

液状化による護岸堤脚部の捨石の沈下過程

京都大学工学研究科 正会員 原田英治
京都大学工学研究科 フェロー 酒井哲郎
京都大学工学研究科 正会員 後藤仁志
京都大学工学研究科 学生員 井元康文

1. はじめに

ケーソン防波堤や直立護岸等の海岸構造物の前面での洗掘防止の目的として、捨石や消波ブロックが堤脚部に設置されることが多い。この種の防波堤形態については、ブロックの沈下等の被災事例が数多く報告されている。被災機構の一つとして注目されるのが、海底砂地盤の波浪による液状化である。波浪による海底地盤面への作用水圧と海底地盤内の間隙水圧の位相差が、地盤表層付近の砂に見かけの揚力を作用させ、地盤表層の支持力低下を誘発する。その結果、砂の移動抵抗が減少して、流動化が生じる。見かけの揚力の発生は短時間現象であるが、反復的に生じるので、捨石は徐々に沈下していく。この種の埋没は、捨石群やブロック群の洗掘抑制機能の低下や防波堤自体の機能低下に繋がるので、現象の進行過程の解明は重要な課題である。

波浪による砂地盤の液状化に起因する単一ブロックの沈下については、既往の研究により基礎的な特性が明らかにされてきているが、捨石や消波ブロックの個々の要素の相互干渉、すなわち、ブロック群としての挙動に着目した研究には、ほとんど例がない。捨石や消波ブロックの沈下は、上載荷重の大小に影響されるが、地盤面と接する単一のブロックが隣接するブロックとどのような接触状態にあるかによって接地圧が変化するので、局所的な荷重が、ブロックの沈下に大きな影響を与えることは明白であり、隣接するブロックからの影響を適正に評価するためには、ブロック群としての変形特性を把握することが不可欠である。

2. 研究概要

ブロック群としての挙動を表現するには、離散的な要素間の相互作用を記述できるモデルが不可欠になる。現時点でこの要求を満たすモデルは、個別要素法（DEM）において他にない。このような現況を鑑み、本研究では、波浪による液状化に起因する砂地盤の支持力低下がもたらす捨石群の変形過程を、耐圧式砂層水槽による水理実験と個別要素法に基づく数値シミュレーションを併用して詳細に検討する。特に、防波堤端部のブロック群の被覆形状の相違によるブロック群の変形過程に注目し、被覆形状の相違によるブロック群の変形特性を検討した。

実験装置は、砂層水槽の両端に連結されたプロペラ式の流量制御系と油圧シリンダー式の水圧制御系を有し、流速・水圧を任意に制御できるが、本研究では水圧制御シリンダーのみを使って耐圧式砂層内に配置したガラス球群の沈下・埋没過程の実験を実施した。粒径 $d=0.25\text{mm}$ 、比重2.65の均一砂を敷きならした砂面上に、粒径 $D=40.0\text{mm}$ 、比重2.33のガラス球を積上げてマウンドを形成した。各ガラス球は、直下層の4個のガラス球が支持するように配置してある。また、マウンドの背後は鉛直壁に接しており、片側のマウンドの端部には、角錐状に球を連結したサポート部を設置した。周期4.0秒、全振幅 2.5mAq の水圧振動を繰り返し作用させてマウンドの変形過程をCCDデジタルビデオカメラで撮影した。なお、砂層の側壁に埋め込んだ間隙水圧計を用いて計測した地盤内間隙水圧分布と有効被り圧から有効応力を推定し、減圧位相で液状化が発生する条件が成立することを別途確認している。

計算に用いたモデルは、剛体連結モジュールを組み込んだ拡張型の三次元個別要素法を基礎とした粒状体モデルである。シミュレーションでは、比重2.65、直径5.0mmの砂地盤表層上に、比重2.33、直径は40.0mmのマウンド構成

キーワード：個別要素法、要素間相互作用力、液状化、ブロック群変形過程

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 土木工学専攻

TEL: 075-753-5099 FAX: 075-761-0646

粒子を配置した。また、マウンドの沈下の発生は液状化が生じる位相の近傍に限定されるから、計算の効率化のため、表層近傍の砂粒子に対して液状化に起因する見かけの揚力の積荷・除荷を反復する方法で駆動力を表現する簡便な取扱いとした。

3. 実験およびシミュレーション結果

case-A および case-B の2種類の配列状態による実験と数値シミュレーションを実施した。実験および数値シミュレーションの初期状態および50周期後のマウンド端部の状態を図-1,2に示す。数値シミュレーションが実験結果を良好に再現しており、個別要素法型の本シミュレーションモデルが液状化による捨石群の沈下過程の再現に十分に有効であることが示された。初期状態と50周期後の上面からの配列状態を比較すると、case-A および case-B の双方とも放射上にガラス球が拡がる様子が見て取れる。また、双方の被覆形状ともマウンド端部からマウンド中央部に向かって繰り返し载荷後のガラス球の移動量が増加する傾向となっている。これは、マウンド中央部では端部と比較して上载荷重が大きく、その分だけ接地圧が大きくなるためであると考えられる。

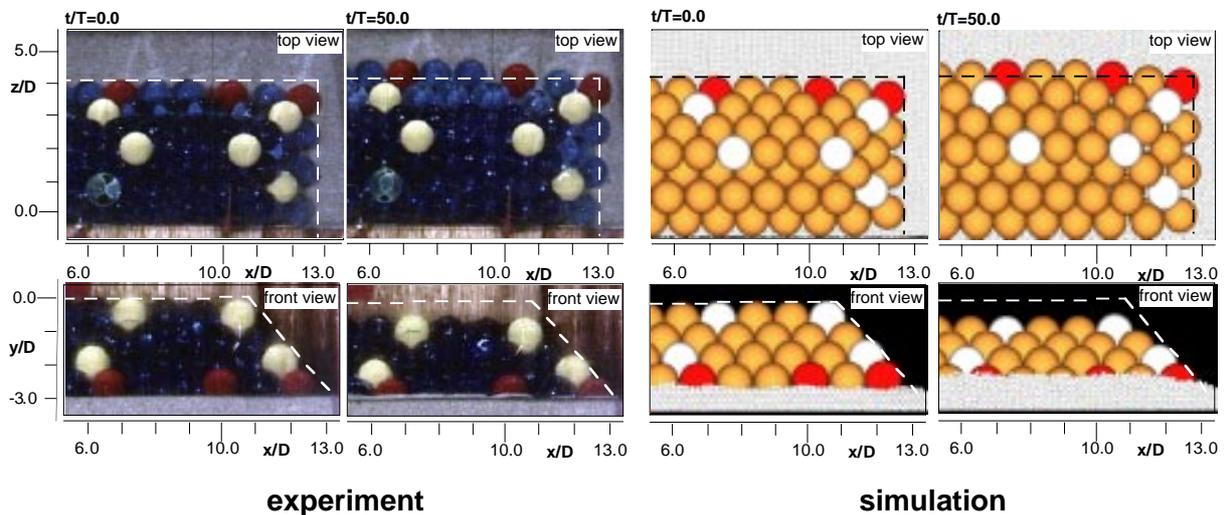


図-1 マウンド端部の沈下・変形過程 case-A (左：実験，右：シミュレーション)

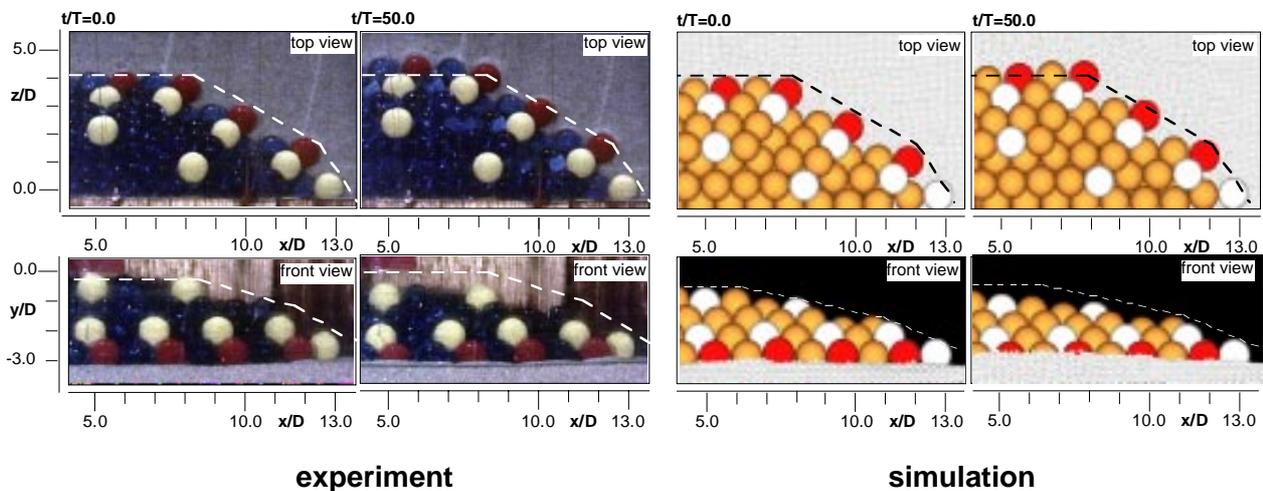


図-2 マウンド端部の沈下・変形過程 case-B (左：実験，右：シミュレーション)