

清水建設研究所 正会員 ○田中正博
清水建設研究所 正会員 小林 浩
清水建設研究所 正会員 茅野浩一

1. はじめに

砂質地盤が地震を受けた場合の液状化現象に関してはすでに多くの研究があるが、液状化防止に関する研究は極めて少ない。本研究は砂層内に排水管を設置し、砂層内に発生する過剰間隙水圧の上昇を抑えることによって期待される液状化防止効果を実験的に把握しようとするものである。

2. 実験装置および方法

大型振動台（4 m × 5 m）に両面アクリル製実験槽（内寸法長さ4 m，幅1.2 m，深さ1.2 m）を設置し、自動散砂フィーダを用いて一定水深に保たれたポリマー水溶液中に一定高さから乾燥砂を落下させ模型地盤を作成した。図-1に示すように排水管をあらかじめ15，20，25，30および35 cm間隔でセットしておき、排水管と排水管の中央で深さ10および20 cmの位置に小型加速度計（容量2 G）および小型間隙水圧計（容量200 g/cm²）を埋設した。砂層に微振動を与えて相対密度約40%になるまで締め付けた後、正弦波を入力して入力加速度と砂層内の過剰間隙水圧および加速度を計測し、データレコーダに収録した。使用した砂は大井川河口の砂で、その主な物理的性質は $G_s = 2.63$ ， $D_{50} = 0.36 \text{ mm}$ ， $U_c = 2.63$ ， $e_{\max} = 1.007$ ， $e_{\min} = 0.609$ であり、液状化し易い砂である。

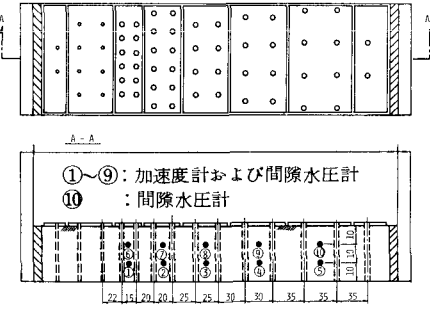


図-1 ピックアップおよび排水管の配置

表-1 実験条件

実験番号	上載荷重 q (g/cm^2)	加速度 a (gal)	振動数 f (Hz)	相対密度 D_r (%)
(1)	0	71	10	34
(2)	20	84	10	41
(3)	20	64	5	51
(4)	20	140	10	54
(5)	20	88	10	35
(6)	20	155	10	56
(7)	20	85	10	67

このような排水性に関する模型実験では排水距離と排水時間の関係を相似させることが重要であるが、本実験では間隙水として粘性の高いポリマー水溶液を使用することにより相似させた。各実験ケースの実験条件は表-1に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

図-2は排水管を15～25 cmの間隔で設置し上載荷重 $q = 0$ の場合（実験(1)）の深さ $z = 10 \text{ cm}$ の位置における水圧上昇度（過剰間隙水圧と初期有効応力の比）である。図-3および図-4は排水管の設置間隔15～30 cmで $q = 20 \text{ g/cm}^2$ の場合（実験(5)）のそれぞれ $z = 10$ および 20 cm の位置における水圧上昇度である。排水管の設置間隔 d が狭いほど水圧上昇度も小さくなっており、特にその排水効果は上載荷重のある場合にまた砂層の深い位置で大きく現われている。これは上載荷重による押え効果もあるが、主としてつぎのような理由によるものと思われる。すなわち、上載荷重によって鉛直方向の圧力勾配はほとんど変わらないが、水平方向の圧力勾配は大きくなり水平方向の排水が助長されるためである。このことは排水管の設置間隔の狭いほど、また砂層の浅い位置で上載荷重による排水効果が大きくなっていることから納得できる。 $z = 20 \text{ cm}$ の場合、水圧上昇度のピークが加振開始後10～20秒に現われているのに対し、 $z = 10 \text{ cm}$ の場

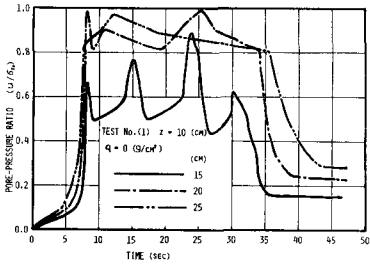


図-2 水圧上昇度の経時変化

合のそれは2～3秒後に現われておりその性状を異にしている。すなわち、深い位置の方が液状化抵抗の大きいことを示しているが、これは深い位置の初期有効応力の方が浅い位置のそれよりも大きいこと、砂層作成時に砂層の深い位置の方が浅い位置よりも締め固まっていることに原因すると思われる。しかし、上記の傾向は処女地盤において特に顕著であるから地盤の履歴による影響も検討する必要がある。

これら模型実験の結果を実際に適用してゆくためにはスケールの影響を除去しておく必要があるが、著者らはつぎのような方法で無次元化を試みた。砂層内の過剰間隙水圧の上昇は、1周期の間に発生する過剰間隙水圧と逸散するその差として捉えることができる。発生量を表わす無次元量として動的せん断応力 τ_d と初期有効応力 σ_{z0} との比(応力比)を用いることができるが、動的せん断応力は加速度 α に比例し、初期有効応力は相対密度 D_r にほぼ比例することが実験的に確かめられているから、過剰間隙水圧の発生量を表す無次元量として加速度と相対密度の比を用いることができる。

一方、逸散量を表わす無次元量としては時間項として入力波の周期を用いた排水時間係数を使用した。また、液状化の進行程度を表わす無次元量としては先に述べた水圧上昇度の最大値を用いた。

これらの無次元量を用いて横軸に過剰間隙水圧の逸散量と発生量を表す無次元量の比 $T_b / (\frac{\alpha}{g} \cdot \frac{1}{D_r})$ を、縦軸に水圧上昇度の最大値 u_{max} / σ_{z0} を用いて表-1に示した7ケースを整理したのが図-5である。図中では上載荷重 $q = 0$ の場合を●印で、振動数 $f = 5Hz$ の場合を○印で示し他の5ケースと区別した。7ケースの結果はかなりきれいな曲線を示しており、上記のような無次元量を用いれば任意の地盤条件および入力条件における排水管の設置間隔と水圧上昇度の関係を表わすことができることが分かる。 $q = 0$ の場合若干バラツキが大きいのが、これは地盤表面方向への排水の影響が現われたものと思われる。

4. 結 語

砂層内に排水管を設置し排水性を高める方法は、過剰間隙水圧の上昇を抑え液状化防止効果を期待できる。排水管の設置による液状化防止効果は、水圧の逸散量を表す排水時間係数と水圧の発生量を表す加速度・相対密度比との比によって表わすことができる。しかし、原地盤への適用にあたっては、構造的な問題および排水管の排水効率等を検討する必要がある。本実験は、通産省より(社)日本海洋開発産業協会が委託を受けた「石油の海洋備蓄システムの開発調査」の一環として行なった模型実験の一部である。ここに、この機会を与えていただいたことに感謝致します。

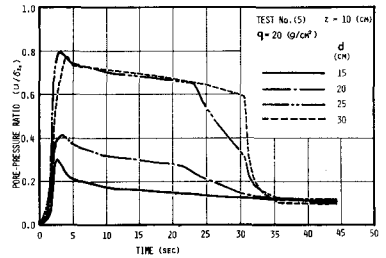


図-3 水圧上昇度の経時変化

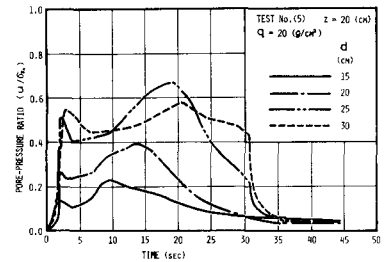


図-4 水圧上昇度の経時変化

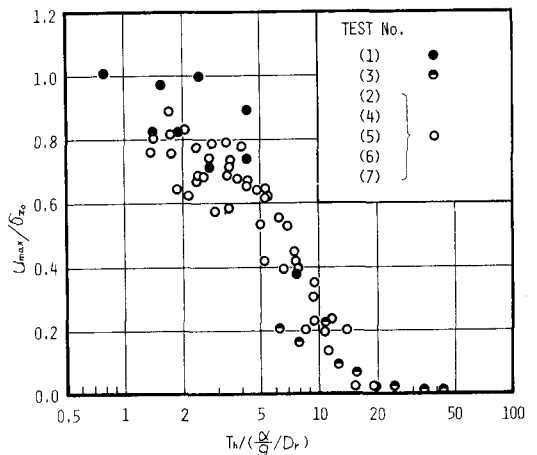


図-5 排水管設置による液状化防止効果