

# 地盤改良体を用いた 大深度自立山留め Soil Cement Cantilever Wall under Deep Excavation

元井 康雄 Yasuo Motoi  
 新宅 秀明 Hideaki Shintaku  
 (大阪本店建築事業部生産技術部)  
 辻 雄太 Yuta Tsuji  
 (東京本店建築事業部生産技術部)

## 1. はじめに

本報では、砂質地盤における深さ 16.1m の掘削に、深層混合処理工法による改良体自立山留め(以下、改良体自立山留め)を適用した事例を紹介する。自立山留めとは、掘削工事において切梁や地盤アンカーなどの支保工を用いずに、床付けまで掘削する工法である。支保工の設置・撤去の工程がなく、掘削場内の作業性が良い反面、山留め壁根入れ部の地盤抵抗のみに期待した工法であるため、より慎重な地盤評価と施工管理が要求される。

## 2. 地盤および山留めの概要

Fig. 1 に、地盤および山留めの概要を示す。敷地は丘陵地に位置し、地表から 7m 程度は中位の砂質シルト層であり、その下部には N 値が 60 以上の硬質な砂層が厚く堆積している。掘削平面は約 230m×200m である。敷地の一部に、本設の直接基礎の支持地盤として深さ 11m、幅 13m、奥行き 24.3m の地盤改良を深層混合処理工法により施す計画となっており、これを改良体自立山留めとして仮設利用した。改良体自立山留めの最大掘削深度は 16.1m であり、掘削側に近い幅 6m の区間は、山留めの根入れを確保する目的で改良体を深度方向に 8m 延伸して 19m とした。この範囲以外の一般部の山留めには、3 段の地盤アンカーを支保工とする親杭横矢板壁を採用した。

## 3. 設計施工で想定した留意点と施工結果

改良体自立山留めの設計は、文献 1) を参考にした。同文献には、地盤改良体の破壊に対する内部安定の検討法および外力に対する力のつり合いに対する外部安定の検討法が具体的に示されている。しかしながら、10m を超える大深度の掘削に対しては、既往の適用実績が見当たらず、同文献の適用範囲外であることも考えられた。そのため、以下のような計測管理のもと、慎重に掘削を進めることとした。

- (1) 挿入式傾斜計により山留め壁変位を計測し、山留め壁頭部変位に管理基準値(1 次管理値 12mm, 2 次管理値 16mm, 限界管理値 20mm)を設定した。
- (2) 掘削深度を 4 段階(Fig. 1 に示す STEP1~STEP4)に分け、山留め壁変位を管理値と対比後、次段階へ進む。

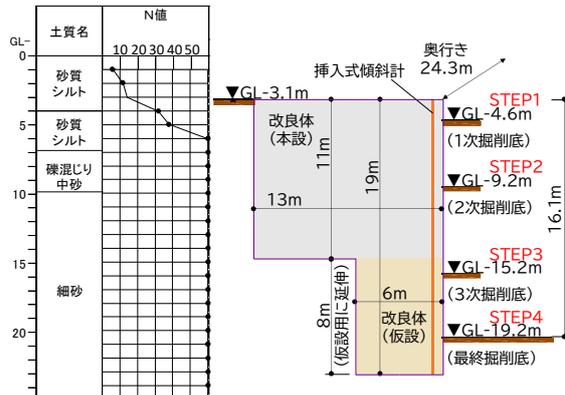


Fig. 1 地盤および山留めの概要  
The Outline of Soil Profile and Earth Retaining

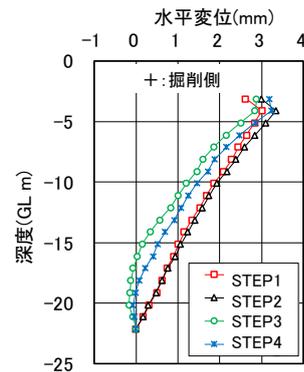


Fig. 2 改良体自立山留めの実測水平変位  
Measured Lateral Displacement of  
Soil Cement Cantilever Wall



Photo 1 改良体大深度自立山留め  
Soil Cement Cantilever Wall under Deep Excavation

- (3) 1次管理値超過後は、傾斜計設置部分をモニターゾーンとして先行掘削する手順に切り替え、安全を確認後、平面全体を掘削する。
- (4) 2次管理値超過後は、計測頻度を増加するとともに、対策工の準備を行う。
- (5) 限界管理値を超えた場合は自立山留めを中止し、対策工として地盤アンカーを追加する。
- (6) 対策工後も山留め壁変位の増大が継続する場合は、掘削を中止し山留め壁前面を応急的に埋め戻し、対策を再検討する。

Fig. 2 に改良体自立山留めの実測水平変位を示す。剛体回転に近い挙動を示し、管理値超過や山留め壁表面の異常の発生もなく、掘削が完了した(Photo 1)。STEP3, STEP4 においては、排土によるリバウンドの影響とみられる変位の戻りも認められた。

#### 4. FEMによる検証解析

事後の検証として、改良体自立山留めの実測挙動をFEM解析によりシミュレートした。FEM解析は、地盤改良体の内部安定および外部安定それぞれについて実施した<sup>2)</sup>。ここでは外部安定の検討概要を示す。

Fig. 3 に、外部安定の2次元FEM解析モデルを示す。改良体および地盤は Table 1 に示す諸元の線形弾性体とした。地盤の変形係数はひずみレベルを考慮し、微小ひずみレベルにおける変形係数の0.3倍とした。改良体の変形係数は、原位置採取した供試体の一軸圧縮強さを参考に設定した。主働側圧は、一般部の親杭横矢板壁の実測結果を梁・ばねモデルでフィッティングした結果より、側圧係数を全層0.1とする三角形分布とし、上載荷重として新設建物荷重に相当する30kN/m<sup>2</sup>を加えた。また、改良体と原地盤の境界面に剥離要素を設け、改良体に対して地盤の引張り抵抗が作用しないようにした。

外部安定の解析結果を Fig. 4 に示す。最大変位は実測値と比較してやや小さいが、剛体回転に近い挙動を示す実測値とおおむね対応した。また、一部で改良体が原地盤から剥離する解析結果となった。Table 2 に、各検討項目のFEMによる安全率を、設計用の算定式<sup>1)</sup>による結果と対比して示す。剥離を考慮したFEMでは、改良体の一部が地盤から離れることで、地盤反力算定時の接地面積が小さくなるため、転倒以外は安全率が低減し、滑動は64%、支持力は77%となるが、この場合も安全率が十分に確保されていることを確認できた。

#### 5. おわりに

砂質地盤における深さ16.1mの掘削に、改良体自立山留めを適用し、慎重な計測管理のもと、安全に掘削を完了した。また、山留め実測挙動を2次元FEM解析でシミュレートし、安全率を検証した。既往事例に乏しく、一般の山留めと比較して安全率を大きく設定して計画したが、

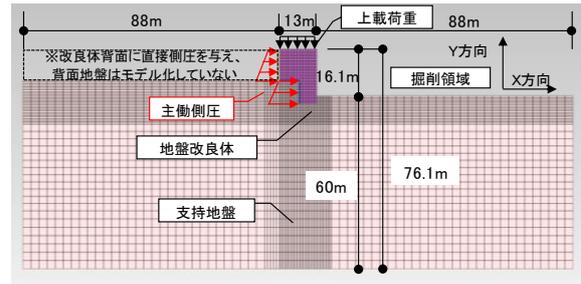
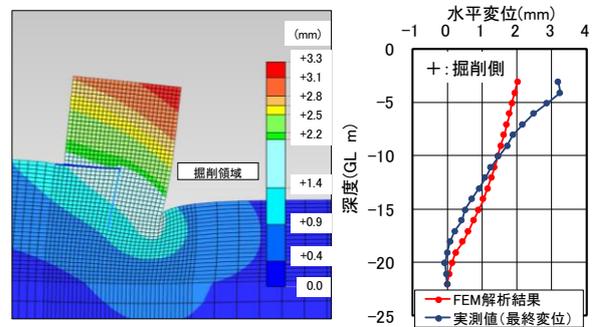


Fig. 3 FEM解析モデル(外部安定)  
The FEM Analysis Model (External Stability)

Table 1 FEM解析に用いた地盤定数  
Soil Properties of the FEM Analysis

	変形係数E(kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	γ <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
改良体	2,000,000	0.3	18
地盤(砂質)	300,000	0.3	18



(a) 鉛直・水平合成変位コンター (b) 水平変位  
Fig. 4 FEM解析結果(外部安定)  
FEM Analysis Result (External Stability)

Table 2 安全率(外部安定)  
Safety Ratio (External Stability)

検討項目	安全率		外力 (幅1mあたり)	地盤の抵抗力(幅1mあたり)	
	算定式 (剥離無し)	FEM (剥離あり)		算定式 (剥離無し)	FEM (剥離あり)
外部安定	滑動	5.66	324 kN	1832 kN	1183 kN
	転倒	7.38	2473 kN・m	18250 kN・m	18250 kN・m
	支持力	9.75	3349 kN/m	32655 kN/m	25384 kN/m

黄色背景: は改良体が地盤から剥離した影響により、低減した値となっている

今後の合理化につながる貴重な実測データを得ることができた。

#### 参考文献

- 1) 財団法人土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル 改訂版, pp. 221-232, 2004.3
- 2) 元井康雄, 新宅秀明：地盤改良体による自立山留めの挙動(その1)(その2), 第56回地盤工学研究発表会発表講演集, 講演番号12-7-4-02~03, 2021.7