

1. 目的

凍土方式陸側遮水壁（以下、本施工）の凍結予測に適用している3次元熱-水連成FEM解析を用いて、FS1 矩形凍土の凍結シミュレーションを実施し、実験結果と比較した。

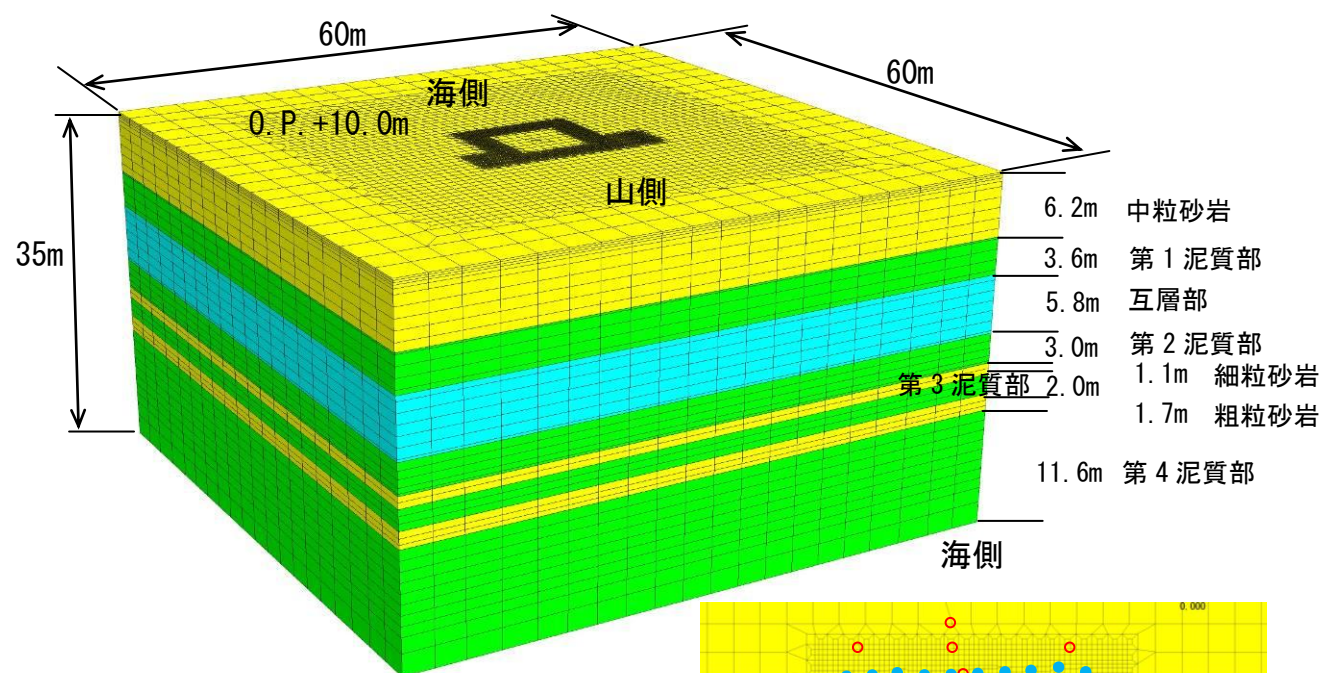
検討の目的は以下の2点である。

- ① 当該地盤の熱物性の同定
- ② 複列配置部における今後の凍結予測

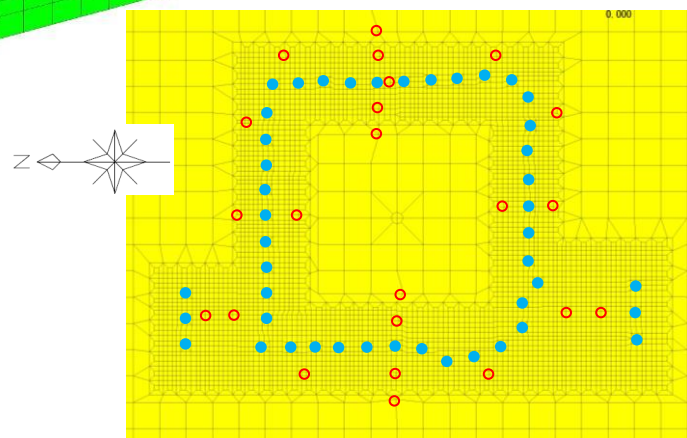
2. 解析条件

下図の3次元モデルを用い、以下の条件で解析を行った。

- ・FS1 地点の地質構成及び凍結管・測温管配置の出来形をできるだけ再現した。
- ・地下水条件（水温、流向・流速、透水係数）、気温、凍結管温度は実験と同条件とした。
- ・地盤の熱物性値（熱伝導率及び熱容量）は室内試験結果を使用した。浅部の地層（中粒砂岩～第2 泥質部）は実験結果（特に凍結閉合を直接評価できるS-8）に良好に合致するよう熱物性値を修正した。



解析モデル



● 凍結管
○ 計測位置

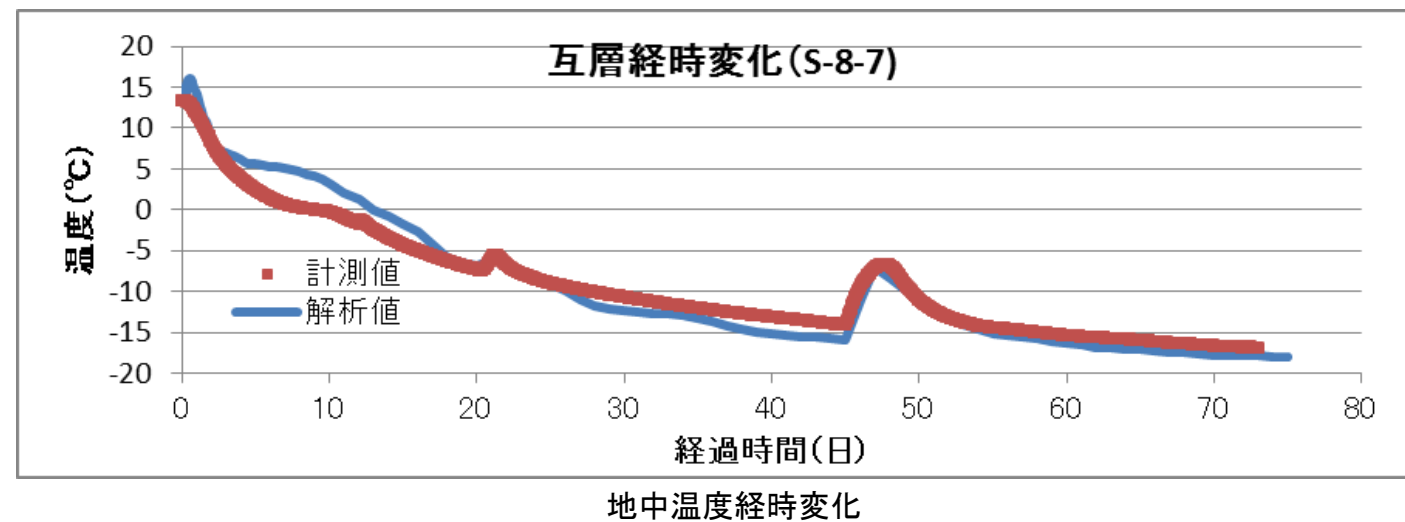
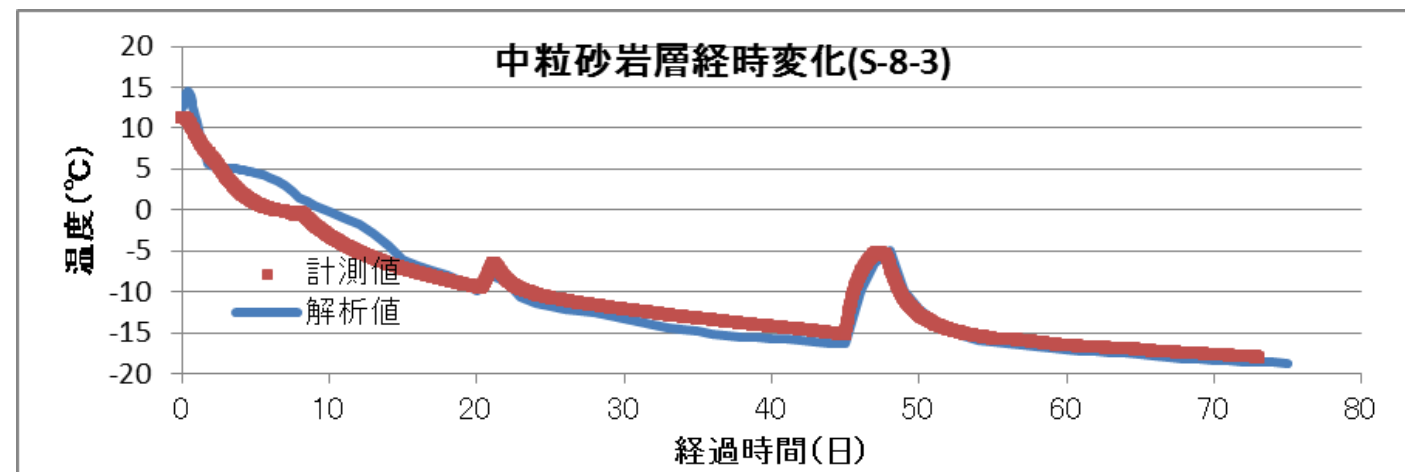
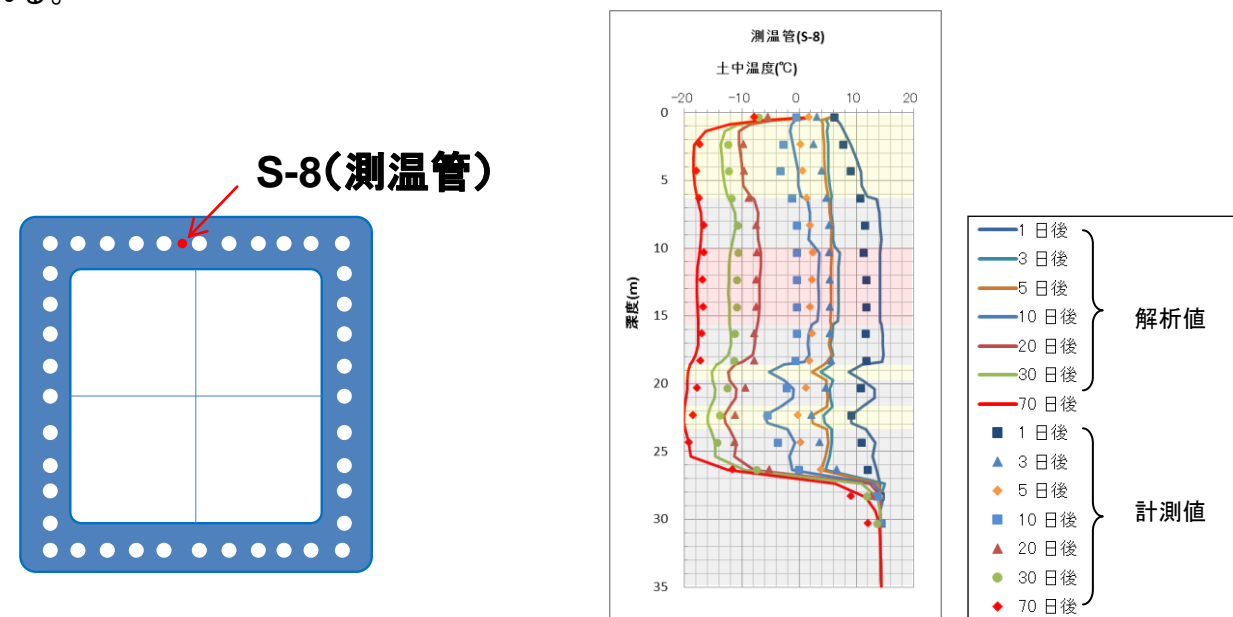
山側

凍結部平面図

3. 解析結果と解釈

① 実験結果との整合性

- ・S-8 における地中温度の深度分布とその経時変化は解析と実験でよく整合している。それ以外の各測温管位置における地中温度の深度分布とその経時変化については、現時点までの実験結果より凍結がやや遅い傾向（保守的な傾向）の計測点もあるが、全般には概ね良好に再現できている。
- ・したがって本施工の凍結予測においても今回の解析に用いた地盤の熱物性を用いることは妥当と考えられる。

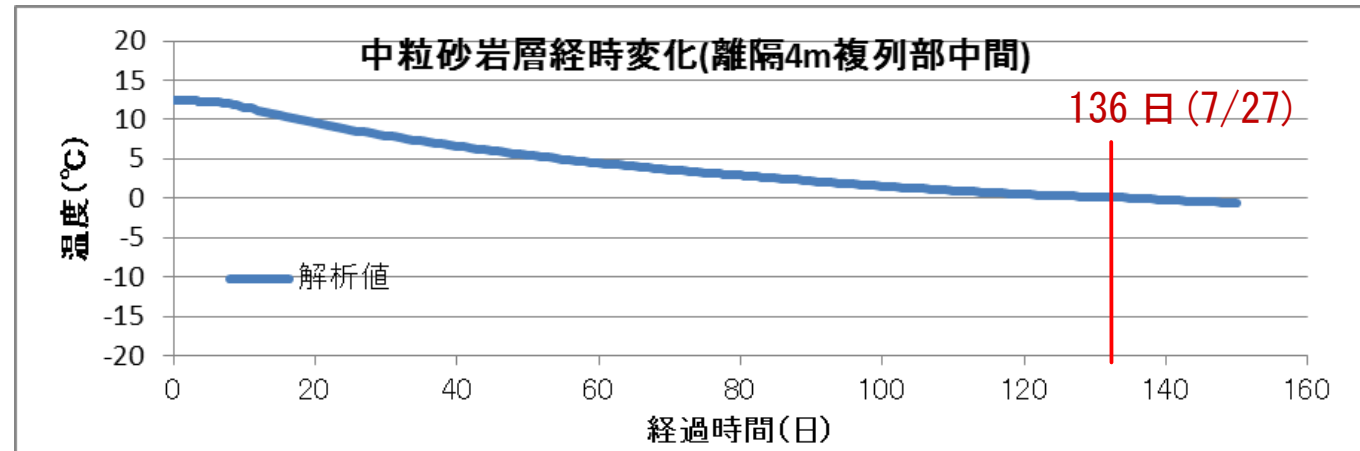
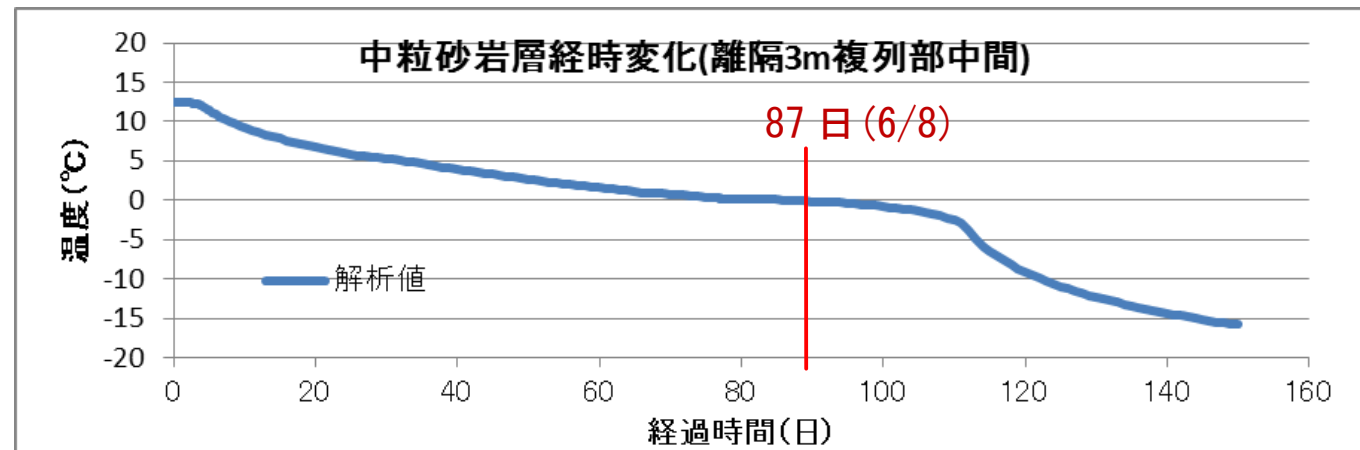
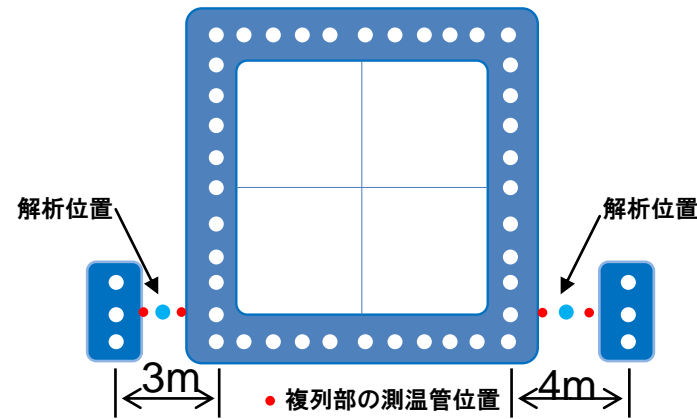


② 複列配置部における今後の凍結予測（ダムアップが顕著でない場合）

- ・実験において複列配置部の測温管は複列凍土の中間地点にないため、中間地点の今後の凍結進行を、本解析によって予測した。
- ・凍結進行が最も遅い互層部において、複列配置部が閉合、つまり中間地点が 0℃以下となる予測日数は以下のとおりである。

複列配置部の凍土閉合日数（予測結果）

| 位置 | 凍結開始(3/14)から閉合までの日数 | 閉合予想日 |
|-----------|---------------------------|---------------------|
| 離隔 3m 複列部 | 中粒砂岩 87日 互層 126日 | 中粒砂岩 6/9 互層 7/18 |
| 離隔 4m 複列部 | 中粒砂岩 136日 互層 150日で閉合せず | 中粒砂岩 7/28 互層 - |

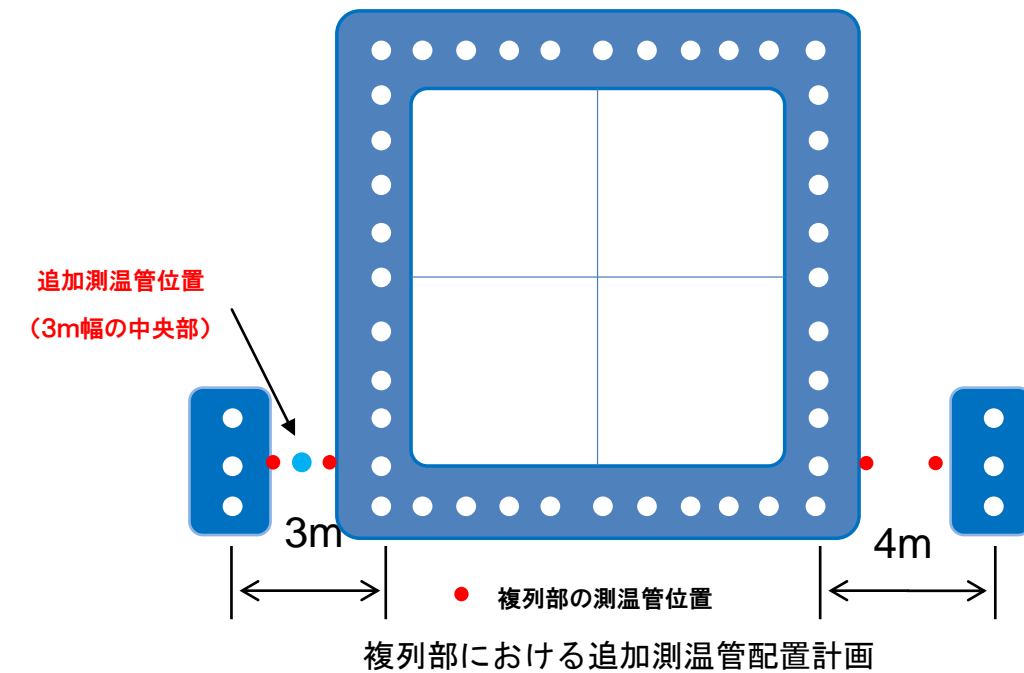


複列部中央部の地中温度経時変化（解析値）

- ・上記閉合予測は実際よりやや遅い傾向（保守的な評価）にあると考えられるが、離隔 4m 複列部は5ヶ月で閉合しないおそれがあり、本施工の凍土造成にあたって現実的とは言えない。このため、本施工では複列配置の離隔を基本的に 3m 以下で計画するものとし、やむを得ず 3m 以上となる場合は対策工の併用を検討する。

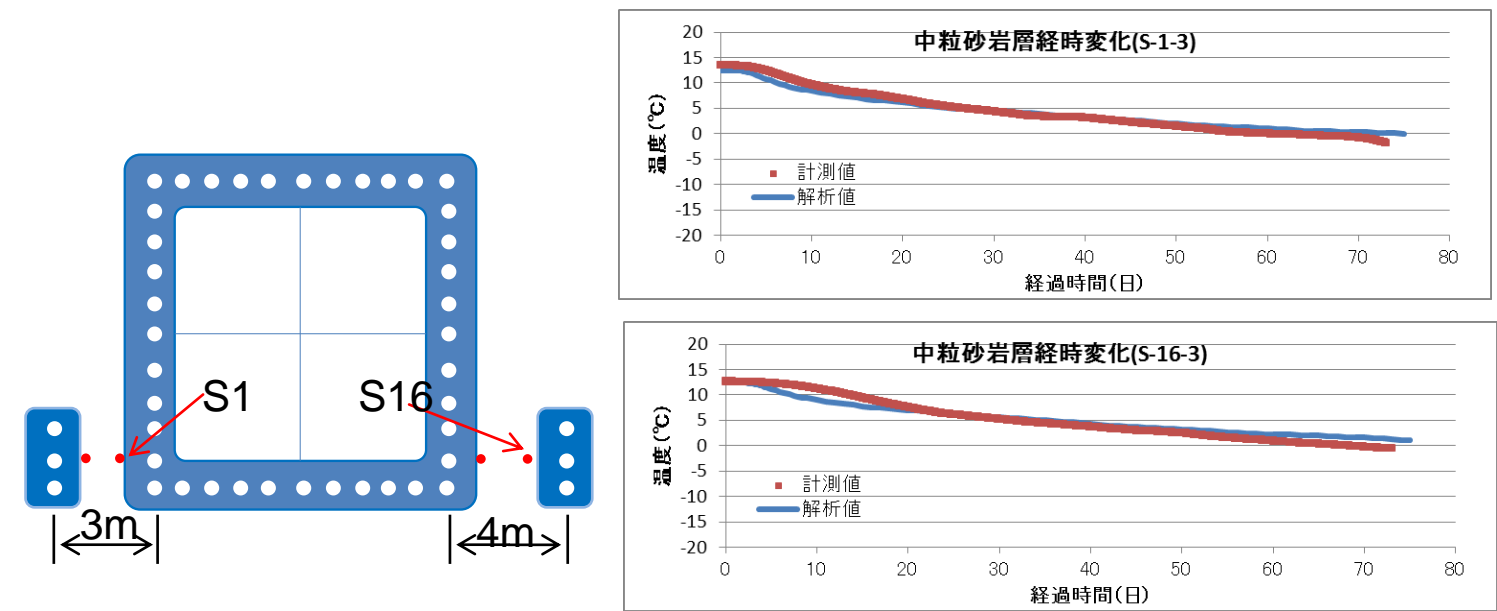
●測温管追加計画

- ・複列部については上記のとおり、複列部の中央位置に測温管を配置していない。解析的に閉合評価をおこなったが、解析値の妥当性を検証するため 3m 複列区間の中央部に測温管を追加したい。
- ・規制庁監視評価検討会において、複列部の閉合評価のために、複列部の中央位置の地盤温度を測定するようにとのコメントをいただいていることもあり、追加計測を実施したいと考える。



複列部における追加測温管配置計画

参考：複列部の測温管部における測定値と解析比較



■解析用物性値

複列部の地中温度経時変化（計測値と解析値）

水理境界条件等

| 位置 | 設定条件 |
|-----|-------------------------|
| 側面 | 観測井戸の水位をもとに各層での全水頭値を与える |
| 底面 | 不透水境界 |
| 地表面 | 浸潤面境界 |

温度境界条件等

| | |
|------------|--|
| 雰囲気温度(°C) | 10.3 (外気温観測値の平均) |
| 地中温度(°C) | 測温管計測値の初期値から初期温度分布を設定(地表面で7.5°C、10m以深から14°C) |
| プライン温度(°C) | 送り、戻り温度の平均値 |
| 地表面温度(°C) | 計測期間中の日平均温度を地表面温度として設定 |

熱物性^{注2)}

| | 熱伝導率(kcal/mh°C) | | 熱容量(kcal/m ³ °C) | |
|-------|-----------------|-------|-----------------------------|-------|
| | (凍結前) | (凍結後) | (凍結前) | (凍結後) |
| 中粒砂岩 | 1.1 | 1.6 | 720 | 480 |
| 第1泥質部 | 0.75 | 1.2 | 800 | 550 |
| 互層 | 0.79 | 1.2 | 720 | 480 |
| 第2泥質部 | 0.75 | 1.2 | 800 | 550 |
| 細粒砂岩 | 1.5 | 2.1 | 720 | 480 |
| 第3泥質部 | 1.0 | 1.6 | 800 | 550 |
| 粗粒砂岩 | 1.5 | 2.1 | 720 | 480 |
| 第4泥質部 | 1.0 | 1.6 | 800 | 550 |

水理物性^{注1)}

| 地層 | 透水係数(cm/s) | 比貯留係数(1/m) | 不飽和浸透特性 |
|------|--|----------------------|---------------|
| 中粒砂岩 | 1.0×10 ⁻² | 2.9×10 ⁻⁶ | 広域三次元新当流解析と同じ |
| 泥岩 | 1.1×10 ⁻⁶ | 4.5×10 ⁻⁷ | — |
| 互層 | (水平)5.0×10 ⁻³ (鉛直)1.1×10 ⁻⁶ | 5.8×10 ⁻⁷ | — |
| 細粒砂岩 | 5.0×10 ⁻⁴ | 2.9×10 ⁻⁶ | — |
| 粗粒砂岩 | 4.0×10 ⁻⁴ | 2.9×10 ⁻⁶ | — |

注1)

透水係数は透水試験結果をもとに設定した
比貯留係数は広域三次元浸透流解析と同じ設定値とし、細粒砂岩、粗粒砂岩での値は中粒砂岩と同じとした。

注2)

熱伝導率は、第2泥質部より上は土質試験結果から得られた値の75%に設定、他は土質試験結果から得られた値を設定。
熱容量は、土質試験結果から得られた値から設定
互層の熱伝導率や熱容量は互層砂岩部と泥岩の試験結果を平均して算出した。
体積含水率は、土質試験結果から得られた間隙率から中粒砂岩50%、泥岩60%、互層55%とした。