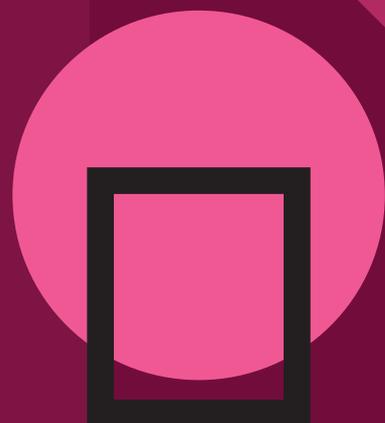


MIDAS
CONSTRUCTION
TECHNICAL
DOCUMENT
COLLECTION

地盤変形・トンネル分野 1



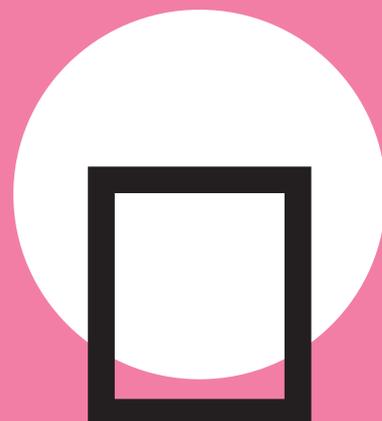
MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION

地盤変形・トンネル分野

1.

開削工事の盤ぶくれ評価への
FEM解析の応用性について

株式会社 大林組 杉江 茂彦 様



開削工事の盤ぶくれ評価への FEM解析の応用性について

株式会社 大林組 杉江 茂彦

本日の内容

2/42

1. 開削工事の盤ぶくれ
 - ・ 既往検討式と土/水連成 F E M
2. 盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）
 - ・ 観察、FEM再現性
3. ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例
 - ・ FEMの応用性/可能性



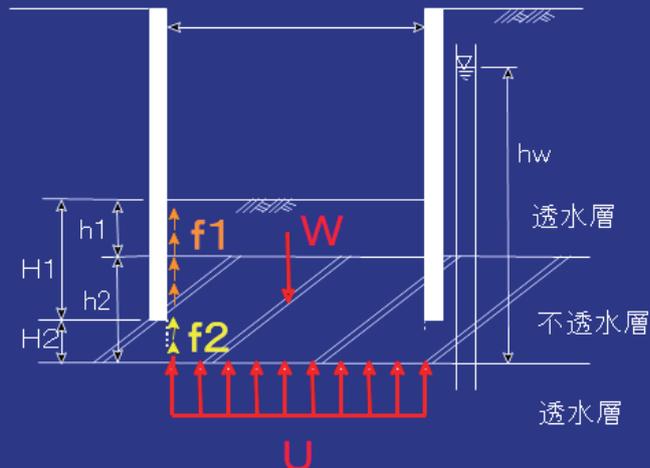
盤ぶくれの検討式

荷重バランス

$$\frac{W}{F_{s1}} + \frac{2f_1H_1}{F_{s2}} + \frac{2f_2H_2}{F_{s3}} \geq U$$

壁面摩擦

地盤のせん断強度



例えば、 $F_{s1} = 1.1, F_{s2} = F_{s3} = 3.0$

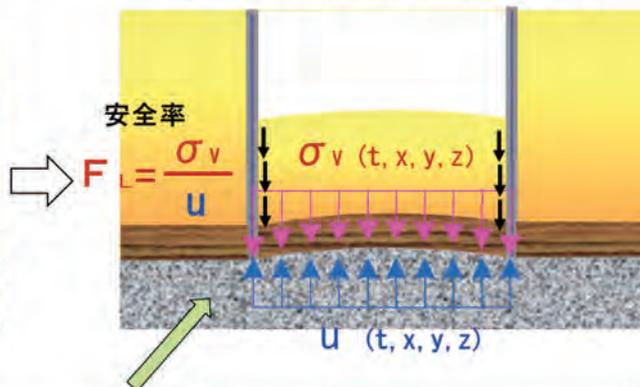
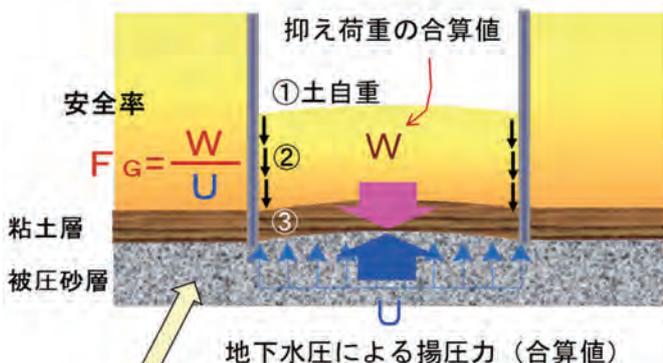
盤ぶくれ 慣用検討式 v. s. FEMでの安全率の定義

慣用の検討式 (どこもかしこも減圧)

FEM (そこだけ減圧)

総和量の比較でどこでも同じ安全率

場所ごとに安全率を得られる



慣用の安全率

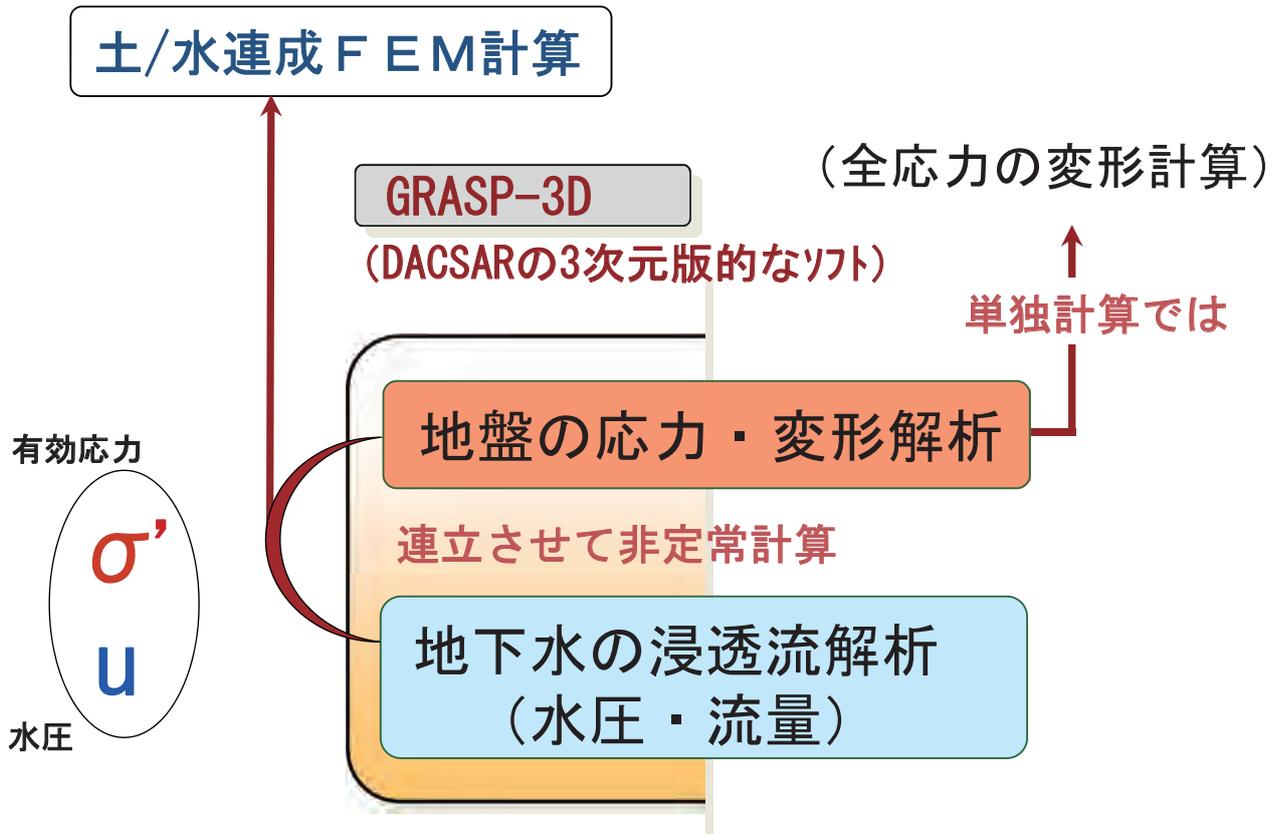
$$F_G = \frac{W_{①+②+③}}{U}$$

土/水連成FEMで安全率をつくると

粘土層下端の鉛直全応力 (残留土被り圧)

$$F_L(t, x, y, z) = \frac{\sigma'_v + U}{U} \rightarrow \sigma'_v \leq 0$$

鉛直有効応力 間隙水圧 盤ぶくれ



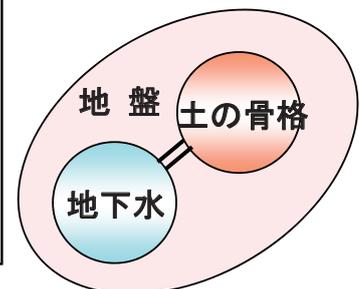
土/水連成 FEM 計算の支配方程式

Biotの多次元圧密理論

弱形式によるFEM定式化

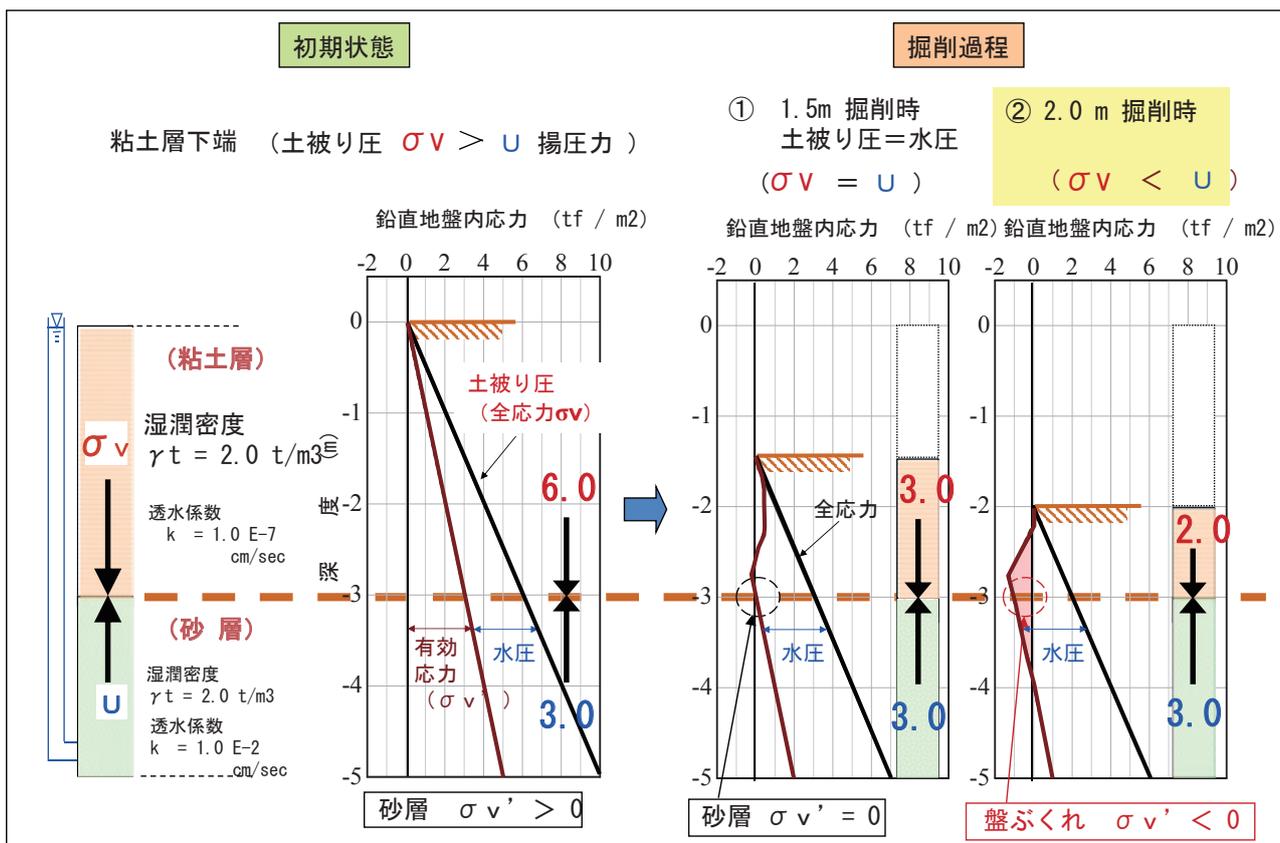
格 壘 の 土	つりあい条件	$\dot{\sigma}_{ij,j} = 0$
	応力 ~ ひずみ	$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl} \dot{\epsilon}_{kl} - \dot{\sigma}^R_{ij}$
	ひずみ ~ 変位	$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(\dot{u}_{i,j} + \dot{u}_{j,i})$
	有効応力の原理	$\dot{\sigma}_{ij,j} = \dot{\sigma}'_{ij} + \dot{p}_w \delta_{ij}$
水 下 地	連続条件	$\dot{\epsilon}_v = -v_{i,i}$
	Darcy 則	$v_i = -k_{ij} \cdot h_{,j}$
	$\left(h = \frac{p_w}{\gamma_w} + \Omega \right)$	Ω : 位置水頭

粘性土層
・ 関口・太田
モデル 1977
・ 大野・飯塚
太田 2006
修正型
コントラクションに
非線形性
(弾塑性・
弾粘塑性)



土/水連成FEM の性能検証

(1次元掘削問題で試算)



本日の内容

1. 開削工事の盤ぶくれ

- ・ 既往検討式と土/水連成 FEM

2. 盤ぶくれの遠心模型実験 (伊藤政人他、2002)

- ・ 観察、FEM再現性

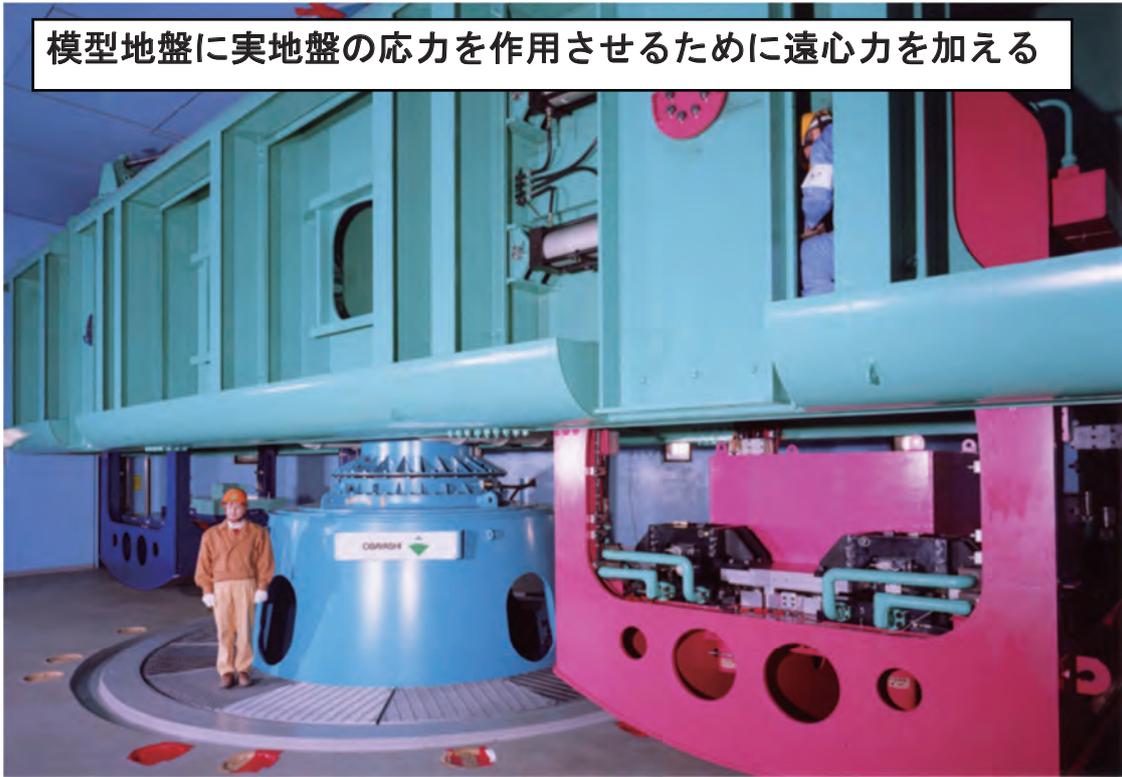
3. ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例

- ・ FEMの応用性/可能性



遠心実験装置全景

模型地盤に実地盤の応力を作用させるために遠心力を加える



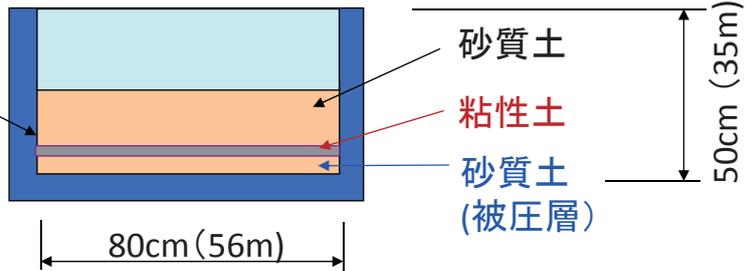
回転半径 : 7.4m バケット : 2.2×2.2 m 最大遠心重力 : 120G

実験ケース

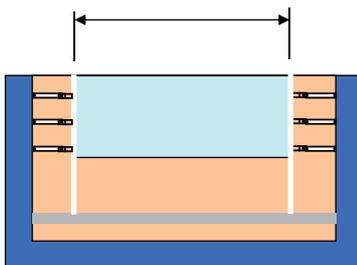
載荷 : 70G

$B = \infty$

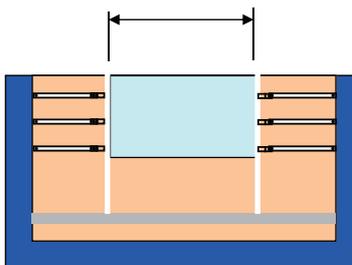
テフロンシートにより
摩擦を除去



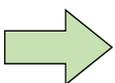
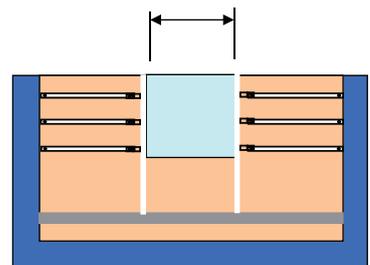
B = 60cm (42m)



B = 36cm (25m)



B = 20cm (14m)

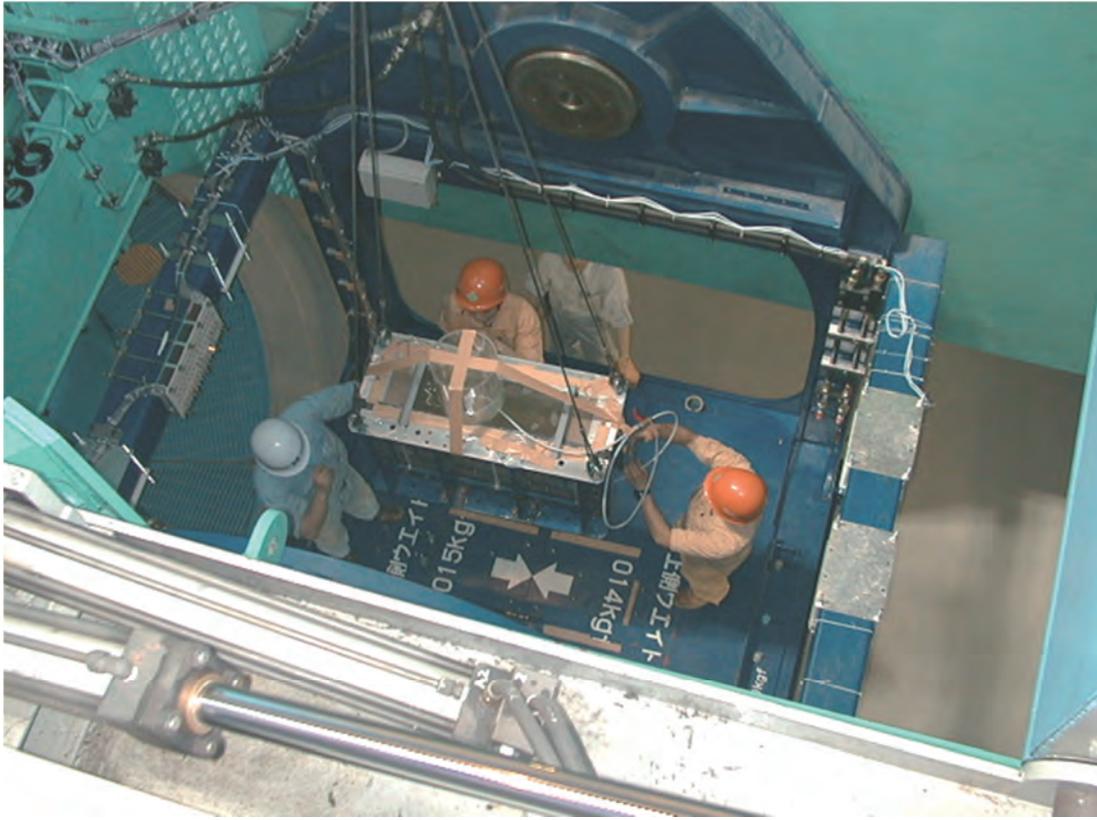


盤ぶくれ抵抗に及ぼす壁面摩擦の寄与度を把握

実験準備状況

11/42

バケット搭載



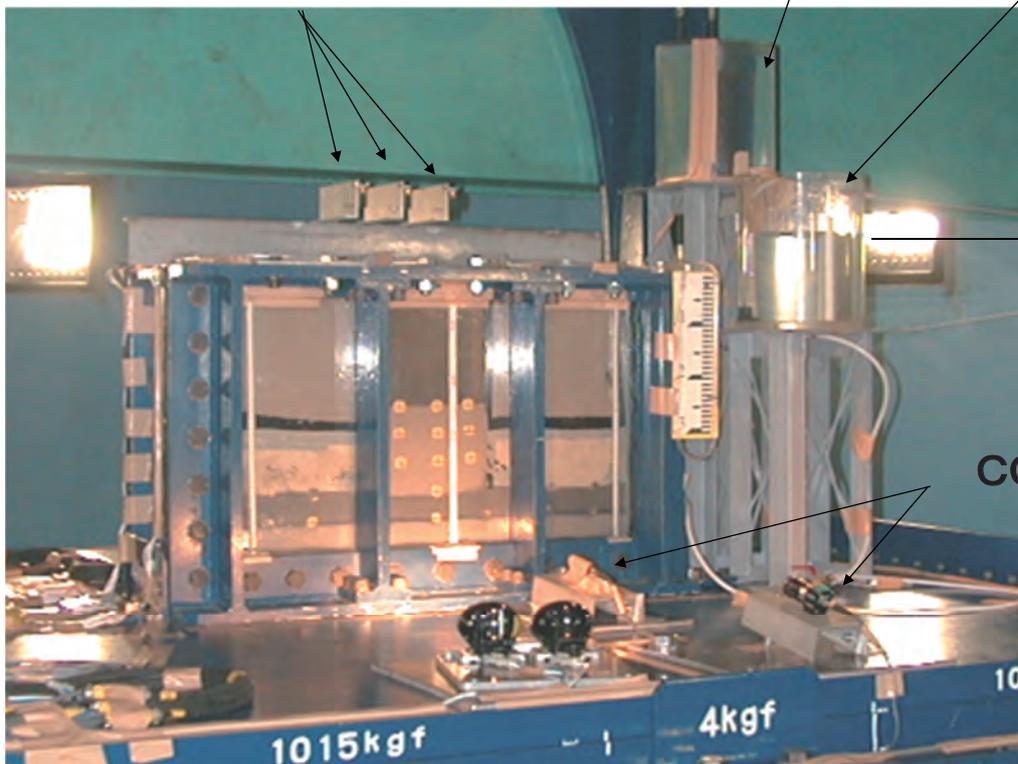
実験準備状況

12/42

レーザー変位計

補給タンク

給水タンク

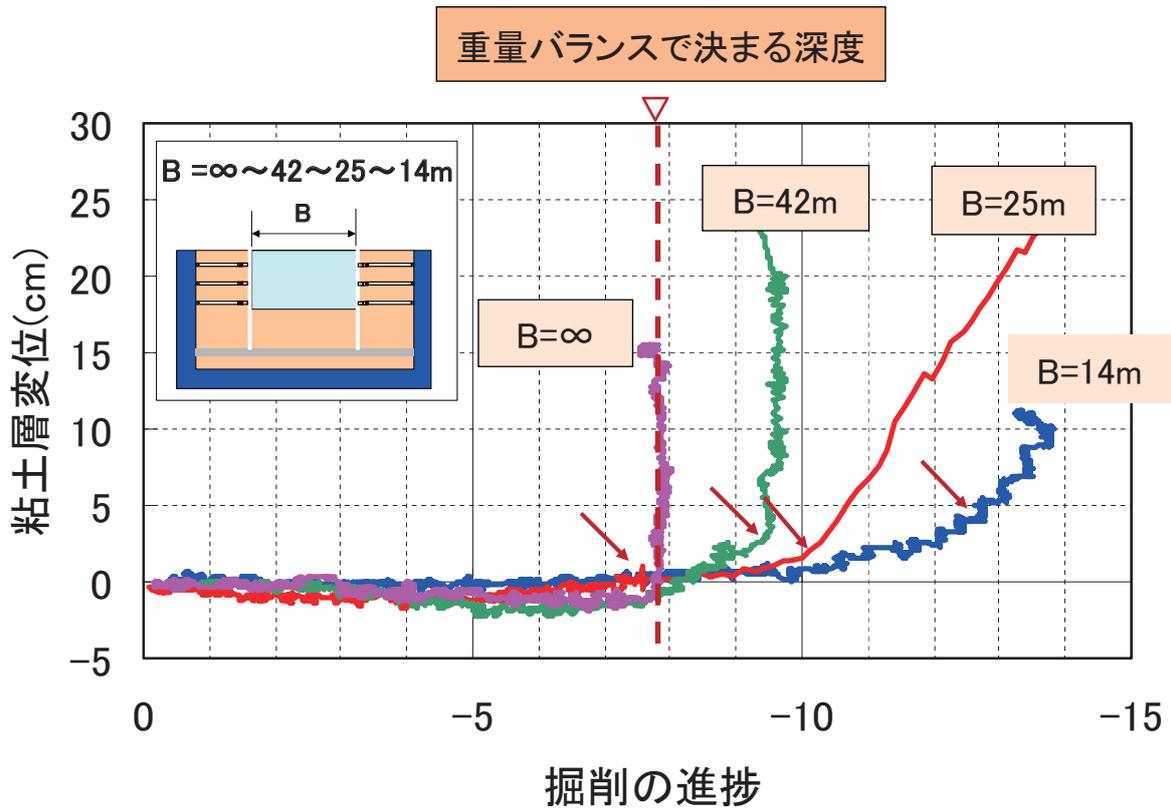


被圧水位

CCDカメラ

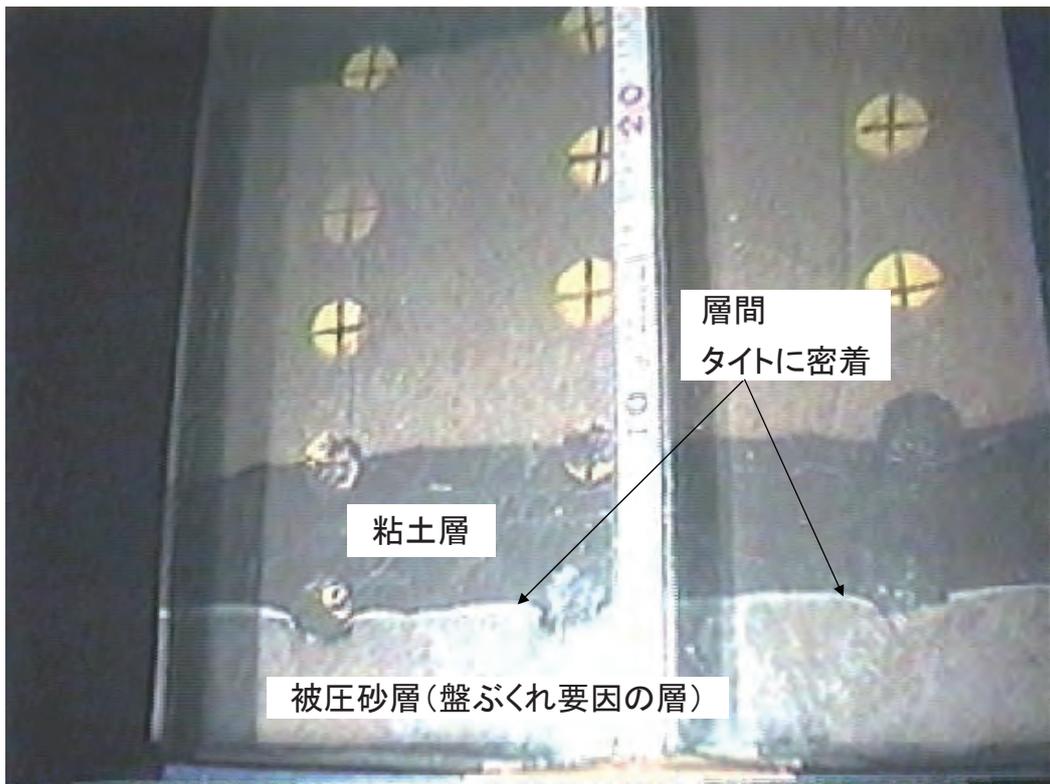
実験結果（掘削の進捗と粘土層の変位）

13/42

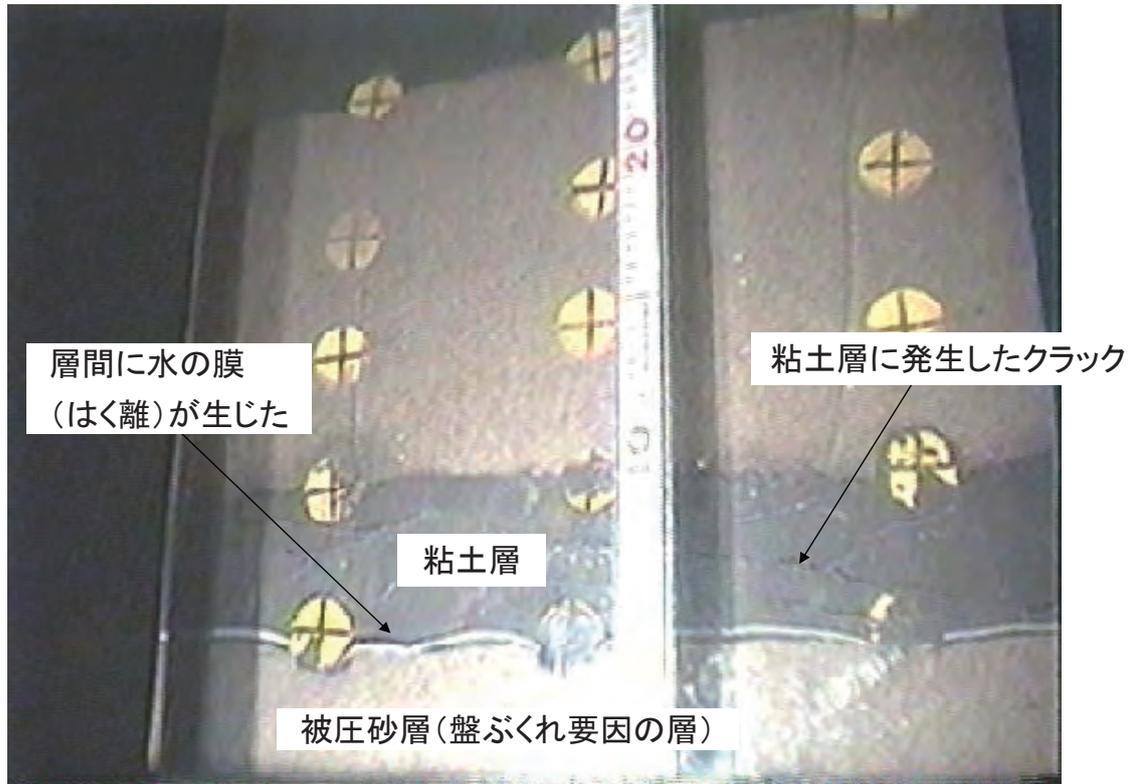


盤ぶくれ前の掘削底部地盤の状況

14/42



盤ぶくれ中の掘削底部地盤の状況

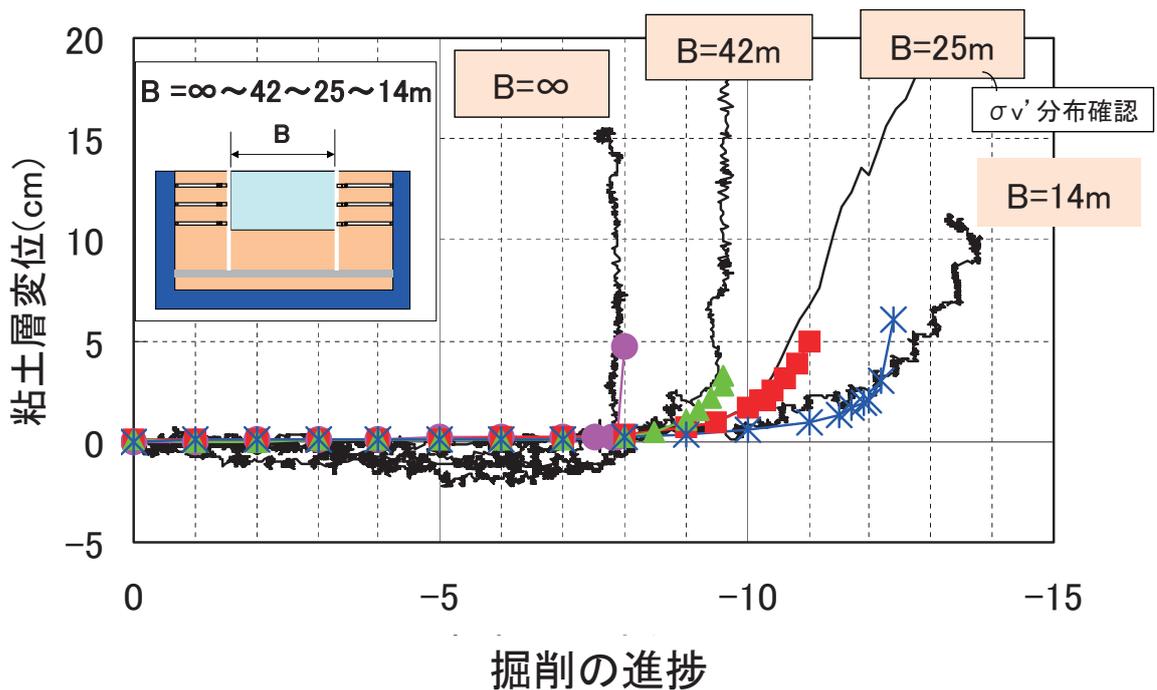


実験と解析の比較

DACSAR

掘削の進捗と粘土層の変位

— 実験
カラー線 解析



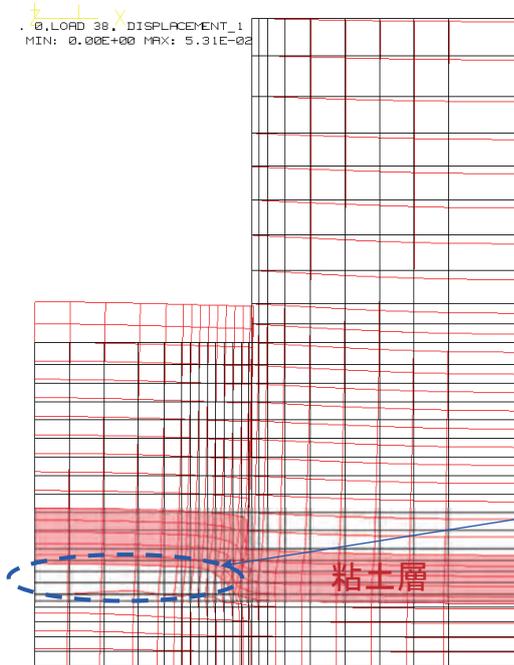
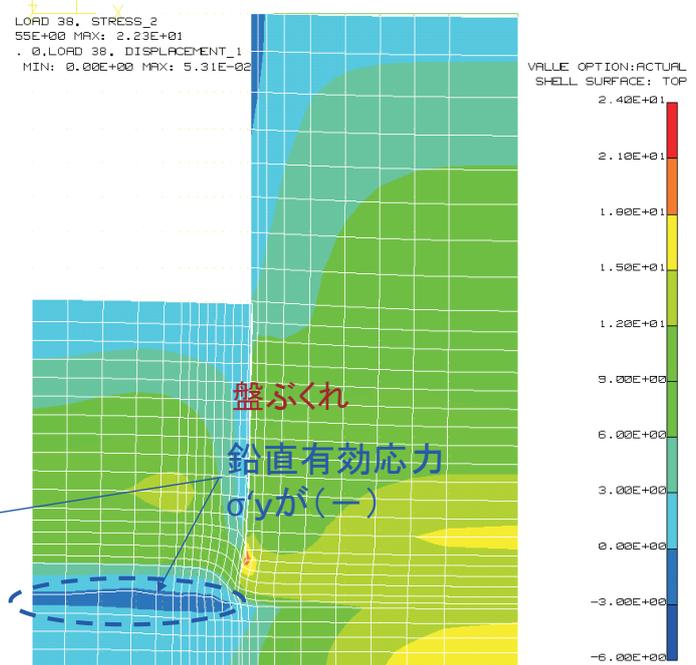
解析結果

17/42

B=25m 38STEP $\Delta H=11.0m$

DAC SAR

変形図

鉛直有効応力コンター : σ'_v 

遠心実験と土/水連成 FEM解析 まとめ

18/42

実験

- ・ 盤ぶくれの観察
(被圧層内上部に水膜・粘土層境界に剥離)
- ・ 壁 / 地盤 間の摩擦の盤ぶくれ抑制効果

解析

- ・ 盤ぶくれの場所では有効応力がマイナス
- ・ 壁の効果も実験と同様感度よく違いが出る
(盤ぶくれの評価に応用できそう)

本日の内容

19/42

1. 開削工事の盤ぶくれ
 - ・ 既往検討式と土/水連成 F E M
2. 盤ぶくれの遠心模型実験（伊藤政人他、2002）
 - ・ 観察、FEM再現性
3. ビル建築/逆打ち建屋同時施工事例
 - ・ FEMの応用性/可能性



20/42

ビル地下階の逆打ち施工事例：大阪

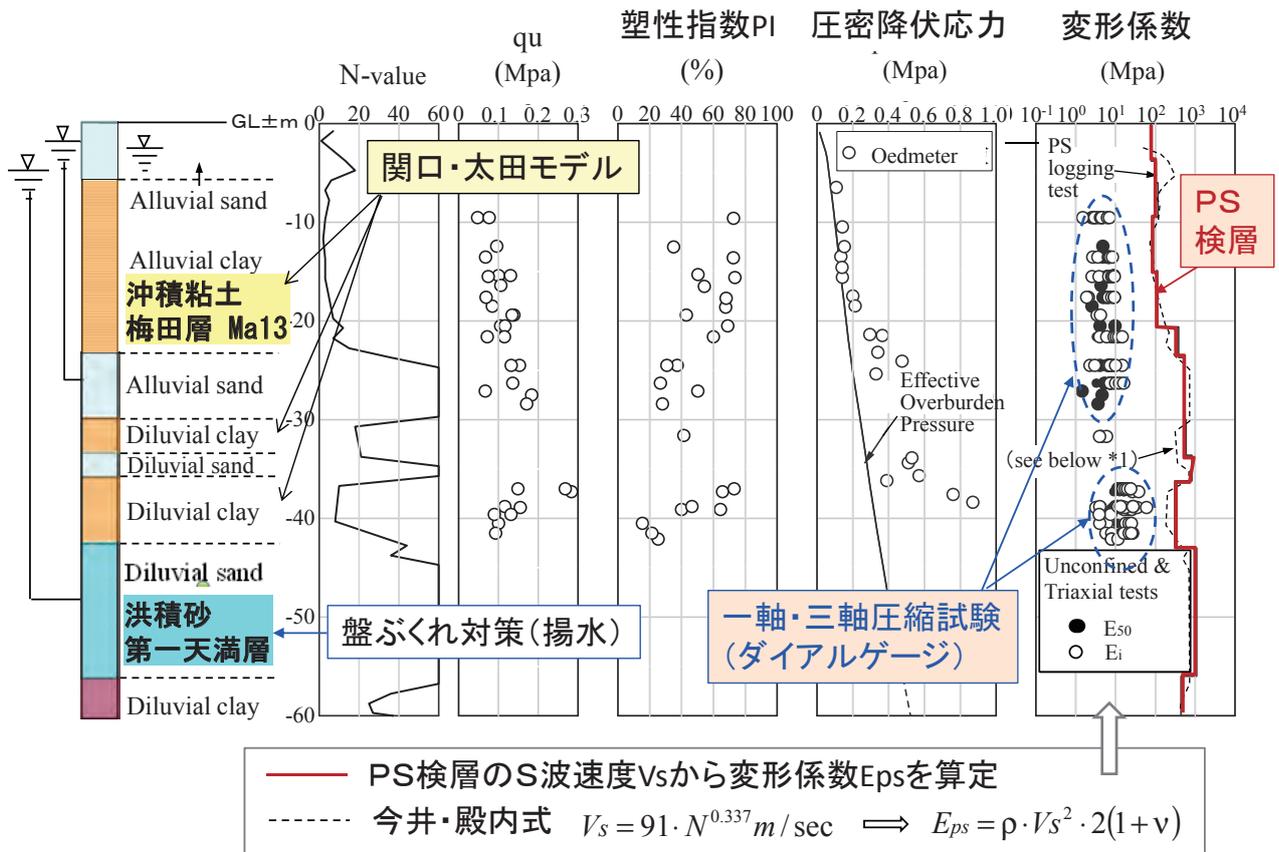
土/水連成FEM

■ 施工時の挙動のシミュレーション

■ 盤ぶくれ検討への応用性/可能性

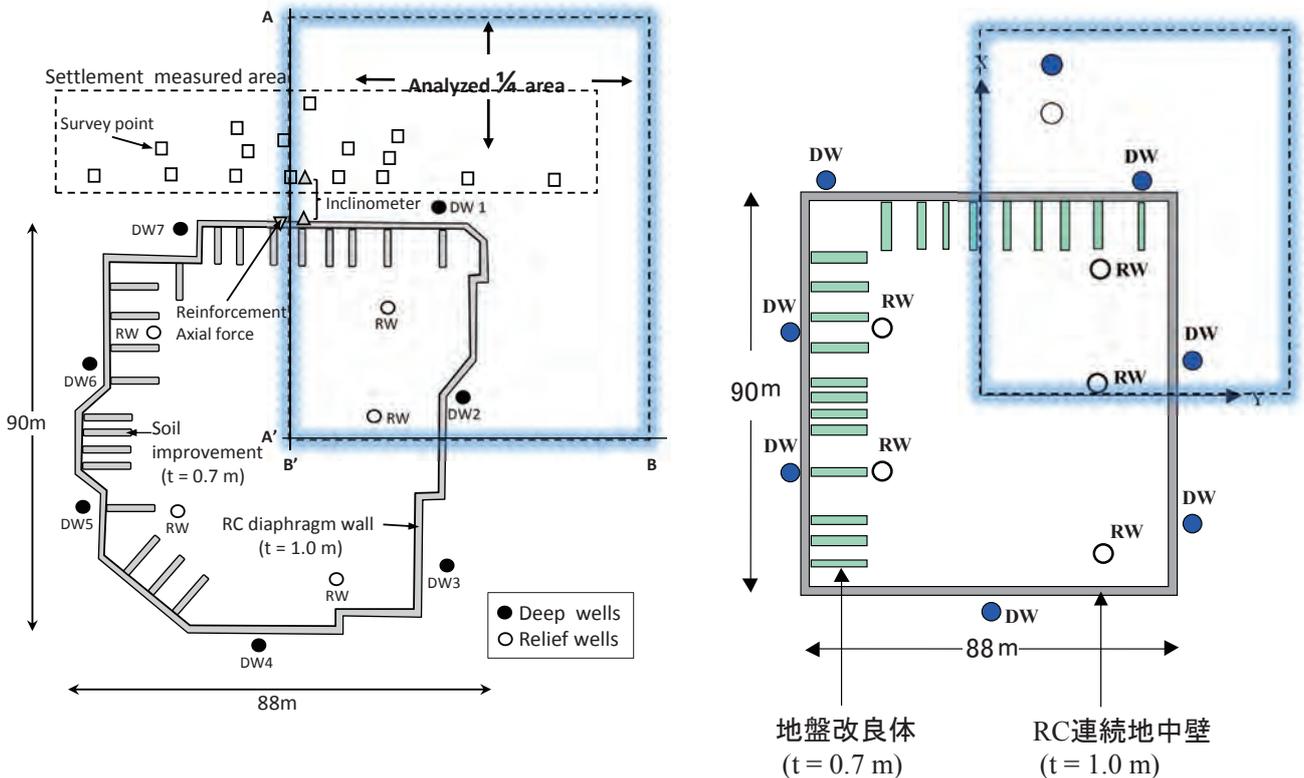


サイト地盤の概要



掘削平面と解析領域

モデル化(単純に)



地盤のモデル

粘土層

関口・太田モデル
(定数設定法)
Iizuka, Ohta
(S&F, 1986)

室内試験
(圧密・三軸
塑性指数、他)

砂層

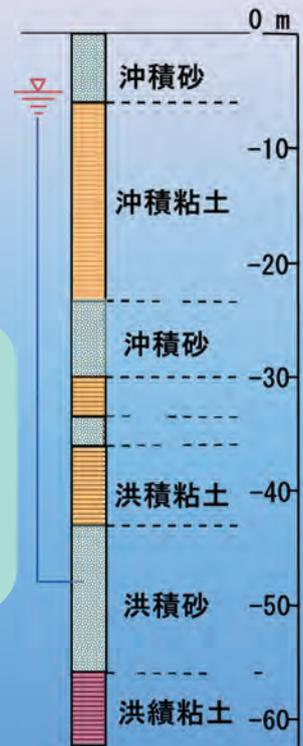
線形弾性(今回)
 $E=0.2\sim0.5 \times Eps$

変形係数 Eps

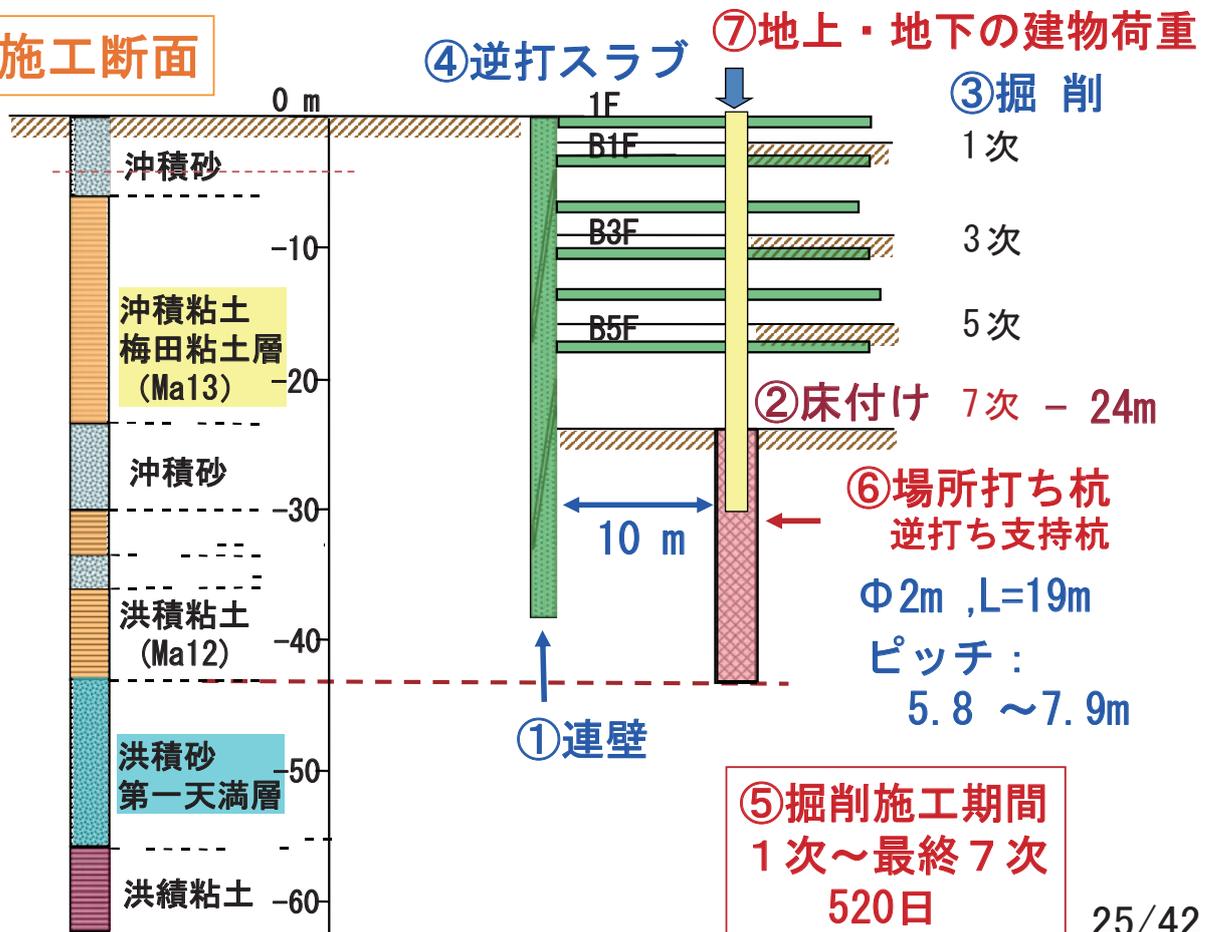
Vs : PS検層
 Vs : 相関式
今井・殿内
 $Vs=91 \times N^{0.337}m/sec$

非線形
・ Hardin-Drnevich
・ Drucker-Prager (C', ϕ')

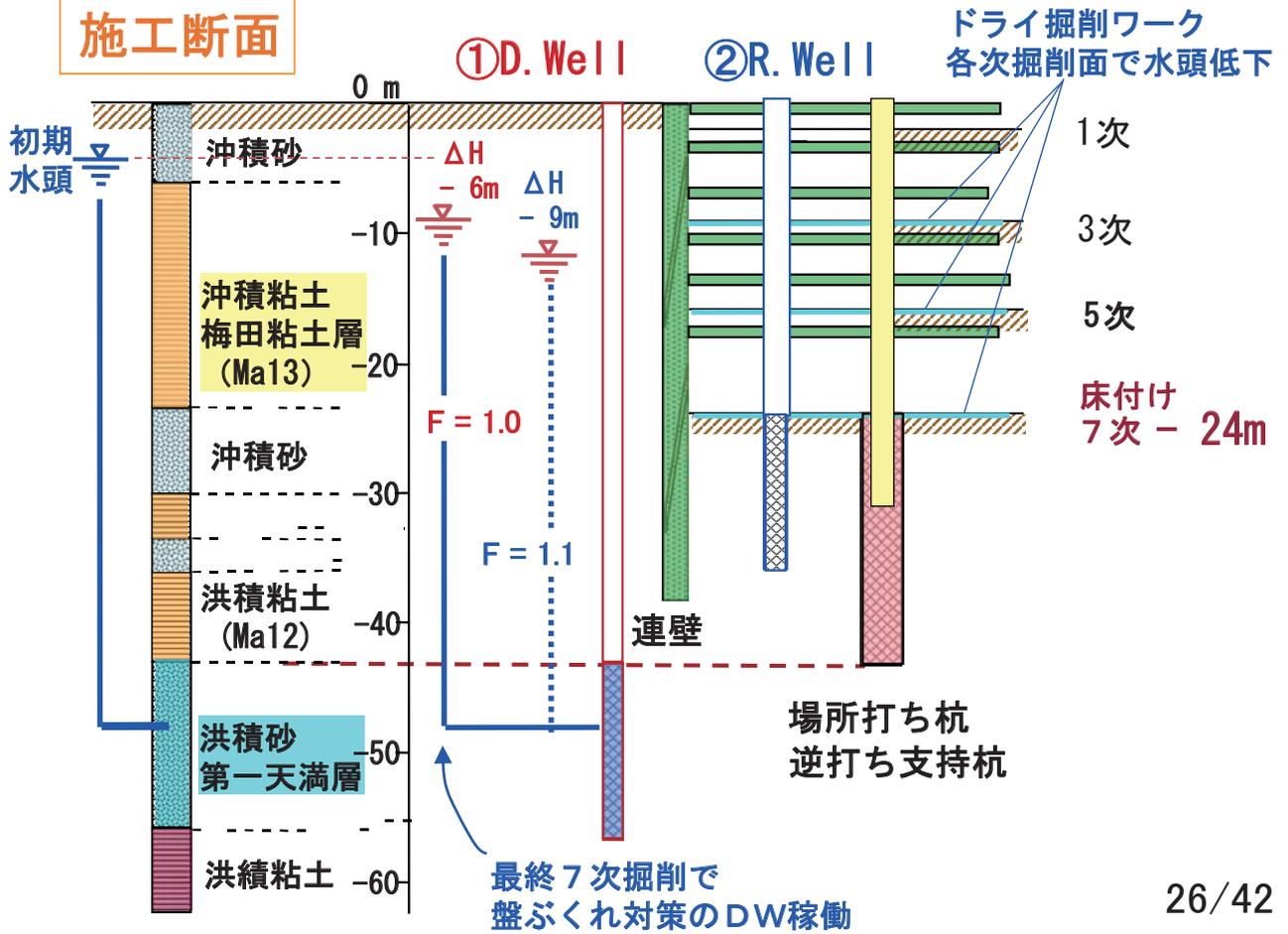
透水性 ↔ 現場透水試験



施工断面



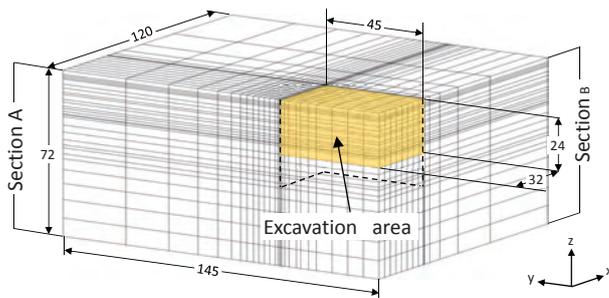
施工断面



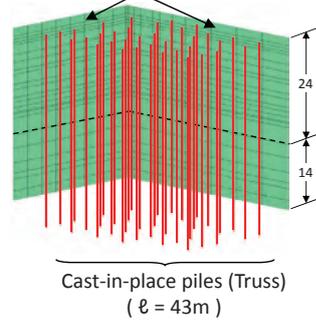
26/42

RC床版逆打ち・掘削施工のモデリング

27/42



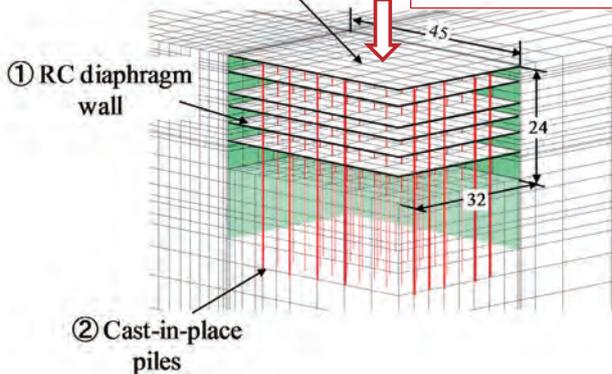
Reinforced concrete diaphragm wall (Shell)



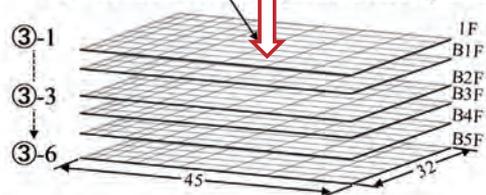
③ Reverse concreting slab braces

建屋同時施工の自重載荷

地下RC床版の自重載荷

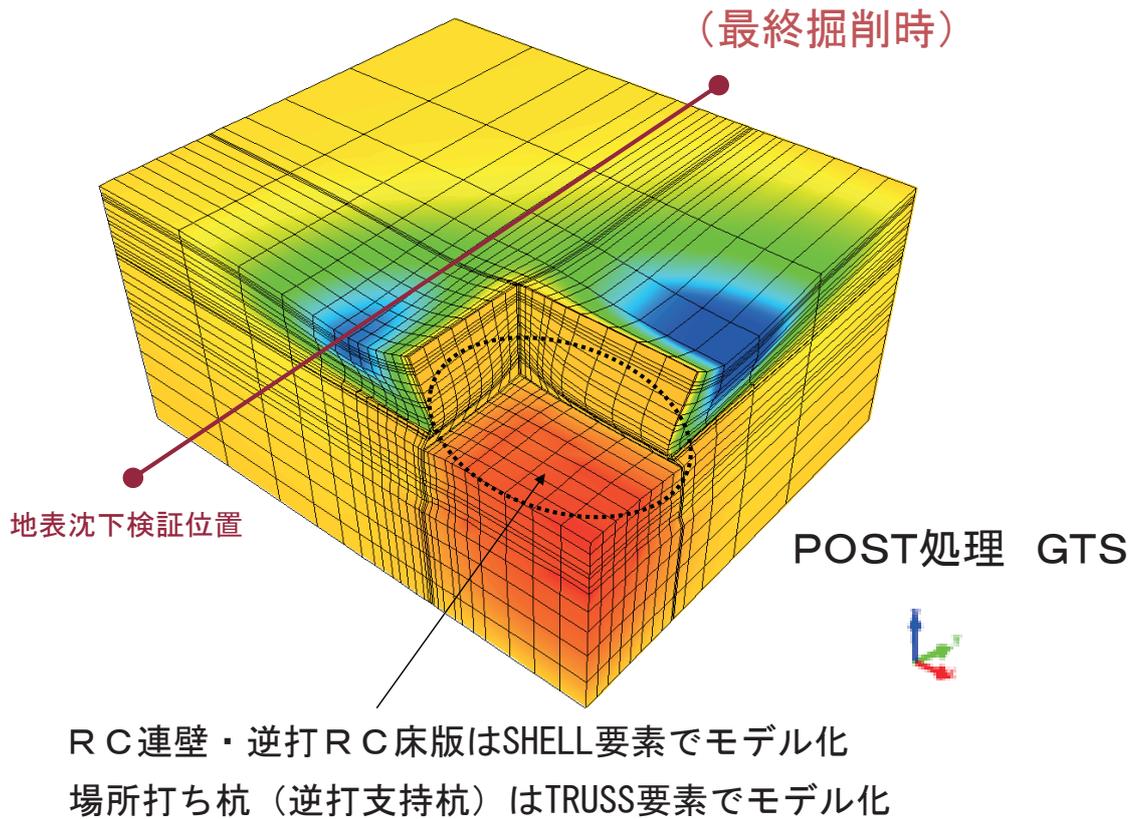


③ Reverse concreting slab braces (Shell)



(Unit : m)

掘削部周辺地盤の変形図と沈下コンター 28/42



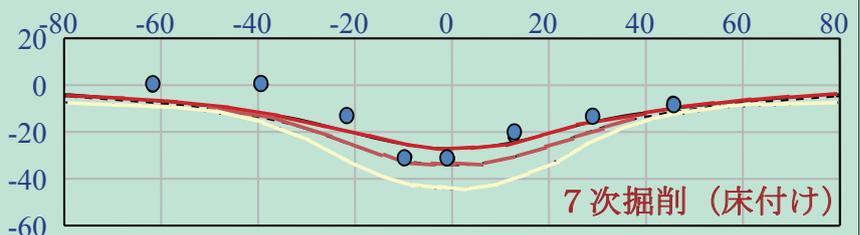
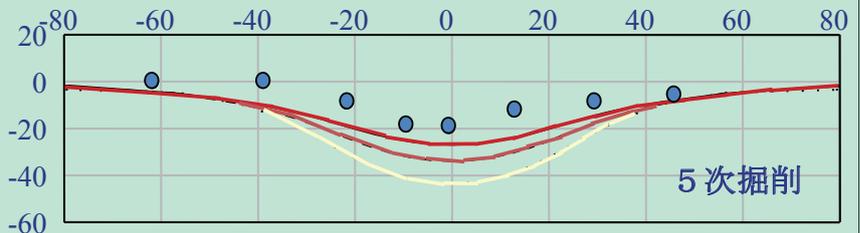
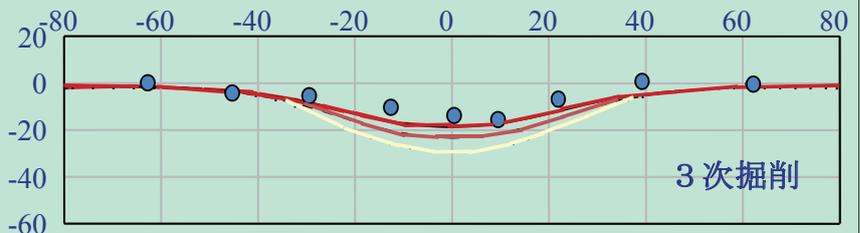
背面地盤の地表沈下

29/42

土留め壁と平行な方向 (m)

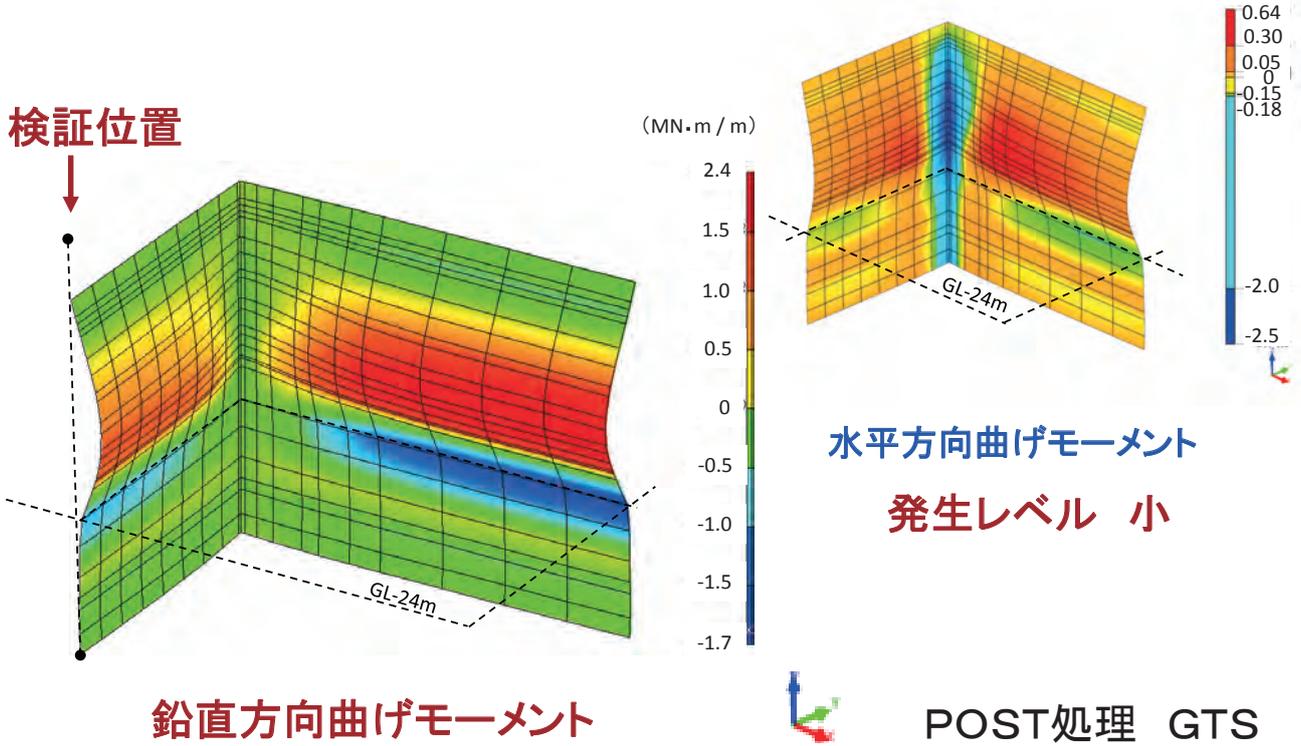
実側値	●
FEM (E: 砂層の変形係数)	
E=Eps(PS 検層)	— (Red)
E=Eps × 0.5	— (Dark Red)
E=Eps × 0.2	— (Yellow)

地表沈下 (mm)

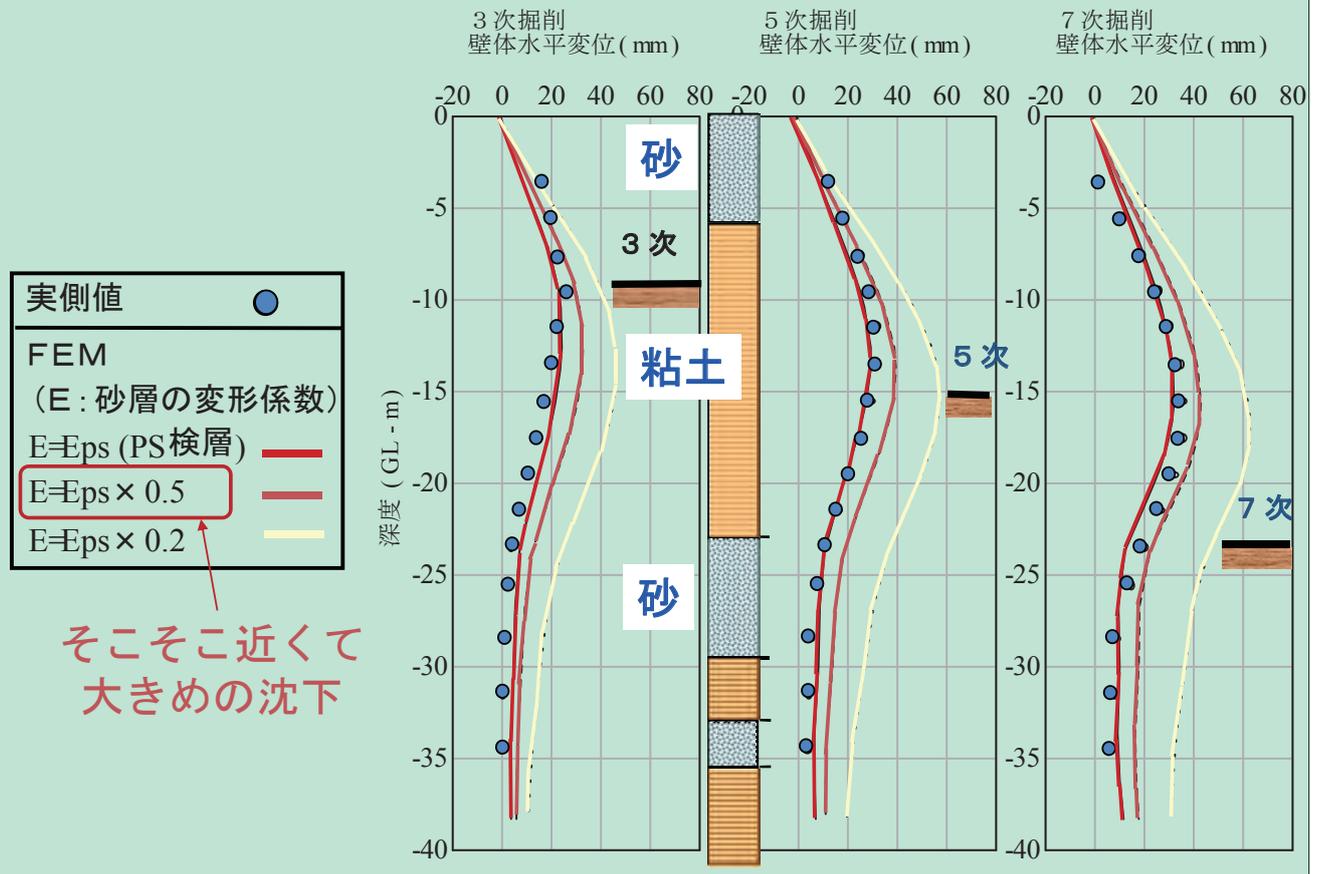


そこそそ近くて
大きめの沈下

土留め壁の変形と曲げモーメントコンター

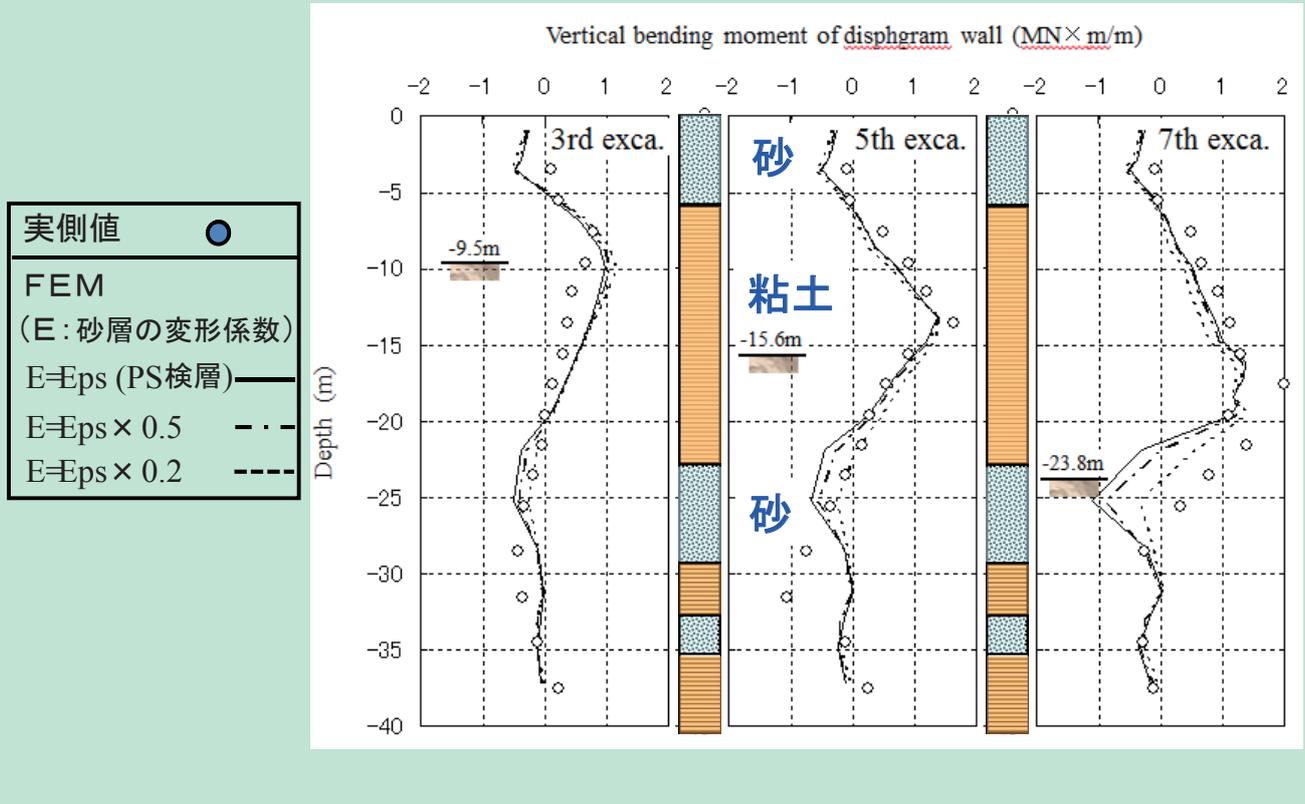


土留め壁の水平変位



土留め壁の鉛直曲げモーメント

32/42



ビル地下階の逆打ち施工事例

33/42

土/水連成FEM

■ 施工時の挙動のシミュレーション

■ 盤ぶくれ検討への応用性

盤ぶくれ抑制要因のモデル化

地盤との
摩擦抵抗

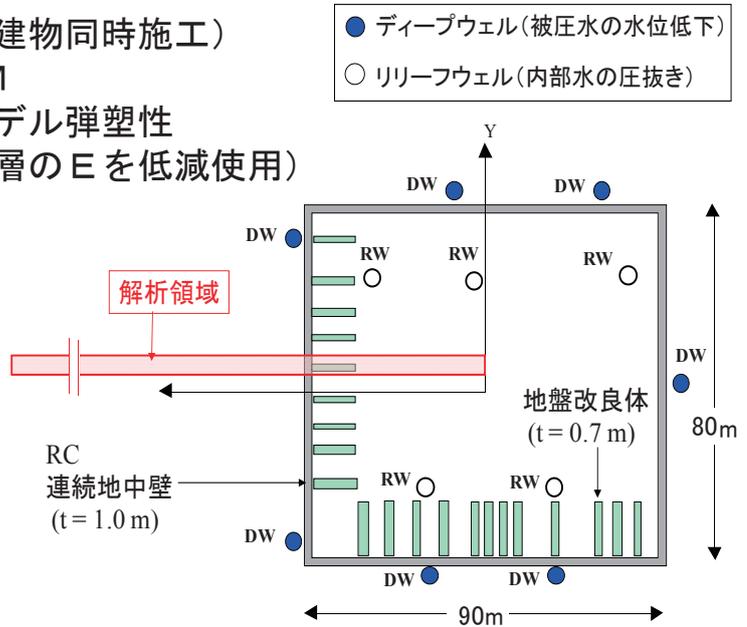
- ・ ディープウェル揚水/被圧地下水位の低下
- ・ 土留めRC連壁
- ・ 場所打ち杭 (逆打ち工法の構真柱)

同時施工の地上階構築部の自重支持

盤ぶくれの検討解析

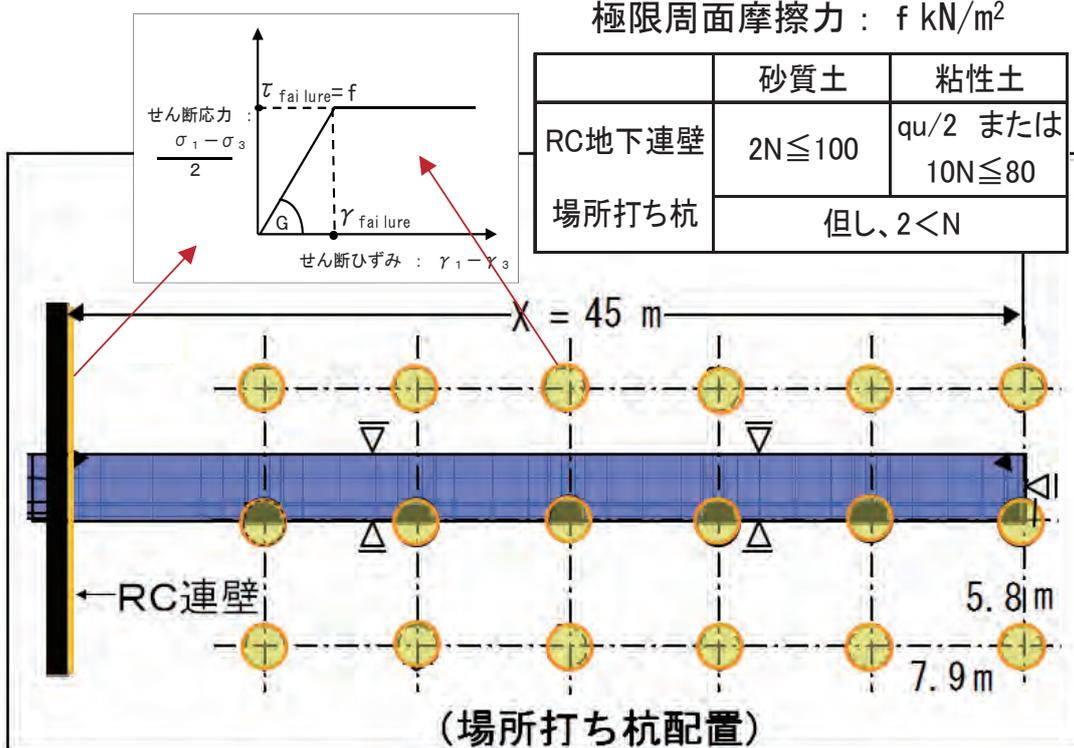
ここでの解析も先述の3次元解析（4分の1モデル）と同様の方法で実施

- ・ 施工過程追跡（逆打・建物同時施工）
- ・ 3次元土/水連成FEM
 - 粘土：関口・太田モデル弾塑性
 - 砂・砂礫：（PS検層のEを低減使用）

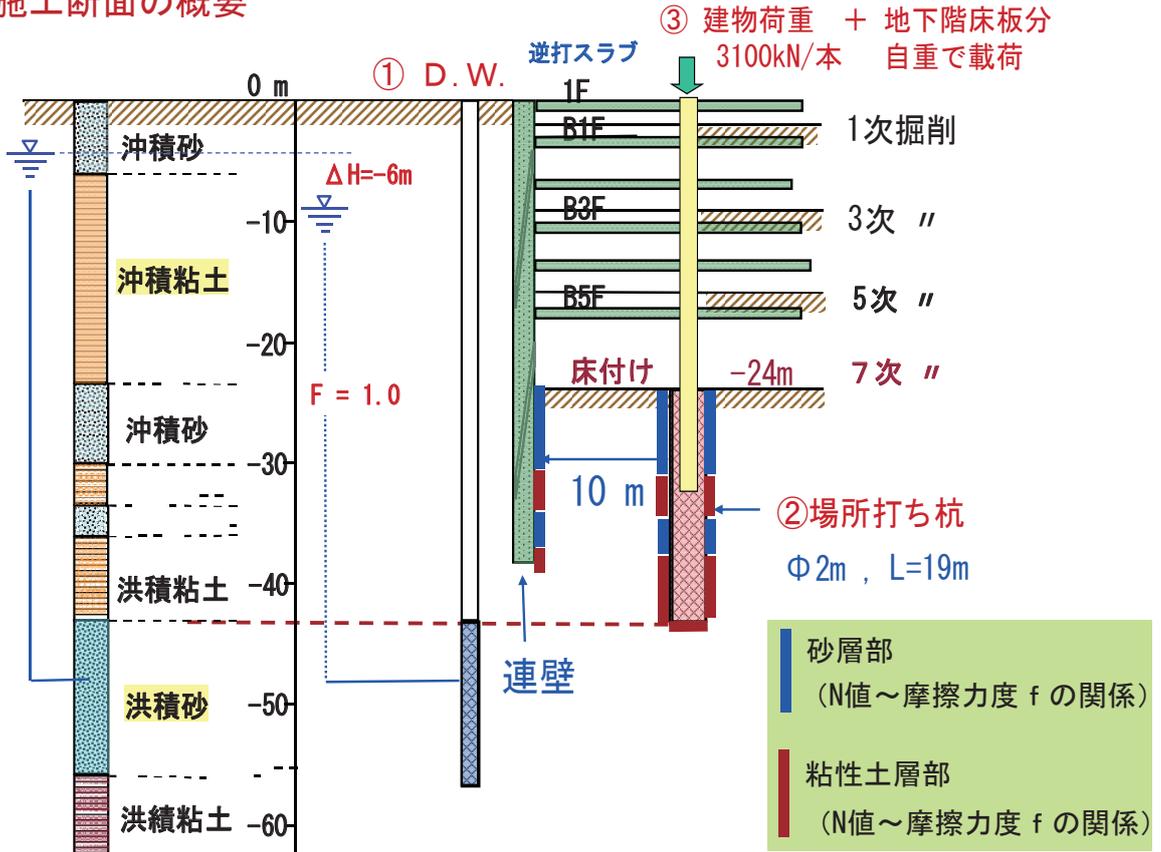


有限要素メッシュの平面図と杭・壁の周面摩擦 35/42

- ・ RC場所打ち杭・RC土留め壁の周面摩擦
鉄道構造物等設計標準・同解説

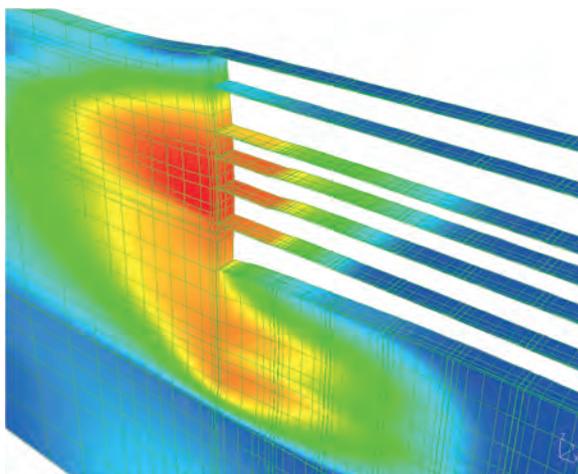


■ 施工断面の概要

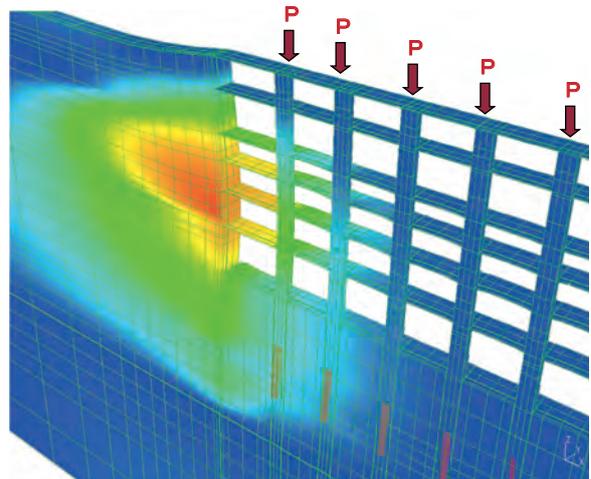


土留めと地盤の水平変位コンター

杭を未考慮

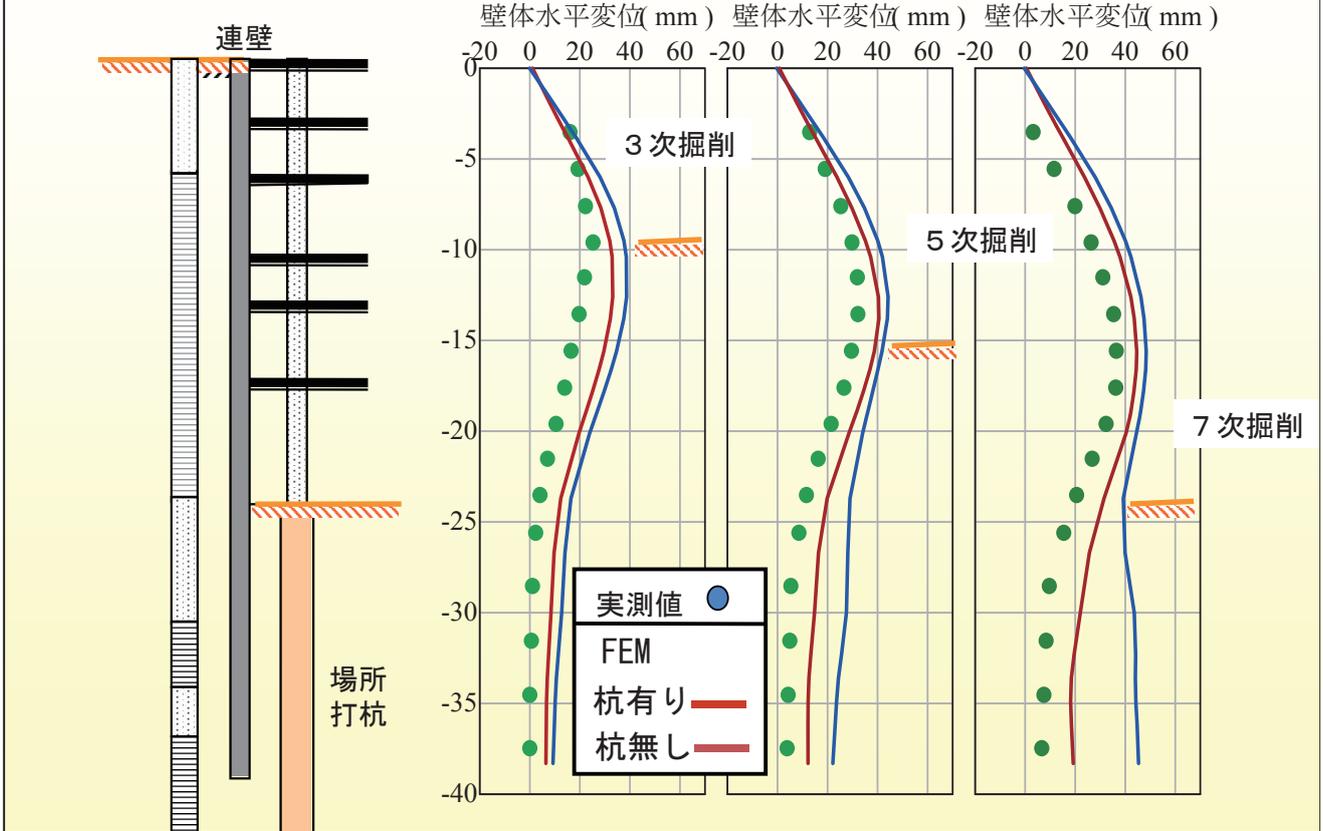


逆打鋼真柱と根入れの
場所打ち杭 (φ200cm) 考慮



杭により掘削底部の地盤が拘束されている。これにより土留めと周辺地盤の変位が抑制されている。(明るい色ほど変位大)

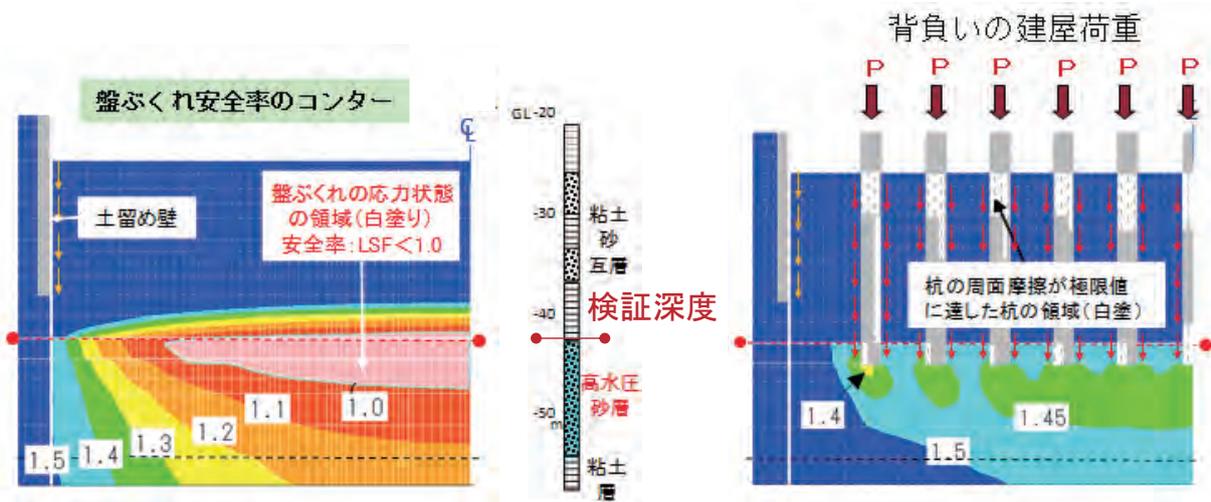
土留壁の変位 地盤まわりの条件を全部入れ込む



土/水連成 F E M解析

掘削底部地盤の盤ぶくれの安全率コンター (FL)

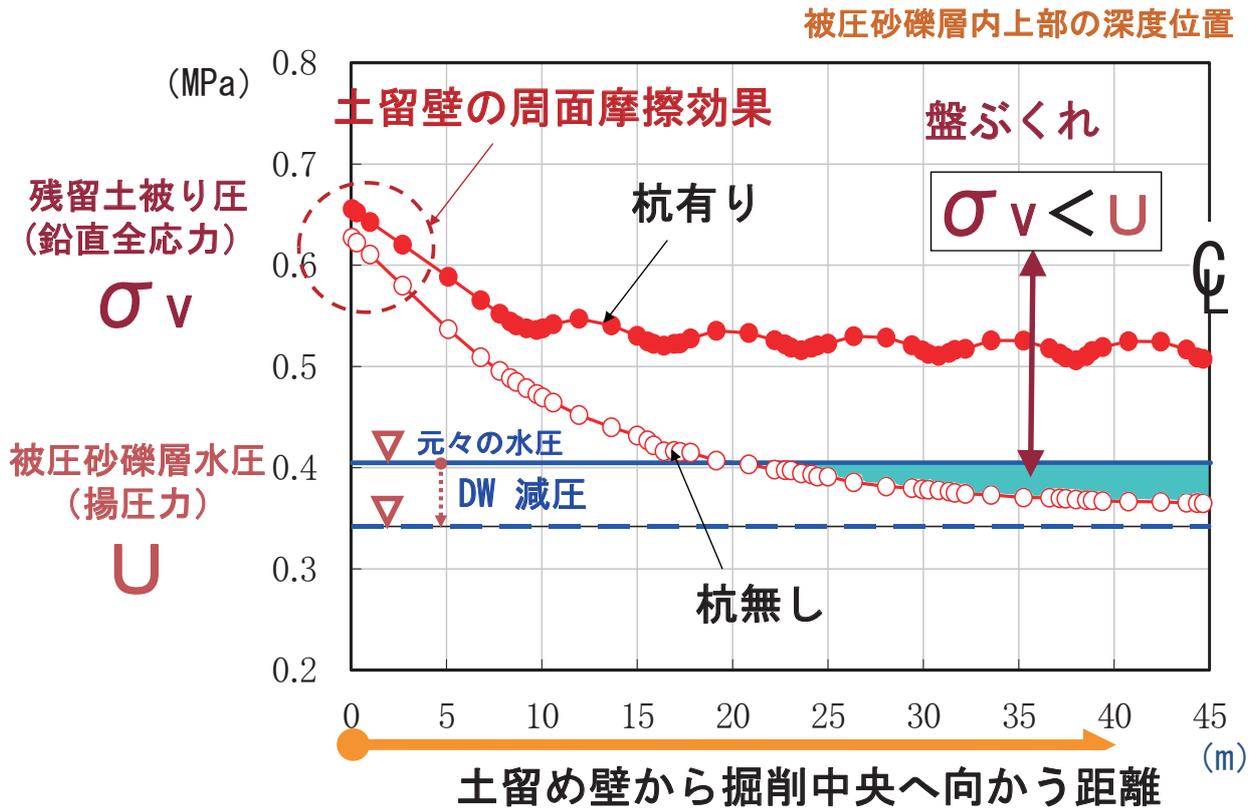
地下水低下対策が無しで杭の効果と比較



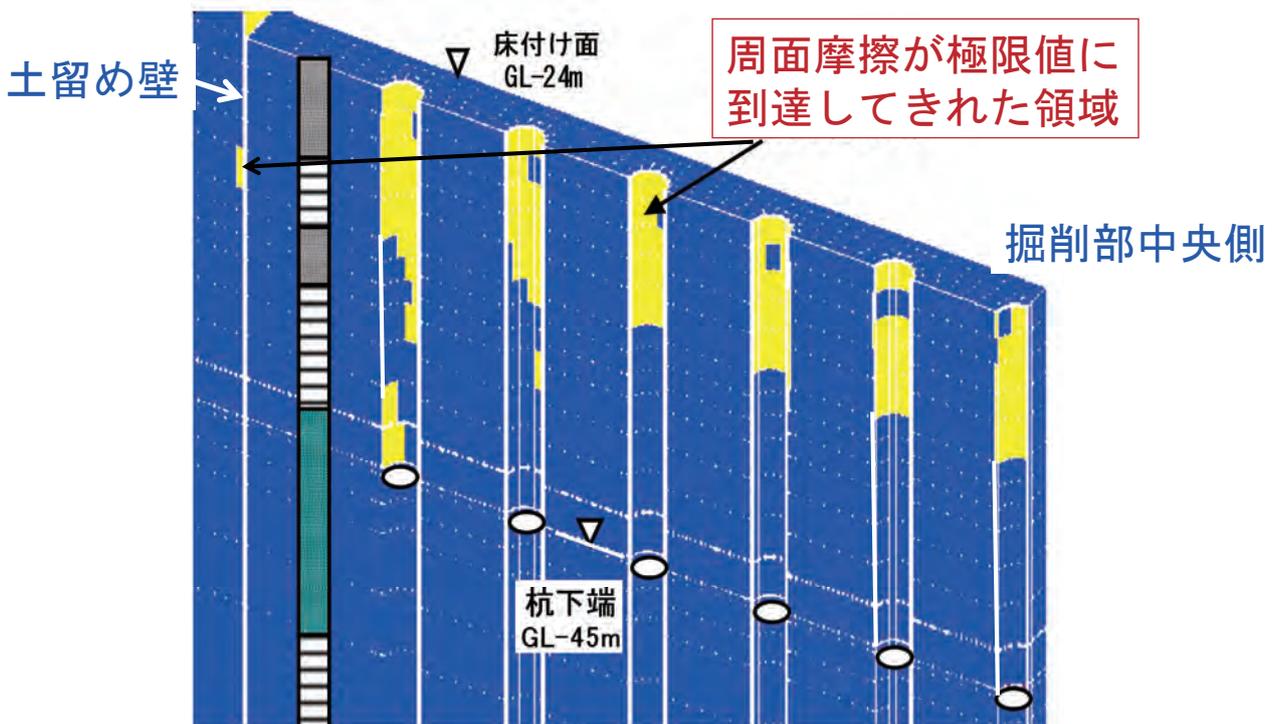
杭を未考慮

杭を考慮
(建物荷重・杭周りの周面摩擦)

残留土被り圧と被圧水圧の大小関係



杭根入れ部の場所打ち杭と土留め壁の周面摩擦

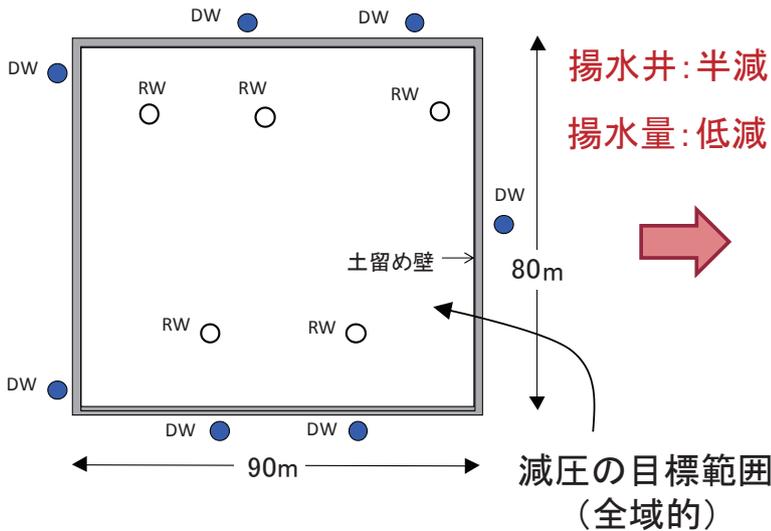


盤ぶくれ対策の揚水井戸の配置のあり方

従 来

慣用の検討式 (どこもかしこも減圧)

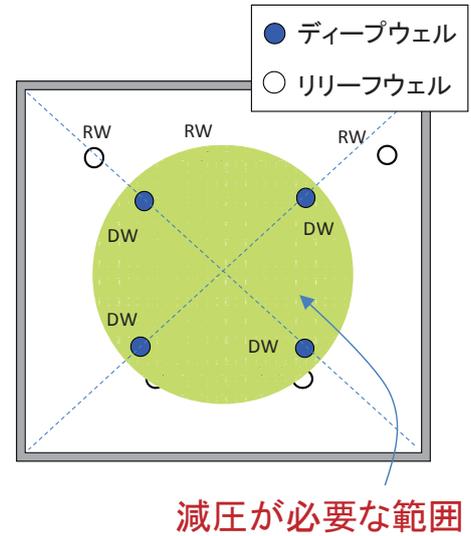
安全性を開削域全体で単一評価



今 後

FEM (危ないところだけ減圧)

安全性を場所ごとに評価



開削工事の盤ぶくれ評価へのFEM解析の応用性

期待・効果

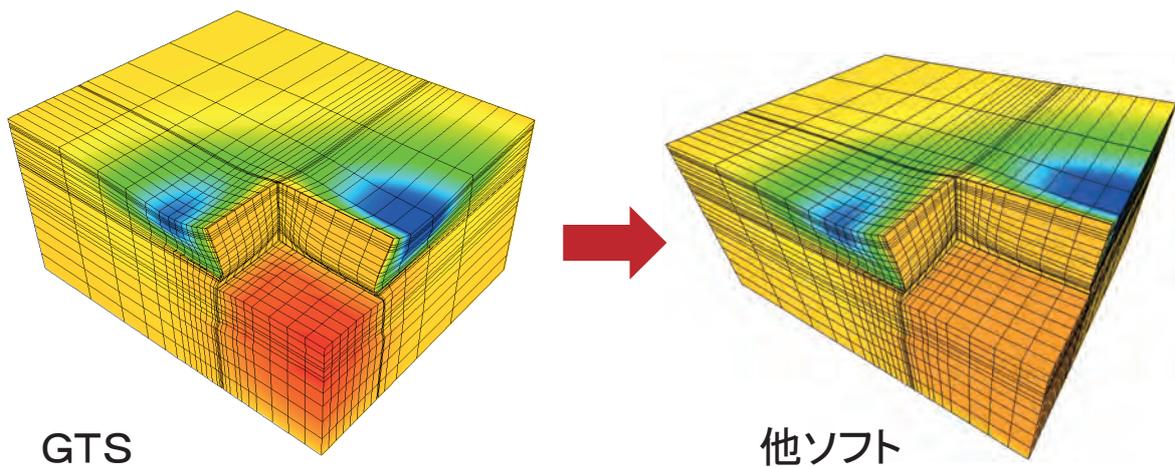
- 確度の高い評価 (揚水井の本数・排水コストの低減)
- 環境影響を軽減 (圧密沈下・地下水環境)

適用条件

- 杭の効果期待は逆打ち施工の建屋同時施工の場合に限定 (建物荷重による抑えがある場合のみ)
- 掘削地盤の計測・安定管理 (浮き上がりの収束性の確認
* 層別沈下計の不動点(アンカー)を確実にとる)
- 被圧砂礫層の在り方、介在状況が明快な場合であること

要望

パースを与えて描画する場合のパースの
度合いを高めて描きたい



以上で発表を終わります。
ご静聴、ありがとうございました。

地盤変形・トンネル分野

MIDAS CONSTRUCTION TECHNICAL DOCUMENT COLLECTION



株式会社マイダスイテジヤパン

〒101-0021 東京都千代田区外神田5-3-1 秋葉原OSビル7F

TEL 03-5817-0787 | FAX 03-5817-0784 | e-mail g.support@midasit.com | URL <http://jp.midasuser.com/geotech>

Copyright © Since 1989 MIDAS Information Technology Co., Ltd. All rights reserved.