

# 擁壁背後地盤の解析・実験による大変形メカニズムの検討

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

## 1.はじめに

地盤の変形挙動の予測は、地盤に関わる構造物の安全性を評価する上で重要である。これら地盤の変形問題に対し、有限要素法や個別要素法を中心とした数値解析が行われている。しかし、有限要素法に関しては大変形時のメッシュの破綻、個別要素法に関しては物性値のキャリブレーションが必要であるなど、課題点も挙げられる。そこで、粒子法と格子法の特徴を持ち合わせた Generalized Interpolation Material Point Method<sup>1)</sup> (以下、GIMP 法)の大変形問題への検討が行われている。本研究では、重力場、遠心場での模型実験を実施することで、大変形領域における地盤の変形挙動を調査している。本論文では、遠心载荷装置により実規模の応力状態を再現することで、大変形の再現性をより高めた実験データの取得を試みた。そして、背後地盤を主働破壊させる変形試験、再現解析を実施し、定量的比較を行うことで、GIMP 法の静的解析への適応性の検討を試みた。図-1 に研究フローを示す。

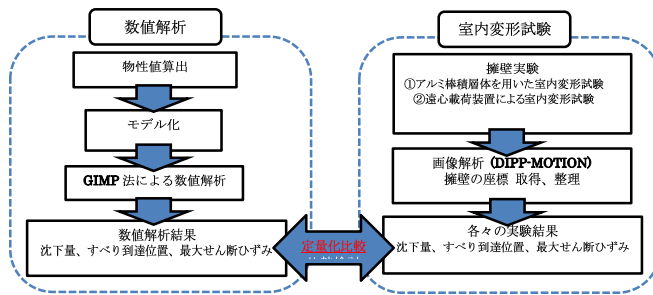


図-1 研究フロー

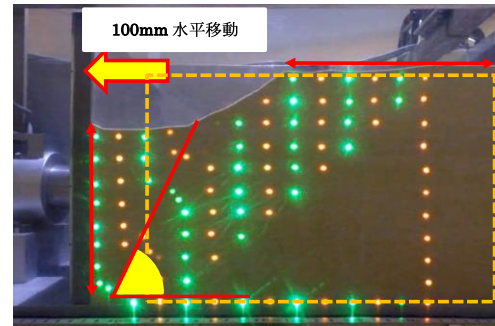


図-2 計測手順

## 2. 遠心载荷装置と試験手順

遠心载荷装置は、小型模型地盤に遠心力を作用させることにより、実地盤相当の静止土圧状態を再現することができる。本実験では高さ 20(cm)の模型地盤を作製し、加速度を 50(G)とする。20(cm)×50(G)で高さ 10m 相当の静止土圧状態にある擁壁を、強制的に手法崩壊させる実験を模擬している。模型実験に用いた土槽内寸法は、高さ 300(mm)、幅 900(mm)、奥行き 280(mm)の剛体壁土槽である。土槽中に擁壁を模擬した剛体壁を設置し、その背後に地盤材料として豊浦砂を用いて砂柱を作成する。背後地盤の寸法は幅 400(mm)、高さ 200(mm)で実験を実施した。そして、擁壁を平行移動させることで背後地盤の大変形挙動を再現した。試験手順は次の通りである。はじめに、可動式擁壁を初期位置に配置し、擁壁背後に砂まき器を用いて豊浦砂を相対密度 90%で投入し、計測用 LED 標点を 2cm 格子状に配置する。次に遠心载荷装置を用いて 50G の遠心場を作り、擁壁背後の地盤材料に実規模の力を与える。動画撮影にて標点を追尾し、可動式擁壁をジャッキにより 2(mm/min)稼働させ、主働方向 100(mm)まで水平移動させる。そして、撮影した動画を画像解析し、模型地盤の地中変位、せん断位置、地表面の幅、及びひずみを算出する(図-2 参照)。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最大せん断ひずみを算出した。

## 3. GIMP 法を用いた数値解析

数値解析を実施するにあたり、三軸圧縮試験、既存の文献より地盤条件を算出した。

### (a)内部摩擦角算出方法について

室内変形試験において、擁壁背後に砂まき器を用いて豊浦砂を相対密度 90%で投入しているため、豊浦砂の最大間隙比、最小間隙比から間隙比  $e=0.6484$  を算出し、三軸圧縮試験の供試体を作成した。また、GIMP 法はバイリニアの手法であるため、ピーク強度と残留強度それぞれに対応する内部摩擦角を、モールの応力円より算出した。

### (b)せん断剛性算出方法について

せん断剛性については国生ら<sup>2)</sup>の式より、遠心载荷時の最大拘束圧 160(kPa)を仮定し、せん断剛性の値を算出した。

### (c)解析モデルについて

表-1 に解析で用いた地盤条件、図-3 に対象の解析モデルを示す。図-3 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 20(m)、高さ 10(m)であり、格子 1 つは 0.25(m)の正方形である。同様に擁壁は幅 1(m)、高さ 10(m)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-1.地盤条件

物性値	値
ヤング率 E (kN/m <sup>2</sup> )	3.50E+05
ポアソン比ν	0.33
せん断剛性G <sub>0</sub> (kPa)	1.33E+05
単位体積重量γ(kN/m <sup>3</sup> )	15.7
粘着力c(kPa)	0
内部摩擦角φ(°)	35.4
残留粘着力c <sub>r</sub> (kPa)	0
残留内部摩擦角φ <sub>r</sub> (°)	25.8
ダイレイタンス角ψ(°)	0

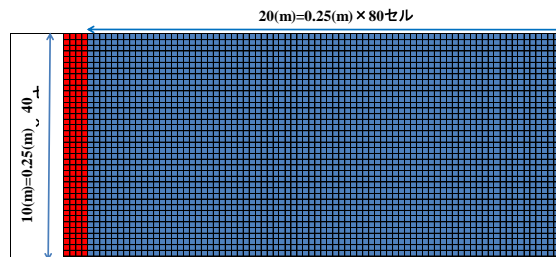


図-3 GIMP法の解析モデル

キーワード：大変形、粒子法、遠心模型実験

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院赤木研究室 Tel.03-5286-3405

III-20	累積最大せん断ひずみ図 (解析結果)	累積最大せん断ひずみ図 (遠心実験)	変形図 (解析結果)	変形図 (遠心実験)
20mm				
40mm				
60mm				
80mm				
100mm				

(a): GIMP 法による解析結果 (b): 実験結果  
 図-4 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-5 数値解析と実験結果の変形の比較図

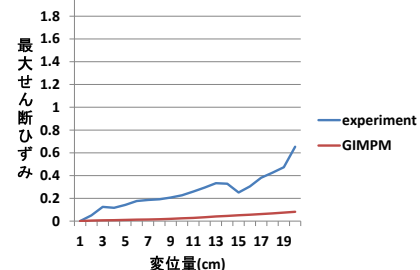


図-6-(a) 要素番号 11 の最大せん断ひずみ比較図

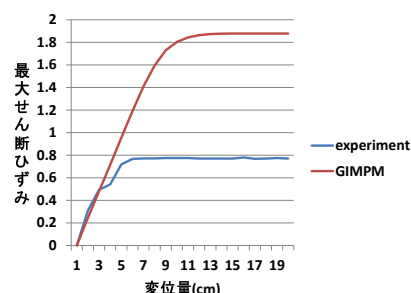


図-6-(b) 要素番号 18 の最大せん断ひずみ比較図

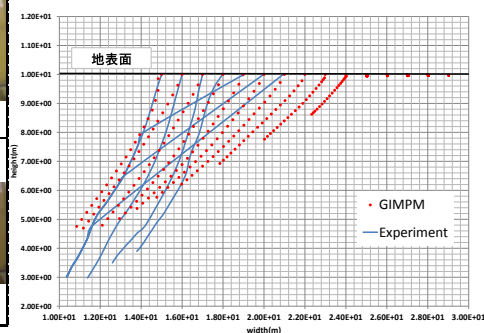


図-7 数値解析と実験結果の地表面の軌跡比較図

#### 4. 実験結果と GIMP 法による数値解析結果

表-1, 図-3 に従い, 数値解析および室内変形試験より算出した最大せん断ひずみの結果を水平変位 20mm ごとに図-4 に示し, 実験結果および数値解析結果の格子 (一辺 1m) 変形図を図-5 に示した. また, 実験結果および数値解析結果における, 地表面の要素 11 の最大せん断ひずみ値, 地盤内部の要素 18 の最大せん断ひずみ値, 地表面の変位について, 図 6, 図-7 に示した.

図-5 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. 大変形時における背後地盤の変形は, 連続する主働崩壊によって生じたものと考えられる. また, 地表面の最大せん断ひずみ(図 6-a)では, 数値解析結果は実験結果と整合しないが, 地中部の最大せん断ひずみ(図 6-b)に関しては, 変位量 6mm まで高い再現性が得られた. これは, 数値解析における側方境界は面外固定としているため, 背後地盤の引張応力が側方境界に引っ張られ, 数値解析(図 4-a)によるせん断帯の発達方向が, 斜面上流側の側方上部に向かうためだと考えられる.

次に, 数値解析と遠心実験の変形図比較結果 (図 5)についてまとめる. 数値解析では, 背後地盤地表面の形状は比較的緩やかな地表面が形成され, 擁壁近傍にて砂粒子が堆積する傾向が見受けられた. 遠心実験では, 背後地盤の地表面の形状は急な地表面が形成され, 擁壁近傍にて砂粒子が堆積する傾向が見受けられた. これらの傾向は, 地表面の軌跡(図-7)よりも確認できた. これは, 数値解析にて構成則がバイリニア型のモールクーロン則に従っているためである. 遠心実験は微小変形から大変形までに至る現象である. 数値解析にて実験時の微小変形状態を合わせようとする最終変形状態が合わず, 実験時の最終変形状態に合わせようとする微小変形状態が合わない. 変形状態に合わせて, 数値解析上の物性値を設定することが必要であるといえる.

#### 5. まとめ

GIMP 法の静的解析への応用を目的に, 遠心実験と再現解析の検討を行った. 本研究で得られた成果は以下のとおりである.

- 1) 両結果において, 大変形時における背後地盤の変形は, 連続する主働崩壊によって生じることが観測できた. また, 擁壁近傍での乾燥砂の堆積状況の傾向を再現することができた.
- 2) 擁壁背後地盤の地表面の形成について, 遠心実験では背後地盤の地表面の形状は, 急な地表面が形成された. 数値解析では, 背後地盤地表面の形状は比較的緩やかな地表面が形成されることが観測された.

#### 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.
- 2) 国生剛治ら(1979)「三軸試験装置を用いた微小ひずみから大ひずみまでの土質動的試験法の開発と砂の物性試験への適用」, 『電力中央研究所報告』, 研究報告, No379002