

## 三次元熱水連成解析による凍土方式遮水壁の凍土造成・凍結閉合の検討 —凍土方式遮水壁大規模整備実証事業（その15）—

鹿島建設(株) 正会員 ○田部井和人 並川 正 鈴木玄仁  
東京電力ホールディングス(株) 河野一郎

### 1. はじめに

福島第一原子力発電所における凍土方式遮水壁の大規模整備実証事業において、陸側遮水壁（以下、凍土方式遮水壁）の造成時に地下水流が凍土の成長や凍土方式遮水壁の閉合に与える影響が懸念されていた。そこで、モックアップ試験や小規模の凍土方式遮水壁実証試験の再現性を確認<sup>1),2)</sup>した手法を用い、地下水流がある状態で閉合可能な凍結管間隔の検討などを行ってきた。また、凍土方式遮水壁の凍土造成過程を再現した三次元熱水連成解析も実施してきた。前回報告<sup>3)</sup>では、2016年12月までの凍土造成過程を再現した検討を実施した。地中温度の計測結果と解析結果の整合性から凍土方式遮水壁の造成状況をよく表現できていると考える。今回は、残りの凍結閉合過程およびブラインの循環および停止を繰り返す維持管理運転を再現した解析について報告する。

### 2. 解析条件

本解析ではサイトの地質構成、地表面形状、地上構造物および凍結管の施工位置などをモデル化した。図-1に解析モデルを示す。表-1, 2に解析で用いた熱物性および水理物性を示す。地盤の熱物性は現地で採取したコアの室内試験結果から設定した。地下水に関する境界条件や水理物性は、文献<sup>4)</sup>を参考に設定した。建屋やサブドレン等の井戸水位は実際の設計水位に合わせて段階的に変化させた。また、凍土造成は2016年3月に第1段階フェーズ1(海側+北側一部+凍結しにくい箇所)の先行凍結を開始した後、2016年6月に第1段階フェーズ2(意図的に設けた7箇所の未凍結箇所を除く箇所の凍結)、2016年12月に第2段階(6箇所の未凍結部の段階的凍結)、2017年8月の第3段階(残り1箇所の凍結)という実際に行われたブライン循環のスケジュールを再現している。なお、2017年5月からはブラインの循環および停止を繰り返す維持管理運転を開始しており、ブライン循環は凍結管位置で-30℃に温度固定条件、ブライン停止は境界条件を外すことで表現している。

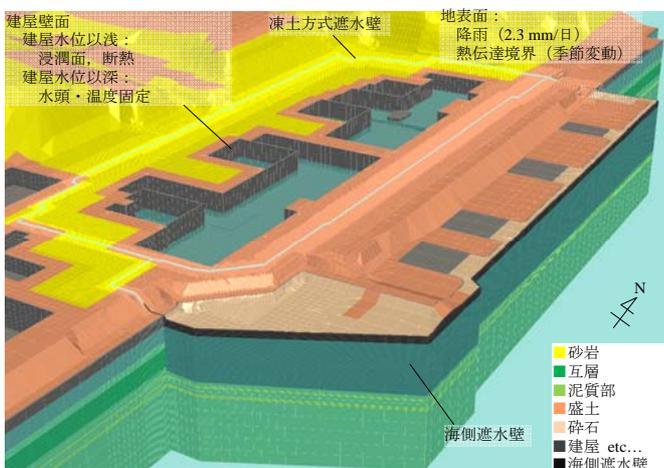


図-1 解析モデル（凍土方式遮水壁近傍を拡大）

表-1 解析用物性（熱物性）

	熱伝導率 W/mK		熱容量 J/m <sup>3</sup> K	
	凍結前	凍結後	凍結前	凍結後
砂岩	1.8	2.5	3010	2030
互層	1.2	1.8	3010	2030
泥質部	1.2	1.8	3340	2300
建屋壁	1.0	1.0	1920	1920
構造物	1.0	1.0	1920	1920

表-2 解析用物性（水理物性）

	透水係数	比貯留係数
	cm/s	1/cm
砂岩	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-6}$
互層	水平： $1.0 \times 10^{-3}$ (鉛直： $1.0 \times 10^{-6}$ )	$5.8 \times 10^{-7}$
泥質部	$1.1 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-7}$
建屋壁	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-7}$
構造物	$1.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-7}$

キーワード 凍結工法, 三次元熱水連成解析, 福島第一原子力発電所

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 KI ビル 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL03-6229-6795

### 3. 解析結果

西側の凍土方式遮水壁の未凍結部と北側、南側の凍土方式遮水壁の中央付近の周辺に設置された測温管における地中温度の経時変化について、解析結果と計測値を比較したものを図-2に示す。事前の解析から、未凍結部に地下水流が集中し凍結閉合しにくいことが予想されたため、実施工では未凍結部周辺に事前に薬液注入による補助工法を実施している。解析では、薬液注入を実施した範囲の地盤の透水係数を一様に $1 \times 10^{-4}$  cm/sに設定した。凍結開始時期は、各位置で異なるが凍結開始後の温度低下傾向は計測結果と整合している。ただし、最後に凍結を開始した西③の互層部は、解析の温度低下が遅い。これは、実際には解析よりも薬液注入の効果があり、地中温度は低下しているものと考えられる。また、2017年5月から開始した維持管理運転に伴う地中温度の上昇、低下についても解析結果は計測と整合していることが分かる。図-3は凍土造成を開始してから第2段階開始時と西③の凍結を開始してから3か月後の中粒砂岩層中央位置での全水頭分布図である。第2段階開始時に比べ、西③の凍結から3ヵ月後では凍土方式遮水壁の内外の水位差が拡大していることが分かる。

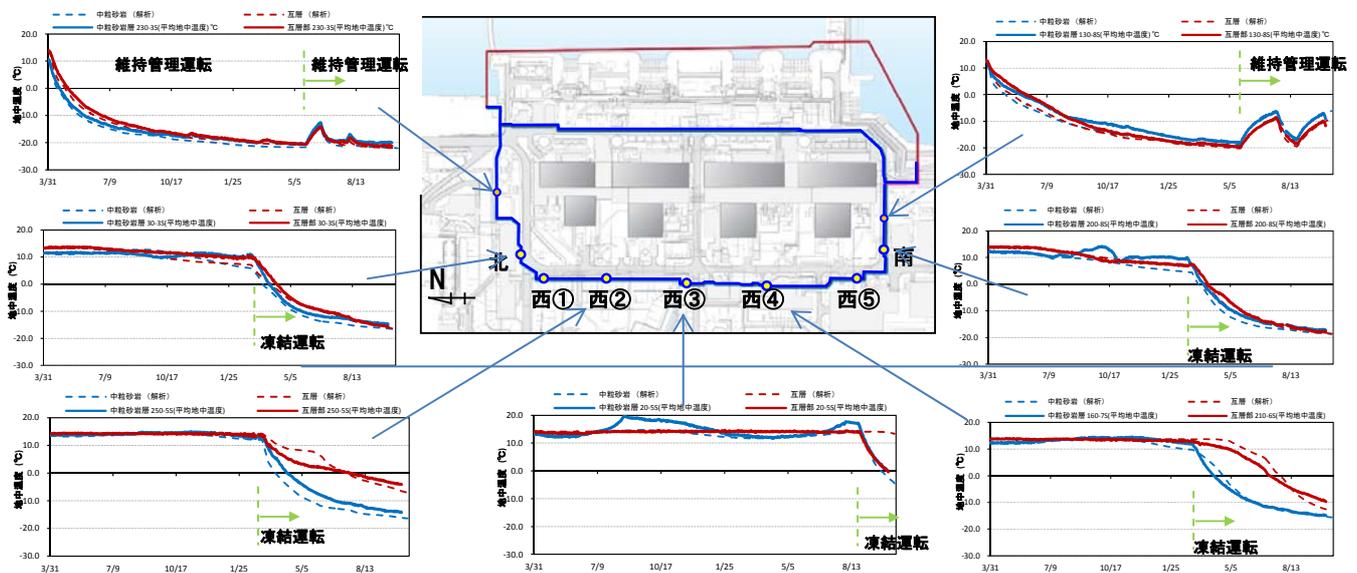


図-2 解析結果と実測値の比較 (地中温度)

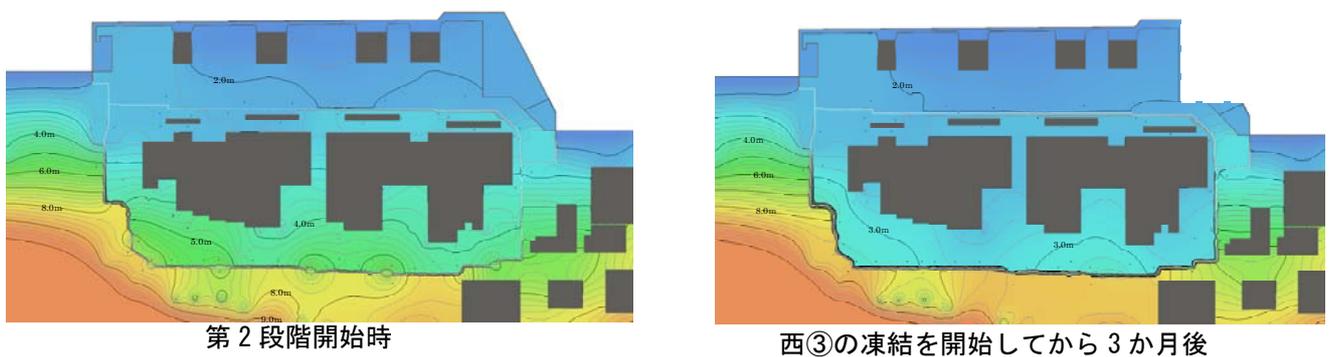


図-3 全水頭の分布図

### 4. おわりに

福島第一原子力発電所における凍土方式遮水壁の凍結閉合時および維持管理運転を再現した解析を行った。解析結果は測温管で計測された地中温度と整合しており、実際の凍土造成状況をよく表現できていると考える。

#### 参考文献

- 1) 地下水流を考慮した凍土方式遮水壁の閉合に係る解析的評価, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2015
- 2) 小規模凍土壁実証試験のブライン間欠運転に関する解析的検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2017
- 3) 三次元熱水連成解析による凍土方式遮水壁の造成シミュレーション, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2016
- 4) 経済産業省: 汚染水処理対策委員会 (第5回), 資料3 福島第一原子力発電所周辺の地質・地下水および解析, 2013