

自立式土留め工の背面固化改良効果の設計手法・経済性に関する一考察

ジェイアール東海コンサルタンツ 正会員 ○高柳昌虎 正会員 千葉佳敬
中央大学 学生会員 小野慶一朗 正会員 西岡英俊

1. 目的

著者らは、自立式掘削土留め工の背面地盤を固化改良すると水平変位抑制効果が期待できることを模型実験で確認し、水平変位抑制のメカニズムは固化改良体による見かけ上の壁体剛性の増加と、土留め壁と固化改良体が密着し、掘削背面地盤との境界条件（摩擦抵抗増）が影響していると推察している¹⁾²⁾。本稿では、それらの効果を定量的に実設計へ取り入れることを念頭に、模型実験結果を汎用弾塑性法設計プログラムにより逆解析を行った。併せて実施工をイメージし、経済性についての考察を行った。

2. 逆解析パラメータの設定

逆解析は模型実験²⁾の寸法をそのまま再現し、高さ500mm、土留め壁（アルミ板）長さ300mmとし、モデル化を行った。地盤および土留め壁の入力データを表-1に示す。

解析を実施するにあたり、地盤の変形係数を設定する必要がある。そこで、未改良（土留め壁単独）モデルの実験結果を再現することで、地盤の変形係数を決定した。解析は地盤の変形係数をパラメータとし、 $E_0=4000\text{kN/m}^2\sim 12000\text{kN/m}^2$ まで 2000kN/m^2 ずつ地盤の変形係数を変化させた。

図-1に掘削深さ H /土留め壁長 L_0 と土留め壁天端水平変位 δ /土留め壁長 L_0 の関係を示す。 δ/L_0 が3%~5%の区間で最も近似できている 10000kN/m^2 モデルを地盤の変形係数と設定した。

3. 逆解析の結果・考察

設定した地盤の変形係数を用い、改良体のあるモデルの再現解析を実施した。なお、別途実施した改良体のある土留め壁の曲げ試験の結果、アルミ板+改良体幅45mmモデルではアルミ板のみの場合と比較して曲げ剛性が約7%程度増加することを確認している。これより、解析では、土留め壁の剛性を1.1倍することで、改良体幅45mm時の剛性を模擬した。

また、改良体部分のアルミ棒は改良体を模擬したテープにより固定されており、改良体の無いアルミ板のみの背面アルミ棒地盤との接触面と比べ摩擦抵抗が大きいと推察される。設計実務においては、各規準により異なるが、主働側圧においては、壁体と土の摩擦角を評価しない Rankine-Resal 式が適用されることが多い³⁾。そこで、改良体の影響をアルミ板とアルミ棒地盤との摩擦角と仮定し、主働側の壁面摩擦角をパラメータとした。その場合の主働土圧係数は壁面摩擦角を評価できる

Coulomb 式とした。解析ケースを表-2に示す。Case0は実験の未改良モデルを再現したモデル、Case1はCase0に対して、壁体剛性を1.1倍したモデル、Case1-1~Case1-3は壁体剛性を1.1倍し、主働側壁面摩擦角を変化させたケースである。

表-1 材料定数

土留め壁（アルミ板）	
厚さ	1.2 (mm)
断面二次モーメント	0.0144 (cm ⁴ /m)
ヤング係数	69 (kN/mm ²)
地盤（アルミ棒積層体）	
単位体積重量	21.9 (kN/m ³)
内部摩擦角（安息角）	31 (度)

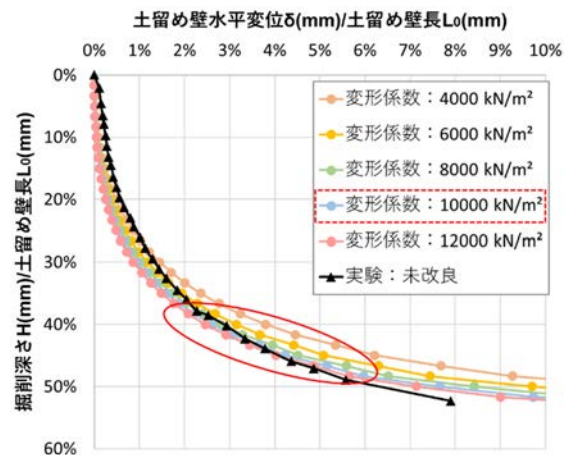


図-1 変形係数をパラメータとした解析結果

表-2 解析ケース

解析ケース	壁面摩擦角		壁体剛性
	主働	受働	
Case0	考慮なし	$\phi/3$	$1.0 \times EI$
Case1	考慮なし	$\phi/3$	$1.1 \times EI$
Case1-1	$\phi/3$	$\phi/3$	$1.1 \times EI$
Case1-2	$\phi/2$	$\phi/3$	$1.1 \times EI$
Case1-3	ϕ	$\phi/3$	$1.1 \times EI$

キーワード 掘削土留め工, 背面固化改良, 壁面摩擦角, ソイルセメント

連絡先 〒450-0002 名古屋市中村区名駅五丁目33番10号 アクアタウン屋橋 ジェイアール東海コンサルタンツ(株) TEL 052-746-7133

図-2 に解析結果を示す。Case0 と Case1 を比較すると土留め壁の水平変位率 δ/L_0 はほとんど変化が見られなかった。壁体の剛性を上げるだけでは、土留め壁の変位抑制効果は小さいことが確認できた。次に、Case1 と Case1-1~Case1-3 を比較すると土留め壁の水平変位率 δ/L_0 は減少しており、壁面摩擦角を評価することで土留め壁の水平変位量が低減することを確認できた。実験の改良幅 45mm モデルの結果と最も近似したのは、Case1-3 であった。以上の結果を踏まえ、地盤改良による土留め壁の水平変位は、土留め壁の曲げ剛性を増加させ、土留め壁背面（主働側）の壁面摩擦角を評価する事で、設計実務へ適用できる可能性がある。

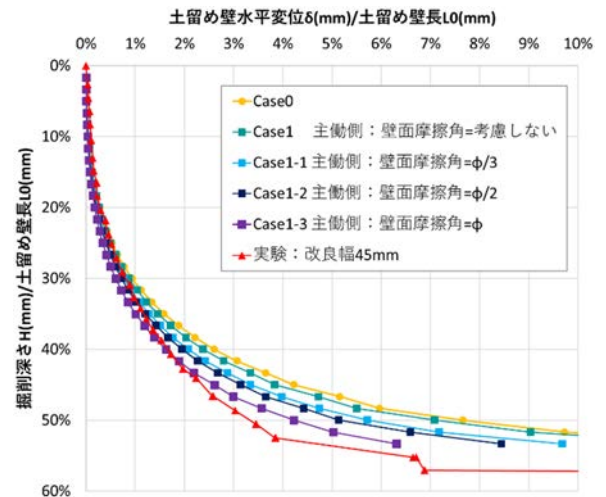


図-2 改良体剛性、壁面摩擦を評価した解析結果

4. 実施工上の課題抽出

これまでの模型実験によれば、改良体に求められる強度(変形係数)は、既往の調査事例等に示されるソイルセメント改良体の下限値付近で満足できることを把握している¹⁾。掘削土留め工の背面固化改良は、都市部の既存インフラに近接した施工条件を想定しており、工法として確立するためには、(1)小型施工機械での施工 (2)廃土を伴わない工法 (3)施工範囲の効率性(改良幅・改良深さ) (4)必要改良強度の設定 (5)経済性等の課題を整理する必要がある。以下では、これらの(5)経済性について検討した結果について示す。

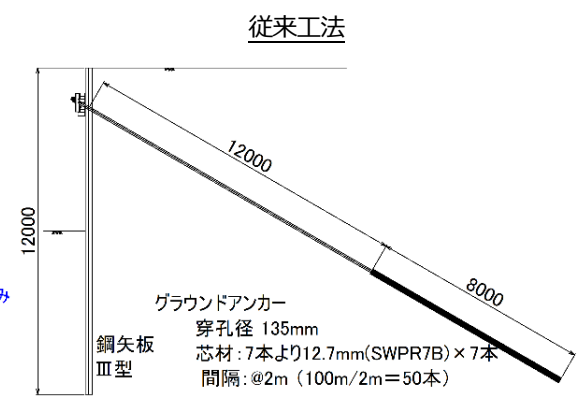
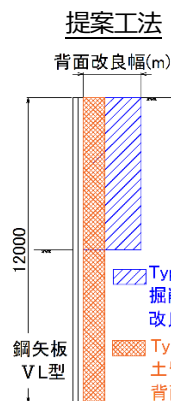


図-3 実施工イメージ

5. 経済性比較

掘削土留め工の背面固化改良は、自立式土留め工の変位抑制を期待しており、従来工法(グラウンドアンカー式)と工事費を試算し比較した。比較対象は、土留め壁長 12m, 土留め延長 100m あたりとし、図-3 に示す形式とした。背面固化改良範囲は、前述の逆解析では、土留め壁全長には必要ないため、掘削深さまでの改良範囲も比較に加えた。工事費単価は、各種積算基準等による直接工事費とした。試算、比較の結果を図-4 に示す。従来工法のグラウンドアンカー式と比べ提案する自立式背面固化改良工法は、経済性に期待が持てる結果であった。

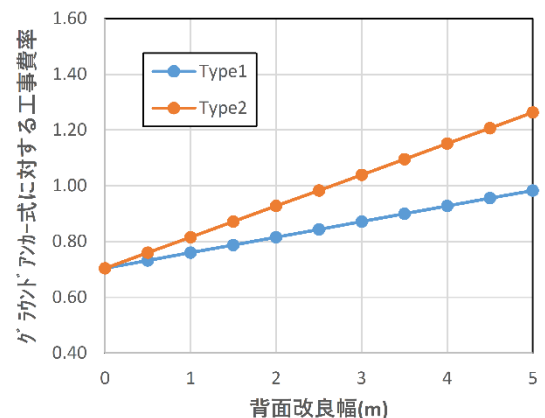


図-4 工事費比較

6. まとめ

本研究では、これまで模型実験で確認してきた自立式掘削土留め工背面固化改良の水平変位抑制効果を弾塑性解析により再現できる可能性を示した。併せて実用化に向けた経済性を示し、従来工法(グラウンドアンカー式)と比べて経済性に優れる可能性を示した。今後は、実施工における工法選定の深度化を図り、効果的な改良範囲(深さ、幅)、必要な固化改良強度の設定等の検討を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 小野慶一朗,西岡英俊,鷲見春奈,千葉佳敬:掘削土留め工の背面地盤固化改良における土留め壁水平変位抑制効果と壁体曲げ剛性の関係に関する実験的研究,第 56 回地盤工学研究発表会,2021.
- 2) 小野慶一朗,西岡英俊,高柳昌虎,千葉佳敬:アルミ棒積層体を用いた背面地盤固化改良併用自立式掘削土留め工の模型実験-土留め壁の壁面摩擦角の影響に着目した検討-,第 77 回土木学会年次学術講演会,2022. (投稿中)
- 3) 鉄道構造物等設計標準・解説トンネル・開削編 付属資料:鉄道構造物の建設等に用いる掘削土留め工設計施工指針 pp.467-475,2020.