

許可基準規則解釈第 10 条第 1 項
に関する補足説明

目 次

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

1. 覆土の施工実現性

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

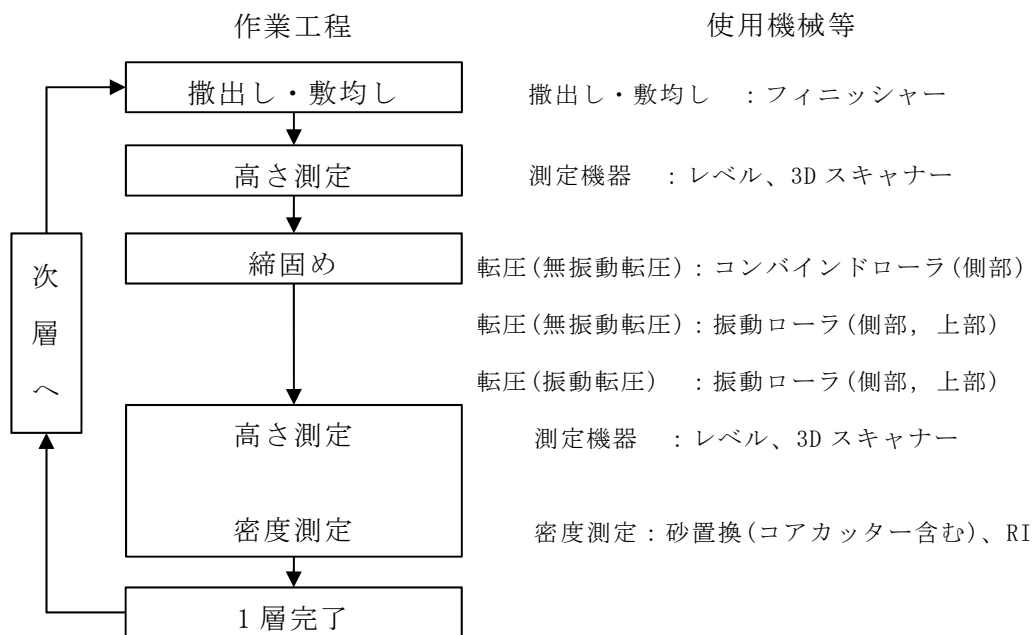
(1) 現地施工試験の概要

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

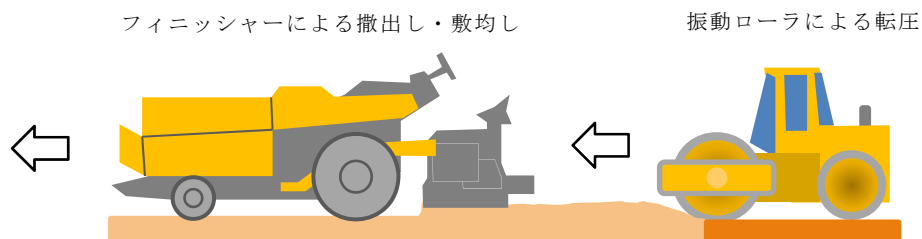
第1図に難透水性覆土の試験施工フローを、第2図に難透水性覆土の施工イメージ図を示す。また、第1表に現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較を示す。

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

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



第 1 図 難透水性覆土の試験施工フロー



第 2 図 難透水性覆土の施工イメージ図

第1表 現地施工試験と一般土工（河川土工マニュアル⁽²⁾）の施工方法比較

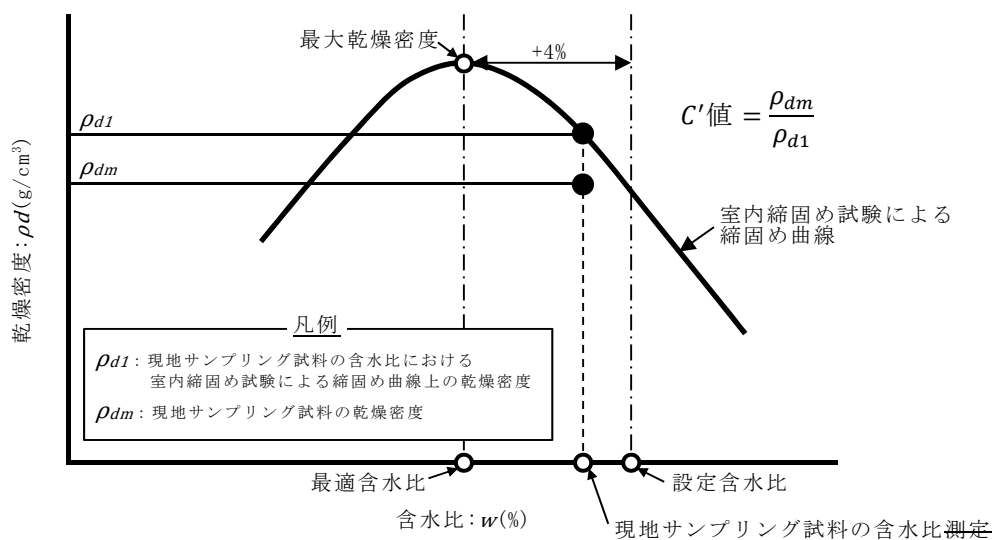
比較項目	現地施工試験	一般土工（河川土工マニュアル ⁽²⁾ ）
撒出し 敷均し	撒出し厚さ：10cm 施工機械：フィニッシャー	撒出し厚さ：35cm～45cm 施工機械：ブルドーザ 他
締固め	締固め回数：6回～8回 施工機械：振動ローラ	締固め回数：10回程度以下 施工機械：振動ローラ 他

第2表 現地施工試験一覧

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

*1：メチレンブルー吸着量であり、モンモリロナイトの量を表す指標である。

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



第3図 締固め規定値の概要

(2) 混合土の製造について

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

ントナイト混合土の仕様を第3表に、主要材料を第4表に示す。

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

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

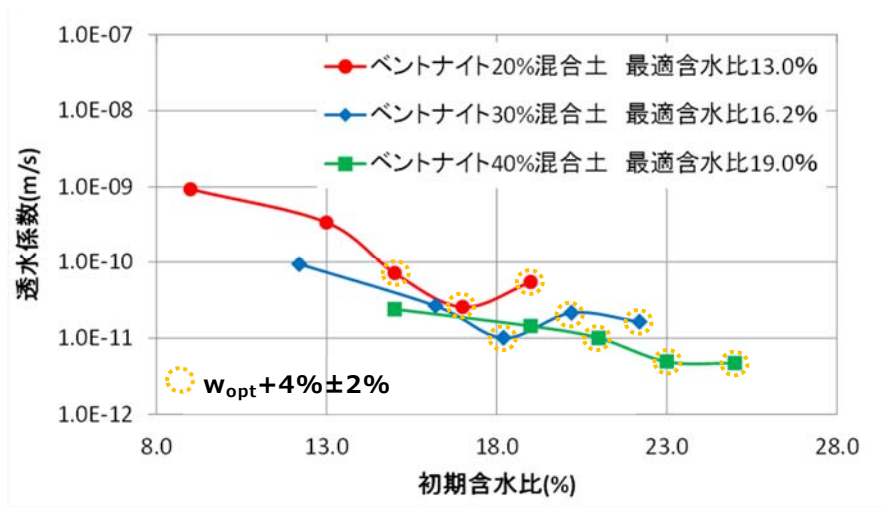
第3表 ベントナイト混合土の仕様

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

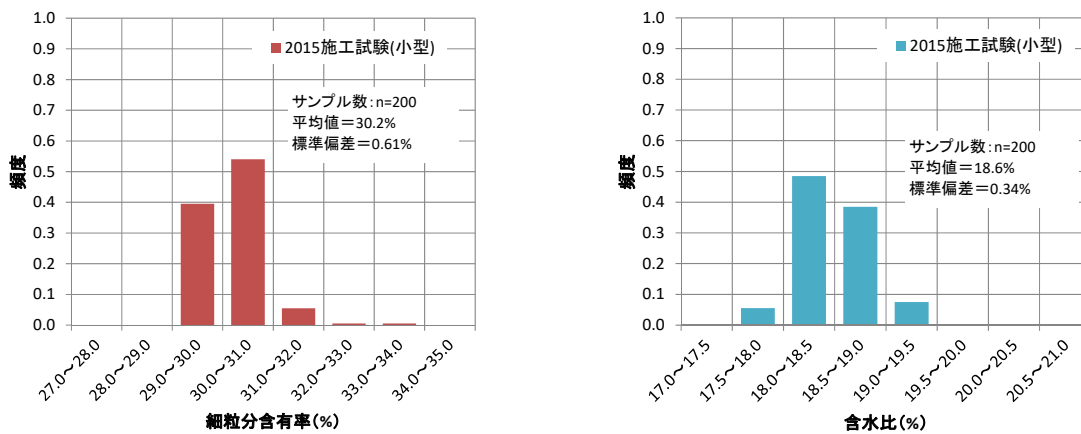
*1：最適含水比

第4表 主要材料

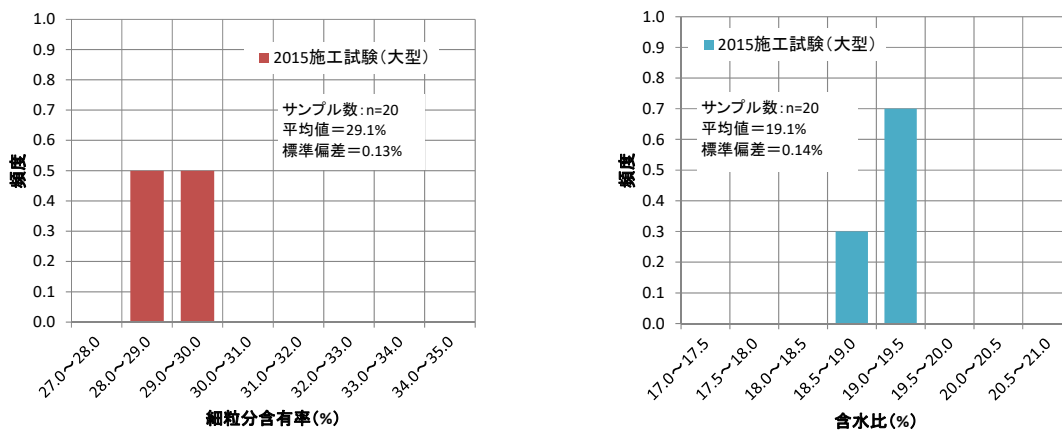
項目	仕様
Ca型ベントナイト(クニボンドRW)	MBC120以上
コンクリート用細骨材	青森県三沢市砂森産



第4図 ベントナイト混合率ごとの含水比と透水係数の関係



第5図 混合土の製造確認結果：小型施工機械分

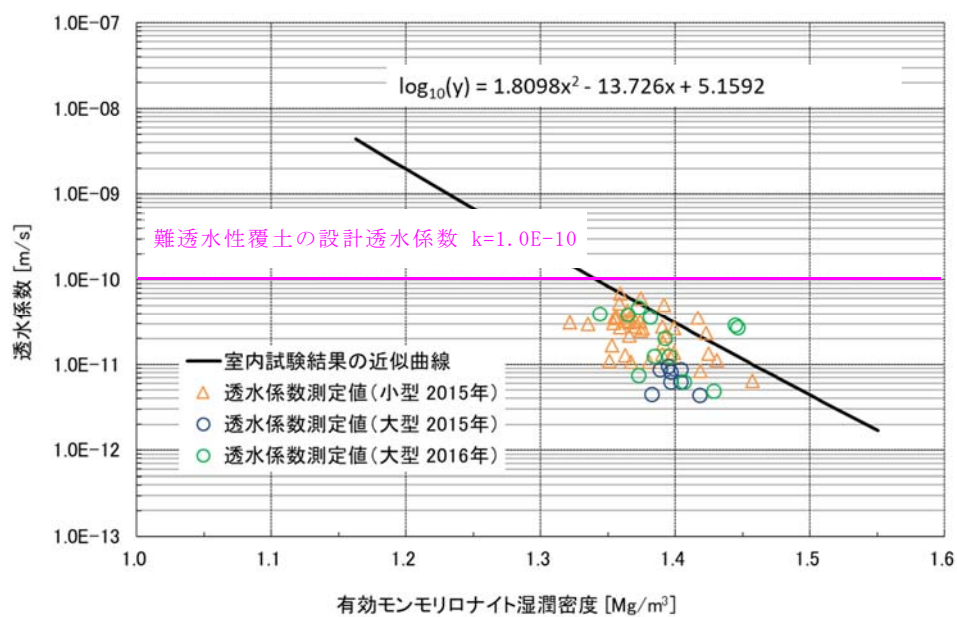


第6図 混合土の製造確認結果：大型施工機械分

(3) 現地施工試験の結果

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

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

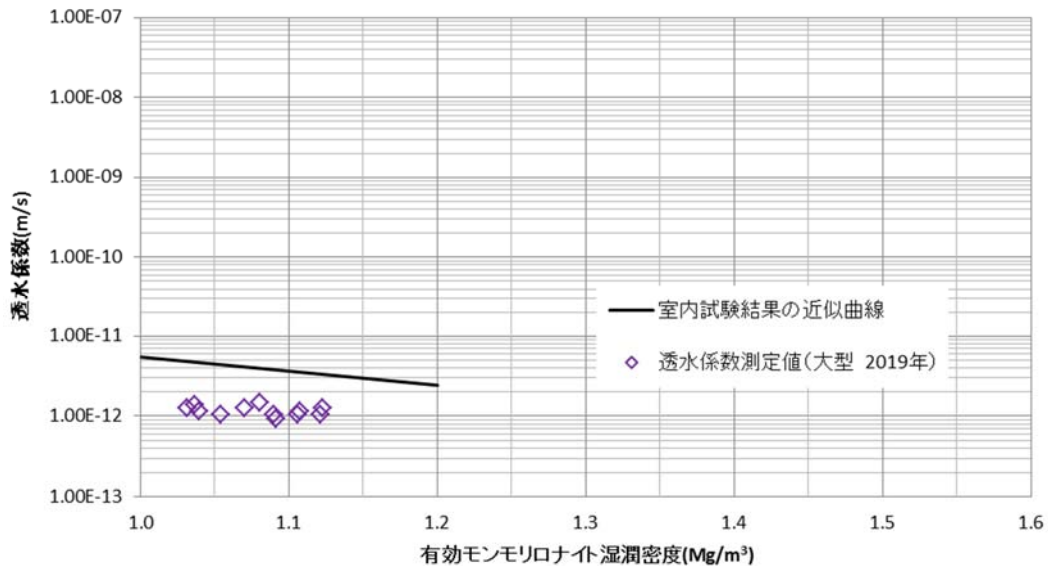


第7図 有効モンモリロナイト湿潤密度と透水係数の関係
(現地施工試験結果プロット、Ca型ベントナイト混合土)

(4) 特性の異なるベントナイト混合土を用いた現地施工試験結果について

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

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



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

2. 覆土の施工時における品質管理(案)

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

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

(1) 完了確認時における品質管理項目

(i) 有効モンモリロナイト湿潤密度の確認

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

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

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

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

(ii) 原位置サンプリング試料による透水係数の確認

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

(2) 材料納入時、覆土材料製造時及び覆土施工時の品質管理項目

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

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

ここに、

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

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

ρ_{emt} : 有効モンモリロナイト湿潤密度 (Mg/m³)

ρ_{em} : 有効モンモリロナイト乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_b : 有効粘土乾燥密度 (Mg/m³)

w : 含水比 (%)

C_m : モンモリロナイト含有率 (%)

ρ_{nm} : 随伴鉱物の土粒子密度 (Mg/m³)

ρ_d : 乾燥密度 (Mg/m³)

ρ_s : 骨材の土粒子密度 (Mg/m³)

R_s : 骨材混合率 (%)

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

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

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

性は、実際の覆土施工時に行う施工試験で確認を行う。

また、第 5 図及び第 6 図に示す混合土の製造確認結果より混合土は均質に作製できていることから、第 54 表における覆土施工時のばらつきを確認することで、覆土内に連続的な弱部がないことを確認する。

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

第5表 難透水性覆土の品質管理項目(案)

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

参考文献

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

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

第7表 本施設及び諸外国の人工バリア仕様の整理一覧表*1

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

*1：公開されている取得可能な情報のみ掲載

許可基準規則解釈第 10 条第 2 項
に関する補足説明

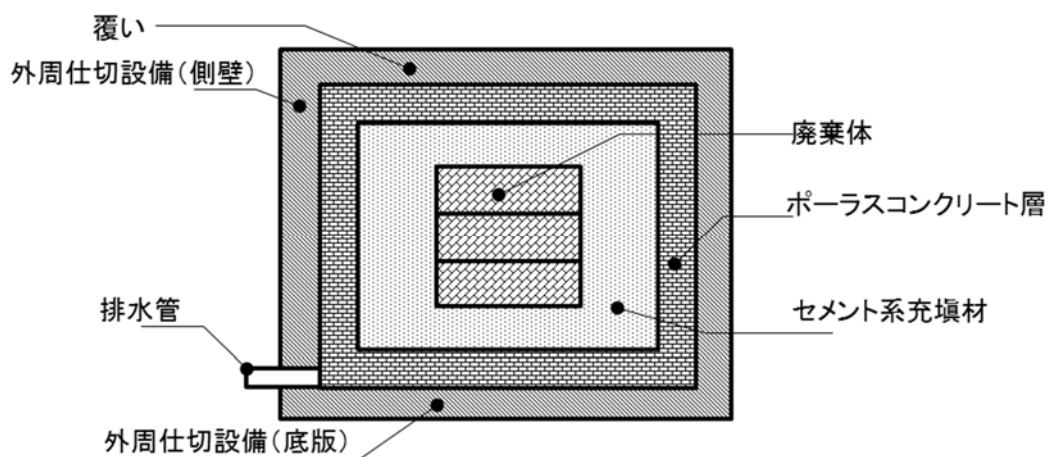
目 次

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

1. 漏出防止設計の基本方針

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

埋設設備の基本構造を第1図に示す。



第1図 埋設設備の基本構造

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

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

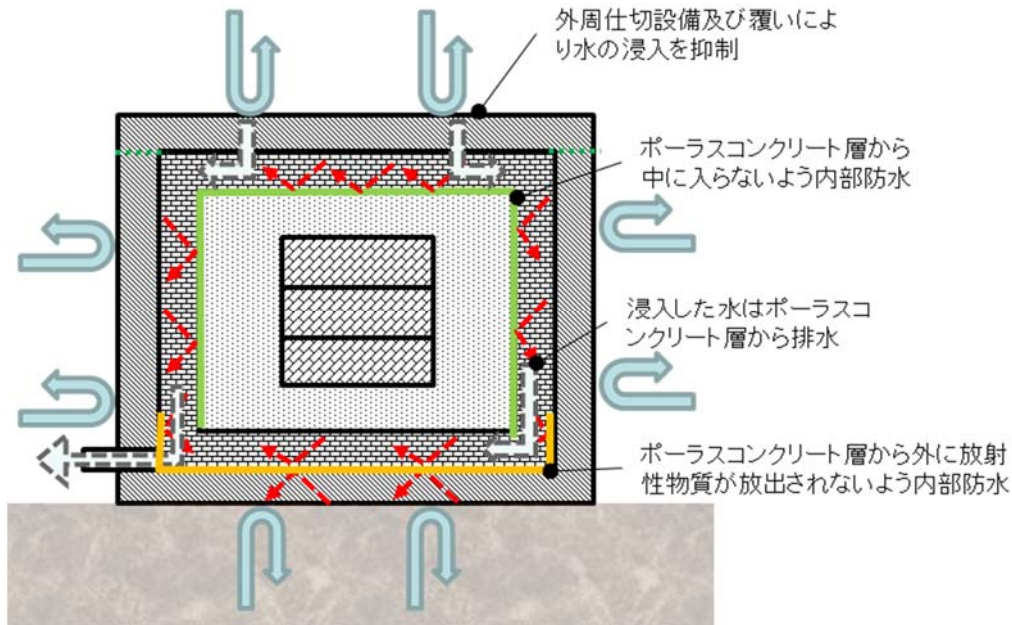
次に2層目のポーラスコンクリート層では、透水性と排水勾配により排水しやすくすることで、仮に外部から水が浸入した場合であっても、廃棄体に接触する前に埋設設備の外に排水する。

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

制する。

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

雨水及び地下水の浸入防止を具体的にした漏出防止の概念図を第2図に示す。



第2図 漏出防止機能の概念図

2. 外周仕切設備及び覆いの設計

(1) 全体概要

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

(2) 最大ひび割れ幅の設計目標値の設定

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

対象とする。

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

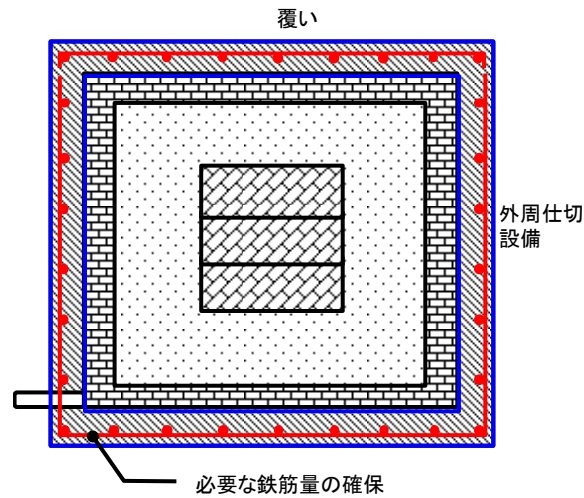
第1表に「コンクリート標準示方書 設計編：標準 2017年度制定」^{(1)*1}で示されている、コンクリートの水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安⁽¹⁾を示す。

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

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

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

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



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

第 3 図 外周仕切設備及び覆いの初期ひび割れに対する設計

第 1 表 水密性に対するひび割れ幅の設計限界値の目安(mm)⁽¹⁾

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

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

以上とする。なお、詳細解析による検討を行う場合には、別途定めるものとする。

*2：交番荷重を受ける場合には、軸引張力が卓越する場合に準じることとする。

(3) 配合設計の整理

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

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

①低透水性

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

②ひび割れ抑制

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

③力学的安定性

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

④耐久性

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

⑤遮蔽性

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

第2表 外周仕切設備及び覆いの配合設計に係る項目

技術要件	設計仕様項目	目標性能	確認方法
①低透水性	水結合材比	55%以下	配合表により目標性能を満足すること
②ひび割れ抑制	断熱温度上昇量	低発熱の結合材を用い、温度上昇量が可能な限り小さいこと	①③④⑤の性能を満たし、温度上昇量が抑制されていること
	自己収縮ひずみ 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。

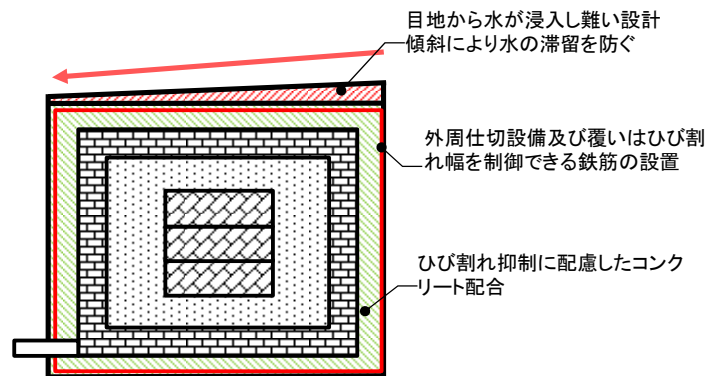
第3表 3号埋設設備の外周仕切設備・覆いの配合例

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

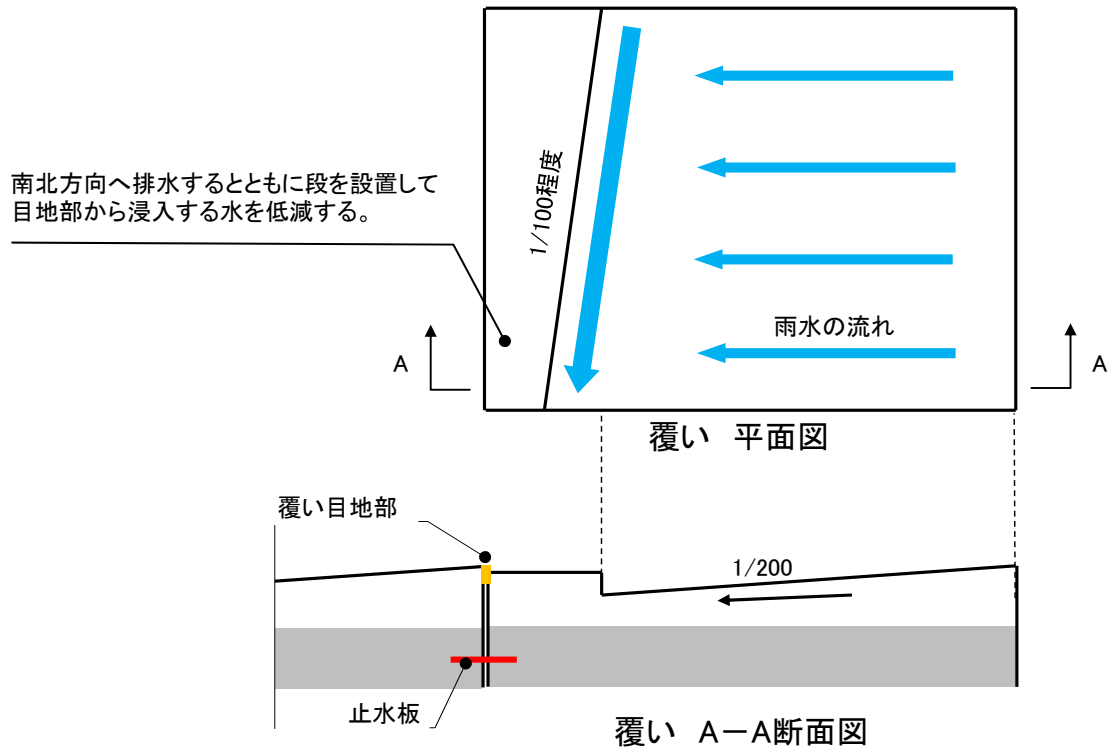
*1：混和剤及び細骨材の混合比は、所定のフレッシュ性状が確保できるよう施工時に微調整を行う。

(4) その他の防水に対する設計

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



第4図 排水を考慮した設計断面図



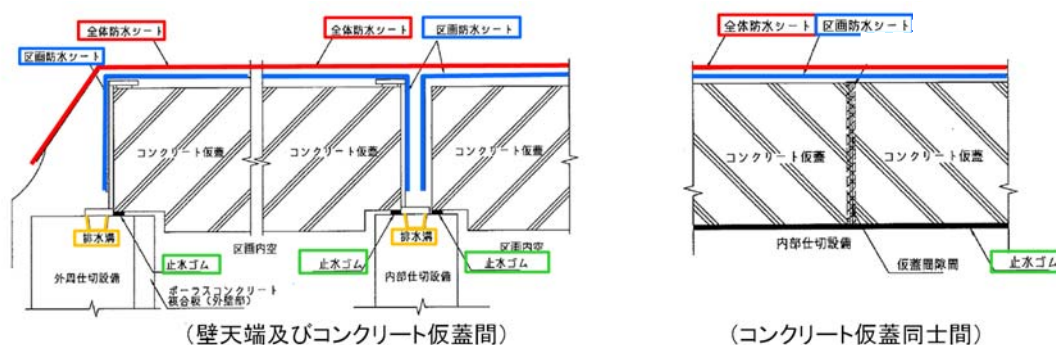
第 5 図 覆い上面の排水構造例

3. 作業中の雨水浸入防止対策

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

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

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



第6図 雨水浸入防止対策イメージ図

4. ポーラスコンクリート層の排水能力

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

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

ダルシー則より、 $Q=k \cdot i \cdot S$

ここに、

Q : 1ピット当たり浸入水量(m^3/y)

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

i : 設置勾配($=0.005$)

S : 通水断面積($=3.331 \text{m}^2$)

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

5. 排水管の排水能力

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

排水能力 $Q=A \cdot V$

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

V : 流速(m/s)、マンニングの式より

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

n : 配管の粗度係数($=0.012$)

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

I : 配管の設置勾配($=0.1\%$ と仮定)

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

6. 覆土の施工に応じた排水管理

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

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

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

(1) 浸入水量の算定

底版に発生する貫通ひび割れを想定した浸入水量は、次式*1より求める。

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



Q : 1ピット当たり浸入水量 (m^3/y)

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

H : 底版下面地下水圧 ($=0.6\text{m} \sim 24.7\text{m}$)

h_0 : 底版厚 ($=0.6\text{m}$)

L : 影響範囲 ($=9.7\text{m} \sim 18.3\text{m}$)

l : 底版ひび割れ長さ (ひび割れ本数 \times 底版長さ m)

b : 底版ひび割れ幅 ($=0.1\text{mm}$)

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

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

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

(2) 浸入水の対策について

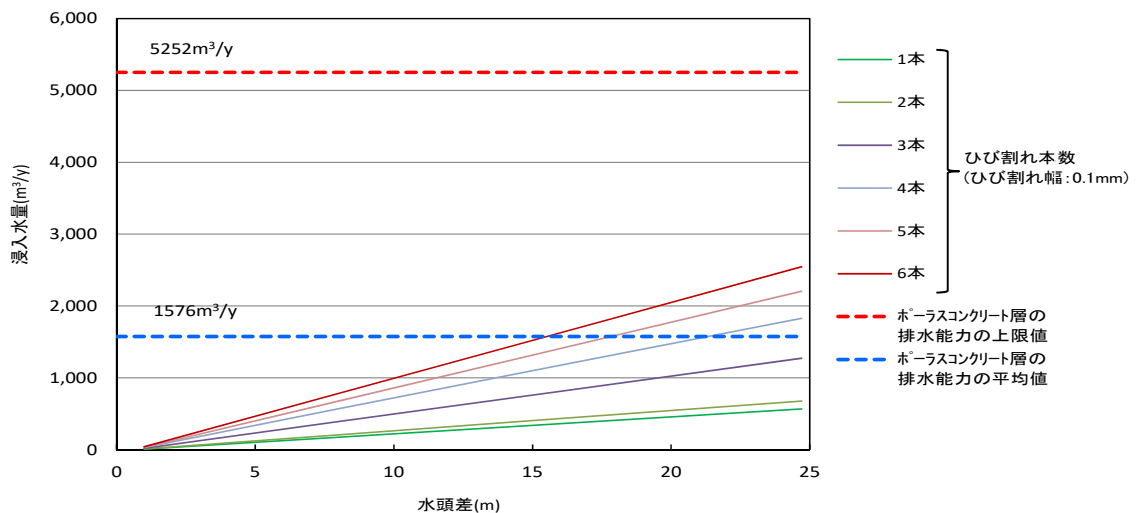
水頭差と浸入水量の関係を第7図に示す。破線は、ポーラスコンクリート層の排水能力を示す。

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

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

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

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



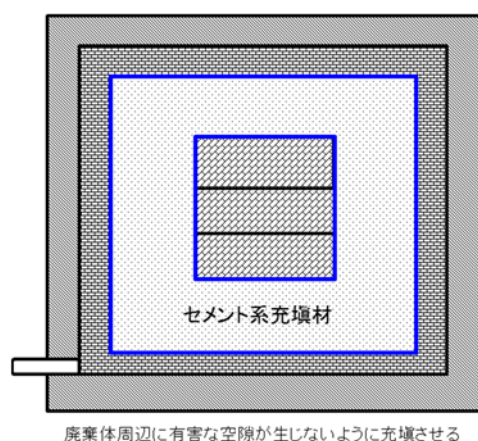
第7図 水頭差と浸入水量の関係

7. セメント系充填材について

(1) 全体概要

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

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



第8図 セメント系充填材の設計方針

(2) 配合設計の整理

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

配合設計として必要な各項目について以下に説明する。

① 充填性

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

②遮蔽性

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

③ひび割れ抑制

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

④力学的安定性

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

⑤凝結遅延抑制

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

第4表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(安全機能)

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

第5表 セメント系充填材の配合設計に係る項目(その他)

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

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

セメント系充填材の有する性能及びその配合の選定経緯については、参考資料3

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

第6表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例①

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

第7表 3号埋設設備のセメント系充填材の配合例②

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

8. 内部防水

(1) 内部防水の要求性能

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

内部防水としては、以下の2つの観点で設計する。

(i) 外周仕切設備側壁部及び覆い部

ポーラスコンクリート層から廃棄体方向に浸入する水の流れを防止する。

(ii) 外周仕切設備底版部及び側壁部の立ち上げ部

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

(2) 内部防水の配置

外周仕切設備側壁部及び覆い部における内部防水は、セメント系充填材上部及び

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

【内部防水の配置場所設定理由】

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

(3) 内部防水の工法選定

(i) 主な要求

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

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

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

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

法に該当する(第 11 図参照)。

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

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

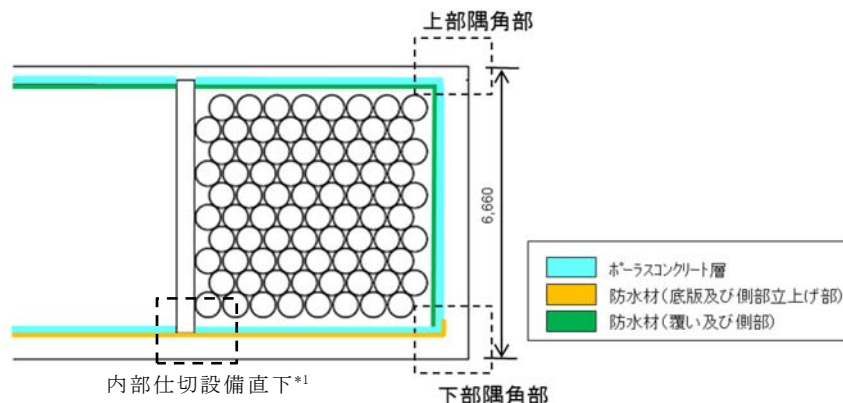
(ii) その他の考慮事項

内部防水の材料選定に当たっては、以下の事項を考慮する。

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

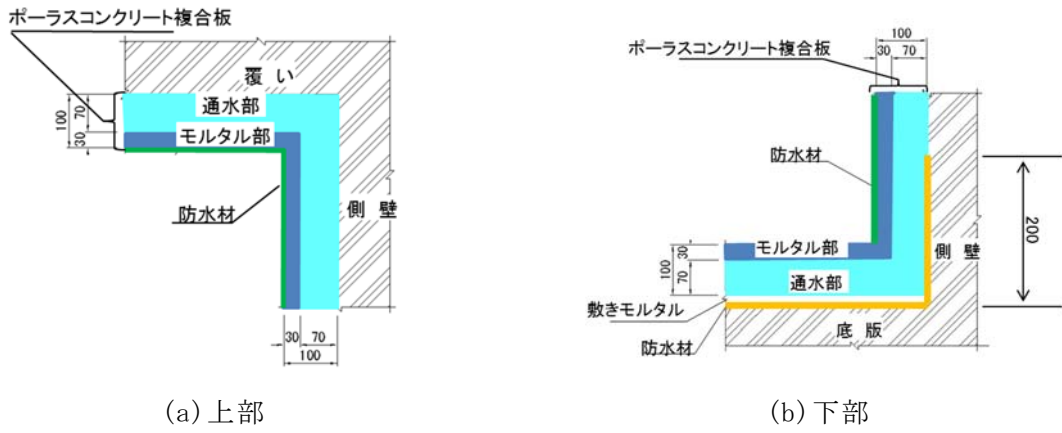
上記(i)(ii)を考慮して、内部防水は、遮水性及びひび割れ追従性の要求性能を
満足し、かつ、その他の考慮事項にも対応できる工法を選定し、現段階では、表面
処理工法のうち、表面被覆工法で有機系の塗装工法を候補とする。

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

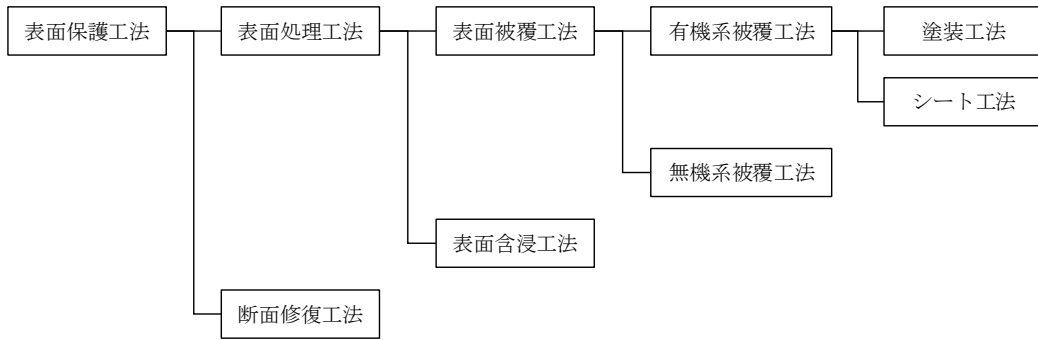


*1：内部仕切設備直下の内部防水は、選定された防水材・工法に応じて施工範囲を決定する。

第 9 図 3 号埋設設備東西断面図(単位：mm)



第 10 図 隅角部図(単位 : mm)



第 11 図 表面保護工法の種類⁽³⁾

9. 漏出防止機能に関する設計方針の変遷

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

閉じ込めの機能に関する安全設計方針

(1号許可(平成2年11月15日)、2号許可(平成10年10月8日))

廃棄物埋設地

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

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

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

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

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

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

漏出防止機能に関する安全設計方針（3号）

(i) 漏出防止機能

b. 安全設計

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

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

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

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

(a) 雨水及び地下水の浸入を防止する設計

(一) 埋設設備内への雨水及び地下水の浸入を防止することに対して、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄

筋によりひび割れを制御する設計とする。最大ひび割れ幅の設計目標値は0.1mmとする。また、埋設設備は、セメント系充填材の充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

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

(三) 埋設設備内に浸入した水を廃棄体と接触することなく適切に排水することに対して、浸入した水が廃棄体と接触しないよう、セメント系充填材は、廃棄体定置後、埋設設備内に充填し、有害な空隙が残らないよう充填性を有する設計とする。内部防水は、外周仕切設備及び覆いの内側で、セメント系充填材上部及び側部とポーラスコンクリート層の間に設置し、防水性を有する設計とする。

(四) その他、操業中における雨水及び地下水の浸入を抑制するため、以下の設計を行う。

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

(b) 放射性物質の漏出を防止する設計

(一) 廃棄体と水が接触した場合にも放射性物質の漏出を防止することに対して、埋設設備を構成する外周仕切設備及び覆いは、低透水性及びひび割れ抑制に優れた鉄筋コンクリート製の設計とする。外周仕切設備及び覆いは、低発熱に配慮した材料配合により温度応力を低減するとともに、鉄筋によりひび割れを制御する設計とする。最大ひび割れ幅の設計目標値は0.1mmとする。また、埋設設備は、セメント系充填材の

充填時の荷重、覆土の上載荷重、埋設設備及び廃棄体の自重等に対し、十分な構造上の安定性を有する設計とする。放射性物質を含む水はポーラスコンクリート層により回収し、埋設設備外へ排出する設計とする。内部防水は、外周仕切設備の内側で、外周仕切設備底版部及び側壁の立ち上げ部に設置し、防水性を有する設計とする。

(c) その他の設計

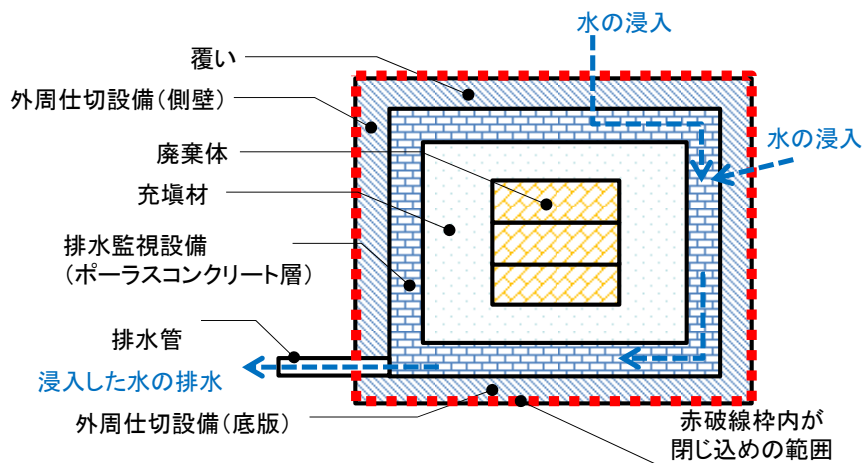
- (一) 排水・監視設備のうち点検管は、ポーラスコンクリート層により排水された水を作業員が回収する作業空間が確保できる設計とする。
- (二) 漏出防止機能を有するコンクリート構造物に対する設計、材料の選定、建設・施工及び検査は、「事業規則」、「許可基準規則」等のほか、利用可能な最善の技術として「コンクリート標準示方書(設計編及び施工編)」⁽¹⁾⁽²⁾に基づく。

(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)

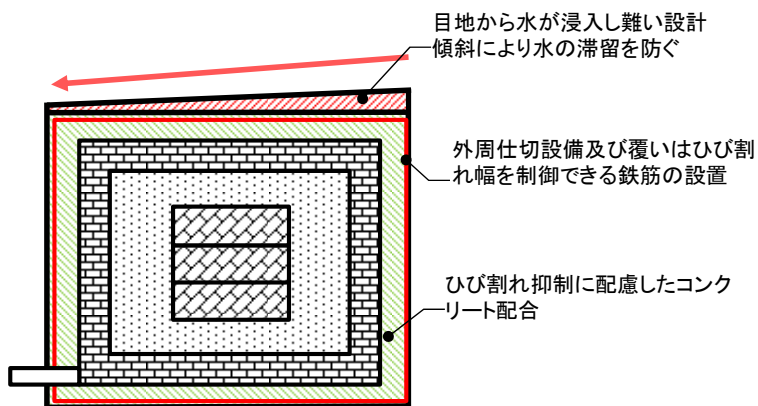
(2) (公社)土木学会(2018)：2017年制定コンクリート標準示方書(設計編)

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。

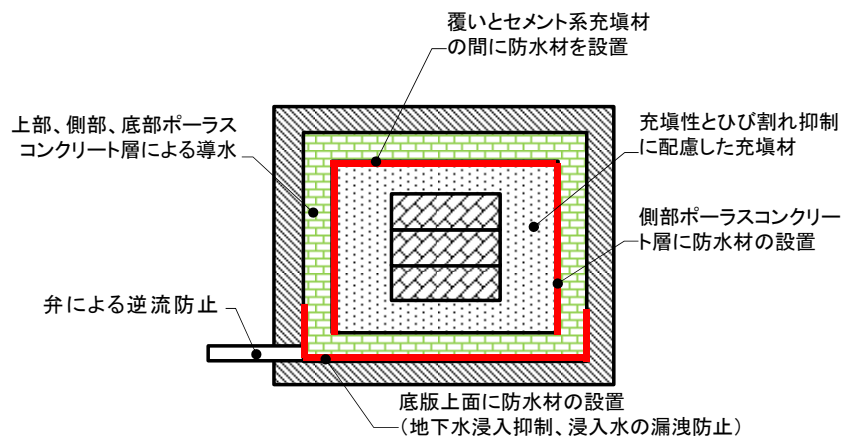
また、水の浸入を抑制するための防水対策を第13図及び第14図に示す。



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) (社法)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。

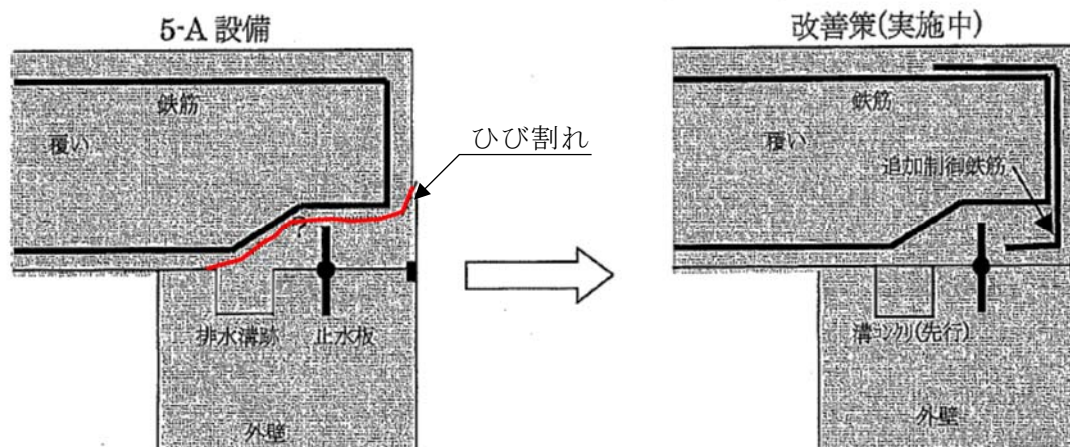
②1,2群では、側壁と覆いにひび割れがあり、それが要因と考えられる排水があった。1994年度～1995年度にかけて表面被覆及びひび割れ注入工法による保

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

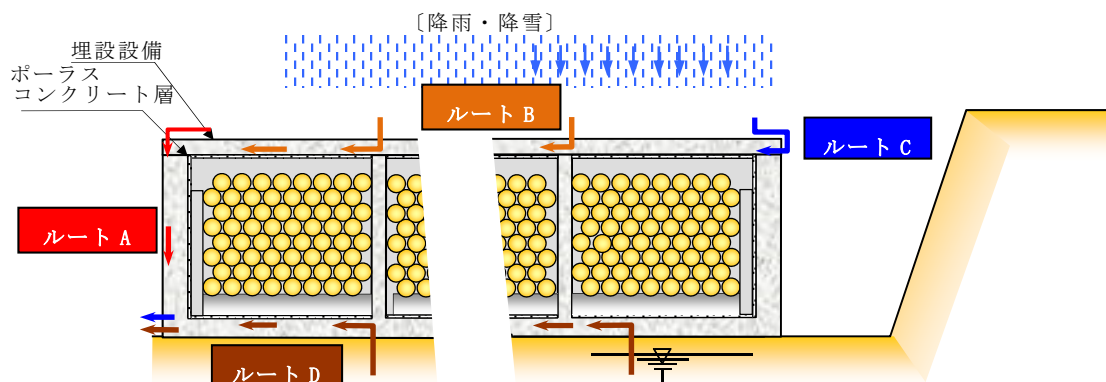


第1図 追加制御鉄筋による止水対策

- 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

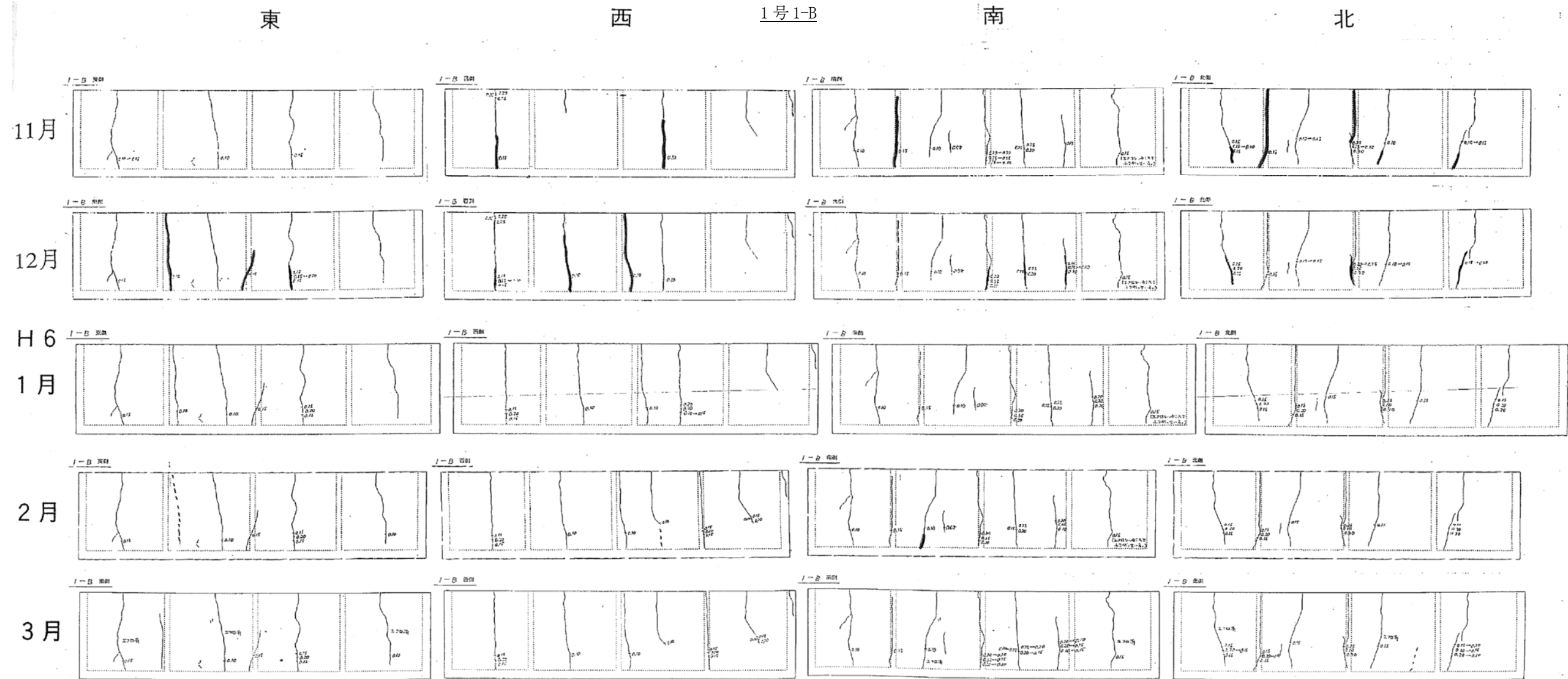
(i) 1号4-C構築前までの経緯(1995年以前)

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⁾。

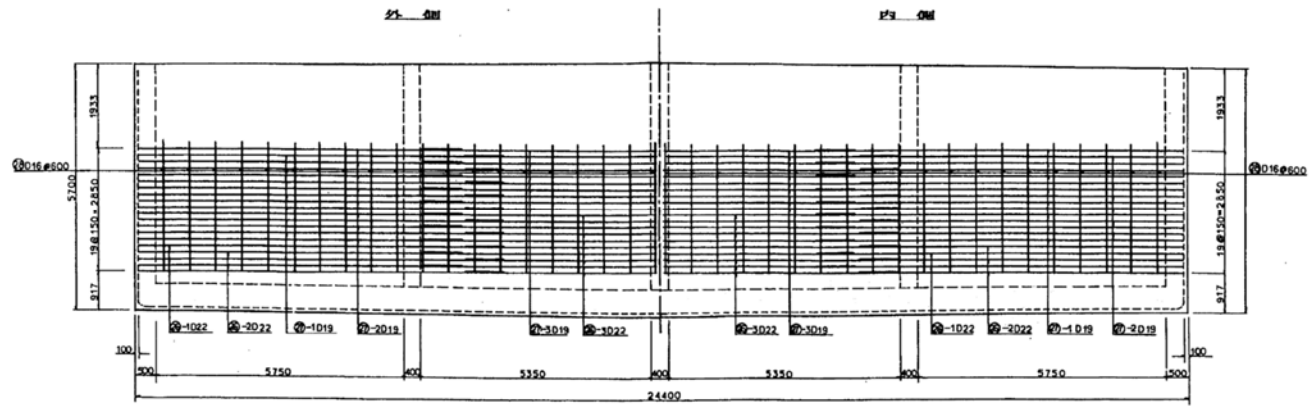
ひび割れ幅は0.2mm以下が大半で、外気温によりひび割れ幅は季節で増減していた。また、ひび割れ幅はセメント系充填材施工後に増加する傾向にあった。

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)。

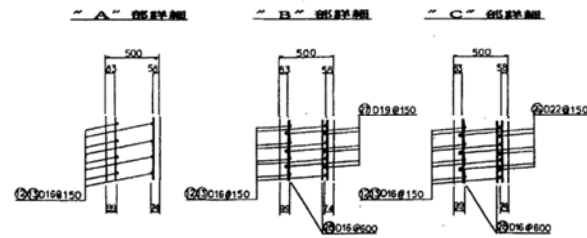
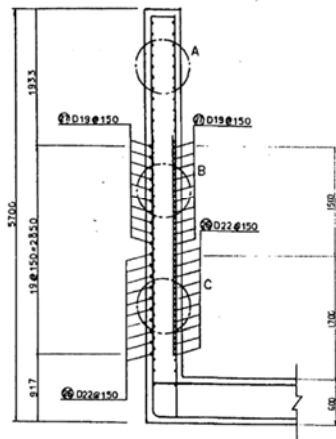


第3図 ひび割れ発生・進展状況図(1991年10月3日打設、1993年度観察状況)

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)。

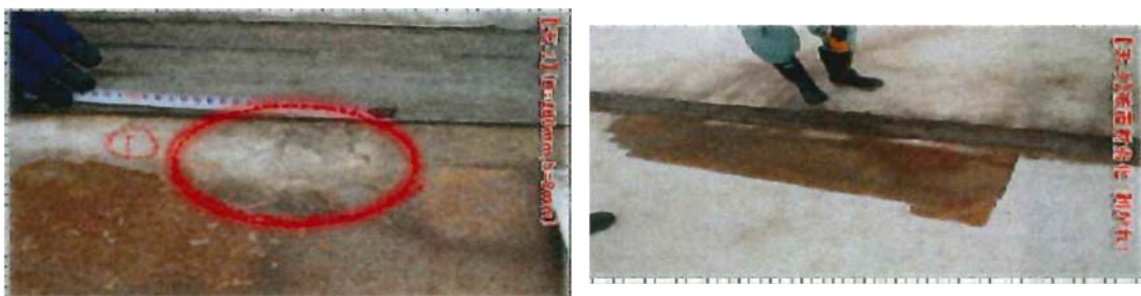


写真 8 表面止水工(1号 4-C 覆い目地部)

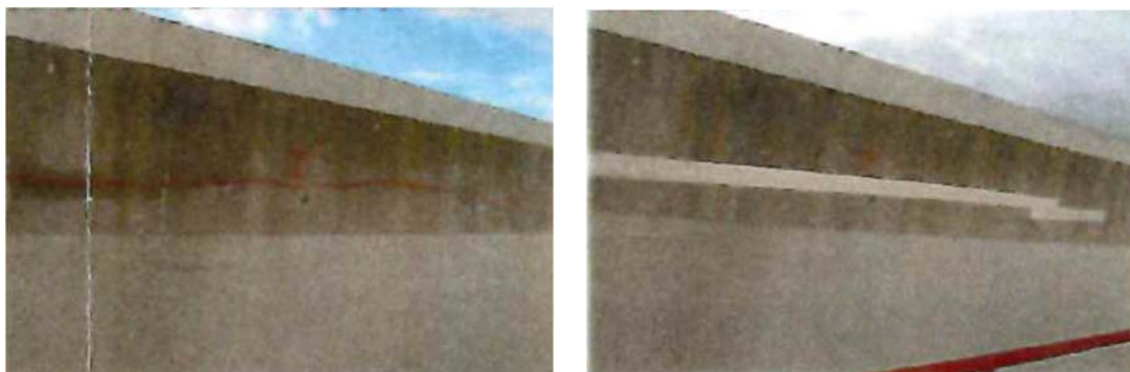


写真 9 表面止水工(1号 4-C 覆い側部)



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)

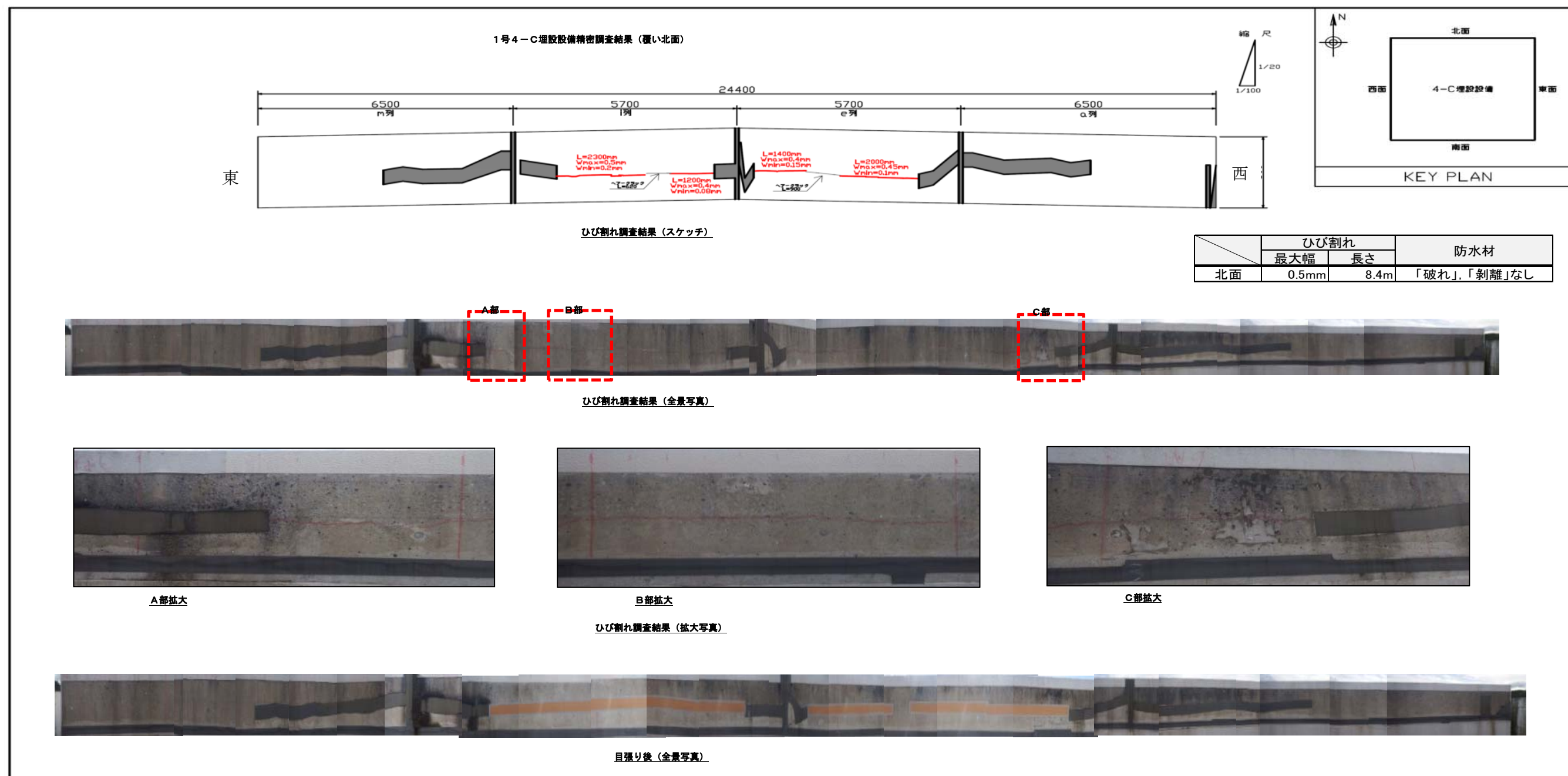


写真 12 調査結果(1号 4-C 覆い側部)

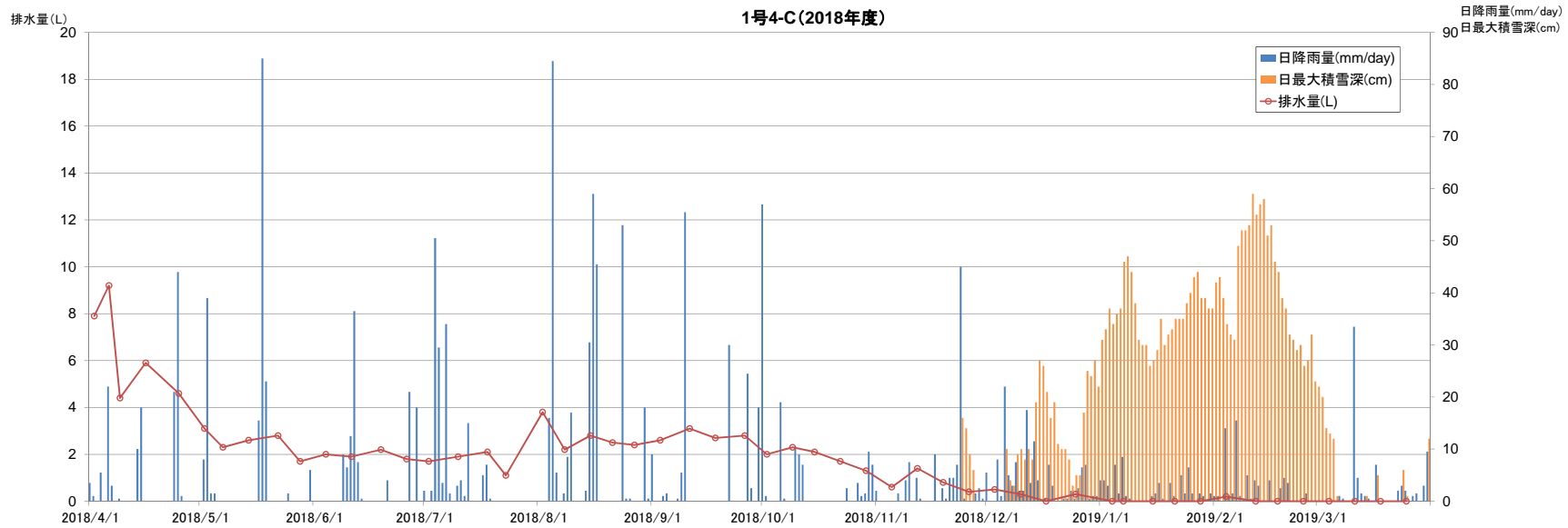
d. 1号4-Cの実績から推察される要因

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0.6m³/y(過去最大で、11.8m³/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:105.0m³/y、2号:159.5m³/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)

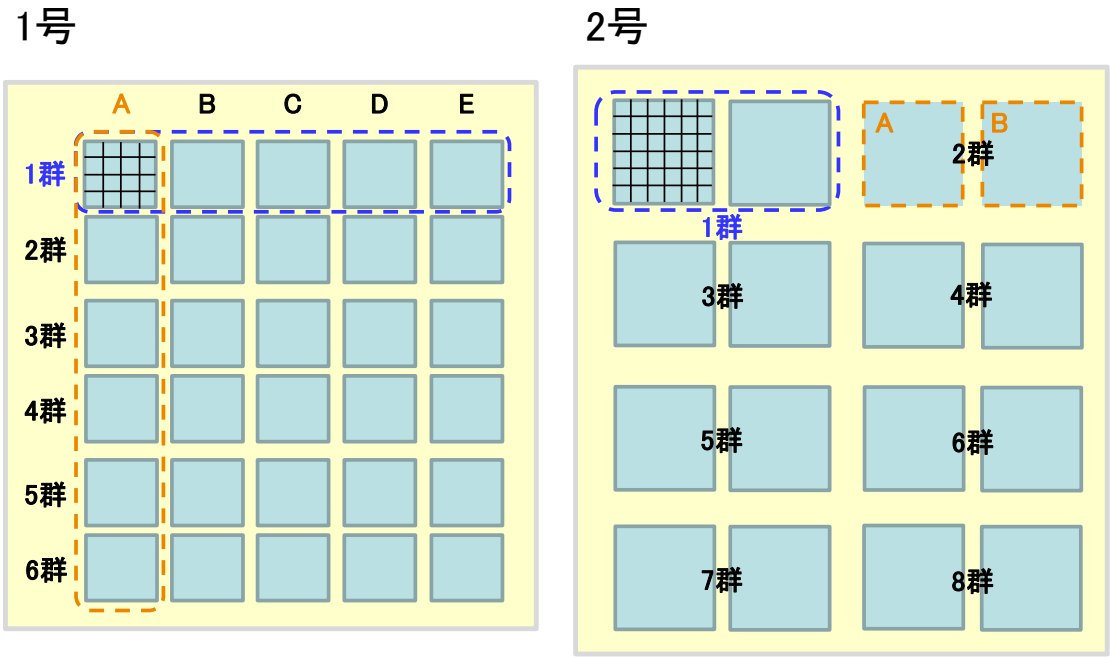
核種	排水・監視設備からの排水中の放射性物質濃度の評価
H-3	1×10^0
Co-60	検出限界値(目標検出限界値 1×10^{-3})
Cs-137	検出限界値(目標検出限界値 7×10^{-4})

年間想定排水量の考え方

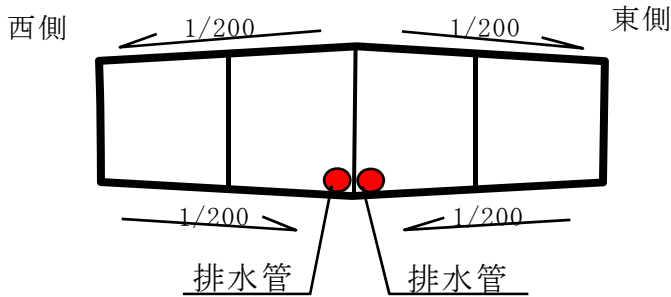
1,2号排出量20Lの考え方	3号現状の想定浸入水量の考え方																																																																																									
<p>動水勾配が最大となる覆土完了後での健全なコンクリート(外周仕切設備及び覆い)からの浸入を想定する。</p> <p style="text-align: center;">動水勾配設定図</p> <p style="text-align: center;">数字は1号での数字を示し、1,2号で異なる場合は()内に2号の数字を示す。</p> <p style="text-align: center;">$Q=K \cdot i \cdot S$</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>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> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <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" style="text-align: center;">1号</td> <td>0.74</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">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> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>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> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <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 colspan="5" style="text-align: right;">合計</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。

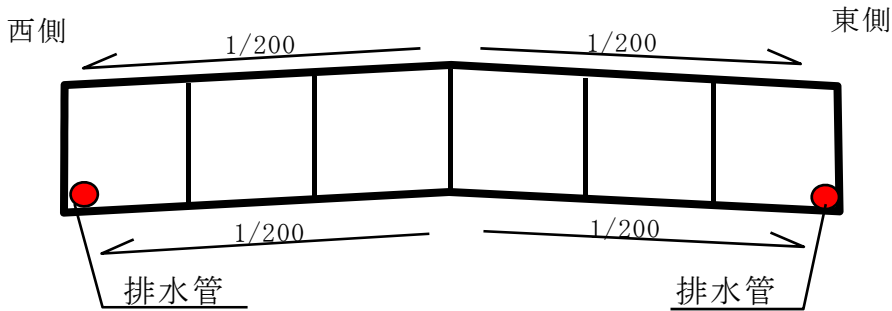
排水・監視設備構造



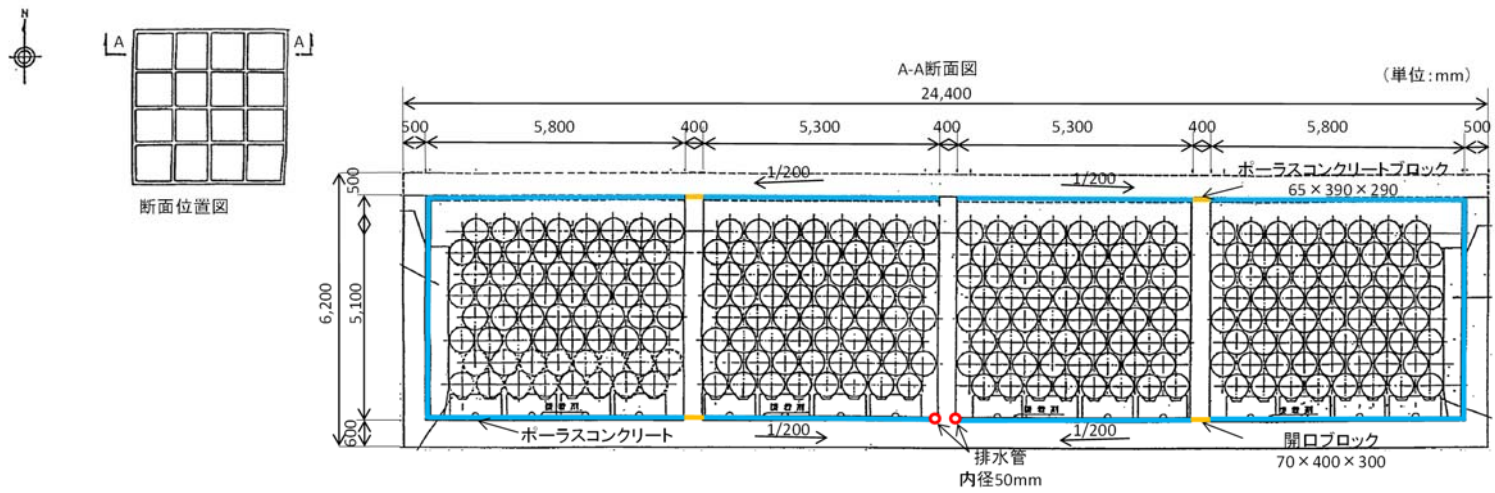
第 1 図 1 号及び 2 号埋設設備設置平面図



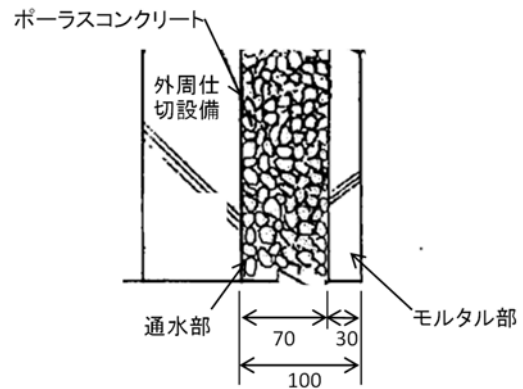
第 2 図 1 号集水構造断面図



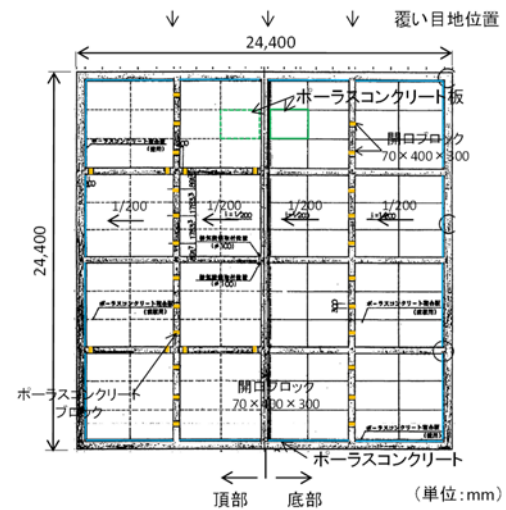
第 3 図 2 号集水構造断面図



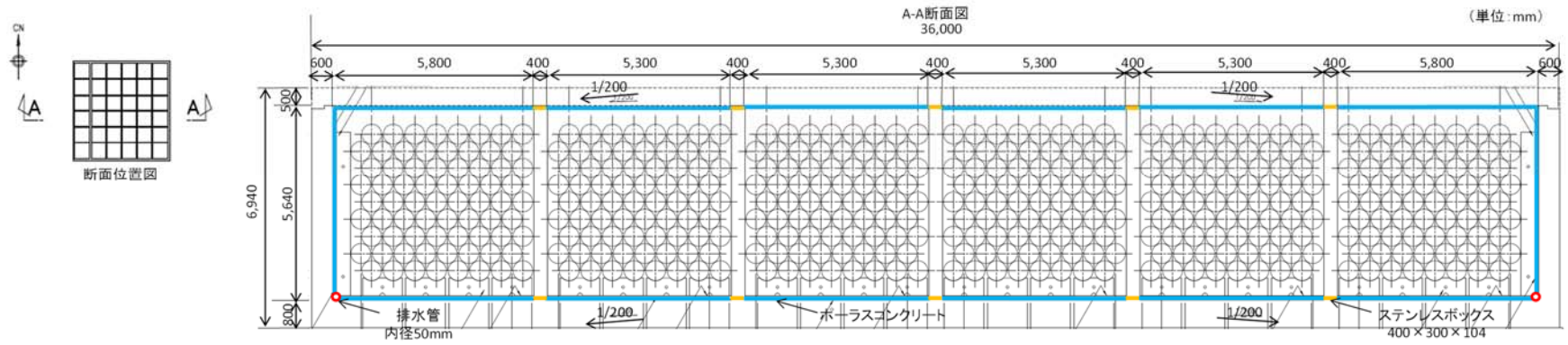
第4図 排水・監視設備配置断面図 (1号)



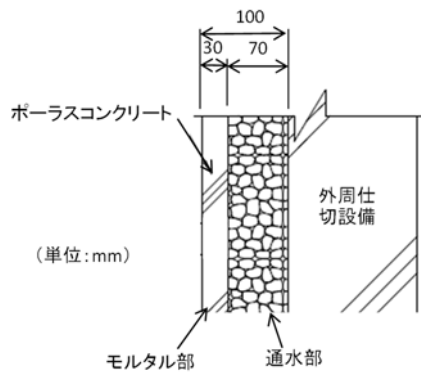
第5図 ポラスコンクリート詳細図(1号)



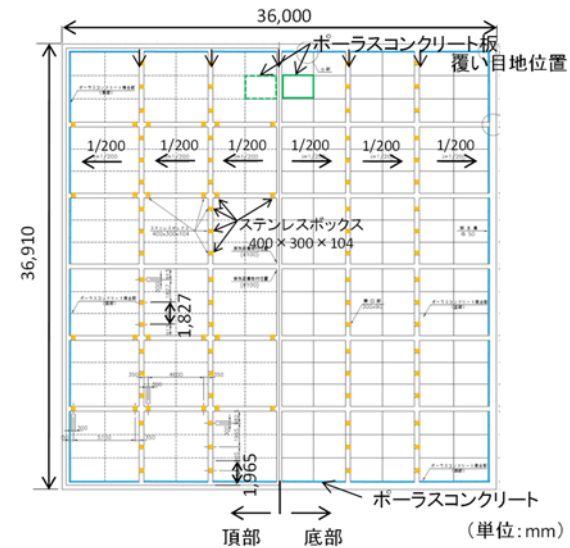
第6図 ポラスコンクリート・開口ブロック、ポラスコンクリートブロック平面配置図



第7図 排水・監視設備配置断面図 (2号)



第8図 ポラスコンクリート詳細図 (2号)



第9図 ポラスコンクリート・ステンレスボックス平面配置図

主な保修工法の概要

	表面被覆工法	注入工法	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、注入工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、樹脂系の注入材を低圧注入した。	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:注入工法(低圧) コンクリートのひび割れ部に注入材を注入し、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材料を使用した。	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

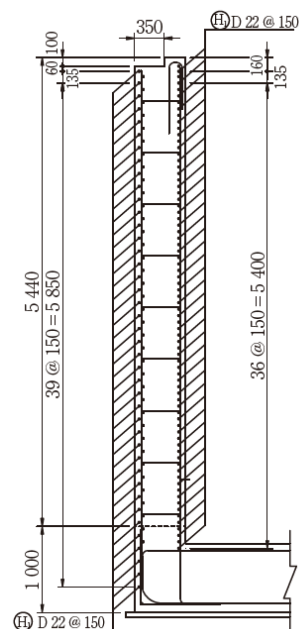
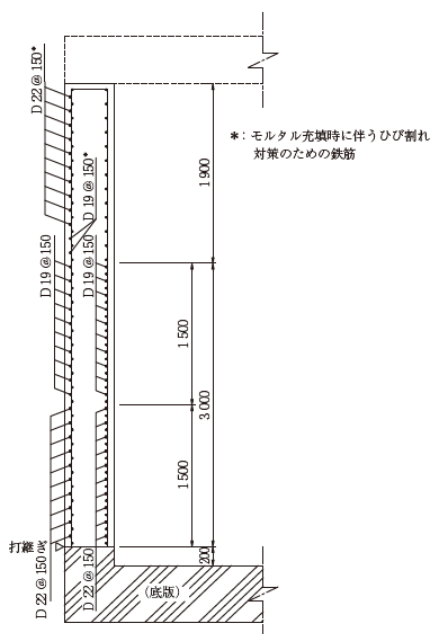
その他、覆い天端部及び側部の目地シールの交換並びに構築時に底版の断面修復を実施している。

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）。



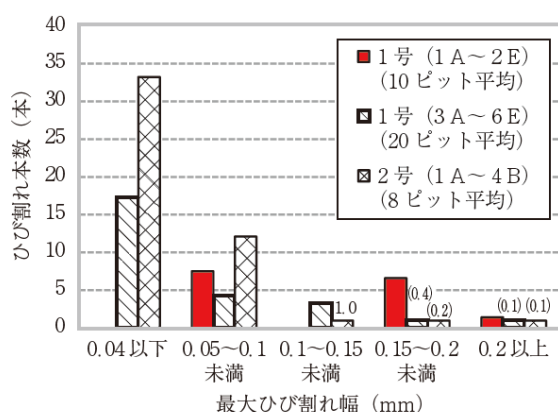
第1図 1号埋設設備3群から6群側壁の配筋図

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

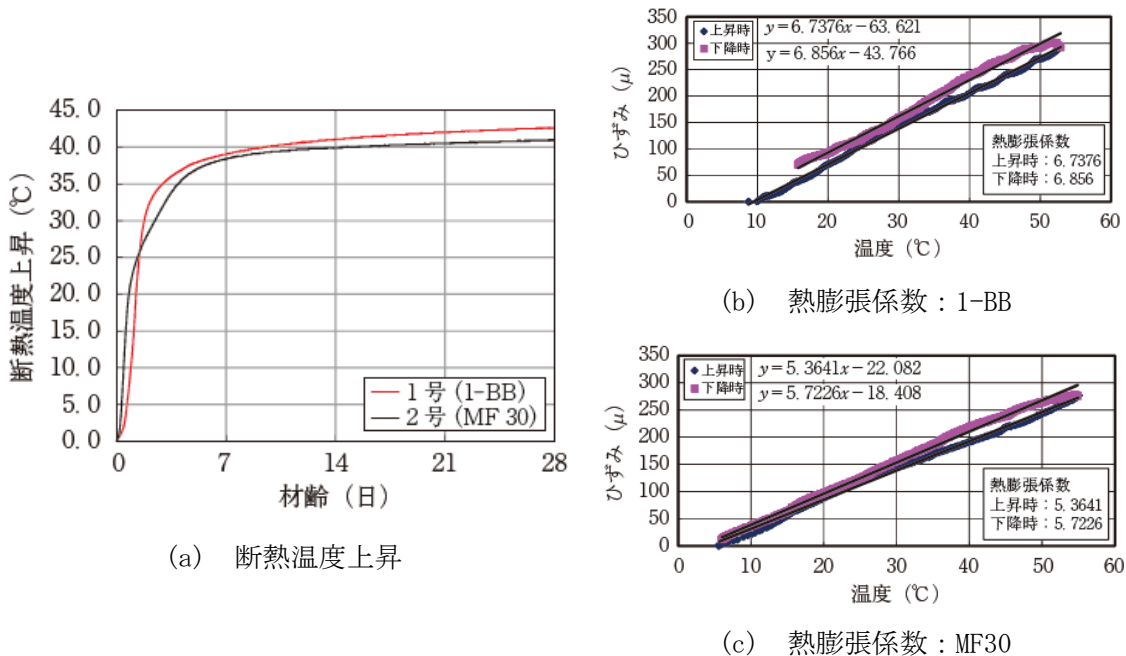
1号埋設設備では高炉スラグ配合(1-BBと称す)を、2号1A~4B埋設設備では、高炉スラグ配合(2-BBと称す)を使用していたが、ひび割れ抑制の向上のため、2号5A~8B埋設設備では、中庸熱セメント(フライアッシュ30%置換、MF30と称す)を使用した。変更前後の配合を第1表に、1-BB配合とMF30配合の熱種物性を第4図に示す。1-BB配合と比較して、断熱温度上昇特性はMF30配合と1-BB配合ともあまり変わらないが、

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

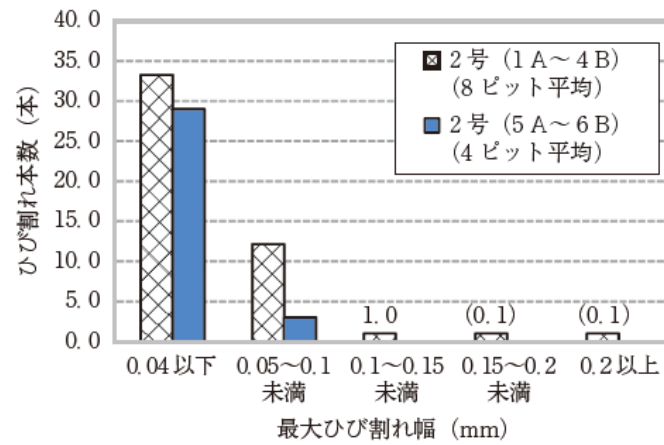
4. コンクリート配合の効果

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。

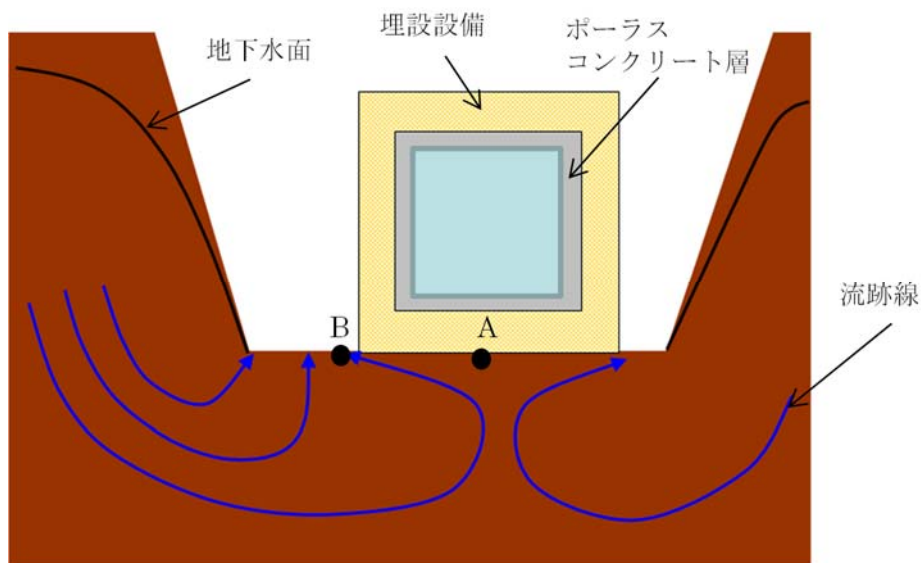
埋設設備は、廃棄物埋設地を掘削し、掘り下げた岩盤の上に設置している。外周仕切設備底版(以下「底版」という。)の上に設置する底部のポーラスコンクリート層は、掘削底面よりも高い位置(底版厚さとして1号で約60cm、2号で約80cm)にある。

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、埋設設備は岩盤を掘り込んで設置し、低透水の底版が広く拡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

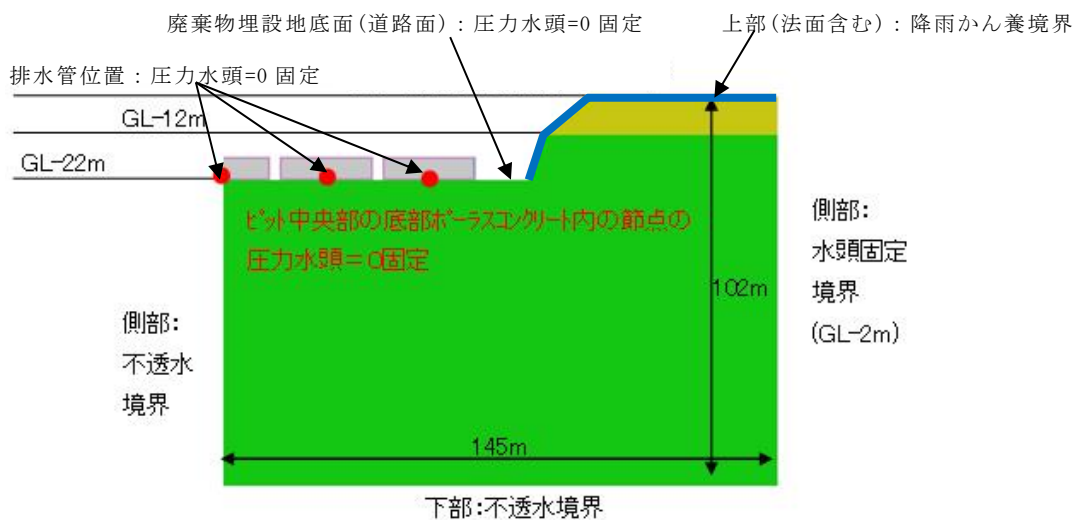
(2) 解析による地下水位の分布

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

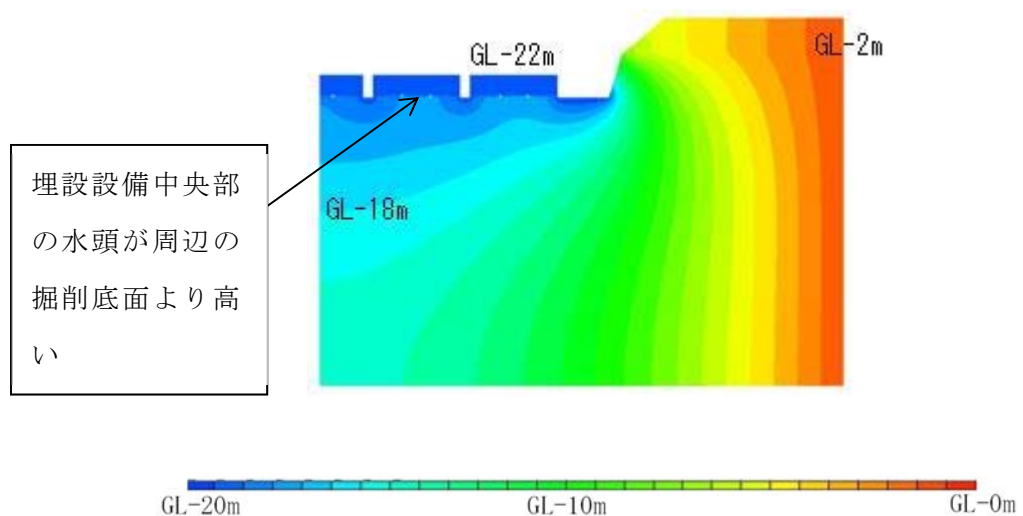
第 1 表 透水係数の設定値

部位	透水係数
鷹架層(岩盤)	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。



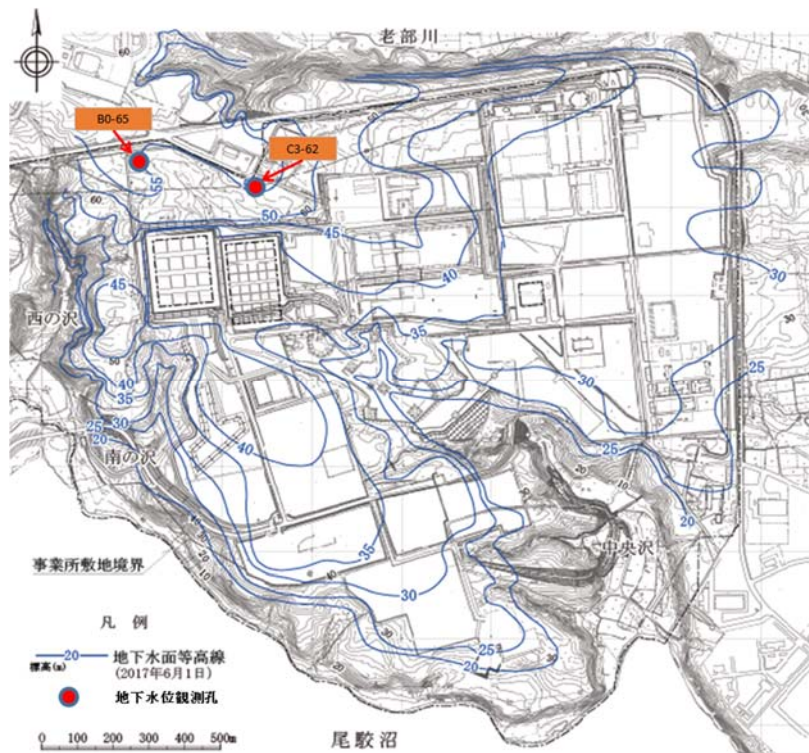
第3図 全水頭分布の解析結果(コンターピッチ:1m)

3. 地下水の観測結果と排水量の関係

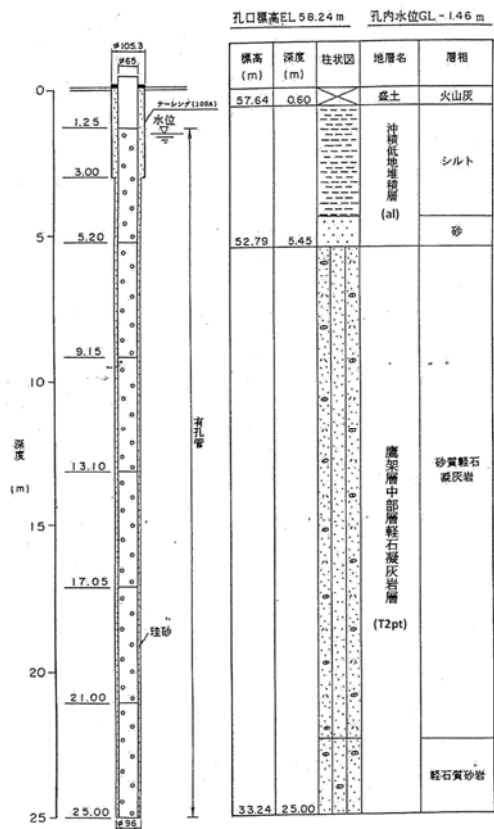
以下に、地下水位の観測結果と排水・監視設備からの排水量の関係を示す。

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。

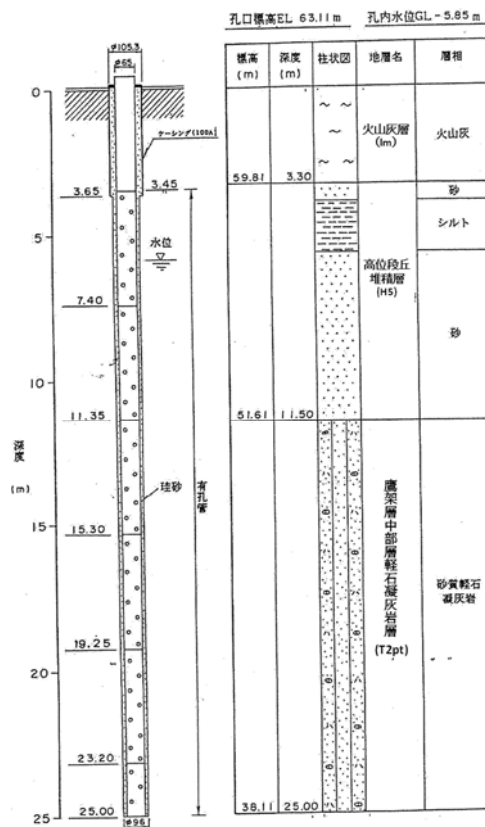
地下水位が高いときは降雨量も多いことが一般的であるが(第6図)、排水・監視設備からの排水量と降雨及び地下水との間に相関があるか明確にはわからなかった。なお、2号1-Aの12月26日から1月4日にかけて、排水量の増加が見られるが(第7図及び第8図)、12月26日は8日間の排水量、1月4日は10日間の排水量、1月7日は3日間の排水量となっていることが要因であり、水の浸入量については、目立った変化ではない。



第4図 地下水位の観測位置図

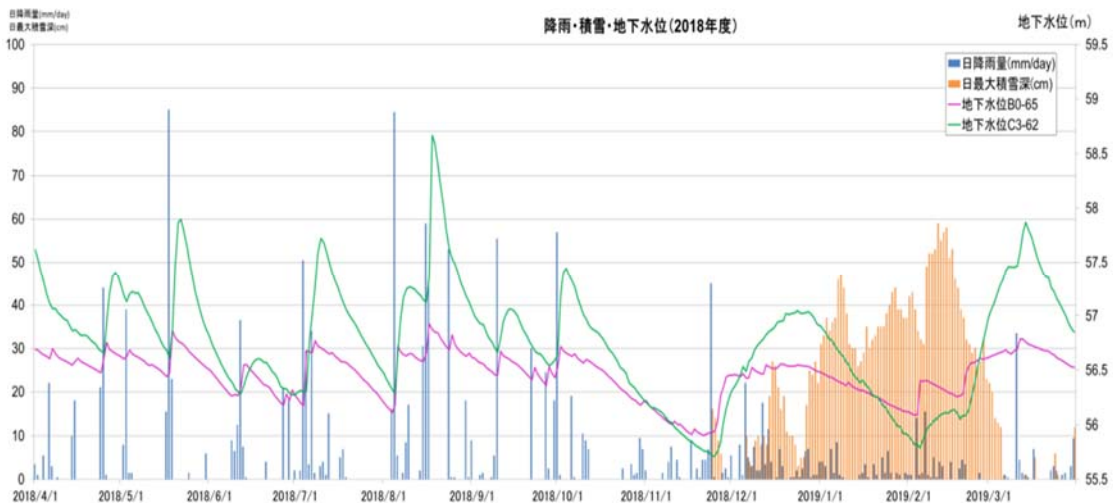


B0-65

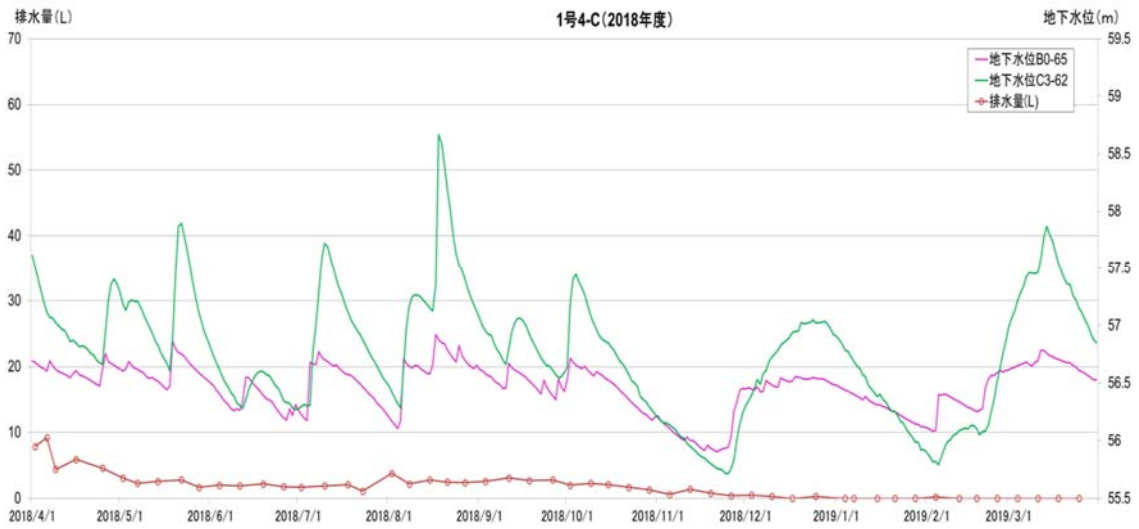


C3-62

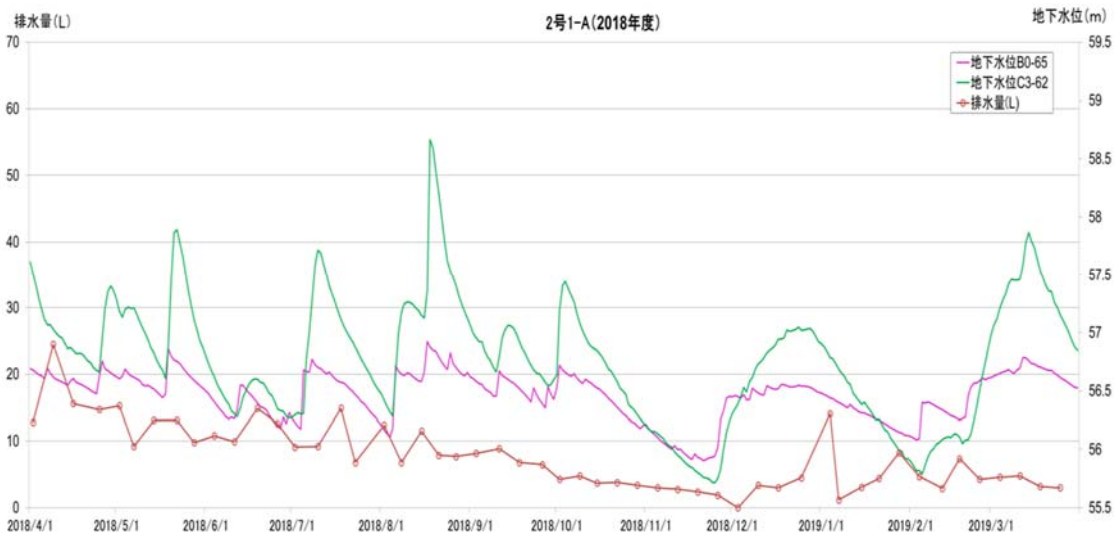
第5図 井戸(観測孔)の構造図



第6図 降雨・降雪・地下水の関係(2018年度)

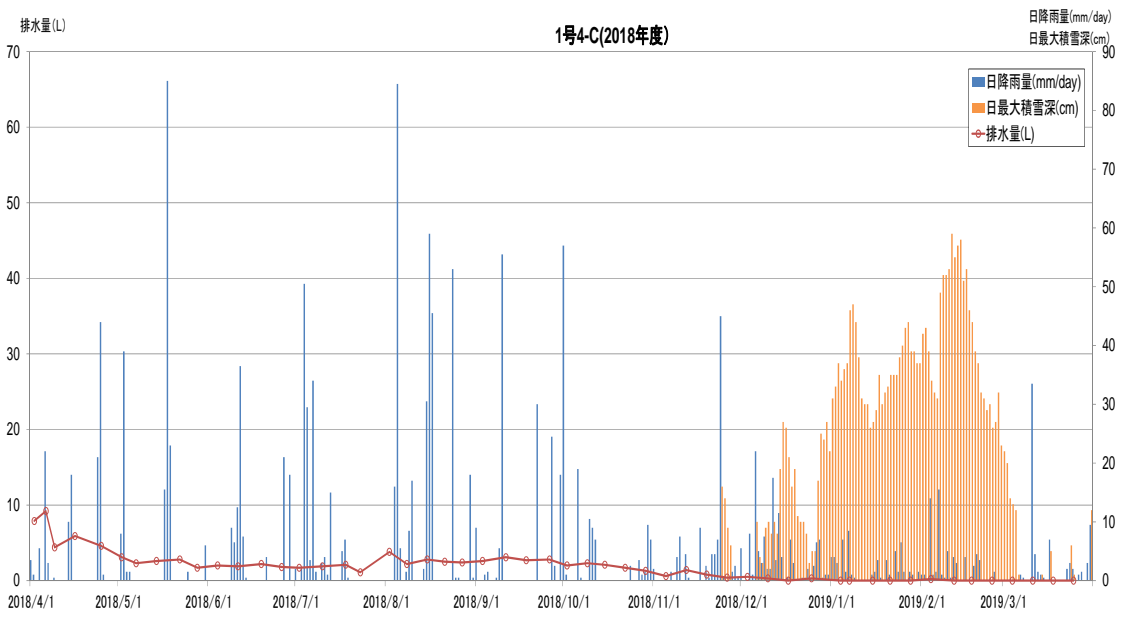


1号 4-C

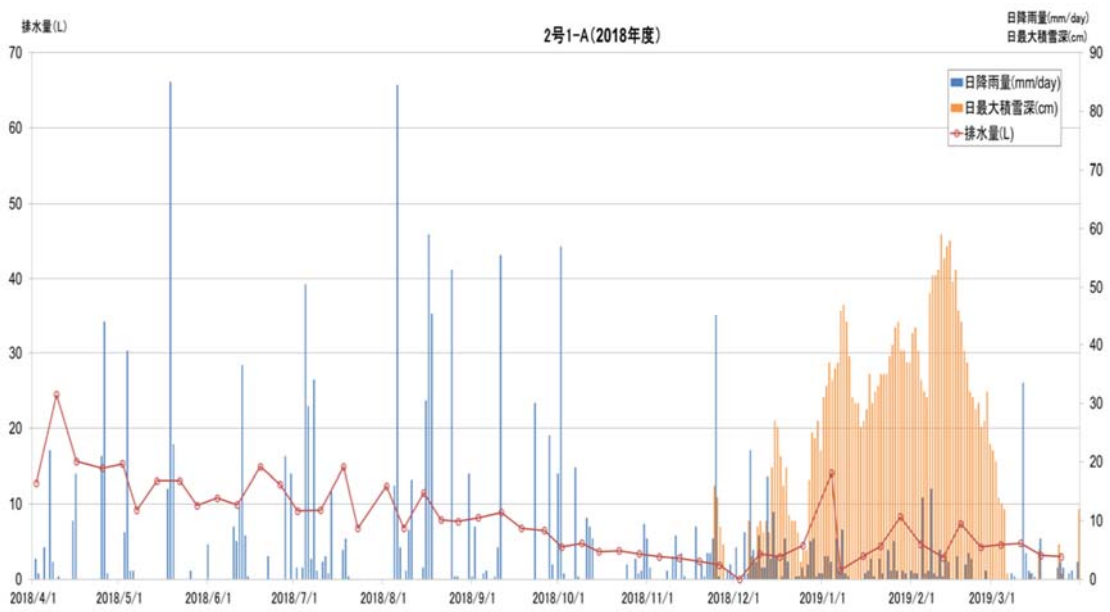


2号 1-A

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。

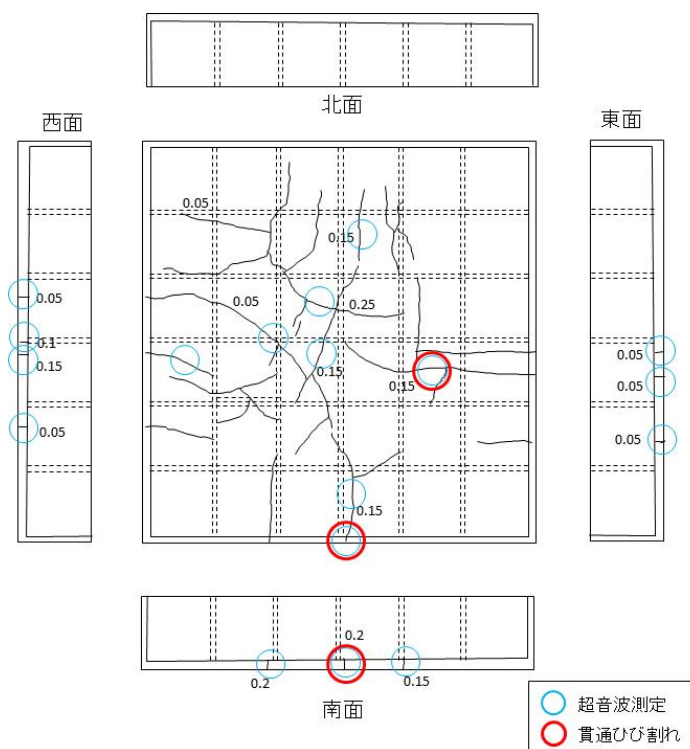
2号については、1-Aで底版にひび割れが確認されたことから、2号2-A及び2-Bで底版打設後に底版のひび割れ観察を実施した(第9図及び第10図)。

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。

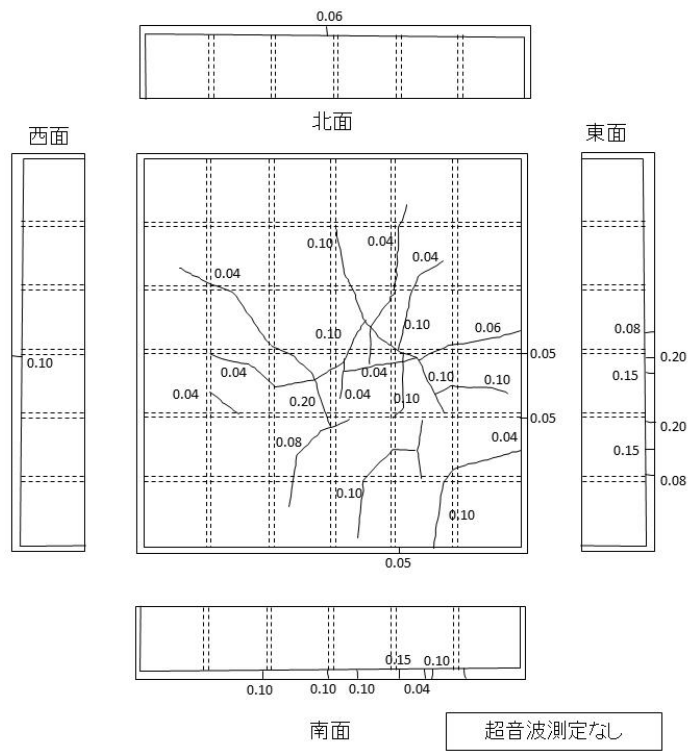
2号3-Aでも同様に底版打設後にひび割れ観察を実施した結果、膨張材添加効果として、ひび割れの抑制を確認した(第11図)。

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。

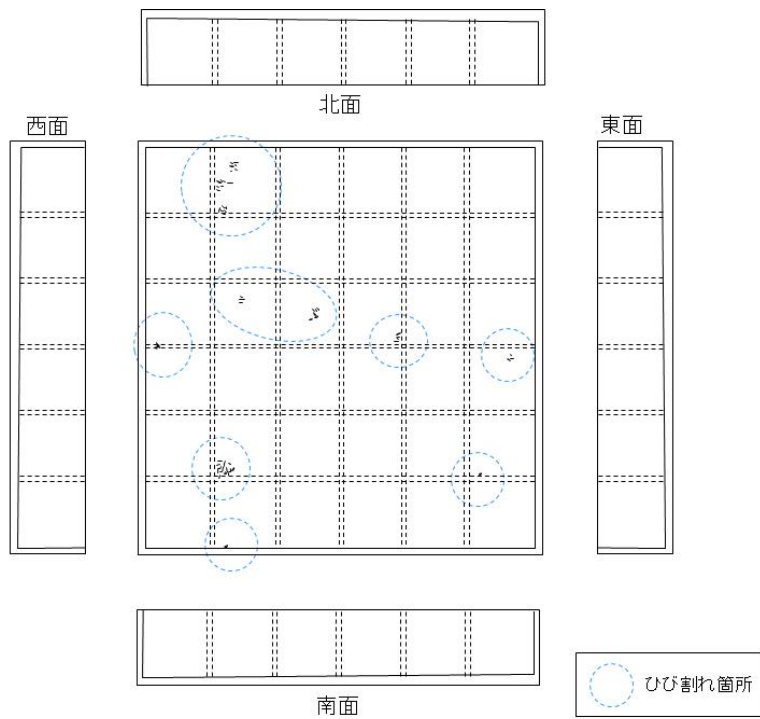
1号にひび割れが確認されなかった理由として、1号の寸法が2号の約2/3程度であることから、2号に比べて収縮変形量が相対的に小さいため、ひび割れの発生が抑制された可能性も考えられる。



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)



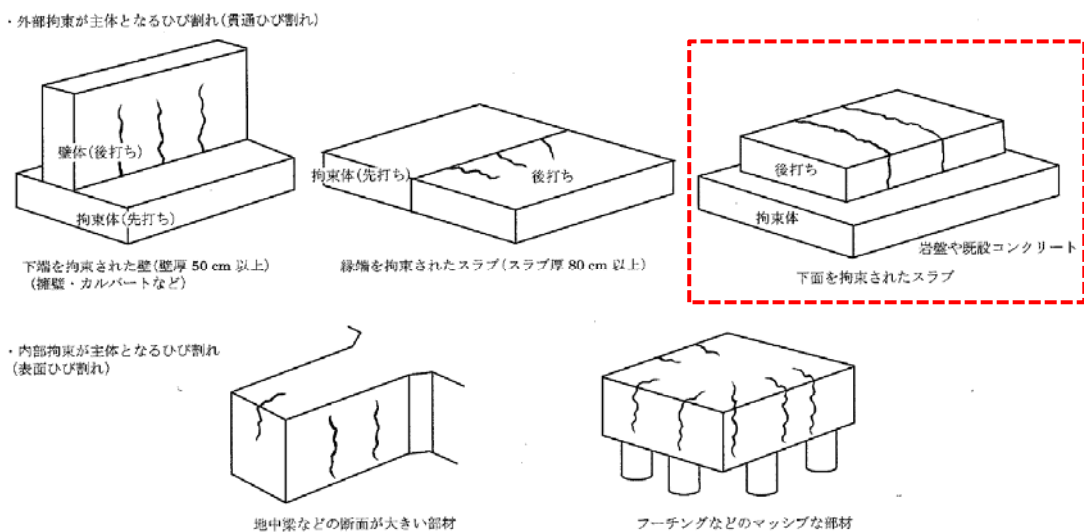
第 11 図 2号 3-A(底版コンクリート打設 35 日後)

(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。

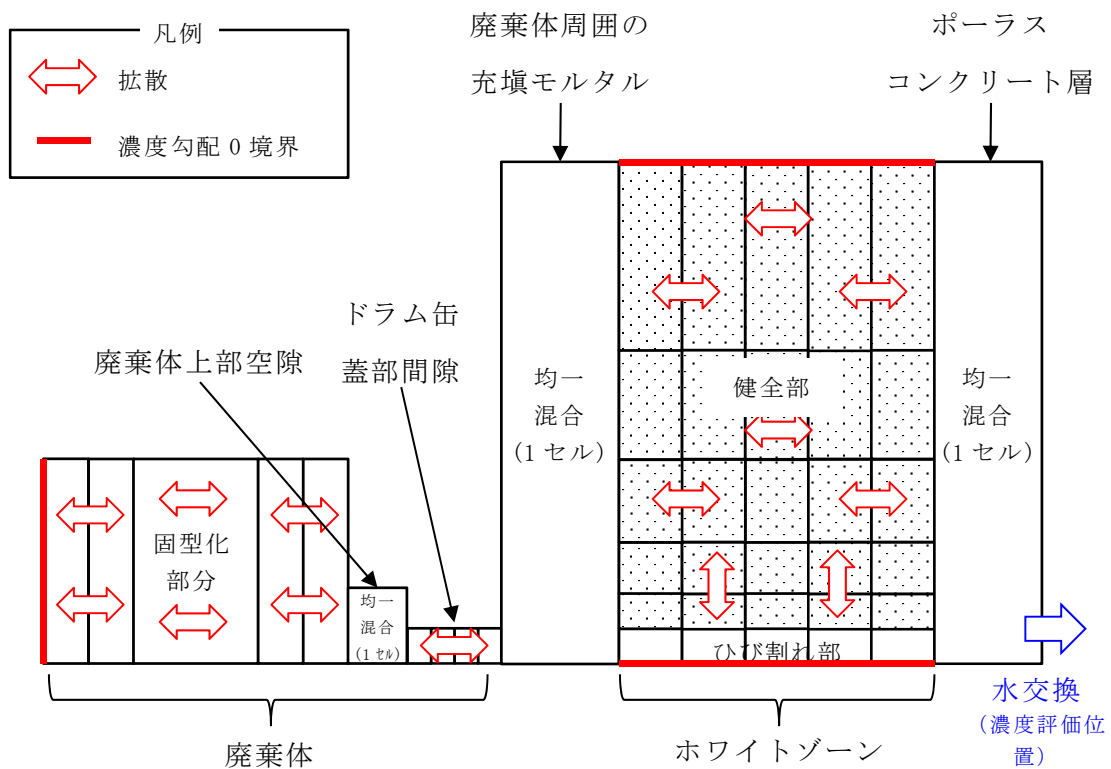
最後に、排水・監視設備のポーラスコンクリート層へ移行するため、ポーラスコンクリート層は均一混合層とする。

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。

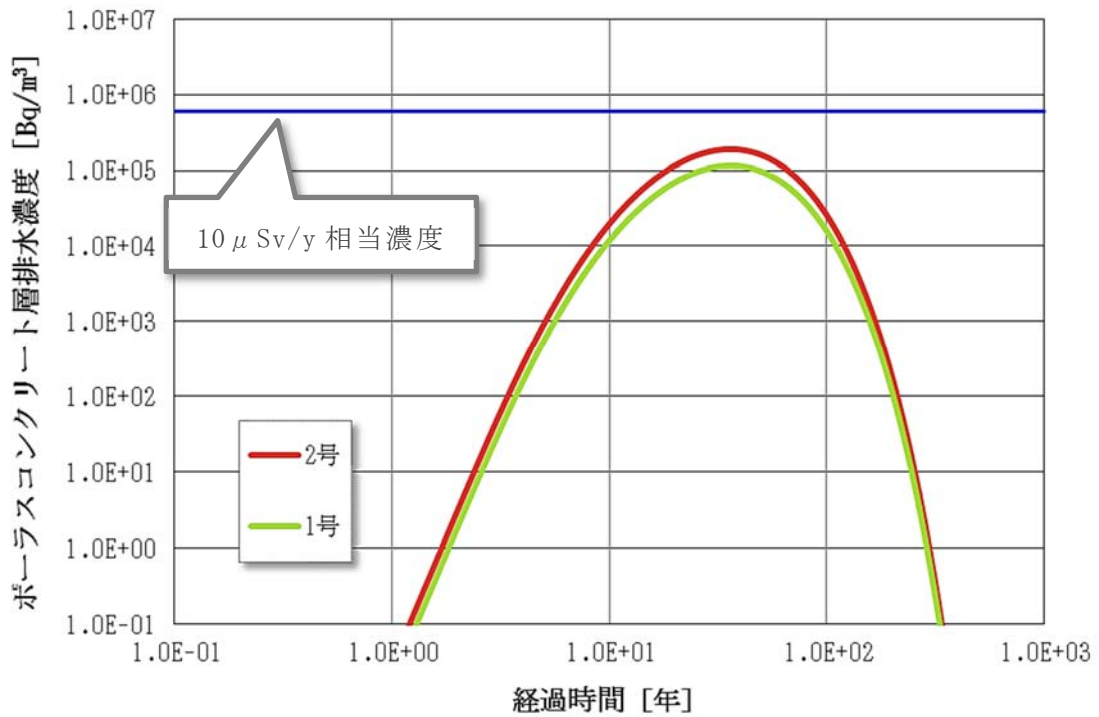
今回 $2 \times 10^3 \text{Bq}/\text{m}^3$ の濃度が測定された箇所の年間排水量は約 $0.08 \text{m}^3/\text{年}$ であったことから、解析結果が実態を表しているならば、今回の解析で用いた排水量を考慮すると実測される濃度は解析結果よりも高くなる(漏出放射エネルギーは同等)。一方で、埋設実績に基づくトリチウムの放射エネルギーは、この解析に用いた申請の放射エネルギーの 1/50 以下であること、埋設開始から 20 年以上経過し現時点が線量のピークだと仮定することもあわせて考えると、解析結果が実態を表しているとすれば、実測結果は解析結果の同程度～1 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)

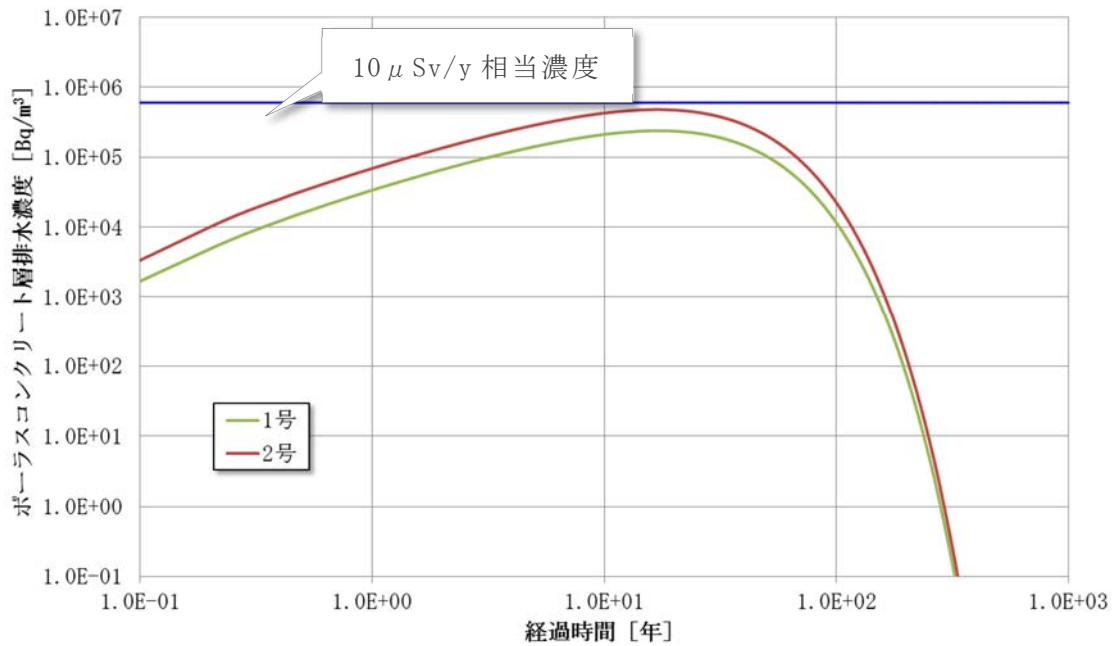
	トリチウム濃度最大値(Bq/m ³)	参考 告示濃度(Bq/m ³)
1号	1.20×10^5	6.00×10^7
2号	1.90×10^5	

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。