

波浪による防波堤周辺地盤の間隙水圧発現特性におよぼす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

台風や高潮などの波浪の来襲に起因して海岸構造物が被災した事例は、これまで数多く報告されている。その被災例を見ると防波堤の沈下や傾斜、また海底パイプラインの浮上などが挙げられる。これら海岸構造物の被災の原因の一つは、波浪による海底地盤の液状化である。著者らの研究グループでは、海底地盤の波浪による液状化現象を室内模型実験で再現して、海岸構造物と被害との液状化発生の関係について実験的ならびに理論的に検証してきた。

本文では、防波堤周辺地盤の液状化発生時の挙動を間隙水圧に着目して把握し、捨石マウンドの形状が液状化におよぼす影響を検討することを目的として水理模型実験を行った。

2. 水理模型実験

2.1 実験概要

図-1 に本実験で用いた実験装置を示す。縮尺は 1/100 とし、模型の比重は実物とおなじ値に調整した。水路幅は 400mm である。地盤の透水層は 350mm で、試料として豊浦硅砂を用い、水中落下法により相対密度 30% に作製した。それ以深の地盤は、低透水層とするために相対密度 80% で作製した。水深は 170mm である。捨石マウンドには碎石(2~11g/個)を使用し、密度 1.38g/cm^3 で作製した。図-2 に計測器配置図を示す。間隙水圧計は、造波装置側からそれぞれ重複波の腹、マウンド法先、マウンド下、およびケーソン直下に設置し、それぞれ P1, P2, P3, P4 地点と呼ぶ。また、設置深度は 0, 40, 90, 140, 190mm とした。波高計は、P1, P2, P3 上に設置した。ケーソンおよび地盤の変形状況を調べるために、ケーソンおよび地盤の様子をビデオカメラで撮影した。表-1 に実験条件を示す。作用波は、すべて正弦波であり、周期 1.2 秒、波高 90mm で各ケース同じ値とした。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 で一定にし、ケーソン前からの長さを 200mm および 300mm、厚さを 50mm および 80mm とした。また、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際の地盤の透水係数は水の場合の約 1/70 倍になるように設定した。

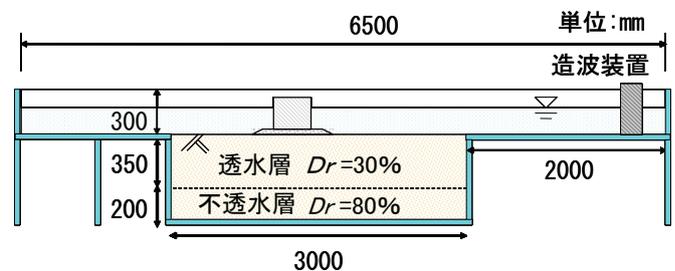


図-1 実験装置

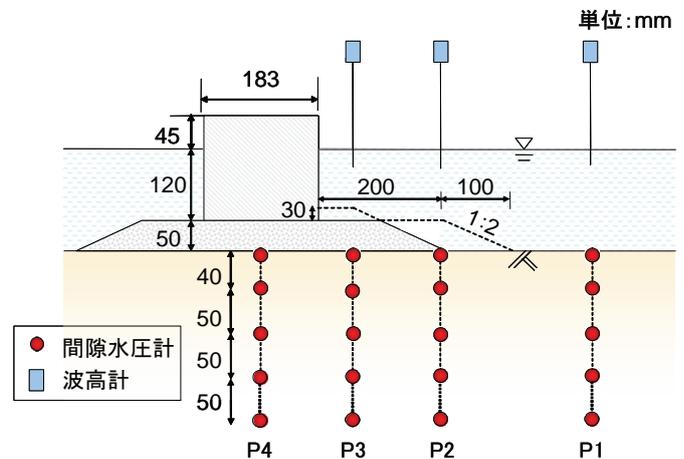


図-2 計測器配置図

表-1 実験条件

Case	周期 (s)	波高 (mm)	捨石マウンド	
			長さ (mm)	厚さ (mm)
1	1.2	90	200	50
2			300	
3			200	80

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に、図-3 に Case1(マウンド長さ 200mm、厚さ 50mm)の過剰間隙水圧比の水平方向分布を示す。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とって過剰間隙水圧と

し、過剰間隙水圧を有効応力で除して算出した。防波堤から最も遠い P1 地点では、すべての深度において過剰間隙水圧比が 1.0 になり、液状化が発生した。防波堤に近づくほど過剰間隙水圧比が小さくなり、P3 および P4 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と考えられる。しかし、マウンド法先の P2 地点では、 $z=140\text{mm}$ まで過剰間隙水圧比が 0.9 程度になり、液状化が発生した。また、**写真-1** のように、液状化によってマウンド法先が沈み込むことで、ケーソン前面が 3.5mm 沈下した。以上より、今回の波浪条件では、マウンド法先付近に液状化発生の危険があることが確認された。

P2 地点および P3 地点での、間隙水圧の発生へのマウンド形状の影響を検討するために、**図-4**に Case1(長さ 200mm), Case2(長さ 300mm)における、P2, P3 地点の過剰間隙水圧比の深度分布図を示す。Case2 の P2 地点では Case1 と比較して過剰間隙水圧比が 0.3 程度減少し、液状化が発生していない。マウンドが沖方向に長くなったことで P2 地点への上載荷重が増加し、地盤が締め固められたことが原因と考えられる。**図-5**に Case1(厚さ 50mm), Case2(厚さ 80mm)における、P2, P3 地点の過剰間隙水圧比の深度分布図を示す。マウンドを長くした場合と同様に、間隙水圧を抑制する効果が得られ、P2 地点の $z=40\text{mm}$ 以外では、液状化は発生しなかった。以上のように、マウンドを長さ方向、あるいは厚さ方向に増やすことによって、間隙水圧を抑制できたが、Case2, Case3 どちらにおいても、**写真-1**と同様にマウンドがケーソン前面 100mm まで沈下し、それに伴いケーソン前面は 3.6mm 沈下した。P2 地点は、重複波の節にあたる場所だったことから、マウンドの沈下はマウンドの形状よりも、波浪条件に支配的であることが示唆され、この点に関しては、さらなる検討が必要である。

3. おわりに

本文では、捨石マウンドの形状が防波堤周辺地盤の間隙水圧特性におよぼす影響を検討した。以下に主要な結論を示す。

- (1) 防波堤に近づくほど過剰間隙水圧比が小さくなり、今回の波浪条件では、マウンド法先で液状化が発生した。
- (2) マウンドを長さ方向、厚さ方向に増やすことで、間隙水圧は抑制されるが、ケーソンの沈下には影響が見られなかった。
- (3) マウンドの沈下は、マウンドの形状よりも、重複波の節など波浪条件に支配的であることが示唆された。

<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.

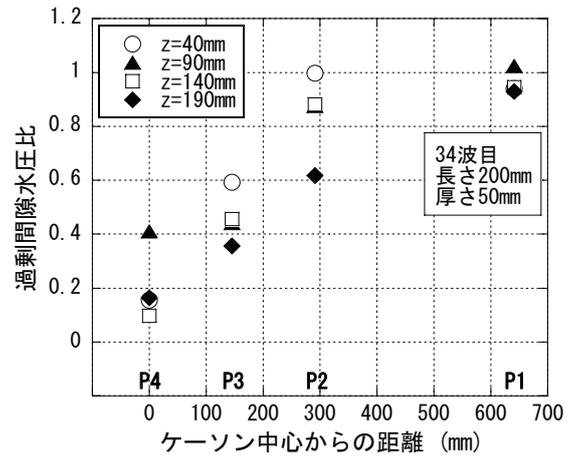


図-3 過剰間隙水圧比の水平方向分布



写真-1 実験終了後の捨石マウンド (Case1)

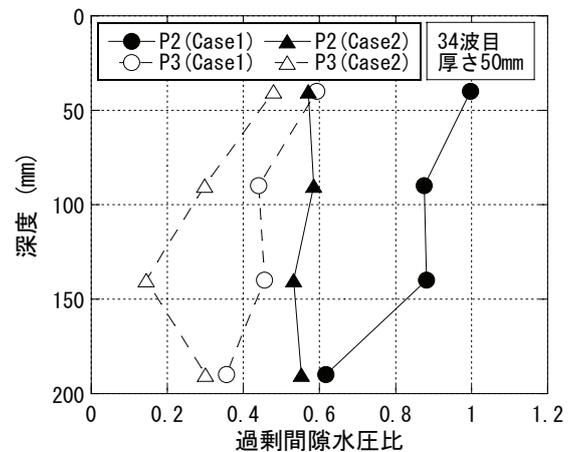


図-4 マウンドの長さによる影響 (Case1, 2)

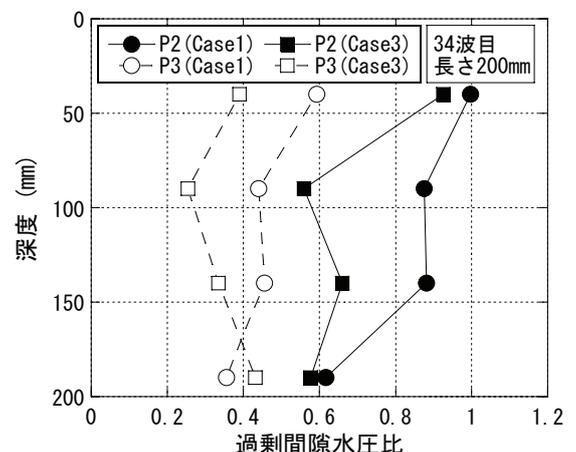


図-5 マウンドの厚さによる影響 (Case1, 3)