

マンホールの浮き上がりメカニズムと対策に関する振動台実験

関東学院大学 正会員 規矩大義
関東学院大学 学生会員 ○福永大輔
関東学院大学 学生会員 木村竜大

1. はじめに

地震時に地盤が液状化すると、重量構造物は沈下し、地中の軽い構造物は地表面に浮き上がることは周知の事実である。2003 年十勝沖地震では、液状化によって管路やマンホールの浮き上がり、埋戻し地盤の沈下等の被害が見られた。先の新潟県中越地震でもライフライン施設が大きな被害を受け、なかでもマンホールの浮き上がり被害は実に 1400 箇所以上にも及び、最大浮き上がり量も 1.5m と甚大な被害が生じた。本研究では、模型振動台実験により、マンホールの浮き上がりメカニズムと、合理的な対策の施工法について検討した。

2. 実験内容

緩く堆積させた模型砂地盤を振動台による加振によって液状化させ、その後の砂の廻り込みによるマンホール模型の変位や地盤沈下量を計測する。今回の実験では、マンホールの浮き上がりが単に液状化だけが原因でなく、さらに土粒子が廻り込むことによって生じることを明らかにするため、ネットを用いてマンホール模型の周囲を囲み、砂の移動を抑えることにした。すなわち、ネット周辺の地盤で液状化が生じて土粒子が側方から流れ込んでこない状態を再現した。この条件は、例えばマンホールの埋め戻し領域の周囲が密な砂地盤や粘土土地盤などで過剰間隙水圧の上昇は見られても、粒子の配列構造が完全に乱れることはないといった地盤を意味している。また、ネットを用いずに埋め戻し土の周辺地盤を完全に液状化させた場合とのマンホール模型の浮き上がり量を比較することで、土の廻り込みによる影響を定量的に評価する実験を表 1 に示すよう 8 ケース行った。浮き上がり対策として図 2 のような RING（シャンプーハットのようなもの）をマンホール模型下に設置し、砂の廻り込みをさせない対策実験も行った。全ての実験は周波数 5Hz、20 波で加振し、各計測器は図 1 のように設置した。

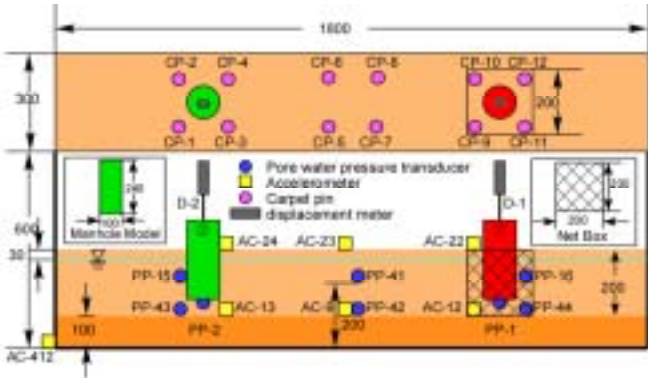


図 1 振動台配置図

表 1 CASE 表

CASE1	100gal-Dr=40%
CASE2	200gal-Dr=40%
CASE3	300gal-Dr=40%
CASE4	400gal-Dr=40%
CASE5	200gal-Dr=60%
CASE6	300gal-Dr=60%
CASE7	350gal-Dr=60%
CASE8	400gal-Dr=60%
CASE9	RING-400gal-Dr=40%

3. 実験装置

- (1)振動台：本研究室所有の油圧式水平振動台を用いる。寸法は 1,500mm×1,500mm、搭載能力は 1.5t である。
- (2)土槽：使用した土槽は内寸で長さ 1,800mm×幅 300mm×高さ 600mm の剛体土槽である。
- (3)地盤試料 基礎地盤、液状化層共に栃木県産日光硅砂 5 号を使用した。
- (4)マンホール模型：外径φ100mm、内径φ80mm、高さ 50mm で中抜きした円柱を 4 段に重ねて接合し、上部と底部にはφ100mm×高さ 20mm の蓋を接合してφ100mm×高さ 240mm の二つの縮尺マンホール模型を作成した。マンホール模型には、重心がマンホール模型中心部にくるよう比重調整をした。また、底部に水圧計を設置し、水圧が測定できるようになっている。
- (5)リング：外径φ140mm、内径φ100mm、高さ 2.5mm のドーナツ形の円をそれぞれ作成した。



図 2 RING

キーワード 液状化, マンホール, 浮き上がり

連絡先 〒236-8501 神奈川県横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学工学部 TEL 045-786-7148

4. 実験結果

図3はマンホール模型直下に設置した水圧計(上段のグラフ)と埋め戻し領域内のマンホール模型近傍に設置した水圧計(中段のグラフ)とマンホール模型の変位量である。黄色い範囲は加振時間を示している。加振直後から直下の水圧計(PWP-1)も近傍の水圧計(PWP-16)も同時に上昇していることがわかる。マンホール模型の浮き上がるタイミングと比較すると、過剰間隙水圧が1.0に達することが、マンホール浮き上がりのトリガーとなっている。直下の水圧計は水圧が徐々に消散し一定値を取った。加振中は浮き上がりが継続し、水圧が消散し始めると、浮き上がりも停止している。

図4には浮き上がりの激しかったケースにおける縦軸に水圧の変化、横軸にマンホール模型の変位量をとったグラフで、水圧と浮き上がりとの関係を示した図である。上段がマンホール模型近傍の埋め戻し領域内の水圧計、中段がマンホール模型底面の水圧計、下段が上段と中段のグラフを重ねたものである。マンホール模型の周りを砂の側方への移動を抑えるためのネットで囲むと、ネット内の砂が周辺地盤へと移動できないため激しく液状化は起こる。本来、激しく液状化が生じると、水圧比は上昇したまま一定を取るはずであるが、この図のように水圧は大きく上下して変化している。この水圧の上下の繰り返しはマンホール模型の浮き上がり量の関係に着目すると水圧が上昇しているタイミングでのみ、マンホールの浮き上がり量が増えていっていることがわかる。さらにグラフを重ねると、模型直下と側方近傍の水圧計の応答は、ちょうど逆位相になっており、交互に波が起きていることが

確認できる。水圧が低下している状態とは、すなわち負圧が生じている状態であるのでマンホール側方からマンホール底部に向けて流れの水頭差が生まれる。水圧は加振されることによって波が起これると同様にマンホール付近の水圧計が上がっているときはマンホール模型底面の水圧は下がっていく。マンホール模型付近の水圧が下がるとき、マンホール模型付近にあった水と埋め戻し土はマンホール模型底面へと流れ込み、マンホール模型底面の水圧は回復する。水と一緒にマンホール付近にあった砂も浮上によってできた空洞部分に流れ込み、マンホール模型は直下の水圧が上昇し再び浮き上がろうとすると考えられる。砂が自由に移動できる場合だとマンホール模型の同じ深さの砂はマンホール底部へと供給される。一方、砂が埋め戻し土周囲から供給されなければマンホールは水圧の変化によってマンホール模型底部にできた負圧化された空洞部分に、マンホール模型周辺の埋め戻し土が廻り込み、結果的に埋め戻し土が緩くなってマンホール模型が浮き上がったという動きがこのグラフから読みとれる。

図5は、対策をしたCASE10と無対策のCASE4の浮き上がりの比較である。図から抑止効果はみてとれます。理由としては砂の廻り込みを軽減できていることだが、RINGがマンホール模型に固定されているため、RINGの上面には砂の重量がかかっており、その砂の重量で浮き上がりを抑えているということも考えられる。

参考文献 1) S.Yasuda & H.Kiku: Uplift of Sewage Manholes and Pipes during The 2004 Niigataken-Chuetsu Earthquake, Soils and Foundations.

2) H.Kiku & M. Nakane: Shaking Table Tests on Mechanism of Uplift of Underground Structures in Liquefiable Ground during Earthquake, Seismic Design, Observation, and Retrofit of Foundations, Vol.1, pp.77-7.

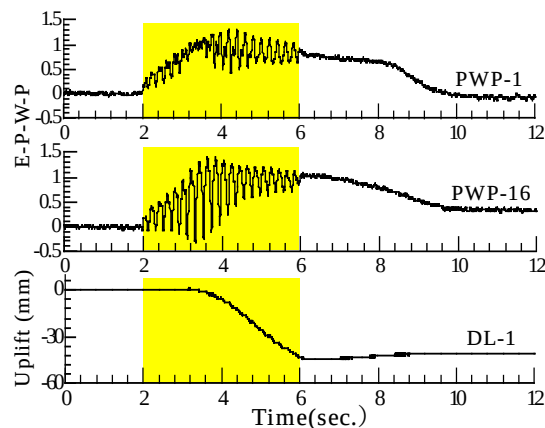


図3 水圧計と浮き上がりのタイミング

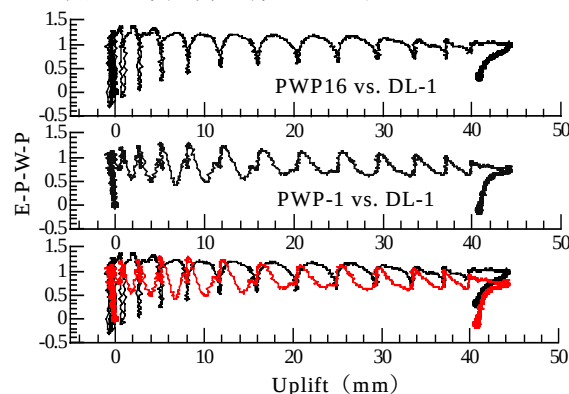


図4 水圧計と変位計の関係

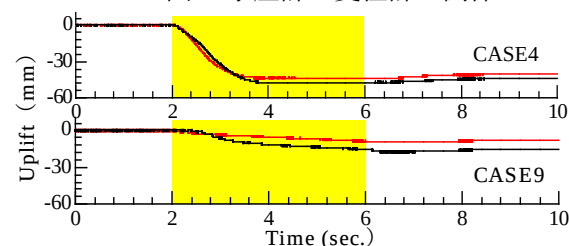


図5 対策(浮上がり量)