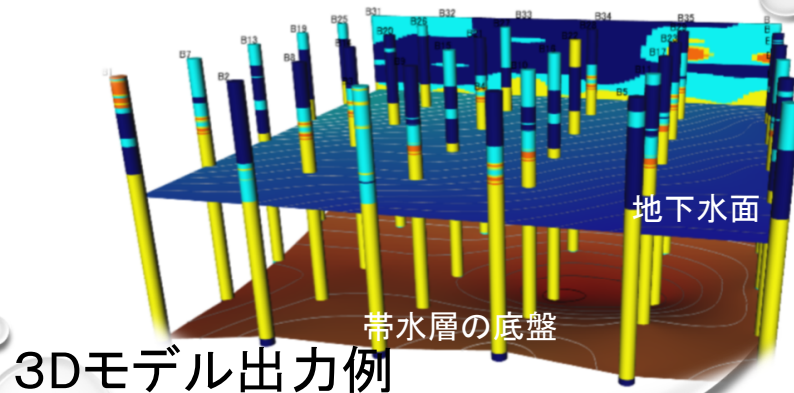


# ダイレクトセンシング技術による 地層構成と透水性の調査

原位置浄化工法を検討する際には、汚染の分布と併せて、浄化範囲の地層構成や透水性を詳細に把握することが重要である。

本稿ではダイレクトセンシング技術のひとつであるHPT (Hydraulic Profiling Tool)を使用し、測定結果から得られる情報と、その結果をもとに判断できる項目について、測定事例と併せて紹介する。



○遠藤康仁・高木一成  
地盤環境エンジニアリング(株)

# 1.HPTの概要

(HYDRAULIC PROFILING TOOL)

- ・ダイレクトセンシング技術のひとつ  
(海外で開発された技術)
- ・HPTプローブを地中に打ち込みながら地盤の導電率や水の注入圧等を測定することで、土壌コアを採取することなく、地層構成や透水性を推定することができる。
- ・帯水層中にHPTプローブを静置させ、間隙水圧を測定することで、観測井を設置せずに地下水位を推定することができる。
- ・一般的なボーリング調査に比べ、現地での作業時間が短い。
- ・各測定は深さ1.5cm毎に行われ、測定データは詳細なデータとして記録される。



## 2.HPT測定で使用する主な機器

- ・フィールドインストゥルメントFI6000(システム全体の制御)
- ・HPTコントローラK6300(水量や水圧を調整)
- ・HPTプローブ(地中に打ち込むセンサー)
- ・トランクライン  
(プローブと測定機器を繋ぐケーブル)
- ・ストリングポッド  
(深度計測装置)
- ・ノートパソコン  
(測定データの表示や記録)

測定中は送水量を一定に保つようHPTコントローラに内蔵された送水ポンプの圧力が自動で調整される



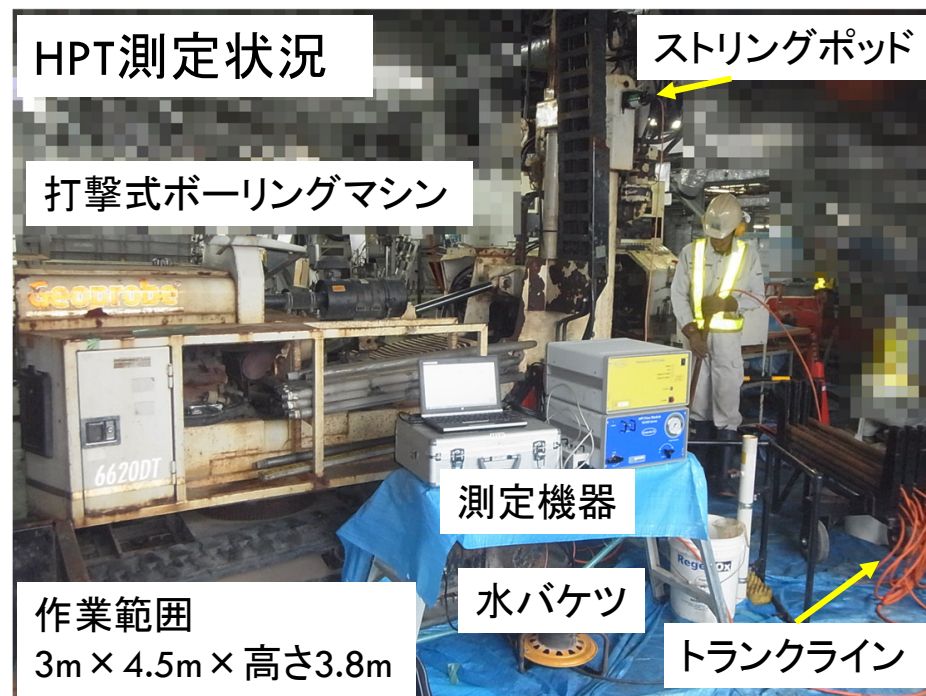
### 3.HPTの測定方法

- ・測定は、打撃式ボーリングマシンを使用し、HPTプローブを地中に打ち込みながら行う。
- ・地盤にプローブを打ち込む速度は約1m/min。
- ・HPTの測定は、一定の水（250～300mL/min）を連続的に地中に圧入しながら行う。
- ・測定開始から終了まで、地盤の導電率やHPT注入圧、HPT注入量などの測定データは、深さ1.5cm毎に自動で測定・記録される。

測定値はリアルタイムでパソコンに表示されるため、測定値を確認しながら掘り止めを判断することができる。



プローブ側面、排水口からの水の排水状況(250mL/min)



HPT測定状況

ストリングポッド

打撃式ボーリングマシン

測定機器

作業範囲

3m x 4.5m x 高さ3.8m

水バケツ

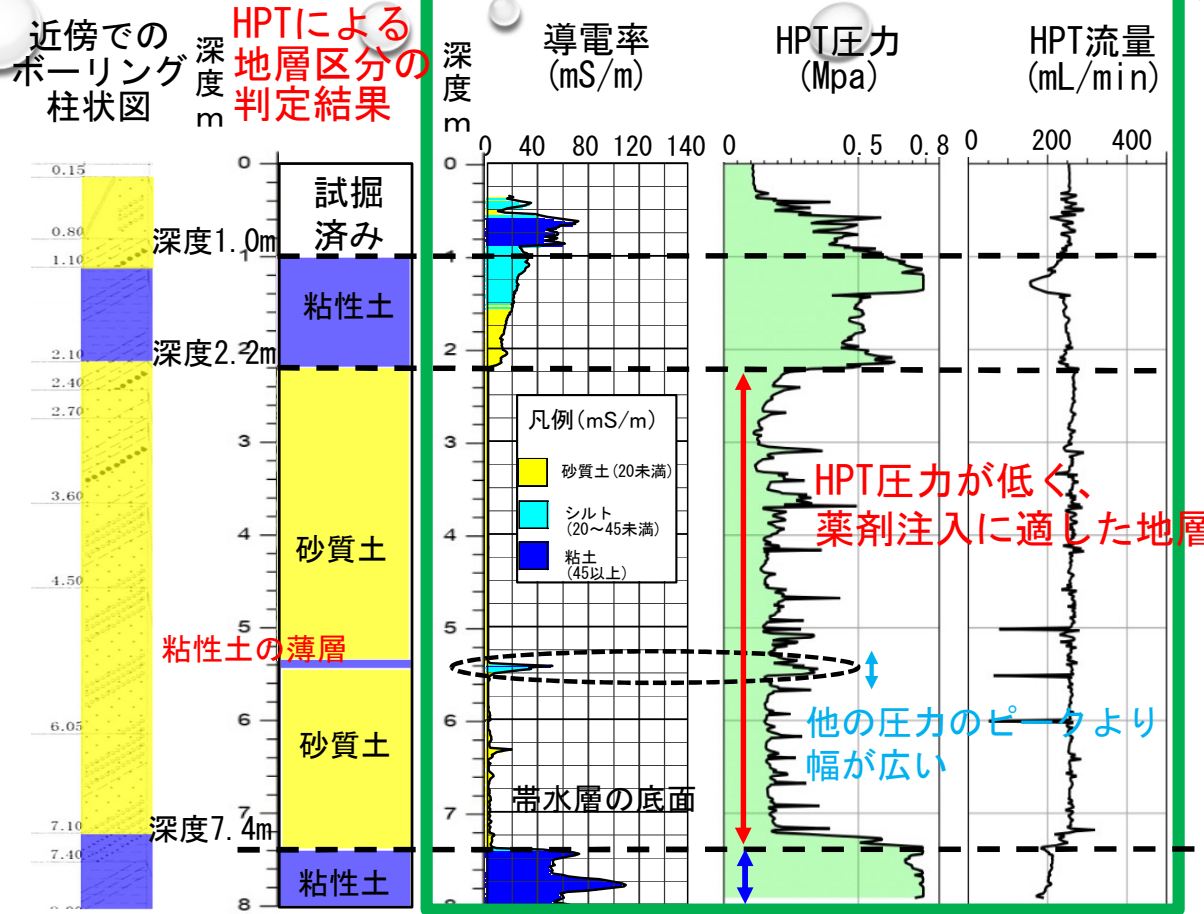
トランクライン



# 4.HPT測定結果の事例(導電率・HPT圧力・HPT流量)



## 測定中のPC画面



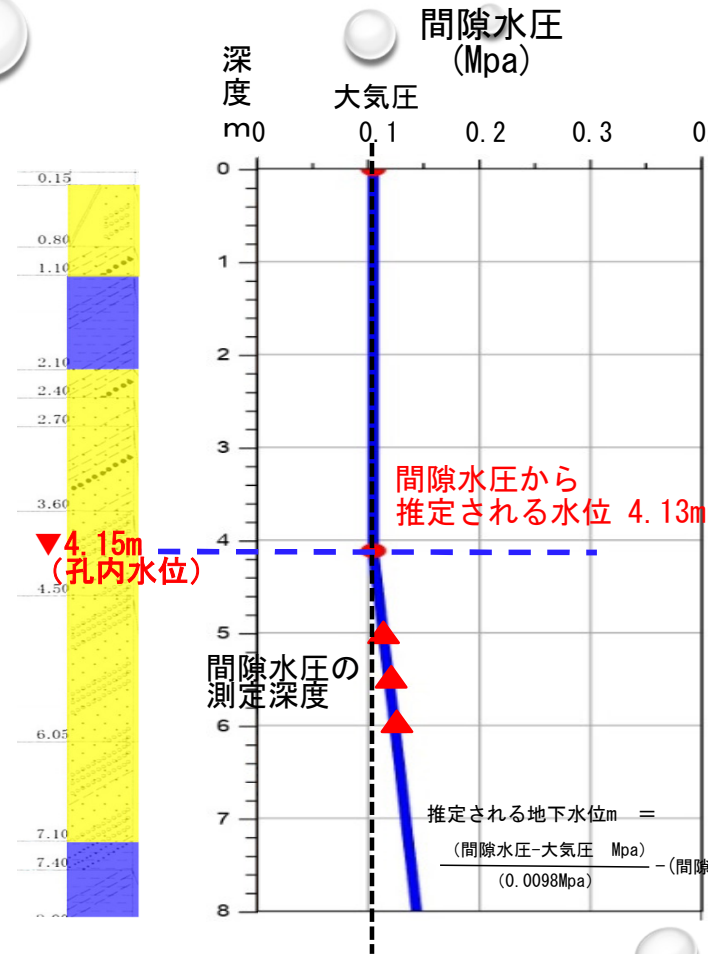
「Bor柱状図」と「HPTによる地層区分」が概ね一致する

HPT圧力が高く、HPT流量が低いことから、薬剤注入に不向きな地層

- ・ 深度10mの測定に要す時間は約30分
- ・ 測定は深さ1.5cm毎に行われ、詳細なデータとして記録することができる
- ・ 地盤の導電率は、一般的に土粒子の粒径が小さい粘性土で高く、土粒子の粒径が大きい砂質土で小さい
- ・ 測定中はHPT流量を一定に保つようHPT圧力が0.1Mpa~0.73Mpaの間で、自動調整される
- ・ HPTによる地層判定は、導電率の測定値に加え、HPT圧力やHPT流量の測定値も考慮し、総合的に判断することから、地層を見誤る可能性が低い
- ・ コア判読では見落とす可能性がある薄層を、HPT測定では捉えることができる（薄い粘性土層にVOCが吸着しているケースもある）



# 5.HPT測定結果の事例(間隙水圧・推定透水係数)

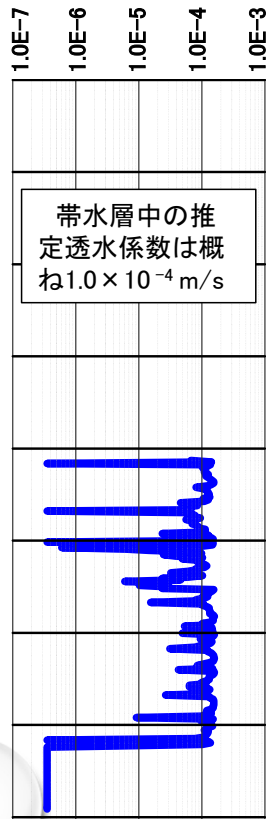


・ 間隙水圧は地下水位が深くなるにしたがって、水圧分の圧力が増加する（水深が1m深くなるに従い、水圧は0.0098Mpa増加する）。

不飽和帯では、水圧の影響を受けないため、間隙水圧は大気圧と同じ圧力を示す。

・ 3深度で間隙水圧を測定した結果、どの深度も間隙水圧から推定される地下水位は、概ね4.13mを示した。近傍の観測井の孔内水位は4.15mで、間隙水圧から推測される地下水位とほぼ一致する。

推定透水係数 (m/s)



・ 推定透水係数は、海外で行われたスラグテストによる透水係数と、測定時のHPT圧力、HPT流量との相関から換算式が導きだされており、測定終了後に自動で出力される。

・ 帯水層の推定透水係数は、局所的に $1.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ で透水性が低い深度も認められるが、概ね $1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ で、透水性は中程度であった。

・ 深さ1.5cm毎に連続的に透水性を評価しており、局所的に透水性が低い深度の見落としを低減させる。

## 6.HPTの測定によって得られる情報やその結果をもとに判断できる項目(その1)



### ①地層構成(粘性土層、砂(礫)質土層)および掘り止めの判断

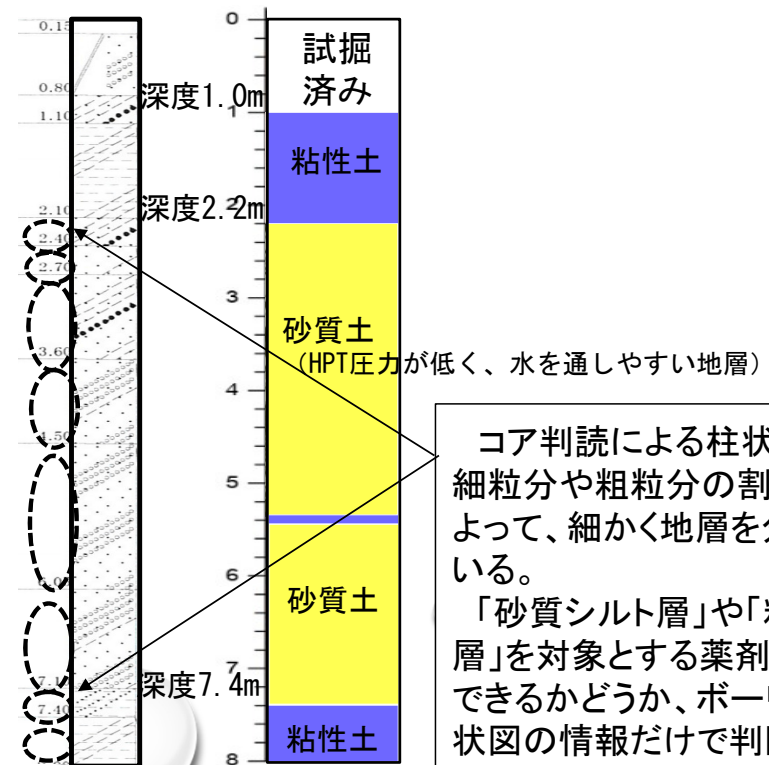
HPTの測定結果から判断できる地層区分は、土質分類の大分類程度であり粗い分類となるが、原位置浄化工法を検討するには大分類による区分で十分と考える。原位置浄化対策を検討する際には、水を通す地層か(砂質土)、通しにくい地層なのか(粘性土)を浄化範囲の全域で把握することが重要と考える。

地盤の導電率やHPT圧力などの測定値がリアルタイムでパソコンに表示されるため、粘性土を確認し、掘り止めする際には、現地での判断が容易である。

### ②地下水位(複数の帯水層の地下水位も推定が可能)や帯水層の厚さ

浄化工法を検討する際には、浄化対策範囲が飽和帯なのか不飽和帯なのかによって適用できる工法が異なるため、汚染の位置と併せて地下水位を把握しておくことは重要である。

近傍での  
ボーリング  
柱状図 深度  
m HPTによる  
地層区分の  
判定結果

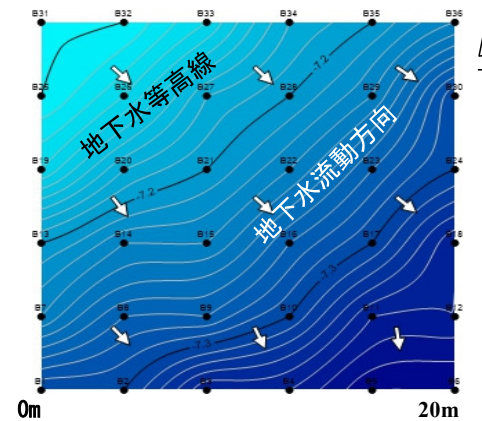


コア判読による柱状図では、細粒分や粗粒分の割り合いによって、細かく地層を分類している。「砂質シルト層」や「粘土質砂層」を対象とする薬剤注入ができるかどうか、ボーリング柱状図の情報だけで判断するのは難しい。

## 7.HPTの測定によって得られる情報やその結果をもとに判断できる項目(その2)

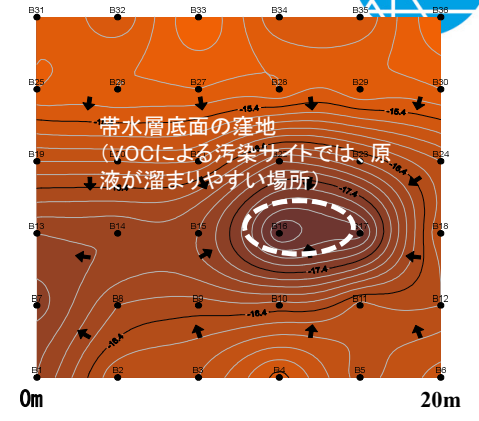
### ③地下水流動方向や動水勾配 (3地点以上で測定した場合)

3地点以上の場所で、間隙水圧を測定し、地下水位等高線を作成することによって、地下水流動方向や動水勾配を把握することができる。ただし、1日の地下水位変動が大きな場所では不向きである。



地下水位等高線図(例)

※透水性が悪い地層では、間隙水圧が安定せず、推定される地下水位と近傍の地下水位が大幅に異なる場合もある。



帯水層底面の等高線図(例)

### ④帯水層の底面の位置

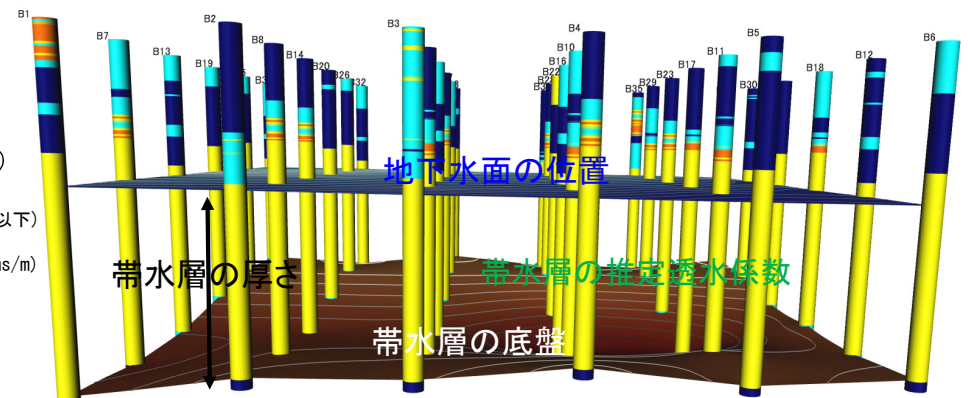
VOCによる地下水汚染が存在するサイトでは、帯水層底面深度の等高線図を作成することでVOCの原液が溜まりやすい場所での対策を検討しやすい(揚水による回収など)。

### ⑤帯水層の推定透水係数

帯水層の透水係数を把握しておくことによって、現地の透水性に適した原位置浄化工法を判断しやすい。

凡例 (mS/m)

- 礫質土 (3ms/m以下)
- 砂質土 (4~10ms/m)
- シルト (11~45ms/m)
- 粘土 (46ms/m以上)



3Dモデル出力例

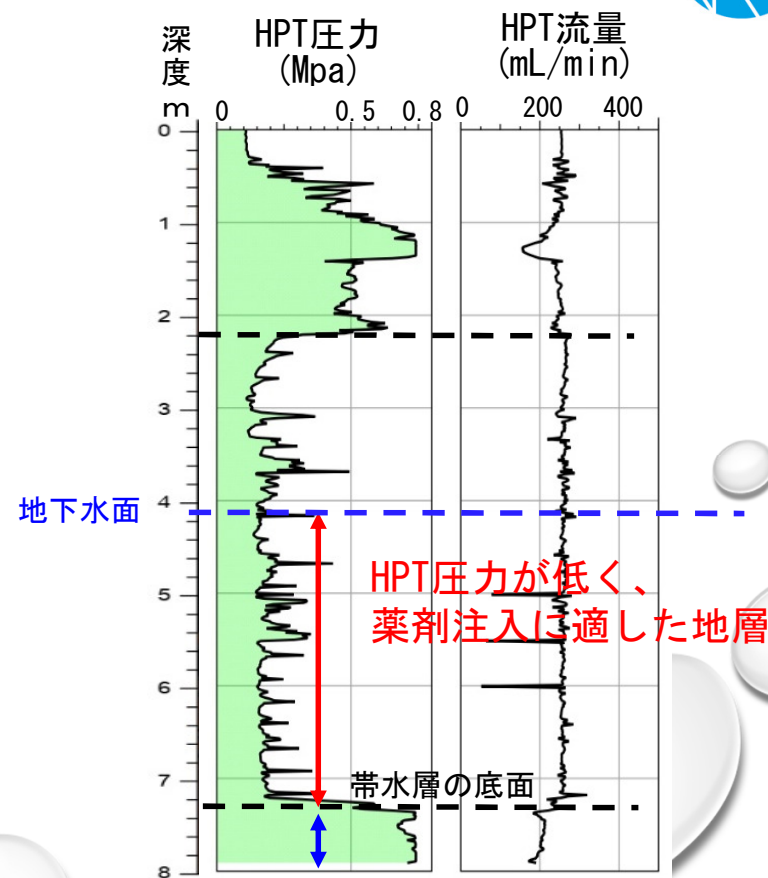
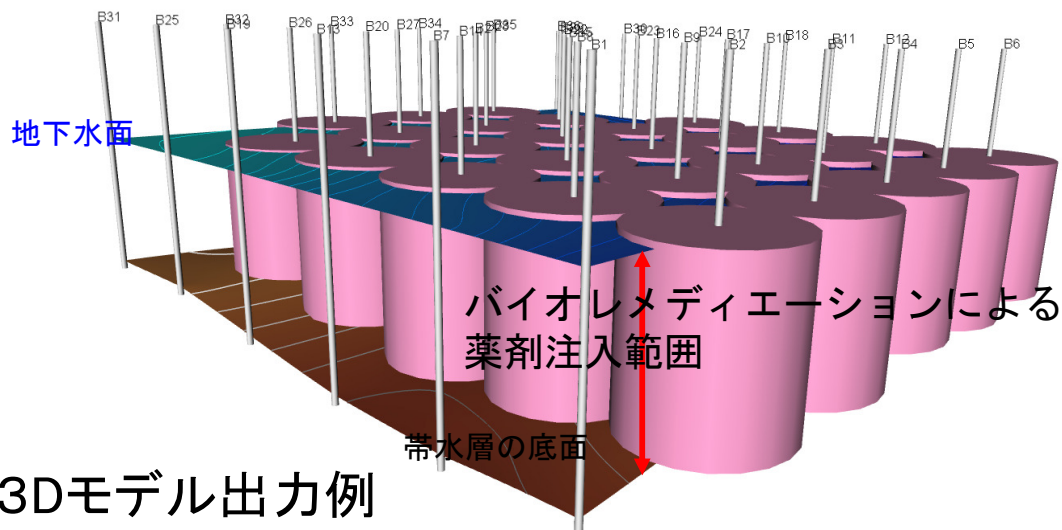


## 7.HPTの測定によって得られる情報やその結果をもとに判断できる項目(その3)



### ⑥薬剤注入の適否の判断

HPTの注入記録は、薬剤注入の適否や注入深度、注入ポンプの選定など、薬剤注入工法を検討する際に利用することができる（効率よく薬剤注入が行える深度は、HPT圧力が0.2Mpa以下）。



HPT測定では、原位置浄化を計画する際に有効な情報を迅速に把握することができる。

HPT圧力が高く、HPT流量が低いことから、薬剤注入に不向きな地層



## 8.まとめと今後の課題

本稿ではHPTの測定結果から得られる情報と、その測定結果をもとに判断できる項目について、測定事例と併せて紹介した。

今後は、簡易な透水試験を併用し（現場透水試験やスラグテスト）、HPTから推定される透水係数と簡易な透水試験によって得られる透水係数との相関についても、測定データを蓄積する必要があると考える。

また、複雑な地層が予想されるサイトや人為的な土地改変が行われたサイトなどにも積極的にHPTやMI-HPTを活用して汚染機構を解明し、原位置浄化設計の最適化に努めたいと考える。

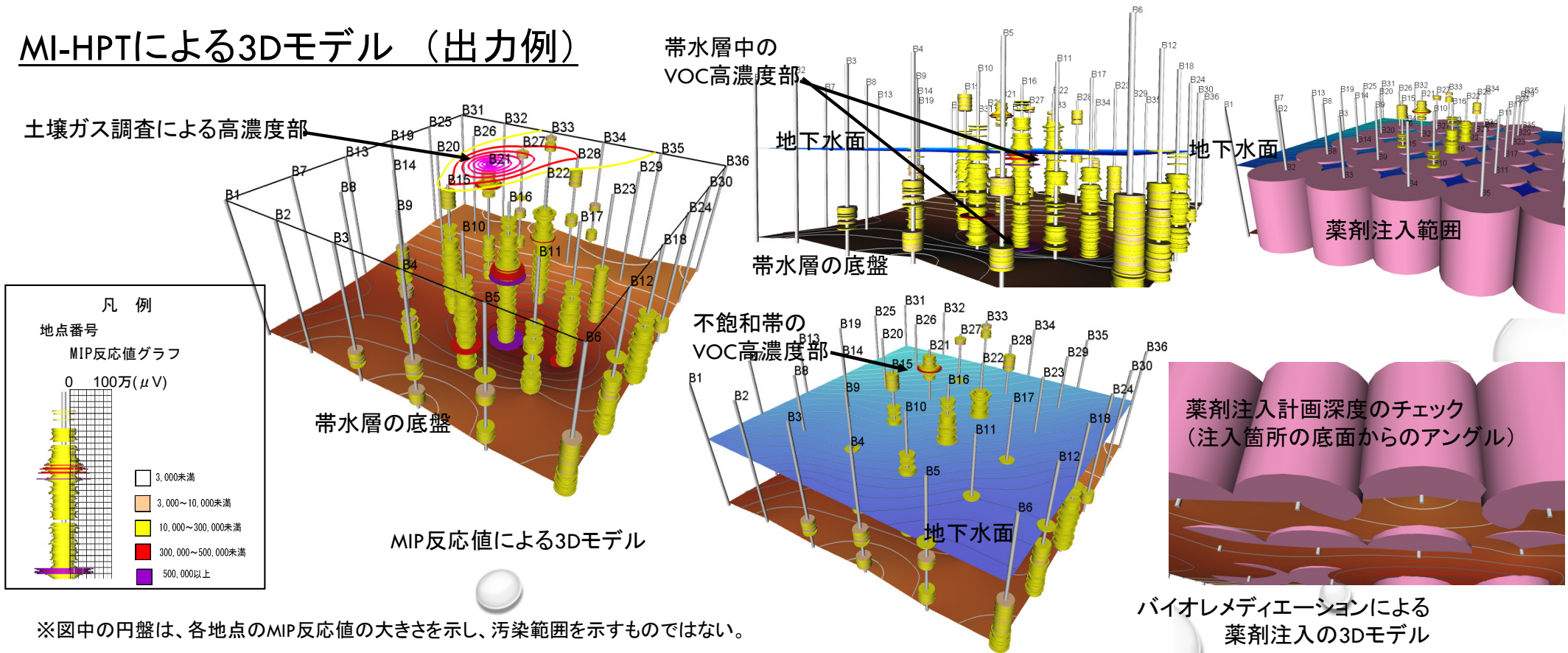
さらに汚染の分布や地層構成、そして地下水面などの位置関係について、より直感的な理解を得るため、ダイレクトセンシングの成果品として3次元モデルを積極的に取り入れたいと考える。

# MI-HPT測定による出力例



MI-HPT (Membrane Interface Hydraulic Profiling Tool)は、地層構成や透水性の測定と同時に、VOCや油による汚染の相対的な濃度を測定することができるシステムである。地下の情報を3Dモデルにすることによって、汚染部分と地質構造との関係を理解しやすく、浄化範囲の最適化や浄化計画モデルのチェックとしても有効と考える。

## MI-HPTによる3Dモデル（出力例）



※図中の円盤は、各地点のMIP反応値の大きさを示し、汚染範囲を示すものではない。