

液状化時の埋設構造物の浮上がり防止対策に関する室内振動実験

東海大学大学院 学生会員 ○原 真之  
東海大学工学部 正会員 本間 重雄

1. はじめに

地震時の地盤液状化災害には、地盤支持力の喪失による基礎の沈下、護岸や斜面あるいは地盤そのものが変位することによる側方流動、マンホールや共同溝等の埋設構造物の浮上がり現象などがある。いずれも、地盤が剛性を失って流動化し、変位が許容限度を越えて過大になることが被害の本質である。本研究では、間隙水圧の上昇と液状化の発生をある程度許容しながらも、埋設物の浮上がりを低減するため、構造物周辺に地中壁を設ける手法について振動台実験を通じて検討を行った。

2. 埋設構造物の浮き上がり対策実験

2.1 実験概要

実験装置は図-1に示す油圧サーボからの制御圧力によって振動台上の土槽を水平および鉛直同時に加振できるものである。この土槽内に豊浦砂(約200kg)を投入し、土槽下部から水道水を吹き上げながら緩詰め状態の砂中に縦横10cm×10cm、奥行き34cmの亚克力製埋設構造物模型を設置した(図-2)。また、構造物の浮上がりに伴う砂層の変位を観察するため、布製電気コードの芯を取り除いた袋(φ5mm)の内部に飽和砂と同じ砂を詰めた袋紐を構造物左右に数箇所水平に設置した。この状態のモデル地盤に対し、周波数3Hz、振幅1,3,5mmの正弦波を10秒間水平方向に加え、構造物の浮上がり量、地盤の変形量および砂層内部の間隙水圧変化を測定した。(以上を無対策実験と称する。)

次に対策実験として、塩化ビニール製の矢板模型を構造物中心位置から左右10cm、砂層表面から深さ25,35cmの位置に設置したケースについて3Hz-3mm-10sの状態に加振実験を行った。なお、矢板模型には剛性矢板として厚さ10mm、たわみ性矢板として厚さ2mmの塩化ビニール板を用いた。表-1に実験ケース一覧を示す。

2.2 実験結果と考察

図-3は同一の加振条件(3Hz-3mm, 最大加速度106gal)で行われた無対策実験および矢板設置対策実験の砂層変位ならびに埋設構造物の浮上がり状況を示したものである。

無対策の場合、実験終了後には構造物模型は約10cm上方に変位し、それに伴い周辺の砂層は構造物を回り込むように移動している。構造物の浮上がりに伴い上部の砂は上方に押し上げられるが、液化しているため左右方向に流れ、砂層表面には大きな凹凸は発生しない。

一方、構造物左右に矢板を設置した場合は、浮上がり量は無対策の場合の約半分に抑えられている。これは、液状化発生時構造物に作用する浮力は同一であるが、浮上がりに伴う上部飽和砂の側方への流動が矢板によって押さえられ、構造物下部に回り込む周辺砂層の流動もある程度抑制されるためと思われる。矢板外側の砂層は、矢板先端を迂回するように構造物下方に移動し、その結果矢板外側の砂層表面には2~3cmの表面沈下が、矢板内側では同じ程度の表面隆起が観察された。設置矢板の種別に関しては、たわみ性矢板の場合には浮上がり量、砂層変位とも剛性矢板より大きな値が出ており、砂層の変位に伴う矢板自身の変形が関与しているものと思われる。液状化中の飽和砂は、実験による観察によればまさに液体に近い状態を呈するが、砂層変位の進行状況からは土粒子と水が混合した全体として高粘性流体のような挙動が認められた。そこで、液状化飽和砂の粘性係数を定量的に把握するための実験を次に実施した。

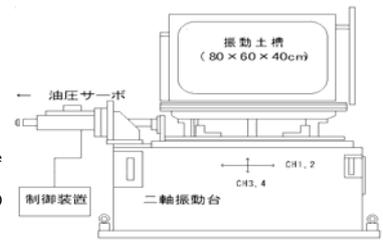


図-1 実験装置

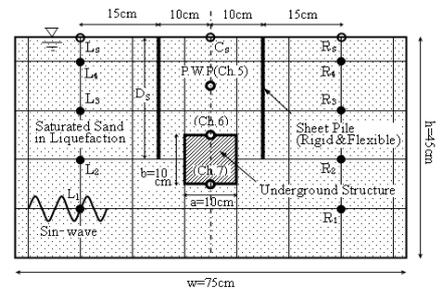


図-2 構造物・矢板設置

表-1 実験ケース

実験条件	実験ケース						
	A-1	A-2	A-3	C-1	C-2	D-1	D-2
加振周波数	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz	3Hz
加振振幅	1mm	3mm	5mm	3mm	3mm	3mm	3mm
加振時間	10s	10s	10s	10s	10s	10s	10s
矢板深さ	-	-	-	35cm	25cm	35cm	25cm
種別	-			剛性		たわみ性	

キーワード：液状化,埋設物,防止対策

連絡先：〒259-1292 平塚市北金目 1117 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

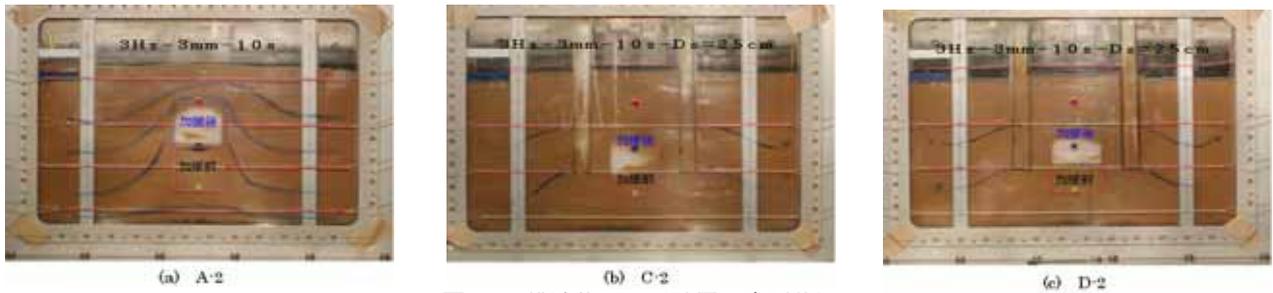


図-3 構造物および砂層の変形状況

3. 液状化時の流動飽和砂の粘性測定実験

3.1 実験概要

液状化中の土粒子と水との混合流体の粘性係数を測定するため Stokes の法則を利用した。Stokes の法則によれば、直径  $d$ 、密度  $\rho^*$  の球体が粘性係数  $\mu$  の流体中を沈降する際に受ける抵抗は

$$R = 3\pi\mu vd \tag{1}$$

で与えられ、ここに  $v$  は沈降速度である。

一方、密度  $\rho^*$  の物体の密度  $\rho_{sat}$  の流体中における重量は次式で求められ

$$W' = (\rho^* - \rho_{sat})Vg \tag{2}$$

ここに、 $g$  は重力加速度である。物体が等速沈降する場合には  $R = W'$  であるので、式(1)(2)より粘性係数  $\mu$  が評価できる。沈降物体としては液状化砂混合流体とのスケールを考慮し、直径 6.65cm の軟式野球ボール(C球)の内部に鉛散弾を入れたものを用いた。(ボール+投入散弾質量 350, 375, 400g の 3 個  $\rightarrow \rho^* = 2.27, 2.44, 2.60 \text{g/cm}^3$ ) 実験は、浮上がり実験と同じ加振状態の飽和砂中に紐をつないだボールを沈め、紐一箇所につけたりポンの移動速度を定規とストップウォッチを用いて測定した。

3.2 測定結果

図-4 に実験状況を、図-5 に実験結果を示す。ボールが土槽下端に近づくると沈降速度は小さくなるが、時間に対して落下距離が比例する部分を直線回帰し粘性係数の平均値を求めると  $\mu = 694 \text{g/cm}\cdot\text{s}$  が得られた。10℃の水の静粘性係数は  $\mu_w = 0.013 \text{g/cm}\cdot\text{s}$  であるので、液状化時の飽和砂は水の約 5 万倍の粘性をもっていることになる。(ヒマシ油やグリセリンの粘性係数は水の約千倍である。) 液状化発生時の飽和砂地盤の流動化は、液化した水・土砂の混合体を高粘性流体とみなすことにより解析することが可能であると思われる。

4. まとめと今後の課題

本研究は、液状化発生時に度々観察されるマンホールや共同溝等の埋設構造物の浮上がり現象について、モデル地盤を用いた振動台実験を通じて無対策ならびに矢板設置による浮上がり抑制効果を確認するとともに、液状化時飽和砂の粘性係数を Stokes の法則を利用した球体沈降実験より求め、検討したものである。液状化時の飽和砂を高粘性流体とみなして流動解析を行うことは、液状化時に大きな被害をもたらす地盤の側方流動の対策にも有効な手段を提供し得るものと思われる。今後は、砂層の相対密度に応じた粘性係数の大きさを定量的に把握するとともに、発生過剰間隙水圧と混合土砂全体の粘性係数の関係、加振停止後の過剰間隙水圧の消散に伴う粘性係数の変化等を把握することなどが重要と思われる。

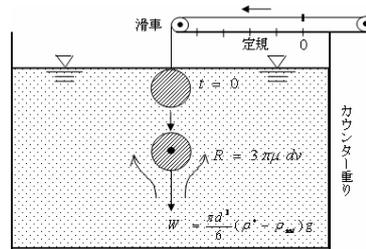
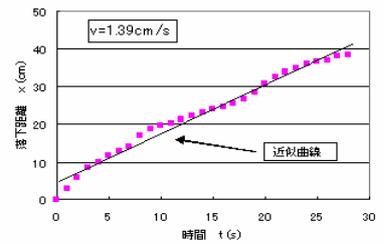
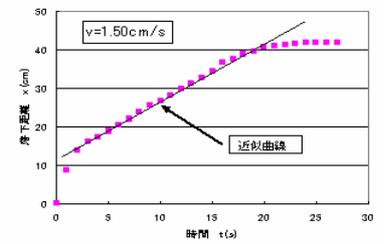


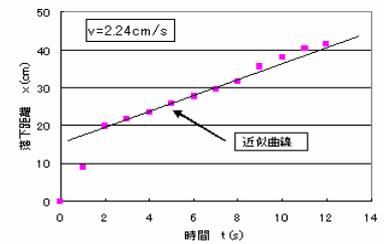
図-4 粘性係数測定実験



(a) m=350g



(b) m=375g



(c) m=400g

図-5 沈降速度測定結果

参考文献：1) 地盤工学・実務シリーズ 18「液状化対策工法」, 地盤工学会, 2005 2) 東畑・水谷・中井・磯田「地中壁を用いる沈下・浮き上がりの軽減」, 土と基礎, Vol. 50-2, pp. 16-18, 2002 3) P. J. Roache, "Computational Fluid Dynamics" Hermosa Publishers, 1982 4) 久志本直人・本間重雄「液状化における発生過剰間隙水圧に及ぼす地盤加速度の影響について」, 第 32 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2005