

大型せん断土槽を用いたマンホールの浮上がり実験と有効応力解析

ハザマ 正会員 ○足立有史 浦野和彦 三原正哉

1. はじめに

1964 年の新潟地震以来、大規模地震における液状化による、構造物の被害が多数報告されている。液状化被害の特徴として、極端な支持力低下、地盤外力の増加、地盤変位の増加、永久変形の発生がある。マンホールの浮上がりは液状化による特徴的な現象であり、被害事例も多数報告されている。しかしながら、地震時の浮上がり挙動に関する実現象を詳細に観察した記録は少ないと思われる。本研究では、液状化発生時のマンホールの浮上がり挙動を観察するため、大型せん断土槽を用いた実規模振動台実験を実施した。

2. 実験概要

振動台実験模型を図-1 に示す。実験に用いたせん断土槽は幅 4.55m、高さ 2.5m、奥行き 2.2m (容量 25.03m³) で約 5% のせん断ひずみまで変形が可能である。振動台は、テーブルサイズが 6m×4m、最大搭載荷重 800kN であり、最大加速度は長辺方向 1G、短辺方向 3G である。模型地盤は、乾燥した珪砂 5 号を専用の砂まき装置を用いて空中落下法により作製した。作製後の計測結果から相対密度は 41% であった。その後、土槽底面の 8 箇所の注水孔より約 2 日間かけてゆっくりと地盤を飽和させた。地下水位は GL-5cm に設定した。マンホール模型は、木製の外枠を防水処理し、比重が実物のマンホールと同等 (比重 1.0) になるよう砂を投入し調整した。その他の模型として、図-1 に示す実物模型のように地表面に配置するとともに、GL-30cm の位置に両端を閉塞した長さ約 1.2m の塩ビ管を埋設している。また、地表面は 250mm×250mm×20mm のモルタル製のタイルを敷き詰めている。計測は、地盤内の加速度、間隙水圧およびせん断土槽枠の加振方向の水平変位、水平加速度を図-1 に示す配置で行った。入力加速度波形は図-2 に示すように、正弦波 5Hz で加速度振幅は 350Gal、継続時間 26 秒である。

3. 実験結果

写真-1 に加振終了後の地表面の様子を示しているが、加振直後から地表面一体から地下水が噴出し液状

化に至るとともに、マンホールの浮上がり、地上設置模型の沈下、傾斜が生じた。マンホールの浮上がり量は 63cm あった。マンホールの高さが 130cm で比重 1.0 に対して、液状化した地盤の比重は約 2.0 であることから、液状化土の浮力に対してつり合う状態まで浮上がったものと考えられる。図-3 に実験後の計測器移動量を示しているが、マンホール周辺の土が下部に移動するのに対し、マンホール直下地盤は上方向に移動していることがわかる。

キーワード：液状化 マンホール 浮上がり 有効応力解析

連絡先：ハザマ 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL：029-858-8813 FAX：029-858-8819

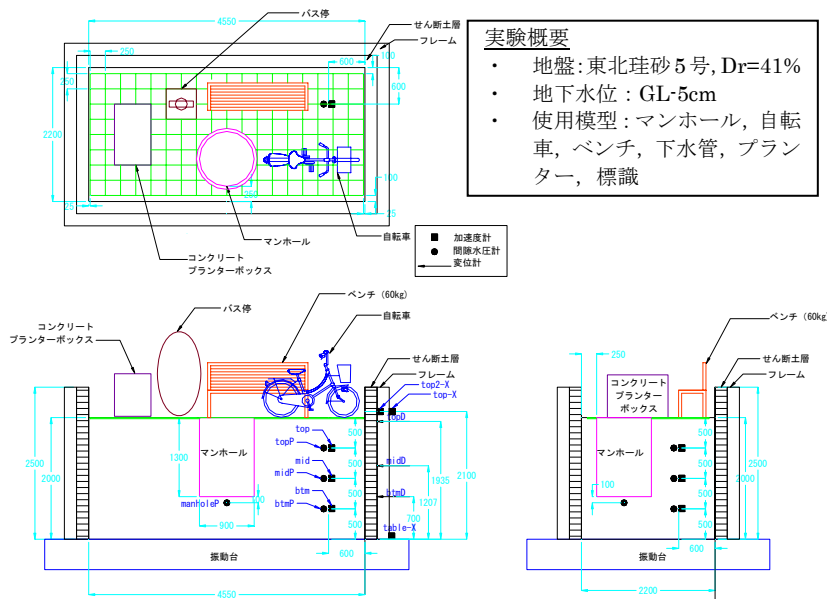


図-1 振動台実験模型

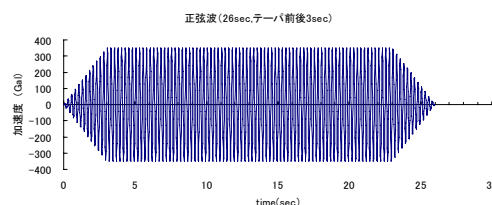


図-2 入力加速度波形



写真-1 加振後地表面状況

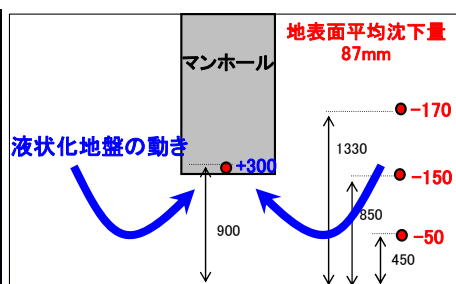


図-3 加振後計測器の鉛直方向移動量(mm)

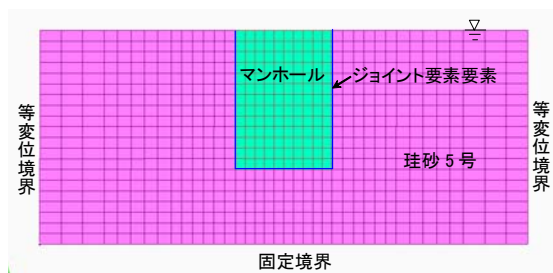


図-4 FEM メッシュ図

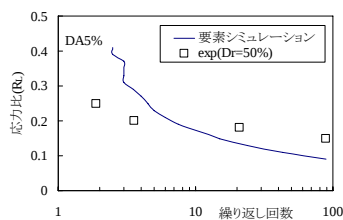


図-5 液状化強度曲線（珪砂5号）

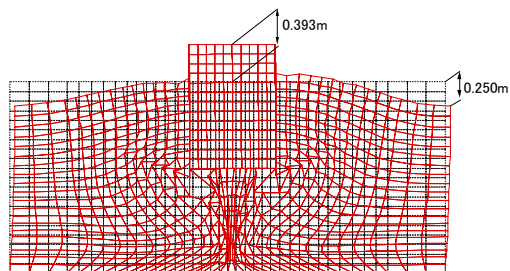


図-6 加振後変形図（解析結果）

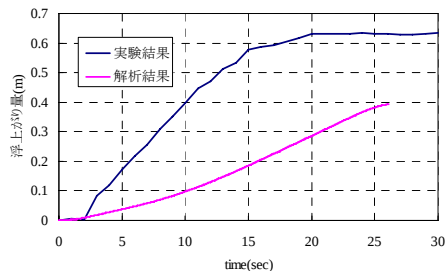


図-7 マンホールの浮上がり量の時刻歴

これにより、同図の矢印のように液状化地盤が移動したものと想定される。

4. 有効応力解析

振動台実験におけるマンホールの挙動を検討するため、2次元有効応力解析を実施した。解析は液状化解析プログラム LIQCA2 d 07¹⁾より実施した。図-4にFEMメッシュ図を示す。モデルの境界条件はせん断土槽を考慮して定めた。表-3, 4に地盤およびマンホールの解析パラメータを示す。地盤パラメータは、珪砂5号 (Dr=50%) を対象に実施した液状化強度試験、動的変形試験、CD試験を参考に設定した。入力加速度は、実験時と同様、図-2に示すものを使用した。マンホールと地盤の境界部にはすべりのみ考慮したジョイント要素を配置した。ジョイント要素のせん断方向バネ定数は 0.344 kN/m^2 とした。初期応力状態は、別途、図-4のモデルに対して自重に対する弾塑性解析により算定した。数値解析上の条件として、計算時間増分は0.001秒とした。Rayleigh減衰として初期剛性比例型を用い、その係数は、入力加速度の周波数4Hzに減衰定数1.0%程度を仮定し、0.001とした。

解析結果における変形図を図-6に示す。液状化地盤がマンホールの下部へ潜り込みマンホールを押し上げるように挙動していることが確認でき、実験時の計測器の残留変位と整合している。図-7にマンホールの浮上がり量の時刻歴を実験結果と合わせて示す。マンホールが浮上がりを開始する時刻は加振開始約3秒後で、その後ほぼ一定速度で浮上がる傾向は実験結果と同様である。マンホールの浮上がり量については、実験63cmに対し解析結果では40cmと小さ目の結果となった。図-8に過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。側部地盤（上部）では、加振直後から水圧が増加する挙動が解析でも良く再現されている。一方、マンホール直下では、実験結果と解析結果において傾向が異なるが、これは地盤変位に伴い水圧計が移動したことによるものと推察される。

4. まとめ

液状化時のマンホールの挙動に着目した実規模での振動台模型実験及びの有効応力解析を実施した。その結果、液状化時のマンホールの浮上がり挙動を詳細に観察することができた。

【参考文献】1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ：LIQCA07(2007年公開版)資料,2007.

表-3 地盤パラメータ

No.	1
土層名	珪砂5号
種別	弾塑性
ρ_t	(t/m ³) 1.97
V_s	(m/s) 132
G_0	(kPa) 34360
e_0	0.690
λ	0.0030
K	0.0010
OCR*	1.0
ϕ'	(degree) 35.0
ϕ_m	(degree) 28.0
M_f^*	1.158
M_m^*	0.909
B_0^*	3000
B_1^*	30
C_f	0
γ^{Pa}	0.005
γ^{E*}	0.010
D_{*0}	2.0
n	3.0
k	(m/sec) $3.1E-04$
G_0/σ'_{m0}	572.7
R_{L20}	0.160
備考	三軸試験

表-2 マンホールパラメータ

No.	2
土層名	マンホール
種別	弾性
γ_t	(tf/m ³) 1
ν	0.2
$G_0=\mu$	(kPa) 4166667
K_0	(kPa) 5555556
λ	(kPa) 2777778

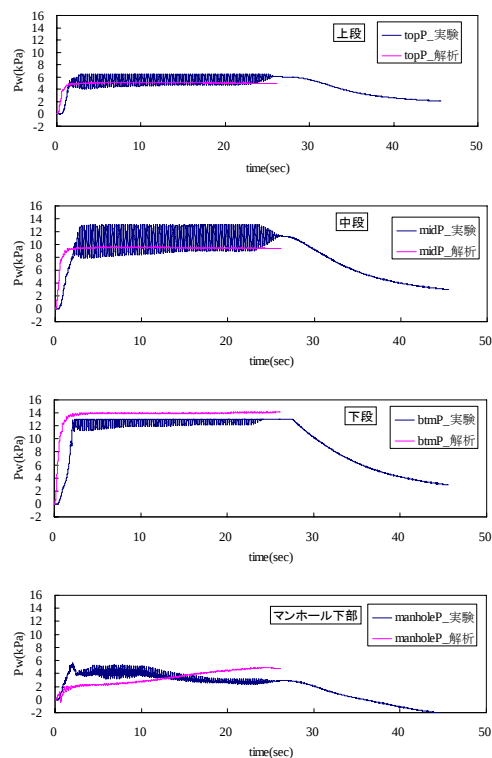


図-8 過剰間隙水圧の比較