

既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究

（その15）周辺地盤の弾塑性有限要素解析（解析法の検討）

正会員 ○金田一広^{1*}、青木雅路^{2*}、新井寿昭^{3*}
同 沼田俊輔^{4*}、高橋順一^{5*}、二木幹夫^{6*}

既存杭 撤去 埋戻し
周辺地盤 施工過程 弾塑性解析

1. はじめに

本稿では既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩みの要因について数値解析による基本的な検討を行った。

2. 解析パラメータの設定

解析対象の地盤を図1に示す。詳細は参考文献¹⁾を参照していただきたい。ここではパラメータの設定について説明する。弾性、モールクーロンモデル(以下MC)およびSubloading t_{ij} モデル(以下 t_{ij} モデル)を用いた弾塑性解析を行った。表1に材料定数を示す。対象地盤は標準貫入試験、速度検層および排水三軸試験を実施している。弾性およびMCのせん断弾性定数 G は土の密度 ρ (g/cm³)、S波速度 V_s から $G = \rho V_s^2$ として求め、この値は初期剛性であるためさらに1/3とした値を設定した。また、ポアソン比は0.33として、強度定数(粘着力 c , せん断抵抗角 ϕ)は排水三軸試験結果の値を用いた。ただし、Ac2は試験結果がないのでAc1と同等とした。

表1 パラメータ (弾性、MC)

	層厚(m)	N値	Vs(m/s)	湿潤密度 (g/cm ³)	弾性定数			強度定数	
					せん断剛性 (kN/m ²)	修正せん断 剛性(kN/m ²)	ポアソン 比	c (kN/m ²)	ϕ (°)
As1	5.8	8	140	1.78	34888	11629	0.33	13.7	41.6
As2U	3.4	20	200	1.8	72000	24000	0.33	11.3	42.8
As2L	3.3	15	200	1.83	73200	24400	0.33	29.1	37.5
Ac1	2	1	140	1.63	31948	10649	0.33	35.1	0.3
As3	1.5	10	150	1.65	37125	12375	0.33	21.6	35.1
Ac2	4	1	140	1.63	31948	10649	0.33	35.1	0.3

本研究では t_{ij} モデルを用いた弾塑性解析を実施する。このモデルは SMP をベースとした変換応力 t_{ij} を用いた構成モデルで、密度の影響を含め3次元応力下の土の変形・強度特性を包括的に表現できるモデルである。このような弾塑性モデルでは圧密試験や三軸試験などから得られる間隙比~応力関係や応力~ひずみ関係からパラメータを同定する。図2にはAs2L層の拘束圧60kPaでの排水三軸試験結果に対して t_{ij} モデルで fitting した例を示す。応力・ひずみ曲線ではピークまでの剛性の低下などの非線形性、体積ひずみ~軸ひずみ関係では過圧密土特有の初め圧縮して、せん断とともに膨張するダイレイタンシー特性など実験結果をよく再現できている。このように同定したパラメータを表2に示す。なお杭の引

抜きに直接関係しそうな As2L, As2L および As1 のみ

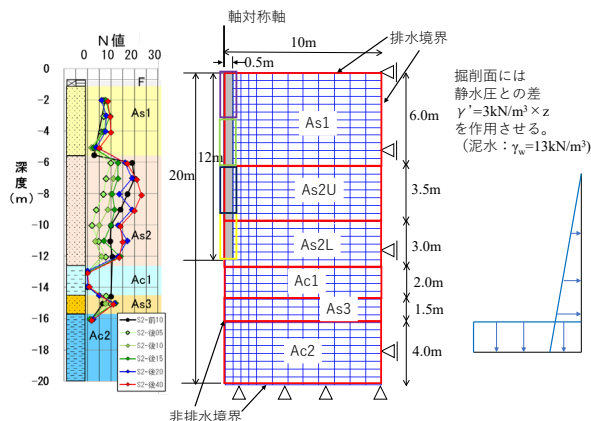


図1 現地状況と解析メッシュ

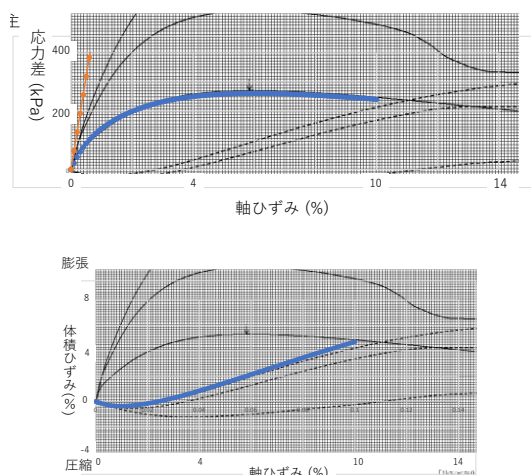


図2 要素試験の同定

表2 t_{ij} モデルのパラメータ

	As1	As2L	As2U
λ	0.1	0.1	0.1
κ	0.01	0.01	0.01
R_s	3	3	3
N	1.3	1.28	1.24
ポアソン比 ν	0.2	0.2	0.2
β	1.5	1.5	1.5
e_0	1	0.98	0.94
a	400	600	400
ka	12	30	12

Study on the effect on the surrounding ground due to removal and backfilling of existing piles Part 15: Elastic-plastic FEM of the surrounding ground (analysis method)

Kazuhiro KANEDA, Masamichi AOKI,
Toshiaki ARAI, Shunsuke NUMATA,
Junichi TAKAHASHI, Mikio FUTAKI

tij モデルとし、それ以外は弾性体と仮定した。なお橙線で示している線は表 1 のせん断剛性から得られるもので参考のため示した。tij モデルの詳細は参考文献²⁾に詳しい。

3. 杭引き抜きを模擬した掘削解析

杭の引抜きの解析は(その 16)³⁾に詳しく報告するが、本報告では弾性、MC および tij モデルでの地盤の掘削の違いについて実際の地盤定数を用いて検討をする。本解析は(その 16)の表 1 の Stage 1 に相当する。杭の引抜きによる地盤の掘削は杭が円柱であることから軸対称条件になる。初期応力は土の湿潤密度から有効応力として設定し、静止土圧係数 K_0 は 0.5 としている。MC の場合は初期せん断応力が大きくなるため等方としている。図 1 に解析メッシュを示す。杭は地表から 12m で、杭の引抜き後の地盤を想定して、地表から 3m ずつの 4 段階でそれぞれ 10 分で掘削していくこととする。また水圧を一定にさせるため 1 日間放置した。掘削面には泥水圧が作用することから泥水圧($\gamma_w=13\text{kN/m}^3$)と静水圧の差分を掘削面に作用させた。解析は土・水 2 相系の解析とし、排水境界は図 1 に示すように設定した。また透水係数は粘土層は 10^{-8}cm/s 、砂層は 10^{-3}cm/s とした。なお、掘削底面はリバウンドしないように変位を固定している。図 3 に孔壁の水平変位を示す。なお弾性では比較のためせん断剛性を 1/10 にした(弾性(剛性 0.1))も示す。弾性と MC は図 2 に示しているように弾性剛性が大きい変位としては小さい。一方、tij モデルの方は変形が進んでいることが分かる。また弾性(剛性 0.1)は当然のこととして弾性の 10 倍の変位が出ている。また、tij モデルでは不連続な箇所がみられる。これは解析上 4 段階で掘削を行った影響であるが、弾性や MC ではそれほど顕著ではない。弾性は載荷履歴に関係はないが、tij モデルのような弾塑性モデルでは載荷履歴の影響があることが分かる。図 4,5 に tij モデルと弾性のせん断ひずみ分

布と平均有効応力分布を示す。弾性はほとんど変形していないが、tij モデルの方は孔壁面にひずみが発生している。弾性の場合、壁面の平均有効応力分布は掘削されているので 0kPa に近い値になっているが周辺地盤へは徐々に大きく遷移しているが、tij モデルでは掘削壁面近くで弾性より有効応力の低下が大きい。この解析は軸対称条件で、中心から半径方向の応力の低下は大きい。孔壁の接線方向の応力は大きくなっていて、平均応力とすると小さくなっているという状態である。いわゆる「アーチング効果」が発揮されていることが示される。弾性(剛性 0.1)のせん断ひずみ分布と平均有効応力分布を図 6 に示す。剛性が小さくなったため変形が生じるが、平均有効応力分布をみると tij モデルのようなアーチングはみられない。

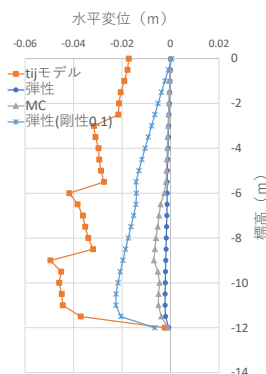


図3 孔壁の水平変位

5. まとめ

tij モデルではせん断とともに剛性が低下していくため変形が大きくなっている。軸対称条件での掘削ではアーチング効果が発揮されることを数値解析で示した。本研究は、(一社)建築基礎・地盤技術高度化推進協議会(ALLF)「既存杭撤去に伴う周辺地盤への影響検討委員会」の活動として行われたものである。また、本解析は、FEM tij-2D プログラム(tij 地盤解析研究会)を用いた。参考文献; 1) 青木雅路、森 利弘他: 既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その1~6)、日本建築学会学術講演梗概集, 2021. 2) Nakai T. and Hinokio M.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, 44(2), 53-70, 2004. 3) 既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その15)、日本建築学会学術講演梗概集, 2023.

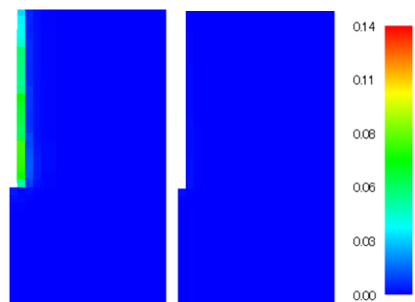


図4 せん断ひずみのコンター図

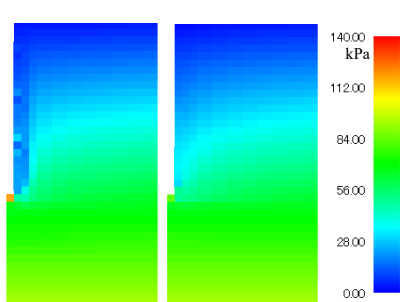


図5 平均有効応力のコンター図

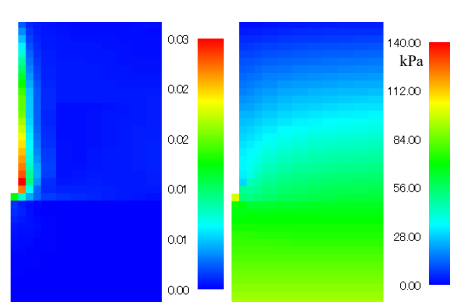


図6 弾性(剛性0.1)のコンター図

*1 千葉工業大学, *2 竹中工務店, *3 西松建設, *4 東京ソイルリサーチ, *5 前田製管, *6 ベターリビング

*1 Chiba Institute of Technology, *2 Takenaka Corporation, *3 NISHIMATSU Construction, *4 Tokyo Soil Research, *5 MAETA CONCRETE INDUSTRY, *6 Center for Better Living