

京都大学工学部	学生員	○田中秀範
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	正会員	原田英治
京都大学工学研究科	学生員	井元康文

1.はじめに ケーソン防波堤や離岸堤などの海岸構造物の沈下を伴う被災の原因の一つとして構造物直下の砂地盤の液状化が指摘されている。波浪による水圧変動が海底地盤に作用して海底地盤内間隙水圧に位相差が生じることにより、地盤表面付近の砂に見かけの揚力が作用し、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であるが、反復的に生じるので、上載荷重の作用下では徐々に沈下が生じる。本研究では特に、海岸構造物の前面での洗掘抑制を目的として設置される捨石や消波ブロックに着目し、その沈降過程を調べることを目的としている。これまで、単一ブロックの沈降過程に関してはいくつかの研究が報告されているが、捨石やブロックを群として

とらえ、群全体の挙動を取り扱ったものは過去に例がない。しかし、現実には捨石やブロックは群として挙動するので、群としての変形特性を把握することが重要である。また、捨石やブロックの二次元的な沈降過程に関する研究は過去に存在するが、三次元的、つまり鉛直方向だけでなく、奥行き方向の挙動も含めた研究も過去に例がなく、不明な点が少なくない。そこで本研究では、捨石やブロックの群全体の三次元的な挙動を詳細に調べることを目的として、耐圧式砂層水槽による水理実験と個別要素法型の数値シミュレーションによる比較検討を行った。

2.海底地盤液状化による捨石群の沈降に関する水理実験 水理実験は、図-1に示す油圧式水圧制御シリンダーに連結された耐圧式砂層水槽を用いて行った。粒径 $D=25.0\text{mm}$ 、比重2.33のガラス球を用いて捨石を仮想した。粒径 $d=0.25\text{mm}$ 、比重2.65の均一砂層をよくボイリングした後に敷きならし、その砂面上にガラス球を積み上げてマウンドを形成した(図-2は計算の初期配列を示したものであるが、ガラス球については同一の配列を実験でも用いた)。マウンドの背面は鉛直壁に接しており、マウンド両端には角錐状に球を連結したサポート部を設けた。また、マウンドの上方に鏡を水平方向に対して45度の

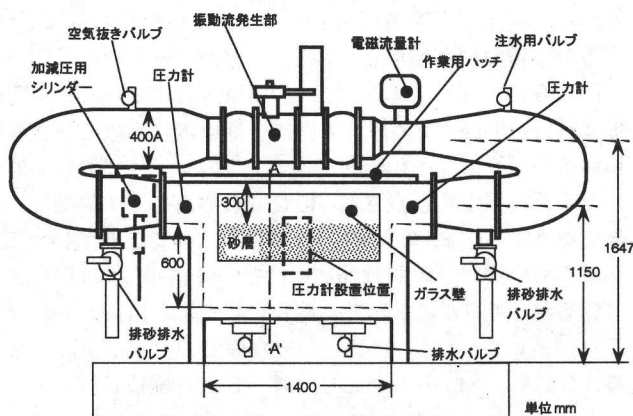


図-1 実験装置

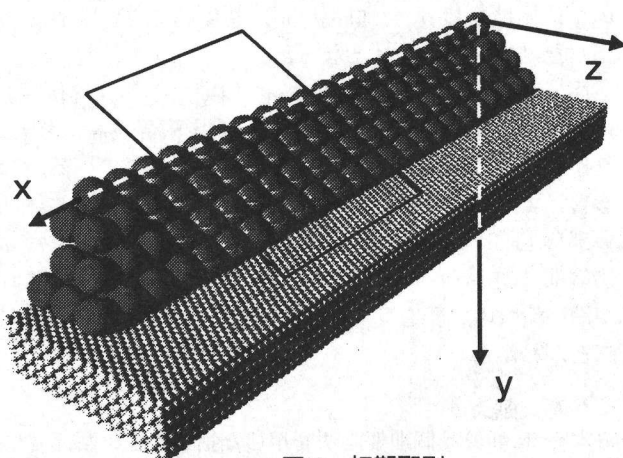


図-2 初期配列

傾斜角で設置し、水平方向から撮影した際に、鉛直方向と奥行き方向の挙動を同時にとらえられるようにした。そして、実験装置により、周期 4.0 秒、振幅 2.5mAq の水圧変動を繰り返し与えて、ガラス球マウンドの挙動を水平方向からデジタルビデオで撮影した。

3.個別要素法による捨石群沈降過程の数値シミュレーション 計算に用いたモデルは、剛体モジュールを組み込んだ拡張型の三次元個別要素法である。ガラス球の粒径、比重は実験と同様に設定し、砂地盤については粒径 $d=10.0\text{mm}$ 、比重 2.65 の均一粒子を用いて表現した。理想的には実験と同レベルの砂粒径で計算すべきであるが、この設定でも 25,000 個程度の砂粒子が必要となり、計算負荷を考えると、これ以下のサイズの砂粒子を導入した計算は現状では実行不可能である。さらに、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载荷・除荷を反復する方法で駆動力を表現した。このとき与えた揚力は図-3 に示すように、周期 0.001 秒、振幅 9.8N ののこぎり波形である。ガラス球の初期配列は図-2 に示すとおりである。

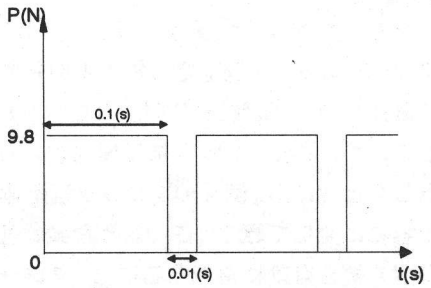


図-3 計算で与えた力

4.捨て石群の沈下過程 図-2 中の四角枠で囲った部分の初期状態および 40 周期後の状態を実験と計算を比較して図-4 に示す。

なお、実験画像の上側のガラス球の移動の追跡が容易なように一部のガラス球を薄いインクの皮膜により着色した。インクの皮膜は薄いので、比重等の粒子の特性は、他の着色していない粒子とほとんど変化はない。まず、実験結果を見ると、40 周期の水圧変動作用後、ガラス球マウンド全体が鉛直方向(y 方向)には沈下し、奥行き方向(z 方向)には前方にせり出しているのが見てとれる。一方、数値シミュレーションにおいても、40 周期後の画像において、図中の補助線と比較すると、マウンド全体が沈下している様子と、前方へのせり出しが再現できている。また、砂地盤面に注目すると、砂粒子が盛り上がり、実験で見られた液状化の様子がよく再現できている。本実験により、液状化に起因するマウンド全体の三次元的挙動を視覚的にとらえることができた。また、本数値モデルでは、液状化の駆動力に簡単なモデルを用いているにもかかわらず、ガラス球マウンドの変形特性に関して、概ね妥当な予測を与える結果が得られた。

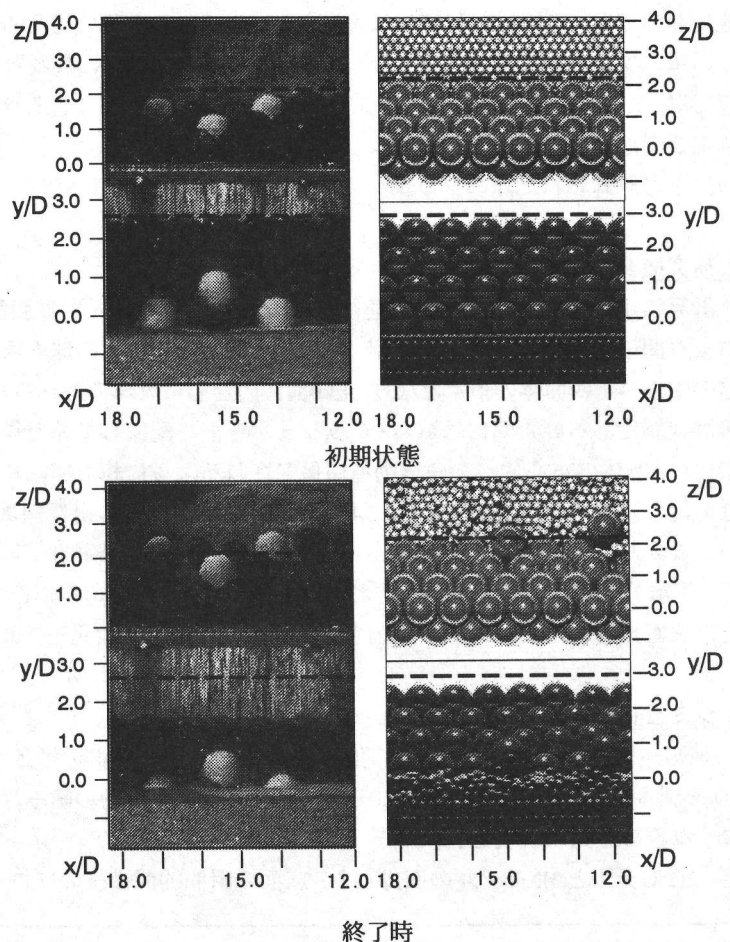


図-4 実験と計算の比較