地盤の移動体積比に着目した擁壁背後地盤の大変形解析

大変形　擁壁　粒子法

早稲田大学　学生会員　○今田　耕太郎
早稲田大学　フェロー会員　赤木　寛一
清水建設（株）フェロー会員　桐山　貴俊

1.はじめに

近年の大地震や豪雨による地盤破壊や土砂災害が社会基盤に及ぼす影響は甚大である．これらの問題の対策として，地盤の大変形に関わる数値解析によって地盤の破壊規模や被害を予測することが期待されている．

ここでは，数値解析法として GIMP 法を採用し，大変形領域における適用性について検討している．既往の研究では，数値解析結果の比較対象として，アルミ棒積層体の大変形挙動および遠心場における豊浦砂の大変形挙動に関する実験を実施し，これらの実験結果と数値解析結果の比較を行ってきた．解析による実験結果の再現性については，同じ擁壁背後地盤の大変形においても地盤の物性や境界条件により異なることを確認した．これらの結果を定量的に比較するために，地盤変形時の土塊移動量に着目し，それぞれの実験の境界条件の違いが及ぼす影響について検討した．

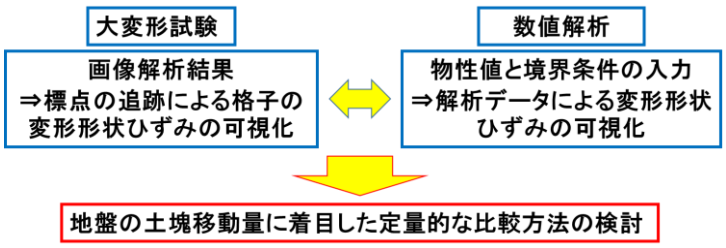

図-1　研究フロー

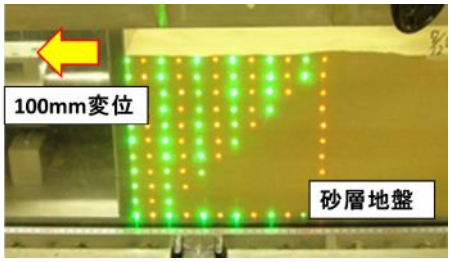

図-2　遠心場における砂層地盤の変形試験

2. 実験条件および解析条件

2.1 遠心載荷装置を用いた豊浦砂の大変形試験

遠心載荷装置は，模型地盤に遠心力を作用させることで，実地盤規模の応力状態を再現することができる．本実験では，高さ 20(cm)の模型地盤に加速度 50(G)をかけることで，高さ 10m 相当の地盤を再現した．高さ 300(mm)，幅 900(mm)，奥行き 280(mm)の土槽内部にて，可動式擁壁を初期位置に配置し，擁壁背後に地盤材料として豊浦砂を空中落下法により模型地盤を作製した．地盤寸法は幅 400(mm)，高さ 200(mm)，奥行 280(mm)であり，相対密度 90%の地盤である．地盤作製時，計測用 LED 標点を 2cm 格子状に配置する．この土槽を遠心載荷装置により 50G のもとで，静止土圧状態にある地盤を，擁壁を速度 2(mm/min) で稼働，主働方向 100(mm)まで水平移動させる．この擁壁の移動により地盤を主働崩壊させ，豊浦砂地盤の大変形挙動を観察した．撮影した動画を画像解析により，模型地盤の地盤変位，せん断面位置，およびひずみを算出する．

2.2GIMP 法による解析条件

GIMP 法により豊浦砂の大変形試験の数値解析を行った．図-3 に解析モデルを示す．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 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 格子当辺り 4 粒子配置した．本実験における豊浦砂の地盤条件を表-1 に示した．

表-1.解析に用いた物性値

物性値	値
ヤング率E(kPa)	3.9×10^5
ポアソン比ν	0.33
せん断剛性G_0(kPa)	1.5×10^5
単位体積重量γ(kN/m³)	15.7
粘着力c(kPa)	0
内部摩擦角φ(°)	35.4
残留粘着力c_r(kPa)	0
残留内部摩擦角φ_r(°)	25.8
ダイレイタンシー角Ψ(°)	0

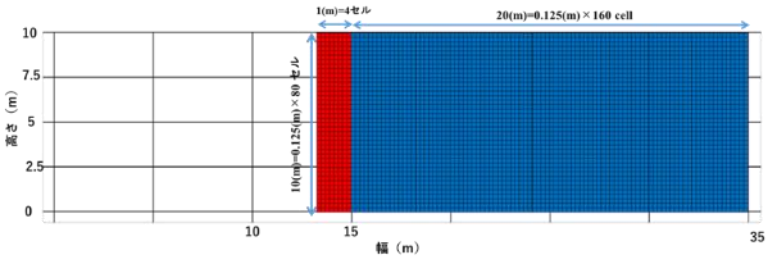

図-3　GIMP 法の解析モデル

3. 実験結果と解析結果の比較

実験結果と解析結果について比較すると堆積形状が異なる結果となった．図-4，図 - 5 では最終堆積形状の比較をしている．

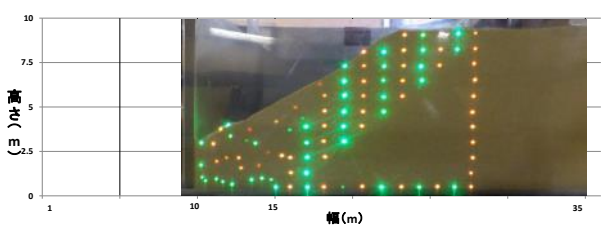

図-4.実験結果（最終堆積形状）

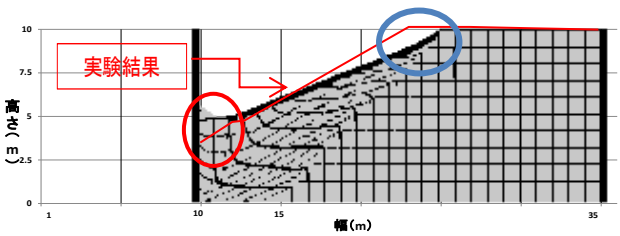

図-5.GIMP 法による解析結果（最終堆積形状）

Experimental study on large deformation behavior of the ground behind retaining wall.

Hirokazu, Akagi Waseda University
Koutaro, Imada Waseda University
Takatoshi, Kiriyama SHIMIZU CORPORATION

実験結果と数値解析結果について定量的な比較を行う．図-6 のように定量評価の基準を設定する．定量評価の基準として，擁壁の最終移動量(A_0)に対する各変位時の沈んだ地盤移動量の体積(A_1)，初期の擁壁高さ(h_0)に対する各変位時の地盤の沈み込み深さ(h_1)の比に着目する．これにより，初期から最終変位までの地盤土塊量の傾向を比較することが可能となる．これらの比を用いることで，表-2 に示した 4 つの実験および解析結果について比較を行う．ここでは既往の研究 [2]であるアルミ棒積層体に関する実験についても比較を行う．

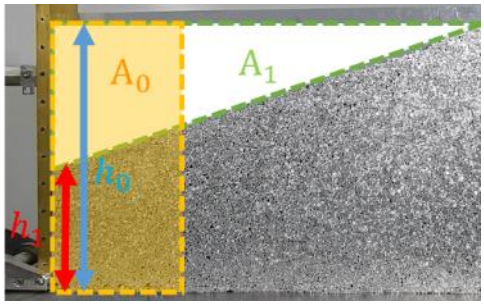

図-6.定量評価の基準

表-2. 検討項目および評価基準

検討項目	評価基準
遠心実験結果（豊浦砂）	沈み込み比（h_1/h_0）
室内変形試験結果（アルミ棒）	移動体積比（A_1/A_0）
数値解析結果（粘着力なし）	
数値解析結果（粘着力あり）	

アルミ棒積層体を用いた変形試験と豊浦砂を用いた遠心実験および GIMP 法による数値解析結果において，それぞれ計測した擁壁近傍の沈み込み比（h_1/h_0）と地盤の移動体積比（A_1/A_0）を整理した結果を図-7，図-8 に示す．遠心実験結果では，沈み込み比と地盤の移動体積比ともに，アルミ積層体を用いた変形試験結果よりも小さくなった．これは遠心場での大変形時において，豊浦砂がアルミ棒よりも移動しにくく，砂粒子の移動が拘束されていることを示している．

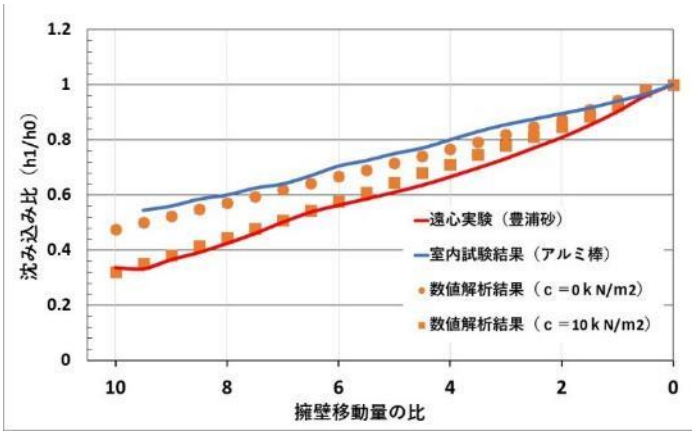

図-7.沈み込み比による定量評価

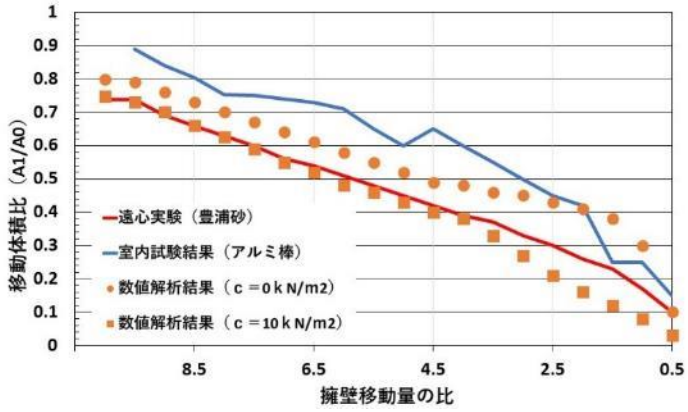

図-8.移動体積比による定量評価

図 - 7，図 - 8 に示された模型地盤の移動形状の違いについて考察した．これらの原因として，模型地盤周辺の境界条件が地盤の変形挙動に影響しているものと考えた．アルミ棒の変形試験においては，地盤変形の拘束条件が二方向のみであり，また，地盤材料が棒状であることも踏まえると奥行き方向の拘束を特に考慮する必要がなく，二次元擁壁移動比条件を満足している．それに対して，遠心場における豊浦砂の境界条件については，地盤の前後が透明板で囲まれているため，奥行き方向の摩擦が発生している．これにより，豊浦砂の動きが拘束されるので，三次元の境界条件を考慮する必要がある．数値解析においても，二次元解析を仮定しているため，奥行方向の拘束が影響し，実験結果と大きく異なったと考える．

この結果を踏まえ，本解析においては二次元解析における地盤の物性条件として見かけ上の粘着力を考慮した．遠心実験における奥行方向の拘束による砂粒子の移動の妨げを見かけ上の粘着力(c=10kN/m^2)を考慮することで再現した．粘着力を考慮した数値解析についても図 - 7，図 - 8 に併せて示す．この見かけの粘着力を考慮することで，沈み込み比および移動体積比ともに実験結果に近い傾向を得られることが分かった．

5. まとめ 本研究では，擁壁の平行移動に伴う背後地盤の実験結果と GIMP 法による数値解結果について定量的な比較を行った．本研究で得られた成果は以下のとおりである。

1)定量的な評価手法として，沈み込み比および移動体積比に着目することで変形初期から最終変位まで同一の尺度を用いて結果の比較を行うことができた．この結果，模型地盤周辺の境界条件が砂地盤の大変形挙動に影響する事が分かった．

2)二次元解析上では，見かけ上の粘着力を考慮することで砂地盤における実験結果に近い解析結果を得ることができる．

（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) 三浦丈典：擁壁移動速度に着目した擁壁背後地盤の大変形挙動，2016 年度地盤工学論文発表会，地盤学会