

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 —凍土方式遮水壁大規模整備実証事業（その5）—

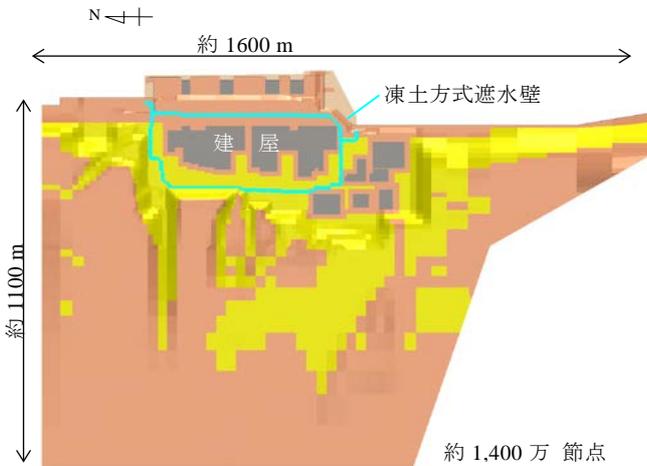
鹿島建設(株) 正会員 ○宇津野衛, 並川 正, 田部井和人, 江崎太一
フェロー会員 森川誠司

1. はじめに

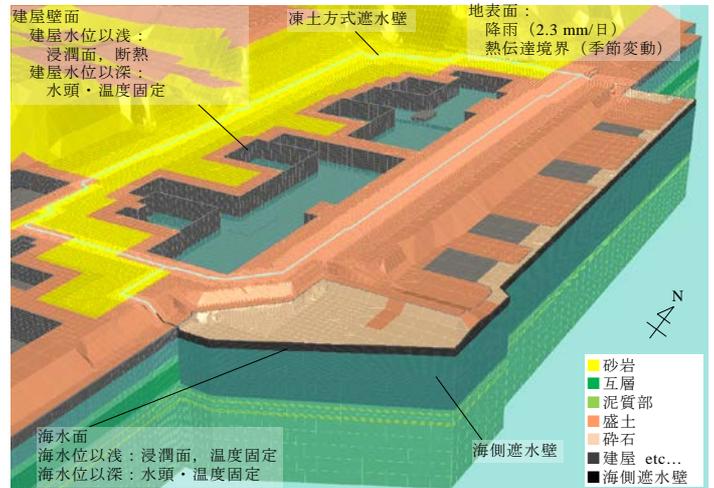
福島第一原子力発電所の汚染水対策の一つである陸側遮水壁は、凍土方式で設置が進められている（以下、凍土方式遮水壁）。凍土造成過程では、隅角部での地下水流速の増大、未閉合部への地下水流の集中、遮水効果の発現による地下水流の堰上げなど、複合的な要因によって閉合に長期間を要する箇所が局所的に生じる可能性がある。凍土方式遮水壁の閉合にあたっては、実測値に基づき段階的に凍結を進めることとしているが、その参考情報を得ることを目的に、福島第一原子力発電所周辺領域をモデル化した三次元浸透流・熱移動連成解析（以下、熱水連成解析）の開発を実施した。

2. 解析条件

解析モデルを図-1に示す。地表面形状、地層構成について可能な限り考慮しており、汚染水対策の一環として実施されているサブドレンや地表面フェーシングなどもモデル化している。また、凍結管、測温管の位置は施工実績を反映してモデル化している。解析における境界条件を表-1に、解析に用いた水理物性値および熱物性値を表-2に示す。解析は想定されている凍土方式遮水壁の閉合手順（フェーズ1：海側+北側一部+凍結しにくい箇所の先行凍結、フェーズ2：山側閉合率 95%）¹⁾を再現しており、凍結日数はフェーズ1を40日、フェーズ2を60日と仮定している。解析において凍結開始前の地下水流速（不



(a) 解析モデル鳥瞰図



(b) 解析モデルにおける建屋周辺と境界条件

図-1 三次元熱水連成解析モデル

表-1 境界条件

| | 水理 | 熱 |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 地表面 | 降雨 2.3mm/日 (浪江町降水量 1545mm/年, 浸透率 55%) | 熱伝達 (季節変動) (浪江町過去 10 年平均気温) |
| 山側側面 (三辺) | 水頭固定 | 温度固定 (14℃一定) |
| 海側側面 | 海水面以浅: 浸潤面 海水面以深: 水頭固定 | 温度固定 (14℃一定) |
| 底面 | 不透水 | 温度固定 (14℃一定) |
| 建屋壁面 | 建屋水位以浅: 浸潤面 建屋水位以深: 水頭固定 | 水位以浅: 断熱 水位以深: 温度固定 (変動) |
| サブドレン | 浸潤面境界 | — |
| 凍結管 | — | 温度固定 (-30℃一定) |

表-2 解析物性値

| | 水理物性 | | 熱物性 | | | |
|-------------------|--|----------------------|-----------|-----|------------------------|------|
| | 透水係数 ^{*1} cm/s | 比貯留係数 1/cm | 熱伝導率 W/mK | | 熱容量 J/m ³ K | |
| | | | 凍結前 | 凍結後 | 凍結前 | 凍結後 |
| 砂岩 | 3.0×10^{-3} | 2.9×10^{-6} | 1.8 | 2.5 | 3010 | 2030 |
| 互層 ^{*2} | 1.0×10^{-3} (1.1×10^{-6}) | 5.8×10^{-7} | 1.2 | 1.8 | 3010 | 2030 |
| 泥質部 | 1.1×10^{-6} | 4.5×10^{-7} | 1.2 | 1.8 | 3340 | 2300 |
| 建屋壁 | 5.0×10^{-6} | 1.0×10^{-7} | 1.0 | 1.0 | 1920 | 1920 |
| 構造物 ^{*3} | 1.0×10^{-6} | 1.0×10^{-7} | 1.0 | 1.0 | 1920 | 1920 |

※1 凍結時の透水係数は 1.0×10^{-12} cm/s ※2 互層は異方性を考慮。()内は鉛直方向の透水係数 ※3 建屋底盤, ピット, ポンプ室, 海側遮水壁

キーワード 凍結工法, 遮水壁, 福島第一原子力発電所, 三次元浸透流・熱移動連成有限要素法解析
連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-6229-6684

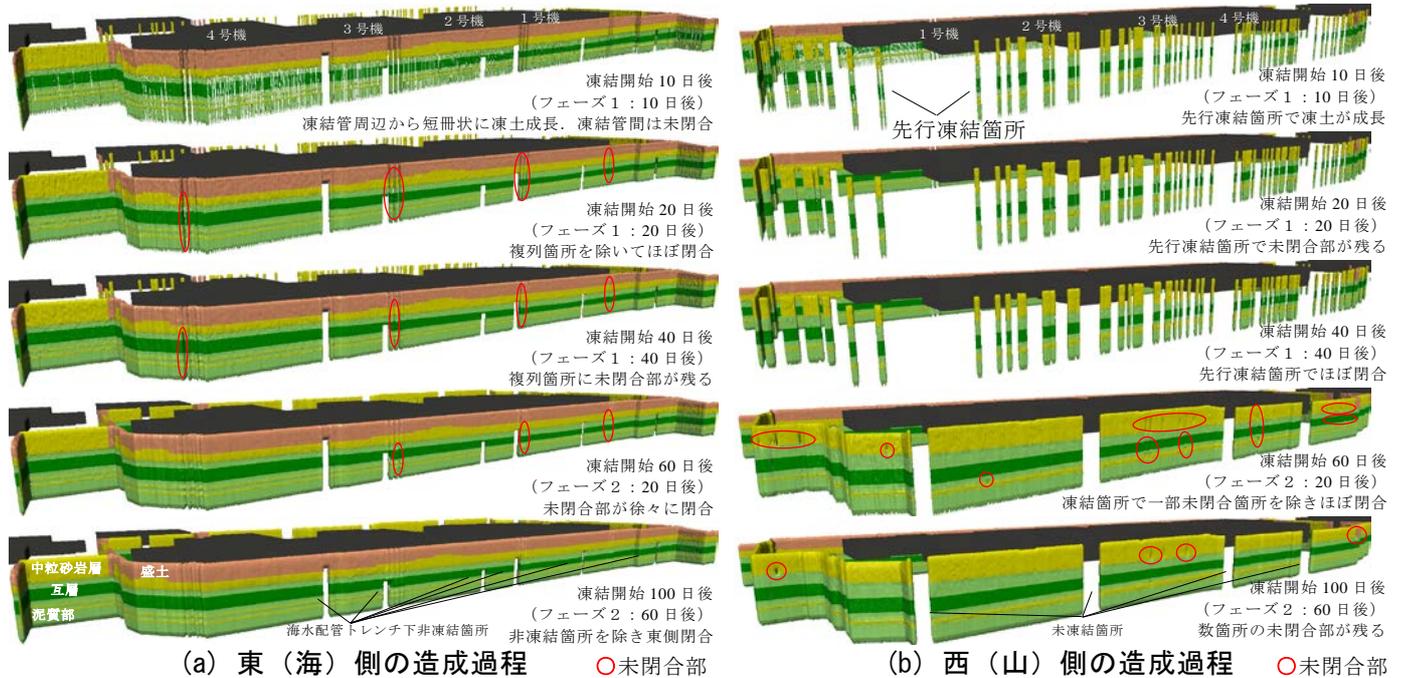


図-2 凍土方式遮水壁の造成シミュレーション結果

圧帯水層)は、東側、西側ともに、観測井での地下水水位計測結果から推定される地下水流速とほぼ同等となっている。

3. 解析結果

凍土方式遮水壁の造成過程を予測した解析結果を図-2に示す。温度 $T=0$ °C の等値面を地層構成によって色分けしたもので、凍土方式遮水壁として造成されている領域を示している。海側の開口箇所は、海水配管トレンチ下部で凍結管を貫通施工していない非凍結箇所であり、山側の開口箇所はフェーズ2において未凍結としている箇所である。凍結開始100日後において西(山)側に局所的な未閉合部が数箇所確認される。図-3に中粒砂岩層の流速ベクトルを示す。凍土方式遮水壁の造成に伴って地下水流が変化し、遮水されていく様子がわかる。また、未凍結箇所へ地下水流が集中し、地下水流速が速くなっていることが確認される。

4. おわりに

福島第一原子力発電所の周辺領域をモデル化した熱水連成解析により、地下水流の変化を考慮した凍土方式遮水壁造成状況の解析を行った。本解析により、凍土が徐々に閉合し一連の遮水壁が造成される様子が確認されるとともに、遮水壁の造成とともに周辺の地下水流が変化していく様子が確認された。今後は、実測で得られる地下水データや地中温度データと比較しフィッティング解析等を重ねることによって、実現象を精度よく再現できるようブラッシュアップし、凍土造成時の評価に役立つよう、引き続き開発を行う予定である。

参考文献 1) 東京電力(株)：陸側遮水壁の閉合について、第41回特定原子力施設監視・評価検討会、資料1、2016年3月3日、http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/youshikisya/tokutei_kanshi/index.html

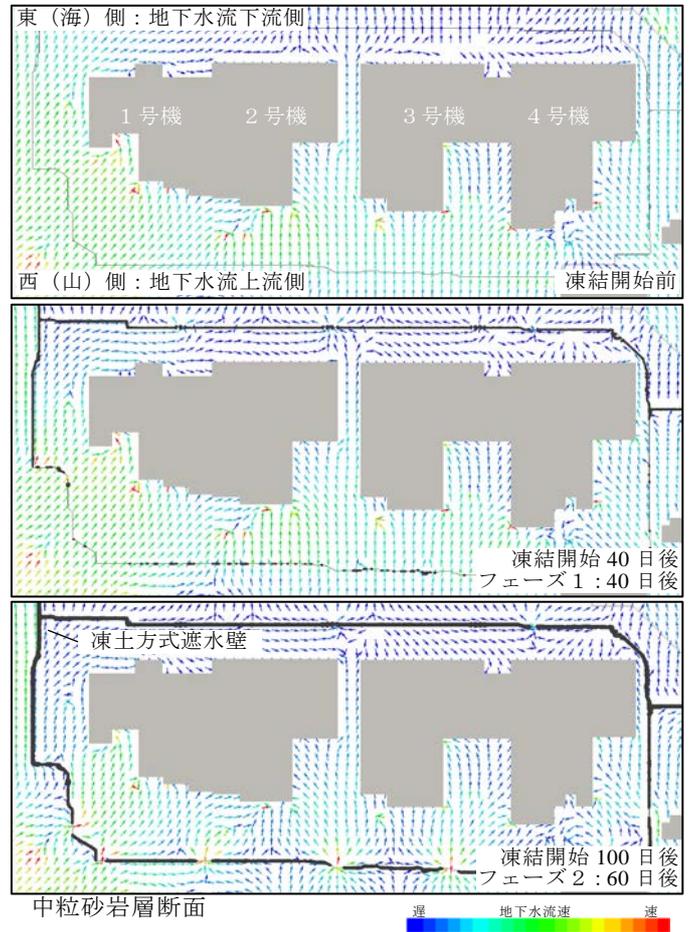


図-3 遮水壁造成状況と地下水流速ベクトル