

FEM 解析による山留め挙動の評価に関する研究

—地盤の変形係数の検討—

Study on Evaluation of Earth Retaining Wall Behaviors by FEM Analysis

-Consideration for Deformation Modulus of Ground-

○森垣大佳², 安達俊夫¹, 太田宏², 清広歳³

*Taika Morigaki², Toshio Adachi¹, Hiroshi Ota², Hirotochi Sei³

Abstract: The purpose of this study is to improve the accuracy of the prediction of the behavior of earth retaining wall by FEM analysis. This paper is focused on the deformation modulus of ground. FEM analysis is a very effective means in order to predict the behaviors of the surrounding soil excavation and earth retaining wall.

1. はじめに

近年、近接工事の増加、工事の大規模化によって、掘削工事による近接構造物への影響を評価する必要がある。そのため、山留め壁の変位だけでなく、近接構造物の挙動を精度よく予測する必要がある。

山留めの挙動を解析する手法として有限要素法（以下、FEM）がある。FEMでは掘削側および背面側にある地盤や構造物をモデル化し、挙動解析することが出来る。このため、FEMは山留めおよび掘削工事による周辺地盤への影響を予測する上で極めて有効な手段である。しかしながら、現状ではFEMによって精度よく山留め挙動を予測する解析手法は確立されていない。そこで本研究は、FEMによる山留め架構の挙動予測の精度向上を目的とし、地盤の変形係数に着目し、検討を行った。

2. 解析概要

Fig.1に、本研究で対象とした地盤および山留めを示す¹⁾。掘削工事の平面規模は66m×51m、根切り深度8.0mの根切り工事である。山留め壁としてソイルセメント列柱壁、支保工として2段の鋼製切梁が用いられている。地盤は地表面からGL-3mまでは埋土、GL-3m～25mまではN値0～1の沖積層、薄い砂層を挟んで、GL-25m付近からN値が50以上の洪積粘土（土丹層）により構成されていた。

Fig.2に、解析メッシュおよび境界条件を示した。解析メッシュは、掘削部中央部を対称軸として掘削領域の半分をモデル化した。山留め壁および切梁は弾性の梁要素で、地盤は弾性の平面ひずみ要素でモデル化した。地盤の変形係数は、埋土・砂に関しては標準貫入試験結果のN値、シルト・土丹に関しては非排水せん断強度C_uより設定した。切梁については、切梁軸力の実測値を各施工段階で荷重として作用させた。なお、解析は全応力解析とした。また、各層の地盤をそれぞれ①～⑦とし、Table 1に各層の地盤定数を示す。

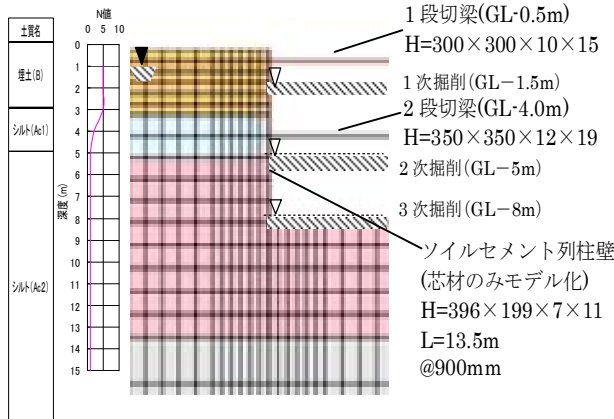


Fig.1 Ground and Earth Retaining Wall¹⁾

断強度C_uより設定した。切梁については、切梁軸力の実測値を各施工段階で荷重として作用させた。なお、解析は全応力解析とした。また、各層の地盤をそれぞれ①～⑦とし、Table 1に各層の地盤定数を示す。

3. 地盤要素の変形係数の検討

山留め壁の水平変位の実測値と解析結果の対応を検討するため、地盤の変形係数である弾性係数に対して係数を乗じて解析を行った。まず、係数の適用範囲について検討するため、Fig.3に示した3ケースについて解析を行った。なお、係数は1次掘削の前に各地盤要素に適用させている。

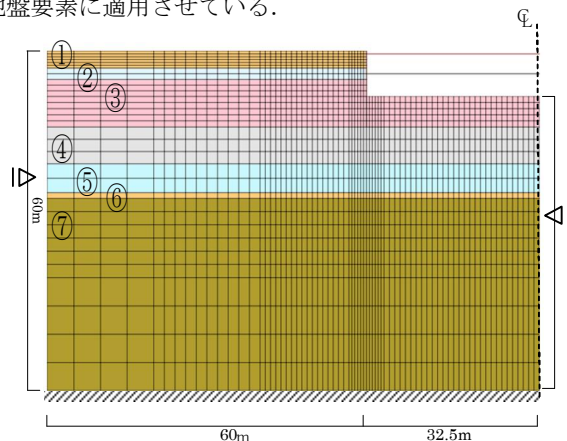


Fig.2 Outline of Analysis

Table 1 Property of Ground²⁾

土質 No	土質名	下端深度 (m)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比 ν	ヤング係数 E(MN/m ²)	非排水せん断強度C _u	内部摩擦角 ϕ (度)
①	埋土(B)	3.0	15.0	0.33	16.8	0	25.0
②	シルト (Ac1)	5.0	15.7	0.45	3.8	16	9.9
③	シルト (Ac2-1)	13.4	14.5	0.45	7.7	32	0.0
④	シルト (Ac2-2)	19.9	14.0	0.45	11.1	49	9.8
⑤	シルト (Ac2-3)	25.0	14.7	0.45	15.4	72	1.2
⑥	細砂(As)	26.0	18.0	0.33	56.0	0	35.0
⑦	土丹(Dc)	30.0	19.0	0.45	388.5	185	0.0

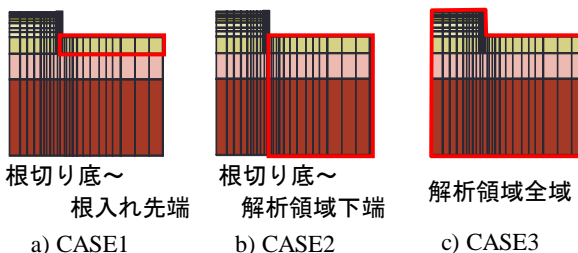


Fig.3 Applied Region of

1: 日大理工・教員・建築 2: 日大理工・院・建築 3: 大林組

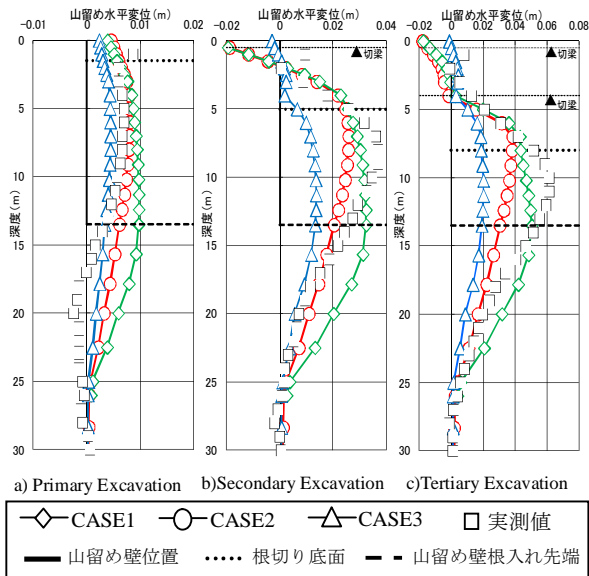


Fig.4 Comparison of the Analysis Region

Table 2 Step of Analysis

STEP1	初期応力解析	STEP6	1段切梁設置
STEP2	変形係数Eを β_1 倍	STEP7	2次掘削
STEP3	山留め壁の設置	STEP8	2段プレロード
STEP4	1次掘削	STEP9	2段切梁設置
STEP5	1段プレロード	STEP10	3次掘削

Fig.4 に、CASE1~3 の山留め壁の水平変位の解析結果を示した。また、その解析ステップを Table 2 に示す。同図より、係数 β を適用させた 3 ケースのうち、CASE2 は実測値と比較的良好な対応を示していることがわかる。そこで、CASE2 を基に各掘削段階における β の値について検討を行った。

Fig.5 に各掘削段階で β を変化させた場合の解析結果を示した。Table 3 に各掘削段階において β を変化させた場合の解析ステップを示した。同図では、 $\beta_1=4$, $\beta_2=2$, $\beta_3=1$ のケースが実測値と良好な対応を示していることが分かる。このことから掘削回数が大きくなるにしたがい、 β の値を小さくすることで山留めの挙動予測精度が向上することがわかる。この理由として、地盤の変形係数のひずみ依存性が考えられる。一般に、地盤の変形係数は、小さいひずみレベル (10^{-6} レベル) では大きく、大きいひずみレベル (10^{-2} レベル以上) では、小さくなる (Fig.6)。したがって、掘削の進行にともない山留め壁掘削側の地盤のひずみが大きくなると、地盤の変形係数も小さくなるものと考えられる。なお、この他の原因として、粘性土地盤の時間効果なども考えられる。

4. まとめ

FEM による山留め架構の挙動予測の精度向上を目的とし、地盤の変形係数に着目して検討を行った。本研究の結果を以下に示す。

- ① 地盤の変形係数 (弾性係数) に係数 β を乗じることにより山留め壁の水平変位の解析値と実測値は良好な対応を示した。
- ② β の適用範囲については、根切り底から解析領域の下端までとすると、解析値と実測値は比較的良好な対応を示した。

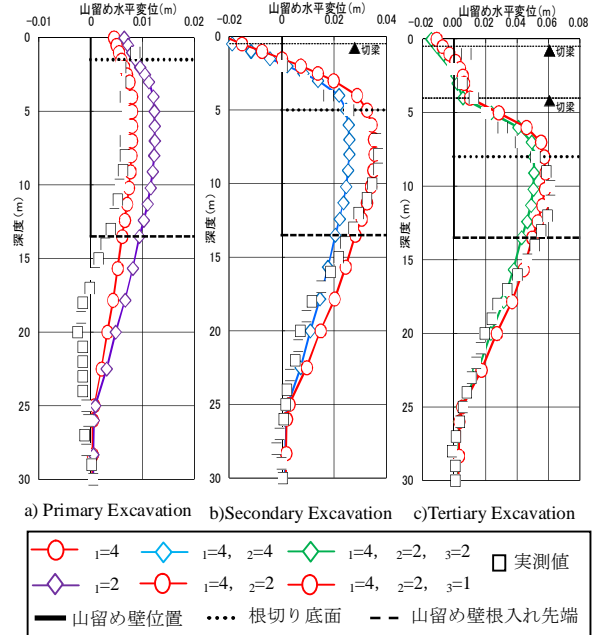


Fig.5 Comparison of β on Each Excavation Stage

Table 3 Step of Analysis (Study of the Value of β of each Excavation Stage)

STEP1	初期応力解析	STEP7	変形係数Eを β_2 倍
STEP2	変形係数Eを β_1 倍	STEP8	2次掘削
STEP3	山留め壁の設置	STEP9	2段プレロード
STEP4	1次掘削	STEP10	2段切梁設置
STEP5	1段プレロード	STEP11	変形係数Eを β_3 倍
STEP6	1段切梁設置	STEP12	3次掘削

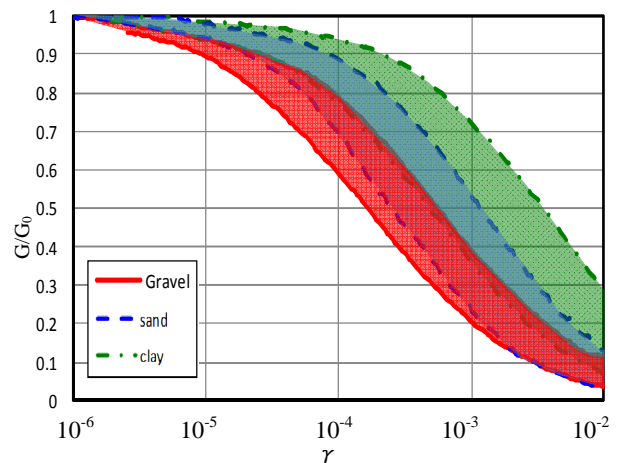


Fig.6 Strain-Dependency of Shear Stiffness Ratio³⁾

③ β を掘削段階が進むにしたがい小さくなる設定をすることにより、解析値と実測値はかなり良好な対応を示した。

なお、各掘削段階における地盤の係数 β の定量的な把握などの詳細に関しては今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 河野ら:線形 FEM 解析による軟弱粘土地盤における山留め挙動の評価 その 1 解析概要と解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.517-518, 2010.
- 2) 實松ら:軟弱地盤における掘削工事の挙動データとシミュレーション解析, 鹿島技術研究所年報, 第 46 号, pp.217-220, 1998.
- 3) 今津ら:砂礫材料の動的変形特性, 第 21 回土質工学研究発表会, pp.509-512, 1986.