

再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術
開発/高度化・低コスト化のための共通基盤技術開発
/オープンループ方式地中熱利用における
最適設計方法の研究開発

大谷 具幸

(国)東海国立大学機構岐阜大学

再委託: (株)日建設計総合研究所、

(一財)地域地盤環境研究所、(株)テイコク

2023年2月2日

問い合わせ先
(国)東海国立大学機構岐阜大学
大谷具幸
E-mail: tmohtani@gifu-u.ac.jp
TEL: 058-293-3080

事業概要

1. 期間 開始:2020年6月, 終了(予定):2024年3月

2. 最終目標
- オープンループ方式地中熱利用システムの年間エネルギー消費量を実測値に対して誤差25%以内で予測できるようにする。
 - 地下水揚水可能量・地下水還元可能量を設計時点で精度よく求める簡易推定手法を開発する。

3. 成果・進捗概要

① システムシミュレーションツールの研究開発

LCEM上で稼動するモジュールを開発した。3サイトで精度検証を行い、開発目標を達成できることを確認した。

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

大阪平野の地盤データベース及び全国地下水(深井戸)資料台帳のデータより、広域的な透水係数を推定し、その推定値の多くが現場透水試験の実測値の有するばらつきである ± 1 桁の範囲内に収まっていること、現場揚水試験の実測値と比べると0.2 ~ 3.8倍であることを確認した。またフィールドAで、透水係数推定に影響を与えないように配慮したうえで既存の調査手法により推定したところ、その推定値の多くは現場揚水試験の実測値の0.5~2倍であることを確認した。

③ 地下水還元可能量予測手法の研究開発

オープンループシステムのモニタリングデータを全国各地の6地点から収集し、密閉型井戸を使用するシステムを含めて目詰まりの状況を整理した。また、室内透水実験により還元井近傍の目詰まりを再現し、還元井のごく近傍で顕著な透水係数の低下を生じることを確認した。

1. 研究開発の内容・実施体制

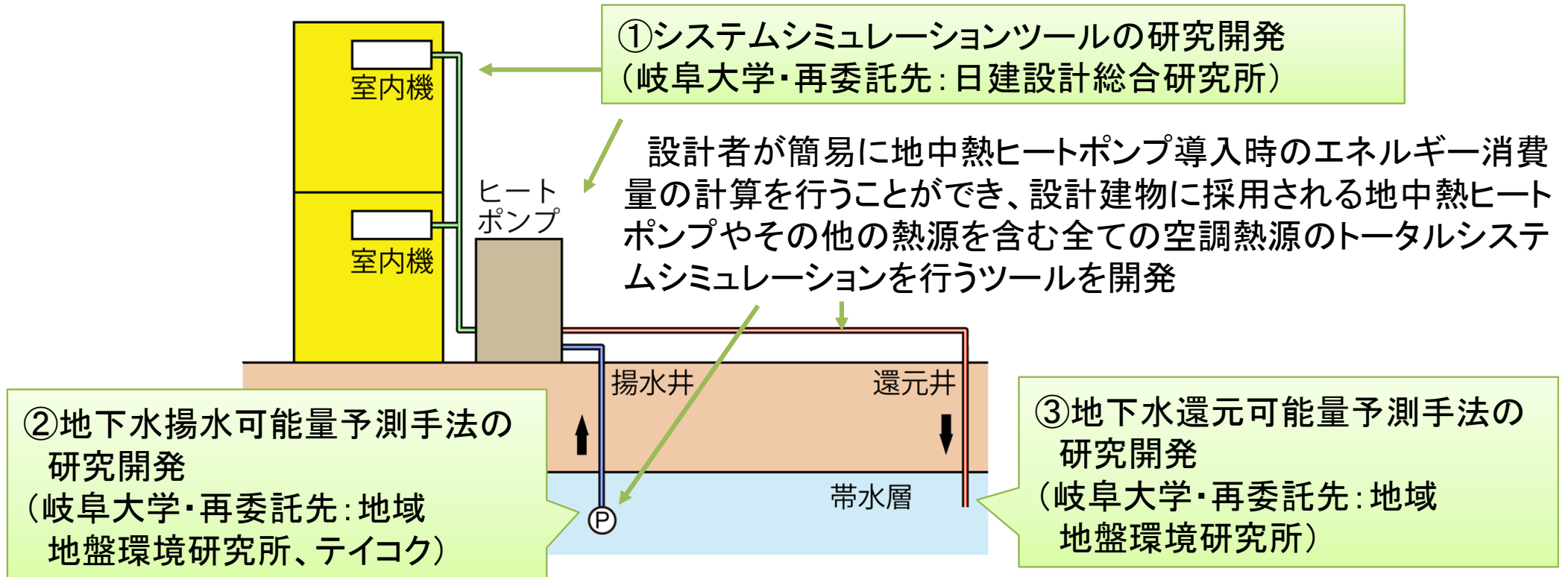
1. 1 研究開発の背景

先行プロジェクトであるNEDO再生可能エネルギー熱利用技術開発(2014-2018)において、ポテンシャルマップや設計ツールの開発が行われた。しかしながら、オープンループ方式の地中熱利用システムに関して以下の点が未解決課題として残されている。

- オープンループ方式の地中熱利用システムを対象としたシステムシミュレーションツールが存在しない。
- 地下水の揚水可能量・還元可能量を設計段階で予測する手法が存在しない。

1. 研究開発の内容・実施体制

1.2 内容の概略と実施体制



広域的な透水係数推定手法の研究開発、地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発により設計段階で地下水揚水可能量を予測する手法を開発

既存システムの還元井における還元能力の推移とそれに影響を与える地質・地下水条件の把握、帯水層を模した室内透水実験による透水性の変化の把握により、設計段階で地下水還元可能量を予測する手法を開発

2. 技術開発の進捗・予定

→ 当初計画
 → 実施済
 → 実施中

事業全体の進捗

研究開発項目	担当	2020				2021				2022				2023			
		1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
①システムシミュレーションツールの研究開発	東海国立大学機構、再委託：日建設計総合研究所					ツール開発				UI作成・精度検証							
②地下水揚水可能量予測手法の研究開発 1)広域的な透水係数推定手法の研究開発 2)地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発	東海国立大学機構、再委託：地域地盤環境研究所、テイコク					大阪平野で開発				濃尾平野で検証							
						フィールドAで開発				フィールドB, Cで検証							
③地下水還元可能量予測手法の研究開発	東海国立大学機構、再委託：地域地盤環境研究所					大阪平野で開発				濃尾平野で検証							
						室内浸透実験											

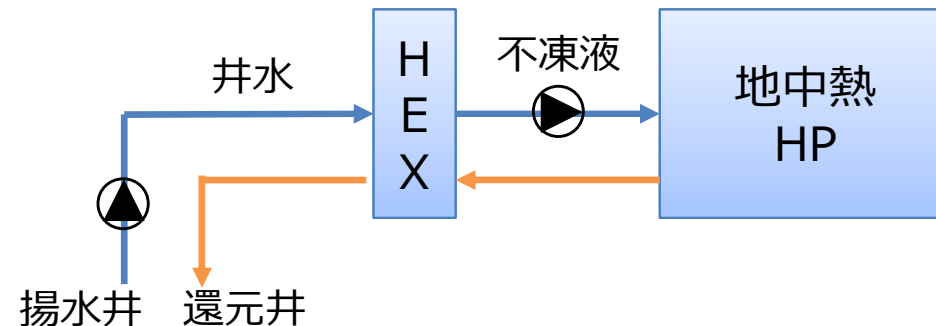
① システムシミュレーションツールの研究開発

検証サイトの概要



揚水ポンプの仕様

	名古屋	四日市	岐阜
電源	25A	25A	50A
吐出量	150~350	100~210	150~350
消費電力	2.2kW	1.5kW	2.2kW
全揚程	13~37	20~44.7	13~37



利用形態と空調対象面積

	名古屋	四日市	岐阜
利用形態	工場	事務室	公民館の会議室および研修室等
空調対象面積 (m ²)	420	132	725

ヒートポンプの主な仕様

		四日市	名古屋	岐阜
相当馬力		10馬力		18馬力
名称		水冷式ビル用マルチ空調システム		空水冷式ビル用マルチ空調システム
能力 (kW)	水冷冷房	28.0		50.4
	水冷暖房	31.5		56.5
	空冷冷房	—		50.4
	空冷暖房	—		56.5
	空冷暖房低温	—		44.3
標準水量(L/min)		100		190

① システムシミュレーションツールの研究開発

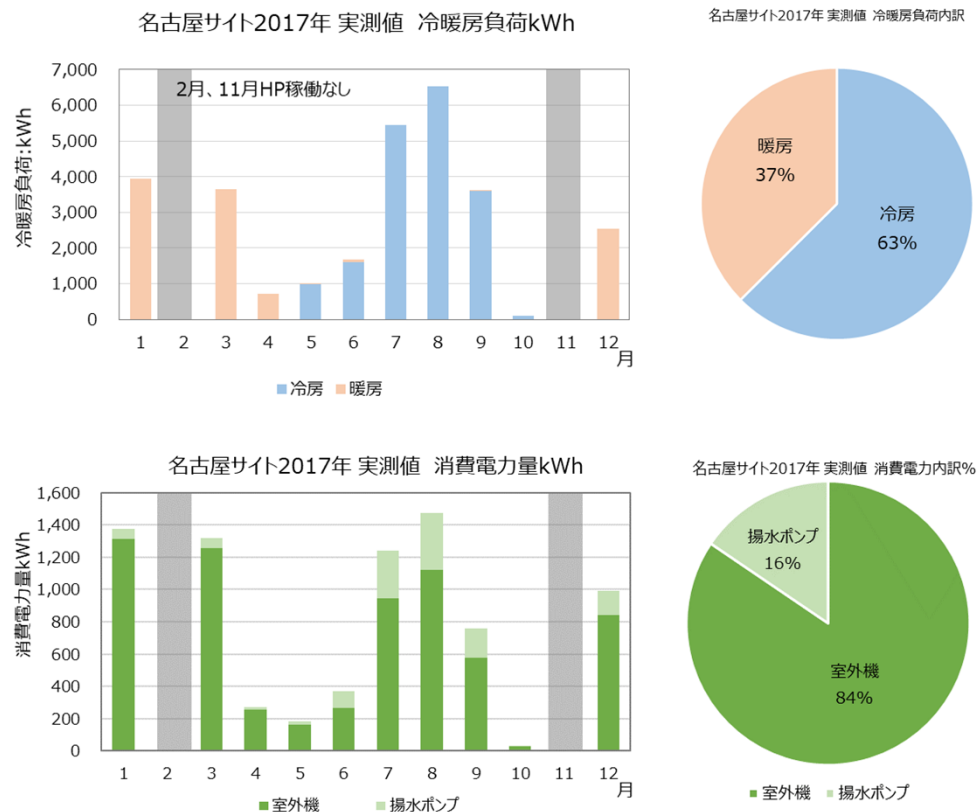
開発モジュールの入出力データ

開発モジュールとの比較に必要な境界条件

実測データ項目	入力用データ	比較用データ
井水入口温度℃	●	
井水出口温度℃	●	
熱源水入口温度℃	●	
熱源水出口温度℃	●	
井水ポンプ発停情報	●	
井水流量L/min	●	
地中熱HP発停情報	●	
井水ポンプ消費電力量kWh		●
地中熱HP消費電力量kWh		●
熱源水ポンプ消費電力量kWh		●
空調処理能力(冷暖房負荷)	●	
地中熱採熱量		●

◆実測値の分析結果グラフ

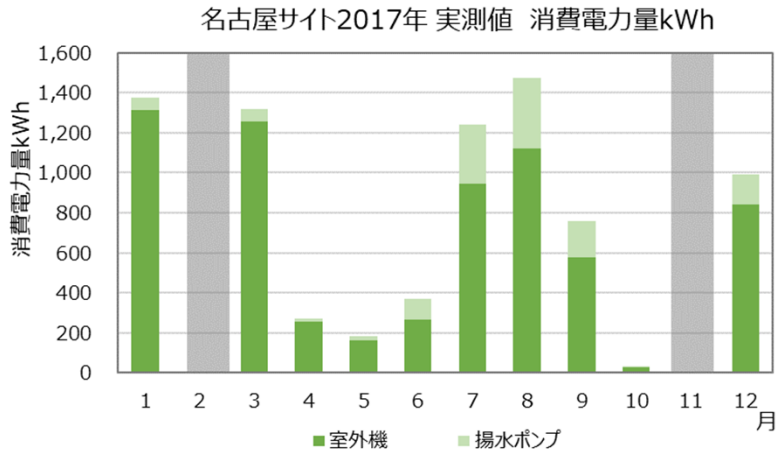
- 2月、11月の実測データなし



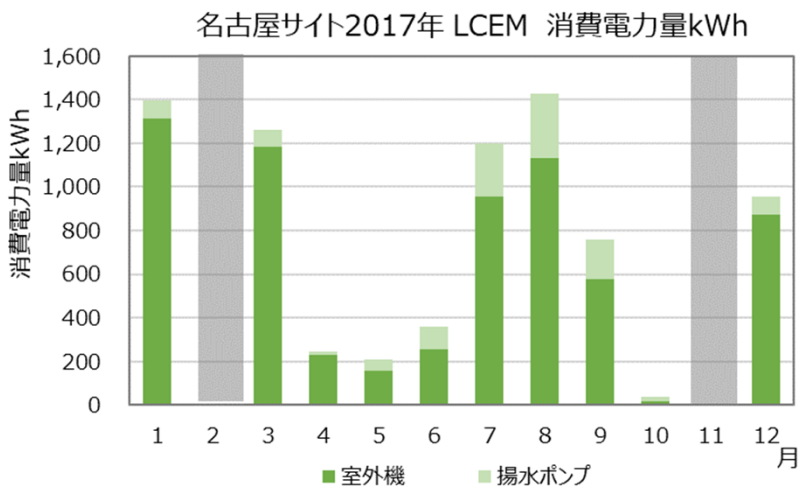
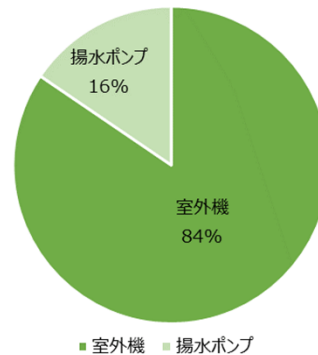
① システムシミュレーションツールの研究開発

開発中のLCEMモジュールの検証

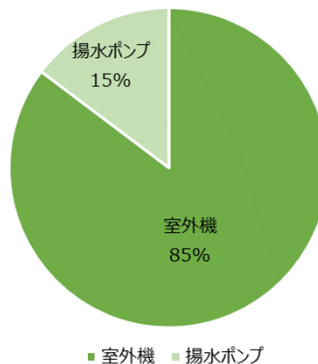
実測値と開発中のLCEMモジュールによる推定値との年間消費電力量比較(誤差)



名古屋サイト2017年 実測値 消費電力内訳%



名古屋サイト2017年 実測値 消費電力内訳%



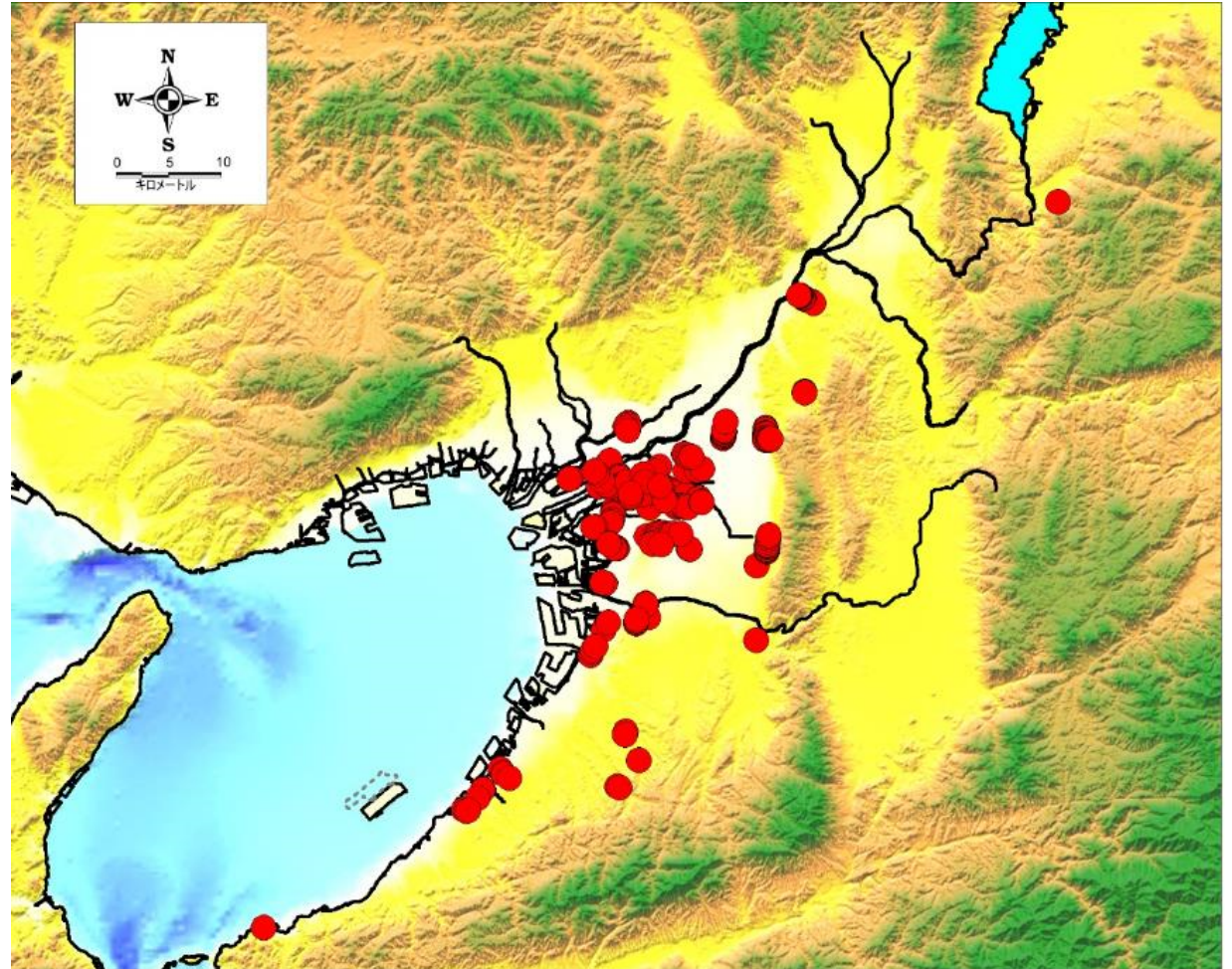
	名古屋	四日市	岐阜
ヒートポンプ	1.2%	1.0%	6.1%
揚水ポンプ	7.0%	11%	1.0%

誤差25%以内の
目標を達成

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 地盤データベースに基づく検討

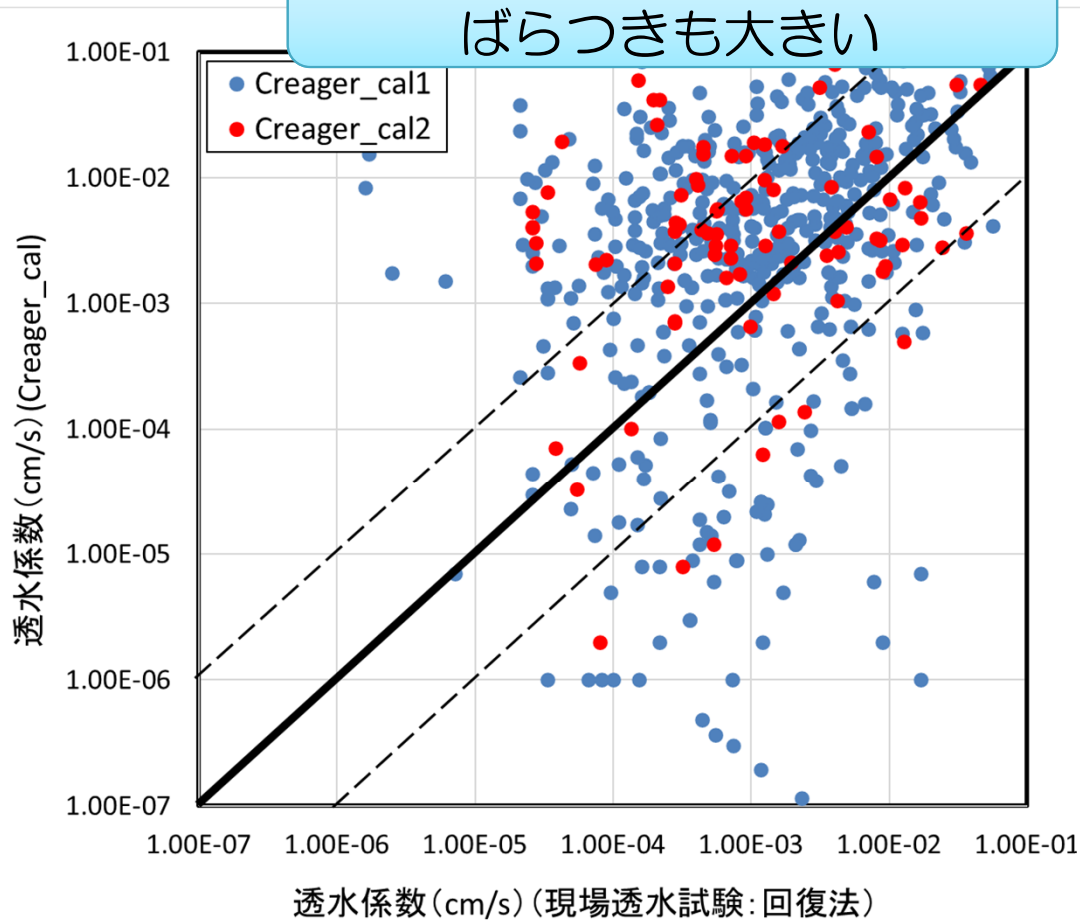
- 関西圏地盤情報データベース：
約7万本
- 現場透水試験が実施されている
ボーリング：約310本
- 現場透水試験が実施されている
区間（ストレーナ区間）で粒度
試験が行われているボーリング
：約210本（右図●）



② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 地盤データベースに基づく検討 (大阪平野)

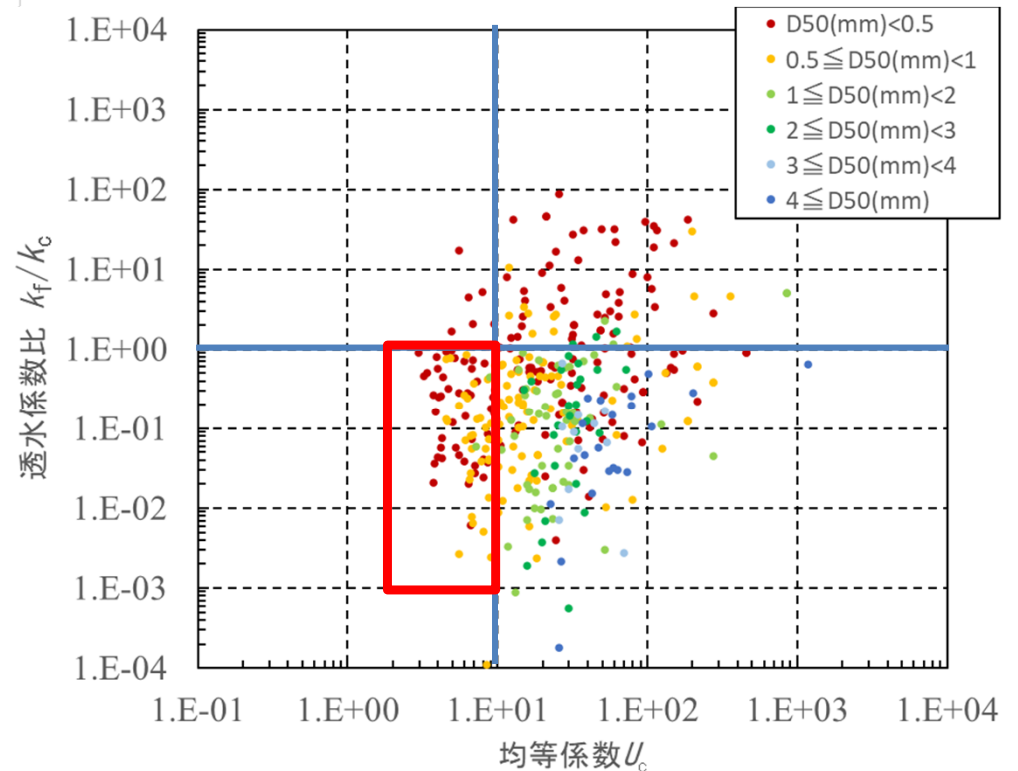
多くは±1桁で収まるものの、ばらつきも大きい



Creager_cal1:現場透水試験と対比する粒度試験データが元報告書に明記

Creager_cal2:現場透水試験と対比する粒度試験データが不明, 透水試験実施深度±1.1m区間で実施された粒度試験結果からの計算値

$U_c < 10$ では、大半が $k_f/k_c < 1$ であり、泥水等による k_f の過小評価の影響が現れている

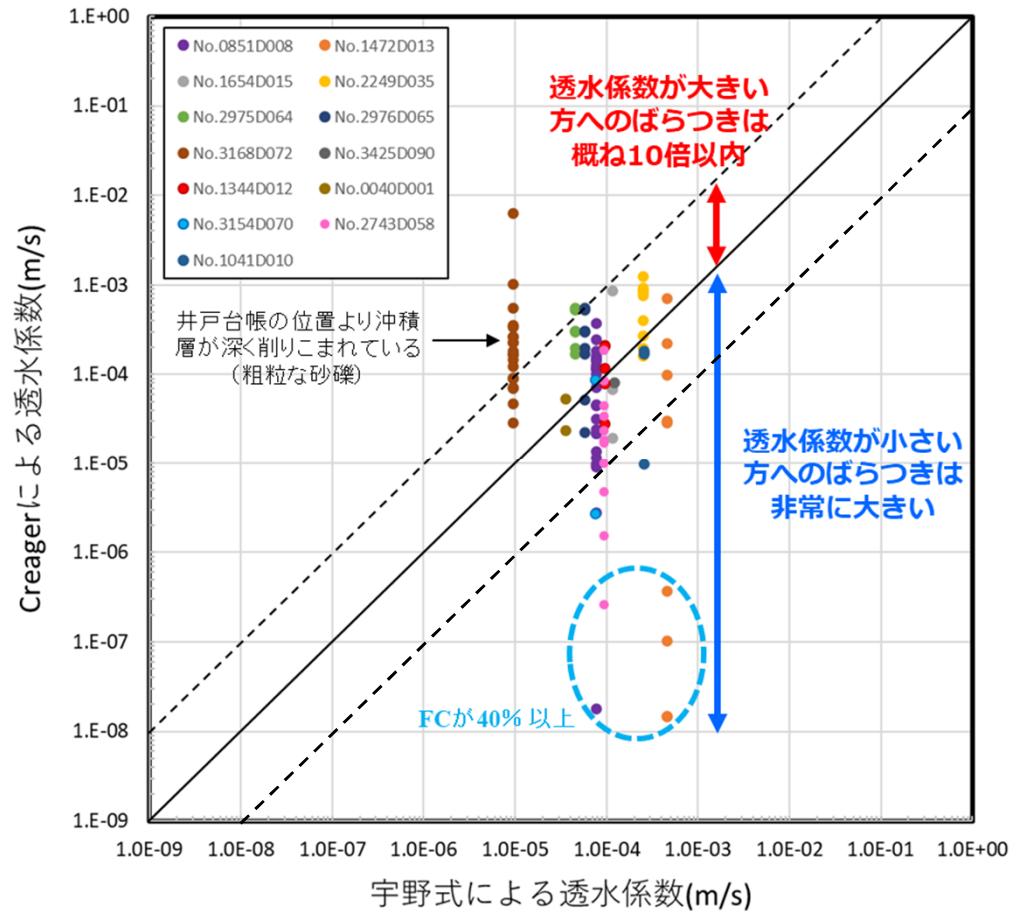


Creagerによる室内実験では、 U_c の小さな試料を用いており、小さな U_c で精度が高くなると期待される

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

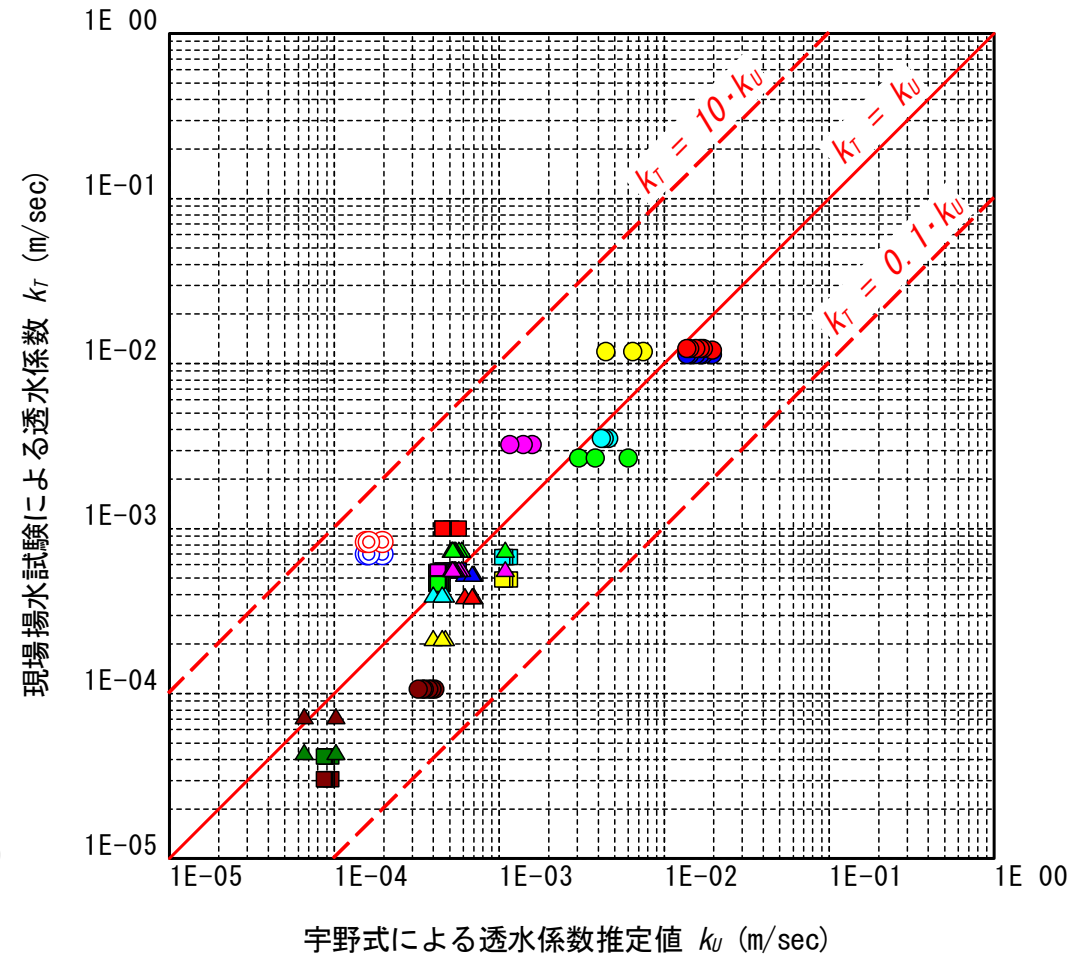
1) 広域的な透水係数推定手法の研究開発 全国地下水資料台帳に基づく検討

Creager式と検討中の宇野式の比較(大阪平野)



特異なデータを除けば
±1桁の範囲内

現場揚水試験と検討中の宇野式の比較(濃尾平野)



宇野式による推定値は
0.2 ~ 3.8倍の範囲内

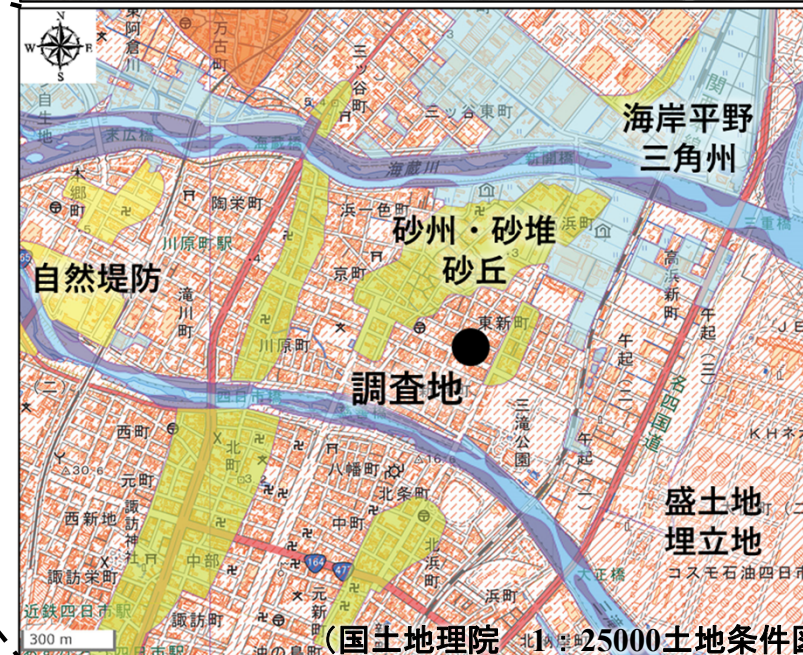
② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

フィールドAの対象地点



東邦地水株式会社 本社敷地内（三重県四日市市）



(基図は地図センター電子国土サイト・電子国土利用)

(国土地理院 北1:25000土地条件図)

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

各孔井の仕様と試験内容

揚水井A, 観測井A : 下部砂層

揚水井B, 観測井B : 上部砂層

確認井 : 上部・下部砂層

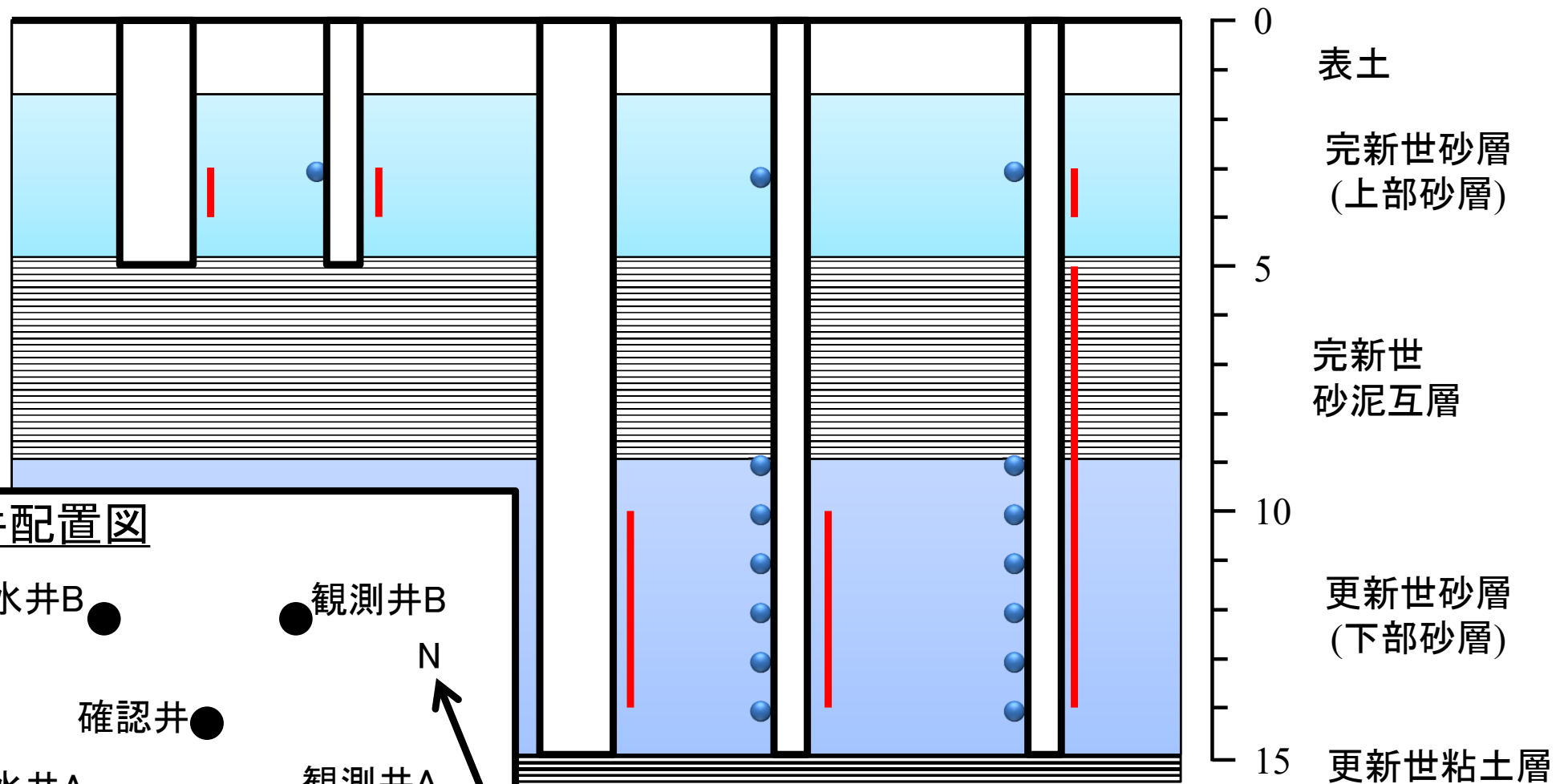
孔井名	掘削方法	掘削径 (mm)	井戸径 (mm)	試料 採取	試験内容	
揚水井 A・B	ロータリー バイブレーション (清水掘り)	283	150	-	フローメータ 試験	揚水試験 (揚水井A-観測井A, 揚水井B-観測井B)
観測井 A・B	ロータリー バイブレーション (無水掘り)	116	65	○	標準貫入試験 現場透水試験 粒度試験 室内透水試験	
確認井	ロータリー (泥水掘り)	116	65	○	標準貫入試験 現場透水試験 粒度試験 室内透水試験 フローメータ試験 密度検層	

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

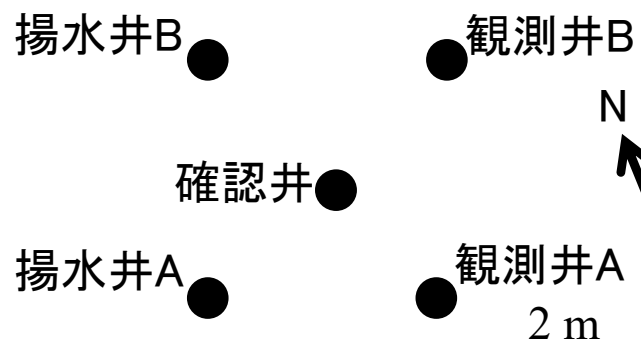
2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

孔井断面図

揚水井A 観測井A 揚水井B 観測井B 確認井 GL-m



孔井配置図



● 現場透水試験実施地点 | スクリーン

② 地下水揚水可能量予測手法の研究開発

2) 地盤調査ボーリング孔を利用した透水係数推定手法の研究開発

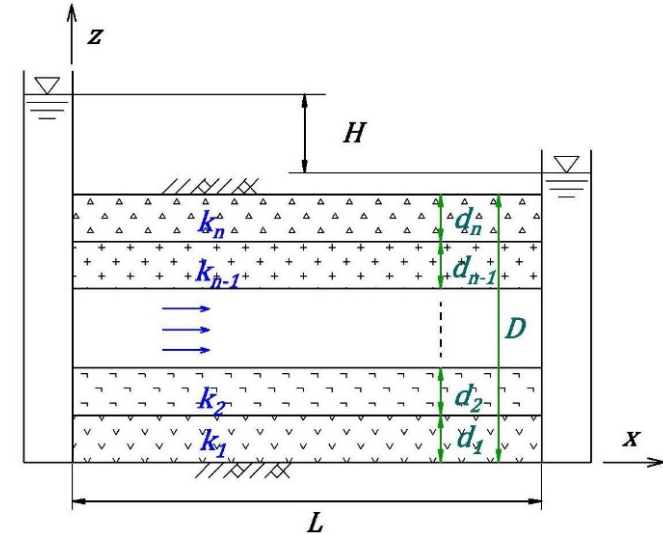
等価透水係数による比較

$$k_{eq} = \sum_{m=1}^n \frac{k_m d_m}{D} \quad (\text{田中, 2016})$$

k : 透水係数

k_{eq1} : 地層分布を考慮した等価透水係数

k_{eq2} : 地層分布を考慮しない等価透水係数



揚水試験

現場透水試験_ピエゾメーター法(定常法)

現場透水試験_チューブ法(定常法)

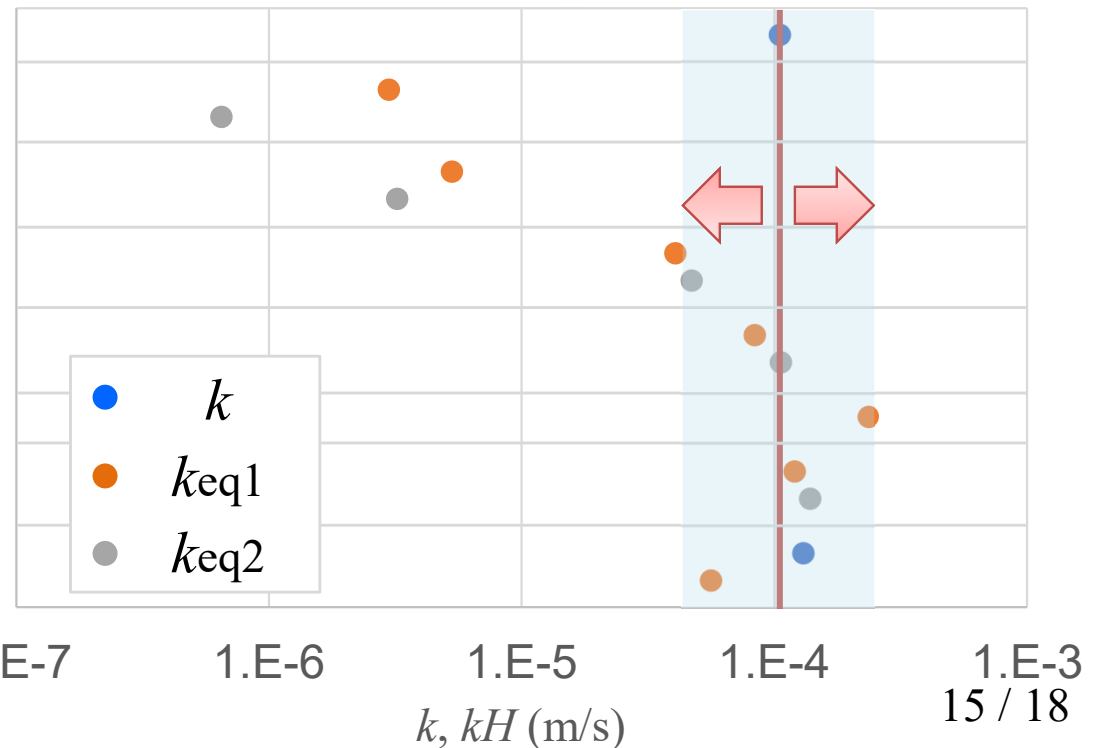
現場透水試験_ピエゾメーター法(非定常法)

現場透水試験_チューブ法(非定常法)

粒度組成(Creager)

室内透水試験

フローメータ試験



多くの結果は、揚水試験結果
に対して約0.5~2倍の範囲内

③ 地下水還元可能量予測手法の研究開発

既設システムにおける目詰まりの状況

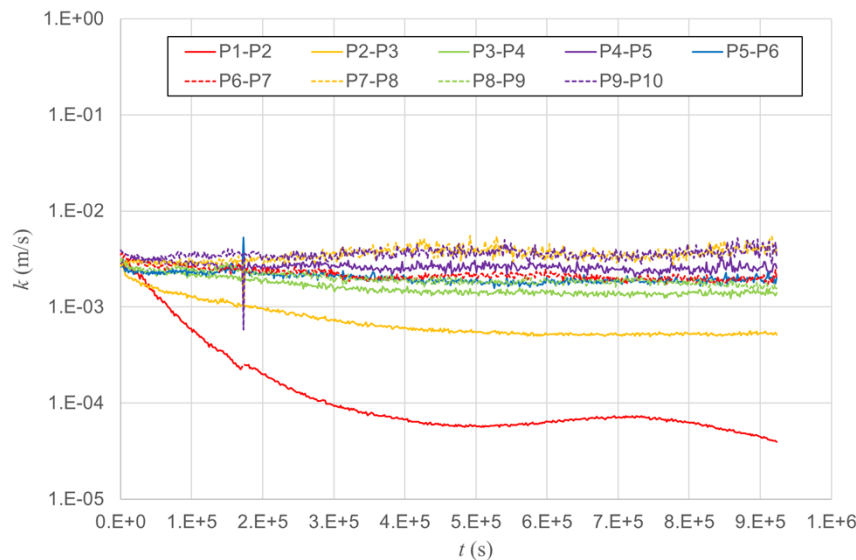
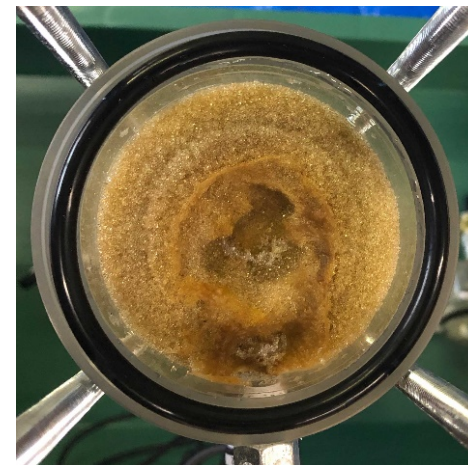
		帯水層	透水係数 k (m/s)	Fe (mg/L)	SS (mg/L)	目詰まりの状況	井水流量と 水位上昇量
1	岐阜サイト	砂礫層	2.61-2.84 $\times 10^{-3}$	< 0.03	< 1	還元井内の配管が 茶褐色に変色	運転に伴っ て傾きが微 増
2	名古屋サイト	砂礫層	7.13 $\times 10^{-3}$	29.20	9.5	井水配管を地下水 面下まで延長すれ ば目詰まりは発生 しない	一定
3	名古屋サイト	砂礫層		29.20	9.5		ある時点で 急増
4	四日市サイト	砂層	3.27-5.31 $\times 10^{-4}$	0.05	< 1	逆洗運転を行わな ければ目詰まりを 生じる	72時間超の 連続運転で 微増
5	日本地下水開 発（山形）	砂礫層				なし	微増
6	三菱重工サー マルシステム ズ（神戸）	砂礫層				なし	一定

③ 地下水還元可能量予測手法の研究開発

帯水層の粒径が小さいほど、目詰まりを生じやすい

室内透水実験結果(充填物質:ガラスビーズ)

	粒径 (mm)	投入する地下水	最上部の透水係数の変化	実験期間
実験 1	0.5-0.71	脱気後に投入し、循環	10^{-3} から 10^{-5} に減少	22/9/17-22/9/28 (11日間)
実験 2	1.5-2.5	脱気後に投入し、循環	10^{-3} オーダーでわずかに減少	22/9/29-22/10/7 (8日間)



3. 社会実装に向けて

- 開発中のLCEMモジュール(オープンループ)は来年度中に公開の予定
- 井水槽やフリークーリングユニットを持つ場合におけるオープンループ地中熱構築シートを準備予定
- 地盤データベースが整備されている地域で利用可能な地下水揚水可能量の推定方法を公表予定
- 帯水層における堆積物の粒径、地下水水質に基づく地下水還元可能量の推定方法を公表予定