

変動水圧による緩い砂地盤の液状化に関する基礎的研究

岡山大学大学院	学生員	○伊野 同
岡山大学環境理工学部	正員	名合 宏之
岡山大学環境理工学部	正員	前野 詩朗
(株) パシフィックコンサルタンツ	正員	石原 正義

1. はじめに

近年、様々な海岸構造物の建設が盛んに行われている。このような構造物は、波浪を含む様々な外力に対し、沿岸域保護のため高い安全性を考慮して設計されている。ところが設計上、十分耐えうるはずの外力により、構造物が破壊を起こす、といった事例が数多く報告されている。その原因の1つに、波浪による海底地盤の液状化が挙げられる。それらの現象について、実験による考察を行った結果、緩く堆積した砂層に変動水圧が作用すると、砂粒子が有効応力を失い、砂と水から成る混合流体のような状態（第1段階の液状化）となり、時間の経過とともに液状化領域下層より沈降・堆積し、その後、作用する変動水圧が負になる時のみ有効応力を失う周期的な液状化（第2段階の液状化）の発生により砂層上部が次第に締め固まることが明らかにされた。これまで、第2段階の液状化については数多くの検討がなされ、その力学機構はほぼ明らかにされたが、構造物や地盤の安全性の面からより重要な意味を持つ第1段階の液状化については、未解明な部分が多い。そこで、本研究では鉛直1次元砂層モデルを用いて、様々な変動水圧振幅および砂層高の条件下における第1段階の液状化に着目し、その発生領域についての考察を行う。

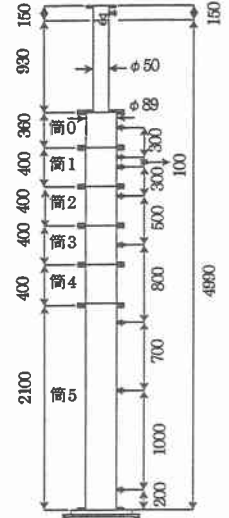


図1 試料容器 (mm)

2. 実験方法

実験装置は、図1（砂層高 D=400cm の場合）に示すような試料容器を用いた。砂層は、あらかじめ試料容器に水を張り、容器の上から乾燥させた標準砂を自由落下させて均質に水中に堆積（砂層高 D=400~240cm）させた。このように形成された砂層は、間隙率約 0.48 と非常に緩いものとなった。砂層形成後、試料容器の上部に水タンクを取り付け、変動空気圧発生装置より 100 分間の変動水圧（振幅  $a_0$ 、120cm、80cm、60cm）を作用させる。試料容器の Pt.1~Pt.8 の各測点において圧力変換器により変動間隙水圧の測定を行い、同時に砂層沈下量、および実験終了後の間隙率の計測を行った。

3. 実験結果および考察

図2は、砂層高 400cm、振幅 120cm の実験条件下で得られた変動間隙水圧図である。この図より変動水圧を作用させた直後に、砂層内の各測点における変動間隙水圧の平均値の上昇、および振幅の増幅（第1段階の液状化）がみられ、その後、このように上昇した変動間隙水圧の平均値、振幅がともに下層から減少しているのが分かる。そして、各測点で約 5 分後に時間的に変化しない定常な状態（第2段階の液状化）となり、その状態が実験終了時まで続いている。上昇した水圧の平均値および振幅が減衰し始める時点で、その測点の第1段階の液状化が終了していることから、

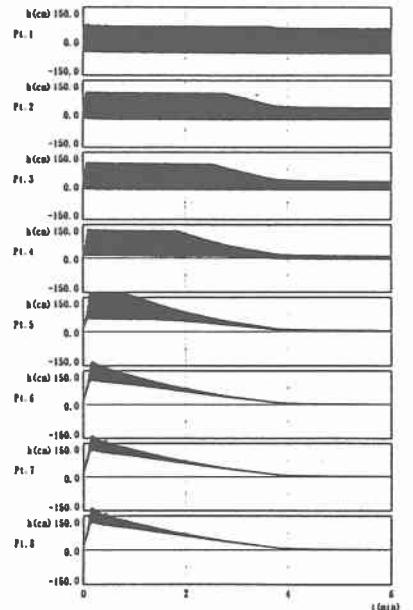


図2 変動間隙水圧図

図2より各測点の第1段階の液状化終了時間がわかる。図3は、液状化終了時間を横軸に、砂層表面から各測点の深さを縦軸にプロットした点を近似したもので、その近似式は液状化深さの時間的変化の式で、式(1)により表される。

$$y_{*1}^t = y_{*1}^0 - vt \quad (1)$$

- $y_{*1}^t$  : t分後の第1段階による液状化深さ (cm)
- $y_{*1}^0$  : 第1段階の液状化深さ (cm)
- $v$  : 砂粒子の再配列速度 (cm/min)
- $t$  : 時間 (min)

図3の近似式(1)より求めた各ケースにおける第1段階の液状化深さ  $y_{*1}^0$  と砂層高  $D$  の関係を図4に示す。

また、平均間隙水圧の上昇量からも次式(2)より第1段階の液状化深さを算出できる。

$$y_{*1} = \frac{h_{*1} \rho_w}{(\rho_s - \rho_w)(1 - n_0)} \quad (2)$$

- $y_{*1}$  : 第1段階の液状化深さ (cm)
- $h_{*1}$  : 平均間隙水圧の上昇量 (cm)
- $\rho_s, \rho_w$  : 砂, 水の比重
- $n_0$  : 初期間隙率

平均間隙水圧の上昇量は、液状化領域がいわゆる上載荷重のような働きで、液状化していない領域の間隙水圧に作用し、生じるものと考えられる。故に、液状化深さ  $y_{*1}$  は、初期間隙率を用いて領域内の砂粒子の割合でその上昇量を除したものとした。数秒(3~10波)で、平均間隙水圧の上昇量は、ピークに達し、間隙水の上方向への排水の影響により減衰していく。そのピーク時の値を用いて、(2)式により、液状化深さを算出した。式(2)より求めた液状化深さと砂層高の関係を図5に示す。なお、図4、5の縦軸および横軸は、それぞれ液状化深さ、砂層高を振幅で除したものである。図4、5より、砂層高 ( $D/a_0$ ) および液状化深さ ( $y_{*1}^0/a_0$ ) は、比例的関係の傾向にあるが、砂層高 ( $D/a_0$ ) が5.0以上になると、液状化深さ ( $y_{*1}^0/a_0$ ) はそれ以上大きくなり、ほぼ一定の値2.7程度になることが分かる。これより振幅が一定の時、砂層高 ( $D/a_0$ ) が5.0以上になると、液状化深さ ( $y_{*1}^0/a_0$ ) は限界の液状化深さに達しており、砂層高  $D$  に影響されず一定の値になったと考えられる。

4. おわりに

鉛直1次元砂層モデルを用いて、様々な変動水圧振幅および砂層高の条件下における第1段階の液状化領域についての考察を行った結果、砂層高が比較的小さい ( $D/a_0 < 5$ ) 場合、砂層高が大きくなるとも比例的に大きくなるが、砂層高が大きい ( $D/a_0 > 5$ ) 場合、液状化深さはそれ以上大きくならない限界に達し、ほぼ一定の値 ( $y_{*1}^0/a_0 = 2.7$  程度) となることが分かった。

【参考文献】 名合宏之：砂層内水圧変動と液状化、水工シリーズ 82-A-9, 1982.

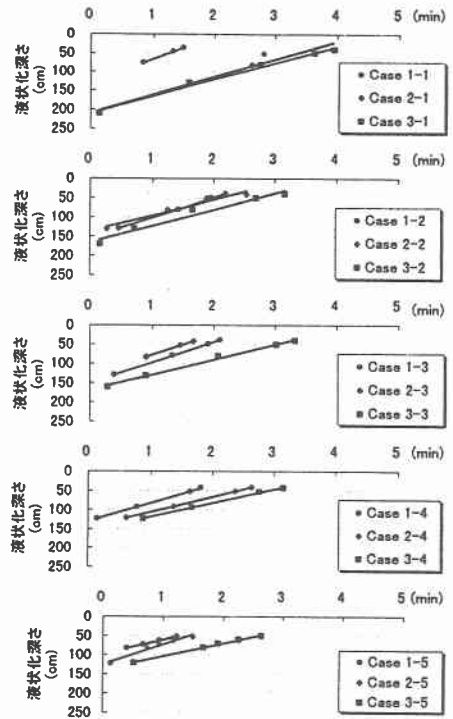


図3 液状化領域の時間的変化

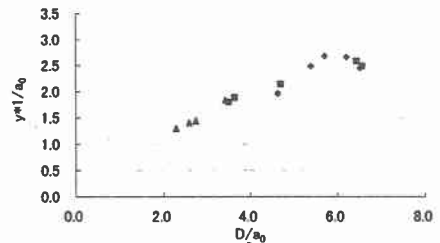


図4 液状化深さ(1)

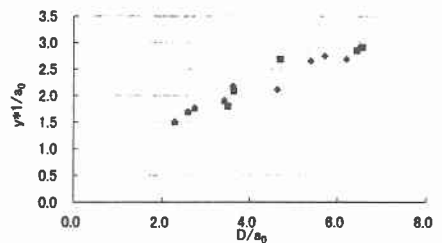


図5 液状化深さ(2)