

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安定性確保のために、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。被災機構としては、海底砂地盤の波浪による液状化が挙げられる。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促し、その結果、砂の移動抵抗が減少して流動化する。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。このような埋没が、捨石群やブロック群の洗掘抑制機能の低下や防波堤の機能低下を引き起こすので、地盤の液状化によるブロックの沈下過程の解明は重要な課題である。

2. 研究概要

波浪による地盤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はほとんどない。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、また、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の適切な評価には、ブロック群としての変形特性の把握が不可欠である。

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を実施して検討した。特に、本研究では、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。

使用した実験装置は、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。各実験ケースの実施前には、地盤のボーリングを行い、地盤飽和度のばらつきを無くすように努め、さらに、予備的な加減圧操作を行って地盤を締め固めている。マウンドは、各ガラス球が、直下層の4個のガラス球によって支持されるように配置し、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。なお、マウンドの背後は鉛直壁に接している。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砂地盤表層に液状化を発生させて、マウンド端部の変形過程を高速ビデオカメラで撮影した。また、ガラス球のマウンドの上部には、45度に傾斜した鏡を設置して、マウンドを正面から撮影することで、正面および上方からのマウンドの変形過程を同時に記録可能となっている。なお、砂層の即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は別途確認している。

3. 実験結果

case-A および case-B の2種類の被覆形状による実験を実施した。ビデオ画像から抽出したマウンド端部の変形過程を図-1に示す。なお、図中の白い破線はマウンドの初期配列時の大略の概形である。case-A および case-B の双方とも時間の経過とともにマウンド全体が沈下し、ガラス球が放射状に広がる。時刻 $t/T=50.0$ における画像には、マウンドの前縁部近傍の砂地盤の陰影から、砂の盛り上がりが確認できる。特に正面の画像には、砂の盛り上がりが明瞭に示されている。これは、砂層表層が液状化状態を繰り返すうちに、マウンドの荷重を受けて流動して、マウンド前縁部近傍に押し出されて堆積したものと考えられる。また、砂地盤に接地するマウンド最下層のガラス粒子は、ガラス球のみと接している上段の粒子と比較して、沈下の程度が小さい結果が双方の被覆形状で確認できるが、砂地盤に接地するガラス粒子は、ガラス球のみと接しているガラス粒子と比較して空隙が小さく沈下し難いためであると考えられる。また、双方の被覆形状ともマウンド端部は、マウンド内部($x/D=5.0$ 付近)と比較してガラス球の水平(xz 平面)方向および鉛直(y 軸)方向への移動量が減少する傾向が見られる。これは、マウンド中央部では端部と比較して上載荷重が大きいためであると思われる。

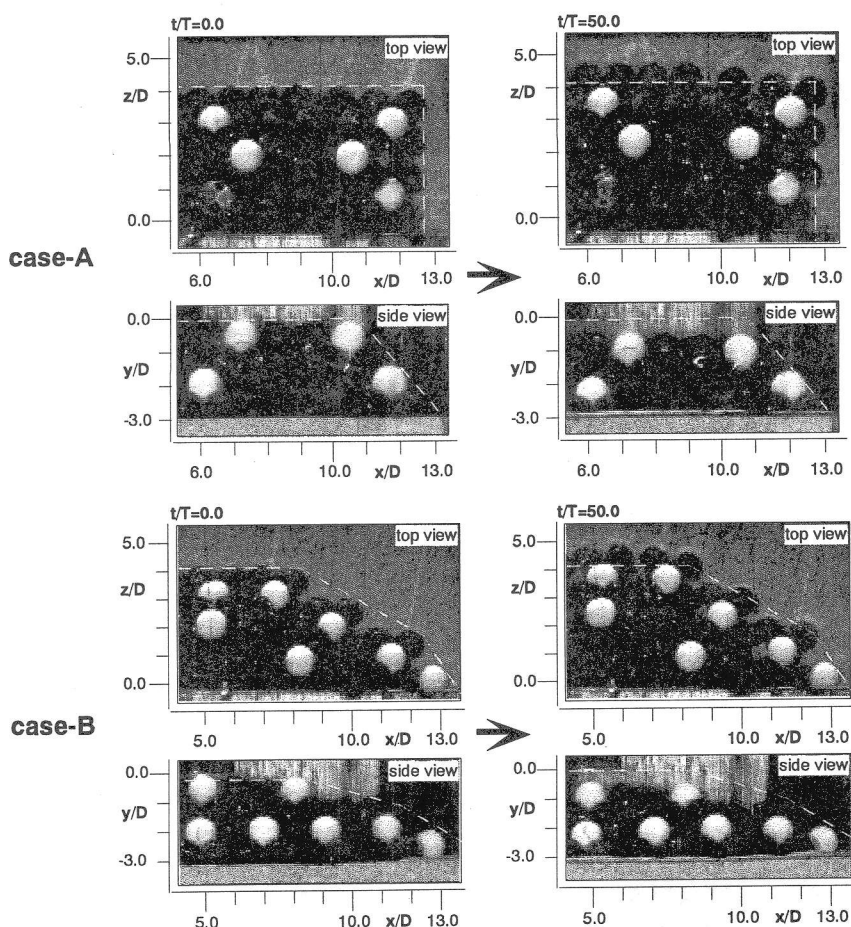


図-1 ガラス球マウンドの沈下・変形（上：case-A, 下：case-B）