

繰返し载荷を受ける擁壁の土圧増加挙動に関する個別要素法による再現解析

中央大学大学院 学生会員 ○牧野 聖

中央大学大学院 学生会員 瀬賀 達夫

中央大学 正会員 西岡 英俊

1. はじめに

従来の橋梁には橋桁の温度伸縮を吸収する支承部があるが、構造的な弱点部となる他、建設費・維持管理費が高く経済的な弱点部となっている。その改善策として、橋台（擁壁）と橋桁を一体化させて支承部を省略する一体橋梁があるが、橋桁の温度伸縮に起因する壁面工の繰返し水平変位に伴って土圧が増加し、部材損傷や背面沈下等の変状が生じる恐れがある。一体橋梁の普及や設計の合理化には、この土圧増加量を的確に評価することが求められる。著者らは、このような繰返し载荷を受ける擁壁の土圧増加挙動の評価手法の確立を最終的な目的として、これまでにアルミ棒積層体を用いた擁壁土圧実験装置による繰返し水平载荷実験を実施してきている。本報では、個別要素法による再現解析により背面地盤の粒子同士の力の釣り合い（以下、粒子間接触力）を可視化することで、土圧増加のメカニズムを詳細に考察する。

2. 繰返し载荷実験の概要と結果

実験は図-1 に示す擁壁土圧実験装置によって一体橋梁桁部の熱伸縮挙動を模擬した。本実験では、水平変位 δ を同一振幅で繰返し与える変位制御として繰返し载荷を行った。また、繰返し回数が100回に至るまで载荷を行った。この他の実験の詳細は参考文献¹⁾を参考にされたい。

次に、実験結果として、図-2 に主働領域のみに8mm繰返ししたケースA08の繰返し回数 $N=1, N=2$ の水平土圧係数 K_h と壁体傾斜角 $\theta = \delta/H$ と $N=16, N=100$ の時の载荷装置水平変位が主働側最大変位時から初期位置に戻すまでの $K_h - \theta$ の関係を示す。なお、図中には擁壁の初期位置を i 、繰返し回数 N 回目の主働側最大変位時を aN 、変位がゼロ（初期位置）に戻った時を oN として併記している。

図-1 の擁壁を初期状態から主働側に傾斜させると図-2 の青印に示すように主働土圧の $K_h - \theta$ 関係となる。その後、擁壁を主働側に傾斜させた状態から押し戻すと水平土圧係数が増加していく赤印に示すような $K_h - \theta$ 関係となる。擁壁が変位ゼロ時である $i, o1, o2, o16, o100$ に着目すると、土圧が累積的に増加する傾向が確認できる。

図-3 にケースA03, A08, A13, A18の水平土圧係数 K_h の初期値、繰返し回数 $N=1, N=4, N=100$ の水平土圧係数 K_{max} と壁体傾斜角の両振幅 θ_{p-p} の関係を示した。さらに受働側への単調载荷（単調受働载荷）実験の結果とこの後説明する再現解析による単調受働载荷を示した。図-3 より、主働側への繰返し载荷時の土圧増加量は、同振幅の単調受働载荷時の土圧にほぼ一致することが確認できる。

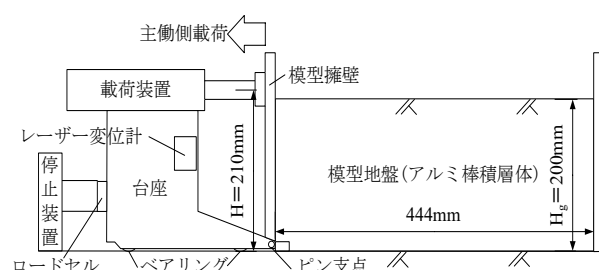
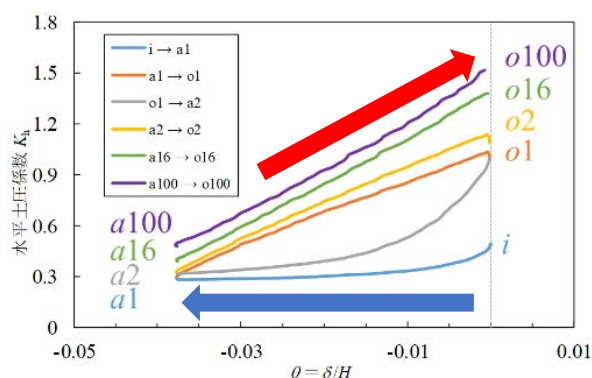
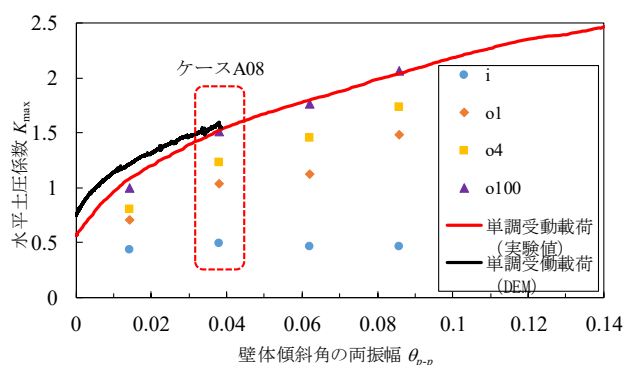


図-1 擁壁土圧実験装置

図-2 ケースA08の $K_h - \theta$ 関係図-3 繰返し载荷と単調受働载荷の
 $K_h - \theta$ 関係

キーワード 繰返し载荷、個別要素法、一体橋梁

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 基礎・地下構造研究室 TEL 03-3817-1804

3. 個別要素法による再現解析の概要

本実験では主働側のみに繰返し載荷した結果、図-2、3のような土圧増加が生じることがわかっている。このような土圧挙動の発生メカニズムを解明するために、Itasca 社製 PFC2D を用いた 2 次元個別要素法による再現解析を行った。再現解析に用いるパラメータを表-1 に示す。これらのパラメータは、既往のアルミ棒積層体模型実験の個別要素法による再現解析事例²⁾を参考としつつ、本実験で用いたアルミ棒積層体の安息角実験³⁾を再現できるように設定した。

表-1 再現解析に用いたパラメータ

パラメータ	記号 (単位)	値
粒子の密度	ρ (kg/m ³)	2650
法線ばね定数	k_n (N/m)	1.0×10^5
接線方向ばね定数	k_s (N/m)	2.5×10^4
摩擦係数	μ (-)	0.6
粘性減衰定数	h (-)	1.0
転がり摩擦	μ_r (N/m)	0.025

4. 個別要素法による再現解析結果

表-1 のパラメータを用いて模型実験の再現解析を行った。本解析では、受働方向に単調に 8mm まで載荷したケースと主働領域のみに 8mm の振幅で繰返し載荷したケース（ケース A08）の繰返し回数 N が 4 回に達するまでの再現解析を行った。なお、この 2 ケースの比較のため粒子の初期配置を同様にし、パッキングの差異による挙動の違いを無視できる状態にした。図-3 中には単調受働載荷時の荷重変位関係 ($K_{max} - \theta_{p-p}$ 関係) の再現解析を併記しているが、概ね実験結果を再現できていることが確認できる。

これら2ケースの粒子間接触力分布図を図-4に示す。図-4(a), (b), (c)はそれぞれ主働側繰返し載荷実験の i , $o1$, $o4$ を示し、図-4(d)は単調受働載荷の8mm時を示している。図-4(a)～(c)より、繰返し載荷回数が増えるに伴って地盤内部の粒子間接触力が増加し、さらにその範囲も広がっていることがわかる。また図-4(c), (d)より、土圧係数が同等の状態では、どちらのケースにおいても地盤高さ中間部より深い部分において粒子間接触力の分布が概ね一致し、擁壁から土槽底面に向かって力が伝達されていることがわかる。

5. おわりに

本報では、単調受働載荷と主働側繰返し載荷について再現解析を行った結果、土圧増加後は粒子間接触力の分布がおおむね一致し、主働側のみの繰返し載荷によっても受働側への単調載荷時と同等な地盤内部の変化が発生することが確認できた。今後、繰返し回数を増やした場合の再現解析と模型地盤高さや粒径をパラメータとした再現解析を行う予定である。なお、本解析の実施に際して有意義な議論を頂いた豊橋技術科学大学の内藤直人助教に深く感謝を表します。

参考文献

1) 瀬賀達夫, 牧野聖, 久保田祐紀, 西岡英俊, 平川大貴: 繰返し水平載荷を受ける一体橋梁および GRS 一体橋梁のアルミ棒積層体を用いた模型実験, ジオシンセティクス論文集, Vol. 37, pp.47-54, 2022.

2) Chao Xu, Cheng Liang, Panpan Shen, Fei Chai : Experimental and numerical studies on the reinforcing mechanisms of geosynthetic-reinforced granular soil under a plane strain condition, Soils and Foundations, Vol. 60, pp.466-477, 2020.

3) 瀬賀達夫, 牧野聖, 久保田祐紀, 西岡英俊: 一体橋梁の桁部温度伸縮に伴う主働側繰返し水平載荷を受ける橋台背面地盤の土圧増加挙動に関する個別要素法を用いた再現解析, 第 50 回土木学会関東支部技術研究発表会, III-26, 2023.

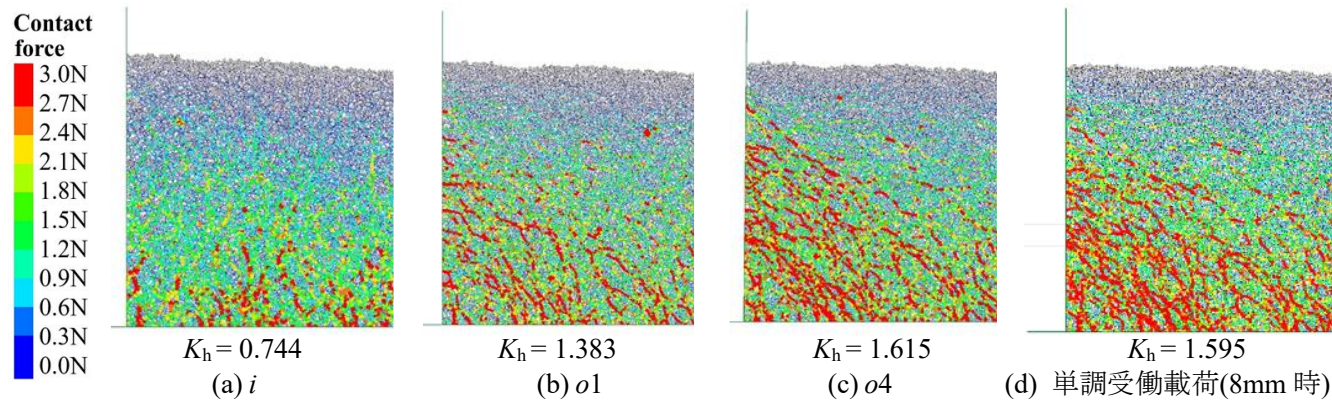


図-4 主働側繰返し載荷時と単調受働載荷時の粒子間接触力の比較