

相対密度に着目した海底地盤の液状化に関する水路模型実験

九州大学工学部 学生会員○富 裕一郎 九州大学大学院 フェロー会員 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ひとつとして、海底地盤の液状化がある。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、粘性を増加させたポリマー溶液を用いることで重力場における相似則を考慮し、波浪による海底地盤の液状化に及ぼす相対密度の影響に着目した水路模型実験を行った。

2. 内容

2.1 実験概要

図-1 に本実験で用いた実験装置を、図-2 に計測器配置図を示す。水路幅は 400mm で、ケーソン模型の幅も水路幅に合わせた。地盤の透水層は 350mm で、試料として豊浦硅砂を用い、水中落下法で相対密度約 20% で作製した。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。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。捨石マウンドには碎石(2~11g/個)を使用した。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 1.0 秒、波高 5.5cm で各ケース同じ値とした。流体は、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、または比較のために水を用いた。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 1/60 倍になるように設定した。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。水圧計は、深度 0, 4, 9, 14cm に設置し、造波装置側から P_1 , P_2 , P_3 地点とした。波高計は、 P_1 , P_2 , P_3 上に設置した。

2.2 実験結果および考察

図-3 に Case4(ポリマー溶液、相対密度 30%)の P_1 地点の波高と間隙水圧の時系列を示す。地盤内部では図に示すように経過時間とともに間隙水圧が上昇した。本文では、以降この水圧上昇分を残留過剰間隙水圧と呼び、間隙水圧から残留過剰間隙水圧を差し引いた圧力変動分を変動過剰間隙水圧と呼ぶ。残留過剰間隙水圧は、地盤深部へいくほど上昇が大きい。また、波高と地盤内の水圧には関係があり、残留過剰間隙水圧が上昇すると、波高が減衰する様子がうかがえる。

地盤内の間隙水圧の変動を評価するために、図-4 に Case4 の P_2 における $t=60s$ の 1/5 周期ごとの、地盤内の間隙水圧と地表面の水圧の差である過剰間隙水圧の深度方向分布を示す。図中の直線は有効土被り圧を示し、過剰間隙水圧がそれに達すると地盤が液状化したと考えられる。図-4 ではほぼ土被り圧に達し、液状化したといえる。

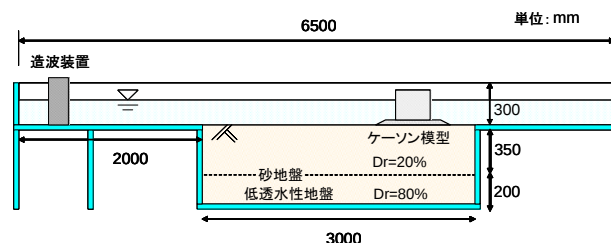


図-1 実験装置

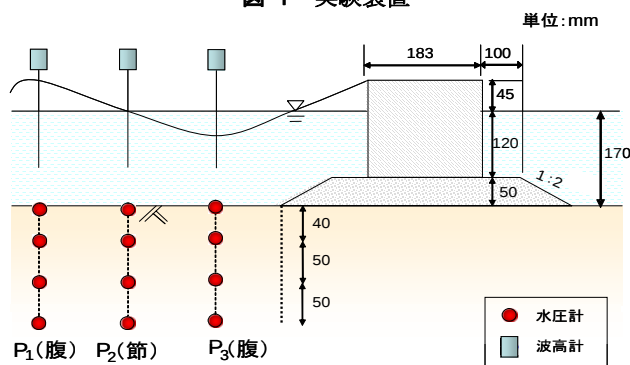


図-2 計測器配置図

表-1 実験条件

Case	流体	相対密度(%)	周期(sec)	波高(cm)
1	水	23	1.0	5.5
2		35		
3		20		
4	ポリマー溶液	30		
5		40		

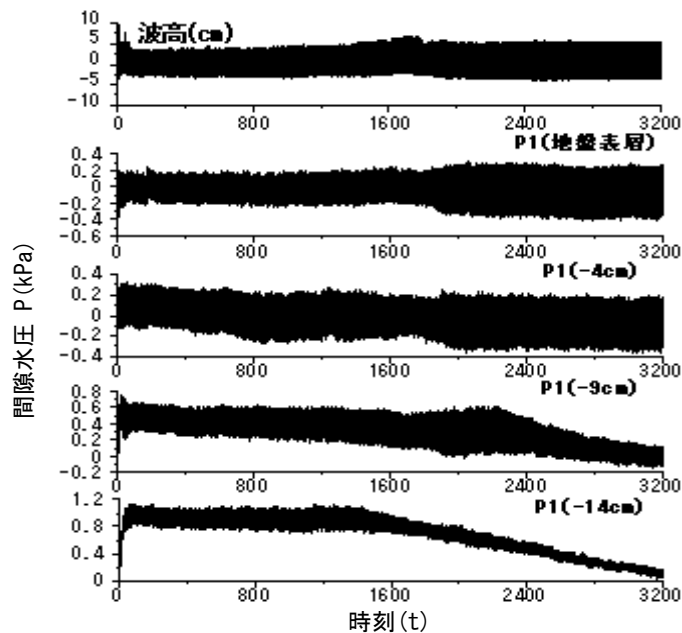


図-3 間隙水圧時系列

地盤の相対密度の違いによる水圧上昇の程度を比較するために、**図-5** に各相対密度の残留過剰間隙水圧時系列をそれぞれ示す。 $D_r=40\%$ では他と比べて若干ではあるが、残留過剰間隙水圧が上昇しきるまでの時間が長く、120秒かかった。残留過剰間隙水圧の上昇が終了する $t=160$ では、相対密度が大きいほど残留過剰間隙水圧は小さくなった。これは、相対密度が大きくなると有効土被り圧が大きくなるので、液状化に達するための残留過剰間隙水圧も大きくなったのだと考えられる。

相対密度の違いによる液状化の発生の程度を評価するために、**図-6** に相対密度と液状化継続時間および液状化深さの関係を示す。ここで、液状化深さとは目視で観測した液状化が生じた最大の深さであり、ケーソンから沖方向に約 150cm のところで観測した。図によると、相対密度が小さいほど液状化が深部まで起こる。また、それに比例して、残留過剰間隙水圧が消散するための距離も長くなるため、液状化の継続時間が長くなった。流体として水を用いた実験条件で液状化が確認された Case1 の液状化継続時間も同時に示しているが、ポリマー溶液に比べ、わずか 50 秒で液状化が終了した。水を用いた場合の地盤の透水係数が、ポリマー溶液の場合の 60 倍であるために、このように短い時間で液状化が終わったのだと考えられる。

3. まとめ

- (1) 波浪による繰返しせん断応力に起因した海底地盤内の残留過剰間隙水圧の上昇、それに伴う海底地盤の液状化、および液状化による波高の減衰を観測できた。
- (2) 地盤の相対密度が増加すると、液状化が発生するときの残留過剰間隙水圧は増加する。
- (3) 地盤の相対密度の増加につれて液状化が発生する深さは浅くなり、最終的な地盤の沈下量も小さくなり、液状化の継続時間は短くなる。

<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.

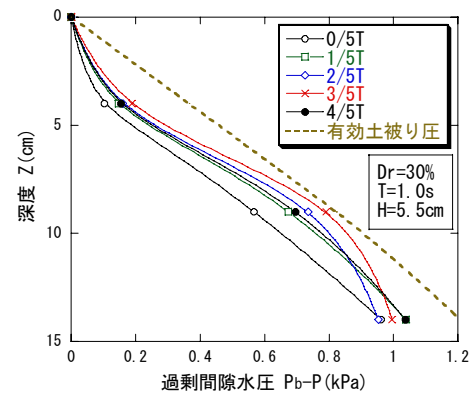


図-4 過剰間隙水圧深度分布

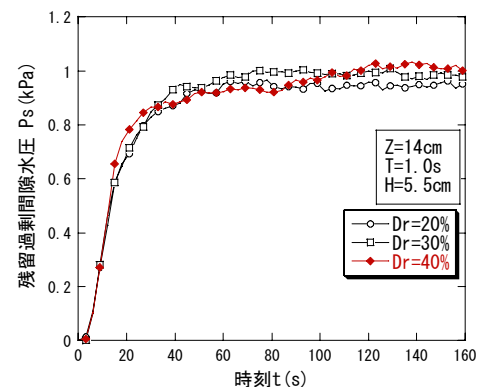
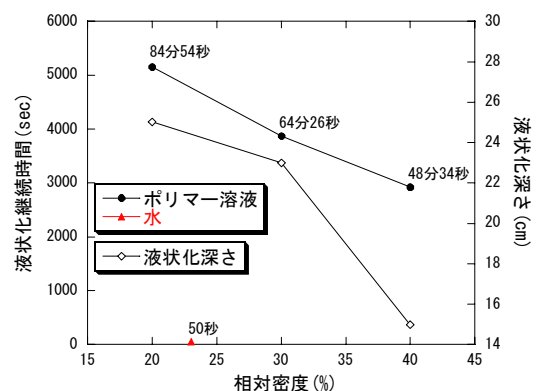


図-5 残留過剰間隙水圧時系列

図-6 相対密度と液状化継続時間
および液状化深さの関係