

擁壁移動速度に着目した擁壁背後地盤の大変形挙動

大変形 擁壁 粒子法

早稲田大学 学生会員 ○三浦 丈典
早稲田大学 正会員 中筋 智之
早稲田大学 国際会員 赤木 寛一
清水建設(株) 国際会員 桐山 貴俊

1. はじめに

斜面崩壊、土石流などの地盤の大変形を伴う破壊現象の発生メカニズムと、これらの災害リスクについて近年関心が高まっている。これら災害リスクに効果的に対応するためには、地盤構造物崩壊後の大変形挙動の定量的な評価技術が欠かせない。旧来の剛塑性を仮定した安全率による検討では破壊までの検討に留まっているが、破壊後の変形量を評価するためには、大変形まで考慮した、実験、解析技術に期待するところが大きい。本研究は積層アルミ棒を用いた室内試験により、大変形領域における地盤の変形挙動を調査し、数値解析法の一つである Generalized Interpolation Material Point 法¹⁾(以下、GIMP法とする)による解析結果と比較した。以下、擁壁の水平移動速度が背後地盤の大変形挙動に及ぼす影響について考察する(図-1 参照)。



図-1 本研究の実験フロー

2. 試験装置および試験手順

擁壁実験装置は、擁壁部と擁壁背後地盤を構成するアルミ棒積層体部から成る。擁壁部は、高さ200(mm)、幅10(mm)、奥行き50(mm)の真鍮製の剛体壁であり、ハンドルにより水平または下端固定による回転変位がそれぞれ制御可能である。水平変位時の擁壁の最大変位を95(mm)まで制御できるように改造し、可動式擁壁に上部からひずみゲージ式土圧計を3点設置した。アルミ棒積層体部は最大寸法で高さ200(mm)、幅500(mm)、奥行き50(mm)

(奥行きは固定値)の模擬地盤が作製可能である。実験手順は次の通りである。はじめに、模擬地盤として、高さ200(mm)、幅500(mm)の寸法でアルミ棒を積み上げる。地盤作製時、画像解析に用いる標点を縦横20(mm)間隔で地盤内に配置する。地盤は密詰とし可能な限り隙間なくアルミ棒を敷き詰める。アルミ棒の構成は長さ50(mm)、直径1.6(mm)、3(mm)の円柱断面のアルミ棒を、質量比2:1の割合で混合して作製した。図-2に実験実施前の擁壁とアルミ棒積層体の状況を示す。地盤作製後、擁壁を主働方向に95(mm)水平移動させる。その際、装置前方から地盤変形状況をカメラで撮影し、ひずみゲージ式土圧計を用いて擁壁に作用する圧力を測定した。撮影した動画を画像解析し、地盤変位およびひずみを算出する。ひずみは矩形に配置した標点変位から形状関数を用いて算出した。擁壁の移動速度は、最大変位までに要する時間を10(min)、20(min)、40(min)で変化させた。(表-1参照)

3. 実験結果と解析結果

3.1. 擁壁下部圧力測定結果

各擁壁水平移動速度(実験ケース①95mm/10min、実験ケース②95mm/20min、実験ケース③95mm/40min)において、擁壁下部の位置に設置した圧力計の測定結果を、擁壁水平変位量との関係で図-3に示す。移動速度の速い実験ケース①、実験ケース②では、擁壁水平変位量が増加するにつれて、擁壁下部の圧力値が0付近に近づき、負の圧力値も見られた。これは壁面の移動速度が速く、アルミ棒積層体による土圧が十分伝達していないことによる。移動速度の遅い実験ケース③においては、擁壁下部の圧力は常に正の値を示す。実験ケース①、②では、アルミ棒の移動が擁壁に比べて相対的に遅く、擁壁の変位に追従できず、アルミ棒と擁壁の接触点が離れ圧力は十分に伝達しない。実験ケース③では壁面に常に圧縮側の圧力が作用しており、アルミ棒の運動に対して壁面の運動が遅いと判断できる。すなわち、慣性項の影響が小さい、準静的な状態を模擬することを目的としたこの実験では、慣性力を直接的に測定することが困難であるので、正の主働土圧が発現する程度まで、擁壁を遅く移動させた実験ケース③を準静的な状態と仮定した。このとき、擁壁、アルミ棒が接触していることは、各瞬間で、個体間の釣り合いが取れていることを意味している。次に、準静的な実験ケース③95mm/40minで実験を行って得られた画像解析結果とGIMP法による数値解析結果との比較・検討を行い、以下に整理した。

表-1 擁壁移動速度を変えた場合の実験パターン

Case	計測時間 (s)	水平変位 (mm)	移動速度 (mm/min)
①	600	95	9.5
②	1200		4.8
③	2400		2.4

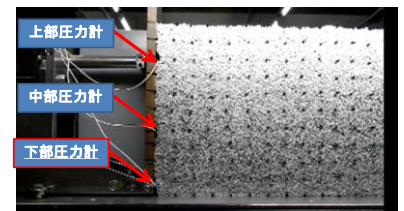


図-2 変形前の擁壁とアルミ棒積層体

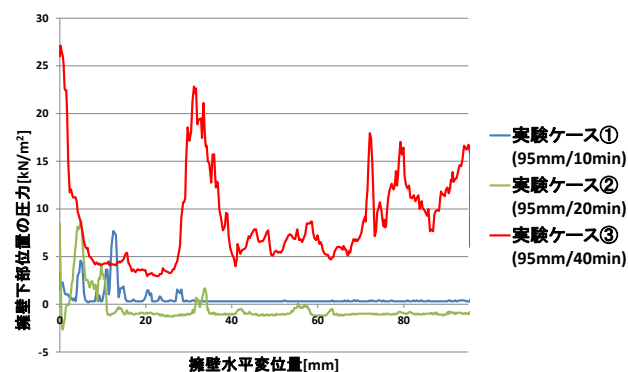


図-3 各水平移動速度における擁壁下部の圧力

3.2. 擁壁背後地盤の変形挙動

(a) GIMP法の解析条件 表-2 に解析で用いた地盤条件, 図-4 に解析モデルを示す. 図-4 の赤色の要素は擁壁, 青色は擁壁背後地盤をモデル化したものである. 擁壁背後地盤の計算格子は幅 500(mm), 高さ 200(mm)であり, 格子 1 つは 5(mm)の正方形である. 同様に擁壁は幅 20(mm), 高さは 200(mm)でモデル化したものである. 擁壁, 背後地盤共に 1 格子当り 4 粒子配置した.

表-2 地盤条件

物性値	値
ヤング率 E (kN/m ²)	1000
ポアソン比 ν	0.3
土粒子密度 ρ (g/cm ³)	2.43
粘着力 c (kN/m ²)	0
内部摩擦角 φ (deg)	20
ダイレイタンシー角 Ψ (deg)	0

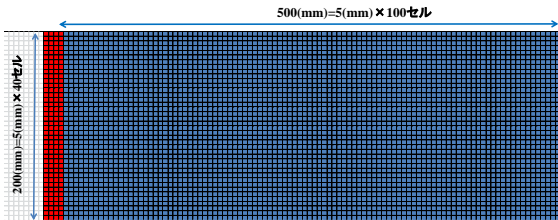


図-4 GIMP法の解析モデル

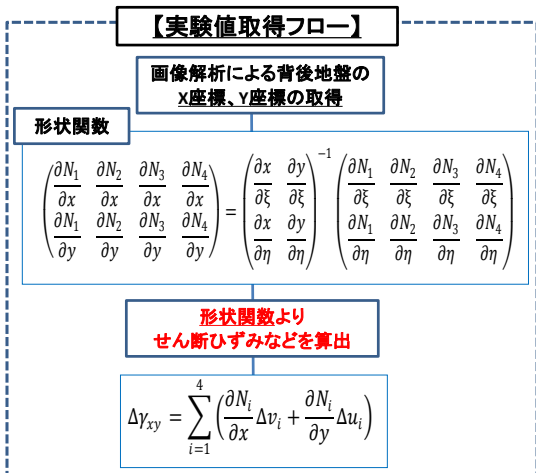
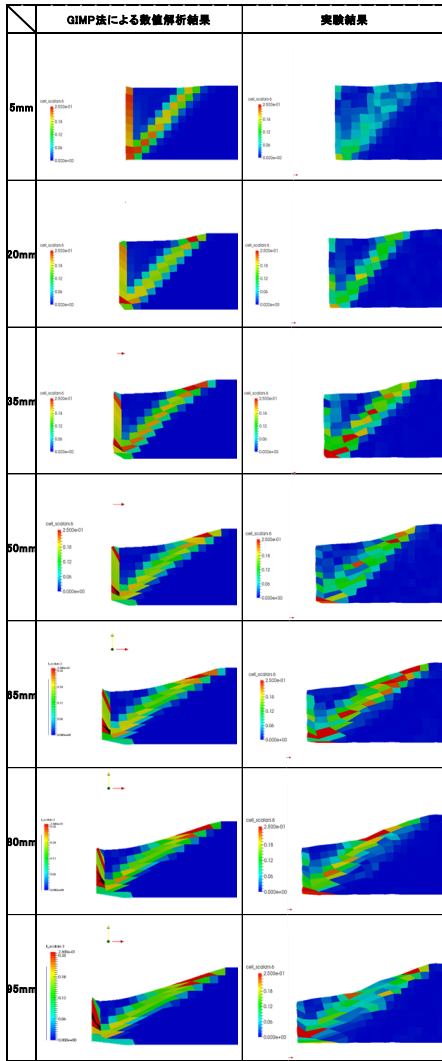
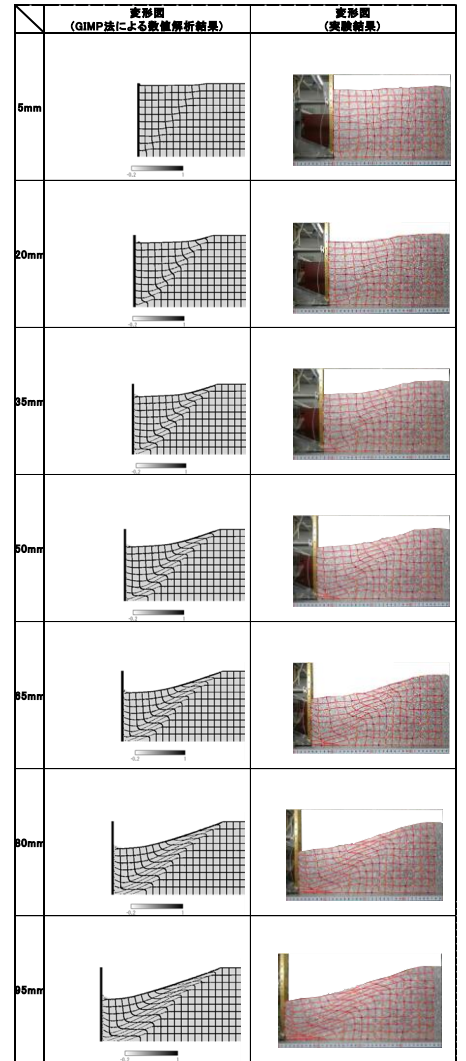


図-5 実験値算出フロー



(a): GIMP法による解析結果 (b): 実験結果
図-6 数値解析と実験結果の最大せん断ひずみ値比較図



(a): GIMP法による解析結果 (b): 実験結果
図-7 数値解析と実験結果の変形の比較図

(b) 解析結果と実験値との比較

図-4, 図-5 と表-2 に従い, 擁壁移動に伴い背後地盤に発生する最大せん断ひずみを算出した. ここで, 実験ケース③における擁壁変位 15mm 毎のアルミ棒積層体の变形状況と画像解析により算出した最大せん断ひずみの結果を図-6 に示した. 図-6 から地盤内部の最大せん断ひずみに着目すれば, 擁壁下端から上流の地表方向へひずみが分布している様子がわかる. 擁壁下端から背後地盤がせん断変形を受ける状態は剛塑性を仮定した極限状態の主働崩壊と同傾向の結果である. 大变形時における背後地盤の变形は, 連続する主働崩壊によって生じたものと考えられる. 図 6(a)では擁壁と粒子との境界に, 大きなせん断ひずみが現れている. 一方で図 6(b)では, 擁壁とアルミ棒との境界あるいは擁壁が通過した底面とアルミ棒との境界で, 大きな最大せん断ひずみが現れている. これは実験においてアルミ棒が擁壁からの壁面摩擦を受け, 擁壁近接の標点为空隙への落込み等の局所的な変形をしたためである. 図-7において, 実験結果と数値解析結果におけるメッシュ(一辺 20mm)变形図を比較した. 図-7によれば, 大变形後の擁壁背後地盤内のすべりの到達位置, せん断面の位置が実験と解析で良く一致している. なお, 実験ケース①, ②の解析結果においては擁壁の移動に, 背後地盤の变形が追従できない結果が得られている.

4.まとめ 本研究では擁壁移動速度の違いによる擁壁下部の圧力値の計測, その結果を元に擁壁速度が最も遅い準静的とみなしうる実験結果と GIMP 法による数値解結果の比較を行った. 本研究で得られた成果は以下のとおりである.

- 1) アルミ棒積層体の变形において, 準静的な状態を再現させるために擁壁移動速度の調整を行った. 粒子の運動および力の伝達に対して擁壁の移動速度が, 実験ケース③において十分に遅く壁面圧力が生じることが, 確認できた.
- 2) 実験ではアルミ棒が擁壁からの壁面摩擦を受け, 擁壁近接の標点局所的な変形をしたため, 実験結果において, 擁壁とアルミ棒との境界あるいは擁壁が通過した底面とアルミ棒との境界で, 大きな最大せん断ひずみが現れている.
- 3) 大变形後の擁壁背後地盤内のすべり到達位置とせん断面の位置が, 実験, 数値解析結果共に, 良く一致した.

今後の課題として, 実規模を考慮した遠心模型実験や最大せん断ひずみ値などの定量的比較を行う.

<参考文献>

1) Bardenhagen, S.G. and Kober, E.M.: The generalized interpolation material point method, Computer Modeling in Engineering and Science, Vol.5, No.6, pp447-495, 2004.