

造粒石炭灰地盤の波による液状化に対する安定性

広島大学大学院 学生会員 ○吉牟田 卓
戸田建設株式会社 正会員 中川 晋太郎
広島大学大学院 正会員 土田 孝

1. はじめに

石炭エネルギーの利用における問題は石炭灰の発生であり、セメントや地盤材料として利用されているものの、約20%は発電所内で埋立処分されている。造粒石炭灰は道路など陸上土木工事で砂の代替材として利用されているが、埋立、裏込め、覆砂など大量の土砂を使用する港湾・海洋工事用に活用できるならば、利用促進の面から大きな効果があると考えられる。沿岸域で使用する場合には波浪に対する安定性を検討する必要がある。このような観点から、本研究は一次元水圧変動下での造粒石炭灰地盤の波による液状化に対する安定性を検討した。

2. 実験概要

海底地盤の波浪による液状化は、海底地盤内での間隙水圧の伝達の遅れが大きく作用している事が明らかになっている⁽¹⁾。そこで、本研究では図1に示す試験装置を用いて、海底7mの地点を想定し飽和させた模型地盤を作成し、深さ方向の正弦波形の繰り返し水圧を地盤表面に载荷することで造粒石炭灰地盤の波による液状化に対する安定性を検討した。試料はHiビーズと呼ばれる造粒石炭灰を砂粒径にふるったものを用い、液状化性状について豊浦砂との比較を行った。表1に試料の物理特性を示す。実験は以下の手順で行った。

Unit: mm Water pressure

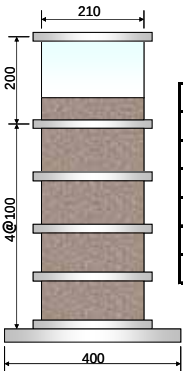


表1 試料の物理特性

	造粒石炭灰	豊浦標準砂
比重 Gs	2.264	2.652
単位体積重量(kN/m ³)	22.19	25.99
最大間隙比e _{max}	1.993	0.975
最小間隙比e _{min}	1.430	0.613
均等係数Uc	5.632	1.947
50%粒径D ₅₀ (mm)	0.834	0.218

図1 水圧変動型液状化実験装置

- ① 最下端のリングから順に組み立てながら試料を相対密度 50%となるように詰めていく。
- ② 模型地盤を飽和化させるため地盤の下端から二酸化炭素(CO₂)を注入し、その後下端から脱気水をゆっくりと注入する。
- ③ 水圧変動型液状化実験装置の水圧を上げていき、間隙水圧計の数値が68.6kN/m²(水深7m相当)になるようにし、飽和度を上げるため水圧を加えたまま一晩放置する。
- ④ 地盤高さを8箇所読み取り、その平均値を地盤の初期高さとする。以上の準備が終了後、水圧変動型载荷装置により所定の変動水圧を加える。
- ⑤ 変動水圧の波形は正弦波を用いた。振幅、周期は実験ケースにより変化させ、各ケースにつき数段階の変動水圧を加える段階载荷試験を実施した。波数は各载荷段階ごとに500波である。

表2 実験条件

Test No.	Stage No.	両振幅 2p ₀ (kN/m ²)	周期 T(s)	備考
1	1	19.6	7	H ₀ /L ₀ 0.03 H ₀ :波長 (m) L ₀ :波高 (m)
	2	29.4	9	
	3	44.1	11	
	4	68.6	13	
	5	53.9	11	
	6	39.2	9	
	7	24.5	7	
2	1	49	15	2p ₀ =Const
	2	49	11	
	3	49	7	
	4	49	3	
	5	78.4	15	2p ₀ =Const
	6	78.4	13	
	7	78.4	11	
3	8	78.4	9	T=Const
	1	24.5	7	
	2	44.1	7	
	3	58.8	7	
	4	73.5	7	
	5	58.8	7	
	6	44.1	7	
	7	24.5	7	

- ⑥ 実験途中、各リングの中央に取り付けている間隙水圧計により間隙水圧の測定を行う。
- ⑦ 実験終了後、地盤の沈下量を測定する。
- 表2に実験条件を示す。

3. 実験結果及び考察

(1) 深さと位相差

図2(a), (b)はTestNo.2, Stage No.1～4の実験結果を横軸に地盤表面の水圧 p_0 と地盤中の間隙水圧 p_m の位相差(時間遅れを周期で除して無次元化したもの)を、縦軸に深さ(cm)を取って整理したものである。それぞれ順に造粒石炭灰と豊浦標準砂の実験結果を示す。これは両振幅 $2p_0$ を一定にし、周期 T のみを変化させた実験である。

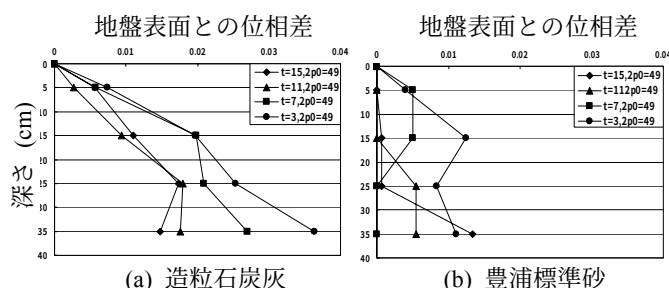


図2 深さと位相差

図2(a), (b)を見ると、ともに周期が短いほど位相差が大きくなっていることが顕著に表れている。位相差は波の周期が短いほど大きくなるため、短周期の波では地盤表面の水圧が下降するときに地盤表面の水圧よりも地盤内に残留する水圧が大きくなって、液状化が発生しやすい状態になる。図のように、造粒石炭灰の方が、豊浦標準砂に比べ位相の差が大きくなるという傾向が見られた。

(2) 同時刻での間隙水圧の差

図3はTestNo.3 Stage No.1～4の実験結果を横軸に両振幅 $2p_0$ 、縦軸に地盤表面と地盤中の同時刻での間隙水圧の差を取り整理したものである。これは、周期 T を一定にし、両振幅 $2p_0$ のみを変化させた実験である。

図3をみると、いずれの試料でも両振幅が大きくなるに従

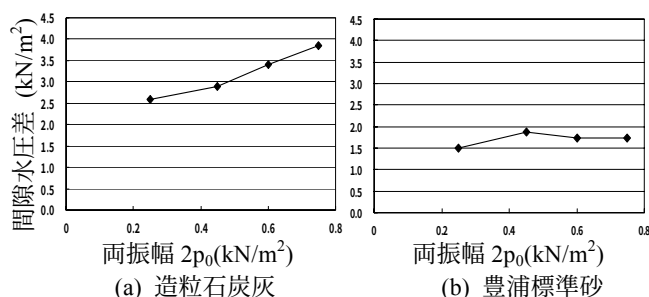


図3 間隙水圧差

って間隙水圧の差が大きくなっているが、造粒石炭灰の方がこの傾向が顕著に表れており液状化が起り易い事が分かった。

(3) 一次元水圧変動による液状化の発生

図4(a), (b)は、それぞれ順に実験開始から10波目の各

位相で見た造粒石炭灰、豊浦標準砂地盤のTest No.2 Stage No.3の実験結果である。横軸に過剰間隙水圧 $p_m - p_0$ (kN/m^2)、縦軸に深さ(cm)を取り整理した。初期有効鉛直応力 σ'_{v0} よりも右側の範囲において液状化が発生していることを示す。

図4を見ると、どちらも σ'_{v0} の線を越えている部分が存在し

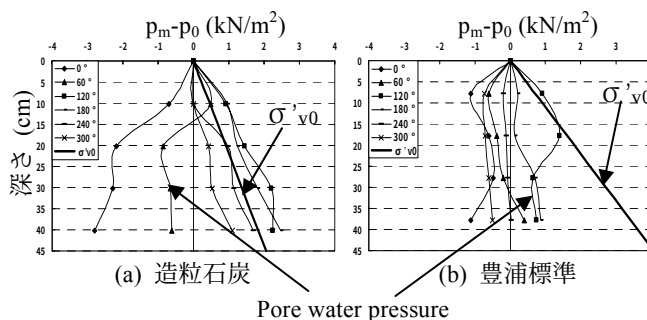


図4 深さと過剰間隙水圧

ており液状化が発生しているが、造粒石炭灰地盤の方がより深部まで液状化が生じている。目視による観察では、表層部に噴砂や流動化が見られたが、地盤全体の流動化は見られなかった。造粒石炭灰が砂に比べ液状化しやすい原因としては、砂に比べ単位体積重量が小さい事、造粒過程で空気を含むため飽和度が低下し、水圧の伝達が妨げられていることが考えられる。

4. 結論

- 1) 波による液状化の大きな要因である地盤中に発生する間隙水圧の位相差と深さ方向の間隙水圧の差は周期 T 、両振幅 $2p_0$ に大きく影響される。
- 2) 造粒石炭灰の方が砂に比べ単位体積重量が小さいため有効応力が小さいこと、造粒石炭灰は造粒過程で空気を含むことが原因となり砂地盤に比べ造粒石炭灰地盤は液状化しやすい。
- 3) 造粒石炭灰を用いて海底地盤を造成する場合には、波浪条件を考慮し水圧の伝達が良い大きな粒径の材料を用いるなど、波による液状化への対策が必要と考えられる。

なお、本研究は(財)中国電力技術研究財団による試験研究助成金により実施した。

参考文献

- (1) 善功企, 山崎浩之, 渡辺篤: 海底地盤の波による液状化および高密度化, 港湾技術研究所報告, 第26巻, 第4号, pp.125-177(1987.12)