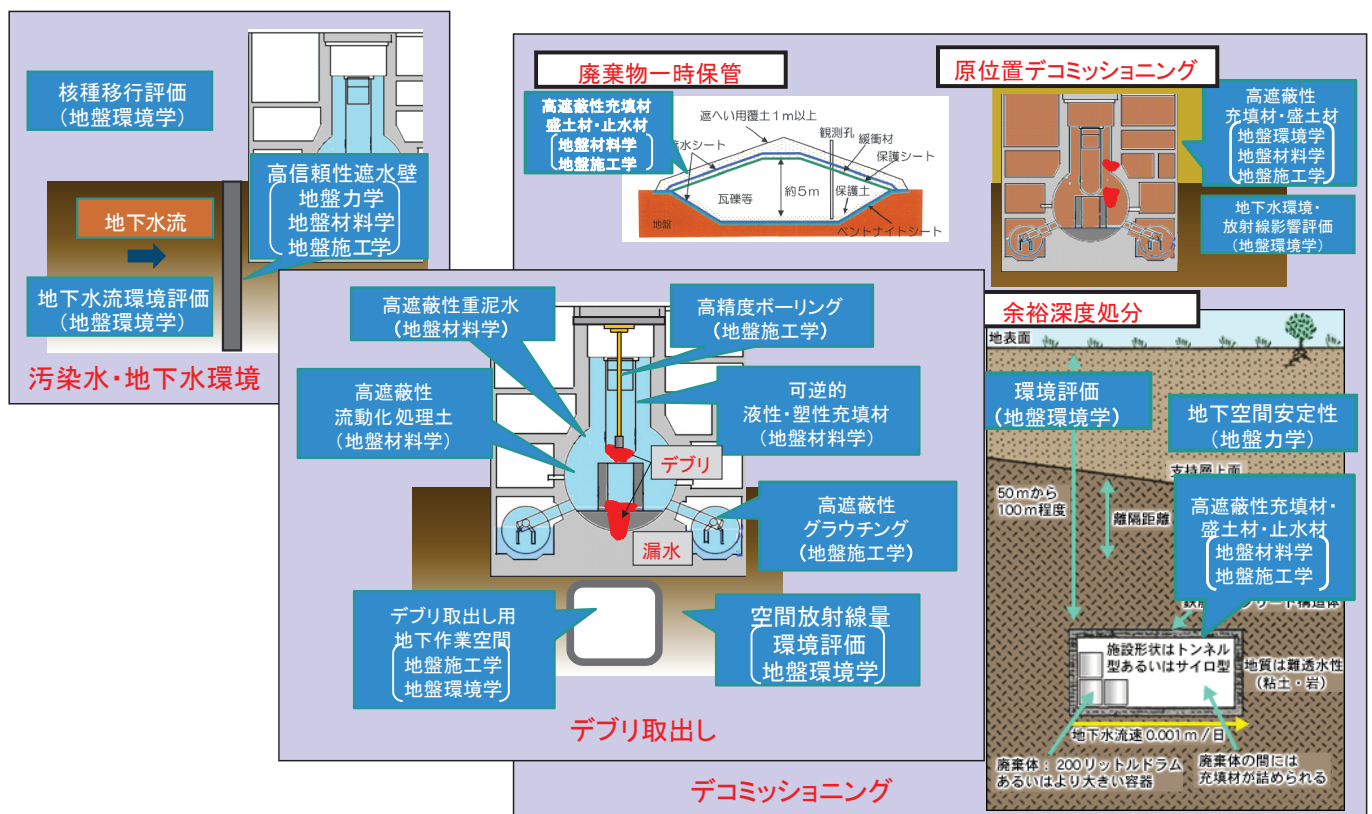


5 JSTプロジェクト・ 千葉工業大学担当分の検討概要の紹介

地下水の現況測定・将来予測

鈴木 誠
千葉工業大学

廃炉地盤工学としての事象



平成28年度実施内容

① 室内土層実験による実流速の測定精度の検証

浸透模型水槽(土層実験水槽)を用い、地下水の流向流速計の計測精度を検証するとともに、色素トレーサー試験を実施し、実流速の推定方法を検討した。

② 実験井戸による現場試験

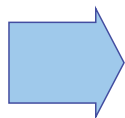
ボーリング孔2本を現場に設置し、流向・流速計で測定するとともに、単孔透水試験、孔間透水試験、土質試料の粒度分析も実施した。これら複数の試験から地盤の水理定数の整合性を、単孔式透水試験をシミュレーションすることにより検討した。

③ 浸透流解析・物質移行解析のための環境整備の構築

広域の概略地下水流動解析を実施するため、北は諸戸川、南は熊川、西は双葉断層で区切られた範囲の地盤モデルの作成し、領域分割法を用いた定常解析の速度向上を検討した。

① 室内土層実験による実流速の測定精度の検証

- ダルシー流速 v : 全断面が流通可能と仮定した時の流速



$$v = Q / A$$

A : 土と間隙の両方を合わせた面積

- 実流速 v' : 有効間隙のみが流通可能の時の流速



$$v' / v = n_e$$

n_e : 有効間隙率



～ 評価方法 ～

ダルシー流速の測定精度の検証

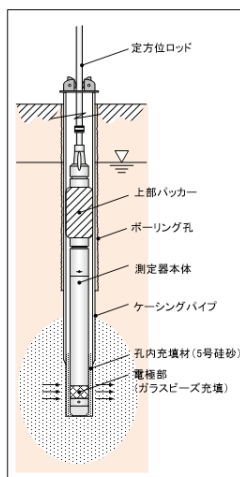
流量から導く方法と流速流向計を用いる方法の**2通りの方法から求めたダルシー流速を比較し**、流速流向計の測定精度を検証

実流速の推定

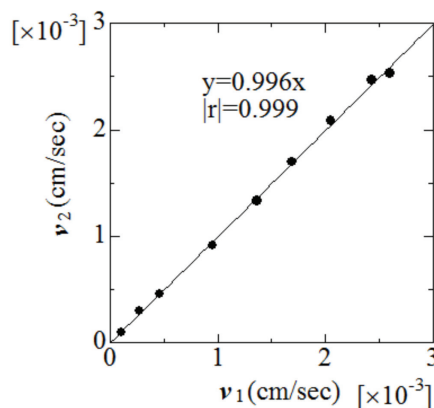
実験的アプローチと解析的アプローチから実流速の推定のための**間隙率と有効間隙率の関係**を検証

～ 測定精度の結果 ～

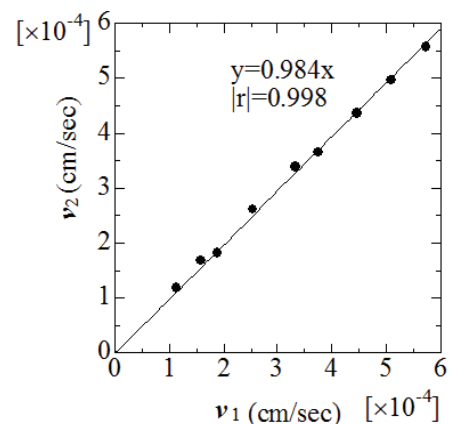
流速流向計



珪砂5号 (40%)



ガラスビーズ (38%)



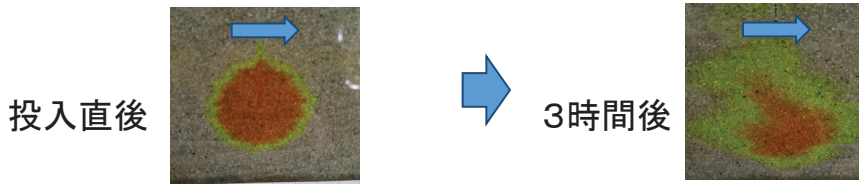
※ ()内は試料の間隙率

まとめ

ダルシー流速が **1.0×10^{-4} cm/s**以上なら高い精度で測定可能
流速が遅い場合は**温度による影響**を強く受ける

～実験的アプローチ～

実験水槽を用いたトレーサー試験を実施



珪砂5号

水位差(cm)	ダルシー流速(cm/s)	実流速(cm/s)	有効間隙率(%)
5.01	3.06×10^{-3}	6.63×10^{-3}	46.15
4.13	2.47×10^{-3}	5.74×10^{-3}	43.1
3.44	2.07×10^{-3}	5.07×10^{-3}	40.83
2.93	1.72×10^{-3}	3.56×10^{-3}	48.29
2.37	1.37×10^{-3}	2.80×10^{-3}	48.78
1.54	8.65×10^{-4}	1.85×10^{-3}	46.84
0.91	4.71×10^{-4}	9.58×10^{-4}	49.14
平均			46.16

ガラスビーズ

水位差(cm)	ダルシー流速(cm/s)	実流速(cm/s)	有効間隙率(%)
5.58	3.53×10^{-4}	8.31×10^{-4}	42.48
5.06	3.51×10^{-4}	7.78×10^{-4}	45.15
4.46	3.08×10^{-4}	6.95×10^{-4}	44.32
3.73	2.60×10^{-4}	6.26×10^{-4}	41.47
3.47	2.34×10^{-4}	5.72×10^{-4}	40.93
2.93	1.91×10^{-4}	4.35×10^{-4}	43.84
2.08	1.36×10^{-4}	3.38×10^{-4}	40.22
1.74	1.00×10^{-4}	2.64×10^{-4}	38.03
平均			42.06

珪砂5号

ガラスビーズ

間隙率

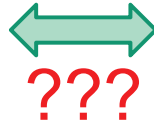
40%

38%

有効間隙率

46.16%

42.06%



透水係数

6.1×10^{-2} cm/sec

6.9×10^{-3} cm/sec

～解析的アプローチ～

珪砂5号(0.01)

投入直後

C.L

3時間後

C.L

ガラスビーズ(0.05)

投入直後

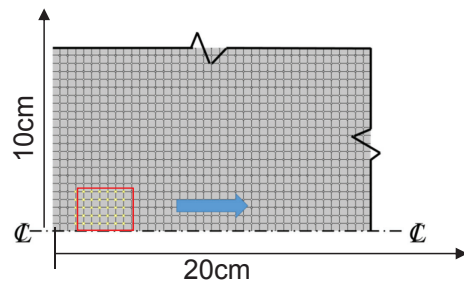
C.L

3時間後

C.L

※ ()内は解析時の動水勾配

軸対象による移流分散解析



珪砂5号とガラスビーズは3時間でそれぞれ約**15cm**と**10cm**移動した。

解析結果は、解析で使用した透水係数と有効間隙率の値から求めたトレーサー剤の移動距離と**同程度**となった。

解析結果と実験結果では、**分散の影響が異なり**解析結果では**縦分散の影響が強く出た**。

～ 室内実験のまとめ ～

実験的アプローチ

トレーサー試験において、**間隙率よりも有効間隙率の方が大きく評価された。**

➡ トレーサー剤を観察した面がガラス面であったため、**土粒子部分とガラス面で間隙率が異なり**、正確な実流速が測定できなかった。

解析的アプローチ

移流分散解析は、比較的精度良く解析ができたと判断できる。

しかし、実験結果と解析結果では**分散の影響に違いが生じた。**

➡ 本解析では、トレーサー剤の移動距離を確認することが目的。そのため、**分散値を無視**していたことが要因である。

➡ また、解析結果で縦分散の影響が強く確認された要因には**離散化**による影響があると考えられる。

今後の課題

実流速の測定を、**測定環境が一樣**となる方法で再度測定する必要がある。

② 実験井戸による現場試験

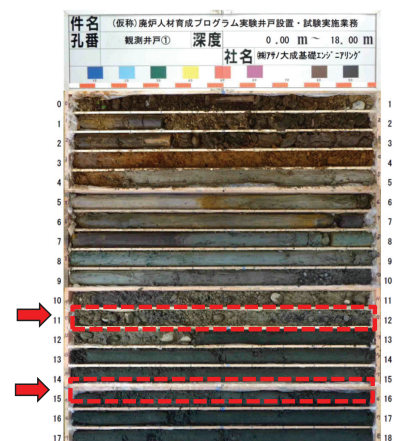
室内透水試験
原位置透水試験 ➡ 地下水環境を予測

しかし

地盤特性の不均質性や水理境界条件の設定によって、試験から確かな透水係数を得ることは困難な場合あり

原位置試験を対象とした浸透流解析から透水係数を導き、原位置試験の値と比較し、妥当性を評価

ボーリングコア

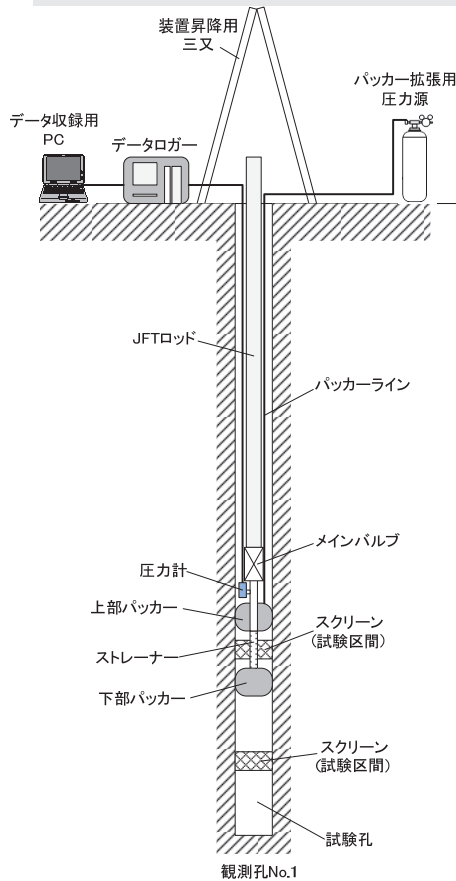


単孔式透水試験

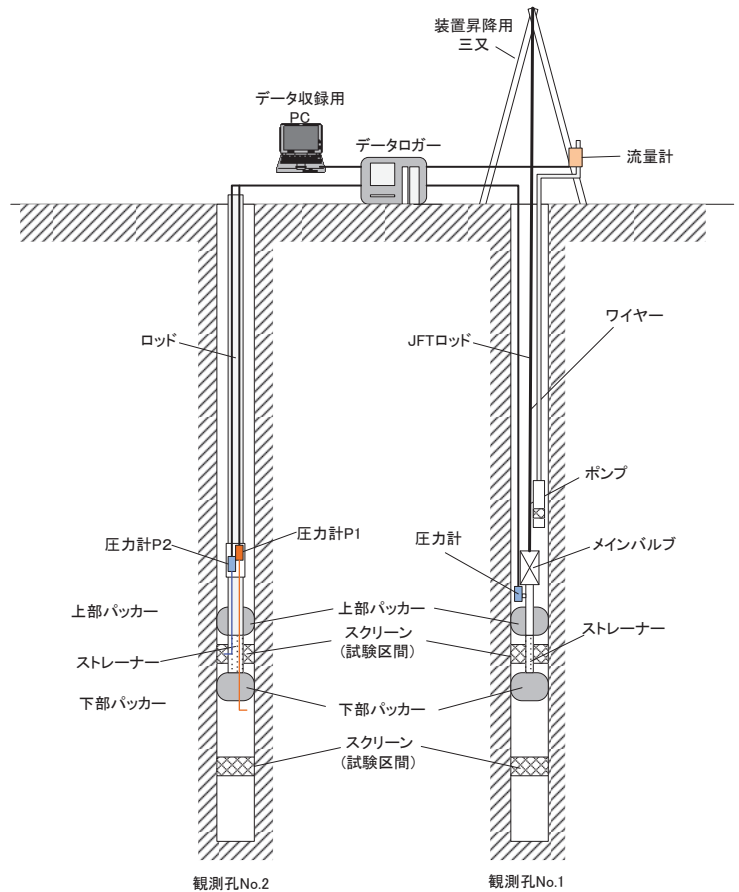


～原位置試験～

単孔式透水試験(スラグ試験)

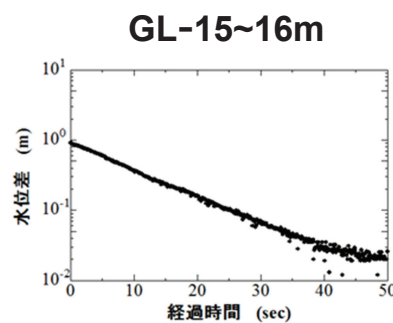
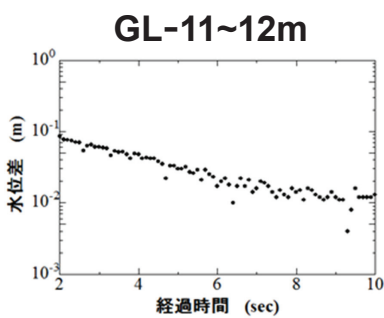


孔間透水試験



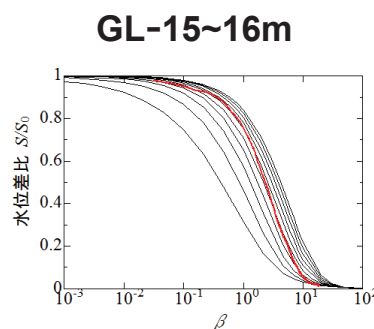
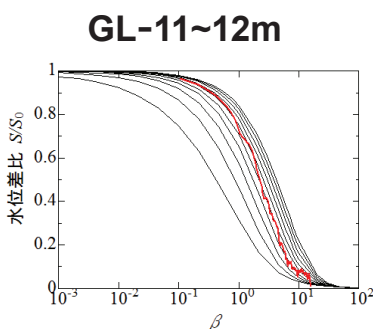
～試験結果(スラグ試験)～

Hvorslev法



GL-11~12m
 1.64×10^{-4} m/sec
GL-15~16m
 4.58×10^{-5} m/sec

Cooper法



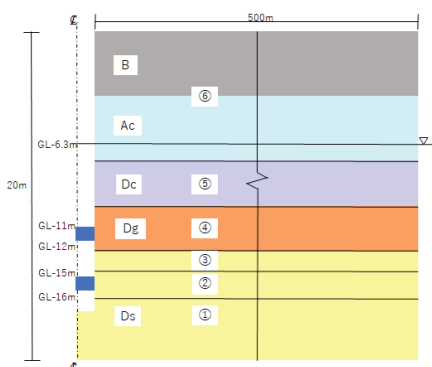
GL-11~12m
 3.20×10^{-4} m/sec
 2.22×10^{-7} 1/m
GL-15~16m
 9.71×10^{-5} m/sec
 2.22×10^{-7} 1/m

～ 試験結果(孔間透水試験) ～

試験深度(m)	試験孔	試験区間	揚水過程		回復過程	
			透水係数(m/sec)	比貯留係数(1/m)	透水係数(m/sec)	比貯留係数(1/m)
GL-11~12	観測孔No.1_Int2	揚水	2×10^{-3}	2.08×10^{-7}	2.96×10^{-3}	1.11×10^{-11}
	観測孔No.2_Int2	観測	3.8×10^{-3}	8.14×10^{-7}	3.84×10^{-3}	1.88×10^{-4}
GL-15~16	観測孔No.1_Int1	揚水	2.54×10^{-4}	6.29×10^{-4}	2.78×10^{-4}	1.75×10^{-11}
	観測孔No.2_Int1	観測	1.52×10^{-3}	8.04×10^{-5}	1.63×10^{-3}	1.65×10^{-5}

透水係数の値はどちらの試験深度でも
揚水過程、回復過程から求めた値はほぼ同じ。
 しかし、**同じ試験区間内では値にばらつきあり。**
 比貯留係数の値には**ばらつきあり。**
 スラッグ試験の値より**上下層とも透水性が高い。**

～ 浸透流解析 ～



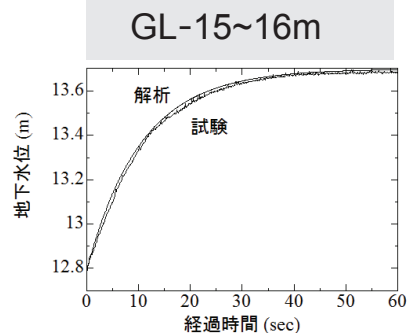
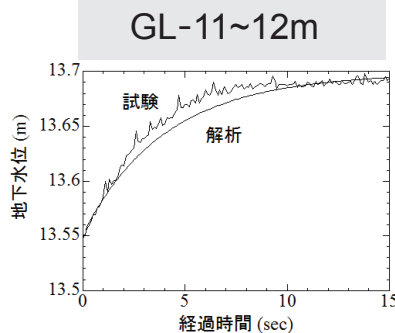
スラッグ試験を対象

水理定数は①～⑥のように区分値を変化させ、原位置試験の水位回復過程を再現するように設定

B: 埋土
 Ac: 沖積粘性土層 Dc: 洪積粘性土層
 Dg: 洪積礫質土層 Ds: 洪積砂質土層

水理定数

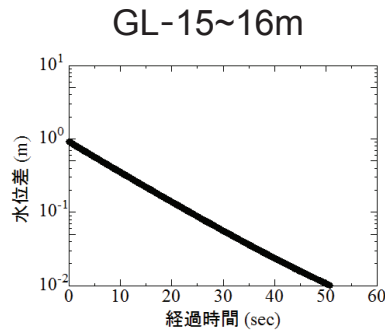
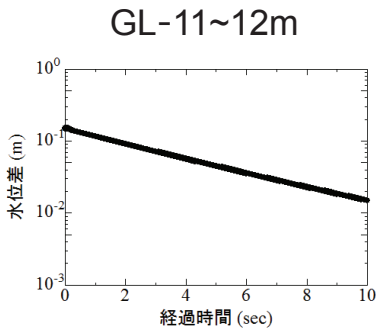
材料区分	透水係数(m/sec)	比貯留係数(1/m)
①	2×10^{-5}	1×10^{-5}
②	9×10^{-5}	2×10^{-7}
③	5×10^{-5}	3×10^{-6}
④	2.4×10^{-4}	2×10^{-7}
⑤	2.5×10^{-6}	5×10^{-4}
⑥	2.5×10^{-7}	1×10^{-3}



表の水理定数を用いた解析時の水位回復過程はGL-11~12mとGL-15~16mのどちらの場合でも試験結果とほぼ同様の水位変化曲線が得られている。(そのように設定した)

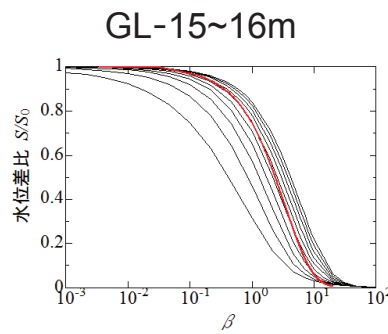
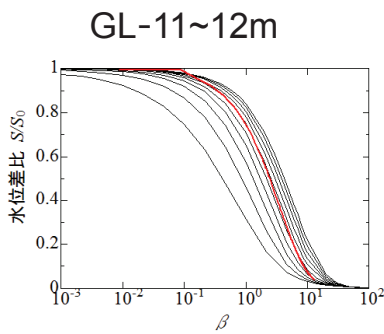
～ 解析結果 ～

Hvorslev法



GL-11~12m
 1.27×10^{-4} m/sec
 GL-15~16m
 4.84×10^{-5} m/sec

Cooper法



GL-11~12m
 2.67×10^{-4} m/sec
 2.22×10^{-7} 1/m
 GL-15~16m
 1.07×10^{-4} m/sec
 2.22×10^{-7} 1/m

～ 結果の比較 ～

試験値と解析値

Hvorslev法

	試験	解析
GL-11~12m	1.64×10^{-4} m/sec	1.27×10^{-4} m/sec
GL-15~16m	4.58×10^{-5} m/sec	4.84×10^{-5} m/sec

約1割程度の誤差はあるが
同程度の値

Cooper法

透水係数	試験	解析
GL-11~12m	3.20×10^{-4} m/sec	2.67×10^{-4} m/sec
GL-15~16m	9.71×10^{-5} m/sec	1.07×10^{-4} m/sec
比貯留係数	試験	解析
GL-11~12m	2.22×10^{-7} 1/m	2.22×10^{-7} 1/m
GL-15~16m	2.22×10^{-7} 1/m	2.22×10^{-7} 1/m

約1割程度の誤差はあるが
 透水係数と比貯留係数は
同程度の値

～ 結果の比較 ～

入力値と解析値

Hvorslev法

	入力	解析
GL-11~12m	$2.40 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$	$1.27 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$
GL-15~16m	$9.00 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	$4.84 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$

どちらの試験深度でも
数倍程度入力値と異なる。

Cooper法

透水係数	入力	解析
GL-11~12m	$2.40 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$	$2.67 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$
GL-15~16m	$9.00 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$	$1.07 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$
比貯留係数	入力	解析
GL-11~12m	$2.00 \times 10^{-7} \text{ 1/m}$	$2.22 \times 10^{-7} \text{ 1/m}$
GL-15~16m	$2.00 \times 10^{-7} \text{ 1/m}$	$2.22 \times 10^{-7} \text{ 1/m}$

約1割程度の誤差はあるが
透水係数と比貯留係数は
同程度の値

～ 現場試験のまとめ ～

- 対象とした地盤の透水係数の値

近傍 : 入力値と解析値と整合性の良い

Cooper法から求めた透水係数が妥当である。

近傍～遠方: スラグ試験においてCooper-Jacob法から求めた
透水係数, 比貯留係数に近い値が妥当である。

		透水係数(m/sec)	比貯留係数(1/m)	
GL-11~12m	近傍	3.20×10^{-4}	2.22×10^{-7}	← スラグ試験
	近傍～遠方	2.00×10^{-3}	2.08×10^{-7}	← 孔間透水試験(揚水井)
GL-15~16m	近傍	9.71×10^{-4}	2.22×10^{-7}	← スラグ試験
	近傍～遠方	1.52×10^{-3}	8.04×10^{-5}	← 孔間透水試験(観測井)

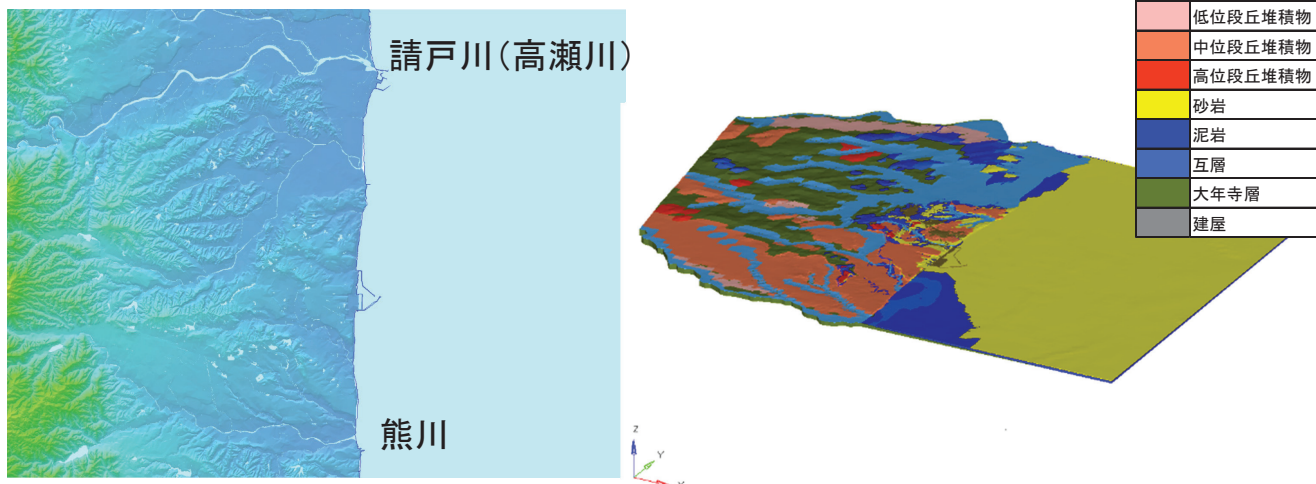
- Hvorslev法とCooper法を適用した透水係数の値で2～5倍程度の違いが生じた。

- 地盤の貯留性や透水性の異なる層状の水理構造の影響
- 対象とした地盤の透水性が高くスラグ試験での水位差が小さい
- 試験時間が短時間であった

そのため, 要求精度によって評価手法を選定する必要がある。

③ 浸透流・物質移行解析のための環境整備の構築

広域地下水流動のシミュレーション



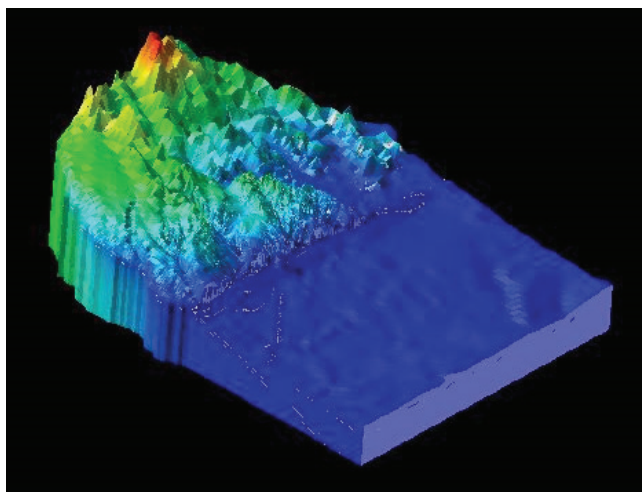
今年度は、このモデルで定常解析を行い、領域分割手法のライブラリーを導入した場合の計算速度の効率化を検証する。



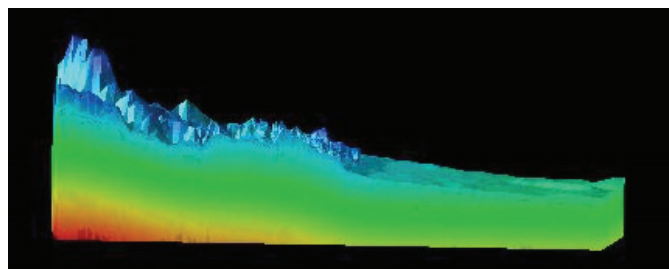
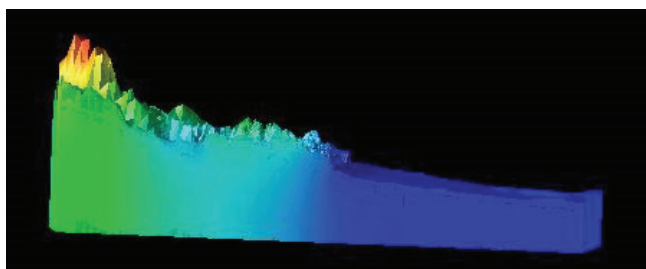
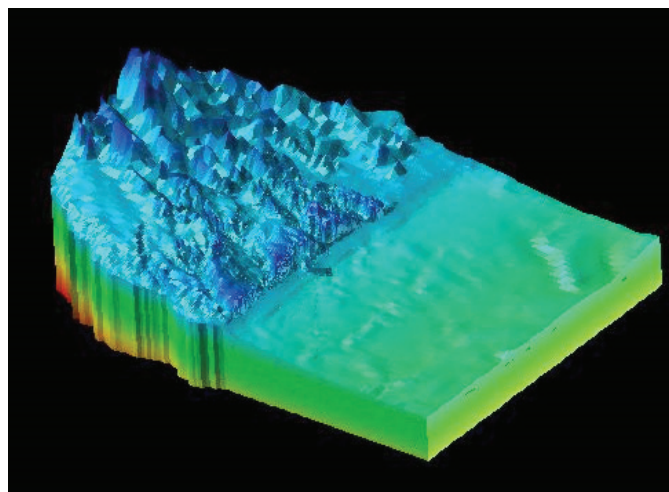
このモデルで、非定常解析の効率化を確認する。

～解析結果～

全水頭



圧力水頭



* 鉛直方向20倍

～速度向上のまとめ～

領域分割手法のDtransuへの適用

(節点数:3,097,006 要素数:6,247,805)

HPC-MW(地球シミュレータのライブラリー)では,

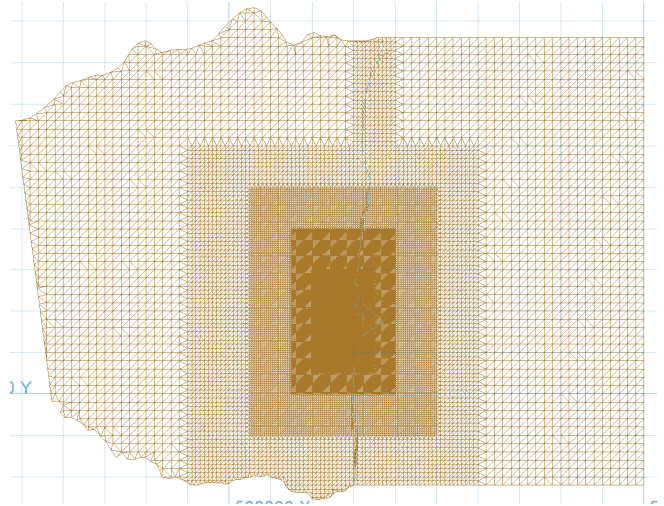
1CPU : 1.0 倍 (12,089sec)

4CPU : 2.6 倍 (4,610sec)

8CPU : 3.2 倍 (3,752sec)

OpenMP版では,

8CPU : 2.6 倍 (4,707sec)



➡ 浸透流解析では一定の速度向上効果が見られた。

まとめ

- ① 室内土層実験による流向流速計の測定精度の検証と実流速の測定を試みた。実流速の測定は、満足する結果が得られなかったため、来年度、別の方法で実施する。
- ② 現場実験井戸を2孔設置し、現場透水試験を実施した。試験結果と数値解析から水理特性の検討を行った。整合性のとれた透水係数と比貯留係数が設定できた。来年度はトレーサーによる実流速の測定を実施する。
- ③ 広域3次元数値解析モデルの作成し、領域分割法による計算速度向上を定常解析で実施した。速度向上は見られたが、非定常解析を行うには領域が広すぎるため、来年度はサイト周辺の非定常解析を実施するためのネスティングを検討する。

FIN