

弾粘塑性有限要素法を用いた粘土地盤の大規模掘削シミュレーション

ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社

正会員

○高田 直明

//

正会員

川下 光仁

西日本旅客鉄道株式会社

石原 利信

京都大学大学院

フェロー会員

岡 二三生

1. はじめに

大阪駅改良工事の一環として、駅北側に大型複合施設（新北ビル）が建設される（図1）。新北ビルを建設するにあたり、軟弱な沖積粘土層において大規模掘削が行われる。本掘削工事は既存高架橋に近接（最近部の離隔 1.3m）しているため、掘削に伴う既存高架橋および軌道への影響を事前に予測することは、安全を確保し、施工法や計測管理の検討を行う上で非常に重要である。本研究では、弾粘塑性構成式を用いた水-土連成有限要素解析法により掘削工事のシミュレーションを行った。

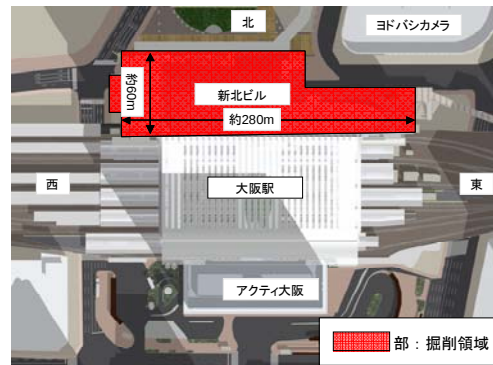


図1 大阪駅平面図

2. 弾粘塑性構成式を用いた有限要素解析法

本研究では、構成式として粘性土の時間依存性挙動（ひずみ速度依存性、クリープ、応力緩和等）と内部構造の劣化・形成によるひずみ軟化・硬化などが表現可能な弾粘塑性構成式¹⁾を用いる。また、解析法として有限変形理論に基づく水-土連成有限要素法²⁾を用いる。

3. 解析条件

(1) 解析モデル

本研究で用いた解析モデルを図2に示す。掘削幅 62m、掘削深さ 20.1m とし、対象性を考慮し半分の断面で解析を行う。土留壁(RC 連続壁)はビーム要素でモデル化し、高架橋等の上載荷重は初期応力解析にて考慮する。また、補助工法としてはソイルバットレス工法を用い、土留壁の変形を抑制する。

(2) 掘削方法

掘削方法は6段切梁7段階掘削の逆打工法とし、第一天満砂礫層(Dg1層)にはリリーフウェルを設け被圧地下水位を調節する。具体的な掘削行程を図3に示す。

(3) 地盤定数

本研究で用いる地盤定数を表1に示す。粘性土は当該地盤で採取したサンプリング試料を用いた三軸圧縮試験、圧密試験およびPS 検層の結果を基に決定した。砂質土は弾性体としN値により決定した。また、ソイルバットレス改良地盤は弾性体とし、バットレス部と現地盤の弾性定数に改良幅より求めた分担率を乗じ平均化したものを用いる。

(4) 解析ケース

本研究は表2に示す通り、補助工法の有無、土留壁の透水係数の違いについて4ケースの検討を行った。

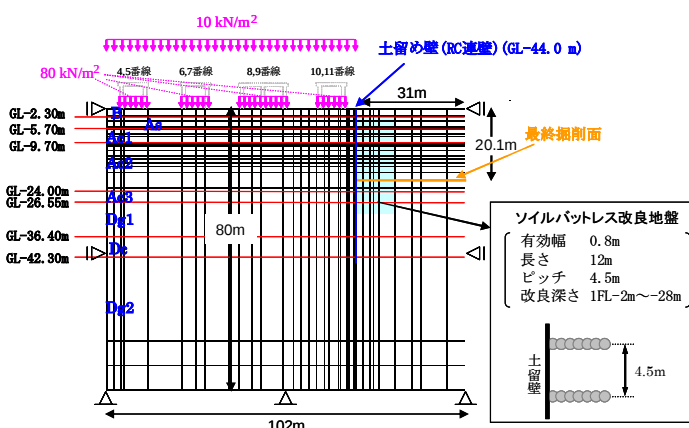


図2 解析モデル

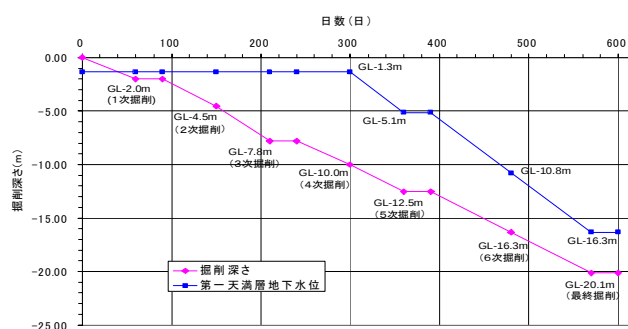


図3 掘削行程

表2 解析ケース

ケース名	対策工	土留壁透水係数
CASE 1-1	なし	$1.0 \times 10^{-7} (\text{m/s})$
CASE 1-2	ソイルバットレス	$1.0 \times 10^{-7} (\text{m/s})$
CASE 2-1	なし	$1.0 \times 10^{-9} (\text{m/s})$
CASE 2-2	ソイルバットレス	$1.0 \times 10^{-9} (\text{m/s})$

キーワード 掘削、軟弱地盤、弾粘塑性、水-土連成有限要素法

連絡先 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル 9F ジェイアール西日本コンサルタンツ(株) TEL 06-6303-1446

表1 地盤定数

(a) 粘土層

地盤定数		Ac1	Ac2	Ac3	Dc
初期間隙比	e_0	1.77	1.77	1.17	1.82
圧縮指数	λ	0.359	0.359	0.359	0.456
膨潤指数	κ	0.0403	0.0403	0.0403	0.0673
初期せん断弾性係数 (kPa)	G_0	27000	27000	92000	108000
体積弾性係数 (kPa)	K	8600	8600	10900	24700
変相応力比	M^*_m	1.102	1.102	1.07	0.776
粘塑性パラメータ	m'	20.38	20.38	12.00	15.00
粘塑性パラメータ (1/s)	C	5.0×10^{-14}	5.0×10^{-14}	8.0×10^{-12}	1.6×10^{-12}
過圧密比	OCR	1.22	1.22	1.84	1.76
圧密降伏応力 (kPa)	σ'_{mbi}	$\sigma'_0 \times OCR$	$\sigma'_0 \times OCR$	$\sigma'_0 \times OCR$	$\sigma'_0 \times OCR$
構造パラメータ (kPa)	$\sigma'_{maf} / \sigma'_{mbi}$	0.522	0.522	0.577	0.381
構造パラメータ	β	5.5	5.5	5.5	25.0
単位体積重量 (kN/m^3)	γ	17.0	17.0	17.0	16.0
透水性係数 (m/s)	k	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-8}

(b) 砂質土層

地盤定数		B	As	Dg1	Dg2
ヤング率 (kPa)	E	25000	30000	150000	150000
ポアソン比	ν	0.32	0.32	0.27	0.28
単位体積重量 (kN/m^3)	γ	18.0	18.0	20.0	20.0
透水性係数 (m/s)	k	5.5×10^{-5}	5.5×10^{-5}	5.0×10^{-4}	4.54×10^{-6}

(c) ソイルバットレス改良地盤

地盤深度 (m)	改良体のヤング率 (kPa)	現地盤のヤング率 (kPa)	改良地盤のヤング率 (kPa)
2.0 ~ 5.7	350000	30000	87000
5.7 ~ 9.7	660800	16600	131000
9.7 ~ 24.0	660800	25300	138000
24.0 ~ 26.55	660800	27400	140000

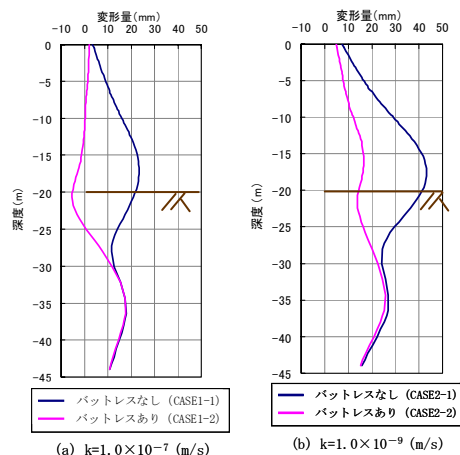


図4 ソイル壁変位量

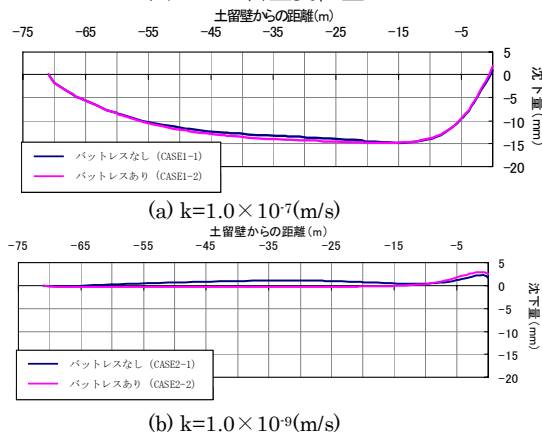
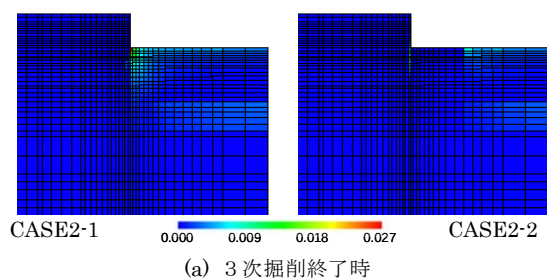
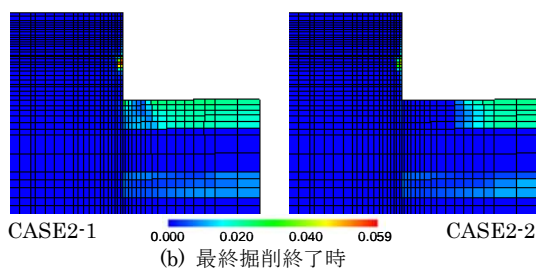


図5 ソイル壁背面地盤の沈下形状



(a) 3次掘削終了時



(b) 最終掘削終了時

図6 蓄積粘塑性偏差ひずみ

4. 解析結果

(1) 土留壁変位量

最終掘削終了時の土留壁の変位量を図4に示す。ソイルバットレスを考慮した時、バットレス部 (GL-2m~GL-28m) の土留壁の変位量が低減されていることが分かる。CASE1-1 (CASE1-2) の土留壁の変形量が CASE2-1 (CASE2-1) と比較して小さいのは、CASE1-1 (CASE1-2) の方が土留壁からの漏水量が多く、背面の水圧が小さくなったためである。

(2) 背面地盤変形量

最終掘削終了時の土留壁背面地盤の変形量を図5に示す。土留壁の変形量は CASE1-1 (CASE1-2) の方が CASE2-1 (CASE2-1) よりも小さいのに対して、背面地盤の沈下量は CASE1-1 (CASE1-2) の方が大きい。これは背面の水圧の減少に伴う圧密沈下が影響していると考えられ、今回の検討では土留壁の変形よりも土留壁の遮水性の方が背面地盤の沈下に影響を与えと言える。そのため、土留壁施工時には遮水性に十分注意する必要がある。

(3) 蓄積粘塑性偏差ひずみ

CASE2-1 および CASE2-2 における、蓄積粘塑性偏差ひずみ (γ^{vp}) の分布図を図6に示す。蓄積粘塑性偏差ひずみは以下の式で表され、地盤の損傷度を示す。

$$\gamma^{vp} = \int (de_{ij}^{vp} de_{ij}^{vp})^{1/2} dt \quad de_{ij}^{vp}: \text{粘塑性偏差ひずみ増分テンソル}$$

最終掘削終了時における粘塑性偏差ひずみは CASE2-1 で 5.94%、CASE2-2 で 4.40%となりバットレスの影響で地盤中のひずみの発生量が抑えられている。しかし両ケースともひずみレベルが大きいため施工時に注意が必要である。また、ひずみは掘削に伴い土留壁付近に集中して発生するが、最終的には掘削底面付近にも発生している。

5. まとめ

土留壁変位および粘塑性偏差ひずみに対してソイルバットレスによる効果が確認できた。土留壁の透水性は地盤の変形特性に大きな影響を与えるので施工時に注意が必要である。また、実際の施工では杭及び逆打スラブによるひずみ低減効果が期待できるが、ひずみは土留壁付近だけでなく掘削底面付近にも発生するため注意が必要である。

【参考文献】

- Kimoto, S. and Oka, F.(2005), *Soils and Foundations*, **45**, 2, pp.29-42.
- Higo, Y., Oka, F., Kodaka, T. and Kimoto, S.(2006), *Philosophical Magazine*, **86**, 21-22, pp.3205-3240.