

福島第一原子力発電所 海水配管トレンチの立坑部に適用した水中不分離性コンクリート

東京電力ホールディングス(株) 正会員 ○橋本真一 正会員 西郡一雅 五十嵐希由
 東京電力パワーグリッド(株) 一色信正 浜 宜和
 鹿島建設(株) 正会員 柳井修司 正会員 石橋靖亨 正会員 深田敦宏
 日本海上工事(株) 正会員 岸田哲哉

1. はじめに

福島第一原子力発電所では、2, 3号機の海水配管を収めるトンネル、立坑、およびダクト(以下、「トレンチ」と総称)に滞留する高濃度汚染水の除去および再滞留の防止を最優先課題の一つと位置付け、2014年11月より、トレンチ内部に水中で流動可能なセメント系材料を打ち込んで汚染水を置換・除去する工事を実施した。本稿はトレンチ立坑部に適用した3つの充填材(図-1)のうち、低収縮性を有する水中不分離性コンクリートの多機能化に関する実験的検討(室内試験、充填性確認実験)の結果を取りまとめたものである。

2. 充填材の要求品質と配合

充填対象の立坑は、汚染水で充水されるとともに、配管設備、ケーブルトレイ、作業用足場等、様々な設備が設置されている。また、立坑の平面寸法は最大で4.79m×3.95mであり、1箇所の打込み孔から最長5.5m程度の水中流動が必要となる。さらに、汚染水が滞留するタービン建屋とトレンチの連通を遮断するため、立坑部には高い水密性が求められた。

上記の要求に対し、充填材は材料調達・作業性等も踏まえセメント系材料とし、温度ひび割れや自己収縮が少ないコンクリートを選定した。コンクリートは水中不分離性コンクリートとし、水中不分離性と流動性以外に表-1に示す性能を要件とした。それを踏まえて設定した仕様を表-2に、試験に供した配合を表-3に示す。目標スランプフローは通常よりも大きい57cm²とし、水中不分離性混和剤および高性能 AE 減水剤の配合バランスの調整により高流動コンクリートのランク2³⁾に相当する間隙通過性・自己充填性を付与した。また、石灰岩の砕石と砕砂を使用するとともに、膨張材と収縮低減剤を併用して収縮を抑制し⁴⁾、充填後にひび割れや立坑側壁からの肌離れが生じない材料を目指した。さらに、水密性を高めるとともにひび割れが生じた際の自己治癒効果も期待して防水材を混和した。

3. 室内試験(充填材の性能評価)

室内試験では、収縮量に着目して長さ変化率を測定し、水密性に着目して透水試験を実施した。拘束膨張試験(B法)の結果を図-2に示す。試験では、収縮低減剤の添加量を8kg/m³に固定し、膨張材の添加量を変化させた。膨張材使用量20kg/m³で、一般的な膨

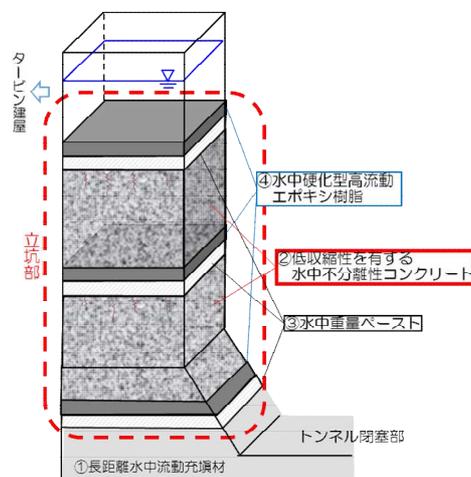


図-1 立坑充填箇所の縦断図

表-1 立坑充填材の要求性能(水中不分離性/流動性以外)

項目	要求性能	対応
自己充填性	各種設備周りに自己充填可能	水中不分離性混和剤、高性能 AE 減水剤の添加、配合バランス
低収縮性	収縮量が小さい	混和剤・材の使用 低吸水性・低収縮量の骨材を使用
水密性	遮水性を有する	自己治癒作用(防水材)による改善

表-2 立坑充填材(水中不分離性コンクリート)の仕様

項目	仕様	
コンクリートの種類	水中不分離性コンクリート 膨張コンクリート(収縮補償)	
自己充填性	自己充填性ランク2 (高流動コンクリート)	
流動性	スランプフロー	
空気量	57±5cm 3.5%	
水密性	水セメント比	55%
	防水コンクリート	躯体防水材を混和
低収縮性	混和材・剤	膨張材と収縮低減剤を併用
	骨材	石灰岩砕石、石灰岩砕砂

キーワード： 水中不分離性コンクリート、多機能化、立坑充填、水密性、低収縮性

連絡先： 〒100-8560 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 東京電力ホールディングス(株) TEL 03-6373-1111

表-3 試験に供した水中不分離性コンクリートの配合例(膨張材 20kg/m³ のケース)

水結合材比 W/B (%)	目標空気量 (%)	目標スランプフロー (cm)	細骨材率 (%)	単位粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)							水中不分離性混和剤 UWB (kg)	
					水 W	結合材 B		細骨材 S		粗骨材 G	高性能 AE 減水剤 SP		収縮低減剤 SRA
						セメント C	膨張材 EX	防水材 WPA	細骨材 CS				
55.0	3.5	57	40	276	320	562	20	8	487	745	8.73 (B×1.5%)	11.64 (B×2.0%)	3.20 (W×1.0%)

C: 普通ポルトランド (密度 3.16g/cm³), EX: 低添加型膨張材 (エトリンガイト・石炭複合系, 密度 3.16g/cm³), WPA: 躯体防水材 (エトリンガイト・CSH 生成系, 2.58g/cm³), CS: 石灰岩砕砂 (表乾密度 2.69g/cm³), G: 石灰岩砕石 (表乾密度 2.70g/cm³), SP: ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤, SRA: 収縮低減剤 (有機界面活性剤, 低分子量エチレンオキシドとプロピレンオキシドの共重合体), UWB: 水中不分離性混和剤 (水溶性セルロース系)

張コンクリートと同等の長さ変化率(材齢 7 日: 150μ~250μ)となった。また、長期的な体積安定性を確認するため、材齢 1 年までの測定を行い、異常な膨張や収縮が生じないことを確認した。透水試験の結果を表-4に示す。透水試験は材齢 7 日まで水中養生した φ150×h300mm の円柱供試体から中心部 h100mm を取り出し、2 週間気中乾燥させた後、水圧 0.17MPa を 24 時間保持させるインプット法にて実施した。膨張材、防水材および収縮低減剤の 3 材料を併用することで水の拡散係数が 1/2 以下に低減された。なお、水中気中強度比は 0.94 (材齢 28 日, 水中圧縮強度 37.5N/mm²) であり、水中不分離性も良好であった。

4. 充填性確認実験

選定した水中不分離性コンクリート (表-3) を発電所近郊の生コンクリート工場で製造し、立坑を模した水槽 (写真-1: 内寸法 1.5m×1.5m×高さ 2.0m, 約 1/4 スケール) に打ち込んで、施工性、充填性、水密性の確認を行った。打込みには、実施工で使用するコンクリートポンプ車を用い、ブーム先端に接続した充填管の筒先が常にコンクリート中にあるように管理した。硬化後の天端面の状況を写真-1の右に示す。流動勾配や不純物の堆積はなく、配管やケーブルの周りにも密実にコンクリートが充填されていた。水密性の確認は、コンクリート上面に水を溜め、コンクリート下部を通過する水の量を測定する透水試験 (アウトプット法) にて行った。試験結果は、試験開始後 1 時間までの透水係数が 5.3×10⁻⁶cm/sec, 1 時間後から約 3 時間後までの透水係数が 4.7×10⁻⁷cm/sec であった (種々の界面を含んだ測定結果)。水中作製した供試体の圧縮強度 σ₂₈ は、38N/mm² (σ₇ で 28N/mm²) であり、また水中気中強度比がほぼ 1.00 であり、室内試験と同様の性能を有する水中不分離性コンクリートを製造・供給できることを確認した。

5. まとめ

水中不分離性コンクリートに石灰岩由来の骨材、膨張材、防水材および収縮低減剤を併用し、高い自己充填性、低収縮性、水密性を付与した。トレンチ充填後のモニタリングでは遮水性能の向上が認められた。

参考文献

- 1) 日比・大津ほか: 福島第一原子力発電所 2~4 号機海水配管トレンチ汚染水対策工事, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 投稿中
- 2) 土木学会: 水中不分離性コンクリートの施工指針 (案), コンクリートライブラリー第 67 号, 1991.5
- 3) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, コンクリートライブラリー第 136 号, 2012.6
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針 (案)・同解説, 2006.3

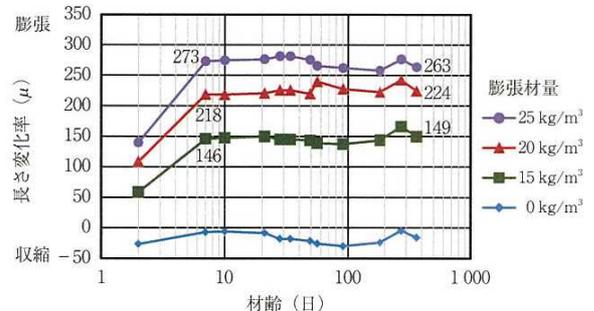


図-2 拘束膨張試験結果 (B 法, 常時水中養生)

表-4 透水試験結果 (インプット法)

配合条件 (膨張材, 防水材, 収縮低減剤)	平均浸透深さ Dm (cm)	水の拡散係数 Bi ² (cm ² /sec)
なし	1.58	4.24×10 ⁻²
あり	1.02	1.80×10 ⁻³

水圧 0.17MPa, 加圧時間 24 時間

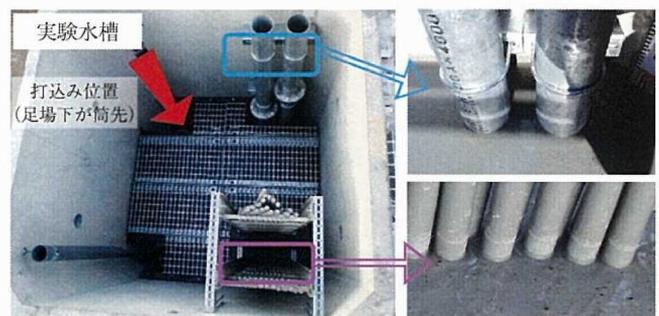


写真-1 水中不分離性コンクリート充填性確認実験の結果