

波浪による液状化機構におよぼす混成堤の捨石マウンドの形状の影響

九州大学大学院 学生会員○富 裕一郎

九州大学大学院 フェロー 善 功企

九州大学大学院 正会員 陳 光斉

九州大学大学院 正会員 笠間 清伸

1. 背景および目的

波浪の来襲に起因した海岸構造物の被災が顕在化しており，その被災例として，防波堤の沈下や傾斜，捨石マウンドや消波ブロックの支持地盤への沈み込みなどが挙げられる．これらの原因の一つに，波浪による海底地盤の液状化¹⁾が指摘されているが，防波堤等の構造物設計²⁾では，波浪による海底地盤の液状化に対する項目は示されていない．そこで本文では，混成堤の捨石マウンドの最適形状の提案を目的として，捨石マウンドの形状と地盤内の間隙水圧との相互作用に着目し，重力場における相似則を考慮した水理模型実験を実施した．

2. 水理模型実験

2.1 実験概要

図-1に実験装置を示す．縮尺は1/100とし，模型の比重は実物と同じ値に調整した．地盤は，透水層を350mmとし，豊浦珪砂を用いて水中落下法により相対密度30%で作製した．それ以深は，低透水層とするために相対密度80%で作製した．図-2に計測器配置図を示す．間隙水圧計は，水平方向に100mm間隔で設置し，それぞれP1～P6地点とした．また，設置深度は0，40，90，140および190mmとした．波高計は，重複波の腹の位置に設置した．表-1に実験条件を示す．捨石マウンドの形状は，図-2に示すように，のり勾配を1:2とし，ケーソン前面からの長さを100mm～400mmに，厚さを50mmおよび70mmに変化させた．また，捨石マウンドは碎石(粒径2mm～19mm)を用いて，密度 1.31g/cm^3 で作製した．実験は水深を170mmとし，波高90mm，周期1.2sの規則波を3000波作用させて行った．流体には，波浪伝播と地盤圧密に関する時間相似則を同時に満足させるために，高粘性のポリマー溶液を用いた．透水試験により，ポリマー溶液を用いたさいの地盤の透水係数は，水を用いたさいの約1/70倍になるように調整した．

2.2 実験結果および考察

液状化が発生する範囲を調べるため，図-3に，Case2($d=50\text{mm}$ ， $l=200\text{mm}$)における40波目の過剰間隙水圧比の水平分布を示す．ここで，過剰間隙水圧比は，地盤内の間隙水圧と地表面の水圧の差を有効応力で除して算出した．防波堤に近づくほど過剰間隙水圧比が小さくなり，P4，P5およびP6地点では，液状化は発生しなかった．これは，防波堤の上載荷重により周辺地盤の有効応力が増加し，地盤の液状化強度が増加したことが原因である．しかし，捨石マウンド法先のP3地点より沖側では，全深度において過剰間隙水圧比が0.8を超え，液状化が発生した．写真-1に，Case2における3000波作用後の捨石の沈下状況を示す．捨石マ

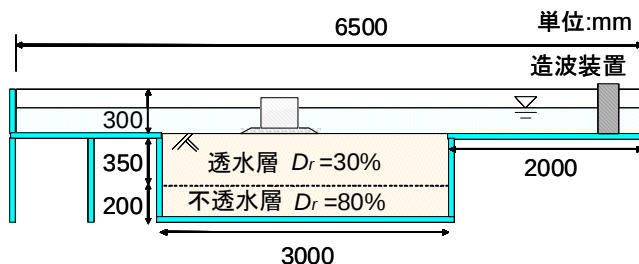


図-1 実験装置

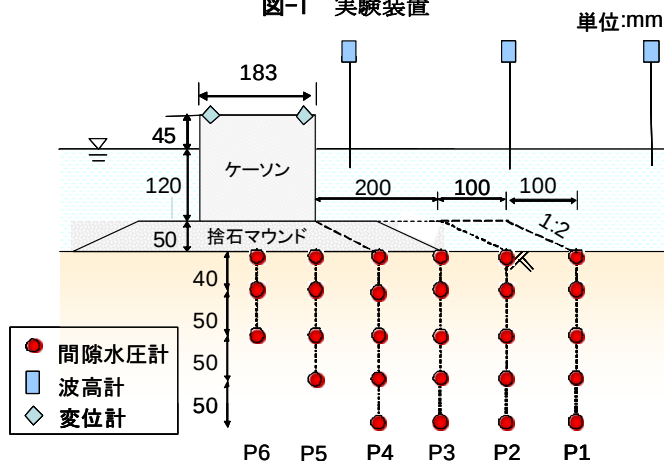


図-2 計測器配置図

表-1 実験条件

Case	周期 (s)	波高 (mm)	捨石マウンド	
			厚さ d (mm)	長さ l (mm)
1	1.2	90	50	100
2				200
3				300
4				400
5			70	200
6				300
7				400

ウンド法先からケーソン方向へ液状化が進行し、それに伴う捨石の沈み込みが、写真の位置まで発生した。また、捨石の沈み込みに起因した、ケーソンの沈下や沖側への傾斜がみられた。

捨石マウンドの形状が海底地盤内の間隙水圧の発生におよぼす影響を検討するために、**図-4**に過剰間隙水圧比の深度分布図を示す。**図-4a)**は厚さを一定にして長さを変化させたもの、**図-4b)**は長さを一定にして厚さを変化させたものである。**図-4a)**より、捨石マウンドが長くなるほど過剰間隙水圧比が減少し、液状化の発生が抑制された。捨石マウンドが沖側に長くなったことで、P3地点での上載荷重が増加し、地盤が締め固められたためである。**図-4b)**でも同様に、捨石マウンドが厚くなるほど間隙水圧の発生を抑制する効果が得られた。以上のことから、捨石マウンドの長さ、あるいは厚さが増加すると、過剰間隙水圧の発生は抑制され、液状化を防ぐことができると考えられる。

3000波作用後の捨石マウンドの状況を比較するために、**図-5**に残留面積比と消失面積比の累積棒グラフを示す。ここで、残留面積は、ケーソン先端より沖側に残留した捨石の断面積であり、**写真-1**の斜線部分の面積を示す。消失面積は、捨石が初期形状から消失した断面積を示す。また、それぞれ Case2 の面積で除すことで正規化を行った。消失面積比は、捨石マウンドの厚さに関わらず、捨石マウンドが長くなるほど増大した。しかし、残留面積比は、 $d=50\text{mm}$ の場合は、すべて面積比 1 以下なのに対し、 $d=70\text{mm}$ の場合は、捨石マウンドが長くなるほど増大した。以上のことから、液状化後に捨石マウンドを残留させるには、捨石マウンドの長さよりも、厚さを増大させるほうが効果的だといえる。

3. 結論

本文では、捨石マウンドの形状と地盤内の間隙水圧の相互作用について評価を行った。以下に主要な結論を示す。

- (1) 捨石マウンドの法先付近で液状化が発生し、それに伴う捨石の沈み込みが発生した。
- (2) 捨石マウンドの長さ、あるいは厚さが増加すると、過剰間隙水圧の発生が抑制された。
- (3) 液状化後に捨石マウンドを残留させるには、捨石マウンドの長さよりも、厚さを増大させるほうが効果的である。

<参考文献>

- 1) 善功企: 海底地盤の波浪による液状化に関する研究, 港湾技研資料, No.755, pp.17-29, 1993.
- 2) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.

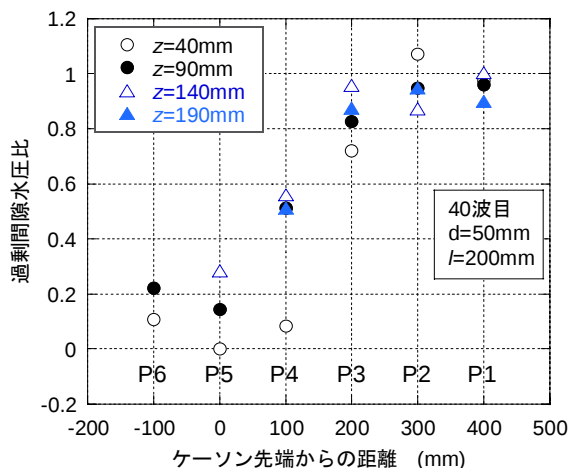


図-3 過剰間隙水圧比の水平分布

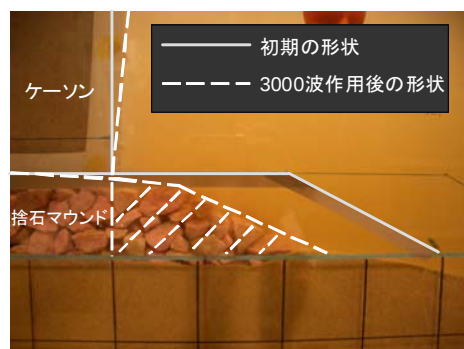
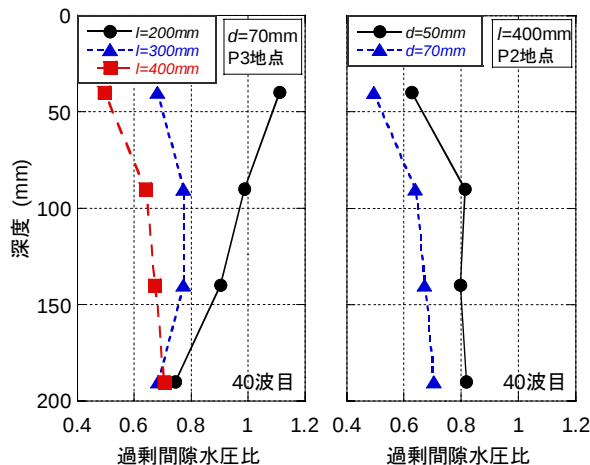


写真-1 3000波作用後の捨石の沈下状況 (Case2)



a) 長さの影響

b) 厚さの影響

図-4 過剰間隙水圧比深度分布図

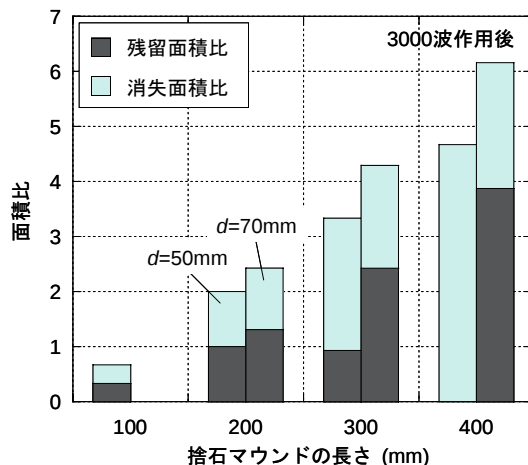


図-5 残留面積比と消失面積比