

再生可能エネルギー熱利用技術開発/
再生可能エネルギー熱利用のポテンシャル評価技術の開発/
都市域における、オープンループシステムによる
地下水の大規模熱源利用のための技術開発

一般財団法人地域地盤環境研究所
株式会社環境総合テクノス
国立大学法人岡山大学
公立大学法人大阪市立大学(再委託)
大阪市(共同実施)

2019年10月17日

問い合わせ先
一財)地域地盤環境研究所
E-mail:kitada@geor.or.jp
TEL:06-6941-8833

事業概要

1. 期間

2016年 1月～2019年 2月

2. 目標

地下水の豊富な大阪平野では、オープンループ型帯水層蓄熱(ATES)システムの導入に期待が高まっている。そこで、帯水層を効率よく観測・管理するための観測井システムの構築技術や、地域の地盤環境と事業性を予測評価するシステムなど、ATESシステム導入時の設計や導入後の監視に資する技術を開発することで、都市域における地中熱利用の普及・拡大を目指す。

3. 成果概要

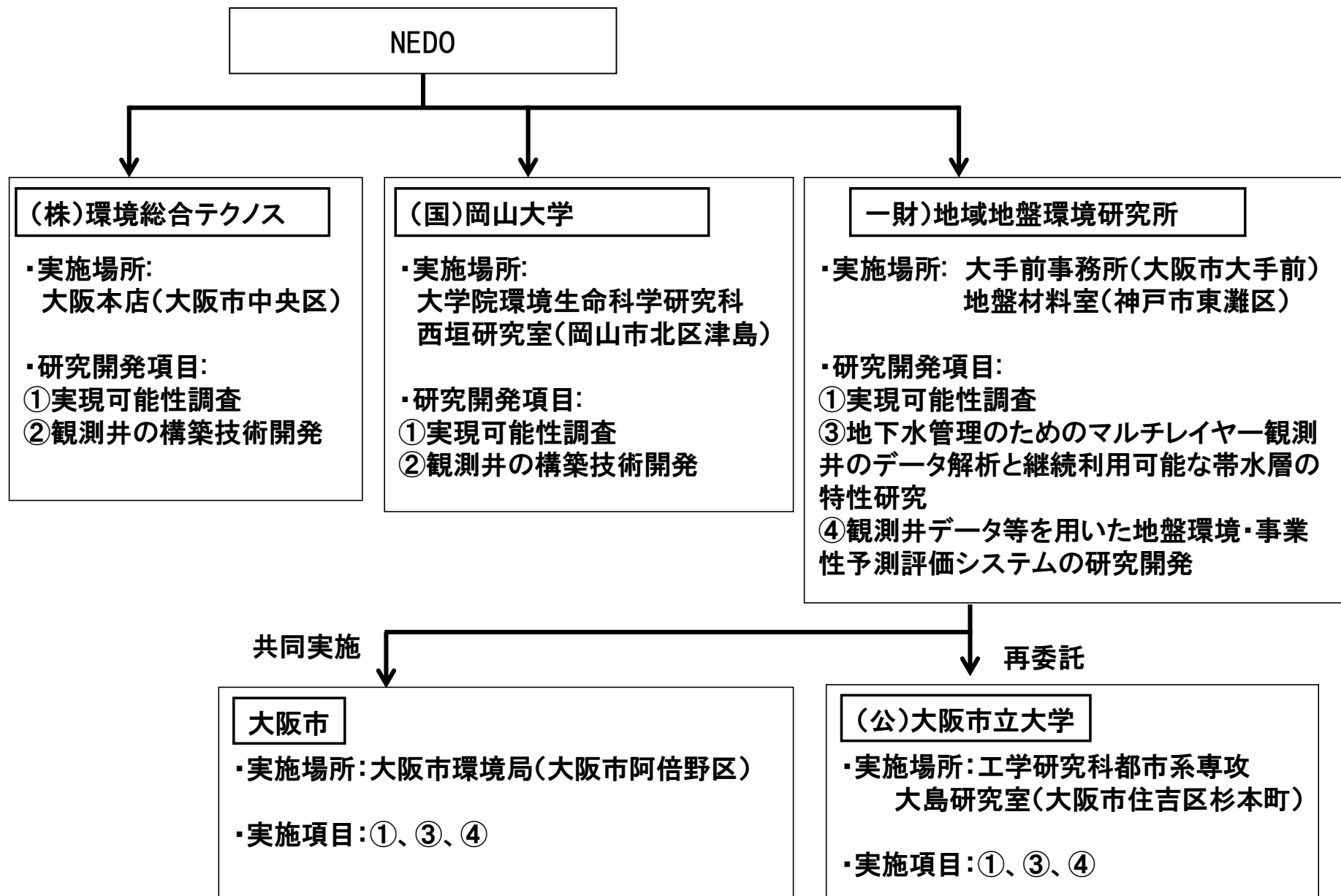
【システムティックな地下水の観測・管理技術の確立】

- ① 迅速かつ高品質のコアを採取できる掘削ツールを開発した。
- ② 観測井内流速検層装置(フローメータ)を開発した⇒目詰まりのリスク低減
- ③ 「マルチレイヤー観測井」の構築技術を確立し、設置コストを25%削減(従来工法比)した。

【導入時のリスク低減と利活用の促進】

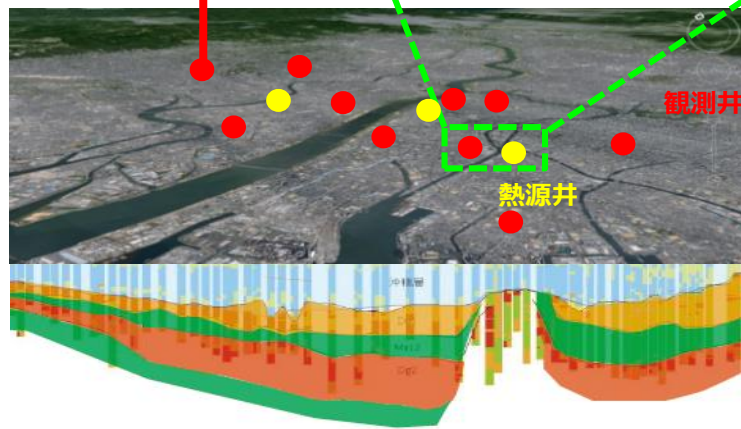
- ① 地下水のモニタリング調査を実施し、ATESシステム導入前のバックグラウンド情報を整備した。また、各帯水層の地下水の性状を整理し、ATESシステムの実用化に向けた留意点等を整理した。
- ② 地下水利用に有効な透水性の高い礫層(有効帯水層)の分布状況を把握した。
- ③ 地盤モデルを構築し、「帯水層の分布状況」「概算利用可能熱量」「システム導入単価」を250mメッシュごとの情報として整備した。
- ④ ATESシステムの導入・運用を想定した非定常解析(特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況を推定するための解析)のプログラムを構築した。

事業実施体制



熱エネルギー需要の高い都市域において、豊富に存在する地下水を大規模に活用するオープンループ型地中熱利用システムが有望

- 各帯水層の地下水位
- 各帯水層の水質確認



- システマティックな地下水の観測・管理技術の確立による安心・安全な地下水利用
- 計画地点の開発リスク低減のため、地盤環境と事業性を評価するシステムの開発

- ① 地盤サンプリングツールの開発
- ② 観測井内流速検層装置(フローメータ)の開発
- ③ マルチレイヤー観測井の構築
- ④ 粒度分析による有効帯水層の推定
- ⑤ ボーリングデータベースを用いた有効帯水層分布域の検討
- ⑥ 地下水観測井における連続的なモニタリング
- ⑦ 事業性の予測評価システムの開発

- } 観測井の掘削工法
構造明確化
- } 継続利用可能な
帯水層の特性研究
- } 事業性予測評価
システムの研究開発

観測井の掘削工法構造明確化

① 地盤サンプリングツールの開発

- ・地盤試料のサンプリングをより短期間で実施する。
- ・砂礫の採取率を向上する。
- ・乱れの少ない試料を採取する。

過年度終了

※ 工法はロータリーバイブレーション+ワイヤーラインサンプリング

② 観測井内流速検層装置（フローメータ）の開発

- ・フローメータ機器を開発し、各帯水層の透水性を評価する。

※ フローメータは掘削孔内を下から上に引き揚げながら、孔壁から流入する地下水の量を測定することで、各帯水層の透水性を評価する。従来の現場透水試験では、1回測定での段取替えに時間を要す、また、一定区間の連続的な測定は難しい。

③ マルチレイヤー観測井の構築

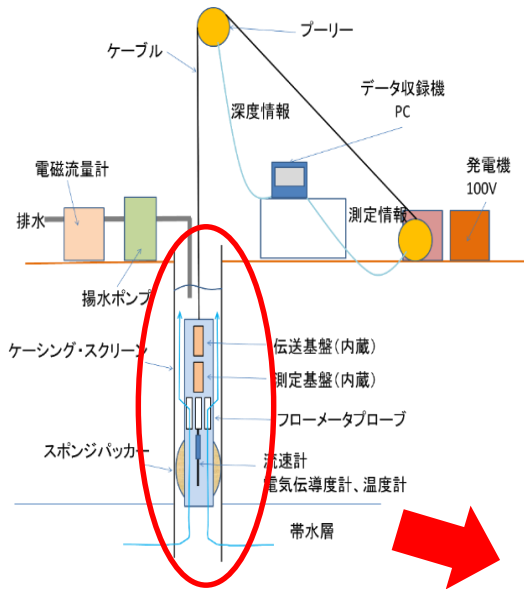
- ・1孔で複数帯水層の地下水を観測・管理可能な構造のマルチレイヤー観測井を構築することで、従来の観測井システムに対し設置コストを25%削減する。

※ 深度100m程度、最大3層の帯水層の計測が可能な仕様とする

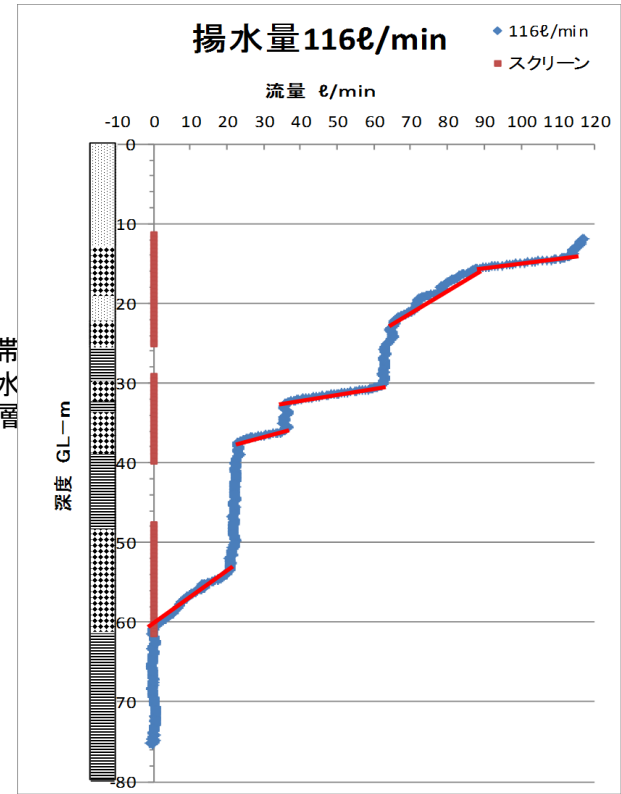
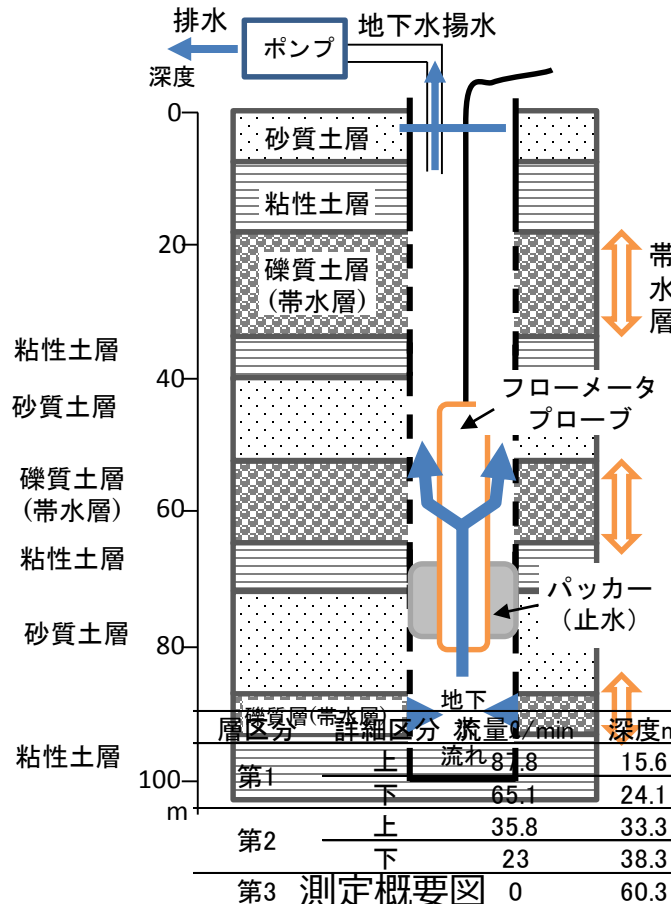
観測井の掘削工法構造明確化

② 観測井内流速検層装置（フローメータ）の開発

◆有効帯水層の迅速な抽出のための現地検層ツール



改良したフローメータ



観測井内流速検層装置（フローメータ）の活用により、各帯水層の透水量係数を詳細に把握することができた。
⇒熱源井設計に、高品質な地盤の透水情報を提供できた。

観測井の掘削工法構造明確化

③ マルチレイヤー観測井の構築

マルチレイヤー観測井: 3層(Dg1~Dg3層)の水位・水質を観測

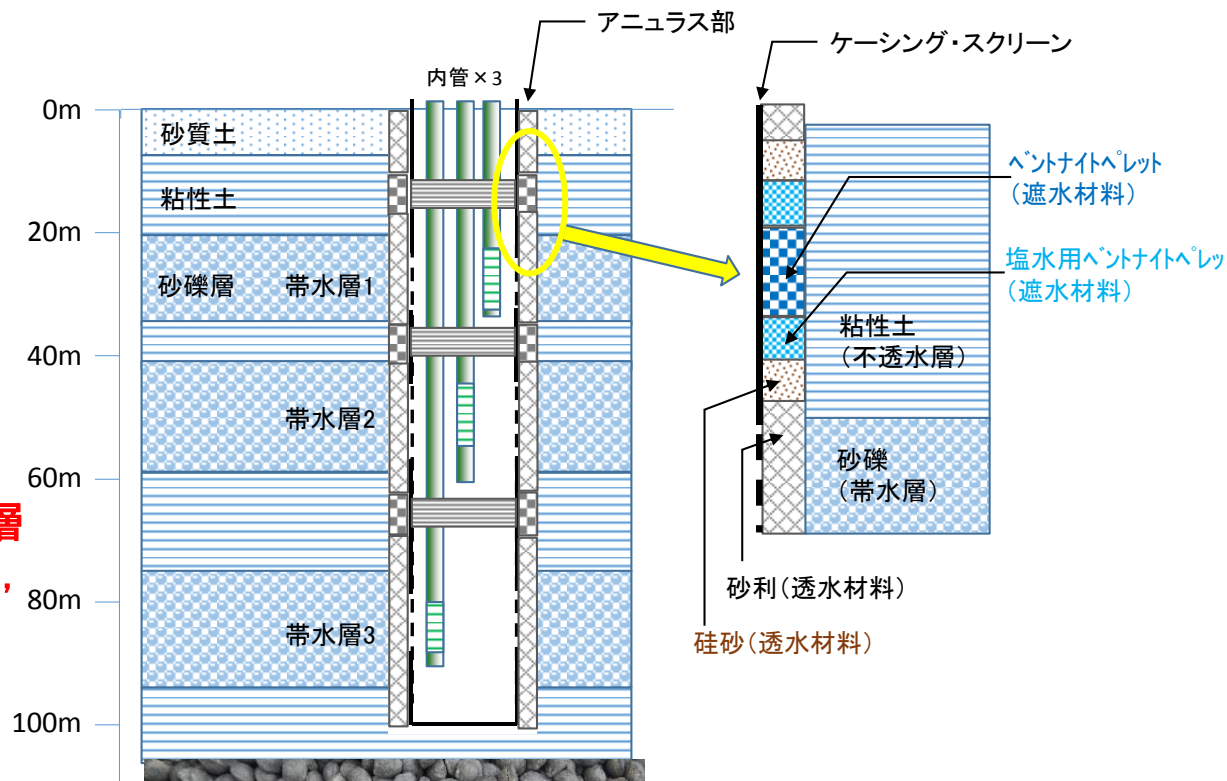


砂礫層のみ透水材料を使用、不透水層部では、ベントナイト等を使用して遮水、各帯水層が混合しないようにする

【塩水への対応】

→これまで構築した観測井で採水時に濁りが生じる箇所が見られ、塩水の影響によるベントナイトの溶出が考えられた。

- ・塩水対応ベントナイトを造粒し、コーティングすることで塩水対応ベントナイトペレットとして対応した。



塩水対応ベントナイトペレット (マルチプラグ)

継続利用可能な帯水層の特性研究

④ 粒度分析による有効帯水層の推定

- ・本事業では、特に透水性が高く、持続的な地下水の熱利用に有効であると考えられる砂礫層を「有効帯水層」と呼称し、以下のように定義する。

礫分が50%以上かつ細粒分15%未満の砂礫層

- ・マルチレイヤー観測井構築に採取したコア試料の粒度試験を実施し、有効帯水層とみなすことのできる砂礫層を抽出した。

⑤ ボーリングデータベースを用いた有効帯水層分布域の検討

- ・既存の地盤情報データベースを用いて、Dg2層の「有効帯水層」の層厚分布図を作成した。

事業性予測評価システムの研究開発

⑥ 地下水観測井における連続的なモニタリング

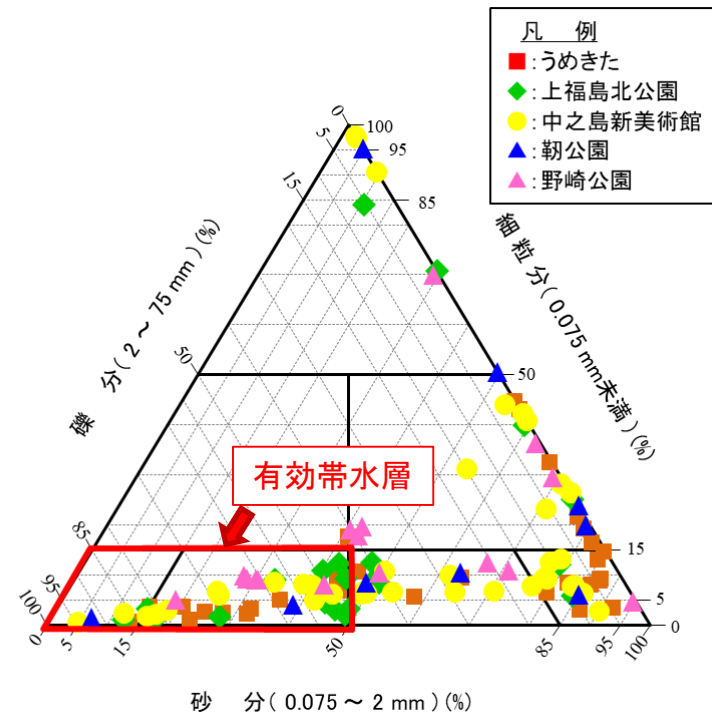
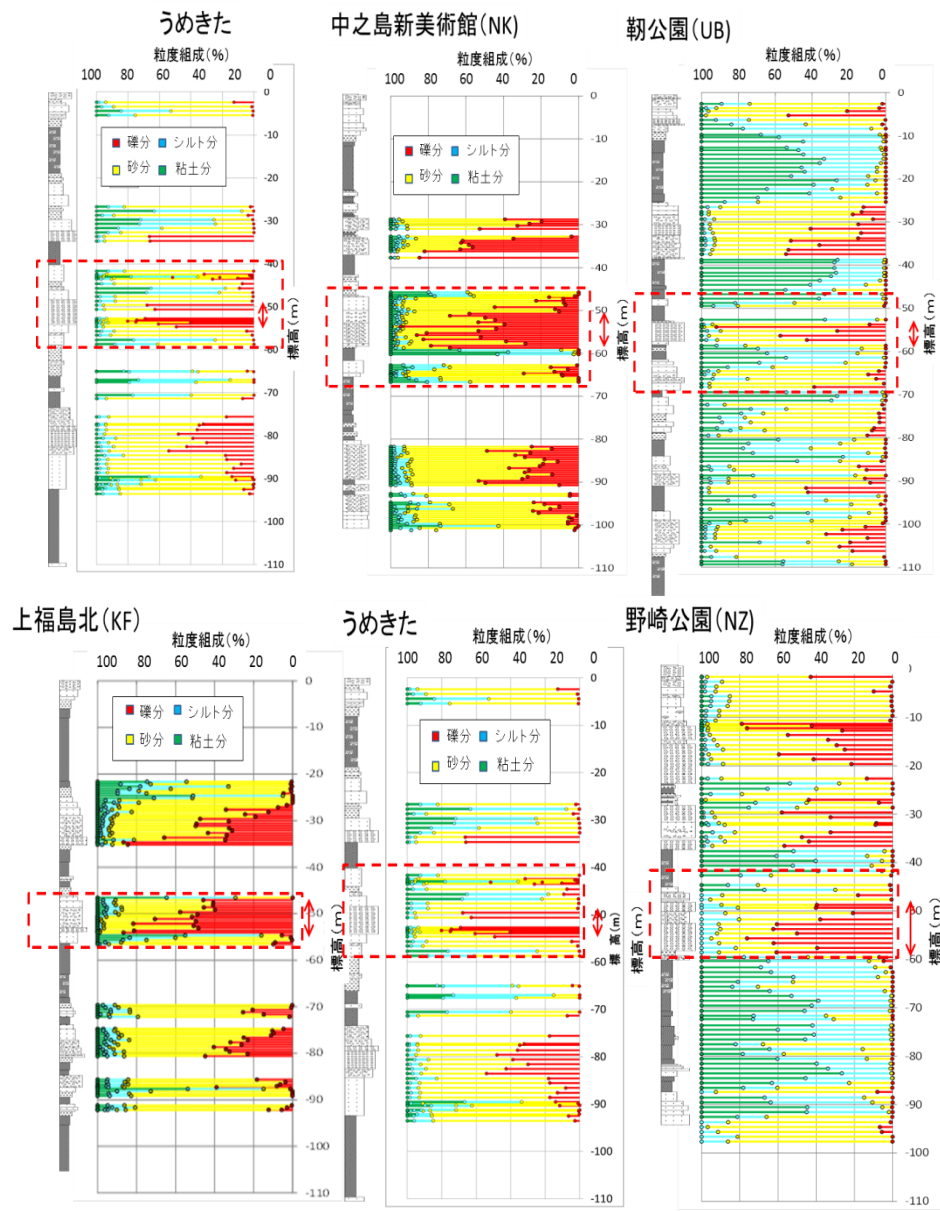
- ・Dg1層、Dg2層、Dg3層を対象に、地下水の水位・水質・水温の連続モニタリングを実施し、地下水熱利用の前の定常状態を把握した。

⑦ 事業性予測評価システムの開発

- ・既存データの収集とシステムの枠組みを構築した。

継続利用可能な帯水層の特性研究

④ 粒度分析による有効帯水層の推定

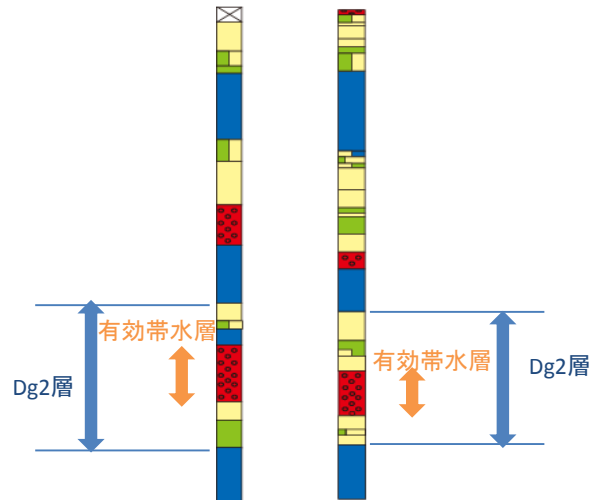


Dg2層の三角座標による分類

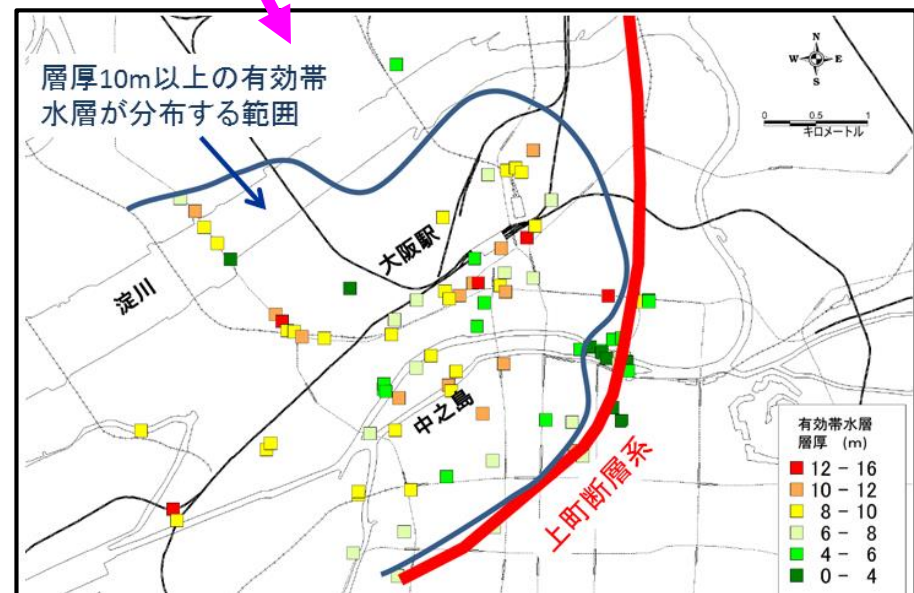
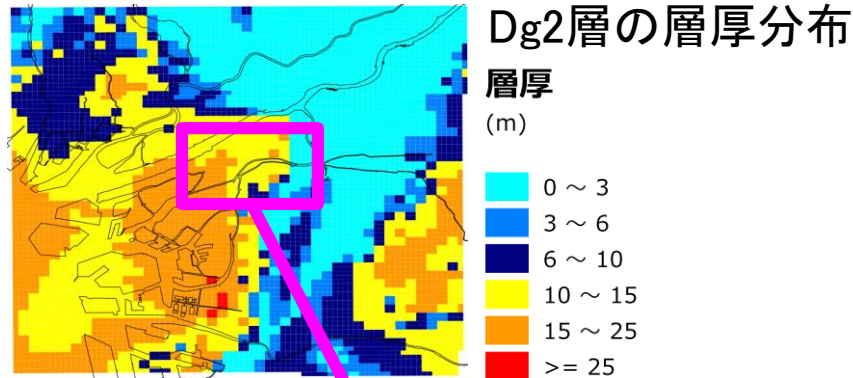
↑ ↓ は粒度分析の結果から判断される
Dg2層の有効帯水層

継続利用可能な帯水層の特性研究

⑤ ボーリングデータベースを用いた分布域の検討



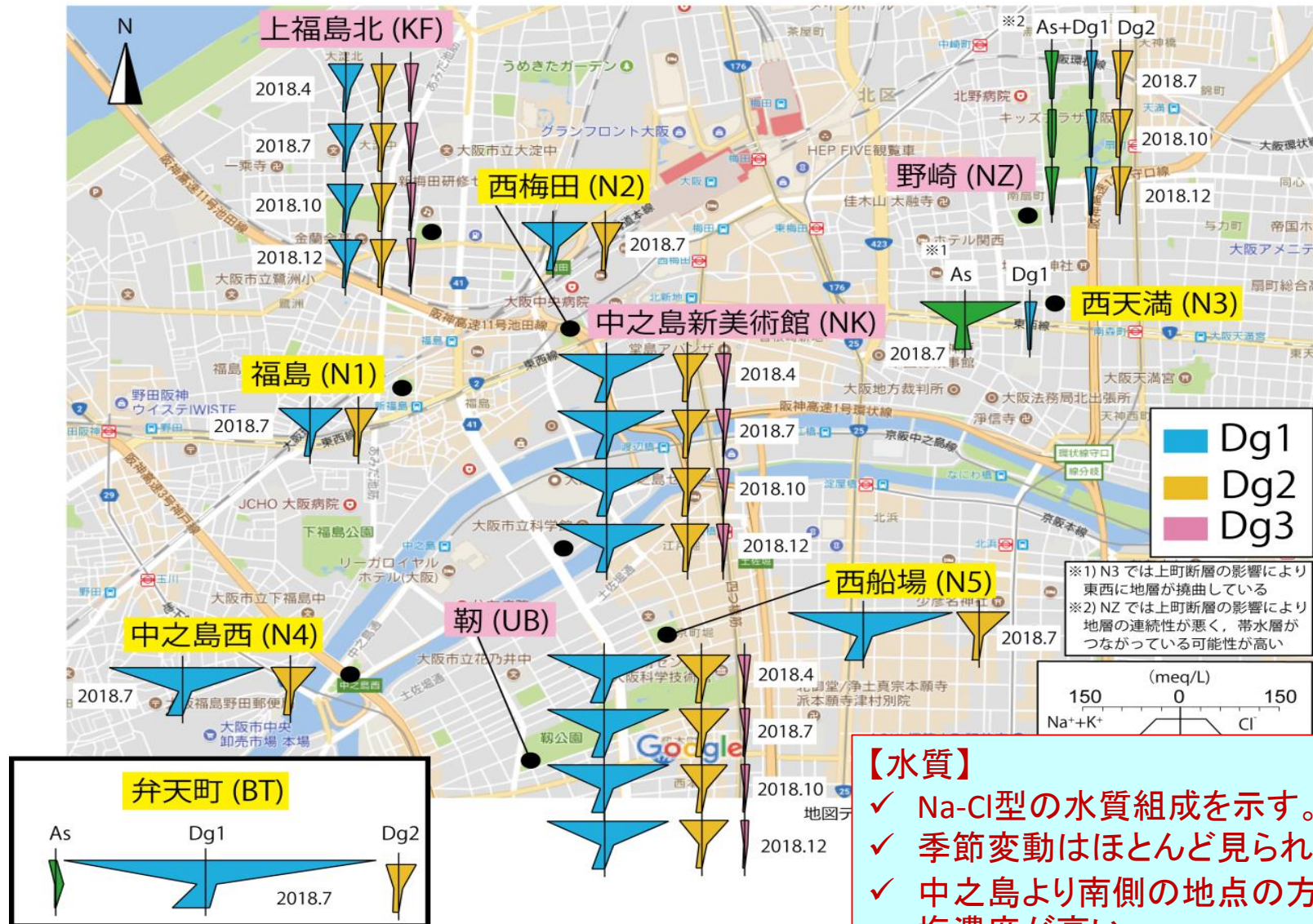
- Dg2層の層厚は海成粘土間を指す。
- Dg2層がほぼ同じ層厚であっても、有効帯水層（礫層）の層厚は同じとは限らない。
- 有効帯水層の分布標高は、地域として見れば一様であるが、局所的にみれば変化がある。



Dg2層のうち「有効帯水層」の層厚は、大阪駅周辺から中之島付近までの範囲では6～16m程度で分布する。

事業性予測評価システムの研究開発

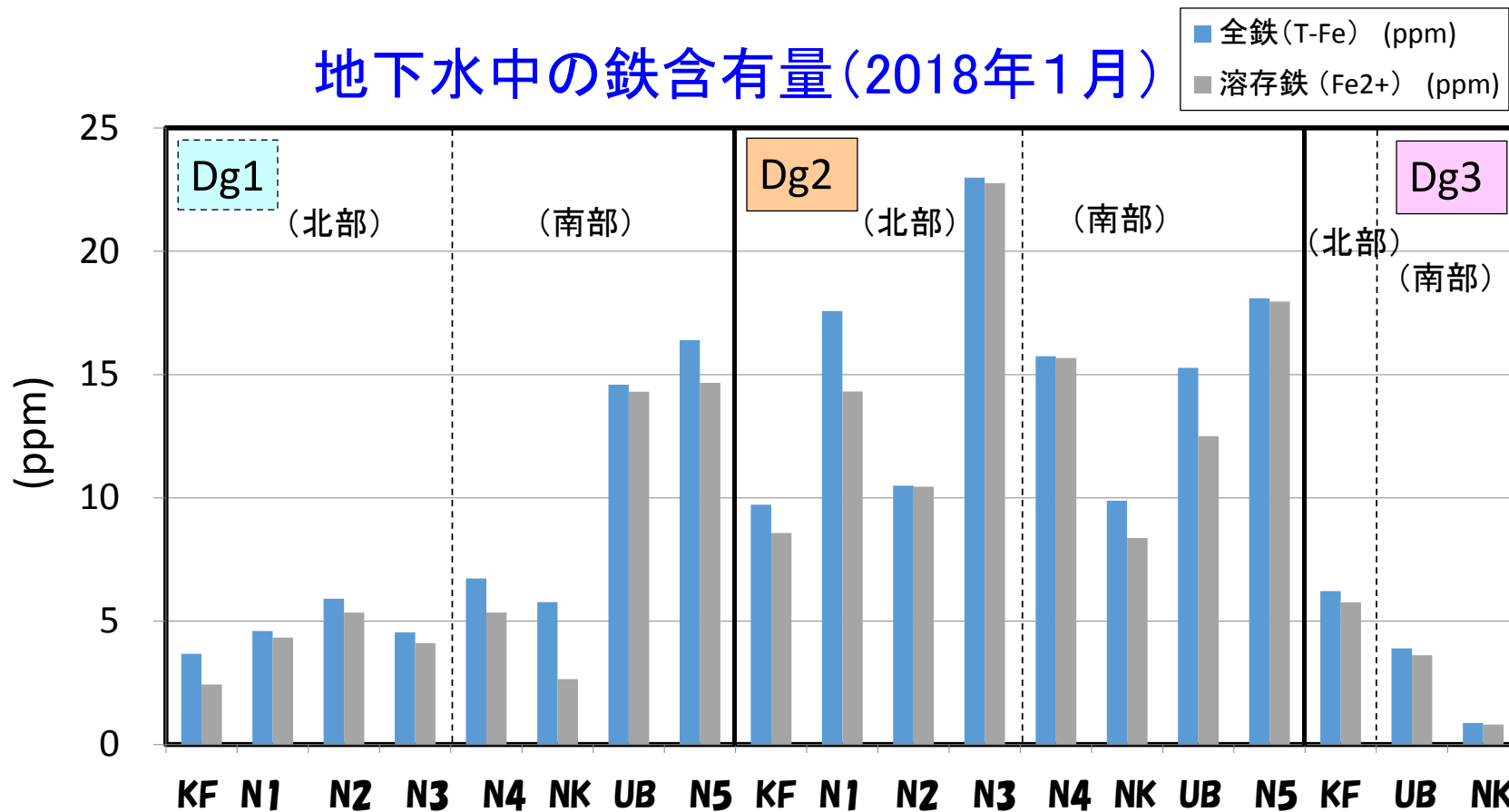
⑥ 地下水観測井における連続的なモニタリング その1



事業性予測評価システムの研究開発

⑥ 地下水観測井における連続的なモニタリング その2

地下水中の鉄含有量(2018年1月)

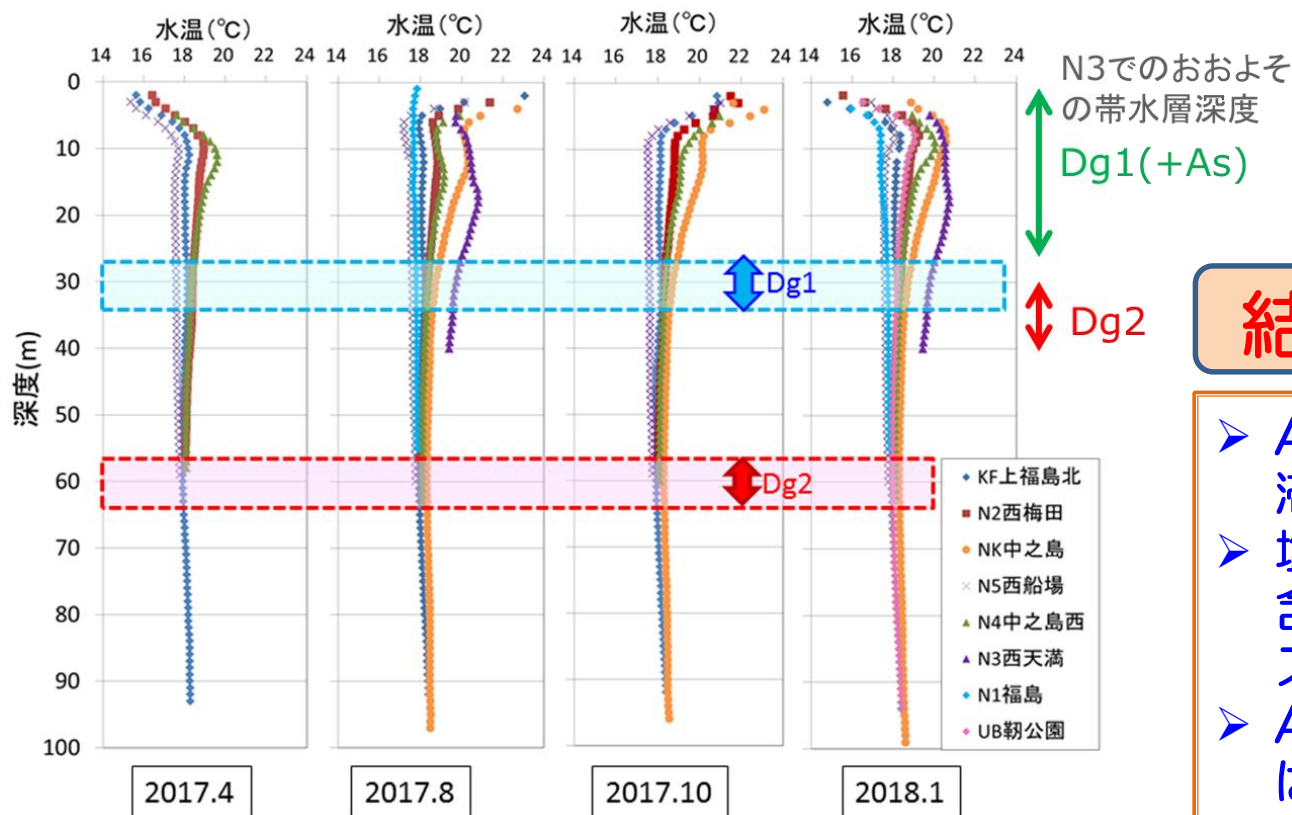


- ◆ Dg1では韮公園(UB)と西船場公園(N5)で高濃度
- ◆ Dg2ではDg1・Dg3よりも鉄の含有量が多い
- ◆ 全鉄に対して溶存鉄(Fe²⁺)が80%以上を占める

➡ 酸化鉄の沈殿が生成しないよう、還元的な環境を保持する必要がある

事業性予測評価システムの研究開発

⑥ 地下水観測井における連続的なモニタリング その3



モニタリング調査実施地点における鉛直水温分布（一例）

【水温】

- ✓ 表層～G.L.-10mまでは季節変動を示す
- ✓ 深度-30m程度より深部では18℃程度で、深度方向にほぼ一定となる。
- ✓ ただしN3地点では他地点より2℃程度高い。

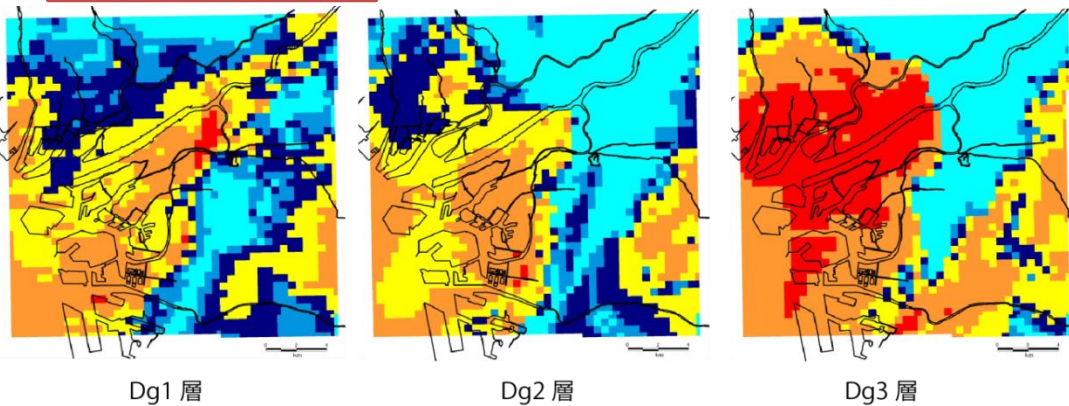
結論

- ATESの利用に適した停滞性の地下水である
- 塩濃度が高く、溶存鉄を含む地下水に対応したシステムである必要がある。
- ATESシステム運用時には、確実に元の帯水層に還水する必要がある。
- 近接した地点でも、地盤の状況によって温度特性が異なる可能性がある

事業性予測評価システムの研究開発

⑦ 事業性の予測評価システムの開発

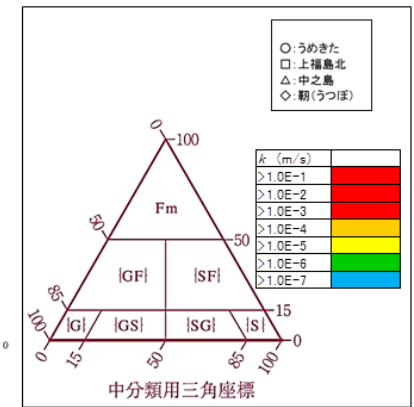
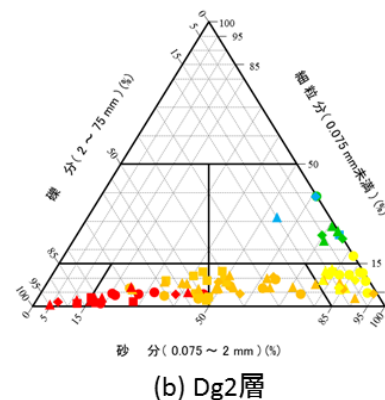
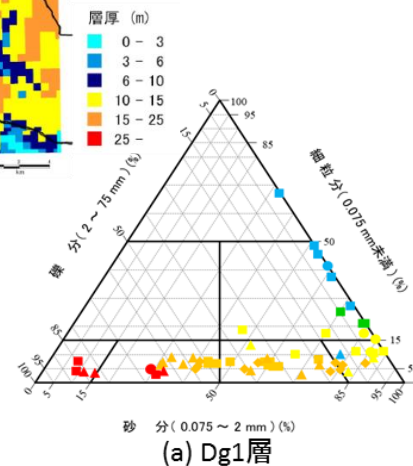
評価手法の構築



各帯水層の層厚分布図

Dg1層、Dg2層、Dg3層の分布について、ボーリングデータベースを用いて層厚分布図を作成した。層厚分布の特徴として、3層ともに中央部の上町台地付近で南北方向に薄くなる傾向があり、西大阪地域では比較的に厚く堆積していることが明らかとなった。

既存の粒度分析データを用いて、クレーガー (Creager) による20%粒径(D20)と透水係数の関係(土質工学会, 1967)から透水係数推定値を計算したところ、Dg2層およびDg3層で概ね $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{m/s}$ 程度



砂礫層の粒度組成(三角分類)と
透水係数推定値

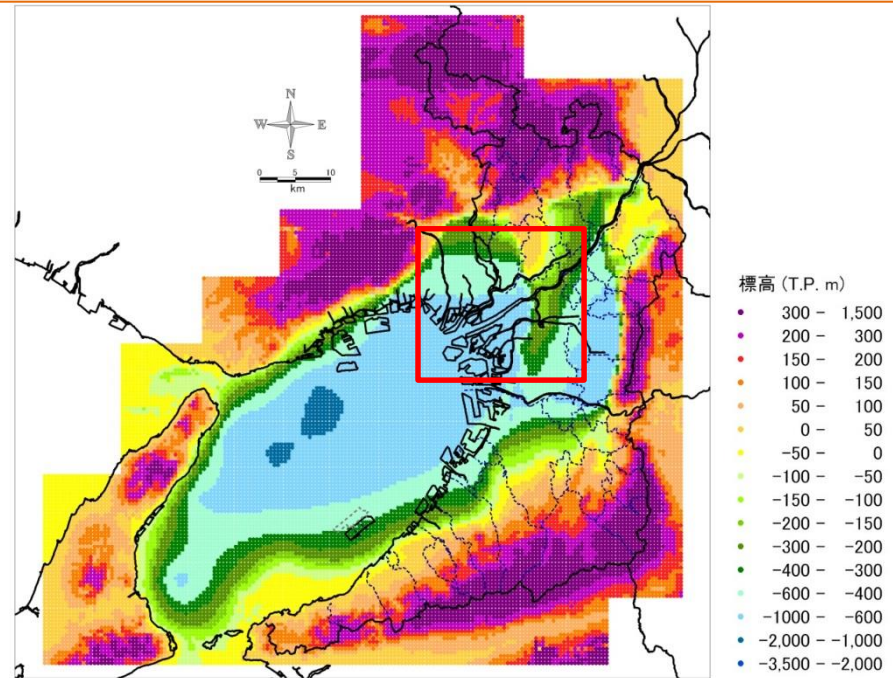
事業性予測評価システムの研究開発

⑦ 事業性の予測評価システムの開発

i) 地盤モデルの構築と流動シミュレーション

ATES導入時の設計あるいは運用時の地盤環境評価のための解析手法を構築するため、地下水の流動シミュレーションを実施し、大阪堆積盆地全体の大きな地下水の流れや各層のパラメータを決定した。

ATESシステムの導入・運用を想定した非定常解析(特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況を推定するための解析)のプログラムを構築した。結果は原位置試験とも比較して、妥当性を確認した。



Ma-1層の下面標高分布 (一例)

広域地盤モデル

- 大阪湾堆積盆地を対象
- 表層から基盤までを4層に区分



地下水広域流動シミュレーションの実施

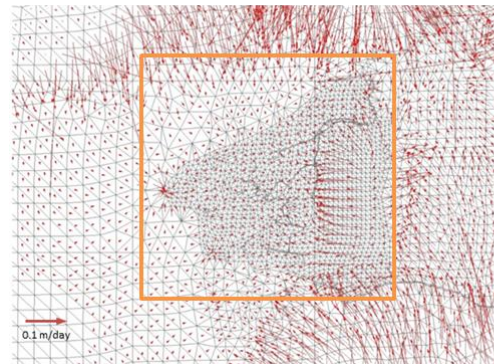
局所地盤モデル

- 大阪市内を対象
- 表層からMa9層下端までをさらに8層に区分

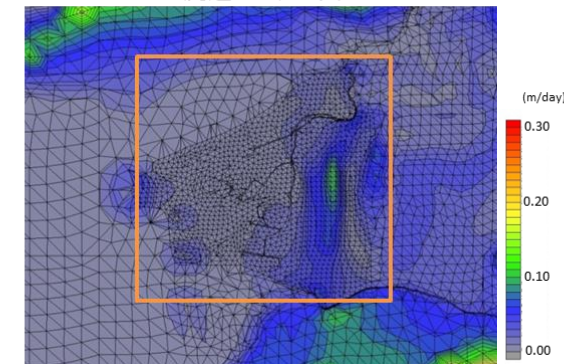


帯水層蓄熱ポテンシャルマップ、
地盤環境・事業性予測評価システムの作成

流速ベクトル図



流速コンター図



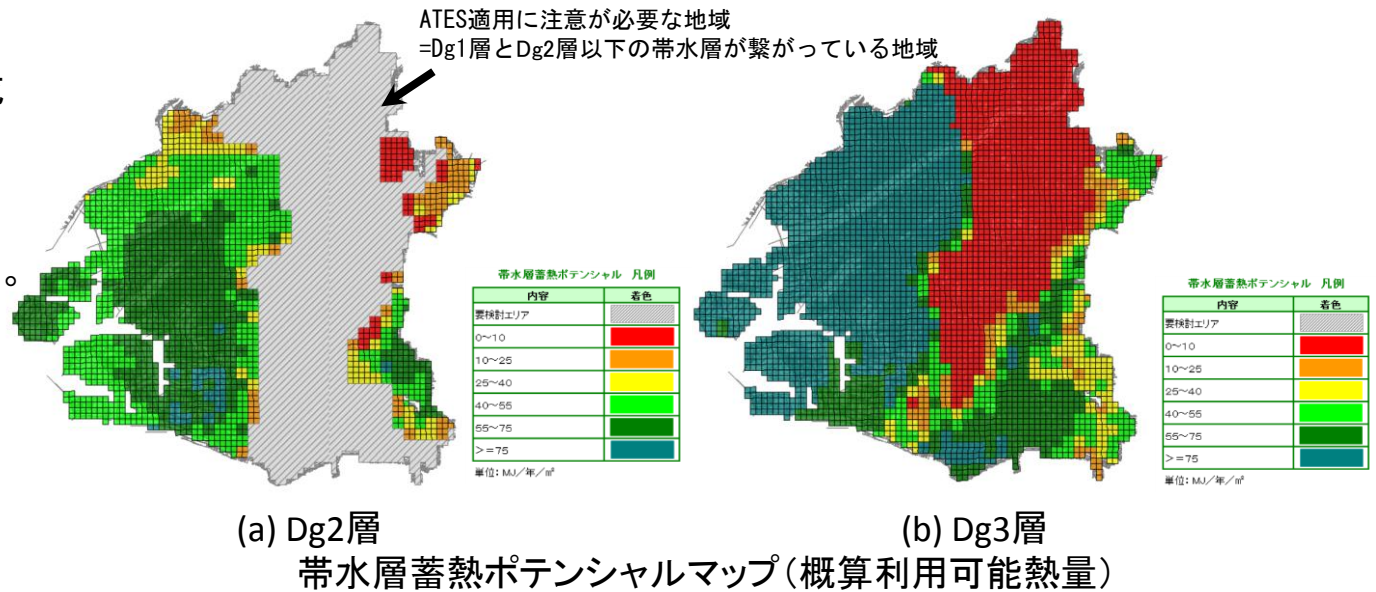
広域モデル~得られる局所地域の特徴(一例)

事業性予測評価システムの研究開発

⑦ 事業性の予測評価システムの開発

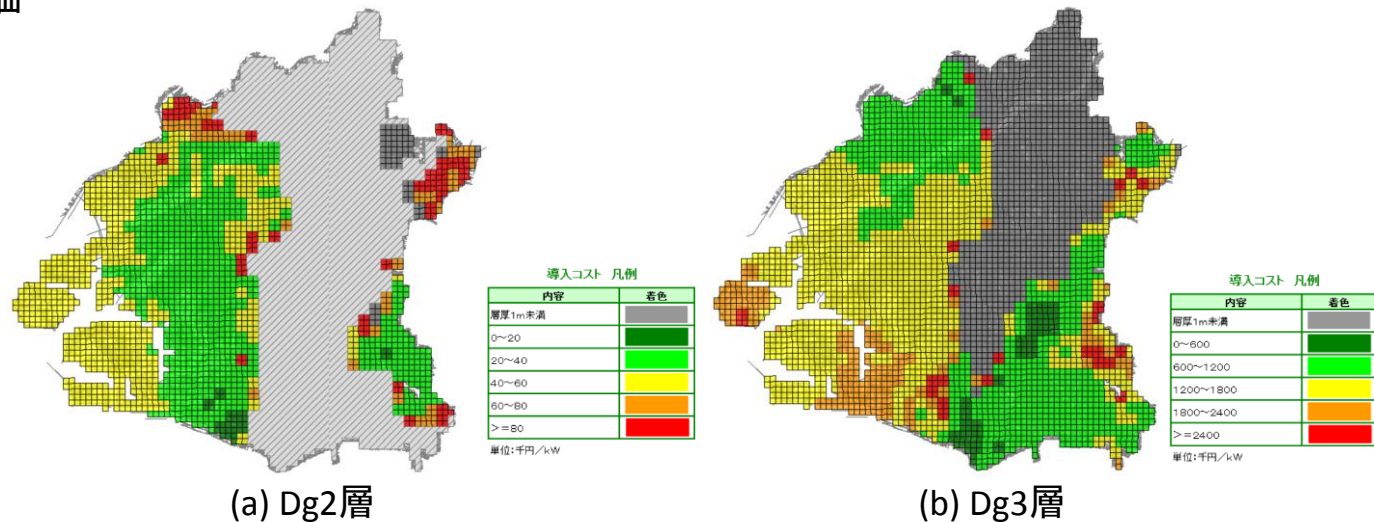
ii) ポテンシャルマップの作成

各帯水層の層厚分布と概算利用可能量(賦存量)を250mメッシュ毎に算出した。



iii) 地盤環境・事業性予測評価システムの作成

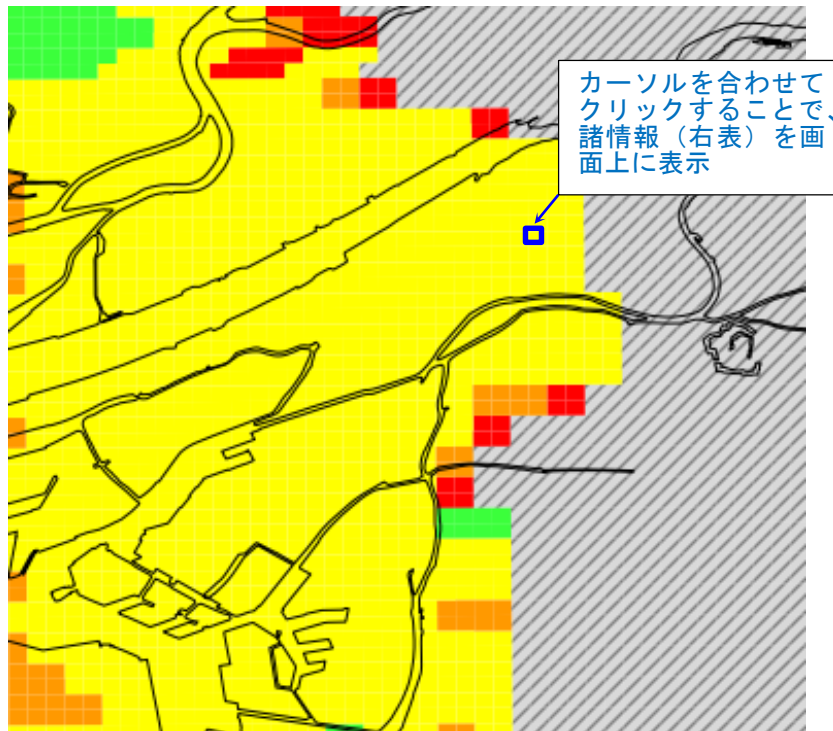
掘削および井戸構築までのコストを算定することで、同一の手法での地域ごとのコストの違いが可視化できるよう、1kWあたりの導入コストをシステム導入単価として設定することで、事前に事業性を予測評価するシステムの開発を行った



事業性予測評価システムの研究開発

⑦ 事業性の予測評価システムの開発

iii) 地盤環境・事業性予測評価 システムの作成



システム導入単価をメッシュ毎の色合いで表示する他、導入を検討する地域のメッシュにカーソルを合わせてクリックすると、ATES利用可能な帯水層の下端までの深度や層厚、掘削コストなどが表示される

説明	値
原点(経度)	135.493633361342
原点(緯度)	34.7051548751044
地表面標高(T.P. m)	-0.3
沖積上部層下面標高(T.P. m)	-8.2
Ma13層下面標高(T.P. m)	-20.9
Dg1層下面標高(T.P. m)	-35.4
Ma12層下面標高(T.P. m)	-40
Dg2層下面標高(T.P. m)	-52.5
Ma11層下面標高(T.P. m)	-68.4
Dg3層下面標高(T.P. m)	-94.6
Ma9層下面標高(T.P. m)	-145.7
Ma-1層下面標高(T.P. m)	-742.7
基盤岩上面標高(T.P. m)	-1521.3
Dg2層厚(m)	12.5
Dg3層厚(m)	26.2
Dg2下端深度(m)	52.2
Dg3下端深度(m)	94.3
掘削費用(2本1組)_Dg2	22341.6
掘削費用(2本1組)_Dg3	40360.4
揚水注水量(m3/h)_Dg2	15
揚水注水量(m3/h)_Dg3	31.5
年間熱量(GJ/year)_Dg2	507
年間熱量(GJ/year)_Dg3	3835.6
概算利用可能熱量(MJ/year)_Dg2	2864583.3
概算利用可能熱量(MJ/year)_Dg3	6004166.7
単位面積あたりの概算利用可能熱量(MJ/yr/m2)_Dg2	45.8
単位面積あたりの概算利用可能熱量(MJ/yr/m2)_Dg3	96.1
kW換算出力(kW)_Dg2	70.4
kW換算出力(kW)_Dg3	147.6
kW単価(千円/kW)_Dg2	793.2
kW単価(千円/kW)_Dg3	683.6
要検討エリア	

まとめ

システマティックな地下水の観測・管理技術の確立

- 迅速かつ高品質の試料を採取できる掘削ツールを開発した。
- コアの採取率向上により、高精度な層序の確認が可能となった。
- 観測井内流速検層装置（フローメータ）を開発し、目詰まりのリスクが低い帯水層の深度を把握することが可能となった。
- 「マルチレイヤー観測井」の構築技術を確立し、設置コストを25%削減（従来工法比）した。

導入時のリスク低減と利活用の促進

- 地下水のモニタリング調査を実施し、ATESシステム導入前のバックグラウンド情報を整備した。また、各帯水層の地下水の性状を整理し、ATESシステムの実用化に向けた留意点等を整理した。
- 地下水利用に有効な透水性の高い礫層（有効帯水層）の分布状況を把握した。
- 地盤モデルを構築し、「帯水層の分布状況」「概算利用可能熱量」「システム導入単価」を250mメッシュごとの情報として整備した。
- ATESシステムの導入・運用を想定した非定常解析（特に、揚水・還水による熱の移流・拡散状況を推定するための解析）のプログラムを構築した。

実用化のために

大阪市ホームページにて公開

(<https://www.mapnavi.city.osaka.lg.jp/webgis/index.html>)

地図情報サイト
マップナビおおさか

マップ切替

『帯水層蓄熱情報マップ』を選択

帯水層蓄熱情報マップ

帯水層蓄熱ポテンシャル

案内地図 地形図 航空写真

帯水層蓄熱ポテンシャル 凡例

内容	着色
0~10	赤
10~25	オレンジ
25~40	黄
40~55	緑
55~75	青
>=75	水色

単位: MJ/年/㎡

選択した地域メッシュの情報を表示

掲載している情報についてのお問い合わせは次の連絡先へ 環境局環境施策課 (エネルギー政策グループ) TEL: 06-6630-3479 FAX: 06-6630-3580

マップナビおおさかトップへ 帯水層蓄熱情報マップトップへ 地図に関する情報提供

Copyright (C) City of Osaka All rights reserved. Powered by GeoCloud