋設設備には従来の構造鉄筋（水平、鉛直ともに主鉄筋でD19@150mm）に加えD22@150mm、D19@150mmをひび割れ制御鉄筋として追加した（第1図）。また、覆い表面に対しても同様に、構造鉄筋（D16@150mm）に加えD13@150mmをひび割れ制御鉄筋として追加した。

2号埋設設備は1号埋設設備と比較し、側壁の延長が約1.5倍、高さが約1.1倍となるため、拘束条件、区画内に充填する流動性の高いモルタルの充填圧の影響が厳しくなることが想定された。このため1号で蓄積したひび割れ実測データや、最新の知見を踏まえて、平均ひび割れ幅0.04mm以下、最大ひび割れ幅0.2mm以下を目標とし、構造鉄筋D19@150mm（水平、鉛直方向）に加え、ひび割れ制御鉄筋D22@150mm（水平方向）を追加した（第2図）。



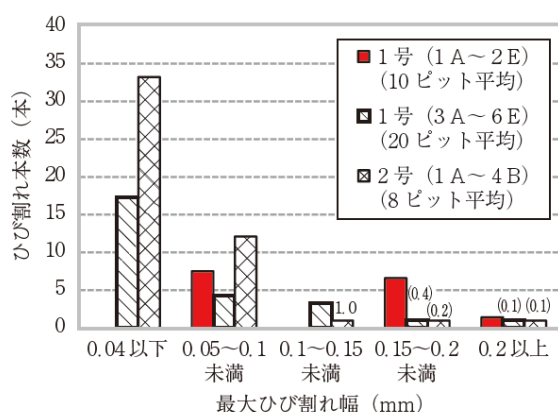
第1図 1号埋設設備3群から6群側壁の配筋図

第2図 2号埋設設備側壁の配筋図

2. ひび割れ制御鉄筋の効果

ひび割れ制御鉄筋が配置されていない1号(1A~2E)と、ひび割れ制御鉄筋を配置した1号(3A~6E)、2号(1A~4B)のひび割れ幅、本数について比較した。埋設設備に実際に発生した最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数を第3図に示す。側壁の打ち込み後、数ヶ月経過した頃から外周仕切設備側壁下部から鉛直方向にひび割れが発生した。これは温度降下に起因するものと考えられる。また、側壁施工から1年程度経過後において、充填材施工後、数日~4週間以内に、ひび割れが発生しており、それらはモルタル充填圧によるものと推測された。

1号(1A~2E)の最大ひび割れ幅は0.2mm以上、平均ひび割れ幅は0.13mmであった。これに対して、1号(3A~6E)の最大ひび割れ幅は0.2mm未満、平均ひび割れ幅は0.06mmとなった。また、1号より側壁長さが長い2号埋設設備の最大ひび割れ幅は、部分的に0.2mm以上が発生しているが、平均ひび割れ幅は0.05mmであった。設計したひび割れ制御鉄筋により、所要のひび割れ抑制効果が得られた。



第3図 最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数 (ひび割れ制御鉄筋効果比較)

3. コンクリート配合について

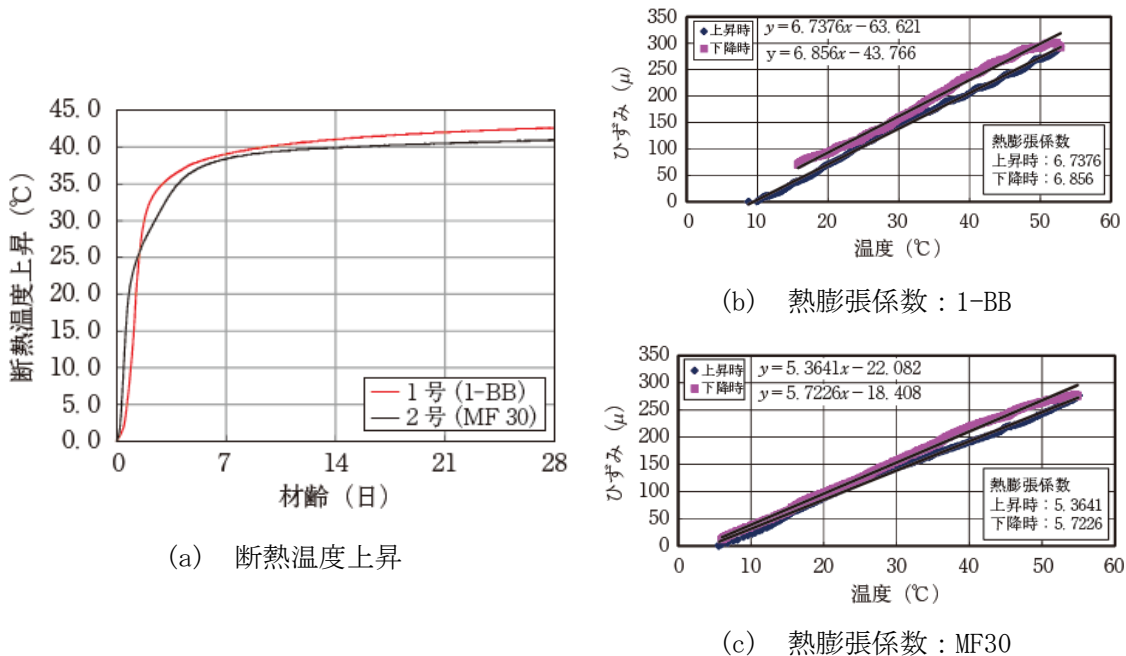
1号埋設設備では高炉スラグ配合(1-BBと称す)を、2号1A~4B埋設設備では、高炉スラグ配合(2-BBと称す)を使用していたが、ひび割れ抑制の向上のため、2号5A~8B埋設設備では、中庸熱セメント(フライアッシュ30%置換、MF30と称す)を使用した。変更前後の配合を第1表に、1-BB配合とMF30配合の熱種物性を第4図に示す。1-BB配合と比較して、断熱温度上昇特性はMF30配合と1-BB配合ともあまり変わらないが、

熱膨張係数はMF30配合の方が小さい結果であることから、温度変化によるひずみ量が小さくなり性能向上が期待できる。

第1表 埋設設備に用いたコンクリートの配合表

埋設施設	配合名	W/B (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m ³)							
				水 (W)	結合材 (B)			石灰石微粉末 (LS)	細骨材 (S)		粗骨材 (G)
					BB	MF 30	EX		砕砂	陸砂	
1号	1-BB	55.0	46.9	153	249	-	30	-	533	355	1023
2号	1A~4B	53.7	45.8	145	240	-	30	-	530	354	1048
	5A~8B	46.5	44.1	155	-	318	15	60	313	470	999

BB：高炉セメントB種，MF30：中層熱フライアッシュセメント，EX：膨張材



第4図 コンクリートの熱物性比較

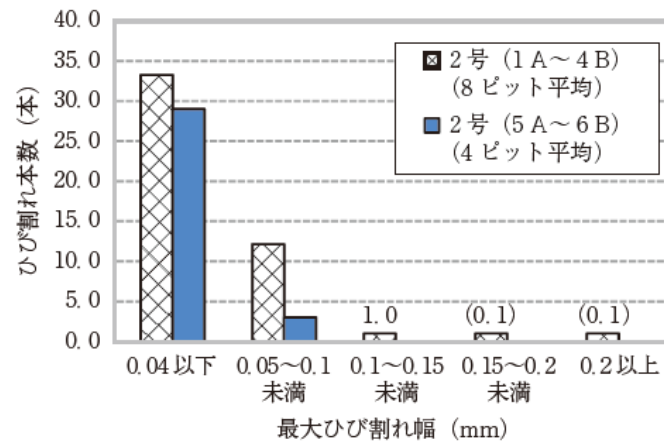
4. コンクリート配合の効果

配合変更によるひび割れ抑制効果について実測により評価した。最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数を第5図に示す。

2-BB配合では、最大で0.2mm幅程度のひび割れが発生しているのに対し、MF30配合では最大ひび割れ幅は0.08mm程度となっており、配合変更によるひび割れ抑制効果が確認された。

なお、2号埋設設備におけるひび割れ制御鉄筋は同一仕様であることから、ひび割

れ発生状況の相違は、主に配合変更の効果であるといえる。



第5図 最大ひび割れ幅と1基当たりの平均ひび割れ本数（配合変更効果比較）

外周仕切設備底版からの地下水の浸入の可能性について

1. 概要

本資料では、埋設設備への水の浸入経路のうち、底版からの浸入の可能性について検討する。

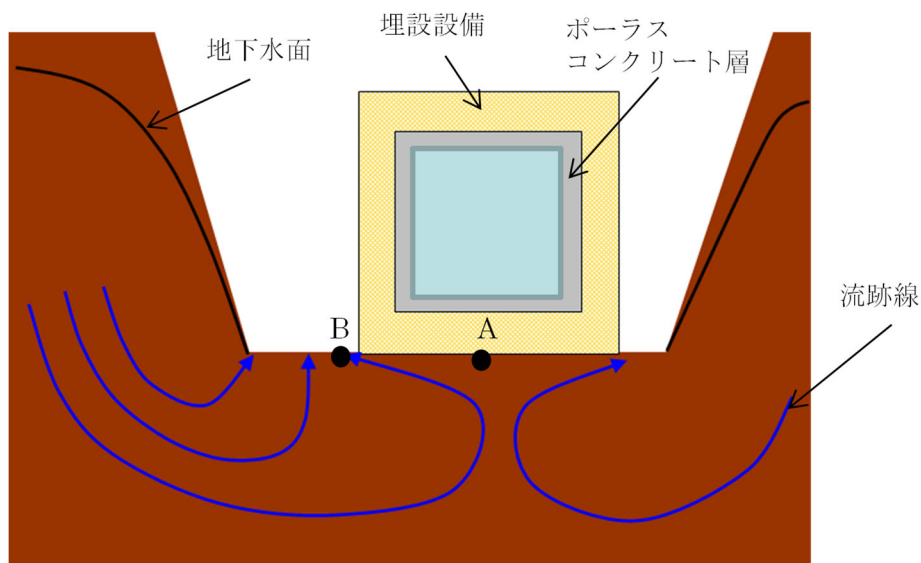
埋設設備は、廃棄物埋設地を掘削し、掘り下げた岩盤(鷹架層)の上に設置している。外周仕切設備底版(以下「底版」という。)の上に設置する底部のポーラスコンクリート層は、掘削底面よりも高い位置(底版厚さとして1号で約60cm、2号で約80cm)にある。

地下水位の低い覆土前の期間は、地下水は、掘削底面よりも高い位置にある底版上のポーラスコンクリート層に容易に浸入しないと考えられる。しかし、埋設設備は岩盤(鷹架層)を掘り込んで設置し、低透水の底版が広く広がっていることから、底版下部の水頭(地下水圧)が上昇し、底版にひび割れが存在した場合は、底部のポーラスコンクリート層に地下水が浸入する可能性が否定できない。

2. 底版から地下水が浸入するメカニズム

(1) 一般論

一般的に周辺の地下水位が高い領域を掘削し、地下水や雨水を排水することにより、地下水位は掘削底面付近まで低下する。掘削した廃棄物埋設地も同様に掘削底面まで地下水位が低下した状態である。掘削完了し、埋設設備の構築後の地下水流動場の概念図を第1図に示す。廃棄物埋設地の掘削底面は上方が開放されているため湧水箇所(B点)となるが、埋設設備底版が設置される範囲(1基当たり1号では約24m×約24m、2号では約36m×約37m)は低透水のコンクリートにより塞がれるため、地下水が湧水できない。埋設設備底版の下では地下水が湧水できないことから、埋設設備底版下から上方が開放されている湧水箇所(B点)まで岩盤(鷹架層)内を横方向に地下水が流動する。このため、図のように、埋設設備底版中央部(A点)は、湧水可能な箇所から距離があることから、埋設設備の中央部に行くほど水頭(間隙水圧)が高くなる傾向にある。この場合、底版コンクリートに貫通ひび割れがあり、ポーラスコンクリート層の位置以上の高い水頭が作用すると、そこから底部のポーラスコンクリート層に水が浸入する可能性がある。



A点の水圧がB点より高くなる

第1図 地下水流動の概念図

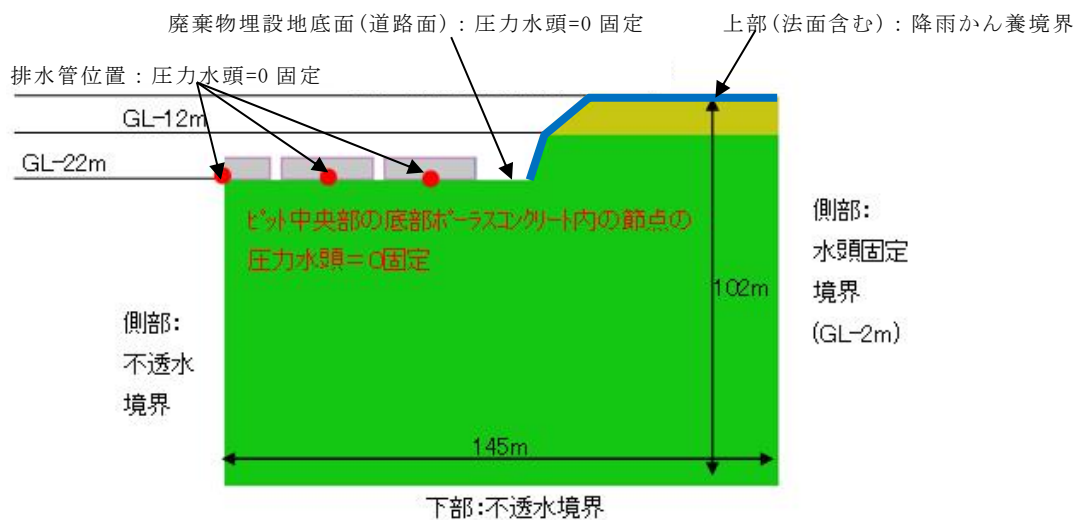
(2) 解析による地下水位の分布

1号埋設設備を対象として、埋戻前の全水頭(間隙水圧)の分布を求めるため、地下水流動解析を実施した。

(i) 解析条件及び解析モデル

1号埋設設備を対象として、東西方向断面で2Dモデル解析を実施した。解析モデルを第2図、各部位の透水係数を第1表に示す。

境界条件については、第2図に示すとおり、左側側部は対象モデルであることから不透水境界、右側側部は水頭固定境界、モデル下部は不透水境界、廃棄物埋設地法面を含む上部は降雨かん養境界、廃棄物埋設地底面(道路面)及び廃棄物埋設地底面の排水管位置(中央部1か所)には圧力水頭0に固定した水頭固定境界を設定した。埋設設備の表面については、降雨を考慮せず不透水境界とした。



第 2 図 解析モデル図

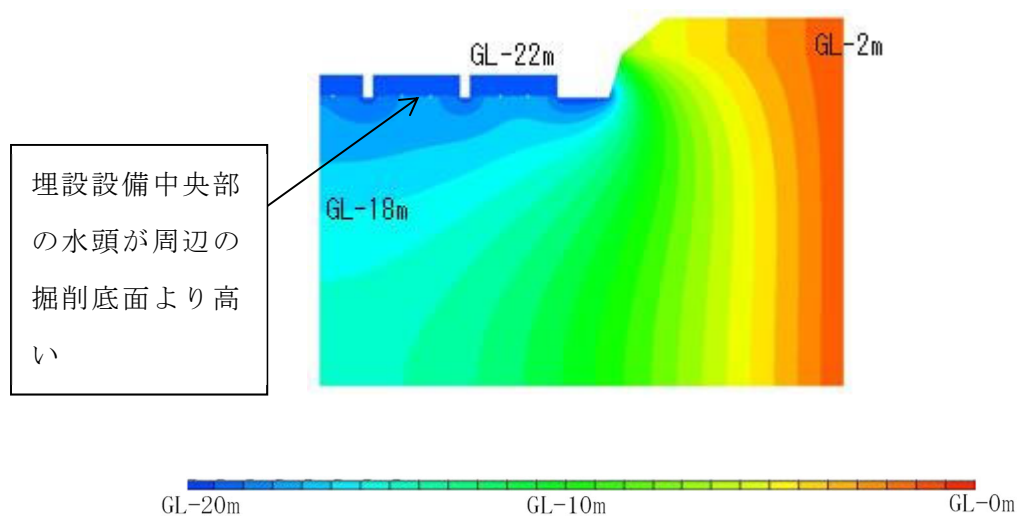
第 1 表 透水係数の設定値

部位	透水係数
岩盤(鷹架層)	1×10^{-7} (m/s)
埋設設備コンクリート 廃棄体+セメント系充填材	1×10^{-12} (m/s)
埋設設備底版内のひび割れ (想定)	8.7×10^{-7} (m/s) (幅 0.3mm、2 か所、貫通)
ポーラスコンクリート層	1.0×10^{-3} (m/s) (幅 0.1m)

(ii) 解析結果

地下水流動解析により、掘削した状態の廃棄物埋設地近傍の全水頭分布の解析結果を第 3 図に示す。本解析では、濃い青色の埋設設備の中央部は周辺の掘削底面よりも水頭が高くなる傾向が確認できる。廃棄物埋設地はすり鉢状の掘削地であり、周辺の地下水は掘削地に向かって流動し、掘削底面では下から上への地下水流動も発生している。埋設設備底面付近では、埋設設備底版が鉄筋コンクリー

ト製の低透水性材料であることから、それ以外の廃棄物埋設地底面(道路面)が湧水箇所となる。このため、埋設設備底面では湧水箇所に向かって流動する傾向になる。埋設設備底面中央部の水頭が高くなることから、底版コンクリートに貫通ひび割れを想定しポーラスコンクリート層内(排水管位置)に圧力水頭0の境界条件を設定すると、埋設設備内に地下水が浸入する現象がみられる。このような条件設定下の解析結果では、底版に貫通ひび割れがあった場合、ポーラスコンクリート層に地下水が浸入する可能性があることを示している。



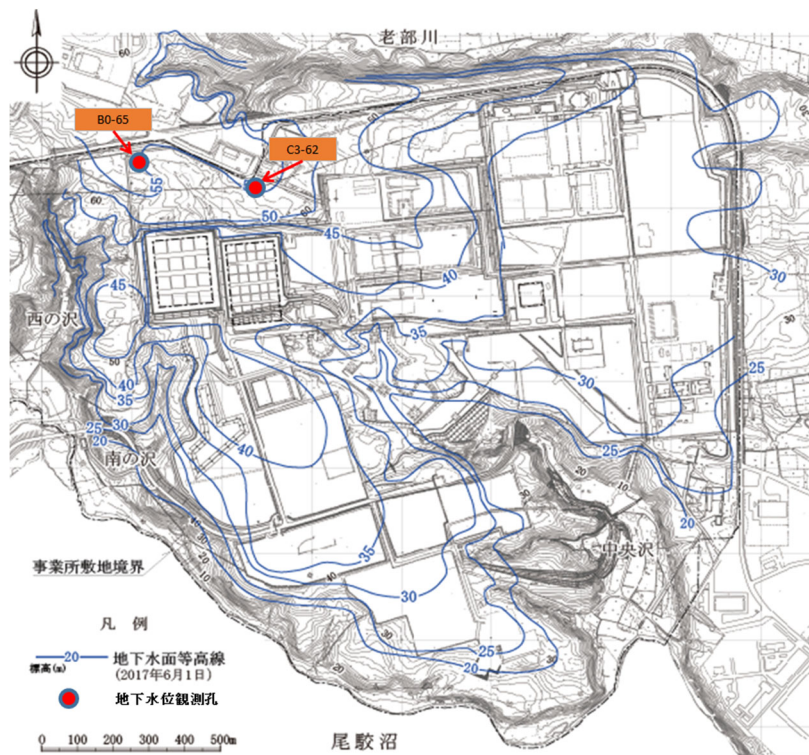
第3図 全水頭分布の解析結果(コンターピッチ:1m)

3. 地下水の観測結果と排水量の関係

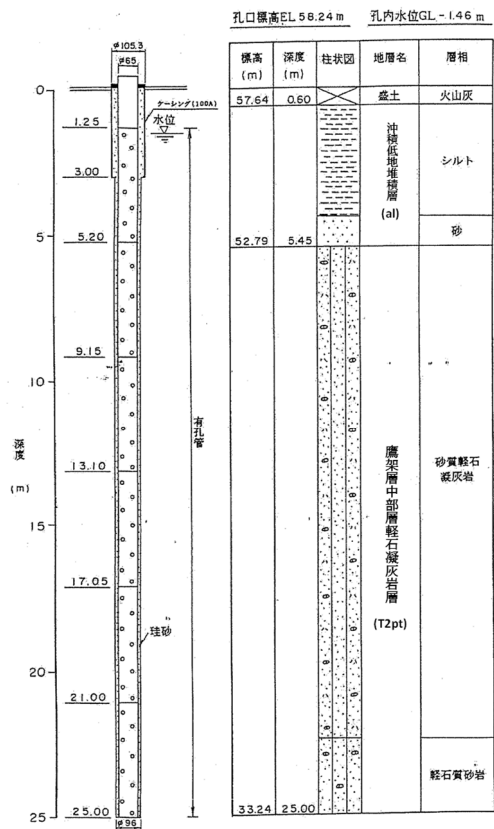
以下に、地下水位の観測結果と排水・監視設備からの排水量の関係を示す。

地下水位の観測位置を第4図に示す。次に井戸(観測孔)の構造図を第5図に示す。計測方法としては、孔内に圧力センサー方式の水位計を設置して自動計測した。

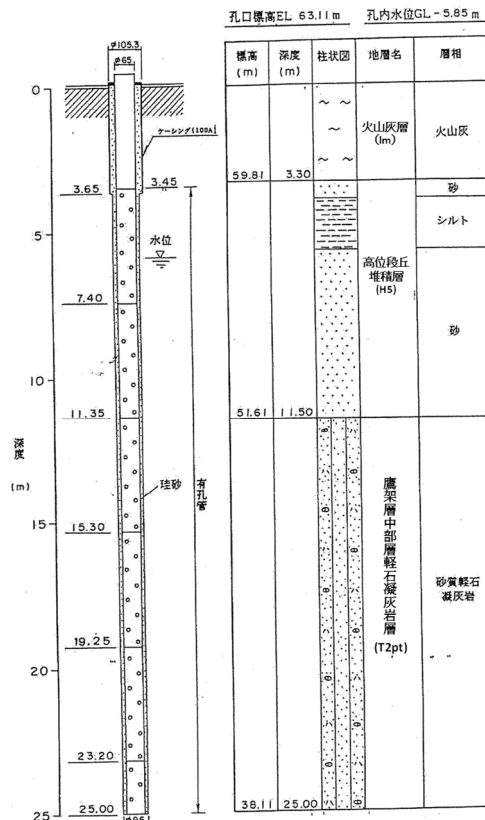
地下水位が高いときは降雨量も多いことが一般的であるが(第6図)、排水・監視設備からの排水量と降雨及び地下水との間に相関があるか明確にはわからなかった。なお、2号1-Aの12月26日から1月4日にかけて、排水量の増加が見られるが(第7図及び第8図)、12月26日は8日間の排水量、1月4日は10日間の排水量、1月7日は3日間の排水量となっていることが要因であり、水の浸入量については、目立った変化ではない。



第4図 地下水位の観測位置図

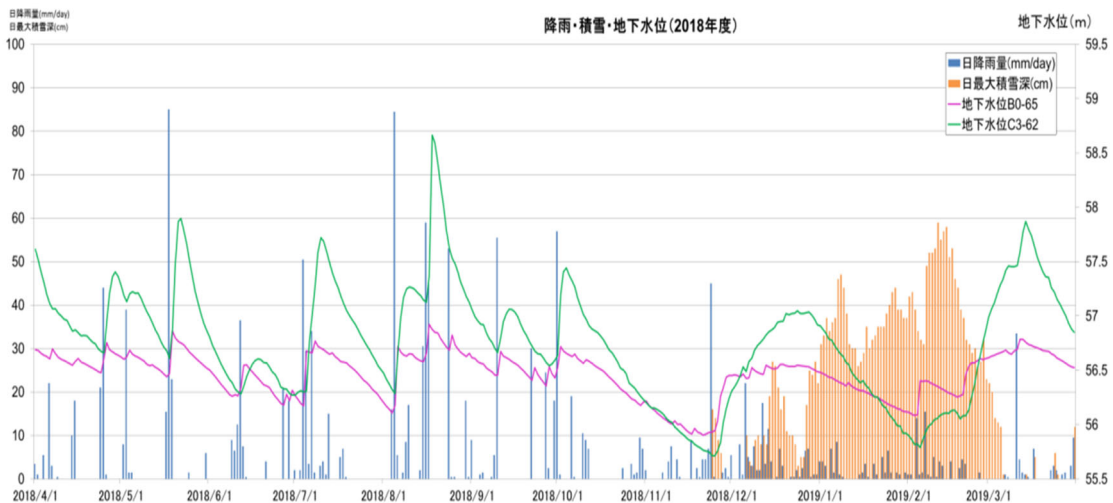


B0-65

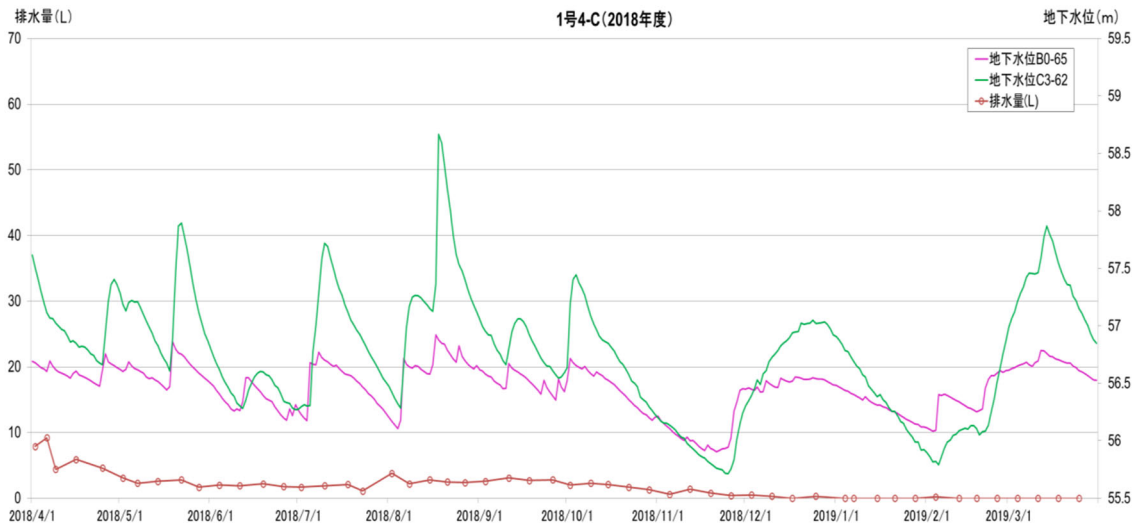


C3-62

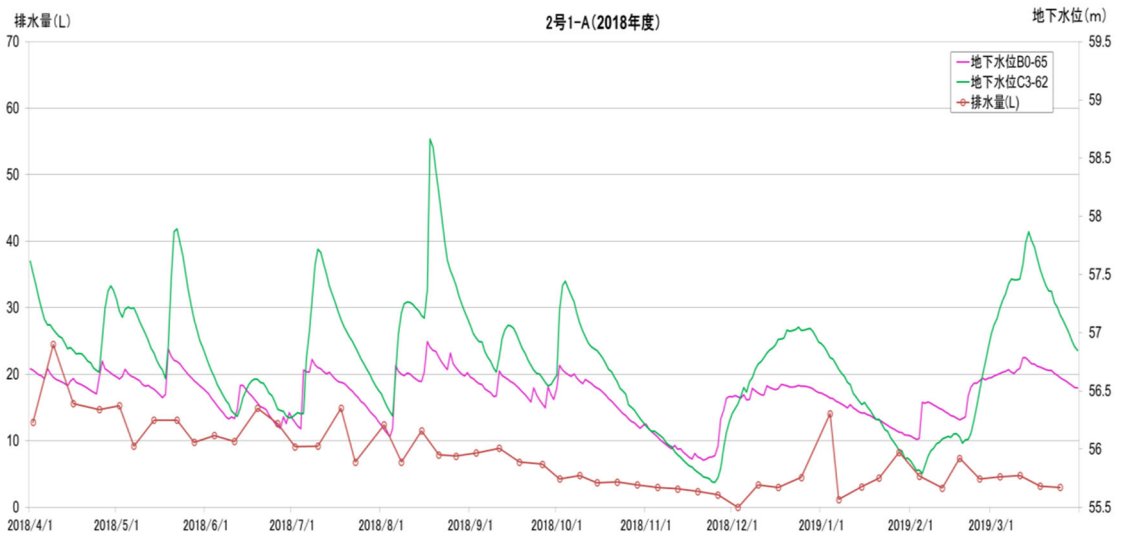
第 5 図 井戸(観測孔)の構造図



第 6 図 降雨・降雪・地下水の関係(2018年度)

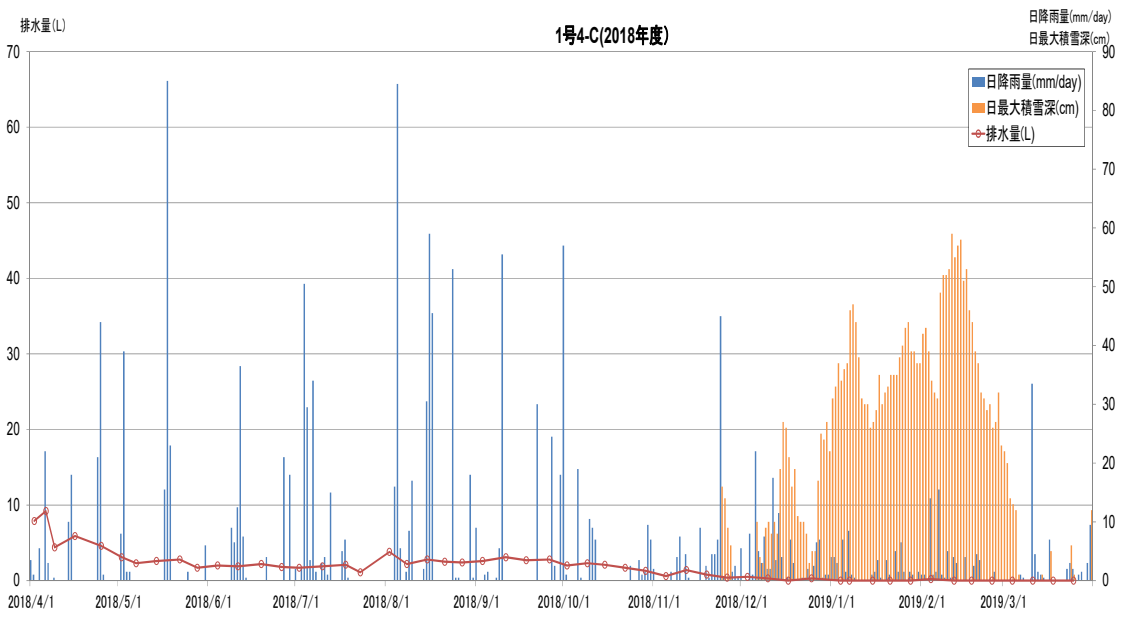


1号 4-C

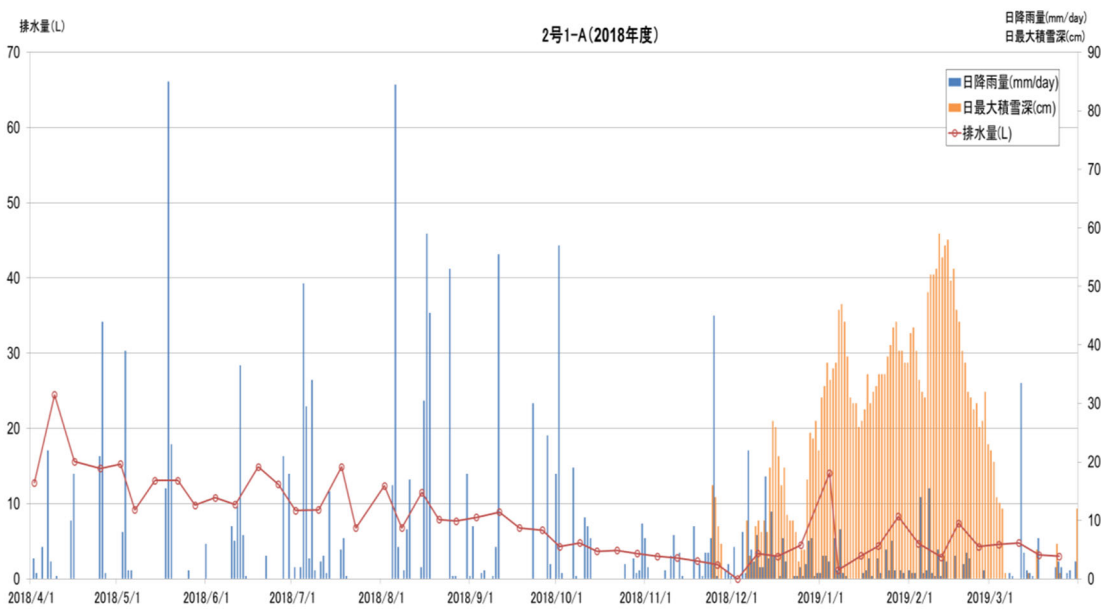


2号 1-A

第7図 地下水位と排水量の関係(2018年度)



1号 4-C



2号 1-A

第 8 図 降雨量、積雪量と排水量の関係 (2018 年度)

4. 底版にひび割れが発生する可能性

(1) 底版のひび割れの観察結果

1号については、底版打設後に底版上面にひび割れは確認されていない。

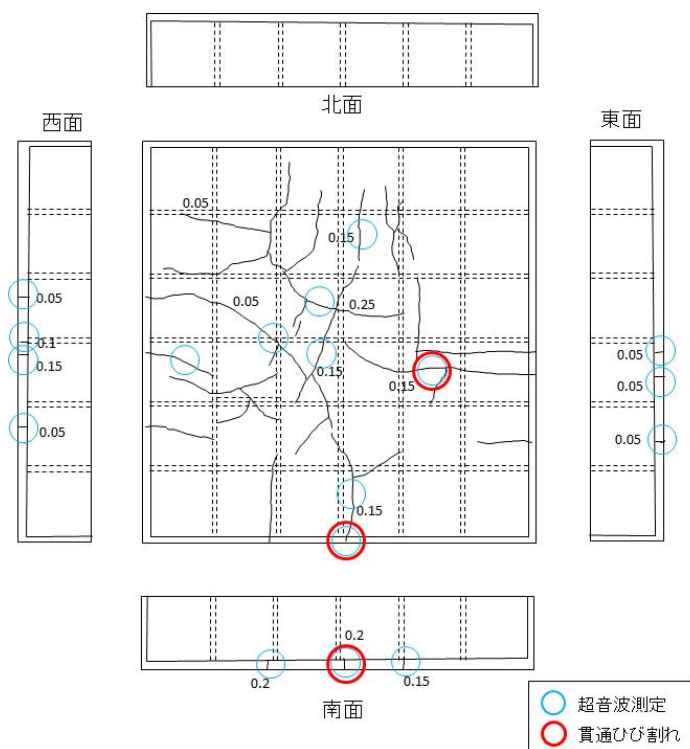
2号については、1-Aで底版にひび割れが確認されたことから、2号2-A及び2-Bで底版打設後に底版のひび割れ観察を実施した(第9図及び第10図)。

ひび割れ幅は最大で0.25mm、一部のひび割れでは超音波測定結果から貫通していると判断した。そのため、3群以降では温度収縮や自己収縮を小さくすることを目的に底版コンクリートに膨張材を添加することとした。

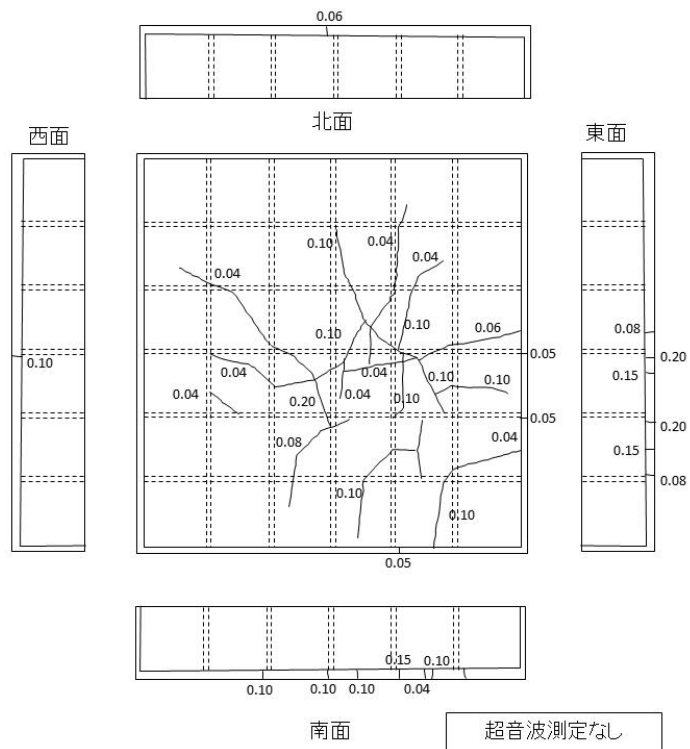
2号3-Aでも同様に底版打設後にひび割れ観察を実施した結果、膨張材添加効果として、ひび割れの抑制を確認した(第11図)。

なお、2号1-A、2-A及び2-Bに発生した底版上面のひび割れに対しては、保修を実施している。

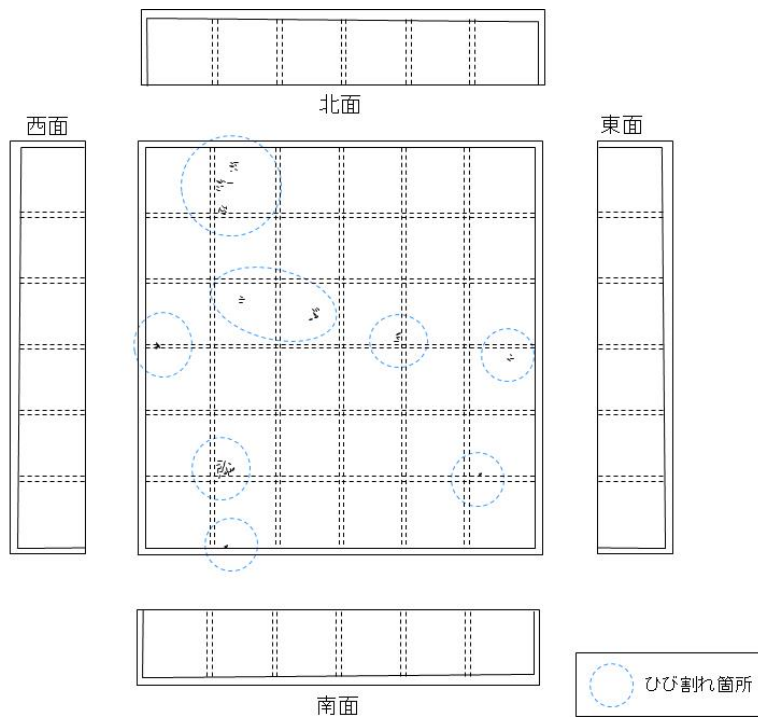
1号にひび割れが確認されなかった理由として、1号の寸法が2号の約2/3程度であることから、2号に比べて収縮変形量が相対的に小さいため、ひび割れの発生が抑制された可能性も考えられる。



第9図 2号2-A(底版コンクリート打設17日後)



第 10 図 2号 2-B(底版コンクリート打設 22 日後)



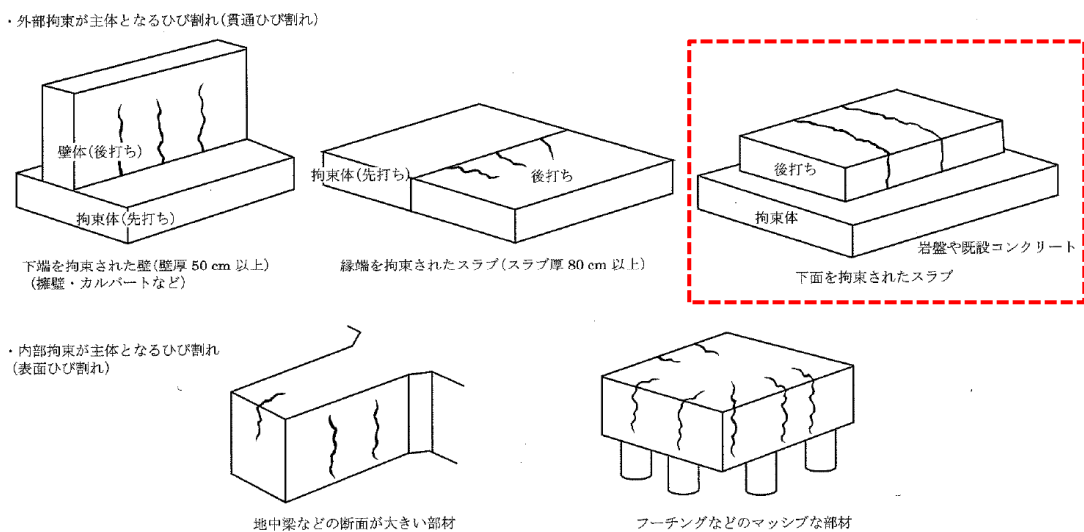
第 11 図 2号 3-A(底版コンクリート打設 35 日後)

(2) 底版に発生するひび割れ原因の推定

ひび割れ観察記録によれば、底版コンクリート打設後 8 日に側面中央部で確認し、その後底版上面でも確認している。ひび割れ発生時期は、おおむね打設後 2 週間以内に発生しているものが大半であり、ひび割れ発生タイミングがコンクリート内部の温度上昇から下降に転じ、外気温と同等になるまでの期間と一致する。

また、底版はコンクリート自身の収縮変形が下面の岩盤(鷹架層)等に拘束される条件を有していることを考慮すれば、発生したひび割れの原因は「水和熱」及び「自己収縮」によるものと推察される。

なお、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」⁽¹⁾に示されるひび割れ原因推定方法に準拠した検討を実施した場合でも、同様の原因に該当、絞り込みできる。同指針に示される水和熱によるひび割れ発生パターンは第 12 図に示すとおりであり、今回 2 号 2 群に発生したひび割れは下面を拘束されたスラブに発生するとされているパターン(右上図)に合致する。



第 12 図 ひび割れ模式図⁽¹⁾

5. まとめ

掘削した廃棄物埋設地に埋設設備を設置していることから、埋設設備の底版下部の水頭が高くなる可能性がある。

2 号 1, 2 群について、底版に貫通ひび割れが確認され、その後 3 群以降については

ひび割れを低減させる対策を取ってきているが、底版にひび割れがあれば地下水が浸入する可能性は否定できない。

これまでの排水量の実績から、1基当たり、多くても2L/日～3L/日程度と埋設設備の規模の割には非常に少ないものであり、地下水位及び降雨量の観測結果と排水量との相関は明確ではない。

以 上

参考資料

- (1) 日本コンクリート工学会(2013):コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-

排水中のトリチウム濃度を用いた
漏出防止評価について

目 次

1. 目的.....	1
(1) 評価モデル・条件.....	1
(2) 評価結果.....	8

1. 目的

漏出防止機能を確保する期間中は、排水・監視設備により排水し続けることにより、廃棄体周囲のモルタル層は不飽和状態となる。しかし、仮に設計で想定した状態とならず、ポーラスコンクリート層の排水能力以上の水が浸入した状態でポーラスコンクリート層が常時飽和して廃棄体周囲のモルタル層も飽和状態となった場合には、ドラム缶へ水が流入する可能性があることから、流入した場合のポーラスコンクリート層における放射能濃度を参考に評価した。

(1) 評価モデル・条件

埋設設備上部からポーラスコンクリート層に浸入した雨水が充填モルタルに発生した亀裂内を流れて、廃棄体の上部空隙内に滞留することを想定する。廃棄体へ到達した水は、ドラム缶蓋部から入り込み、放射性物質と接触し、廃棄体上部空隙内に滞留する水へ拡散により移行すると想定する。さらに、廃棄体の周囲の充填モルタル、廃棄体部分と排水・監視設備であるポーラスコンクリート層の間にある充填モルタル層(以下「ホワイトゾーン(WZ)」という。)(亀裂を含む)も拡散によって移行し、ポーラスコンクリート層へ到達することを想定し、以下のようにモデル化する。

廃棄体内部の固型化部分は拡散で移行し、廃棄体上部の空隙部分のたまり水部分は均一混合層とする。上部空隙に留まった水が移流によって移行することは想定しない。

放射性物質と接触した水は、ドラム缶蓋部の間隙を通過後に、廃棄体周囲の充填モルタル層に入るため、瞬時に廃棄体周囲の充填モルタルと平衡状態になると想定し、均一混合セルとする。

次に、放射性物質はホワイトゾーンに移行するため、ホワイトゾーンは、ひび割れ部分とひび割れのない健全部の2経路が並行して存在するとする。

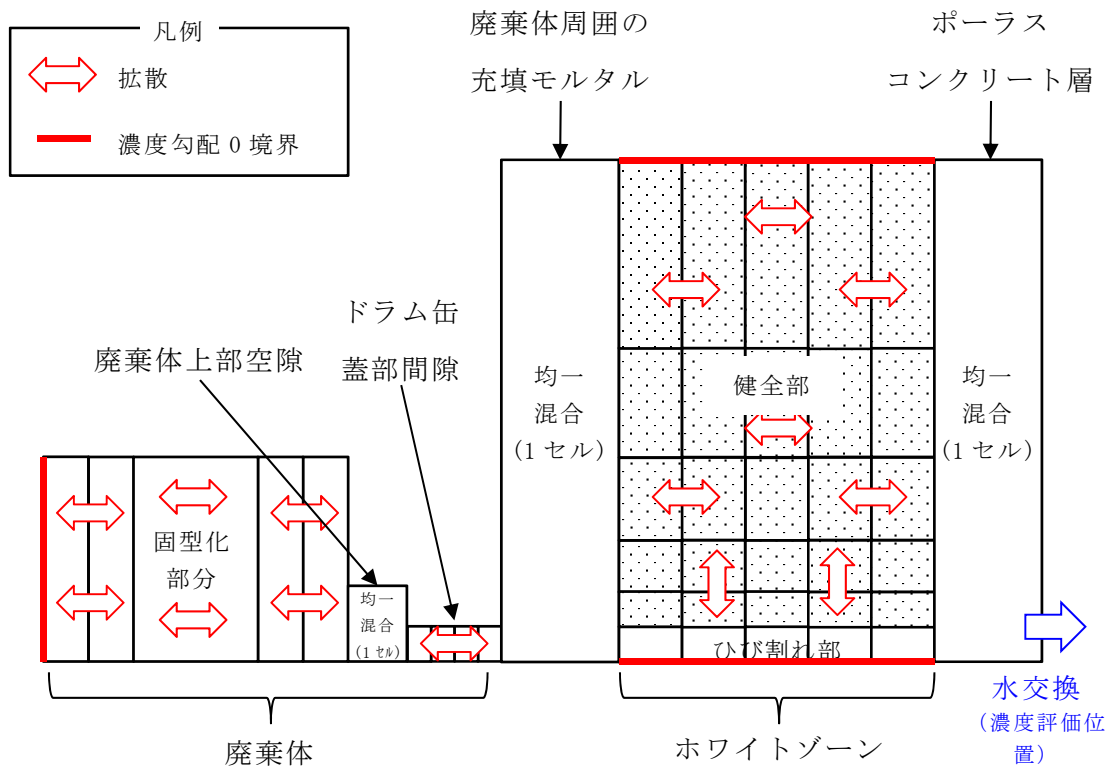
最後に、排水・監視設備のポーラスコンクリート層へ移行するため、ポーラスコンクリート層は均一混合層とする。

ホワイトゾーンのひび割れ部が移流場であるとしても、健全部を含めた全体系では、ひび割れ部は限られた部分的なものであり、水が流れ難いことには変わりはなく、放射性物質の移行は拡散が支配的であると考えられることを踏まえてモデル化して

いる。

なお、ホワイトゾーンのひび割れ部については、移流によってトリチウムが移行することを否定できないことから、参考として移流を模擬した評価も行う。

モルタル層は充填性が良く、亀裂も少ないことから、ポーラスコンクリート層を流れる水が廃棄体内部に到達する割合は極めて少ないと考えられる。仮に、埋設したドラム缶のうち1%のドラム缶に水が到達とした場合の評価を、拡散により移行しやすいトリチウムを対象に行う。拡散による移行のモデルを第1図に、評価に使用したパラメータを第1表及び第2表に示す。



第1図 拡散移行評価モデル概念図

(i) 廃棄体(固型化部分)

$$\varepsilon Rf(i) \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial t} = De \frac{\partial^2 C(x, t, i)}{\partial x^2} - \lambda(i) \varepsilon Rf(i) C(x, t, i)$$

$$Rf(i) = 1 + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \rho K_d(i)$$

$$C(x, 0, i) = \frac{A_0(i)}{\varepsilon Rf(i) V_w}$$

$$\left. \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad C(L, t, i) = C_v(t, i)$$

(ii) 廃棄体上部空隙(均一混合)

$$V_v \frac{dC_v(t, i)}{dt} = -S_w De \left. \frac{\partial C(x, t, i)}{\partial x} \right|_{x=L} + S_a D_0 \left. \frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a} \right|_{x_a=0} - V_v \lambda(i) C_v(t, i)$$

$$C_v(0, i) = 0, \quad C_a(0, t, i) = C_v(t, i)$$

(iii) ドラム缶蓋部間隙

$$\frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial t} = D_0 \frac{\partial^2 C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a^2} - \lambda(i) C_a(x_a, t, i)$$

$$C_a(x_a, 0, i) = 0, \quad C_a(L_a, t, i) = C_m(t, i)$$

(iv) 廃棄体周囲の充填モルタル(均一混合)

$$\begin{aligned} V_m \varepsilon_m Rf_m(i) \frac{dC_m(t, i)}{dt} \\ = -S_a D_0 \left. \frac{\partial C_a(x_a, t, i)}{\partial x_a} \right|_{x_a=L_a} + \int_0^{L_c} S_m(y) De_w(y) \left. \frac{\partial C_w(x_w, y, t, i)}{\partial x_w} \right|_{x_w=0} dy \\ - V_m \varepsilon_m Rf_m(i) \lambda(i) C_m(t, i) \end{aligned}$$

$$C_m(0, i) = 0, \quad C_m(t, i) = C_w(0, y, t, i)$$

(v) ホワイトゾーン

$$\begin{aligned} & \varepsilon_w(y)Rf_w(y,i)\frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial t} \\ &= De_w(y)\frac{\partial^2 C_w(x_w,y,t,i)}{\partial x_w^2} + De_w(y)\frac{\partial^2 C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y^2} \\ & \quad - \lambda(i)\varepsilon_w(y)Rf_w(y,i)C_w(x_w,y,t,i) \\ Rf_w(y,i) &= 1 + \frac{1-\varepsilon_w(y)}{\varepsilon}\rho_w(y)Kd_w(y,i) \end{aligned}$$

$$C_w(x_w,y,0,i) = 0, \quad C_w(L_w,y,t,i) = C_p(t,i)$$

$$\left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial y} \right|_{y=L_c} = 0$$

(vi) ポーラスコンクリート層

$$V_p \frac{dC_p(t,i)}{dt} = -Q C_p(t,i) - \int_0^{L_c} S_m(y)De_w(y)\left. \frac{\partial C_w(x_w,y,t,i)}{\partial x_w} \right|_{x_w=L_w} dy - V_p\lambda(i)C_p(t,i)$$

$$C_p(0,i) = 0$$

$C(x,t,i)$	固化体中の位置 x 、時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)
$C_p(t,i)$	廃棄体上部空隙水たまりの時間 t における核種 i の濃度 (Bq/m ³)
$C_a(x_a,t,i)$	ドラム缶蓋隙間部の位置 x_a 、時間 t における核種 i の水中濃度 (Bq/m ³)
$C_m(t,i)$	廃棄体間モルタル中の時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)

$C_w(x_w, y, t, i)$	ホワイトゾーン内の位置 (x_w, y) 、時間 t における核種 i の間隙水中濃度 (Bq/m ³)
$C_p(t, i)$	ポーラスコンクリート層水中の時間 t における核種 i の濃度 (Bq/m ³)
$\varepsilon, \varepsilon_m, \varepsilon_w(y)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の間隙率 (-)
$\rho, \rho_m, \rho_w(y)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の粒子密度 (kg/m ³)
$Rf(i), Rf_m(i), Rf_w(y, i)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の核種 i の遅延係数 (-)
$Kd(i), Kd_m(i), Kd_w(y, i)$	固化体、廃棄体間モルタル及びホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の核種 i の分配係数 (m ³ /kg)
V_w, V_v, V_m, V_p	固化体、廃棄体上部空隙水たまり、廃棄体間モルタル及びポーラスコンクリート層滞留水の全体積 (m ³)
$S_w, S_a, S_w(y)$	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の微小区間の全断面積 (m ²)
$De, D_0, De_w(y)$	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンひび割れ面から鉛直方向位置 y の実効拡散係数 (m ² /s)
L, L_a, L_c, L_w	固化体、ドラム缶蓋隙間部、ホワイトゾーンの厚さ (m)
Q	ポーラスコンクリート層の交換水量 (m ³)
$\lambda(i)$	核種 i の崩壊定数 (1/s)

第1表 評価パラメータ(1号)

パラメータ		単位	値	備考
トリチウム放射エネルギー		Bq	3.10×10^{10}	1-6群の放射エネルギー/基数
ドラム缶の直径		m	0.567	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の高さ		m	0.8332	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の厚さ		m	1.6×10^{-3}	JIS-Z1600 (開口部拡散長さとしても利用)
ドラム缶の開口幅		m	1×10^{-3}	ドラム缶天蓋部と胴体部の寸法差
埋設設備数		基	1	
埋設設備内の区画数		区画/基	16	
1区画当たりの廃棄体本数		本/区画	320	
廃棄体1本当たりの固型化材料の平均充填量		m ³ /本	0.14	
廃棄体上部空隙の長さ		m	0.1	上部空隙率30%以下であるが、保守的に濃度勾配が大きくなるよう充填固化体と同じ値を設定
埋設設備の寸法	長さ	m	24.40	
	幅	m	24.40	
	高さ	m	6.200	
	覆い(上部)厚さ	m	0.50	
	底版(下部)厚さ	m	0.60	
側壁厚さ		m	0.50	
ポーラスコンクリート厚さ		m	0.10	
ホワイトゾーン(WZ)厚さ		m	0.40	
間隙率	廃棄体	—	0.35	
	モルタル(WZ)	—	0.20	
	ポーラスコンクリート	—	0.25	
粒子密度	廃棄体	kg/m ³	2,400	
	モルタル(WZ)	kg/m ³	2,500	
	ポーラスコンクリート	kg/m ³	2,500	モルタルと同等と仮定して設定
実効拡散係数	廃棄体	m ² /s	1×10^{-11}	
	モルタル(WZ)健全部	m ² /s	1×10^{-11}	
	WZひび割れ部	m ² /s	2×10^{-9}	自由水中のトリチウムの拡散係数を設定
ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)		m ³ /y	0.75	年間排水量(施設全体:40基)を保守的に30m ³ /yと仮定し1基分の値を設定
WZひび割れ割合		—	1.89×10^{-4}	5,300mm当たりの乾燥収縮幅から1mmと設定($1/5,300 = 1.89 \times 10^{-4}$)

第2表 評価パラメータ(2号)

パラメータ		単位	値	備考
トリチウム放射エネルギー		Bq	7.50×10^{10}	放射エネルギー/基数
ドラム缶の直径		m	0.567	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の高さ		m	0.8332	JIS-Z1600(1993)
ドラム缶の厚さ		m	1.6×10^{-3}	JIS-Z1600 (開口部拡散長さとしても利用)
ドラム缶の開口幅		m	1×10^{-3}	ドラム缶天蓋部と胴体部の寸法差
埋設設備数		基	16	
埋設設備内の区画数		区画/基	36	
1区画当たりの廃棄体本数		本/区画	360	
廃棄体1本当たりの固型化材料の平均充填量		m ³ /本	0.1	
廃棄体上部空隙の長さ		m	0.1	上部空隙率30%以下であるが、保守的に濃度勾配が大きくなるよう充填固化体と同じ値を設定
埋設設備の寸法	長さ	m	36.00	
	幅	m	36.91	
	高さ	m	6.940	
	覆い(上部)厚さ	m	0.50	
	底版(下部)厚さ	m	0.80	
	側壁厚さ	m	0.60	
ポーラスコンクリート厚さ		m	0.10	
ホワイトゾーン(WZ)厚さ		m	0.40	
間隙率	廃棄体	—	0.35	
	モルタル(WZ)	—	0.20	
	ポーラスコンクリート	—	0.25	
粒子密度	廃棄体	kg/m ³	2,500	
	モルタル(WZ)	kg/m ³	2,500	
	ポーラスコンクリート	kg/m ³	2,500	モルタルと同等と仮定して設定
実効拡散係数	廃棄体	m ² /s	1×10^{-11}	
	モルタル(WZ)健全部	m ² /s	1×10^{-11}	
	WZひび割れ部	m ² /s	2×10^{-9}	自由水中のトリチウムの拡散係数を設定
ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)		m ³ /y	1.875	年間排水量(施設全体:16基)を保守的に30m ³ /yと仮定し1基分の値を設定
WZひび割れ割合		—	1.89×10^{-4}	5,300mm当たりの乾燥収縮幅から1mmと設定($1/5,300 = 1.89 \times 10^{-4}$)

(2) 評価結果

(i) 線量評価

既設 1 号及び 2 号それぞれの結果を第 3 表及び第 2 図に示す。いずれの施設においても水中濃度限度を十分に下回る結果となった。この濃度の水が外周仕切設備の外に漏出した場合は、設備の外を流れる地下水で希釈され、更に濃度が下がるため、これによる環境への影響は十分に無視できると考えられる。

廃棄体内部に滞留した水が、充填モルタル、ホワイトゾーン内の亀裂内を移流によって移行し、ポーラスコンクリート層へ到達することも否定できないことから、参考としてホワイトゾーン内を拡散ではなく、移流により移行した場合の評価結果を第 4 表及び第 3 図に示す。本評価においては、廃棄体から漏出したトリチウムが速やかにポーラスコンクリート層の排水に到達するとし、ホワイトゾーンのひび割れ割合を 99.9%とし、ホワイトゾーンひび割れ部の実効拡散係数を $1.0 \times 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$ とすることにより、簡易的に移流を模擬している。本評価においても、いずれの施設においても水中濃度限度を十分に下回る結果となった。必要に応じて、防水対策の詳細説明にあわせて、より現実的な評価を実施する。

(ii) 線量評価の妥当性確認

線量評価結果の妥当性を検証するため、ポーラスコンクリートの排水濃度を実測定にて確認した。実測結果を第 5 表に示す。その結果、環境中のトリチウム濃度と同等程度(約 $2 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ 若しくは測定限界の約 $4 \times 10^2 \text{Bq}/\text{m}^3$ 以下)であった。

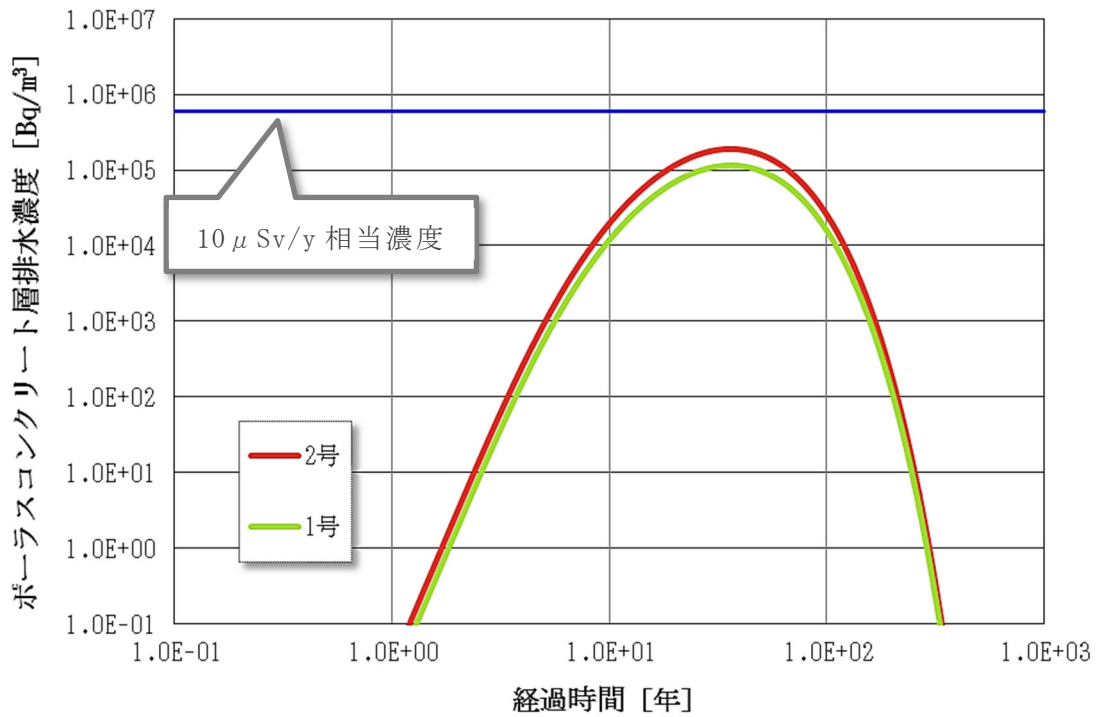
今回 $2 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ の濃度が測定された箇所の年間排水量は約 $0.08 \text{m}^3/\text{年}$ であったことから、解析結果が実態を表しているならば、今回の解析で用いた排水量を考慮すると実測される濃度は解析結果よりも高くなる(漏出放射エネルギーは同等)。一方で、埋設実績に基づくトリチウムの放射エネルギーは、この解析に用いた申請の放射エネルギーの 1/50 以下であること、埋設開始から 20 年以上経過し現時点が線量のピークだと仮定することもあわせて考えると、解析結果が実態を表しているとすれば、実測結果は解析結果の同程度～1 桁低い濃度となると想定している。しかし、実測結果は解析結果の約 1/100 であったことから、この評価モデルや計算に用いた廃棄体への水の到達割合、ひび割れ割合等のパラメータは十分に保守側となっていると考えられる。

第3表 排水中のトリチウム濃度の比較(拡散による移行)

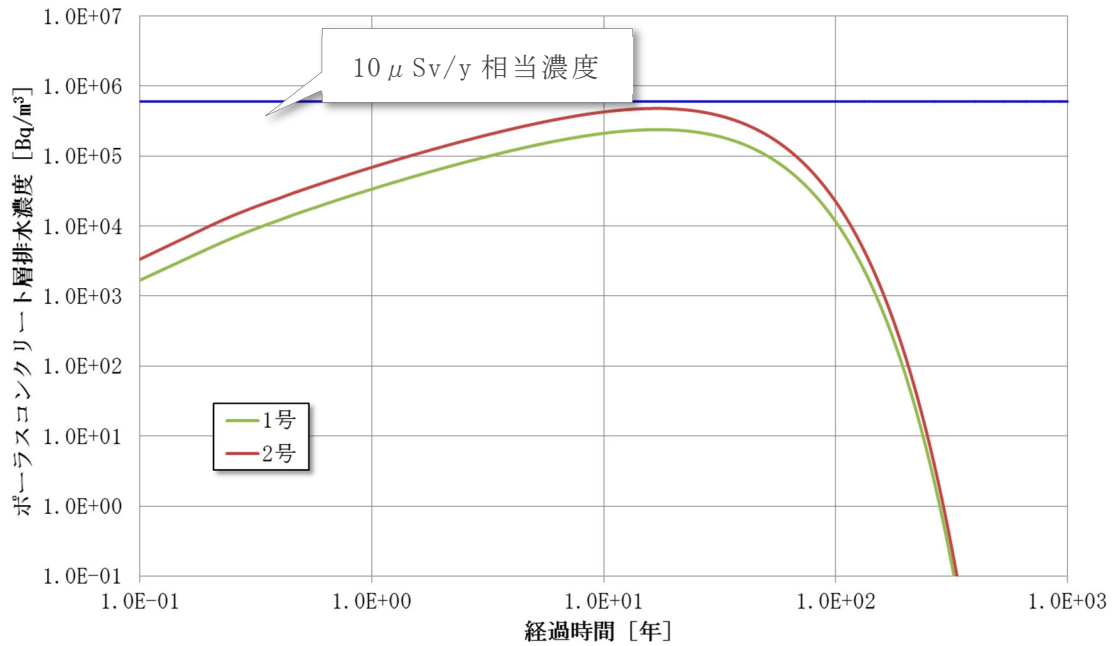
	トリチウム濃度最大値(Bq/m ³)	参考 告示濃度(Bq/m ³)
1号	1.20×10^5	6.00×10^7
2号	1.90×10^5	

第4表 排水中のトリチウム濃度の比較(移流による移行)

	トリチウム濃度最大値(Bq/m ³)	参考 告示濃度(Bq/m ³)
1号	2.38×10^5	6.00×10^7
2号	4.79×10^5	



第2図 ポーラスコンクリート排水中のトリチウム濃度(拡散による移行)



第 3 図 ポーラスコンクリート排水中のトリチウム濃度(移流による移行)

第 5 表 排水中のトリチウム濃度の実測結果*1

試料名	N 数	トリチウム放射能濃度 (Bq/L*2)	検出下限値 (Bq/L*2)
1 号 1-D 東	1	不検出	0.39
	2	不検出	0.38
	3	不検出	0.38
1 号 3-A 西	1	1.84±0.13	0.35
	2	1.80±0.14	0.38
	3	2.01±0.14	0.37
2 号 1-A 西	1	不検出	0.34
	2	不検出	0.35
	3	不検出	0.35

*1：測定値は試料の採取日時を考慮し減衰補正した。

*2：1,000Bq/m³=1Bq/L

(iii) 主なパラメータの結果への感度

今回の評価条件では結果への感度が高いパラメータは実効拡散係数及びポーラスコンクリート浸入水量であり、感度の小さいパラメータはひび割れ割合であった。ポーラスコンクリート浸入水量(排水量)の実績と計算の条件の関係は、結果に対し、実績の排水量が少ない場合は、負の相関(値が大きくなる)がある。今回の計算では $30\text{m}^3/\text{y}$ としたが、現状の排水実績は $1\text{m}^3/\text{y}$ 以下であることから、今回の計算どおりにドラム缶の蓋部からの放射性物質が漏出したとすると、実績の放射能濃度は 30 倍以上の感度で計測されると考える。

セメント系充填材の性能について

目 次

1. 概要.....	1
2. セメント系充填材の要求性能.....	1
3. 要求性能に基づく仕様(配合).....	1
4. セメント系充填材の充填性.....	3
(1) 充填性確認結果.....	3
5. セメント系充填材表面ひび割れの調査.....	5
(1) 1号3-A埋設設備における確認状況.....	6
(2) 2号6-B埋設設備における確認状況.....	7
6. セメント系充填材に発生するひび割れについて.....	9
(1) ひび割れ発生要因分析.....	9
(2) ひび割れ発生確率評価.....	12
7. 混和材選定について.....	14
(1) 膨張材について.....	14
(2) 結合材料について.....	14
8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験.....	15
(1) 実施概要.....	15
(2) セメント系充填材打設に伴う温度測定.....	16
(3) セメント系充填材におけるひび割れ調査.....	18
(4) セメント系充填材の物性試験結果.....	19
(5) 模擬埋設設備のひずみ測定結果.....	23
9. ドラム缶フロー試験.....	24
10. まとめ.....	25

1. 概要

本資料では、セメント系充填材が有する性能について説明する。

セメント系充填材は、雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するために設置するものであり、有害な空隙が生じないように充填性に配慮する。また、セメント系充填材硬化後の温度応力によるひび割れの発生を抑制するため、低発熱型配合の仕様とする。

1号操業当初から、これらを配慮した充填材料として中庸熟ポルトランドセメント10%、高炉スラグ90%とした配合のモルタルを使用している。

上記のセメント系充填材は、廃棄体間の狭隘部にも充填され、廃棄体表面にも密着し、ひび割れが発生し難いことから、水が廃棄体に容易に接触することはない。

実際の埋設設備において打設表面にひび割れが確認されているが、発生しているひび割れは表面付近の限定的なものであり、内部は密実に充填されている。

2. セメント系充填材の要求性能

雨水及び地下水が廃棄体に接触することを抑制するため、有害な空隙を生じないように充填性に配慮した設計とする。

また、ひび割れにより充填部の透水性の増加が考えられることから、ひび割れを抑制するため、低発熱型の配合とした設計とする。

3. 要求性能に基づく仕様(配合)

現在使用しているセメント系充填材の配合を第1表に示す。

第1表 セメント系充填材の配合

水・ 結合 材比 W/C %	砂・ 結合 材比 S/C	単 位 量 (kg/m ³)							
		水 W	結 合 材 C		細 骨 材 S		混 和 剤		
			中 庸 熱 ポルトランド セメント	高 炉 スラグ 微粉末	砕 砂	陸 砂	水 中 不 分 離 性 混 和 剤	AE 減 水 剤	高 性 能 減 水 剤
67.1	3.47	283	422		1466		1.5	0.844	6.33
			42	380	440	1026			

*1：混和剤及び細骨材の混合比は品質確認試験結果等により微調整を行う。

*2：充填性確保のため、スランプフローを75cm±10cmとする。

過去に以下のような配合変更があるが、中庸熱ポルトランドセメント10%、高炉スラグ90%という配合に変更はない。

- ①膨張材使用の取りやめ(1号3群以降)
- ②AE減水剤の添加量増加
- ③水中不分離性混和剤の変更

4. セメント系充填材の充填性

セメント系充填材の充填性については、流動性としてスランプフローで管理を行っている。スランプフローによる充填性の管理について、実規模の充填試験結果から確認した。

また、充填性の検討として、ドラム缶フロー試験も実施されている（「9. ドラム缶フロー試験」参照）。

(1) 充填性確認結果

原子力環境整備センターで実施した充填性確認試験結果⁽¹⁾を示す。この試験で用いたセメント系充填材の配合を第2表に示す。

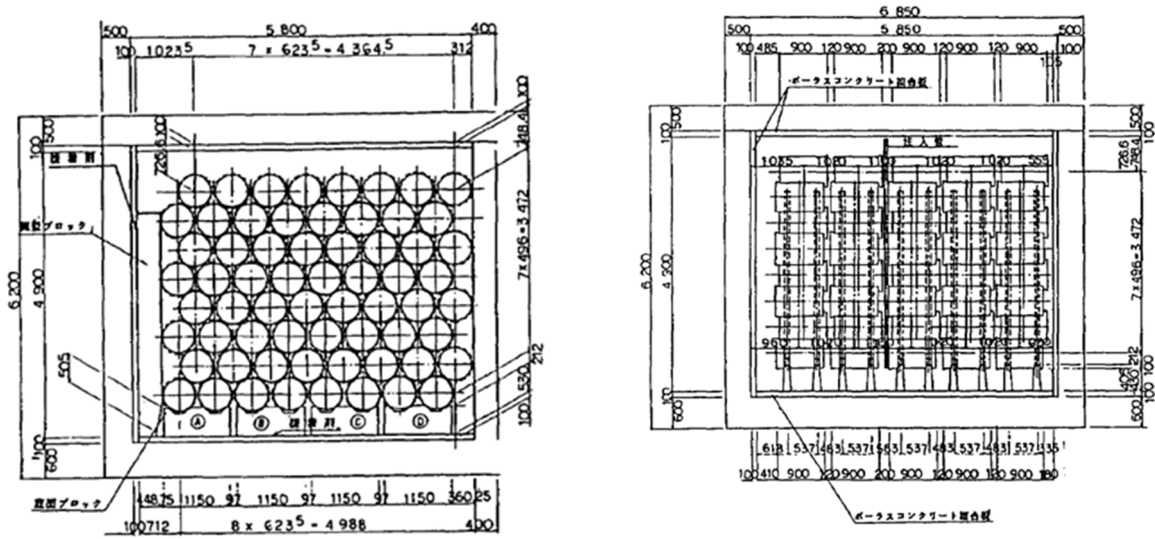
実際の埋設設備とほぼ同様の配合を用いている。

第2表 充填性確認試験におけるセメント系充填材の配合⁽²⁾

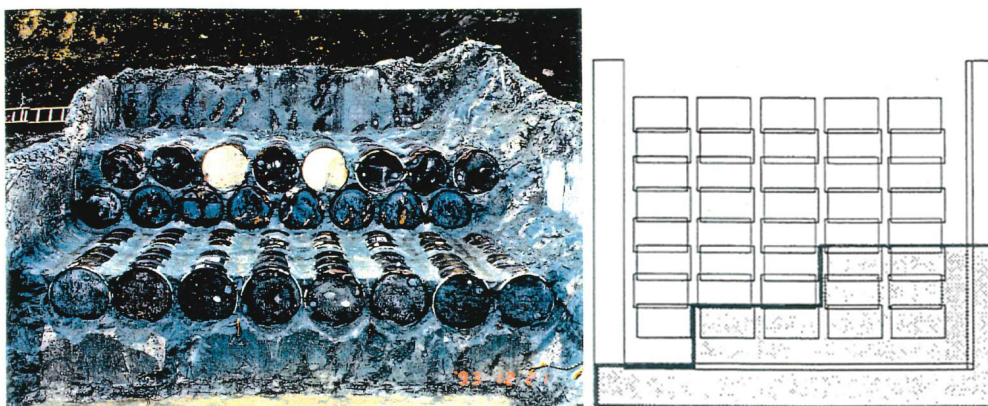
水 結合 材比 (%)	砂 結合 材比	スランプ フローの 範囲 (cm)	単位量 (kg/m ³)						
			水	砂	結合材		混和剤		
					セメント *1	膨張材	水中不 分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
72.3	3.24	72.5±2.5	305	1367	397	25	1.5	結合材 重量の 0.1%	結合材 重量の 1.5%

*1：セメントは中庸熟ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%

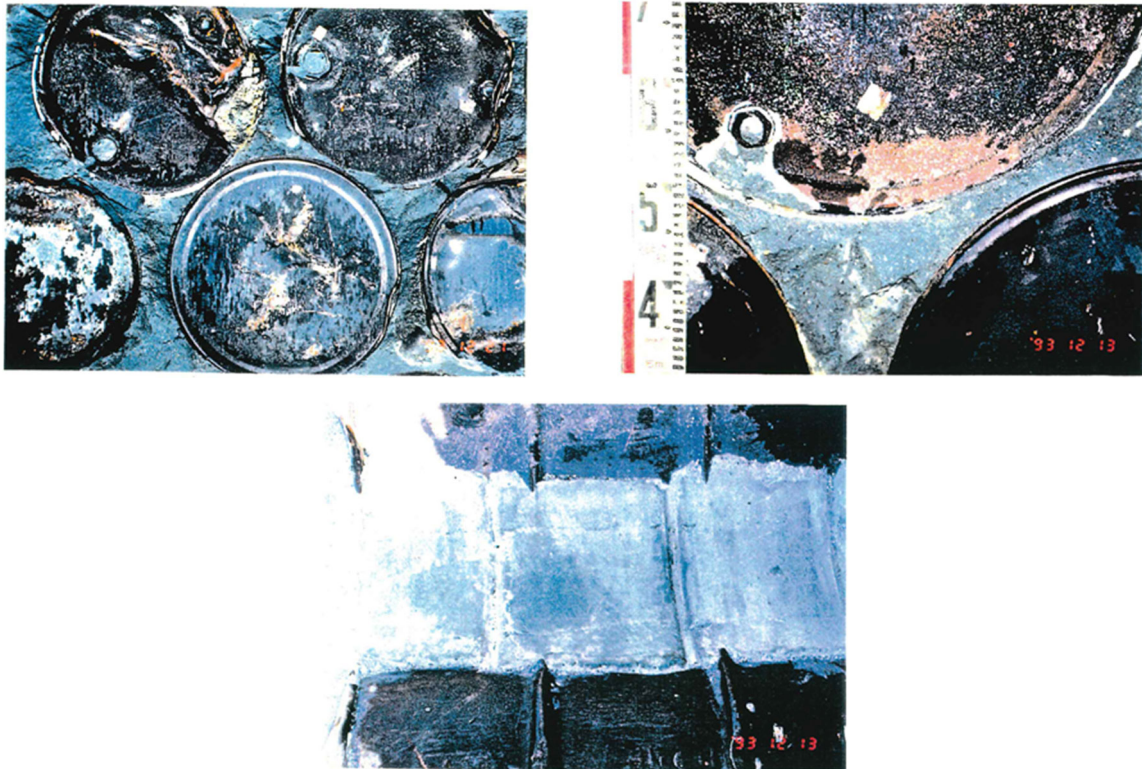
模擬埋設設備により、充填材硬化後に試験設備を解体調査し、充填状況確認を行った結果、廃棄体間の狭隘部であっても十分に充填できており、模擬廃棄体と十分に密着していることが確認されている（第1図、第2図及び第3図）。



第 1 図 模擬埋設設備断面図⁽²⁾ (単位:mm)



第 2 図 模擬埋設設備解体状況図⁽¹⁾



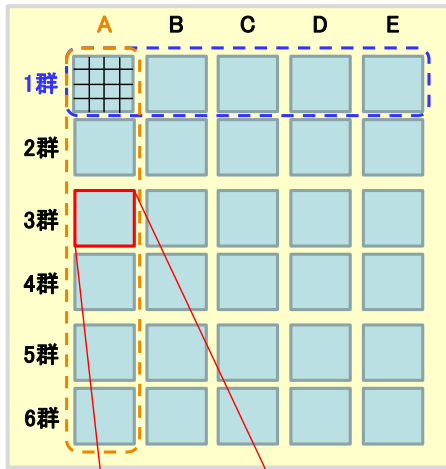
第3図 充填状況確認⁽¹⁾
(模擬埋設設備の解体による充填性確認)

5. セメント系充填材表面ひび割れの調査

一部の埋設設備のセメント系充填材上部表面でひび割れの調査を行っている。調査対象を第4図に示す。

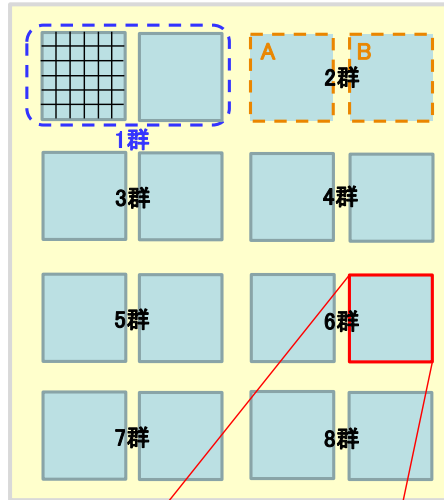
充填後のセメント系充填材の上部表面に生じるひび割れは少ないことを確認している。

1号



a	e	i	m
b	f	j	n
c	g	k	o
d	h	l	p

2号



1a	2a	3a	4a	5a	6a
1b	2b	3b	4b	5b	6b
1c	2c	3c	4c	5c	6c
1d	2d	3d	4d	5d	6d
1e	2e	3e	4e	5e	6e
1f	2f	3f	4f	5f	6f

第4図 セメント系充填材上部表面調査対象

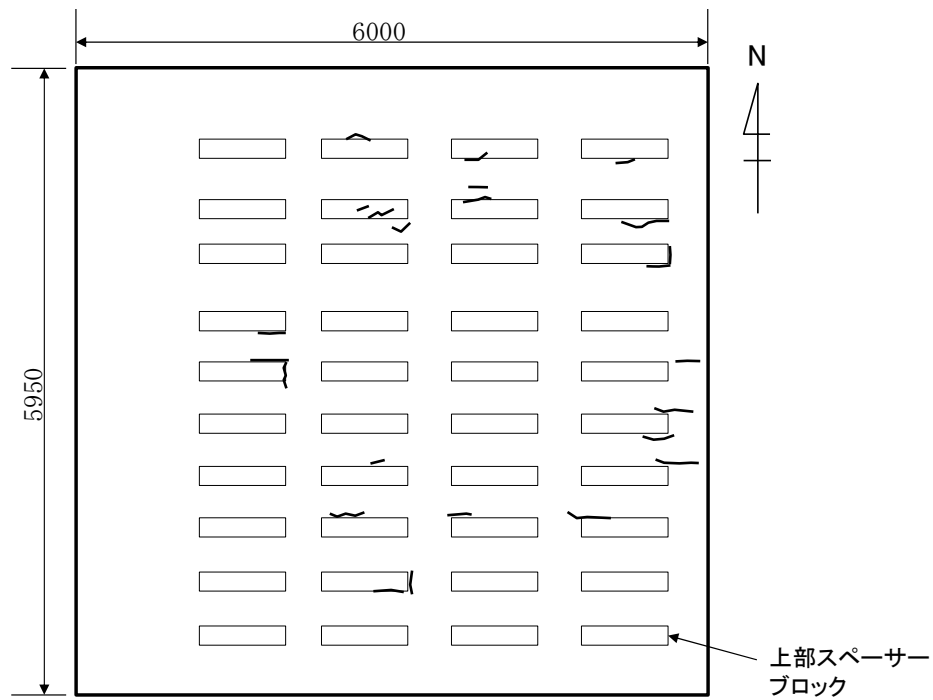
(1) 1号 3-A 埋設設備における確認状況

1号 3-A 埋設設備 a 区画におけるひび割れ調査結果を第5図に示す。

調査対象 : 1号 3-A 埋設設備 a 区画

セメント系充填材打設日 : 1995年7月18日

調査日 : 打設後83日



(単位:mm)

第5図 1号3-A埋設設備a区画ひび割れスケッチ図

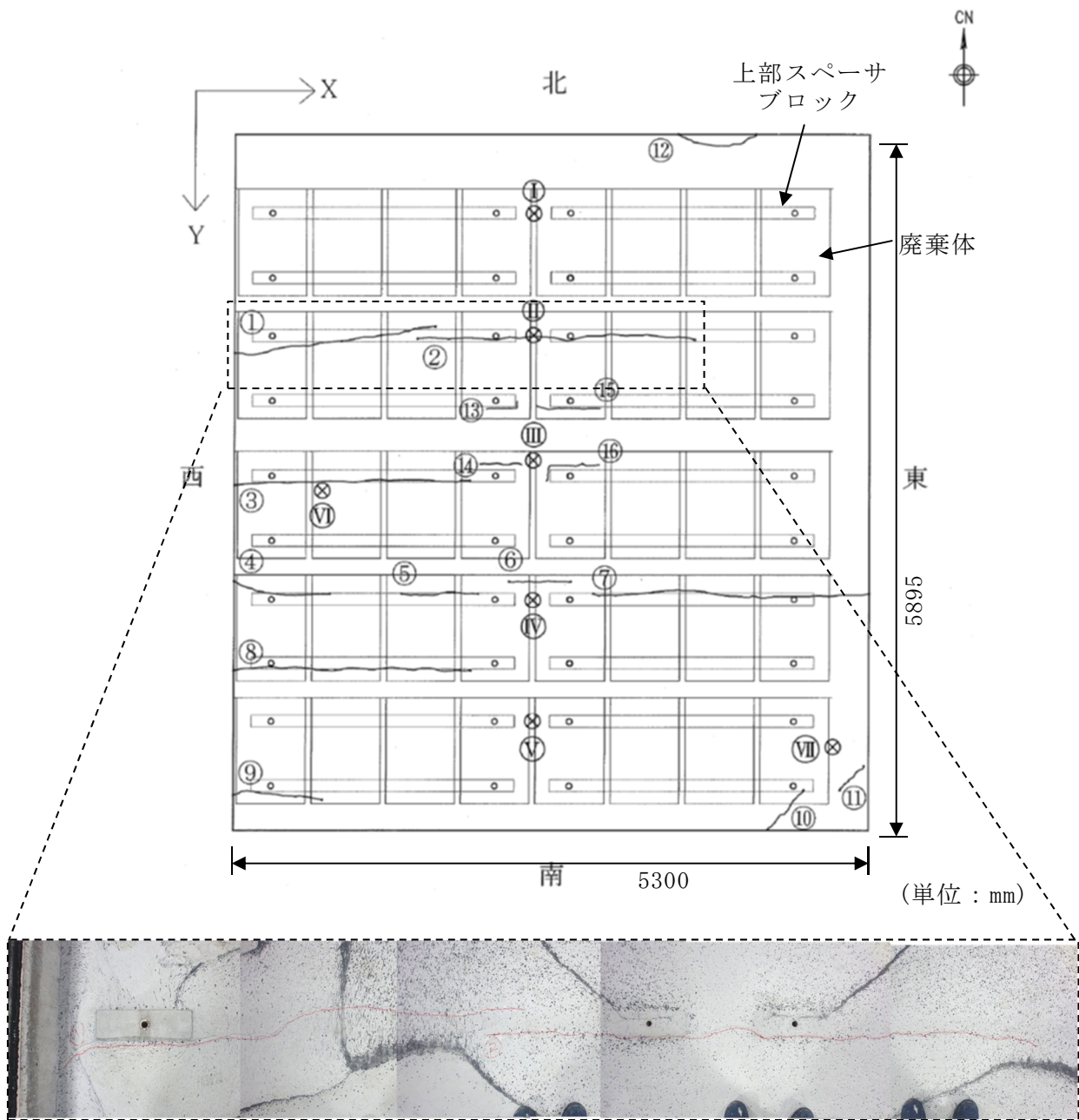
(2) 2号6-B埋設設備における確認状況

2号6-B埋設設備4a区画におけるひび割れ調査結果を第6図に示す。

調査対象 : 2号6-B埋設設備4a区画

セメント系充填材打設日 : 2018年6月20日

調査日 : 打設後310日



第6図 2号6-A埋設設備4a区画ひび割れスケッチ及び写真

6. セメント系充填材に発生するひび割れについて

(1) ひび割れ発生要因分析

充填材に発生するひび割れの主な要因は以下のとおりと推定する。

- ①モルタルの沈下・ブリーディング
- ②硬化時の塑性流動変形
- ③セメントの水和熱
- ④モルタルの乾燥収縮(自己収縮)

以下、実際の埋設設備及び模擬埋設設備(「8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験」参照)の調査結果からひび割れの発生要因について考察する。

(i) モルタルの沈下・ブリーディング

コンクリート打設後に生じるブリーディングや沈降が、鉄筋や型枠、部材形状によって留められる部分から不均一になったとき、沈み込みの続く部分が引張力として作用し、その作用起点からひび割れが発生する。発生時期はブリーディングの経過によるものであるため、数時間～1日程度である。

一般に、単位水量が少なくブリーディングの少ないコンクリートを用いることでひび割れの発生を抑制できる。

模擬埋設設備の観察結果において、上記の形態のひび割れ(上部スペーサブロックに沿ったひび割れ)は確認されなかった。セメント系充填材の配合がノンブリーディングであり、十分な充填性を有しているため、模擬埋設設備の打ち込み高さでは、沈下・ブリーディングによる影響は少ないと考える。

実際の埋設設備においては、模擬埋設設備と比較し、打ち込み高さが約5倍となることからひび割れの発生確率が高くなる傾向にある。実際の埋設設備では、上部スペーサブロックに沿ったひび割れが生じているが、ノンブリーディング配合であることから、上部表面から最上段の廃棄体までに到達せず、表面に限定的なひび割れと推察される。

(ii) 硬化時の塑性流動変形

硬化時の塑性流動変形に伴うひび割れとは、コンクリートが硬化しつつある状態で、表面の不陸等の傾斜を流下する際に、塑性流動変形が拘束されることにより、ひび割れが発生するものである。発生時期は、コンクリートが凝結しつつある時間であるため、数時間～1日程度である。

模擬埋設設備では、上部スペーサブロック固定用鉄筋から放射状に伸びた形のひび割れが確認されている。樹脂注入によるひび割れ深さを測定した結果、材齢 28 日で 4cm、材齢 91 日で 6cm であった。この要因によるひび割れ深さは、不陸高さの数倍程度であり、表面近傍の深さのひび割れと考えられる。

実際の埋設設備においても、この要因と考えられる、上部スペーサブロック近傍のひび割れが確認されているが、上記の理由から表面のみに発生したひび割れと考える。

(iii) セメントの水和熱

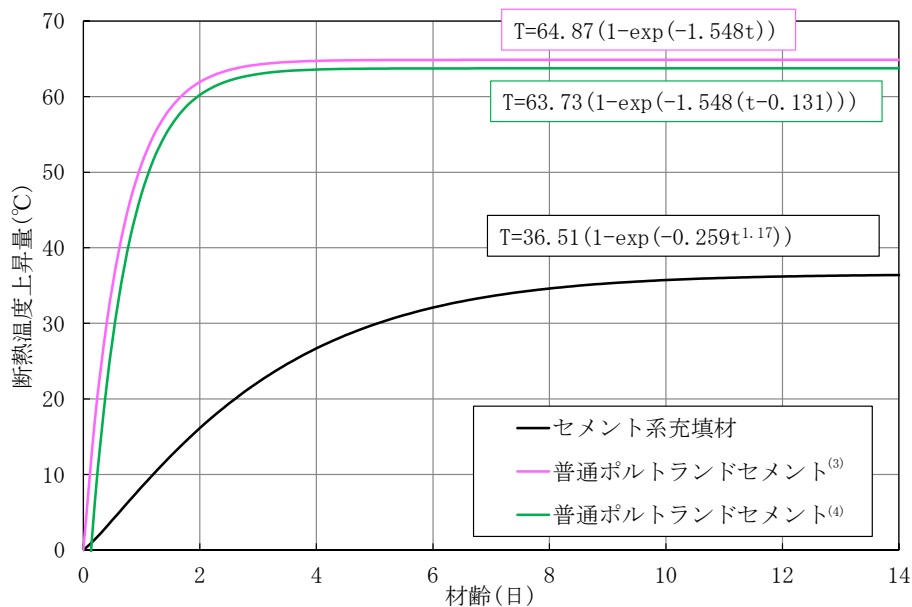
セメントの水和熱に伴うコンクリートの温度上昇又は温度低下による部材の自由変形が拘束されると、内部拘束応力及び外部拘束応力が生じ、これらの引張応力により温度ひび割れが発生する。ひび割れ発生には、セメント水和熱による温度上昇がピークに達した後の温度低下の速度と量が影響する。

発生時期は、セメントの水和に伴う温度上昇及び温度降下の期間に応じ、数日程度である。

一般に、低発熱配合を使用することや部材寸法によって温度の増減を小さくすることでひび割れの発生を抑制する。

模擬埋設設備及び実際の埋設設備においては、セメントの水和熱を起因とするひび割れは確認できなかった。

セメント系充填材は低発熱型の配合とすることにより、ひび割れ発生の抑制が図られている。第 7 図に示すように、同一単位セメント量の一般的な普通ポルトランドセメントと比較して極めて小さい発熱傾向を示す。



「コンクリート標準示方書(設計編)」⁽³⁾及び

「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」⁽⁴⁾から算出

第7図 セメント系充填材の断熱温度上昇量比較

また、模擬埋設設備(第9図)において実施した模擬埋設設備内部での温度測定結果(第4表)では、平均温度降下量は9.6°Cである。

模擬埋設設備において、温度降下量が小さかった要因は、埋設設備内部に定置された廃棄体による熱の吸収が考えられる。このような現象は、原子力環境整備センターによる実証試験⁽²⁾においても確認されており、実際の埋設設備においてセメント系材料の水和熱を起因としたひび割れの発生可能性は小さい。

模擬埋設設備で計測した平均温度降下量(9.6°C)から、材齢28日での温度応力によるひび割れ発生確率について評価を行う。

一般的にコンクリートの熱膨張係数は $10 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ とされていることから、温度収縮ひずみは 96×10^{-6} と算出される。保守的に完全拘束されたとし、温度収縮ひずみ=拘束ひずみとする。

静弾性係数を $155,667 \text{ kgf/cm}^2 (15,266 \text{ N/mm}^2)$ (第6表)とすると、そのときの発生応力は $14.9 \text{ kgf/cm}^2 (1.47 \text{ N/mm}^2)$ となる。

材齢28日の引張強度が $18.0 \text{ kgf/cm}^2 (1.77 \text{ N/mm}^2)$ (第6表)のとき、 $18.0/14.9 \approx 1.2 (1.77/1.47 \approx 1.2)$ であることから、ひび割れ発生確率は低いと考えられる。

(iv) モルタルの乾燥収縮(自己収縮)

コンクリート表面からの水分蒸発による乾燥収縮やセメント成分の効果に伴う自己収縮が生じ、周囲により拘束されることで、引張応力が生じひび割れが発生する。

打設時期や部材寸法により異なるが、一般に数週間で発生する。

一般に乾燥収縮や自己収縮に配慮した配合とすることでひび割れ発生抑制対策を図る。

セメント系充填材の室内試験結果では、乾燥収縮(91日)760 μ 、自己収縮(58日)343 μ である(第13図及び第7表)。しかし、模擬埋設設備に埋め込んだひずみ計によるひずみ結果は200 μ m以下である。廃棄体や模擬埋設設備壁面による拘束により実際のひずみは抑制されるが、中心部に比べて、上部表面は拘束がなくひずみが発生しやすい。

このように表面では、乾燥収縮によりモルタルの引張強さを超えると、ひび割れの発生が考えられる。

乾燥収縮によるひび割れの進展・拡張についても、表面で生じる現象であることから、廃棄体までひび割れが進展することは考え難い。

(2) ひび割れ発生確率評価

模擬埋設設備におけるひずみ測定結果からひび割れ発生確率を評価する。

模擬廃棄体を3行7列2段配置する模擬埋設設備(第9図参照)にて充填試験を実施した。セメント系充填材は、第3表に示すものを用いた。

ひずみ計の設置位置を第10図に、基本物性試験結果を第6表に、ひずみ測定結果を第15図に示す。

ひび割れ指数は引張強度を測定したひずみから算出した応力で除することで算出する。

なお、算出に当たって、圧縮強度、引張強度、ヤング係数は第1式、第2式、第3式及び第4式を用いて回帰した。

ひび割れ指数の算出結果を第8図に示す。

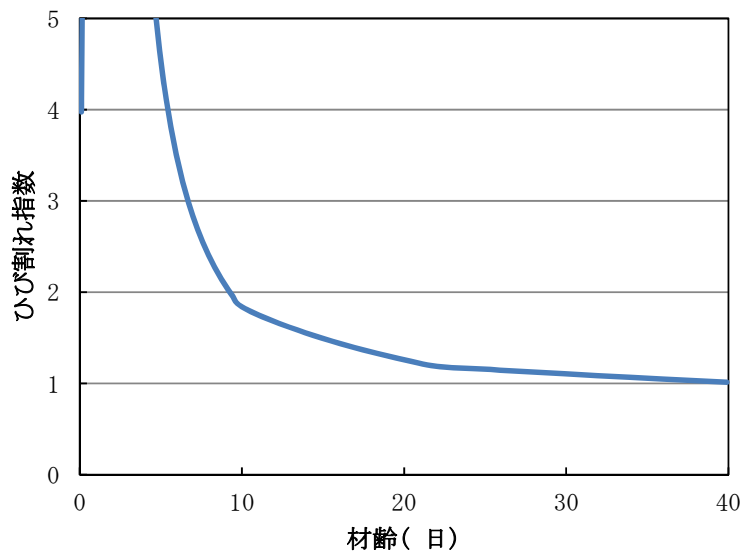
$$f_c'(t) = \frac{t}{a + bt} f_c'(n) \quad \text{第 1 式}$$

$$f_t(t) = C_1 \times f_c'(t)^{C_2} \quad \text{第 2 式}$$

$$E_c(t) = C_3 \times f_c'(t)^{C_4} \quad \text{第 3 式}$$

$$E_e(t) = \varphi \times E_c(t) \quad \text{第 4 式}$$

- ここに、
- $f_c'(n)$: 時刻 n の圧縮強度 (N/mm²)
 - $f_t(n)$: 時刻 n の引張強度 (N/mm²)
 - $E_c(n)$: 時刻 n のヤング係数 (N/mm²)
 - $E_e(n)$: 時刻 n の有効ヤング係数 (N/mm²)
 - $\varphi(n)$: 時刻 n の補正係数
 - (最高温度に達するまでの有効材齢=0.42)
 - (最高温度に達した有効材齢+1日以降=0.65)
 - a, b, C_1, C_2, C_3, C_4 : 係数
 - t : 時刻 (日)



第 8 図 模擬埋設設備におけるひび割れ指数 (②中段 NS)

以上の結果から、セメント系充填材のひび割れ指数は最小で1であり発生確率としては50%となる箇所が存在することを確認した。

したがって、セメント系充填材にある程度のひび割れは生じるものの、全体に水の移動が容易となるひび割れが発生するとは考えられず、セメント系充填材に要求されるひび割れ抑制は達成されており、漏出防止機能を確保できると判断した。

7. 混和材選定について

(1) 膨張材について

セメント系充填材に要求する充填性の確保について、模擬埋設設備を用いて十分に充填できることを確認して配合を選定している。

1:9配合の膨張材を用いない場合のセメント系充填材のひび割れ発生状況については、「6. セメント系充填材に発生するひび割れについて」に示すように、模擬埋設設備による試験で多量のひび割れが発生しないことを確認している。

改善配合(3:7配合)では、膨張材の使用を予定しており、3:7配合においても模擬埋設設備を用いた試験で多量のひび割れが発生しないことを確認している(参考資料4「セメント系充填材の配合選定経緯について」参照)。

(2) 結合材料について

充填性の確保の観点では、充填性を担保する流動性及び材料分離抵抗性について、原子力環境整備センターの実証試験及び当社の配合選定試験によって、高炉スラグを用いた2成分系及びフライアッシュを用いた3成分系に大きな差はないことが確認されている。

ひび割れ抑制の観点では、高炉スラグを用いた場合には、フライアッシュを用いた場合に対して、収縮によるひび割れ発生可能性で不利な点がある。ひび割れへの影響については、模擬埋設設備を用いた確認試験を行っており、漏出防止機能が確保できなくなるような多くのひび割れは確認されていない(「6. セメント系充填材に発生するひび割れについて」及び参考資料4「5. 新配合充填材実証試験」参照)。

安全性の確保の観点では、セメント系充填材の充填以降は、その上部のポーラスコンクリート層及び覆いを早期に設置することで、漏出防止機能全体としてのシステムを形成し安全性を向上させることが望ましい。高炉スラグを用いた場合には、

フライアッシュを用いた場合に対して、強度発現が早いことで施工工程の進行に有利であり、安全性の確保に寄与する。

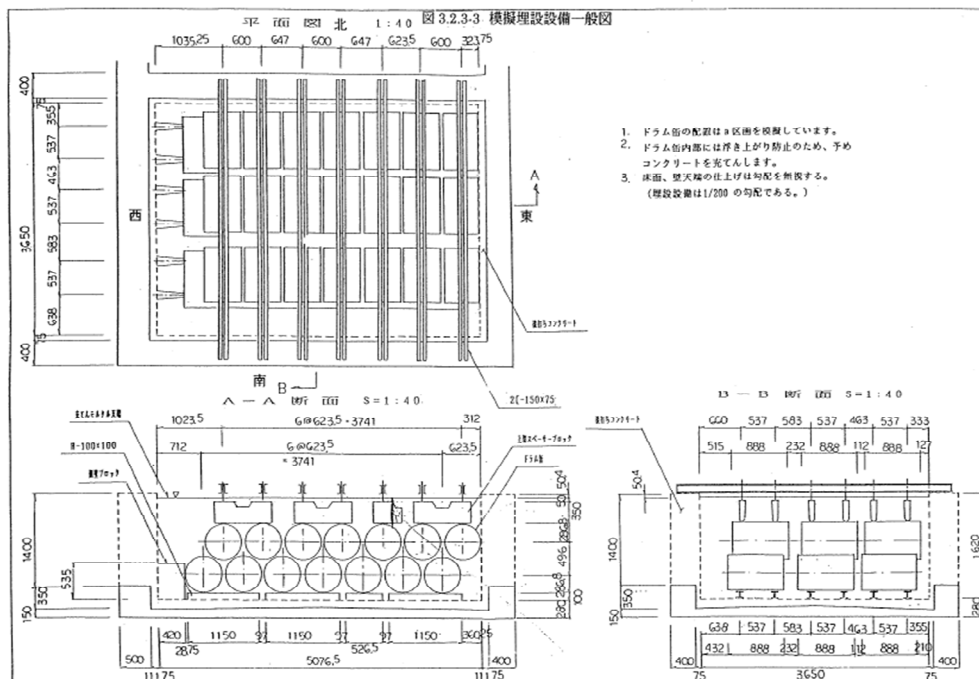
したがって、セメント系充填材に用いる結合材料の選定に当たっては、強度発現特性から安全性の確保に有利な高炉スラグを用いることとしている。

8. 中規模模擬埋設設備による充填確認試験

(1) 実施概要

模擬埋設設備内に模擬廃棄体を3行7列2段配置する中規模模擬試験を実施した(第9図参照)。区画の形状は1号埋設設備のうちa区画(セメント系充填材の層40cmを2面に設置)を模擬した。

セメント系充填材は、第3表に示すものを用いた。



第9図 模擬埋設設備平面図及び断面図

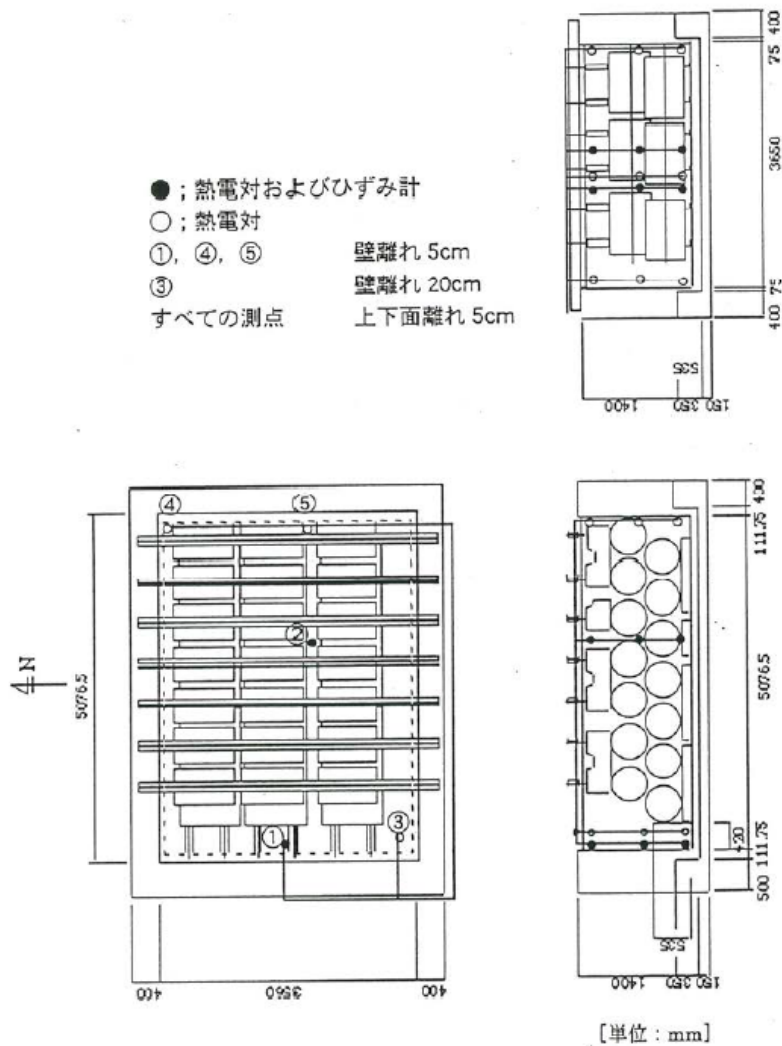
第3表 セメント系充填材の配合

水 結合 材比 (%)	砂 結合 材比	スランプ フローの 目標 (cm)	単位量 (kg/m ³)					
			水	砂	セメント *1	混和剤		
						水中不 分離性 混和剤	AE 減水剤	高性能 減水剤
67.1	3.46	75	283	1462	422	1.5	結合材 重量の 0.1%	結合材 重量の 1.25%

*1：セメントとは、中庸熟ポルトランドセメント 10%、高炉スラグ 90%

(2) セメント系充填材打設に伴う温度測定

熱電対を用いて、セメント系充填材の打設に伴う模擬埋設設備内部の温度変化を計測した。温度測定位置を第10図に、温度測定結果を第4表に示す。



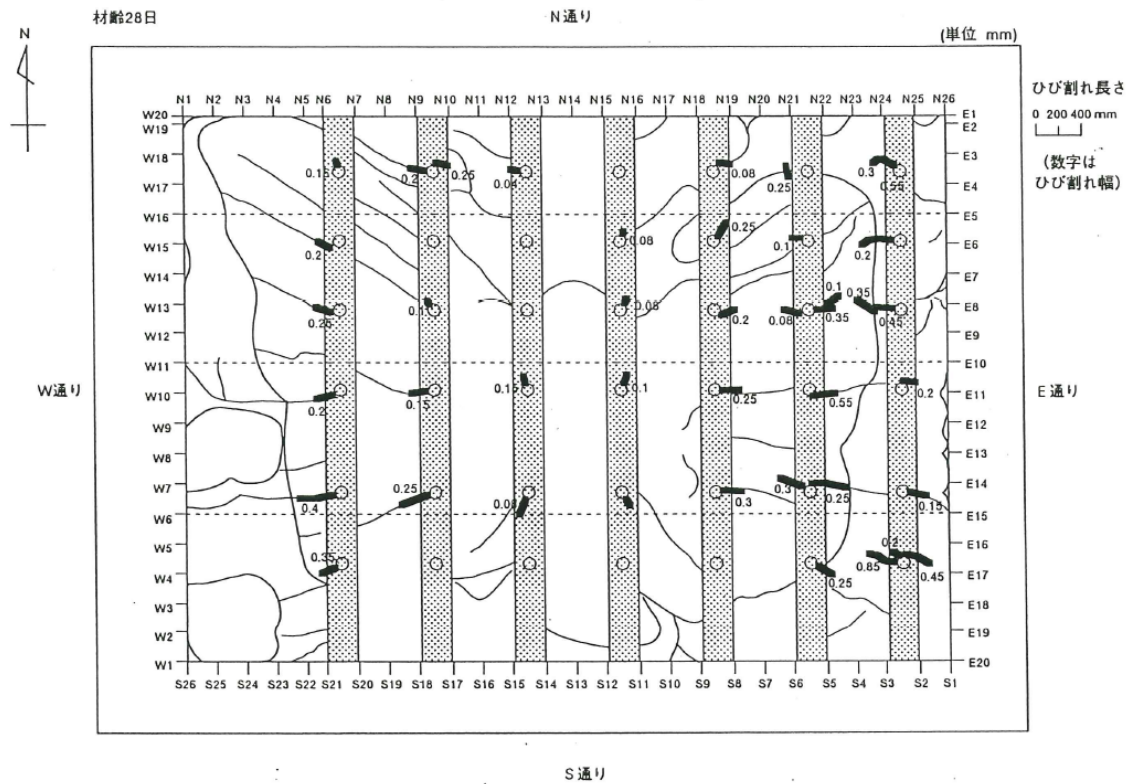
第 10 図 温度測定位置

第 4 表 平均温度降下量

測定位置	①	①	①	②	②	②	③	③	③	④	④	④	⑤	⑤	⑤
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
最大値(℃)	30.9	35.5	29.1	33.1	37.4	32.0	32.1	37.8	30.2	29.8	30.6	26.8	30.9	33.6	29.7
最終温度データ(℃)	22.8	21.9	21.3	23.4	24.0	23.3	23.7	21.9	21.0	23.3	21.6	20.4	23.5	21.9	21.3
温度降下量(℃)	8.1	13.6	7.8	9.7	13.4	8.7	8.4	15.9	9.2	6.5	9.0	6.4	7.4	11.7	8.4
平均温度降下量(℃)	9.6														

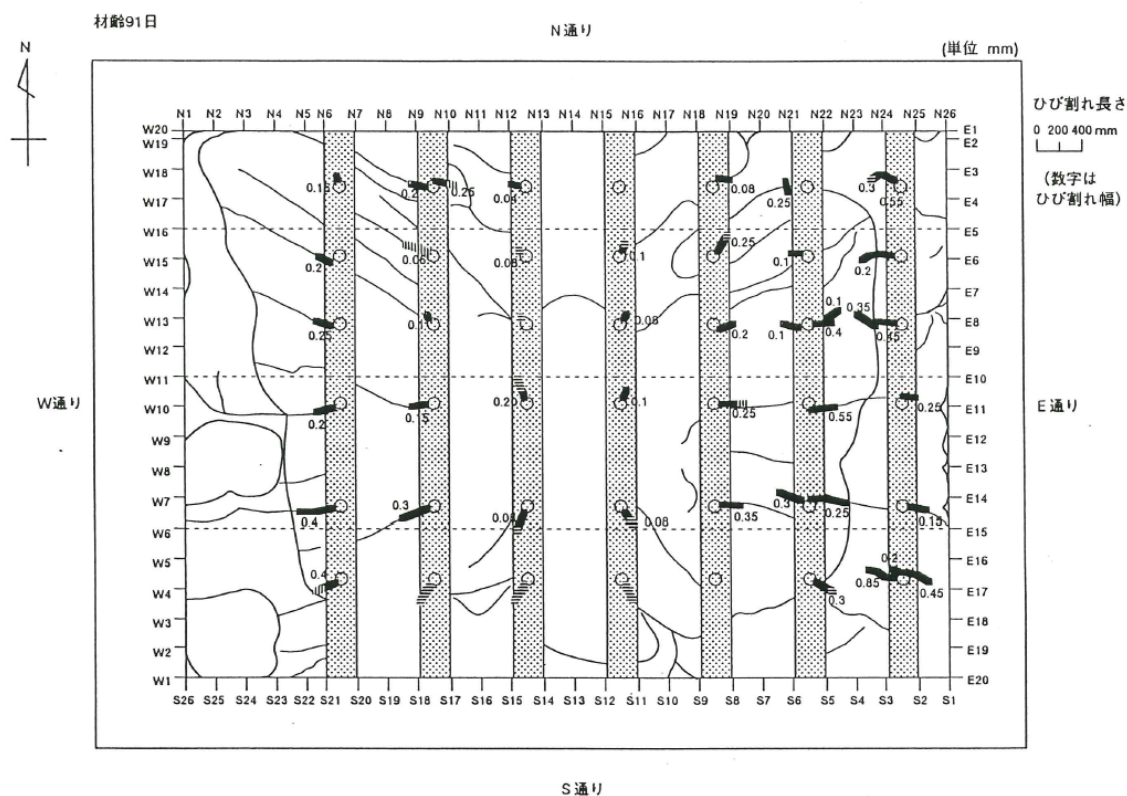
(3) セメント系充填材におけるひび割れ調査

模擬埋設設備におけるセメント系充填材上部のひび割れ調査結果を第 11 図及び第 12 図に示す。セメント系充填材上部表面におけるセメント系充填材と上部スペーサブロックの界面のひび割れは確認できず、セメント系充填材打設位置を中心に、上部スペーサブロックを固定する鉄筋位置から放射状に発生している。



*1：太線がひび割れを示す。細線は打設時に認められた表面のしわ等の模様を示す。

第 11 図 材齢 28 日での上部表面ひび割れ調査結果



*1 : 太線がひび割れを示す。細線は打設時に認められた表面のしわ等の模様を示す。

第 12 図 材齢 91 日での上部表面ひび割れ調査結果

(4) セメント系充填材の物性試験結果

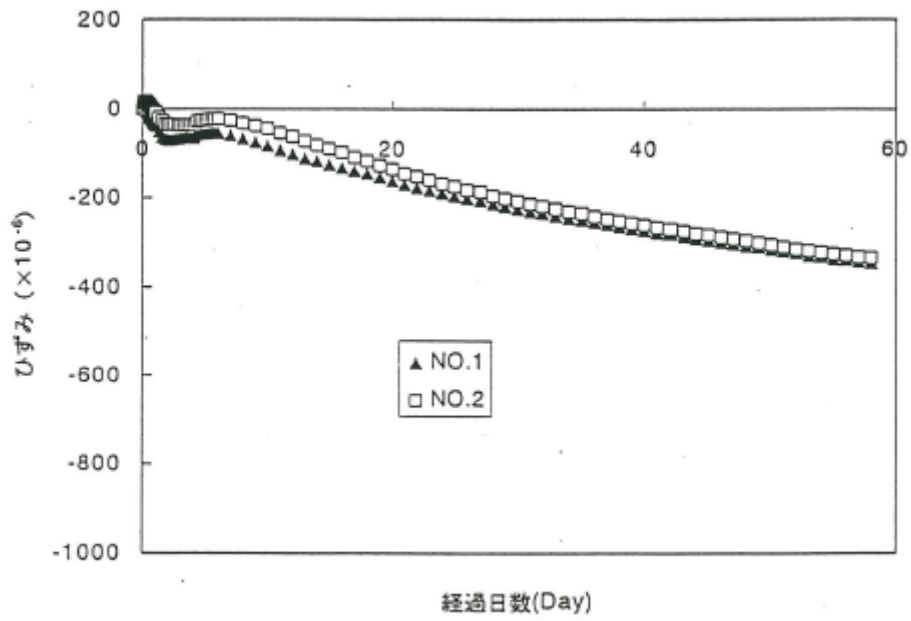
第 3 表に示す配合にて、第 5 表に示す各試験を実施した。基本物性として、圧縮強度、引張強度及び静弾性係数、充填性に係るフレッシュ性状としてスランプフロー、凝結硬化速度及びブリーディング、ひび割れに係る性状として、自己収縮、乾燥収縮及び断熱温度上昇量に係わる試験を実施した。各試験の結果を第 13 図、第 14 図、第 6 表、第 7 表、第 8 表に示す。なお、ブリーディングについては、発生しなかった。

第 5 表 試験項目

試験項目	摘要
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠 材齢 3, 7, 14, 28, 91 日で実施
引張強度	JIS A 1113 に準拠 圧縮強度試験と同材齢で実施
静弾性係数	土木学会基準（案）に準拠 圧縮強度試験と同材齢で実施
自己収縮	JCI 高流動コンクリートの自己収縮試験方法（仮称） に準拠
乾燥収縮	JIS A 1129 に準拠
断熱温度上昇量	空気循環式測定器により測定
凝結硬化速度	JIS A 6204 に準拠
ブリーディング	JIS A 1123 に準拠

第 6 表 基本物性試験結果

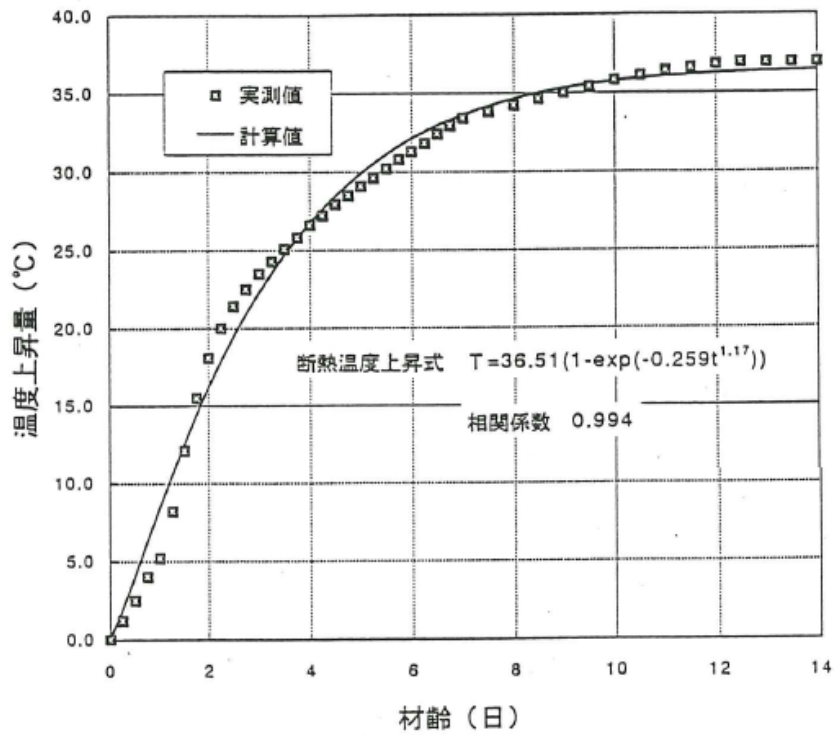
項目	材齢（日）				
	3	7	14	28	91
圧縮強度 kgf/cm ² (N/mm ²)	27.8 (2.73)	69.7 (6.84)	100.0 (9.81)	143.3 (14.05)	219.3 (21.5)
静弾性係数 kgf/cm ² (N/mm ²)	47,000 (4,609)	86,000 (8,434)	107,667 (10,559)	155,667 (15,266)	208,333 (20,430)
引張強度 kgf/cm ² (N/mm ²)	3.2 (0.31)	8.0 (0.78)	11.8 (1.16)	18.0 (1.77)	23.4 (2.29)



第 13 図 自己収縮試験結果

第 7 表 乾燥収縮試験結果

	1 週	4 週	8 週	3 ヶ月
乾燥収縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)	223	540	735	760



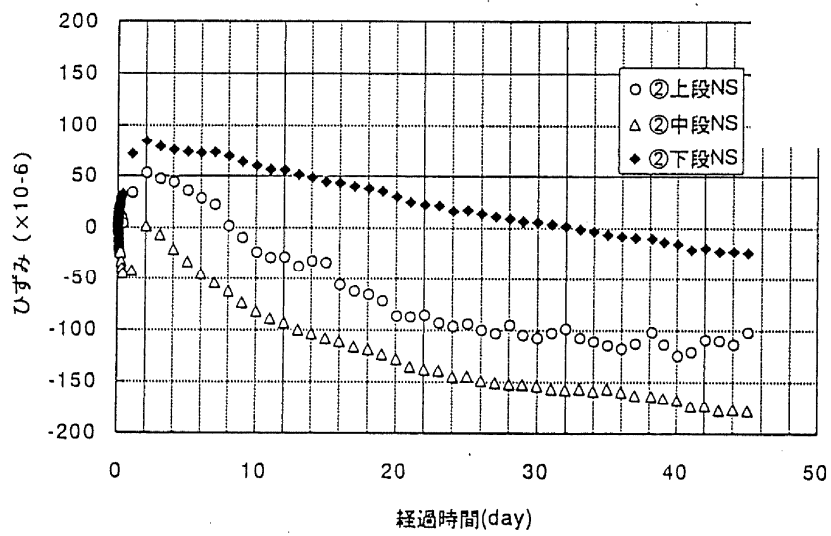
第 14 図 断熱温度上昇量試験結果

第 8 表 フレッシュ性状試験結果

スランブ フロー (cm)	モルタル 温度 (°C)	空気量 (%)	単位体積重量 (kg/m ³)	凝結時間	
				始発	終結
				時・分	時・分
76.5×76.0	20.1	2.6	2185.1	23・30	45・30
78.0×78.0	20.3	3.4	2152.5		

(5) 模擬埋設設備のひずみ測定結果

模擬埋設設備に対して、ひずみ測定を実施した。第1図に示すひずみ測定箇所のうち、最大箇所のひずみ測定結果を第15図に示す。



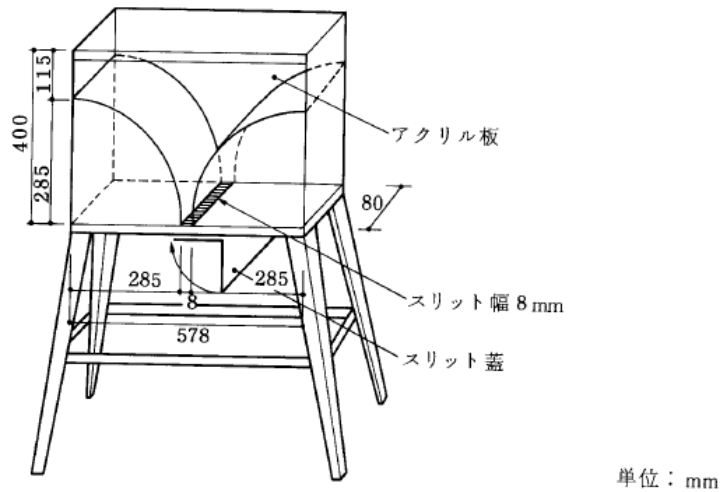
第15図 ひずみ測定結果 (最大箇所)

9. ドラム缶フロー試験

埋設設備への充填性の検討として、ドラム缶フロー試験により、ドラム缶同士の隙間を流動し、充填できることを確認する（第 16 図参照）。

原子力環境整備センターで実施したドラム缶フロー試験結果⁽⁵⁾を第 9 表、第 10 表及び第 11 表に示す。

実際の埋設設備で用いる配合と若干異なるものの、同様の傾向を示すものであり、スランプフローを管理することで、ドラム缶間等の狭隙部を通過できることを示すものである。



第 16 図 ドラム缶フロー試験装置

第 9 表 使用配合

W/C (%)	S/C (%)	単位量(kg/m ³)							
		水	普通 ポルト ランド セメント	高炉 スラ グ	膨 張 材	細 骨 材	水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤 (L/m ³)	高性能 減水剤 (L/m ³)
68.7	3.20	290	40	357	25	1350	1.50	1.69	4.22

第 10 表 試験結果⁽¹⁾

試験項目	練上り	1 時間	2 時間	3 時間	3 時間 低下量
スランプフロー (cm)	76×75	77×75	73×73	66×66	9.5
ドラム缶フロー (分, 秒)	46”	1’ 15”	1’ 18”	1’ 27”	41”

第 11 表 試験結果⁽²⁾

試験項目	試験結果	
空気量(%)	1.6	
練上り温度(℃)	22.6	
ブリーディング率(%)	0	
凝結(時間)	始発	終結
	20.5	29.5

10. まとめ

1号及び2号埋設設備の既に打設されたセメント系充填材を含め、セメント系充填材の要求性能は、充填性である。セメント系充填材は、配合の工夫、事前の試験及び打設後の確認から、有害な空隙を残さない十分な充填性を有していることを確認している。水みちとなるひび割れの発生についても、ある程度のひび割れは生じるものの、充填区画内部全体にわたって水の移動が容易となるひび割れが発生するとは考えられず、セメント系充填材に要求されるひび割れ抑制は達成されており、漏出防止機能を確保できると判断した。

以 上

参考文献

- (1) 財団法人 原子力環境整備センター(平成6年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成5年度
- (2) 財団法人 原子力環境整備センター(平成5年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成4年度
- (3) 土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)
- (4) 公益社団法人 日本コンクリート工学会(2016)：マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016
- (5) 財団法人 原子力環境整備センター(平成3年)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 平成2年度

セメント系充填材の配合選定経緯について

目 次

1. はじめに.....	1
2. 1号操業開始時における既往の知見.....	1
(1) 原子力環境整備センターによる検討状況.....	1
(2) 日本コンクリート工学協会の検討状況 ⁽¹⁾	43
(3) 既往の知見のまとめ.....	46
3. 現在のセメント系充填材の配合選定.....	47
(1) 配合選定の経緯.....	47
(2) 配合選定試験.....	47
(3) 配合選定試験まとめ.....	50
4. 新增設におけるセメント系充填材の配合改良.....	53
(1) 目的.....	53
(2) セメント系充填材に要求される品質項目.....	53
(3) セメント系充填材の改善配合検討.....	55
(4) セメント系充填材量改善配合の検討内容.....	57
(5) セメント系充填材改善配合の検討結果.....	60
5. 新配合充填材実証試験.....	66
(1) 目的.....	66
(2) 検討内容.....	66
(3) 試験方法.....	67
(4) 試験結果及び考察.....	69
(5) まとめ.....	76

1. はじめに

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である。そのため、放射性物質が埋設設備の内側にある状態に管理することを基本方針とする。

埋設設備は、外部からの水の浸入を極力防止し、埋設設備内を不飽和に維持することで内部からの漏えいを防止する。不飽和の状態を維持する対策として、排水・監視設備による導水に加え、セメント系充填材により、廃棄体内部への水の浸入や放射性物質の移行を抑制する。

したがって、廃棄体周りのセメント系充填材は、流動性を良くし充填性を上げ、廃棄体間の空隙を隙間なく充填するとともに、低発熱配合のセメント系充填材を選定し、温度応力によるひび割れを抑制する設計とする。

上記の要求を満足するセメント系充填材の配合の選定に当たり考慮した当時の知見及び新たに予定している配合の検討内容について説明する。

2. 1号操業開始時における既往の知見

(1) 原子力環境整備センターによる検討状況

低レベル放射性廃棄物の埋設設備に使用されるセメント系充填材に関する検討は、これまでに国中心としたプロジェクトで原子力環境整備センターによって、以下の研究が実施された。

昭和 58 年度～昭和 61 年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
昭和 62 年度～平成元年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
平成 2 年度～平成 5 年度通産省受託研究	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験
昭和 63 年度～平成 3 年度科学技術庁受託研究	低レベル放射性廃棄物最終貯蔵システム安全性実証試験

上記の研究のうち、科学技術庁受託研究では、「低レベル放射性廃棄物の埋設に関して、廃棄物埋設施設への廃棄体の定置、充填、覆土等の埋設が安全かつ確実に実施できること、また、埋設後における地下水のサンプリングが確実に実施できることを実証すること。」を目的としている。

一方で、通産省受託研究では、低レベル放射性廃棄物の埋設設備の設計から施工までの試験が室内試験とあわせて実規模サイズの模型試験まで実施されており、当時の技術に基づいて、埋設設備の各部材(外周仕切設備、セメント系充填材、ベントナイト混合土)までの試験が幅広く実施されている。そのため、現在のセメント系充填材(1:9モルタル)の選定プロセスを室内試験から模型サイズの実証試験まで系統的に実施されている通産省受託研究に基づいて、本資料では、技術的観点で選定プロセス及び充填性等の機能評価までを取りまとめた。

上記通産省の昭和58年度から平成5年度まで実施された研究の主な検討工程は第1表に示すとおりである。このうち、セメント系充填材に関する検討は昭和62年度から実施されているため、ここでは、昭和62年度から平成5年度までのセメント系充填材に関する検討の概略を第1表にまとめた。

第 1 表 昭和 58 年度～平成 5 年度までの低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験全工程

試験内容	年度	昭和 58 年度	昭和 59 年度	昭和 60 年度	昭和 61 年度	昭和 62 年度	昭和 63 年度	平成 元年度	平成 2 年度	平成 3 年度	平成 4 年度	平成 5 年度
1. 最適システムの設定												
2. モデル施設要素の設定												
3. モデル施設の設計・建設												
4. 設備の設計および製作												
5. 機能確認試験												
6. 安全性実証試験												
7. 総合システム・マニュアル作成												
(1) 受入検査装置の実証試験												
①受入検査システムの検討												
②受入検査システムの概念設計												
③モデル装置の製作												
④機能確認試験												
(2) 充填材安全性実証試験												
①充填材自動充填装置の実証試験												
a. 充填材自動充填装置の検討												
b. 充填材自動充填装置の設計・製作												
c. 機能確認試験												
②セメント系充填材試験												
a. セメント系充填材の検討												
b. 配合試験												
c. 充填試験												
d. 実規模試験												
(3) 総合実証試験												
(1) セメント系充填材実証試験												
① 自動充填装置の実証試験												
② セメント系充填材性能試験												
③ 充填システム総合実証試験												
(2) ベントナイト混合土実証試験												
① ベントナイト混合土配合試験												
② 混合システム選定試験												
③ 転圧システム選定試験												
④ 埋戻しシステム実証試験												
⑤ 長期安定性実証試験												
(3) ポーラスコンクリート実証試験												
① 基礎物性試験												
② 水質変化確認試験												
③ 目詰まり状況確認試験												
④ 通水機能確認試験												
⑤ 長期通水性能確認試験												

(i) 昭和 62 年度～平成元年度の検討概要

a. 昭和 62 年度検討成果の概要

(a) セメント系充填材仕様検討における基本的考え方

セメント系充填材の仕様検討は、以下の事項を考慮することとして開始された。

- ・材料的に安定していること。
- ・水和反応が緩やかで、長期に反応が持続する。
- ・化学的耐久性が大きい。
- ・水和熱が低く、分離抵抗性が大きい。
- ・流動性、充填性が良い。
- ・ブリーディング沈下が少ない。
- ・充填後の体積変化が少ない。

以上の事項を考慮したモルタルの仕様として、当時は土木学会コンクリート標準示方書(61年度制定、施工編)22章「プレパックドコンクリート」に準拠することが望ましいとされ、注入モルタルの施工実績のもっとも多い「本四架橋における注入モルタルの示方配合」(第2表参照)に基づいて、使用セメントを長期耐久性の観点から、低発熱型高炉セメントB種(スラグ量55%)80%+フライアッシュ20%(第3表参照)を基本設定として検討が開始された。

第2表 本四架橋における注入モルタルの示方配合例

粗骨材の範囲 最大 ～最小 (mm)	空隙率 (%)	流下時間 の範囲 (sec)	水結合材比		砂結合 材比 $\frac{S}{C+F}$	単 位 量 (kg/m ³)					
			$\frac{W}{C+F}$	$\frac{F}{C+F}$		水	セメント	フライア ッシュ	砂	混和 剤	A l 粉
			(%)	(%)	W	C	F	S	(g/m ³)	(g/m ³)	
150 ～ 80	50	17±2	48	20	1	391	652	163	815	8150	81.5

第3表 プレパックド方式による場合のセメント系充填材配合(案)

セメントの種類	流下時間 (sec)	W	F	S	単 位 量 (kg/m ³)				
		C+F (%)	C+F (%)	C+F	水 W	セメント C	フライア ッシュ F	砂 S	混和剤
低発熱型高炉セメント + フライアッシュ	19±2	50	20	1.1 ~ 1.4	370	592	148	814 ~ 1036	7.4

混和剤：プレパックドコンクリート用混和剤（ポゾリスGF630）

*1：セメントは低発熱型高炉セメントB種（スラグ量55%）

その後、予備試験の結果を踏まえ、配合選定条件としてフロー値、ブリーディング率及び膨張率を考慮し、第4表（配合A）、第5表（配合B）の2つの配合を設定することで、具体的なセメント系充填材の仕様検討が開始された。

第4表 セメント系充填材の示方配合(配合A)

水・結合材比 $\frac{W}{C+F}$	砂・結合材比 $\frac{S}{C+F}$	フロー (秒)	単 位 量 (kg/m ³)					
			水 W	セメント C	フライア ッシュ F	砂 S	混和剤	A ₁ 粉
47%	1.1	22 ± 2	376	640	160	880	1.6ℓ	0.12

*1：結合材：低発熱型高炉セメントB種(80%)+フライアッシュ(20%)

*2：細骨材：市原産（比重=2.63、吸水率=2.15、粗粒率=1.34）

*3：混和剤：ポゾリス No. 70、0.2L×(C+F)/100kg

*4：A₁粉末：山石金属社製 P300、(C+F)×0.015%

*5：配合A：配合選定条件

フロー値 22±2秒

ブリーディング率 3時間値で3%以下、最大値で4±1%以下

第 5 表 セメント系充填材の示方配合 (配合 B)

水・結合材比 W	砂・結合材比 S	単位量 (kg/m ³)						
		水 W	セメント C	フライアッシュ F	膨張材 CSA	砂 S	混和剤	Al 粉
C+F+CSA	C+F+CSA							
47 %	1.3	355	557	139	61	983	1.51ℓ	0.114

*1 : 混和剤 : ポゾリス No. 70、0.2L × (C+F) /100kg

*2 : Al 粉末 : 山石金属社製 P300、(C+F) ×0.015%

*3 : 膨張材 : 電気化学工業 CSA100R、C+F の 8%置換 (内割り)

*4 : 配合 B 配合選定条件

フロー値 30 秒以上

ブリーディング率 3 時間値で 3%以下

最大値で 4±1%程度

膨張率 300±100 μ

第 6 表及び第 7 表に示す試験を実施した。その結果、充填時のブリーディングにより、局部的にセメント分が少なくなり、砂分の多い部分が認められた。また、一部に微小なヘアークラックも認められた。一方、充填時の温度計測から充填モルタルの発熱性状を求めると、室内の断熱温度上昇試験結果と比較して、温度上昇量、上昇速度共に小さな値が得られた。これはモルタル周囲の廃棄体に熱が逃げるためと考察されている。

これらの結果から、配合 A 及び B に対し、水和熱の低減、ブリーディングの抑制に重点を置いたセメント系充填材の配合仕様の検討が実施されることとなった。

第6表 試験内容

試験内容	試験項目	測定項目	試験目的
モルタルの充填性	1. 材料試験	a) フロー b) 膨張率, プリージング率 c) 圧縮強度 (弾性係数を含む) d) 単位容積重量 e) 透水係数	・使用材料の品質確認
	2. 流動性	a) レベル測定 (流動勾配)	・流動性の検討
	3. 充填性	a) コブ採取・観察 b) 着色水張り試験 (上面に着色水を張り内部に浸透させて, ドラム缶, モルタルの境界面をはつり調査する)	・モルタルの充填性の確認 ・ドラム缶とモルタルの一体化の確認
モルタルの水和熱	1. 温度上昇	a) 温度測定 ・充填モルタル ・ドラム缶内部 ・外気温	充填モルタルの水和熱の影響を調査 ・シミュレーション解析データ ・解析方法の評価
	2. 体積変化	a) ひずみ測定 ・充填モルタル ・ドラム缶内部 ・外型枠 (土圧計) ・型枠拘束H鋼 ・丸鋼棒	・水和発熱によるモルタルの体積変化の測定 ・外型枠に及ぼす影響
		b) 変位測定 ・外型枠 (変位計)	・同上
外部環境の影響	1. 屋外暴露の影響評価	a) ひびわれ発生の有無 (乾燥収縮)	・ドラム缶の拘束の影響を調査

第7表 測定項目及び数量（試験体1体当たり）

項 目	数 量	備 考
充 填 性	2ヶ所 ($\phi 300\text{mm}$ コアポーリング)	ポーリングコアによるドラム缶・モルタル境界面の状況観察 採取したコアの上面に着色水を張り内部に浸透させてその状況をはつり調査
水 和 熱	31ヶ所 (内1ヶ所は外気温測定用)	試験体内部に温度センサーを設置して、モルタルの硬化に伴う発熱状況を測定
モルタル内部ひずみ	10ヶ所 (内1ヶ所は無応力ひずみ計)	試験体内部にひずみ計を設置して、硬化時に発生するモルタルのひずみを測定
モルタル側圧	2ヶ所	モルタル注入時に型枠に作用する圧力を土圧計により測定
型 枠 変 位	8ヶ所	型枠外面に変位計を設置して型枠の変位を測定
型枠拘束H鋼ひずみ	4ヶ所	モルタルの水和発熱に起因する温度上昇・降下による体積膨張、収縮をH鋼の曲げモーメントで測定
丸鋼棒ひずみ	1ヶ所	モルタルの体積膨張、収縮を丸鋼棒のひずみで測定
透 水 係 数	8ヶ所	$\phi 100\text{mm}$ でコアを採取し、室内作製供試体2体を含めて透水係数を測定

(b) 改良型モルタルの配合試験

上記(a)の配合A及びBの課題に対し、以下に示す混和剤、混和材を取り上げて検討した。

- ・石粉(混和材としてセメントに置換)：水和発熱抑制
- ・水中コンクリート用混和剤：ブリーディング抑制
- ・膨張材(混和材としてセメントに置換)：硬化収縮の低減

使用材料は第 8 表に、検討要因は第 9 表に、試験項目及び試験方法は、第 10 表に示すとおりである。これらの試験結果から、以下の事項が明らかとなった。

結合材の一部を石粉で置換すると、流動性はやや悪くなるものの、水和熱を低減することができる(第 3 図及び第 4 図参照)。

増粘剤を添加すると粘稠性が増し、水・結合材比、砂・結合材比を大きくしても分離を防止し、ブリーディングを抑制できる。

第 8 表 使用材料

セメント	マスコン高炉 B 種 (第一セメント、高炉スラグ量 55%)
フライアッシュ	電発フライアッシュ (日本セメント)
石粉	日瓢珪砂 N-90 (日瓢礦業)
混和材	デンカ CSA100R (電気化学工業)
混和剤	増粘剤 USCA (信越化学工業、セルロースエーテル) AE 減水剤 No. 70 (ポゾリス) 高性能減水剤 NL4000 (ポゾリス、高縮合トリアジン系化合物)
アルミ粉	山石 P300 (山石金属)
細骨材	市原産 (比重 2.58、吸水率=2.33、粗粒率=1.45)

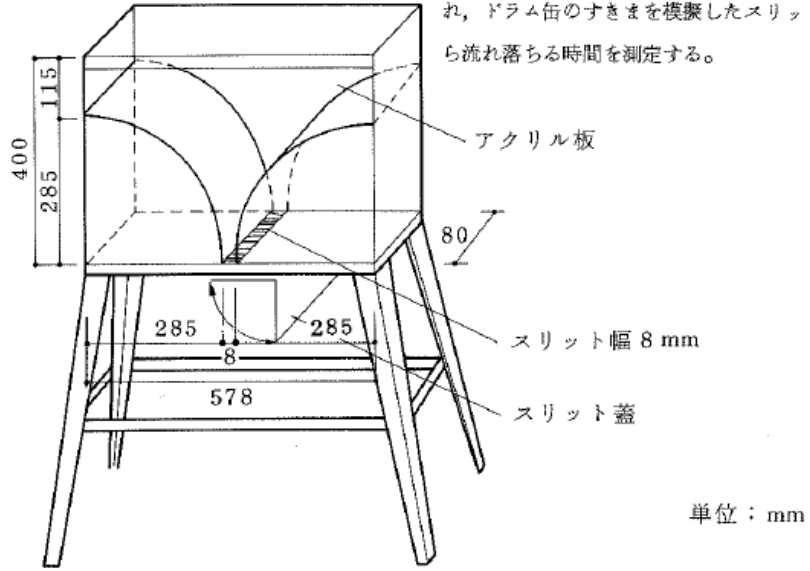
第9表 検討要因

試験 ケース	No.	検討要因					備考
		砂・結合材比 S/(C+F)	石粉 (%)	膨張材 CSA100R (%)	水中コンク リート用混 和剤 USCA (kg/m ³)	高性能減水剤 NL4000 (%)	
I	1	1.25	-	-	-	-	基本配合
	2	1.25	10	-	-	-	石粉, CSAは 結合材に内割 で添加
	3	1.25	20	-	-	-	
	4	1.25	30	-	-	-	
	5	1.25	20	8	-	-	
II	1	2.0	-	-	0.5	1.0	USCA1.0kg/ m ³ に対してス ランブフロー 80cmとなるよ うにNL4000を 決定
	2	2.0	-	-	1.0	1.0	
	3	2.0	-	-	1.5	1.0	
	4	2.0	-	8	1.5	1.0	CSAは内割
III	1	3.0	-	-	0.5 ~1.5	1.0 ~4.0	流動性の問題 からUSCA, NL 4000を変化 させて実施
	2	2.5	-	-	1.0 ~1.5	1.0 ~3.0	

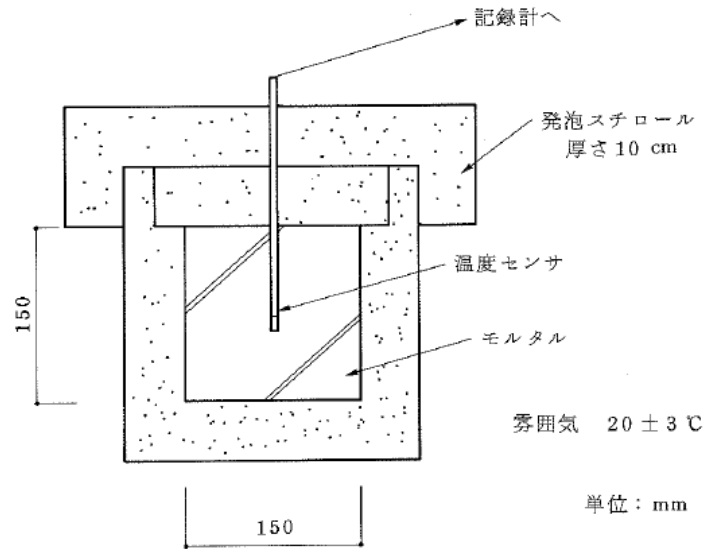
第 10 表 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法	備考
流動性試験	P ロートフロー (土木学会基準)	30 秒を目安とする。
	ドラム缶フロー	第 1 図参照。
	スランプフロー	スランプコーンを用いてのスプレッド値。
ブリーディング 率及び膨張率	土木学会基準に準拠	ブリーディング率 3 以下。 膨張率 2~4%。
単位容積重量	容重升 (フレッシュモルタル) 及び硬化共試体重量	フレッシュモルタルの場合は容重升による。 硬化後については曲げ共試体 (4×4×16cm) を測定。
凝結試験	プロクター貫入試験	JIS A 6204 附属書 1
水和熱の測定	簡易断熱温度上昇試験法	第 2 図参照, 最大温度に達するまで実施。
圧縮強度	JIS A 1108	材令 1, 4, 13 週 標準養生
曲げ強度	JIS A 1106	材令 1, 4, 13 週 標準養生
透水試験	アウトプット法	材令 4 週にて実施。
長さ変化試験	JIS A 1129	測定は長さ変化がほぼ一定になるまで、最大 6 ヶ月間行う。

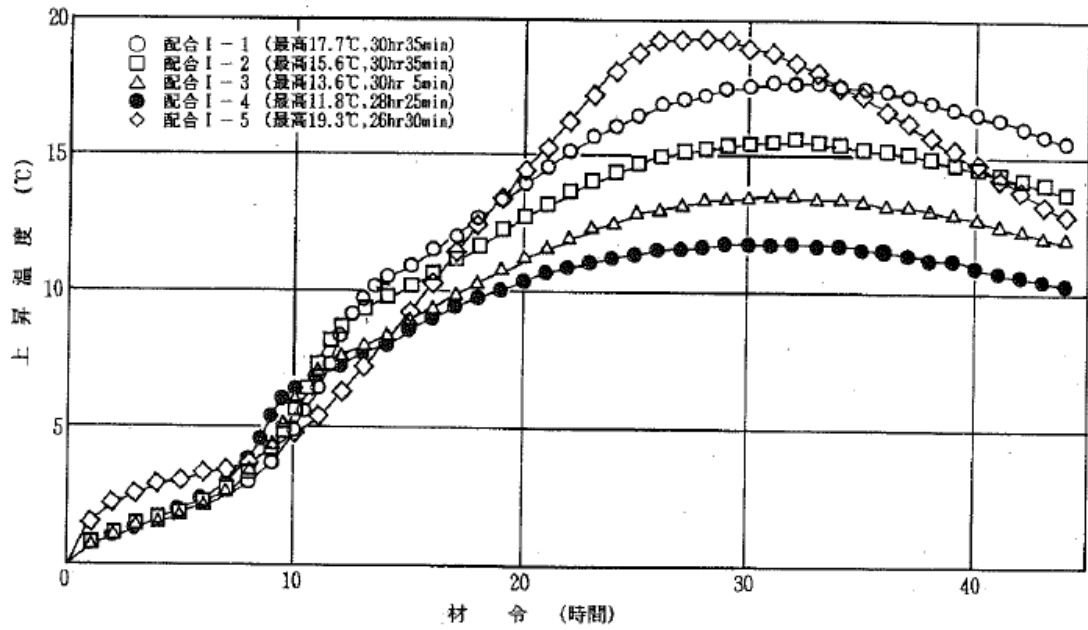
注 試験方法：Pポート法による試験に用いるモルタル量の
2倍（3450 cc）のモルタルを試験装置に入
れ、ドラム缶のすきまを模倣したスリットか
ら流れ落ちる時間を測定する。



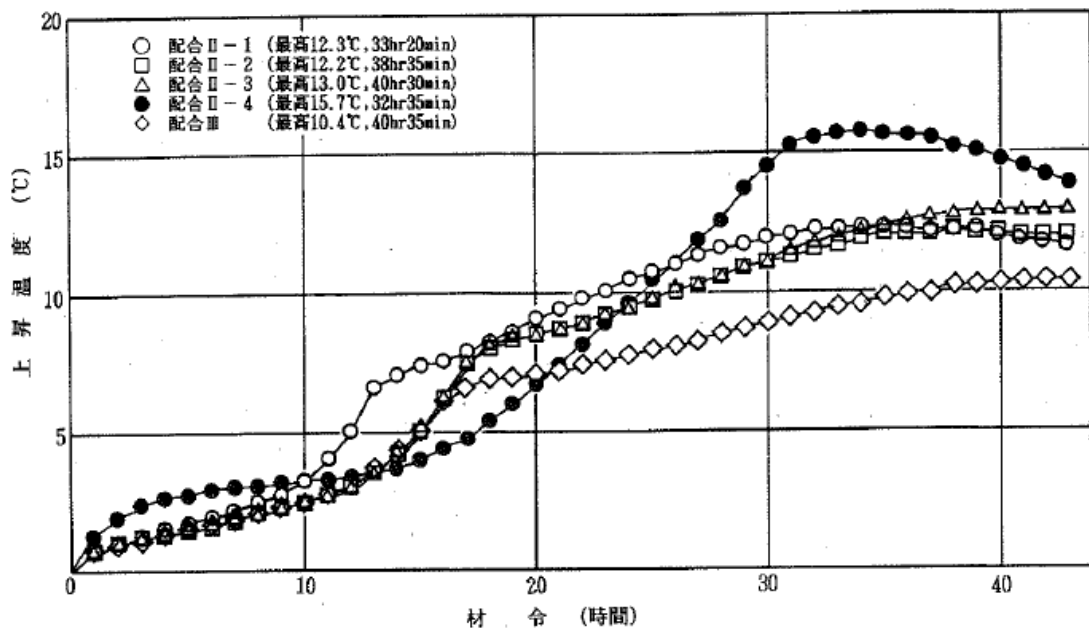
第1図 ドラム缶フロー試験装置



第2図 簡易断熱温度上昇試験装置



第 3 図 簡易断熱温度上昇試験測定結果(実験ケース I)



第 4 図 簡易断熱温度上昇試験測定結果(実験ケース II, III)

b. 昭和 63 年度検討概要

(a) 室内試験

当該年度は、ブリーディング抑制に対して有効性が確認された水中コンクリート用混和剤を用いるとともに、単位セメント量の低減、低発熱型セメントの使用等についての検討が、以下の目的で行われた。

- ・骨材が異なる場合の流動性を把握する。
- ・膨張材の適切な添加量を求める。
- ・セメントの種類が流動性、強度、温度上昇量及び透水係数に与える影響を把握する。

上記の検討では、第 11 表に示す配合条件及び使用材料で第 12 表に示す試験を実施した。

第 11 表 配合条件と使用材料

配合条件		使用材料	
水・結合材比(W/C)	70%	結合材	普通ポルトランドセメント (日本セメント)
砂・結合材比(S/C)	3.0~3.5		中庸熟ポルトランドセメント (日本セメント)
水中コンクリート 用混和材(USCA)	1.5kg/m ³	混和材	高炉スラグ (第一セメント セラメント)
高性能減水剤 (NL-4000)	C×1~2%		フライアッシュ (日本セメント アサノフライアッシュ)
スランプフロー	80cm 程度		膨張材(電気化学工業 CSA100R)
ドラム缶フロー	連続的な流 下	混和剤	水中コンクリート用混和剤(信越化学 アスカクリーン : USCA)
			AE 減水剤(ポゾリス物産 No. 70)
			高性能減水剤(ポゾリス物産 NL-4000)
		細骨材	鹿島産陸砂(F. M. 2. 27)
			相模・木更津混合砂(F. M. 2. 66)
			大井産川砂(F. M. 3. 04)

第 12 表 試験項目

検討項目	試験項目
骨材が流動性に与える影響	・流動性試験
膨張材の適切な添加量	・流動性試験 ・膨張率試験
セメントの種類が物性に与える影響	・流動性試験 ・断熱温度上昇量試験 ・強度試験 ・透水試験

試験の結果、粗粒率(F.M.)の違いによって所要の流動性を確保するためには、F.M.の増加とともに、S/Cも増加させる必要があること、膨張材の添加はC×6%の設定とすることが明らかとなった。

さらに、セメント6種類(普通ポルトランドセメント(以下「OPC」という。)5%+高炉スラグ95%、OPC10%+高炉スラグ90%、OPC20%+高炉スラグ80%、OPC30%+高炉スラグ40%+フライアッシュ30%、中庸熱20%+高炉スラグ80%、中庸熱30%+高炉スラグ40%+フライアッシュ30%)に水中コンクリート用混和剤を用いた場合の各種物性(流動性、圧縮強度、断熱温度上昇量、透水試験)について、以下のことが明らかとなった。

- ・流動性：セメントの違いによる差は見られない。
- ・圧縮強度：同上
- ・発熱量：高炉スラグ95%を含むものが最も小さく、OPCの割合が増えるに従い高い値を示す。
- ・スランプフロー：80cmを確保するためには、F.M.が2.27、2.66、3.04の場合、砂結合材比をそれぞれ3.00、3.25、3.50とすることが必要。
- ・透水係数：セメント種類に係らず、 $10^{-11} \sim 10^{-10}$ cm/s程度の透水係数。

(b) 充填試験(模型試験)

当該年度は、ブリーディングの防止及び水和熱の低減等を目的として実施された配合試験の結果得られた配合(第13表参照)を用いて、昭和62年度と同様の充填試験(埋設設備の1区画の約1/4サイズ)を行い、各種計測(第14

表及び第 15 表)が実施され、以下の結果が得られた。

第 13 表 セメント系充填材の配合(充填試験)

単 位 量 (kg/m ³)								
水	普通ポルト ランドセメント	高炉スラグ	フライアッシュ	膨張材	砂	水中コンクリー ト用促和剤	AE減水剤	高性能減水剤
W	C	B	F	CSA100R	S	USCAクリーン	ボゾリス No. 70	ボゾリス NL-4000
274	117	156	117	25	1452	1.65	1.66	2.07

(配合条件)

スランプフロー : 72.5 ± 5.0 cm
 水結合材比 : $W / (C + B + F + CSA100R) = 66\%$
 砂結合材比 : $S / (C + B + F + CSA100R) = 3.5$

CSA100R : $(C + B + F + CSA100R) \times 6\%$
 ボゾリス No. 70 : $(C + B + F + CSA100R) \times 0.4\%$
 ボゾリス NL-4000 : $(C + B + F + CSA100R) \times 0.5\%$

砂 : 相模産(粗目) : 木更津産(細目) = 4 : 1

第 14 表 充填試験における試験及び計測項目

試験時期 試験項目	モルタル充填時	モルタル硬化後
モルタルの 品質管理	・スランプフロー ・空気量	—
モルタルの 物性値	—	圧縮強度 } 注入時採取供試体及び 透水試験 } φ100mm コアボーリン } グ供試体 膨張率測定試験 乾燥単位容積重量試験
充填性の確認	モルタル液面高さ及 び勾配の測定 透明アクリル板を通 した目視観察	φ300mm コアボーリング 着色水圧入試験及び試験体の解体
各種計測	埋設機器を使った計測	

第 15 表 充填試験における計測項目及び内容

計 測 項 目	数 量	内 容
温度履歴	13ヶ所	試験体内部及び外部に温度計（CC 熱電対）を設置して、モルタルの硬化に伴う温度履歴を測定した。
モルタルの内部ひずみ	8ヶ所	試験体内部にモールドゲージを設置して、硬化時に発生するモルタルのひずみを測定した。
モルタルの側圧	2ヶ所	型枠に土圧計を設置して、モルタル入時に型枠に作用する圧力を測定した。
型枠変位	3ヶ所	型枠外面に変位計を設置して、型枠の変位を測定した。
充填モルタルとドラム缶の境界面における変位	1ヶ所	ドラム缶表面に継目計を設置し、ドラム缶とモルタルの境界面における変位を測定した。
熱膨張係数の測定	1ヶ所	無応力計を使って無拘束状態でのモルタルのひずみ変化を求めた。

当該年度では、モルタルの水和熱を低減させるために、高炉スラグ、フライアッシュを多量に混入するとともに砂の増量をはかることにより、単位セメント量を減少させ、また、水中コンクリート用混和剤を使用してブリーディングを完全に防止し、施工管理を容易にしたため、昭和 62 年度に比較して良好なものとなった。

特に、温度履歴は、9 月施工で外気温が 18.0℃と高かったにも係らず温度上昇量が 18.0℃であった。

(c) 実規模充填試験

コンクリートピットと同規模のピットを用いてセメント系充填材(配合は第 16 表参照)充填試験を行い、流動性、充填性、水和熱特性等の検討を行った(第 17 表及び第 18 表参照)。その結果、以下のことが明らかとなった。

(一) 流動性、充填性

水中コンクリート用混和剤によって、モルタルの流動性及びセルフレベルリング性が向上し、ドラム缶同士の狭小な間隙においても良好な充填性が確認されるとともに、流動による材料分離も認められなかった。

第 16 表 セメント系充填材の配合(実規模充填試験)

水結合材比 (%)	砂結合材比	スランブフロー の範囲 (cm)	単 位 量 (kg/m ³)								
			水 W	セメント C	砂 S	混 和 材			混 和 剤		
						高 炉 スラグ B	フ ラ イ ア ッ シュ F	膨 張 材 CSA 100R	水中コンクリ ート用混和剤 USCAクリーン	AE 減 水 剤 ポゾリス No. 70	高性能減水剤 ポゾリス NL-4000
70	3.25	72.5±5	300	121	1395	161	121	26	1.5	1.716	8.58

水結合材比 : $W / (C+B+F+CSA100R)$

砂結合材比 : $S / (C+B+F+CSA100R)$

CSA100R : $(C+B+F+CSA100R) \times 6\%$

ポゾリスNo. 70 : $(C+B+F+CSA100R) \times 0.4\%$

ポゾリスNL-4000 : $(C+B+F+CSA100R) \times 2\%$

第 17 表 実規模充填試験における試験項目

試験項目	モルタル充填時	モルタル硬化後
モルタルの 品質管理	<ul style="list-style-type: none"> ・スランプフロー ・空気量 ・ブリーディング ・単位容積重量 	—
モルタルの 物性値	—	<ul style="list-style-type: none"> ・膨張率 ・透水係数 ・圧縮強度 ・引張強度 ・弾性係数
充填性の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタル液面高さ、勾配、上方からの目視観察 	<ul style="list-style-type: none"> ・φ 300mm コアボーリング*1 ・着色水圧入試験及び試験体の解体*1

*1：平成元年度実施

第 18 表 実規模充填試験における計測項目

計測対象	計測項目	仕様計測器	数量
モルタル	ひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-100B)	7
	温度	CC 電熱対 (T)	10
コンクリート ピット	壁面のひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-200B)	7
	壁内のひずみ及び温度	測温機能付き埋込み型ひずみ計 (KM-100B)	15
	壁内の温度	ひずみタイプ式温度計 (TK-F)	5
	壁内の応力	コンクリート有効応力計 (GK-60-202)	2
外気温	温度	CC 電熱対 (T)	1

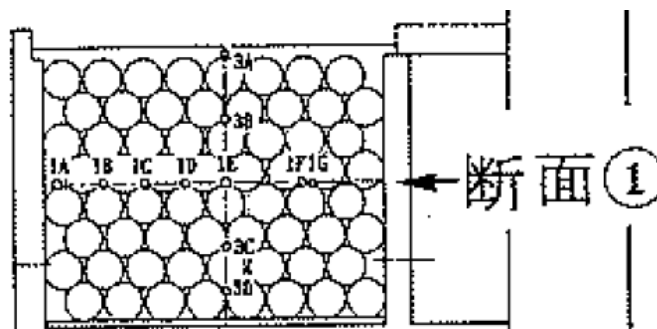
(二) 水和熱特性

高炉スラグ及びフライアッシュを多量に混入して単位セメント量を低減することによって、モルタルの温度上昇量は大幅に減少(第 19 表参照)し、温度応力によるひび割れの抑制に大きな効果があることがわかった。

第 19 表 モルタルの温度特性(断面①)

測点番号	充填温度 t_1 (°C)	最低温度時		最高温度時		材令28日 における 温度 t_4 (°C)	$t_1 - t_2$ (°C)	$t_3 - t_1$ (°C)	$t_3 - t_2$ (°C)	$t_3 - t_4$ (°C)
		材令 (日)	温度 t_2 (°C)	材令 (日)	温度 t_3 (°C)					
1 A	15.9	0.6	12.7	5.8	18.5	12.5	3.2	2.6	5.8	6.0
1 B	15.9	0.2	10.2	9.6	24.0	17.7	5.7	8.1	13.8	6.3
1 C	15.0	0.2	10.1	10.7	25.0	19.4	4.9	10.0	14.9	5.6
1 D	15.9	0.2	10.5	11.4	26.7	21.2	5.4	10.8	16.2	5.5
1 E	15.2	0.2	10.1	13.8	26.2	21.1	5.1	11.0	16.1	5.1
1 F	15.8	0.2	11.0	9.6	25.8	19.7	4.8	10.0	14.8	6.1

*1：測定番号位置は、下図参照。



c. 平成元年度検討概要

当該年度は昭和 63 年度に製作した実規模充填試験体を用いて、充填モルタルの品質試験及び実規模充填試験として、それぞれ以下の試験が実施された。

(a) 充填モルタル品質試験(配合は第 16 表参照)

- ・スランプフロー
- ・モルタル温度
- ・空気量

- ・ブリーディング量
- ・単位体積重量
- ・膨張率
- ・圧縮強度、引張強度及び静弾性係数
- ・透水係数

充填モルタルの品質管理試験結果を第20表に、膨張率測定結果を第5図に、物性試験結果を第21表に示す。

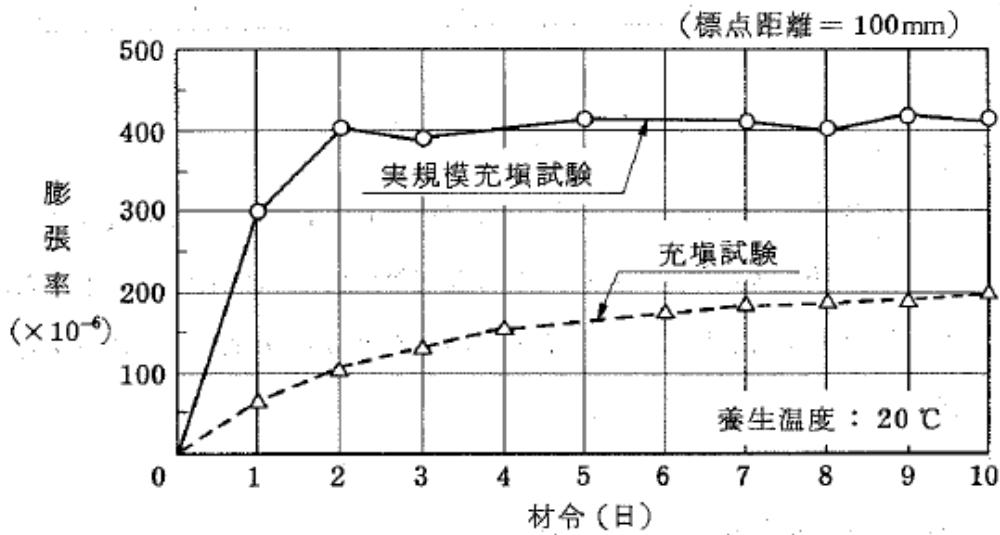
(b) 実規模充填試験(配合は第16表参照)

- ・モルタル充填試験
- ・充填性確認試験
- ・着色水圧入試験
- ・透水試験
- ・物理試験
- ・境界部付着試験
- ・温度応力解析

ピットの中央部と端部の2ヶ所でφ300mmのコアボーリング(第6図)を行い、充填状況の確認が行われた。その結果、充填状況は良好であり、ドラム缶下面のブリーディングによる空隙もなく、ドラム缶とモルタルは非常に密着しており、ドラム缶とドラム缶の間の狭い部分にもモルタルが密実に充填されていることが確認されている。

第 20 表 充填モルタルの品質管理試験結果

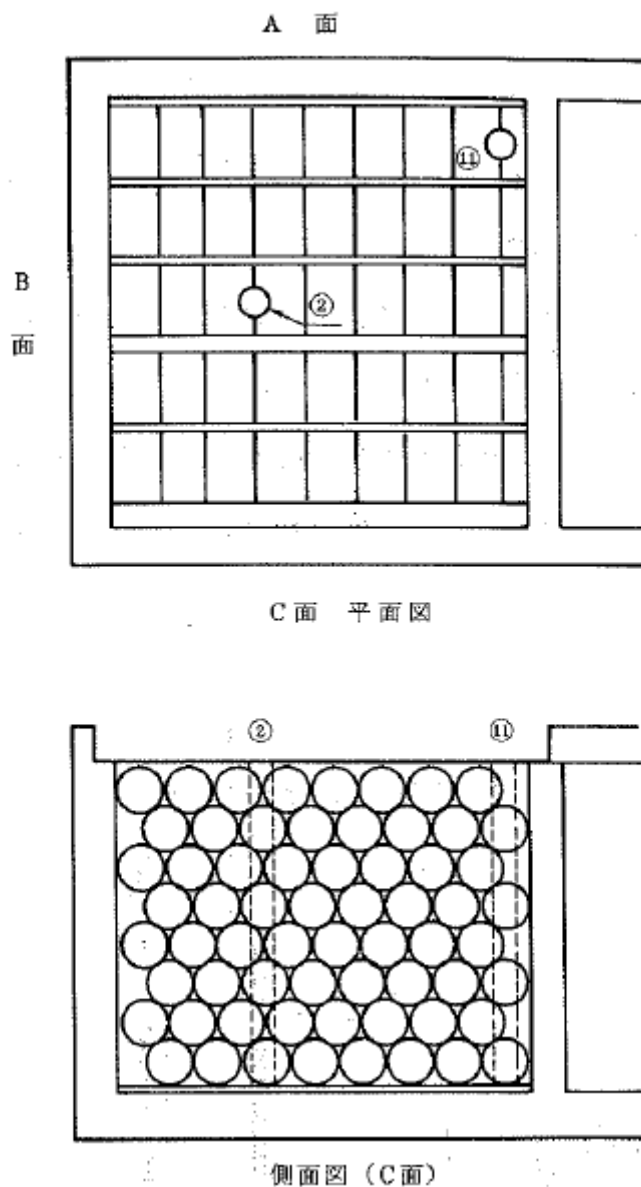
練り上り時刻	フジデータ車 No.	表面水率 (%)	計測場所	試料採取時刻	スラブフロー (cm×cm)	空気量 (%)	モルタル温度 (°C)	外気温 (°C)	単位体積重量 (t/m³)	品質管理用 サンプルング	強度試験用 サンプルング
13:11	No. 1 (1号車)	5.0	パッチャープラント	13:15	72.0×73.5	2.2	14.5	12.0	2.022	—	—
			試験場	14:00	65.5×71.0	1.5	15.0	12.0	—	○	—
13:18	No. 2 (2号車)	5.0	パッチャープラント	13:25	75.5×77.5	1.9	15.0	12.0	2.018	—	—
			試験場	14:22	73.0×67.0	1.6	15.5	11.5	—	—	—
13:30	No. 3 (3号車)	5.0	パッチャープラント	13:33	77.5×77.5	2.1	15.0	12.0	2.022	—	—
			試験場	14:40	76.0×67.5	1.4	15.0	11.5	—	○	○
13:39	No. 4 (4号車)	5.0	パッチャープラント	13:42	76.5×77.5	2.4	14.5	12.0	2.012	—	—
			試験場	14:55	72.0×73.0	1.1	15.0	11.0	—	—	—
14:00	No. 5 (5号車)	5.5	パッチャープラント	14:00	74.0×72.0	3.3	14.0	13.0	2.012	—	—
			試験場	15:13	72.5×68.0	1.1	15.5	11.5	—	○	—
14:18	No. 6 (6号車)	5.5	パッチャープラント	14:20	76.0×75.0	2.5	14.0	12.0	2.031	—	—
			試験場	15:29	70.0×70.5	1.3	15.0	11.0	—	—	—
14:47	No. 7 (7号車)	5.5	パッチャープラント	14:48	76.5×76.5	2.1	14.5	12.0	2.041	—	—
			試験場	15:43	70.5×69.5	1.6	15.0	10.5	—	○	—
15:10	No. 8 (8号車)	6.0	パッチャープラント	15:10	72.0×72.5	2.0	14.0	12.0	2.060	—	—
			試験場	15:43	68.5×68.0	1.9	14.5	11.0	—	—	—
15:27	No. 9 (9号車)	6.0	パッチャープラント	15:30	75.5×74.5	3.3	14.0	12.0	2.038	—	—
			試験場	16:13	68.0×65.5	1.6	14.0	10.0	—	○	—



第 5 図 膨張率の測定結果

第 21 表 物性試験結果

材 令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁵ kgf/cm ²)
1	1.76	—	—
3	13.6	—	0.210
5	30.8	4.02	0.386
7	47.2	5.89	0.531
14	87.8	8.97	0.687
28	134	11.7	1.06
91	223	18.5	1.522

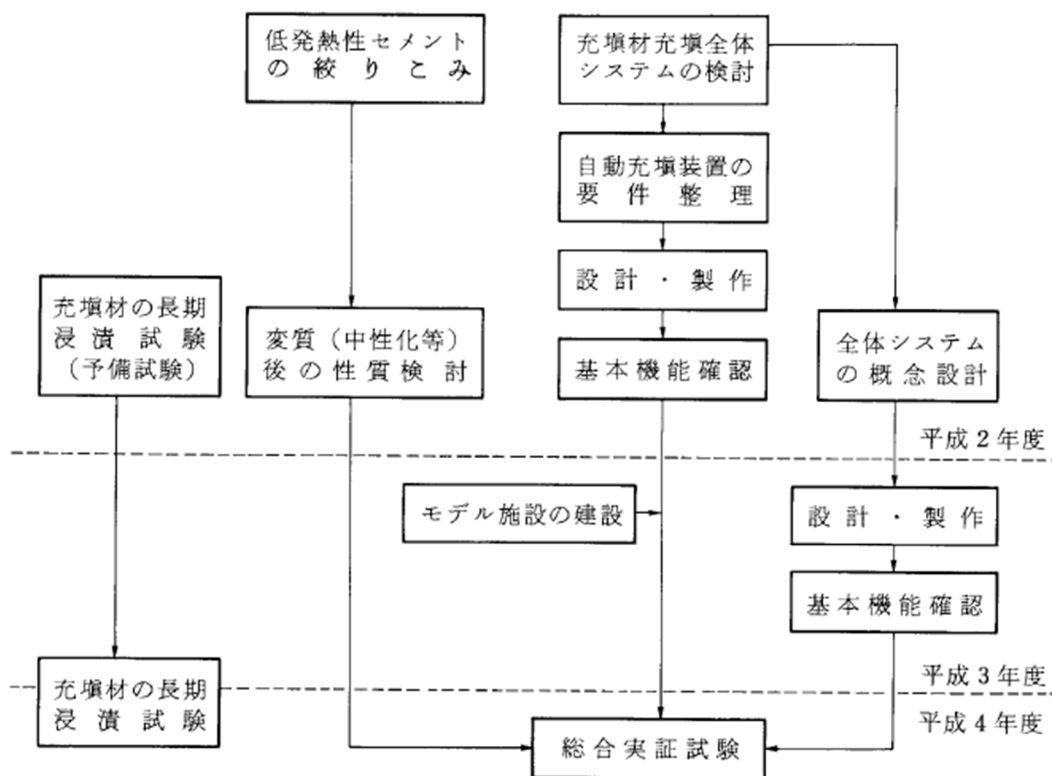


第 6 図 コアボーリング位置図(φ 300mm)

(ii) 平成 2 年度～平成 5 年度の検討概要

当該受託研究は、平成元年度までのセメント系充填材の検討結果を踏まえて、セメント系充填材により埋設設備の構造体に発生する温度応力を更に低減させることを主目的として実施された。

第 7 図にセメント系充填材実証試験検討フローを示す。



第7図 セメント系充填材実証試験検討フロー

a. 平成2年度検討概要

平成2年度は、以下の検討が実施された。

- ・ステップ1：低発熱セメントの絞り込み(示方配合は第22表、使用材料は第23表参照)結合材のOPC、高炉スラグ及びフライアッシュの混合率を変化させた6種類に対して、簡易断熱温度上昇試験等^{*1}を行って選定。
- ・ステップ2：選定したセメントを用いた充填材の性状変化の確認。ステップ1で選定した結合材を用いて各種試験^{*2}を実施。

ステップ1の検討を踏まえ、流動性に関する試験、簡易断熱温度上昇試験等の結果、ポルトランドセメント量を低減しかつ中庸熱セメントを用いた、中庸熱、高炉スラグ、フライアッシュを2:5:3に混合したもの及びOPC、高炉スラグを1:9の割合で混合したものが結合材として選定された(第24表及び第8図参照)。

一方で、3成分系では凝結時間が始発、終結とも遅くなることから、これ以

上フライアッシュを増加させ、OPC量を低減させることに問題があることが指摘された。そのため、3成分系の中では凝結時間に問題があるものの最も水和熱が低い配合(中庸熱：高炉スラグ：フライアッシュ=2：5：3)が選定された。また、2成分系の結合材では、水和熱が最も低く、強度発現も十分な(OPC：高炉スラグ=1：9)が選定された。

また、ステップ2の検討の結果、ステップ1で絞り込んだ2種の結合材の断熱温度上昇試験(第9図参照)では、平成元年度まで提案していた充填材より、3成分系で14.6℃、2成分系で18.0℃温度上昇を低減することが可能となり、これら2種類の結合材は十分使えることが明らかにされた。

*1：フレッシュモルタルに関する諸物性(ブリーディング、スランプフロー、ドラム缶フロー、凝結硬化速度試験)、圧縮強度試験、簡易断熱温度上昇試験

*2：フレッシュモルタルに関する諸物性(ブリーディング率、スランプフロー、ドラム缶フロー)、断熱温度上昇試験、凍結融解抵抗性、中性化の影響

第22表 配合試験結果

配合 番号	W/C (%)	S/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)								
			水	セメント	高 炉 スラグ	フライ アッシュ	膨張材	細骨材	水中 不分離性 混和剤	AE 減水剤 (l/m ³)	高性能 減水剤 (l/m ³)
1	67.5	3.15	285	119	159	119	25	1329	1.50	1.69	4.22
2	67.5	3.14	285	(79)	199	119	25	1326	1.50	1.69	4.22
3	67.5	3.18	285	(79)	238	79	25	1341	1.50	1.69	4.22
4	68.7	3.20	290	40	357	—	25	1350	1.50	1.69	4.22
5	68.7	3.21	290	(79)	318	—	25	1353	1.50	1.69	5.06
6	68.7	3.21	290	(119)	278	—	25	1356	1.50	1.69	6.33

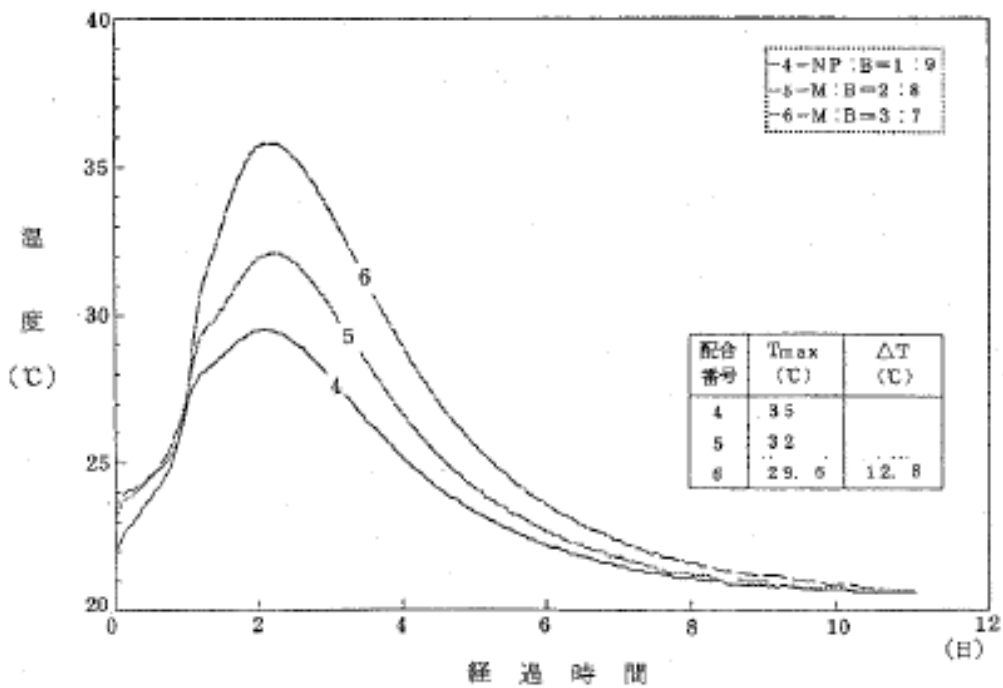
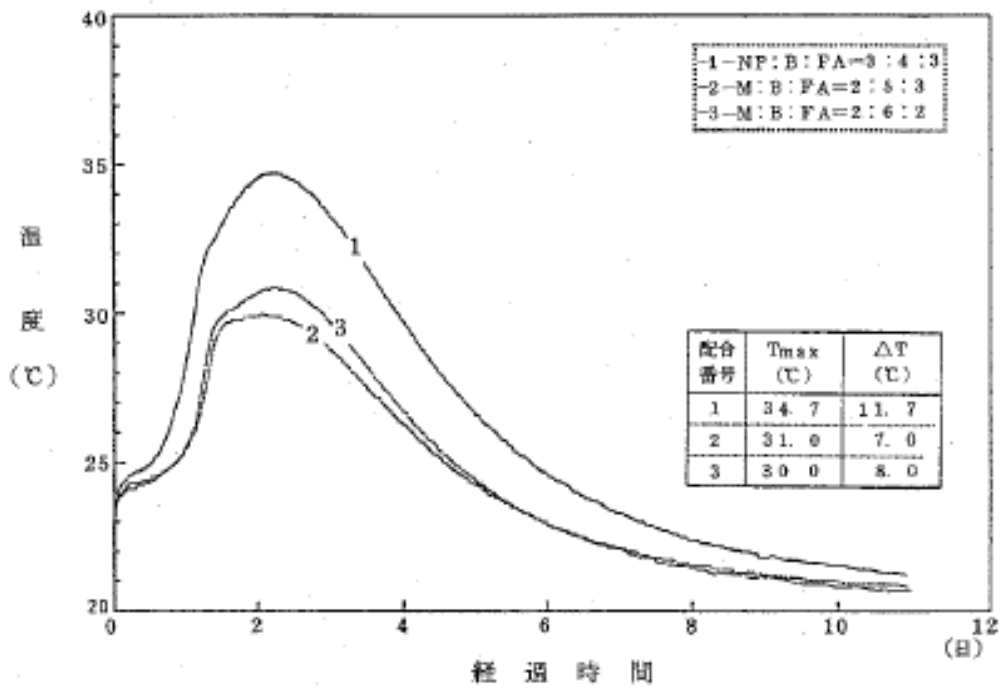
* ()は中庸熱ポルトランドセメント

第 23 表 使用材料一覧

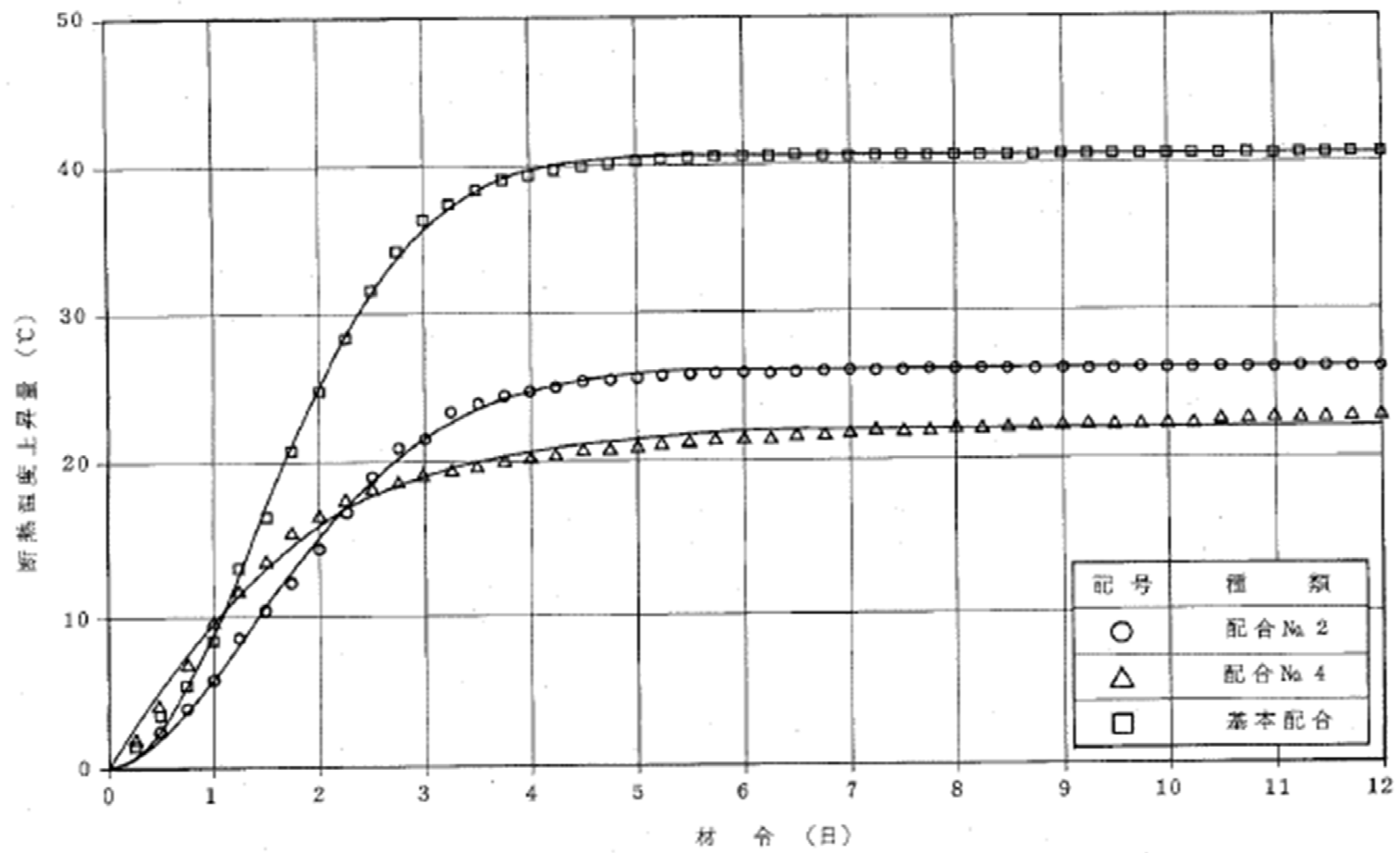
材 料		内 容
セメント		普通ポルトランドセメント（第一セメント製） 比重 3.16 中庸熱ポルトランドセメント（日本セメント製） 比重 3.20
混和材	高炉スラグ	セラメント（第一セメント製） 比重 2.90
	フライアッシュ	電発フライアッシュ（日本セメント製） 比重 2.19
	膨張材	デンカ CSA 100R（電気化学工業製） 比重 2.71
混和剤	水中不分離性 混和剤 （分離防止剤）	USCA クリーン（信越化学工業製） 水溶性セルロースエーテル系
	A E 減水剤 （標準型）	ポゾリス No.70（ポゾリス物産製） リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体 比重 1.25
	高性能 減水剤	ポゾリス NL-4000（ポゾリス物産製） 高縮合トリアジン系化合物 比重 1.13
細骨材		相模産（比重 2.59，吸水率 2.78%，F.M. 3.18）と 木更津産（比重 2.55，吸水率 2.84%，F.M. 1.28）を 8：2 で混合して使用

第24表 フレッシュモルタルに関する試験結果(ステップ1)

配合 番号	スランブフロー (cm)				3時間 低下量	ドラム缶フロー (分, 秒)				3時間 低下量 (秒)	空気量 (%)	練上り 温度 (℃)	ブリー ジング 率 (%)	凝 結 (時 間)	
	練上り	1時間	2時間	3時間		練上り	1時間	2時間	3時間					始 発	終 結
1	76 × 76	73 × 72	68 × 69	66 × 66	10	37"	49"	1' 12"	1' 01"	24"	2.0	22.9	0	24.5	33.0
2	78 × 78	76 × 75	73 × 73	72 × 71	6.5	34"	43"	1' 00"	1' 08"	34"	2.0	22.8	0	33.5	40.0
3	78 × 77	76 × 76	72 × 72	70 × 70	7.5	40"	55"	1' 00"	1' 07"	27"	2.0	22.7	0	30.0	39.0
4	76 × 75	77 × 75	73 × 73	66 × 66	9.5	46"	1' 15"	1' 18"	1' 27"	41"	1.6	22.6	0	20.5	29.5
5	75 × 73	72 × 72	70 × 69	68 × 67	6.5	44"	59"	1' 12"	1' 31"	47"	1.4	22.7	0	24.0	32.5
6	78 × 77	76 × 74	73 × 72	68 × 67	10	45"	1' 10"	1' 10"	1' 16"	31"	1.4	23.0	0	23.0	33.0



第8図 簡易断熱温度上昇試験結果(ステップ1)



第9図 断熱温度上昇量試験結果(20.0°C)

b. 平成 3 年度検討概要

平成 3 年度は、今後予定している充填システム実証試験のための埋設設備コンクリート壁の建設を実施し、特にセメント系充填材の選定に係る試験は特に実施されなかった。

c. 平成 4 年度検討概要

昭和 63 年度に実施した実規模充填試験では、3 成分系を用いて実施した。その結果、埋設設備のホワイトゾーン(モルタルの容積が大きい部分)の放熱速度が小さくなって充填材の温度が更に高くなることとなった。

当該年度は、充填材の水和発熱量を更に低減させる必要があることから、2 成分系結合材(使用材料は第 25 表、示方配合は第 26 表参照)を用いて実規模試験を実施し、充填材の水和発熱量と、流動性、充填性等^{*1}の確認を行った。

その結果、流動性、充填性については問題ないことが示された。また、昭和 63 年度に実施した 3 成分系の結合材を用いた場合、温度上昇量は 18.0℃であった。当該年度に用いた 2 成分系では、ホワイトゾーンという温度的には不利な条件があったにも係らず、温度上昇量を 14.5℃(第 27 表及び第 10 図参照)まで低減することができた。

第 25 表 使用材料

項 目		使 用 材 料
結 合 材	セ メ ン ト	中庸熟ポルトランドセメント10%，高炉スラグ90%の混合セメント（三菱マテリアル製）
	膨 張 材	CSA系膨張材 （電気化学工業製デンカ CSA100R）
混 和 剤	分 離 防 止 剤	水溶性セルロースエーテル （信越化学工業製USCAクリーン）
	AE 減 水 剤 （ 標 準 形 ）	リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体 （NMB製ポゾリスNo.70）
	高 性 能 減 水 剤	高縮合トリアジン系化合物 （NMB製ポゾリスNL-4000）
細 骨 材		いわき市大久町地内産山砂 F.M. = 2.79

*1：品質管理試験（出荷時、現場到着時）、充填材高さ及び流動勾配測定、強度試験、温度・ひずみの計測

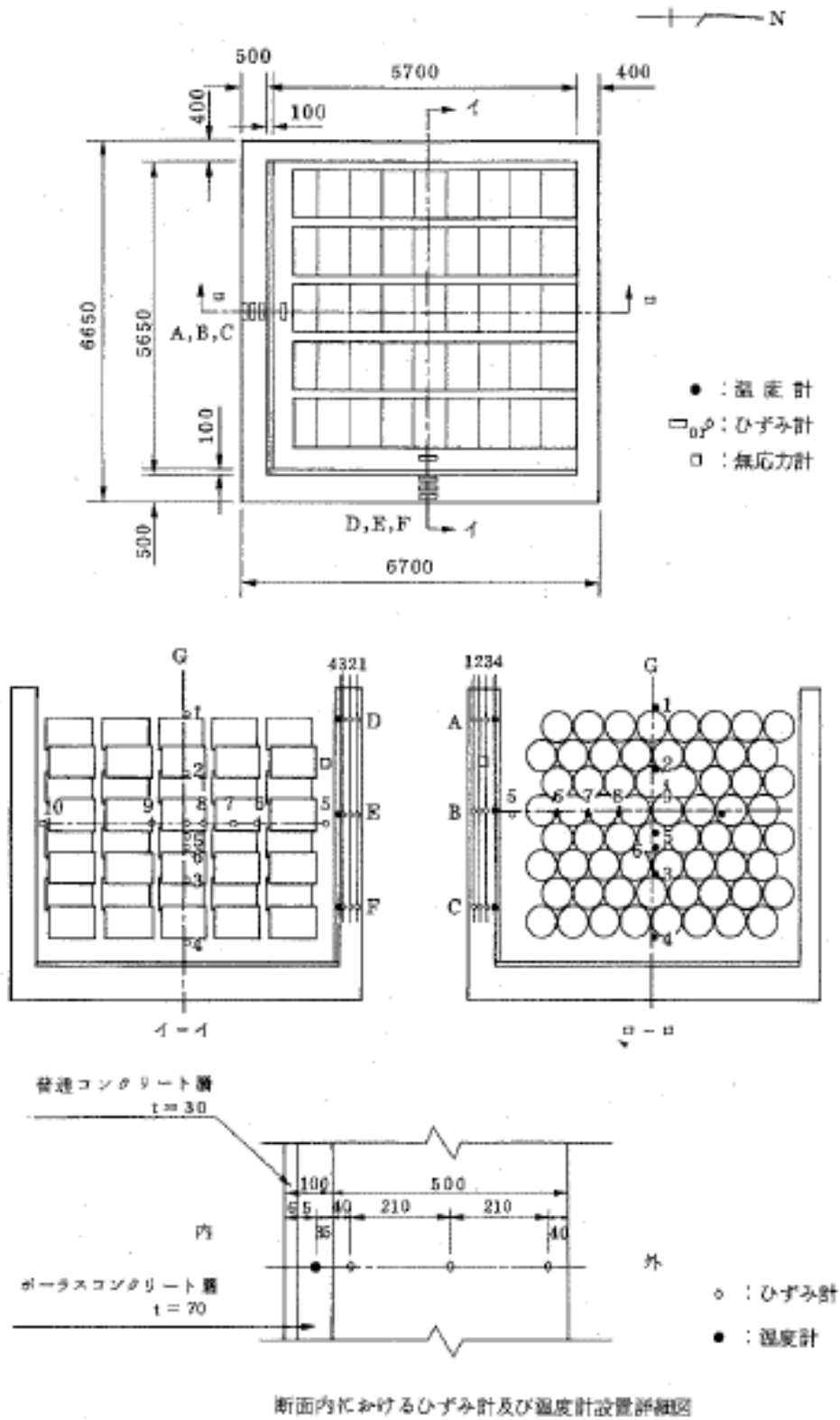
第 26 表 充填材の示方配合

水結合材比 (%)	砂結合材比 (%)	スランプフローの範囲 (cm)	単 位 量 (kg / m ³)						
			水	砂	結 合 材		混 和 剤		
					セメント	膨 張 材 CSA 100 R	分 離 防 止 剤 USCA クリーン	AE 減 水 剤 No. 70	高 性 能 減 水 剤 NL-4000
72.3	3.24	72.5 ± 2.5	305	1367	397	25	1.5	結合材重量 の0.1%	結合材重量 の1.5%

第 27 表 充填材の温度特性

	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10	E-5	E-6	E-7	E-9	E-10	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6
充填直後 t_0 (°C)	25.2	25.1	24.8	25.4	26.2	25.1	24.9	25.5	25.6	24.7	23.0	23.5	25.0	26.3	24.8	19.1	19.1
充填終了時 t_1 (°C)*1	26.0	21.5	21.4	23.1	23.5	21.7	26.0	24.0	22.9	24.9	23.3	24.1	23.9	23.4	23.2	20.3	19.6
最高温度 t_2 (°C)	37.6	36.3	35.5	35.2	36.7	33.8	39.4	35.3	35.2	34.5	27.5	29.2	34.1	34.9	34.8	34.7	34.9
最高温度材令 (日)	2.00	4.58	8.67	8.58	8.00	6.63	1.92	7.58	8.75	8.75	2.00	1.52	4.25	8.58	2.54	8.67	8.67
$t_2 - t_0$ (°C)	12.4	11.2	10.7	9.8	10.5	8.7	14.5	9.8	9.6	9.8	4.5	5.7	9.1	8.6	10.0	15.6	15.8
温度上昇速度 (°C/日)	6.20	2.45	1.23	1.14	1.31	1.31	7.55	1.29	1.10	1.12	2.25	3.75	2.14	1.00	3.94	1.80	1.82
11/4 現在温度 t_3 (°C)	21.3	22.5	23.3	23.9	25.5	22.2	20.4	22.9	23.5	23.0	15.2	16.4	21.4	24.8	24.2	24.0	24.2
$t_2 - t_3$ (°C)	16.3	13.8	12.2	11.3	11.2	11.6	19.0	12.4	11.7	11.5	12.3	12.8	12.7	10.1	10.6	10.7	10.7
温度下降速度 (°C/日)	0.44	0.40	0.40	0.37	0.36	0.36	0.51	0.39	0.39	0.39	0.33	0.34	0.37	0.33	0.29	0.35	0.38

* 1 温度経時変化グラフ 初期値



第 10 図 計測器の設置位置

d. 平成 5 年度検討概要

当該年度は、平成 4 年度に実施した実規模充填試験体に対して以下の 3 点を確認した。

- ・ 充填材の充填状況の確認(模擬廃棄体間の狭隘な空隙部への充填状況の確認、特に、模擬廃棄体同士の接触部への充填状況の確認)
- ・ 材料分離傾向の有無の確認(模擬廃棄体下面におけるブリーディング等による骨材の分離状態の有無の確認)
- ・ 充填材の物性の確認

上記を確認するために以下の 3 項目の試験が実施された。

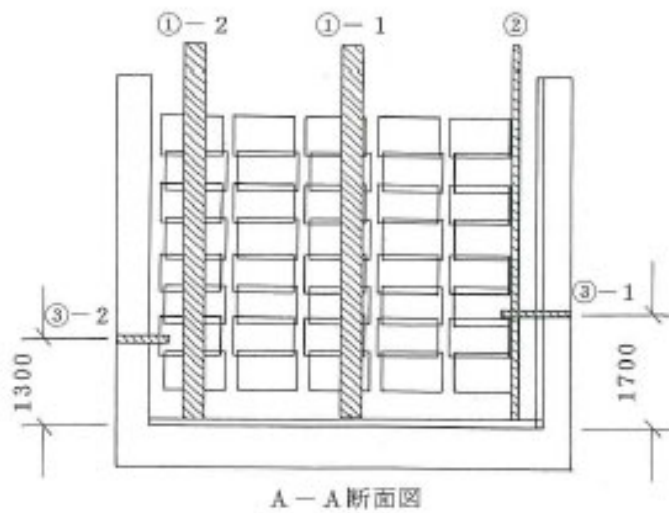
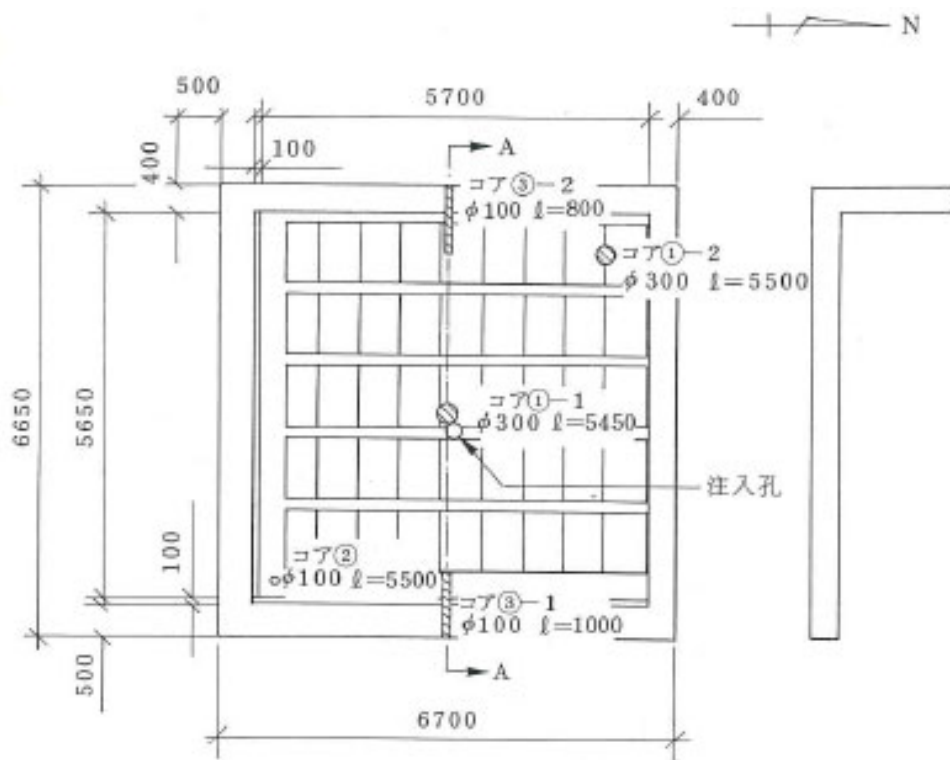
- ・ ボーリングコア(第 28 表及び第 11 図参照)による充填状況の目視による確認
- ・ 模擬埋設設備の解体調査による充填状況の確認
- ・ ボーリングコアから採取した供試体による透水試験及び圧縮強度試験

解体調査の結果、以下の点を確認された。

- ・ 模擬廃棄体同士の接触部等の狭隘部にも充填材は確実に充填されていた(第 12 図参照)。
- ・ 模擬廃棄体の下面等については、材料分離による細骨材の露出や充填不良による空隙は認められなかった。
- ・ 側壁コンクリートとの境界部分にも十分に密着していた(第 13 図参照)。

第 28 表 ボーリングコアの内容

記 号	直径 (mm)	長さ (mm)	目 的
① - 1	300	5,450	充填状況観察
① - 2	300	5,500	充填状況観察
②	100	5,500	透水試験, 圧縮強度試験
③ - 1	100	1,000	EPMA 分析 (通常土側)
③ - 2	100	800	EPMA 分析 (ベントナイト混合土側)



第11図 ボーリングコア採取位置



第 12 図 セメント系充填材部分の解体状況(模擬廃棄体間の間隙部の状況)

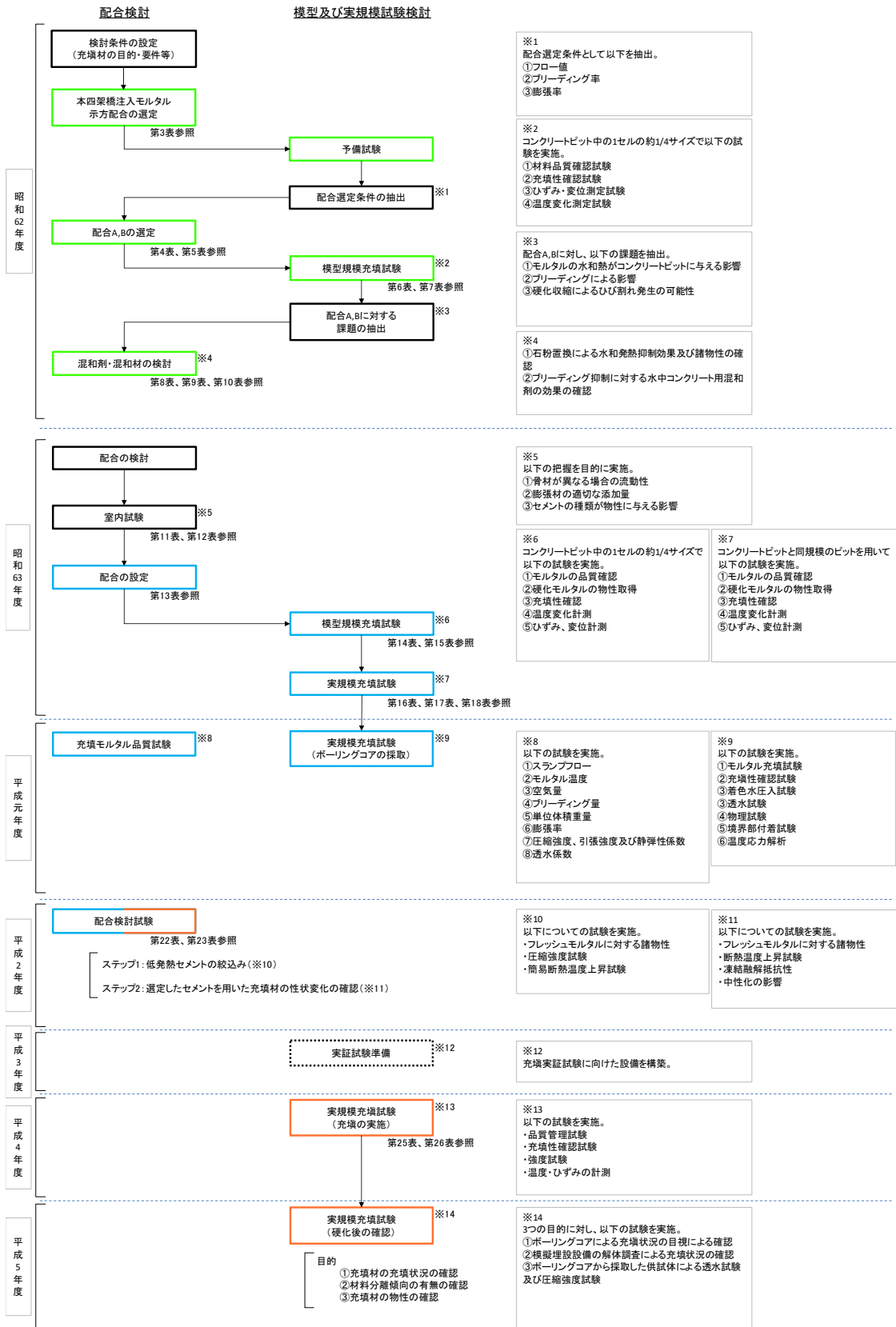


第 13 図 セメント系充填材部分の解体状況(側壁コンクリートとの境界部の状況)

(iii) 検討手順

(i)及び(ii)で示した昭和62年度～平成5年度までの検討概要の一連の経緯を第14図に検討フロー図として示す。

□: 本四架橋ベース □: 3成分系モルタル □: 2成分系モルタル



第 14 図 低レベル放射性廃棄物処分施設安全性確認試験の検討フロー

(iv) 検討結果

本四架橋の注入モルタルの示方配合に基づいて、埋設設備のセメント系充填材に求められる特性として、「低発熱型であること」、「ブリーディングを防止すること」、「流動性、充填性に優れること」の条件を考慮した。これより、混和材(高炉スラグ、フライアッシュ)の利用で単位セメント量を低減することで水和発熱を抑え、更に水中コンクリート用混和剤を用いて、ブリーディングを防止する等の改良を重ねた。

その結果、以下の 3 項目が当該受託研究で示された。

- ・当該受託研究で示されたセメント系充填材は、埋設設備の廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填ができており、模擬廃棄体と十分密着している。
- ・材料分離による間隙や充填不良による空隙は見られず、下段や側部のコンクリートスペーサ、あるいは側壁コンクリートとも十分に密着している。
- ・セメント系充填材の透水係数は $10^{-10}\text{cm/s} \sim 10^{-11}\text{cm/s}$ のオーダーであり、十分に水密性を有している。

(v) 昭和 62 年度～平成 5 年度までの受託研究のまとめ

昭和 62 年度～平成 5 年度までに通産省受託研究で原子力環境整備センターが実施したセメント系充填材に関する試験結果をまとめると以下のとおりとなる。

セメント系充填材の仕様検討は、以下の手順で行われた。

本四架橋注入モルタルの仕様をベースとした。

セメント系充填材に求められる特性として、主に流動性、ブリーディングに着目した配合仕様の見直し(配合 A 及び B)による検討が実施された。

配合 A 及び B に基づいた試験により、更なる見直しとして、水和発熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の抑制の観点からの配合見直しの検討が実施された。

上記の検討を経て、主に水和発熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の抑制、流動性、充填性の確保という観点から、混和材の使用、水中コンクリート混和剤の使用を基本的な概念とし、昭和 63 年度から 3 成分系モルタル、平成 2 年度から 2 成分系モルタルを主体とした検討が開始された。

いずれの試験も、室内によるセメント系充填材品質確認試験、コンクリートピットの1セルの1/4サイズの模型試験による流動性、充填性及び水和発熱特性、ブリーディング等の確認試験、実規模充填試験が行われた。

その結果、いずれのモルタルも以下の3項目が当該受託研究で示された。

当該受託研究で示されたセメント系充填材により、埋設設備の廃棄体間の狭隘な間隙部分にも十分に充填ができており、模擬廃棄体と十分密着している。

材料分離による間隙や充填不良による空隙は見られず、下段や側部のコンクリートスペーサ、あるいは側壁コンクリートとも十分に密着している。

充填材の透水係数は 10^{-10} cm/s \sim 10^{-11} cm/sのオーダーであり、十分に水密性を有している。

(2) 日本コンクリート工学協会の検討状況⁽¹⁾

(i) 検討概要

当時建設の各分野では、各種の充填材が開発され、広範囲に実用されていた。しかし、それらの充填材はそれぞれ用途別に研究開発され、また有用されてきたため、これらの品質を共通の基準で相互に評価されたことは、ほとんどなかった。

そこで、平成3年度～平成4年度において、日本コンクリート工学協会(以下「JCI」という。)に充填材の品質評価研究委員会が設置され、平成4年12月のシンポジウムにおける中間報告⁽²⁾と論文発表⁽³⁾も踏まえ、充填材について要求性能やその品質評価試験方法の整理、要求される品質の分類化及び統一化が行われた。

(ii) 要求性能の分類

充填材に要求される性能を大別すると、「硬化前の充填材の性能として要求される項目」と「硬化後の充填材の性能として要求される項目」の二つに大別される。なかでも流動性と材料分離抵抗性は充填性に要求される性能のなかで、非常に重要な品質項目である。

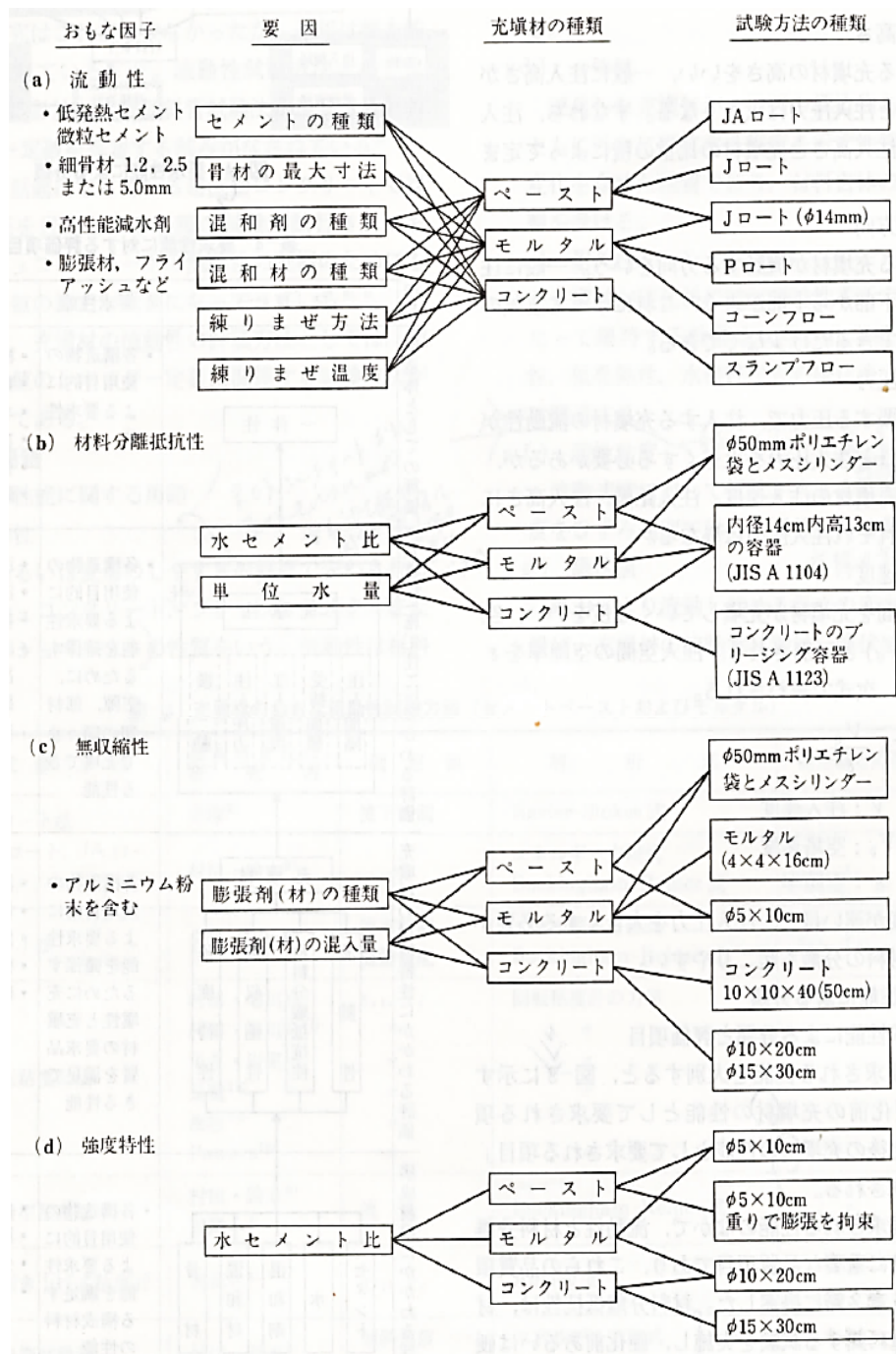
充填材の要求性能を分類するに際しては、硬化の前後の要求性能が異なるため、どのような評価方法で分類するかを明確に整理して、検討する必要がある。

充填材の要求性能については、構成材料、材料特性、施工性、構造体の性能の各段階について評価項目とともに第29表として整理されている。

第 29 表 要求性能に対する評価項目

項目	フ ロ ー	要求性能	評価項目
構造体としての評価	<pre> graph TD A[一体性] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> 各構造物の使用目的による要求性能 	<ul style="list-style-type: none"> 構造耐力 接着性, 付着性 水密性, 透気性 ひびわれ防止 強度 耐久性
充填性(施工性)にかかわる評価	<pre> graph TD B[充填性] --> A[一体性] C[注入間隔] -.-> B D[受持面積] -.-> B E[注入速度] -.-> B F[注入圧力] -.-> B G[振動] -.-> B </pre>	<ul style="list-style-type: none"> 各構造物の使用目的による要求性能を確保するために, 空隙, 部材間の隅々まで充填できる性能 	<ul style="list-style-type: none"> 注入量 注入勾配, 高さ 接着性 流出口からの流出量と流動性の確認 強度
充填材の材料特性にかかわる評価	<pre> graph TD H[充填材] --> B[充填性] I[流動性] -.-> H J[材料分離抵抗性] -.-> H K[無収縮性] -.-> H L[強度特性] -.-> H </pre>	<ul style="list-style-type: none"> 各構造物の使用目的による要求性能を確保するために充填性と充填材の要求品質を満足できる性能 	<ul style="list-style-type: none"> 流動性 材料分離抵抗性 無収縮性 強度特性 硬化速度
構成材料にかかわる評価	<pre> graph TD M[セメント] -.-> H[充填材] N[水] -.-> H O[混和剤] -.-> H P[混和材] -.-> H Q[骨材] -.-> H </pre>	<ul style="list-style-type: none"> 各構造物の使用目的による要求性能を満足する構成材料の性能 	<ul style="list-style-type: none"> 低発熱性 膨張性 分散性 骨材の最大寸法

充填材の材料特性である流動性、材料分離抵抗性、無収縮性及び強度特性などに影響を及ぼす各種の要因が第 15 図のように整理されている。



第 15 図 充填材の材料特性に及ぼす各種の要因

(iii) まとめ

本委員会では、原子力環境整備センターによるセメント系充填材に係る検討状況も踏まえ、充填材全般としての要求事項、品質規格や試験方法を整理しており、

セメント系充填材の設計に当たり参考となる情報が取りまとめられている。

(3) 既往の知見のまとめ

セメント系充填材の設計に当たり考慮すべき項目が、JCI の委員会により要求事項として整理された。

原子力環境整備センターにおいても実規模の充填試験を含めた検討がなされ、各要求事項を満足するものとして2つの配合(3成分系及び2成分系)が示されている。

配合の検討に当たっては、主に水和熱の低減、ブリーディングの抑制、硬化収縮の低減に考慮されている。

このように、当初からひび割れの制御を考慮してセメント系充填材の検討が進められてきた。水和熱に対しては混和材の使用により、硬化収縮に対しては膨張材の使用により収縮によるひび割れの発生に対して対応されてきた。

3. 現在のセメント系充填材の配合選定

(1) 配合選定の経緯

低レベル放射性廃棄物施設に用いるセメント系充填材は、原子力環境整備センターにおいて推奨されていた2成分系(普通ポルトランドセメント(以下「N」という。))及び高炉スラグ(以下「S」という。)を質量比で1:9で混合)及び3成分系(中庸熱ポルトランドセメント(以下「M」という。))、S及びフライアッシュ(以下「F」という。)を質量比で2:5:3で混合)の2種類の結合材に対する比較検討を1992年度に実施し、設定した。

当時、原子力環境整備センターの検討成果では2成分系と3成分系では3成分系の温度上昇が大きいものの、その影響は小さいと考え、流動性を重視して3成分系モルタルを推奨していた。

一方、2成分系モルタルは温度上昇量が小さいことに加え、材料コストの面などで有利な点があった。また、温度上昇量や流動性に関しては使用する材料で変化することが知られており、セメント系充填材の配合設定に当たっては、実際に使用される可能性の高い材料を用いて比較検討して決定することが妥当であるとし、1992年度に当社にて配合選定試験を実施した。

(2) 配合選定試験

本試験では、スランプフロー及びブリーディング量を満足した上で、ひび割れ抑制を考慮した配合を選定することを目的として、結合材の構成比率を変化させた場合の温度上昇特性、流動性の変化について検討した。

(i) 検討した混合比率

本試験では、第30表に示す結合材比率で試験を実施した。

第 30 表 配合選定試験で実施した結合材比率

No.	セメント	高炉スラグ	フライアッシュ	備 考
1	5(N)	95	—	スラグ混合率の影響検討
2	10(N)	90	—	同上
3	15(N)	85	—	同上
4	10(N)	60	30	フライアッシュ置換の効果
5	10(M)	90	—	M の効果
6	20(M)	50	30	既往検討の確認と M の効果

(ii) 試験項目

試験項目を第 31 表に示す。

なお、準拠規定等は 1992 年当時のまま示した。

第 31 表 試験項目一覧

試験項目	仕 様	準拠規定等
スランプフロー	0, 30, 60, 90, 120 分	土木学会基準コンクリートのスランプフロー試験方法(案)
ドラム缶フロー	同上	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書
空気量	同上	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量による試験方法
練り上がり温度	同上	アルコール棒状温度計による測定
断熱温度上昇	1 配合につき 1 回	空冷 2 槽式試験機により測定
凝結	同上	ASTM C 403 プロテクター貫入抵抗試験
ブリーディング率	同上	JSCE-F522 プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法(ポリエチレン袋方法)
単位容積質量	同上	JIS A 1116 フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法(質量方法)
圧縮強度	3, 5, 7, 14, 28 日	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

(iii) 試験結果

試験配合はあらかじめスランプフローが 70cm～75cm の範囲となるように配合を調整した後、比較試験を実施している。配合選定試験の結果を第 32 表及び第 33 表に示す。

a. 流動性

第 30 表に示した No. 1～No. 6 の結合材を用いた配合においても 120 分後のスランプフローが 65cm 程度であり、ドラム缶フローも閉塞することなく全て流下したことから、優れた流動性を確保できることを確認した。

b. 断熱温度上昇量

断熱温度上昇量は S の置換率が高くなるに伴い低減される結果となった。また、第 1 表に示す No. 2 と No. 5 の使用するセメントの種類の違い (N と M) としては、M を用いた方が 2℃ 程度小さい結果となった。

c. 凝結特性

2 成分系モルタルの凝結時間は、S の置換率が高くなるに伴い始発・終結時間ともに遅れるが終結の目標時間である 48 時間^{*1} 以内をクリアした。また、セメントの種類の違い (N と M) による凝結時間はほとんど変化しない結果となった。3 成分系モルタルの凝結時間は、2 成分系モルタルよりも遅く、No. 4 及び No. 6 配合ともに目標時間をクリアしない結果となった。

d. 一軸圧縮強度

2 成分系モルタルにおいては、断熱温度上昇量が大きいものが圧縮強度も大きくなる結果となった。これは、セメントの水和反応に応じた強度発現が得られていると判断できる。一方、3 成分系モルタルは、セメント量が多い No. 6 配合の圧縮強度が高い結果となったが、断熱温度上昇量が同等である 2 成分系の No. 3 配合と比較すると、約 8 割程度 (28 日強度時点) の強度発現に留まる結果となった。配合の構成材料が異なることから、2 成分系と 3 成分系のモルタルを断熱温度上昇量と強度の関係を同列に扱うことはできないが、3 成分系のモルタルに関しては F を使用しているため、S と F の水和生成物の違いが強度発現に影響を与えたと考えられる。

(3) 配合選定試験まとめ

セメント系充填材の流動性に関しては、いずれの配合も 120 分後のスランプフローの値が 65cm 程度であり性能に遜色はないと結論づけた。断熱温度上昇量は、S の置換率が高くなると温度上昇を低く抑えられることが明らかとなった。ただし、No. 1 配合の場合は、結合材の製造過程において生じる計量誤差により N の添加量が少なくなることも想定され、S の潜在水硬性の刺激量が少なくなることで生じる凝結遅延や強度発現不足を回避するため、選定外とした。また、3 成分系のモルタルは F を使用することで凝結が遅れる傾向であること、圧縮強度が 2 成分系に比べて小さいことが確認された。当時は、種々の現場 (本四連絡橋工事など) において F の品質

上の問題が懸念*2されていたこともあり、No.5の2成分系のモルタル(1:9モルタル)を選定*3した。

*1:凝結の終結時間は、モルタル充填の次工程である上部ポーラスコンクリート板設置作業までの最短スケジュールである2日程度を目安とした。工程を遅らせることも選択肢にあったが、凝結が遅すぎると材料分離の懸念もあったことから48時間を目標値とした。

*2:1958年に「JISA6201フライアッシュ」が、1960年には「JIR5213フライアッシュセメント」がそれぞれ制定された。その後、1970年代には使用量が年々増加するに従い、フライアッシュの一層の有効活用を図る目的で品質規定を主とする改正が行われたが、以降、品質規定は1999年「JISA6201コンクリート用フライアッシュ」にてフライアッシュの種類の設定と品質の改正が行われるまで見直しがされていない。さらに、1968年と1977年のフライアッシュの物理的性質を比較すると、1977年時の規定が緩和されていることが分かる。これは、火力発電所で用いる石炭が国内から海外炭に移行したことにより、石炭灰の品質も変化していたことが影響したものと思われ、セメント系充填材の配合検討当時に品質上の問題が懸念されたことは理解できる。

*3:Sは、1986年に土木学会規準「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格(案)」が制定され、当時のコンクリート標準示方書にその使用についての規定が設けられた。コンクリート用高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、1995年に「JISA6206コンクリート用高炉スラグ微粉末」が制定されるまでの間、1988年に制定された「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案)」が標準として用いられていたことから、これを参考に検討を実施することで品質変動が抑制されると考えた。なお、昨今では高炉セメントは普通セメントと比較して自己収縮が大きくなることが知られているが、配合設定当時(1992年)は、乾燥収縮に比べてその影響は小さいことから、ひび割れ制御や設計において考慮されていなかった。ひび割れ発生原因として自己収縮を考慮するようになったのは、平成8年に制定されたコンクリート標準示方書(設計編)からである。

第 32 表 埋設設備充填モルタル配合試験結果一覧表(圧縮強度を除く)

No.	単体量 (kg/m ³)						混和剤量				試験結果											備考			
	水 (W)	セメント (C)	高炉スラグ (S)	フライアッシュ (F)	膨張材 (EX)	細骨材	増粘材 (kg/m ³)	No. 70 C×%	NL4000 C×%	スランプフロー (cm)			ドラム缶フロー (分' 秒")			空気量 (%)			単位容積質量 (t/m ³)	練上り温度 (°C)	凝結 (時間)		ブリーディング (率)	断熱温度上昇 (°C)	
										0分	60分	120分	0分	60分	120分	0分	60分	120分			始発				終結
1	280	20	377	—	25	1,470	1.5	0.10	1.0	71.0	70.8	67.0	2' 06"	2' 39"	3' 17"	2.9	1.9	2.3	2.183	19.7	39.1	47.6	0	20.7	N5:S95
2	281	40	357	—	25	1,468	1.5	0.10	1.0	72.5	69.8	67.0	2' 54"	3' 12"	4' 03"	2.8	2.2	2.2	2.187	18.8	33.7	43.6	0	25.8	N10:S90
3	285	60	337	—	25	1,460	1.5	0.10	1.0	71.0	69.5	65.8	1' 38"	2' 39"	2' 34"	3.1	1.9	2.1	2.173	18.7	29.5	42.0	0	28.9	N15:S85
4	283	40	238	119	25	1,428	1.5	0.10	1.0	70.8	68.3	67.0	1' 36"	2' 29"	2' 52"	3.4	1.6	1.9	2.135	18.9	43.7	53.2	0	26.2	N10:S60:F30
5	283	40	357	—	25	1,462	1.5	0.10	1.0	72.3	71.3	65.0	1' 53"	2' 28"	2' 25"	3.5	2.3	1.8	2.173	19.1	35.2	44.0	0	23.2	M10:S90
6	291	79	199	119	25	1,410	1.5	0.10	1.0	72.5	67.8	64.5	1' 25"	1' 31"	1' 43"	2.8	1.4	1.7	2.217	19.8	35.7	50.8	0	28.1	M20:S50:F30

第 33 表 埋設設備充填モルタル配合試験 圧縮強度試験結果一覧表

No.	圧縮強度 (kgf/cm ²)					備考
	材齢 3 日	材齢 5 日	材齢 7 日	材齢 14 日	材齢 28 日	
1	18.1	34.4	45.3	74.9	103	N5:S95
2	28.3	59.2	82.3	116	135	N10:S90
3	32.3	69.6	97.1	145	174	N15:S85
4	13.3	39.6	60.3	95.3	117	N10:S60:F30
5	27.2	58.2	78.9	110	136	M10:S90
6	15.4	41.3	60.2	103	137	M20:S50:F30

4. 新增設におけるセメント系充填材の配合改良

(1) 目的

1:9 モルタルは低温期には更に水和反応が遅れることから、確実な品質確保のため寒冷時(12月中旬から翌年3月中旬)には打ち込みを行わないこととしている⁽⁴⁾。

一方、寒冷時に施工制限が発生することに伴い、廃棄体定置後に未充填区画が多数生じることで災害時における被ばくリスクが高まるため、作業時におけるさらなる安全性確保が課題となっている。これらを踏まえ、年間を通じて安定したセメント充填材の品質を確保する必要があると考え、1:9 モルタルの配合設計の考え方を踏襲しつつ、低温下でも安定した品質を確保できる改善配合を検討した。

(2) セメント系充填材に要求される品質項目

セメント系充填材には、前項に記載したひび割れ抑制などに加え、モルタル施工時の作業者の被ばく低減のため、人力による補助作業(振動作業)を排除し、遮蔽用のコンクリート仮蓋を設置した状態で区画の中央部一箇所からモルタルを注入する工法を選択した。このような埋設施設特有の施設形態を考慮し、配合設計及び施工はプレパックドコンクリート及び水中不分離性コンクリートに準じて、検討を実施してきた背景がある。また、充填後の次工程においても作業者の被ばくを低減するため、モルタル硬化後は遮蔽性能も要求される。

セメント系充填材に要求される性能を第34表に、性能設定の根拠を第35表に示す。

第 34 表 改善配合のセメント系充填材要求品質

技術的要件	具体的項目	目標性能
流動性(充填性)	スランプフロー	65cm 以上
材料分離抵抗性(密着性)	ブリーディング	0%
力学的安定性	圧縮強度	10N/mm ² 以上
耐凍害性	空気量	5±1.5%
凝結遅延抑制	凝結時間	終結時間が 48 時間以内
遮蔽性	乾燥単位容積質量	1.6t/m ³ 以上
ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	可能な限り小さいこと
	自己収縮ひずみ	同上
	乾燥収縮ひずみ	同上
低透水性	透水係数(基質部)	同上

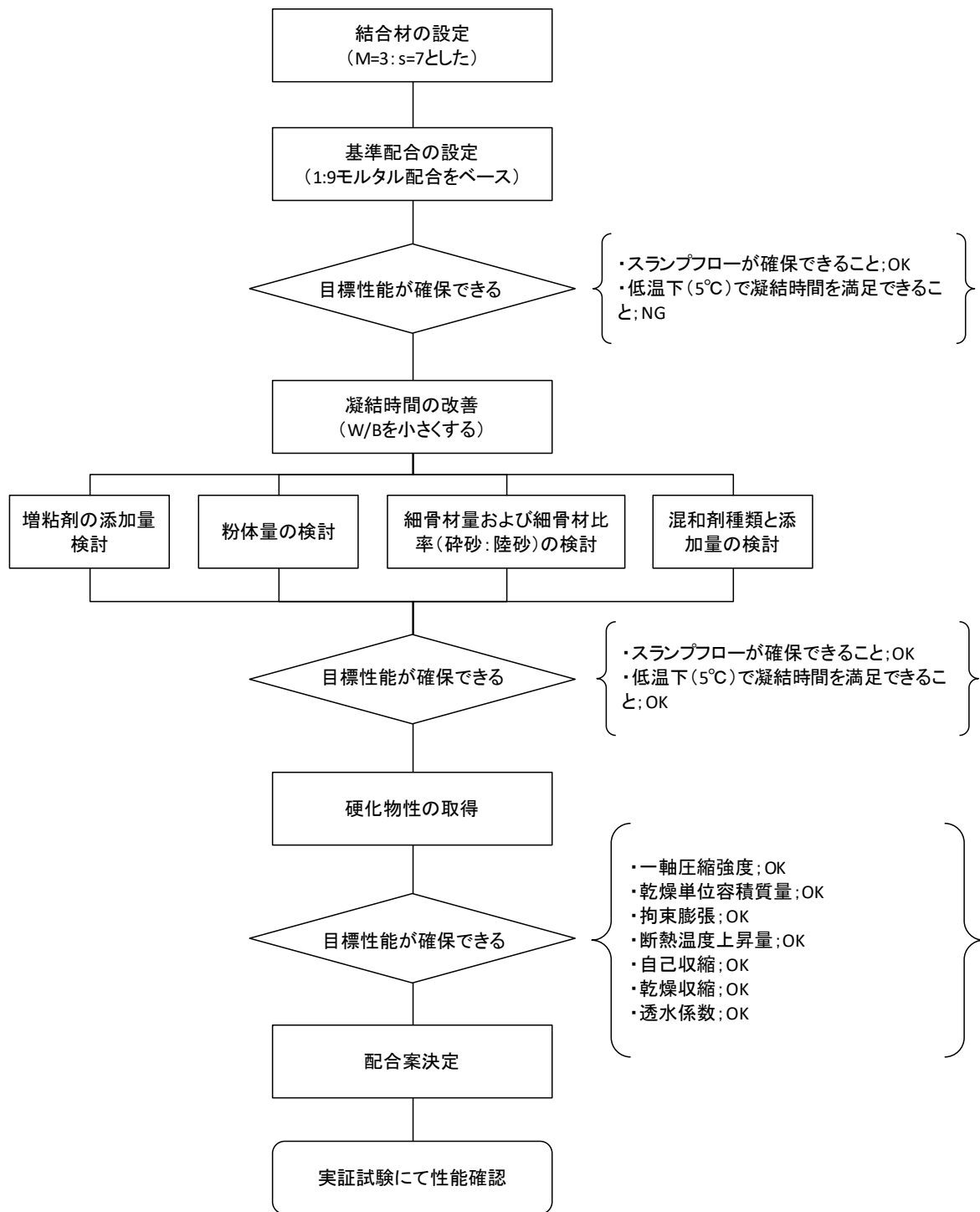
第 35 表 セメント系充填材目標性能設定根拠

具体的項目	根拠
スランプフロー	低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験 ⁽⁵⁾ 等
ブリーディング	同上
圧縮強度	当社社内基準 ⁽⁶⁾
空気量	「コンクリート標準示方書(施工編)」 ⁽⁷⁾ の最大値を超えないこと
凝結時間	当社社内基準 ⁽⁸⁾
乾燥単位容積質量	廃棄物埋設事業変更許可申請書 ⁽⁴⁾
断熱温度上昇量	施工性能を達成できる範囲で可能な限り小さくすること
自己収縮ひずみ	同上
乾燥収縮ひずみ	同上
透水係数(基質部)	同上

(3) セメント系充填材の改善配合検討

セメント系充填材の改善配合の検討において最も重要となるのは、必要な施工性能を確保しつつ、材料分離や硬化不良の不具合を防止するため、低温環境下においても凝結遅延がないようにすることである。このため、1:9 モルタルをベースとし、初期の水和反応を促進するため刺激剤となる M の比率を高め、S の置換率を減じた配合を検討することとした。

なお、M 及び S の比率は断熱温度上昇量を抑制するため、S の置換率は 60%以上⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ とするとともに初期に生成される水和生成物に着目⁽¹¹⁾し、設定した。検討の流れを第 16 図に示す。



第 16 図 充填モルタル改善配合の検討フロー

(4) セメント系充填材量改善配合の検討内容

(i) 基準配合の設定

a. 現状の把握

低温環境下(5℃を設定)における 1:9 モルタルの凝結時間(終結)は、平穩時の約 3 倍となる(130h)ことを試験で確認している。

b. 品質安定化に向けた配合検討の方針

- ・低温環境下での凝結時間を改善し、材料分離を抑制すること。
- ・低温環境下でも安定した水和反応が得られるようにすること。
- ・スランプフローなど、従来の性能要件を確保すること。
- ・最新知見を考慮し、材料仕様は最新に見直すこと。

c. 基準配合案の設定

1:9 モルタルの配合をベースに、M の使用量を 30%まで高めた配合で、低温環境下の凝結時間及び圧縮強度がどの程度改善されるかを確認した。配合を第 36 表に示す。

第 36 表 基本配合案の示方配合

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)								
			水 W	結合材 B			細骨材		水中不分離性混和剤	超遅延性減水剤 No. 89	高性能 AE 減水剤 SP8LS
				中庸熱セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	砕砂	陸砂			
67.1	3.43	3.0	283	422			1,457		1.5	B× 0.15%	B× 1.0%
				127	295	—	873	582			

(参考添付 1:9 モルタル配合表)

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)								
			水 W	結合材 B			細骨材		水中不分離性混和剤	AE 減水剤 No. 70	高性能減水剤 L4000
				中庸熱セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	砕砂	陸砂			
67.1	3.43	3.0	283	422			1,457		1.5	B× 0.2%	B× 1.5%
				42	380	—	873	582			

d. 基本配合案の凝結試験結果

低温環境下における基本配合案の凝結時間及び圧縮強度の結果を第 37 表に示す。凝結の始発は 35 時間 0 分、終結時間は 72 時間 20 分となり、1:9 モルタルに比べ大幅に改善が図られたものの、目標時間である 48 時間を満足するには更に 24 時間程度短縮する必要があった。圧縮強度では、91 日後で 22.2N/mm²まで増進し、要求性能を満足できる結果が得られた。

このため、M:S の比率は 3:7 とし凝結時間を短縮するための配合を設定するため、W/B を小さくするなどの配合変更を検討することとした。

第 37 表 基本配合案の凝結時間及び圧縮強度の結果

環境条件	凝結時間		圧縮強度 (N/mm ²)		
	始発	終結	7 日	28 日	91 日
平温時 (20℃)	14 時間 40 分	28 時間 00 分	11.4	22.5	28.5
低温時 (5℃)	35 時間 00 分	72 時間 20 分	1.82	11.5	22.2

(ii) 充填モルタルの配合改善の検討

基準配合の試験結果から、M と S の比率を 3:7 とすることで凝結時間の改善が図られたことから、結合材は 3:7 とし、以降の項目検討を実施することとした。従来の要求品質を確保し低温環境下での凝結改善を達成可能な配合を選定するため、室内試験練りを実施して第 38 表に示す配合を設定した。

a. 単位結合材料の設定

材料分離抵抗性、水和生成物量の観点から、従来の 422kg/m³ 以上を確保する。体積変化を抑制するため、膨張材を添加する。

b. 水・結合材比

55%以下とすることで、水密性の向上と凝結改善を図る。

c. 材料分離抵抗性

単位水量変動に対する抵抗性を確保するため、単位粉体量に加え、水中不分離性混和剤を使用することとした。

d. 細骨材比率

W/B=55%以下とすることで粉体又は細骨材量が増となり、粘性が増すことが想定されるため、砕砂と陸砂の比率は 6:4 とした。

S/B は、廃棄体間の間隙通過性を考慮し、配合に占める細骨材比(容積)を従来と同様とした(S/B は 3.46 程度以下となるよう設定)。

e. 混和剤

混和剤は、従来の 2 本使いから 1 本使いを目標とした。種類は、高性能 AE 減水剤とした。

混和剤は汎用品から選定することとした。

第 38 表 品質改善したセメント系充填材の示方配合

W/B (%)	S/B	空気量 (%)	単体量 (kg/m ³)							
			水 W	結合材 B			細骨材 S		水中不 分離性 混和剤	高性能 AE 減水 剤 SP8HVM
				中庸熱 セメント	高炉ス ラグ 微粉 末	膨張 材	砕砂	陸砂		
55.0	3.17	5.0	252	458			1,454		1.1	4.58
				131	307	20	872	582		B× 1.0%

(5) セメント系充填材改善配合の検討結果

(i) 室内試験練り(フレッシュ性状確認試験)

- a. スランプフロー試験結果(75cm±10cm、5時間後も65cm以上を確保が理想)

第 39 表に示すように、平温時(20℃)及び低温時(5℃)においても、目標性能を満足する結果が得られた。

第 39 表 スランプフロー試験結果

環境条件	スランプフロー (cm)					
	5分	60分	120分	180分	240分	300分
平温時(20℃)	74.3	75.0	72.3	72.5	71.0	69.0
低温時(5℃)	69.8	71.0	70.0	69.8	68.0	66.5

- b. 空気量(1時間後に5%±1.5%)

空気量測定結果を第 40 表に示す。平温時(20℃)では目標性能を達成可能であったが、低温時(5℃)では、目標性能を僅かに外れた。低温下では水中不分離性混和剤の粘性が増すことが知られている。このため、練混ぜ時に巻き込ん

だ空気(エントラップドエア)が抜けきれずに所定の範囲に収まらなかったと考えられる。

ただし、これらは混和剤等の添加量を微調整することで対応可能であるため、最終的には実機試験練りにて修正することとし、問題ないと判断した。

第 40 表 空気量測定結果

環境条件	空気量(%)	
	5 分	60 分
平温時 (20℃)	4.6	3.8
低温時 (5℃)	9.0	7.0

c. ブリーディング率(ノンブリーディング)

平温時(20℃)及び低温時(5℃)いずれも 0%であり目標性能を満足する結果が得られた。

d. 凝結時間

凝結時間の試験結果を第 41 表に示す。基本配合案(第 37 表の凝結時間参照)に比べると、平温時及び低温時の終結時間はそれぞれ、6 時間 45 分と 15 時間 35 分短くなっており、W/B を見直したことによる効果であると考えられる。

なお、目標性能である 48 時間には 8 時間程度及ばない結果となったが、空気量の調整とあわせて混和剤等の添加量を修正(減じる)すれば、更に凝結時間の短縮が期待できると思われる。

第 41 表 凝結時間の試験結果

環境条件	凝結時間	
	始発	終結
平温時 (20℃)	15 時間 55 分	21 時間 15 分
低温時(5℃)	37 時間 05 分	56 時間 45 分

(ii) 硬化物性取得試験(平温時のみ取得)

a. 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を第 42 表に示す。低温時の圧縮強度は取得していないが、基本配合案(第 37 表の圧縮強度参照)の検討段階において M:S 比率が 3:7 であれば設計基準強度を満足できることを確認している。充填モルタル改善配合(以下「改善配合」という。)では W/B を小さくし、単位結合材も増量したことで平温時の強度が増進している。このため、改善配合は低温時においても安定した強度発現が得られると考えられる。

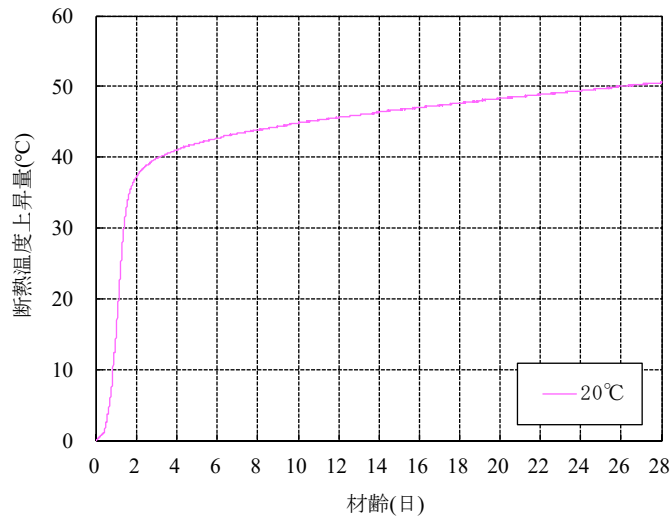
第 42 表 圧縮強度の試験結果

環境条件	圧縮強度 (N/mm ²)		
	7 日	28 日	91 日
平温時 (20℃)	22.6	32.3	43.0

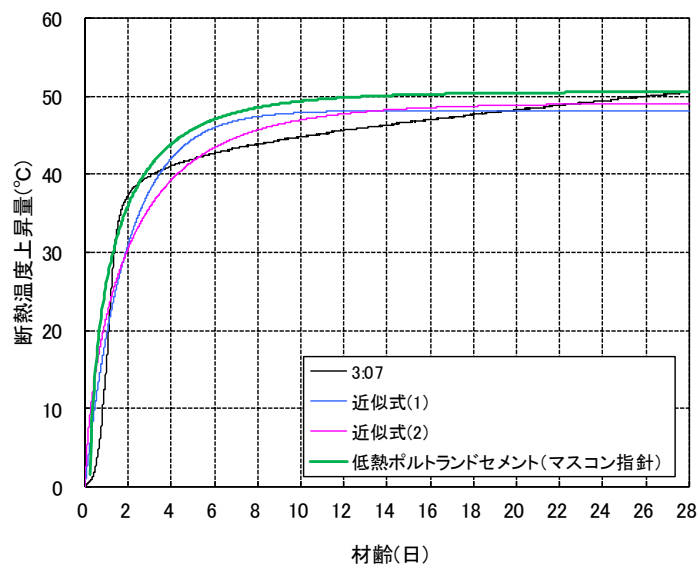
b. 断熱温度上昇量

断熱温度上昇量の試験結果を第 17 図に示す。断熱温度上昇量は一般に使用する結合材量が増えるに従い上昇する。改善配合結合材比率を M:S=3:7 としており、セメント比率が増えることによって、S の潜在水硬性も比例して促進されたことで、50℃程度まで上昇したと考えられる。

なお、参考までに同じ低発熱型のセメントである低熱ポルトランドセメントを改善配合の結合材と同量とした場合の断熱温度上昇量と比較したものを第 18 図に示す。両者はほぼ同等の断熱温度上昇量であることがわかる。このため、改善配合の断熱温度上昇量は、低発熱型セメントを使用した効果が発揮されていると考えられる。



第 17 図 改善配合の断熱温度上昇量試験結果

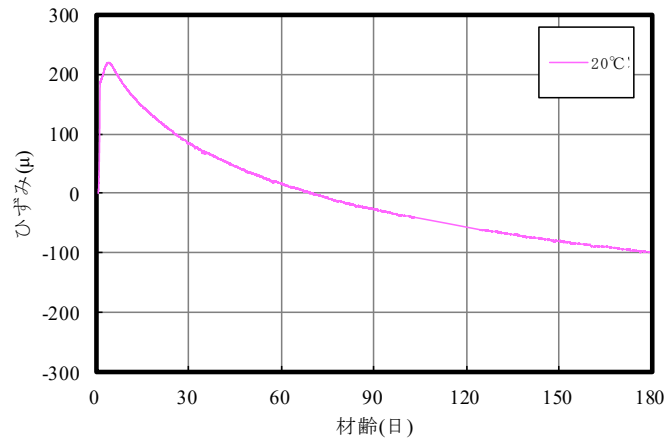


配合名	K	α	β	近似式
改善配合	48.2	0.515	-	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t))$ ……式(1)
	49.2	0.586	0.725	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t^\beta))$ ……式(2)
低熱ポルトランドセメント(マスコン指針)	50.6	0.867	0.639	$Q(t)=K(1-\exp(-\alpha t^\beta))$ ……式(2)

第 18 図 改善配合と低熱ポルトランドセメントの断熱温度上昇量比較

c. 自己収縮

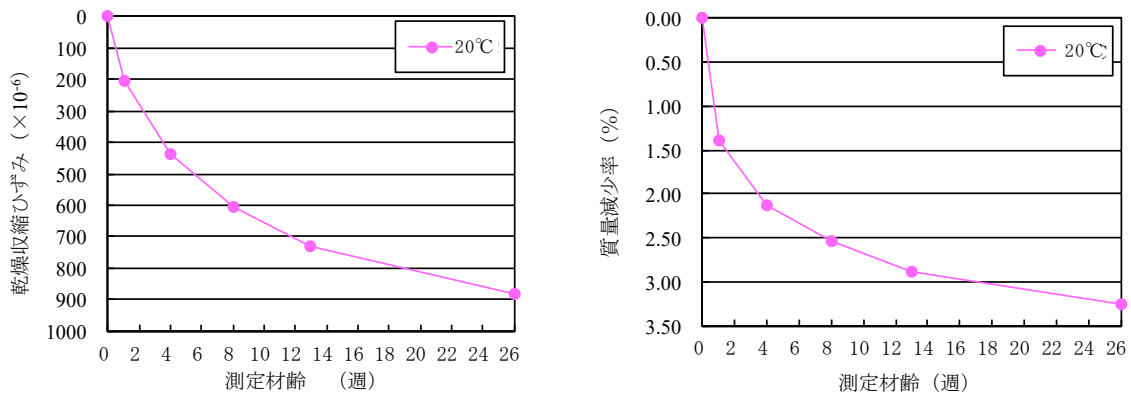
改善配合の自己収縮の測定結果を第 19 図に示す。改善配合では単位結合材料の増量と単位水量が減量されることによる収縮補償用として添加した膨張材の効果により、自己収縮ひずみは $100\ \mu\text{m}$ 程度まで抑えられたと考えられる。



第 19 図 改善配合の自己収縮試験結果

d. 乾燥収縮

改善配合の乾燥収縮測定結果を第 20 図に示す。単位水量を減じた効果により、乾燥収縮ひずみは一般のコンクリートと同程度の $800 \times 10^{-6} \sim 900 \times 10^{-6}$ となった。セメント系充填材は区画内に充填されるため、実際には乾燥の影響を受け難い環境であることを考慮すれば、改善配合は更に収縮量は低減されると考えられる。



第 20 図 改善配合の乾燥収縮試験結果

e. 乾燥単位容積質量

改善配合の乾燥単位容積質量の試験結果を第 43 表に示す。要求性能を満足できることを確認した。

第 43 表 乾燥単位容積質量の試験結果

環境条件	乾燥単位容積質量 (t/m ³)
平温時 (20℃)	2.00

(iii) 改善配合の検討結果まとめ

低温環境下における凝結改善を目的とした配合検討の結果、結合材比率(M:S比率)を 3:7 とすることで、低温時においても終結が 56 時間程度まで改善された。また、従来からの要求性能を満足できる見通しが得られたことで、

第 38 表に示す改善配合を新配合充填材の候補にすることとした。また、改善配合の検討を実施したことで収縮量の低減なども可能となり、更なるひび割れ抑制効果も期待できると考えられる。

なお、実際のセメント系充填材の性能については、模型実験等を経て性能を評価し、最終判断する必要があるとし、後述する新配合充填材実証試験を実施している。

5. 新配合充填材実証試験

(1) 目的

新配合充填材(以下「3:7 モルタル」という。)の実構造物における施工性(充填性)と硬化後の性状が目標性能を達成可能であることを確認する。

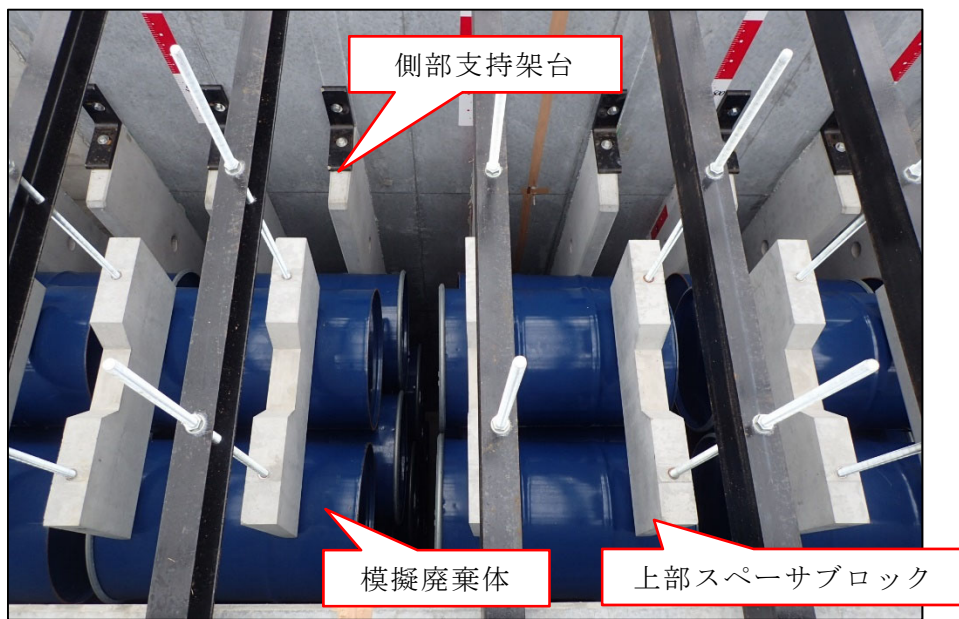
充填時において3:7 モルタルの充填性、側壁等に与える影響を分析・評価する。
ドラム缶周りの隙間への充填性などを確認する。

(2) 検討内容

新配合充填材実証試験(以下「実証試験」という。)に用いる設備は、2号埋設設備の高さを模擬するとともに、打込み速度も実施設と同様とした。モルタルを打設する試験体と検討項目を第21図、第22図及び第44表に示す。



第21図 実証試験供試体の外観



第 22 図 実証試験供試体の内側

第 44 表 実証試験における主な確認項目

検討項目	確認方法	確認内容
流動性の確認	目視・測量	セルフレベルリング性
間隙通過性の確認	目視・コア観察	廃棄体とモルタルの密着性
ひび割れ発生状況	目視・スケッチ	ひび割れ発生の有無

(3) 試験方法

モルタル打設は、2t 車級コンクリートポンプ車(11m、3 段屈折式ブーム、30m³/h)を使用した。ポンプ車の配置状況を第 23 図に示す。アジテータ車は全 11 台(4m³積み)とし、打込み量は、スペーサブロック上面の高さで終了することとした。



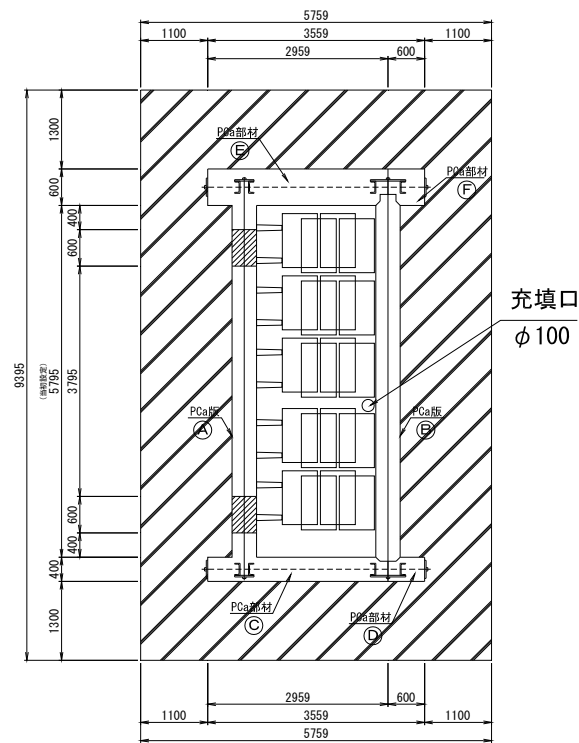
第 23 図 モルタル打設方法

打設方法は、実施工を模擬して、ブームを充填口に配置し、サニーホースに接続して、底面上 50cm 位置から打込みを開始した。サニーホースは打設高さ 50cm ごとに引き上げ、ホース下部を 50cm カットして充填口に戻し、これを 50cm 打ち上げるごとに繰り返した。

打込み速度は実施工を模擬して、同様の打ち上がり高さとなるよう以下の打込み速度とした。

$$40\text{m}^3/5\text{h}=8\text{m}^3/\text{h}\approx\text{約 }130\text{L}/\text{min}$$

供試体の平面図を第 24 図に、充填状況を第 25 図に示す。



第 24 図 実証試験供試体平面図



第 25 図 充填モルタル打込み状況

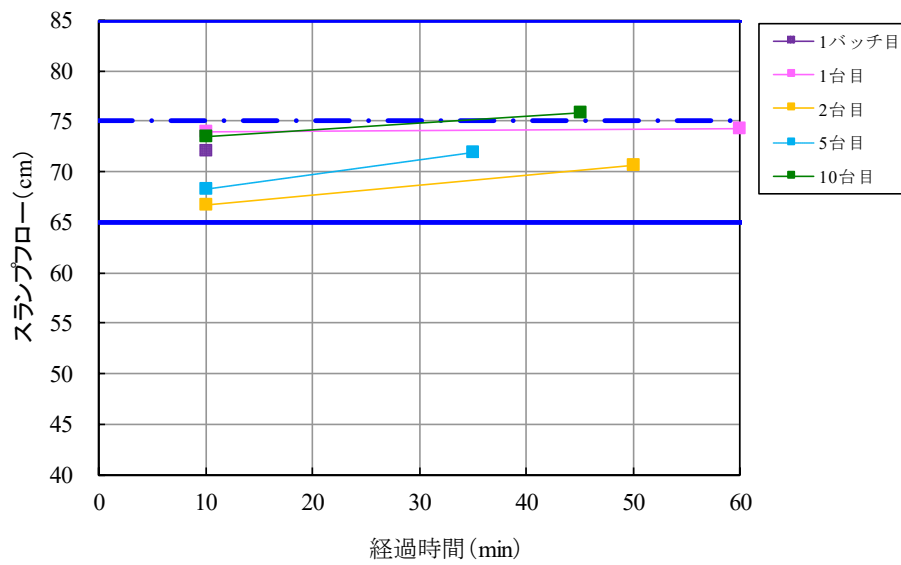
(4) 試験結果及び考察

(i) フレッシュ性状

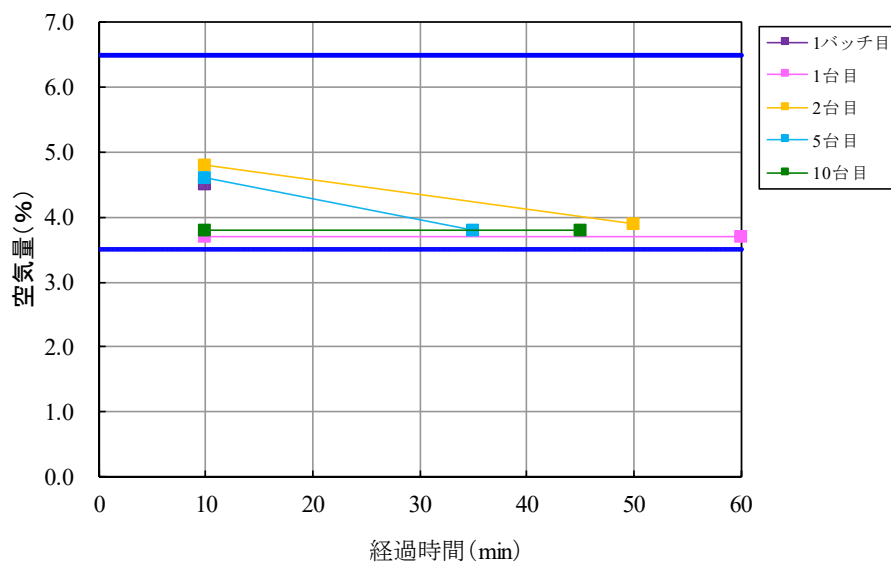
第 45 表、第 26 図及び第 27 図に示すように、要求品質を全て満足していることを確認した上で打設した。

第 45 表 フレッシュ性状確認結果

水準	経過時間 (min)	スランブフロー (cm)			平均	空気量 (%)	モルタル 温度 (℃)
			×				
1バッチ目	10	72.2	×	72.1	72.15	4.5	21
1台目	10	74.8	×	73.0	73.90	3.7	21
	60	74.5	×	74.0	74.25	3.7	23
2台目	10	67.1	×	66.4	66.75	4.8	21
	50	70.7	×	70.7	70.70	3.9	23
5台目	10	68.5	×	68.0	68.25	4.6	22
	35	72.0	×	72.0	72.00	3.8	23
10台目	10	73.7	×	73.2	73.45	3.8	22
	45	76.0	×	75.6	75.80	3.8	22



第 26 図 スランブフロー試験結果



第27図 空気量試験結果

(ii) ブリーディング

第28図に示すように、発生していないことを確認した。



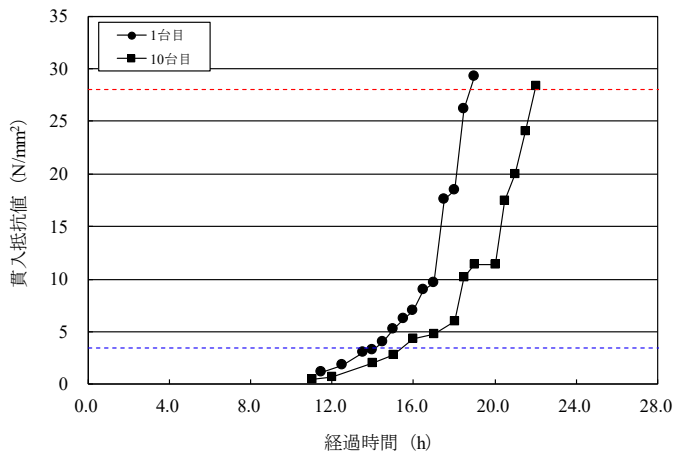
1台目

10台目

第28図 ブリーディング試験結果

(iii) 凝結

第29図に示すように、表面水の変動等の要因によりアジテータ車1台目と10台目で凝結時間が1時間程度相違したものの、目標の凝結終了時間を十分に満足している。

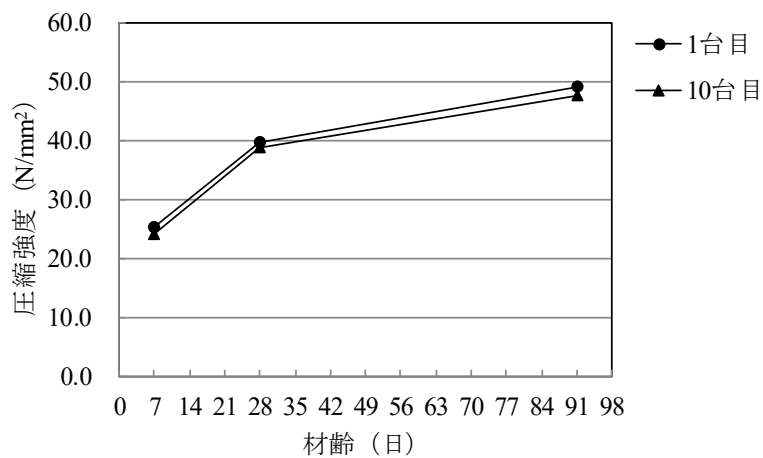


試料名	始発	終結
	h:m	
1台目	14:25	18:50
10台目	15:30	21:55

第 29 図 凝結時間結果

(iv) 圧縮強度

第 30 図に示すように、所定の圧縮強度発現を確認できた。



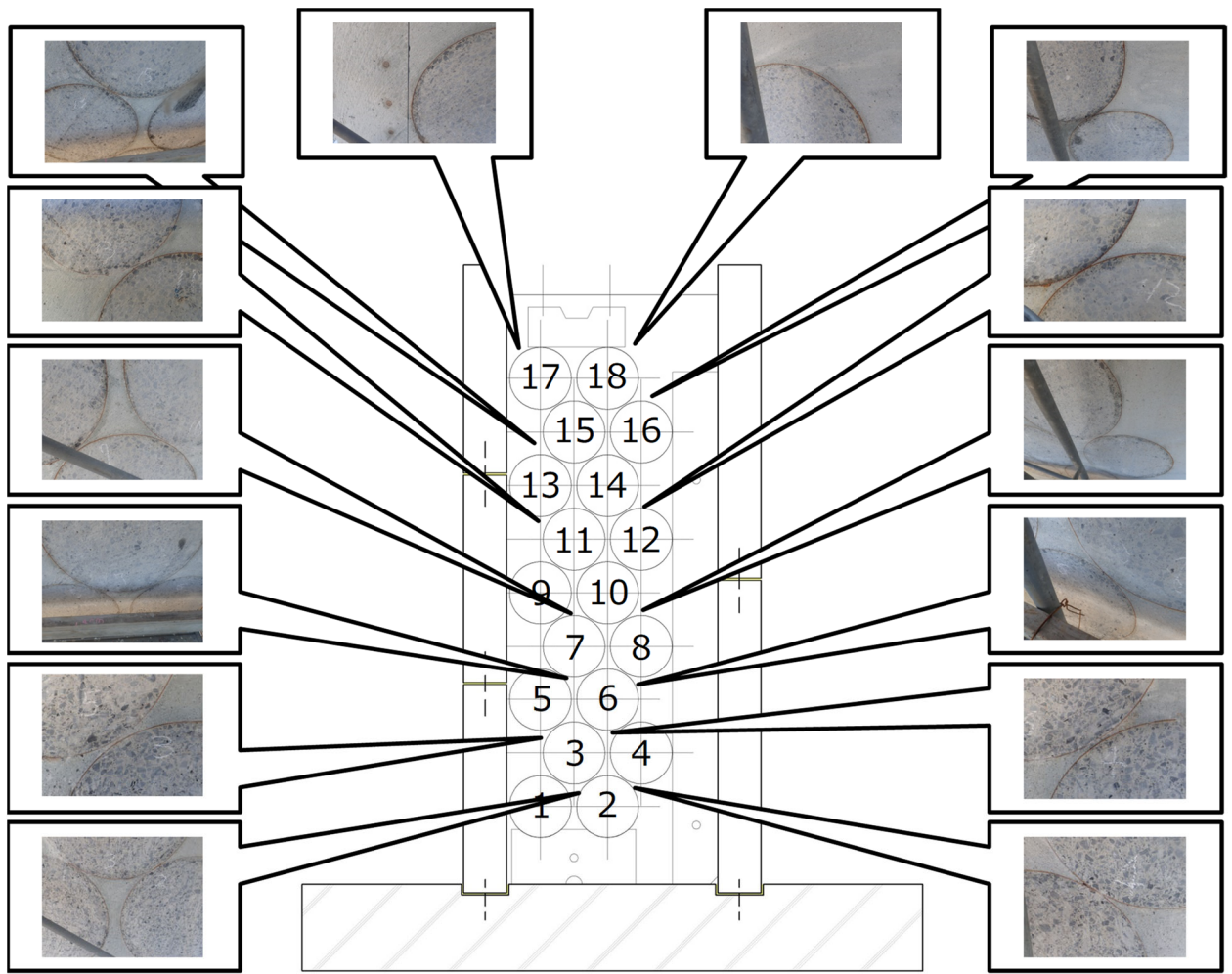
第 30 図 圧縮強度試験結果

(v) ドラム缶周りの充填性

3:7モルタルを打設した後に試験体を切断し、ドラム缶の隙間やドラム缶の蓋周辺の充填状況を確認した（第 31 図、第 32 図及び第 33 図）。これより、輪体で重なるドラム缶の隙間や蓋の隙間などにも密実に充填されていることが確認できた。



第 31 図 充填状況（輪切り断面）（その 1）



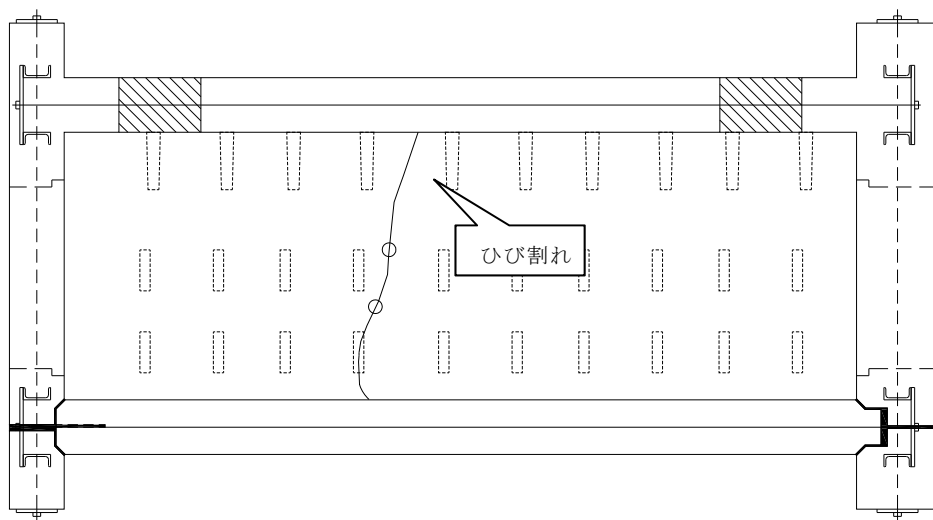
第 32 図 充填状況（輪切り断面）（その 2）



第 33 図 充填状況（側面）

(vi) ひび割れ発生状況

3:7モルタルを充填してから4日後に第34図に示すひび割れが発生した。ひび割れ深さは、長辺方向に切断した後断面を確認し、最上部のドラム缶位置までひび割れが達していることがわかった。しかし、今回の試験体は東西方向の長さを実際の区画の1/3程度としているため、実施設よりも拘束が厳しい。20℃程度の外気温の場合、実施設で温度ひび割れが発生したとしても、1本程度以下であることが確認できた。



第34図 ひび割れ発生状況

(5) まとめ

操業時におけるさらなる安全性確保の観点から、低温下でも安定した品質を確保できる改善配合を検討した。

従来からの要求事項を満足しつつ、低温下での凝結時間が管理できる配合を選定した。

充填性試験の結果、ドラム缶周りの隙間などにも密実に充填されていることが確認できた。

モルタルの収缩量にも配慮されており、ひび割れの発生可能性は小さいものとなっている。

参考文献

- (1) 充填材の品質評価研究委員会(1993)：充填材の品質評価研究委員会報告、コンクリート工学、Vol. 31、No. 8、1993. 8
- (2) 日本コンクリート工学協会(1992)：充填材の品質評価研究委員会中間報告書、1992年12月
- (3) 日本コンクリート工学協会(1992)：セメント系充填材に関するシンポジウム 論文集、1992年12月
- (4) 日本原燃株式会社(1997)：六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設施設事業変更許可申請書、平成9年9月(一部補正)
- (5) (財)原子力環境整備センター(1988)：低レベル放射性廃棄物施設貯蔵安全性実証試験報告書 昭和62年度
- (6) 日本原燃(株)：埋設設備充てん業務品質管理基準(25版)、2016. 7
- (7) (公財)土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 施工編、2018. 3
- (8) 日本原燃(株)：土木操業管理細則(30版)、2017. 8
- (9) (社)土木学会(1988)：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針(案) 昭和63年1月、1988. 1
- (10) コンクリート工学会(1996)：技術フォーラム資源の有効活用とコンクリート(第5回)高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート、1996. 4
- (11) 矢ノ倉ほか(2015)：中庸熟セメントと高炉スラグ微粉末の混合比を変えたペーストの水和反応に関する研究 土木学会第70回年次学術講演会、V-483、pp. 965-966、2015. 9

1 号及び 2 号廃棄物埋設地の覆土について

目 次

1. 既許可の覆土時期.....	1
2. 覆土の範囲及び時期.....	1
(1) 1号廃棄物埋設地.....	1
(2) 2号廃棄物埋設地.....	1
3. 覆土の工程.....	2

1. 既許可の覆土時期

1号廃棄物埋設地の覆土の時期について、既許可において「埋設開始以降30年経過し35年以内の間」としている。埋設開始が1992年12月であることから、2027年12月までに覆土を行うこととしている。

2号廃棄物埋設地は、同様に「埋設開始以降25年経過し30年以内の間」としており、埋設開始が2000年10月であることから、2030年10月までに覆土を行うこととしている。

2. 覆土の範囲及び時期

1号及び2号廃棄物埋設地の覆土の範囲及び時期について以下に整理した。

(1) 1号廃棄物埋設地

(i) 目的

既設の埋設設備は、一部設備でひび割れ等から雨水の浸入が認められていることから、埋設設備への水の浸入をできるだけ抑制するため、難透水性覆土を含めた覆土で埋設設備を覆う。

(ii) 覆土範囲について

既許可の時期(2027年12月)までに行う廃棄物埋設地の覆土範囲について、以下に示す。

- a. 1群から6群は、埋設設備への水の浸入を抑制する観点から、既許可の時期までに順次、覆土を行う。
- b. 7,8群は、今後構築・操業していくことから、1群から6群の覆土の工事工程とは分離して操業を行い、操業終了後に覆土を行う。

(iii) 覆土時期について

1号廃棄物埋設地については、既許可の時期(2027年12月)までに1群から6群の覆土を行う。なお、6群を覆土するには、7群の操業が終了している必要があることから、6群は、7群の操業が終了次第、覆土を行う。

これらに基づく2027年12月での覆土の形状イメージを第1図に示す。

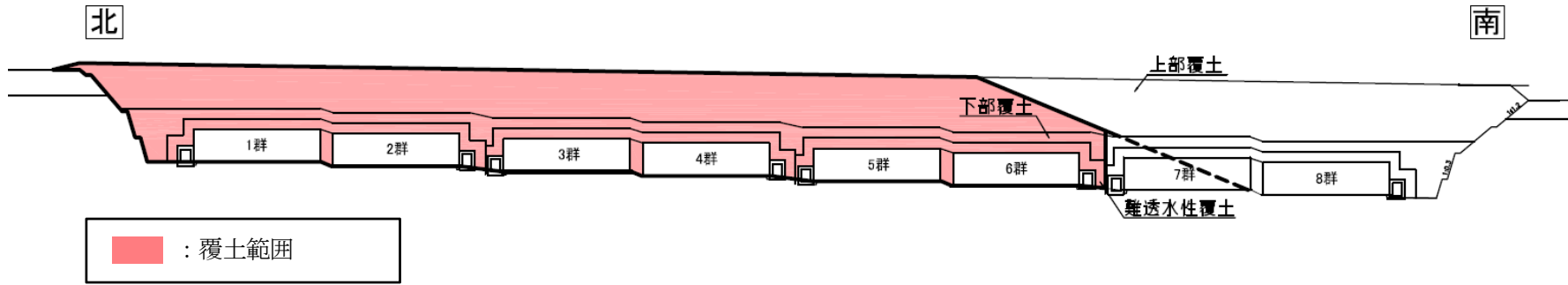
(2) 2号廃棄物埋設地

2号廃棄物埋設地については、既許可の時期(2030年10月)までに、1群から8

群の覆土を行う。

3. 覆土の工程

1号及び2号廃棄物埋設地の覆土に関して、覆土施工までに必要な準備工事を整理し、既許可の時期までの工程成立性について検討した。既許可の時期に対して、1号廃棄物埋設地1群から6群及び2号廃棄物埋設地1群から8群の覆土の工程が成立することを確認した(第1表)。



第1図 1号廃棄物埋設地の覆土の形状イメージ(2027年12月)

第1表 1号及び2号廃棄物埋設地の覆土までの工程
(既許可の時期までの工程成立性の確認)

項目 \ 年度		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	備考
1号	操業（廃棄体定置、覆い設置）			▽6群				▽7群				▽8群						・8群の操業は、1群～6群の覆土と調整しながら並行して行う。
	準備工事（ひび割れ保修・付属設備撤去）		1群～6群									7,8群						
	点検路構築					1群～4群▽		▽5群～6群	▽7群						▽8群			
	覆土							1群～4群▽	▽5群～6群								▽7,8群	・7,8群には、6群までの覆土法面の保修工程を考慮している。
2号	操業（廃棄体定置、覆い設置）					▽8群												
	準備工事（ひび割れ保修・付属設備撤去）			1群～8群														
	点検路構築							1群～4群▽	▽5群～8群									
	覆土									▽3群～4群	▽5群～8群							