

地盤特性の違いを考慮した土留め背面地表面の沈下挙動に関する数値解析的検討

土留め, 地盤特性, 数値解析

地域 地盤 環境 研究所

国際会員

○譽田孝宏

名古屋工業大学

国際会員

Hossain M. Shahin

名古屋工業大学

国際会員

中井照夫

1. はじめに 土留め掘削に伴う背面地表面の沈下を検討する場合, 最大沈下量とその発生位置, および沈下分布形状が重要なポイントになる. 背面地表面沈下に関する簡易的な予測としては, 土留め壁の変形分布を背面側へ 90° 回転することによって想定する場合などが挙げられるが, 地盤特性の違いによって分布形状は異なることが知られている. ここでは, 地盤構成が異なる場合について弾塑性有限要素解析を実施し, 地盤内の密度分布や材料特性の違いによって, 最大沈下量および沈下土量が異なることはもちろん, 沈下分布形状もなだらかな分布から局所的に沈下が発生するような分布まで, 異なった傾向を示す現象について解析的な検討をおこなった.

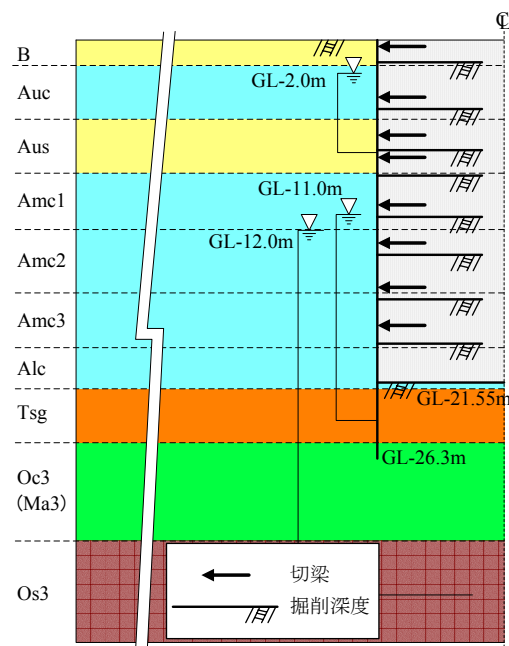


図-1 FEM 解析モデル

2. 解析条件 地盤構成と掘削概要を示した FEM 解析モデルを図-1 に示す. これは, ある開削工事現場での実地盤をモデル化しており, 土留め壁の変形量および土留め背面地盤の変形挙動について, 実測値と弾塑性 FEM 解析値(以下, 解析値)との比較および検討を実施した際に利用したモデルである¹⁾. ここでは, 本解析モデルに対して表-1 に示す土質パラメータを有する土層構成を対象にしてケーススタディーを実施した. なお, S1 層および S2 層²⁾については, 相対密度をそれぞれ $Dr=20\%$ 程度と $Dr=90\%$ 程度を仮定して初期間隙比を設定した. また, C 層²⁾については, $OCR=1$ を仮定した.

FEM解析については, 地盤内の密度や拘束応力の変化が地盤強度特性に与える影響を適切に考慮できる弾塑性モデル(subloading t_{ij} model)²⁾に基づいた 2次元有限要素解析プログラムである FEM t_{ij} -2D を使用した. なお, 砂層には排水条件を, 粘土層については非排水条件を想定し, 土留め壁~周辺地盤間の相互作用については, 土留め壁と周辺地盤が剛結状態(壁面摩擦角 $=90^\circ$)にあると仮定し, 初期応力については, $K_0=1$ 状態を設定した. また, これら弾塑性解析の他に, S1層およびS2層を対象とした弾塑性FEMによる1要素シミュレーション結果から得られた応力~ひずみ関係に基づいて E_{50} を算定し, それを用いた弾性FEM解析も実施した(CASE 4).

表-1 ケーススタディーに用いた土質パラメータおよび土層構成

CASE 1	①~⑦	S1	CASE 2	①~③	S1	CASE 3	①~⑦	C	CASE 4 (弾性解析)	①~⑦	S1 ($E_{50}=234 \text{ MN/m}^2$)
	⑧~⑩	S2		④~⑦	C		⑧~⑩	S2		⑧~⑩	S2 ($E_{50}=320 \text{ MN/m}^2$)
土層名		下端深度 (GL-m)	湿潤単位 体積重量 γ_t (kN/m^3)	弾塑性FEM解析 (FEM t_{ij} -2D) 用土質パラメータ							透水係数
沖積層	① B	1.84	16.66	λ	κ	N	R_{cs}	β	a_{AF}	a_{IC}	k (cm/s)
	② Auc	4.94	16.66	0.070	0.0045	1.10	3.20	2.00	30	500	1.67×10^{-5}
	③ Aus	8.34	16.66	0.16	0.02	1.23	2.10	1.30	500	500	1.67×10^{-7}
	④ Amc1	12.00	15.68	0.07	0.01	0.68	3.50	1.50	200	100000	1.67×10^{-5}
	⑤ Amc2	15.95	15.68	0.16	0.02	1.23	2.25	1.57	40	500	1.67×10^{-7}
	⑥ Amc3	19.44	16.66	0.25	0.04	1.50	3.55	1.70	130	500	
	⑦ Alc	21.84	17.15	0.14	0.02	1.05	3.55	1.10	30	500	
洪積層	⑧ Tsg	25.39	17.64	0.035	0.0023	1.10	3.20	2.00	30	500	1.67×10^{-5}
	⑨ Oc3	31.64	17.64	0.10	0.02	1.85	4.00	1.70	3500	500	1.67×10^{-7}
	⑩ Os3	45.00	19.60	0.007	0.0005	1.10	3.20	2.00	30	500	1.67×10^{-5}
ケース スタ ディー用	S1	16.66	16.66	0.070	0.0045	1.10	3.20	2.00	30	500	—
	S2	19.60	19.60	0.070	0.0045	1.10	3.20	2.00	30	500	—
	C	16.66	16.66	0.104	0.0099	0.92	3.20	1.50	50	500	—

3. ケーススタディーの結果 実地盤での土留め掘削に伴う土留め壁変位挙動について、実測値と解析値の比較を図-2に示す¹⁾。実測値は、土留め掘削進行に伴って掘削底面付近を中心に最大水平変位量が発生する変形モードを保ちつつ掘削側へ徐々に変形している。一方、解析値は、掘削初期段階における水平変位量が実測値と定量的に異なるものの、最大水平変位量発生深度や変形モードは類似しており、本現場を代表する厚い軟弱粘土地盤の変形挙動を適切に表現している。

同じく実地盤での土留め背面地表面沈下分布を図-3に示す¹⁾に^{加筆}。横軸は、土留め壁から背面側への距離であり、右端のゼロが土留め壁の位置に相当する。実測値(図-3(a))については、土留め壁近傍の背面部で土留め壁と背面地盤間の摩擦の影響から沈下量が抑制されているのに対して、土留め壁から少し離れた箇所でも最大沈下量が発生し、約30m離れた地点で沈下量がほぼゼロに収束するU字型の沈下分布形状になった。一方、解析値(図-3(b))についても、実測値と類似したU字型の沈下分布を示していることから、要素としての力学特性を適切に表現できる本弾塑性構成モデルを用い、施工過程を考慮したFEM解析を実施すれば、実際の土留め掘削時の地盤の応力・変形挙動を適切に再現できる。

CASE 1(全層砂地盤)での最終掘削時における背面地表面沈下分布を図-3(c)に示す。以下、図-2に示す土留め壁変位量の実測値を強制変位として与えた場合の背面地表面沈下量および沈下分布の考察をおこなっている。 D_r が大きいほど最大沈下量や沈下土量は小さく、密詰め地盤ほど地盤変形が小さくなる傾向を示した。また、 D_r が小さいほど、土留め壁から少し離れた箇所での沈下量は局所的に大きくなり、沈下分布の曲率が急になる傾向にあった。なお、弾性FEM解析結果(CASE 4)については、弾塑性FEM解析結果に見られるような土留め壁から少し離れた箇所でも沈下が局所的に発生する沈下モードではなく、沈下の影響が遠方まで伝播するなど、なだらかな地表面沈下分布形状を示す異なった傾向であった。

最終掘削時における各ケースの地表面沈下分布を図-3(d)に示す。縦軸は、各節点での沈下量を最大沈下量で除した無次元化量を示している。全層砂地盤のCASE 1は、土留め壁から少し離れた地点で局所的に沈下し、さらに少し離れると沈下が収束するU字型沈下モードを示すのに対して、砂層で粘土層を挟んだCASE 2では、最大沈下量発生位置がCASE 1に比べて背面側に離れ、影響範囲が遠方まで拡大する傾向にあった。このような傾向は、全層粘土地盤であるCASE 3で顕著に見られることから、地盤特性の違いによって最大沈下量の発生位置と沈下領域に差異があることが判明した。なお、弾性解析の結果であるCASE 4については、弾塑性解析結果よりもさらになだらかな沈下分布形状で遠方まで影響が伝播しているなど、土の構成モデルの違いによる差異も明らかになった。

5. おわりに 土留め背面地表面沈下分布について、砂卓越地盤ほど土留め背面近くで局所的に沈下が発生し、少し離れるとすぐに収束する傾向にあるのに対して、砂層中に粘土層を挟んだ地盤や粘土卓越地盤ほど沈下モードは緩やかになり、遠方まで沈下の影響が伝播するなど、土留め壁の変位量は同じであっても背面地表面の沈下分布形状は、地盤特性の違いによって傾向が異なることが明らかになった。またこのような傾向は、土の構成モデルの違いによっても明らかに異なっており、弾性解析では背面地盤の不等沈下を危険側に予測する傾向にあることが判明した。

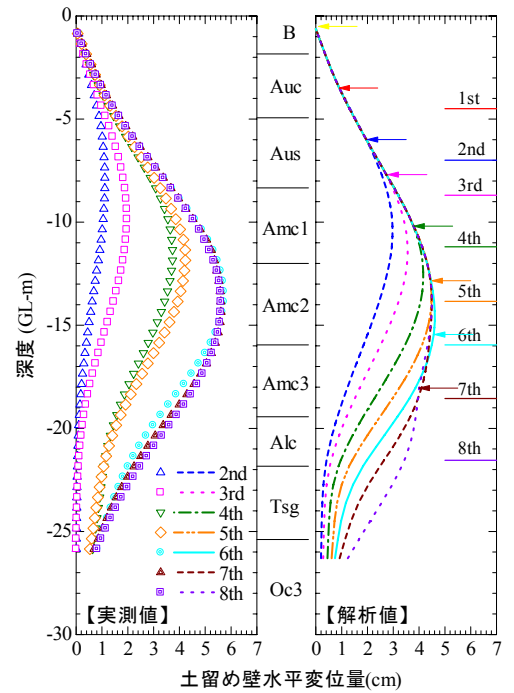


図-2 土留め壁の変位分布に関する比較¹⁾

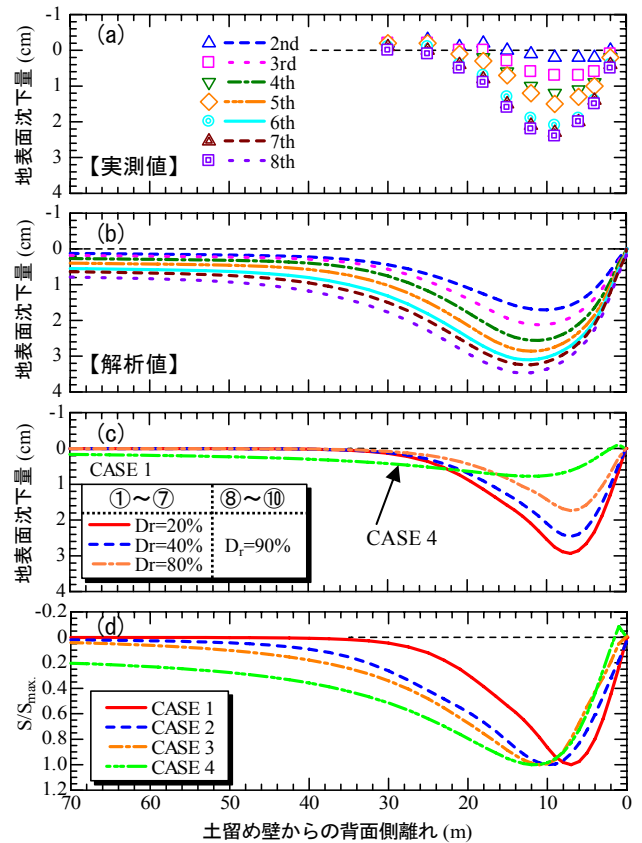


図-3 土留め背面地表面沈下分布に関する比較¹⁾に^{加筆}

参考文献 1) 譽田孝宏, Hossain M. Shahin, 中井照夫: 土留め掘削に伴う地盤変形挙動の弾塑性有限要素解析, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.1, pp.213~225, 2009. 2) Nakai, T., and M. Hinokio: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils and Foundations*, 44 (2), pp.53-70, 2004.