

山留め設計における格子状地盤改良の有効性に関する研究

九州大学大学院 学 ○西岡佑介 F 落合英俊 正 安福規之
 正 大嶺 聖 正 小林泰三
 (株)竹中工務店 河野貴雄

1. はじめに

根切り工事における山留め壁変位の抑止対策として、特に軟弱地盤においては根切り底面を格子状に地盤改良する技術が用いられている。しかし、山留め壁の変位に対する掘削側の改良地盤の抵抗は、格子状に地盤改良を行った場合において、地盤改良体（以降改良体と呼ぶ）と原地盤の剛性を面積平均した等価な地盤に置き換えて評価されている¹⁾。著者らは原地盤が格子状の改良体によって囲まれ変形が拘束されることを想定し、それによる地盤反力の増加効果について検討を行ってきた²⁾。今回、模型実験による格子状に地盤改良した改良地盤の剛性増加の確認を行い、格子状地盤改良の効果の考え方についての検討を行った。

2. 現在の山留め壁設計における改良地盤の剛性の考え方

山留め壁の変位抑止対策として向かい合う山留め壁間で根切り底面の地盤を梁状に改良する場合、根切り底面全体の地盤反力係数 k_{he} は通常、式(1)で求められている。

$$k_{he} = \frac{W}{W_0} k_{hs} + \frac{(W_0 - W)}{W_0} k_{h0} \quad (1)$$

ここで、 k_{hs} :改良体の水平地盤反力係数、 k_{h0} :原地盤の水平地盤反力係数、 W :改良体の幅、 W_0 :改良間隔である。

根切り底面を格子状に地盤改良する場合、根切り底面地盤全体の地盤反力係数 k_{he} は、梁状に地盤改良した場合と同様に式(1)で評価されている。しかし、格子状に地盤改良を行うことにより格子内の原地盤が拘束される効果が生じ、それに伴って原地盤の地盤反力係数の増加が期待される。

3. 格子状地盤改良の効果について

式(1)では山留め壁に垂直な改良体の剛性のみを考慮したものとなっている。しかし、山留め壁の変位に対して壁に平行に設置された改良体は、その設置間隔や枚数に依存した抵抗力を発揮すると考えられる。また、格子内の原地盤は改良体に囲まれることにより、剛性が増加し相対的に大きな抵抗力を発揮すると考えられる。ここでは、格子状に地盤改良する効果として、次の2つの要因により原地盤の地盤反力係数が割増されるのではないかと考えた。すなわち、

①山留め壁に平行な改良体の剛性を考慮することによる割増し効果

②原地盤が格子の改良体に囲まれることによる割増し効果

①の効果による原地盤の地盤反力係数 k_{h0} の増加率（ここでは割増し係数と呼ぶ）を α 、②の効果による割増し係数を β とすると、式(1)は次のように表せる。

$$k_{he} = \frac{W}{W_0} k_{hs} + \frac{(W_0 - W)}{W_0} \cdot \alpha \cdot k_{h0} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\beta \left(1 + n + n \frac{U_s}{U_0} \right)}{1 + n + \beta \cdot n \cdot \frac{k_{h0} \cdot U_s}{k_{hs} \cdot U_0}} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{f(\sigma_0 + \Delta\sigma_0)}{f(\sigma_0)} = \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma_0}{\sigma_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

ここで、 n :平行板の枚数、 U_s :山留め壁に平行な改良体の幅、 U_0 :山留め壁に平行な改良体の間隔、 $\Delta\sigma_0$:格子の改良体に囲まれることによる見かけ上の応力増分、 σ_0 :初期状態での原地盤の平均応力である。

本研究では、この割増し係数 α 、 β を導入したことの妥当性を明らかにするために模型実験による格子状地盤改良の効果の確認を行った。なお、式(2)~(4)の詳細については別の機会に報告する予定である。

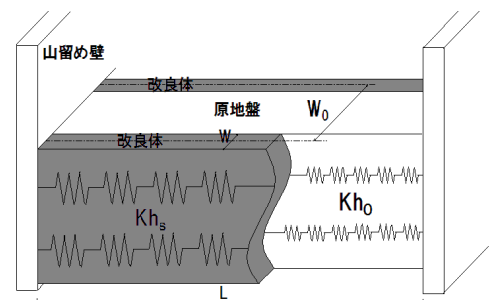


図1 地盤反力係数の概念図

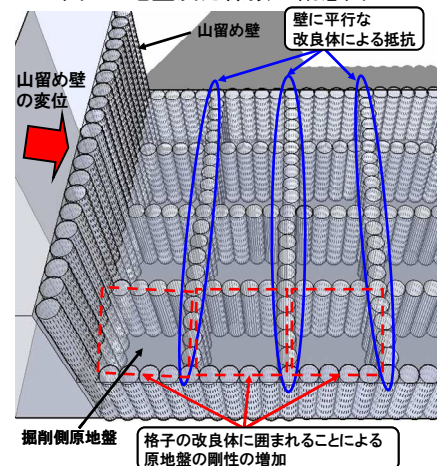


図2 格子状地盤改良による原地盤の剛性増加の考え方

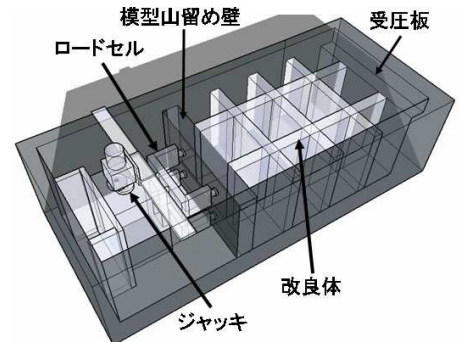


図3 模型実験装置の概略

4. 模型実験について

図3に模型実験の概略図を示す。模型実験では実験土槽内に模型山留め壁、模型改良体と模型地盤を設置し、ロードセルを介してジャッキにより山留め壁に荷重を与え、改良体及び地盤に水平変位を与えた。改良体と模型地盤は、現場での改良体と原地盤の剛性の比 1 : 40~1 : 100 を満足するように改良体には樹脂系材料を、模型地盤には初期含水比 $w_0=100\%$ のカオリン粘土に普通ポルトランドセメントを 15kg/m^3 の割合で添加し3日間養生させたものを用いた。

実験条件を表1に示す。本実験では山留め壁に平行な改良体(以降平行板と呼ぶ)の枚数を増やした効果を確認するために、ジャッキに設置したロードセルと模型山留め壁に設置した変位計により山留め壁に作用する荷重と変位を測定し、測定結果から地盤反力係数を求め、実験条件による比較を行った。また、Case1~6では山留め壁が剛板を用いた。Case7~9では山留め壁にゴム板を用いることで山留め壁にたわみが生じ、改良体と粘土に相対的な変位差が生じるようにした。

5. 実験結果と考察

図4に山留め壁が剛板の場合、図5に山留め壁がゴム板の場合の山留め壁の水平変位と荷重 L_h の関係を示す。図より山留め壁が剛板、ゴム板によらず平行板の設置枚数が増加するほど、ある変位に対する荷重が大きな値を示していることから、山留め壁に平行な改良体による模型地盤の剛性の増加が確認できる。そこで図において水平変位が 0.1mm の荷重の値を用いて割線勾配を求め、その勾配を地盤反力係数とした。Case1、Case2の実験結果から地盤反力係数を求め、それぞれ k_{hs} 、 k_{h0} とした。さらに平行板を設置した実験ケースにおいて、実験結果から模型地盤全体の地盤反力係数 k_{he} を求め、式(2)より割増し係数 α の算定を行った。また式(3)において模型実験のパラメーターを用いて割増し係数 α を求め、それを理論値とし、実験値との比較を行った。本報告では簡便のために $\beta=1$ (格子に囲まれた割増し効果を考慮しない) の場合の割増し係数 α を求めた。

図6に平行板の枚数と地盤反力係数の増加率(割増し係数)の関係を示す。図より平行板の枚数が増えるほど増加率は大きくなる傾向を示しており、実験値が式(3)で求めた理論値よりも大きな値となった。このことから本実験結果は、山留め壁に平行な改良体の剛性を考慮した割増し効果よりも、より大きな割増し効果を発揮していることを意味する。また実験値の増加率は、山留め壁がゴム板の方が剛板の場合よりも大きな値を示している。これは山留め壁がたわむことで改良体と粘土地盤に相対的な変位差が生じ、改良体と粘土地盤が同じような変位を生じる剛板の場合に比べて、格子の改良体に囲まれたことによる原地盤剛性の割増し効果が大きく表れたのではないかと考えられる。今後は地盤改良体による原地盤の囲い込み効果についても検討していきたい。

6. まとめ

模型実験により山留めの格子状地盤改良による原地盤の剛性増加の確認を行った。実験より、格子状に地盤改良した地盤の構造体としての地盤反力は、山留め壁に平行な改良体を多く配置するほど、また山留め壁の材質が粘土地盤に水平荷重がより伝わる柔軟性のものであるほど大きくなることを示した。[参考文献]1)谷田進一他:ストラット型地盤改良による山留め壁の変位抑止効果、第32回地盤工学研究発表会、pp.1759-1760、1997)西岡佑介他:格子状地盤改良による拘束を考慮した原地盤の剛性の評価、第41回地盤工学研究発表会 pp1629-1630、2006

表1 実験条件

	山留め壁	粘土地盤	模型地盤の状態					
			改良体					
			壁に垂直		壁に平行			
Case	剛/柔	○/●	1枚	2枚	1枚	2枚	3枚	
Case1	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case2	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case3	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case4	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case5	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case6	剛	○	○	○	○	○	○	○
Case7	柔	○	○	○	○	○	○	○
Case8	柔	○	○	○	○	○	○	○
Case9	柔	○	○	○	○	○	○	○
Case10	柔	○	○	○	○	○	○	○

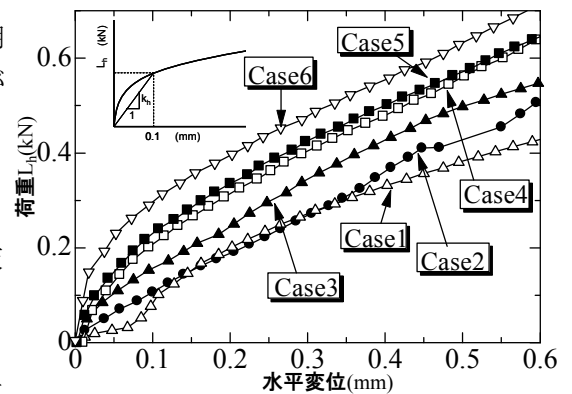


図4 水平変位と荷重の関係 (山留め壁が剛板の場合)

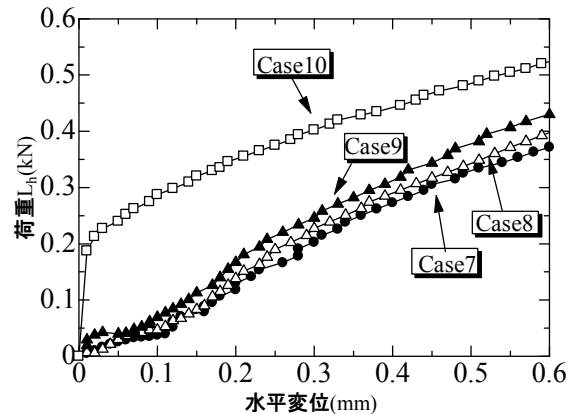


図5 水平変位と荷重の関係 (山留め壁がゴム板の場合)

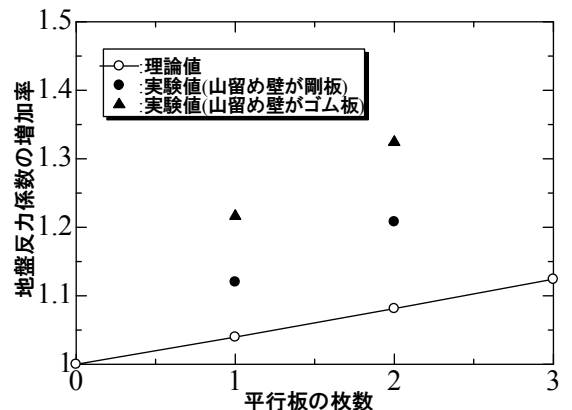


図6 平行板の枚数と地盤反力係数の増加率の関係