

重量化による液状化時のマンホールの浮上防止効果について

日本水工設計株式会社 ○青野紀夫 相原素晴 西脇和也
 株式会社福原鋳物製作所 高橋勝彦 石川 隆
 中央大学工学部都市環境学科 國生剛治 中央大学大学院 遠藤大智

1. はじめに

近年の地震災害における下水道管路施設の被害の特徴として、地盤の液状化によりマンホール（人孔）が路上へ浮上し、流下機能の阻害ばかりか緊急車両等の通行を妨げることが大きな社会問題になっている。

人孔の浮上防止工法は、例えば特許庁の特許・実用新案の公開件数だけでも 80 件以上にのぼる。その原理を分類すれば、①ドレーンによる液状化時の過剰間隙水の排水、②アンカー・杭による固定、③重量化による揚圧力との平衡、④地盤改良による固化、⑤その他①～④複数の併用等に分けられる¹⁾。しかし、人孔周囲を掘削する等の作業が必要な方法では、道路交通量の多い車道部の人孔への適用は難しい。

そこで著者らは、上記③の重量化方法として、人孔内部にカウンターウェイトを取り付けて人孔の見掛け比重を地盤と同等にして浮上防止を図る工法（「インナーウェイト工法」）を開発中である。本工法は、人孔内部での施工が可能である、原理が簡単で設計が容易に進められる等のメリットが想定される。

浮上防止効果の確認のため 1G 場での模型振動実験を行った。その結果、重量化後の重心を元の位置より低くした場合、激しい液状化に対して浮上がりや傾斜は極めて小さく、本工法の有効性が示された。

2. 浮上防止の構造概要

本工法の構造は以下のとおりである。

1) 比重の大きい材料として、鋳鉄製の小版（インナーブロック、JIS G 5501 ねずみ鋳鉄品、比重 7.5）を人孔内側の側壁面に沿って貼付して重量化する。小版は人孔内への搬入を容易にするため一片 10kg 前後とし、壁面に沿って仮組みする際に崩れない噛み合わせ形状としている（図-1）。小版には耐酸性の防錆塗装を施す。

2) 小版の裏にはアンカーを設け、組立後の背面の隙間は裏込め材（セメント系固化材）で充填し固定する。将来流入管の接続のため、取り外し可能な小版構造も別途考案した。

3) 維持管理上、人孔内空を 750mm 以上確保するため、これを遵守した版厚・裏込め厚とする。重量不足の場合は、インバートコンクリート中に鋳鉄製重錘を挿入することで補う。

4) 重量化の必要量は、人孔底面に作用する過剰間隙水圧²⁾を考慮して算定する。

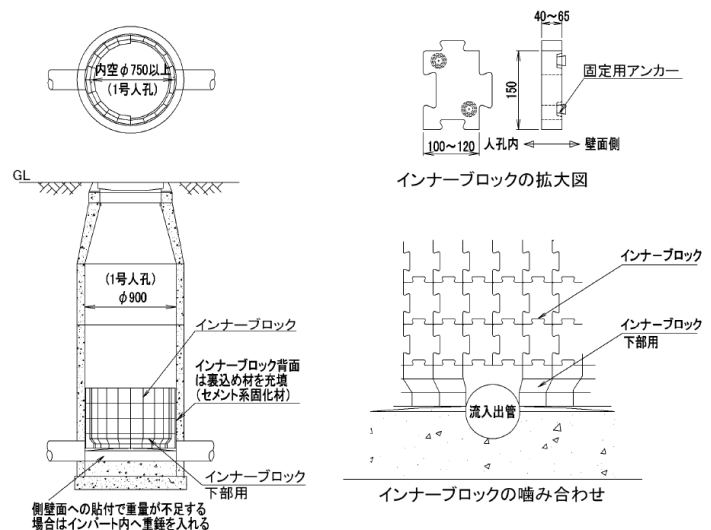


図-1 人孔内部の重量化（構造概要）

3. 模型振動実験による効果の検証

(1) 実験用振動台

実験用振動台は、上下・水平 2 軸の電磁式中型振動台である（台寸法 W1200×L1200mm，最大加速度 1G）。この振動台上に矩形状の模型土槽（W600×L1100×H800mm，フレームは鋼製で土槽はアクリル製）を固定し，レベル 2 相当の水平動，水平動+上下動（共に正弦波）を作用させた。土槽内の計器配置を図-2 に示す。

(2) 人孔模型と模型地盤

人孔模型は土槽の寸法等を考慮して縮尺 1/6 とし，組立式マンホール（JSWAS A-11）の内，市場性のある寸法（内空φ900mm，高さ 3.0m）を実大モデルとして，鋼管と網筋入りコンクリートにより外径，比重，重心を調整して製作した（模型の外径 183mm，高さ 520mm）。実際の人孔は斜壁により平面方向の重心は若干中心から外れているが，それも再現させた。無対策の人孔模型の見掛け比重は 1.361，重量化後は 1.800 である。

模型地盤の試料砂は，模型の相似性を考慮し平均粒径が山砂に比べて概ね 1/2 となる材料として 7 号珪砂を選定し（D50=0.17mm），水中落下法により形成した。相対密度 Dr は 31~47%と緩い状態である。

(3) 実験ケース

実験は，人孔の元の重心位置と対策後の重心位置の関係，水位と重心位置の関係，加振方向の違いによる影響を見るため，表-1 に示す 6 ケースを行った。本表には結果も併記した。

4. 実験結果と考察

実験結果の内，ケース 1~3³⁾，ケース 4・5⁴⁾については報告済みなので結果概要のみを記すに留める。

(1) ケース 1~3

無対策のケース 1 は最終浮上量+51.5mm で，地盤が-26.4mm 沈下したため，相対差は+77.9mm となった。また浮上と共に 165mm も水平移動して 25 度傾斜した。他のケースも含め，水平移動の方向は，加振+平面重心のベクトル方向，人孔の傾きは平面重心の偏心側であった。これに対し，重心が元の位置より若干下がった状態に重錘を設置したケース 2 は，最終的にわずか-3mm の沈下であった。ただし地盤が-24.8mm 沈下したので，相対差は+21.8mm である。水平移動・傾斜はほとんど認められなかった。重心が上がった状態に重錘を設置したケース 3 は，浮上についてはケース 2 と同様であるが，87.8mm 水平移動し，32.5 度も傾いてしまった。人孔内部の重量化は，安定性確保のため，人孔重心が下がるように考えるとよい。

(2) ケース 4・5

無対策のケース 4 は最終的な相対差は+99.1mm の浮上となったが，水平変位・傾斜共に非常に小さい。これは周辺の地盤が人孔をある程度拘束しているためと考えられる。それに対して，ケース 2 と同様の対策を施したケース 5 は，最終の相対差は+11.9mm，傾斜は 0.4 度と非常に良好な結果を得た。

(3) ケース 6

更に，水平動+鉛直動を加えた実験を行った。ただし，鉛直動は振動台制御の都合上，水平動 404gal に対し 336gal（水平動との比率 0.83）と過大な値で実験せざるを得なかったため，代わりに加振時間を短

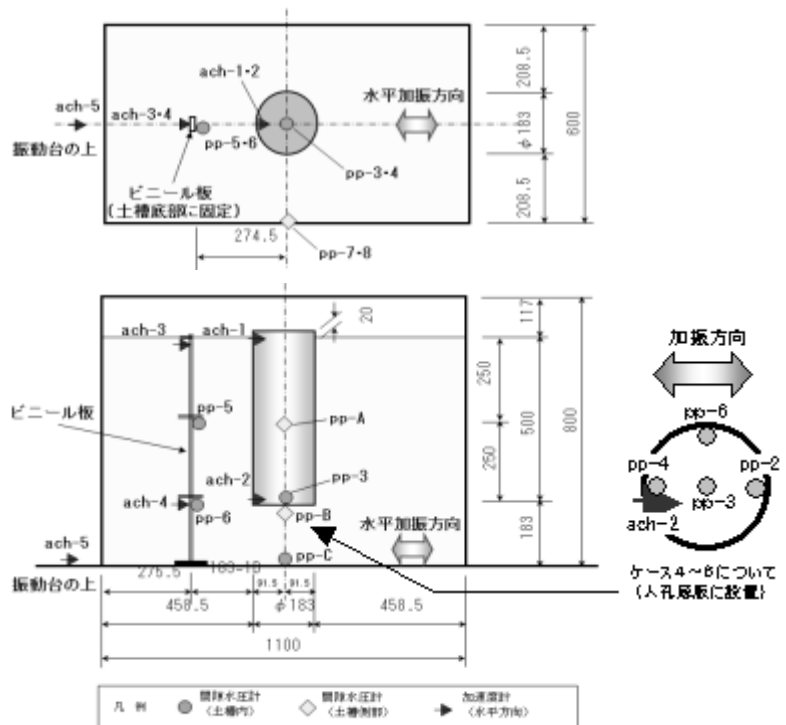


図-2 計器配置図

くすることで調整した。

浮上量と過剰間隙水圧の時刻歴変化を図-3 に示す。結果としては、最終浮上量-5mm、地盤沈下量-10.9mm で相対差は+5.9mm に収まり、水平動+鉛直動でも浮上防止効果が非常に高いことが示された。

なお現時点ではデータを鋭意解析中であるが、人孔底板へ作用する過剰間隙水圧は、人孔中心、端部では一定値とならない傾向が見られた(図-4)。これはケース 4, 5 でも同様の傾向であった。過剰間隙水圧が一様でないならば、重量化のための必要重量は若干でも軽減される可能性があり、実用上好ましいと考えている。

表-1 実験ケースと結果

実験ケース	1	2	3	4	5	6
	無対策	対策	対策	無対策	対策	対策
	ケース2, 3との比較用	重錘により元の重心を下げた場合	人孔斜壁に重錘を付けた	ケース5との比較用	重心をケース2と同じ位置に	ケース2に鉛直動を加えた場合
水位	地表	地表	地表	人孔重心	人孔重心	地表
入力波 (正弦波)	加振方向	水平	水平	水平	水平	水平+鉛直
	周波数 (Hz)	3	3	3	3	3
	波数 (波)	30	30	30	30	30
最大加速度	振幅 (cm)	1.0	1.0	2.6	1.0	0.8
	水平 (gal)	408	390	454	325	322
土槽と人孔	鉛直 (gal)	-	-	-	-	-
	ρ_{sat} (tf/m ³)	1.84	1.84	1.85	1.83	1.76
	相対密度Dr(%)	32	31	36	38	41
人孔重心	人孔比重 (tf/m ³)	1.361	1.800	1.800	1.361	1.800
	鉛直 (cm)※1	30.34	32.04	22.00	30.34	32.04
実験結果	水平 (cm)※2	8.775	8.95	9.15	8.775	8.95
	最大浮上量(mm)	131.0	1.0	17.0	98.0	4.0
	最終浮上量(mm)	51.5	-3.0	-0.5	85.0	-2.0
	地盤沈下量(mm)	-26.4	24.8	-20.0	-14.1	-13.9
	相対差(mm)※3	77.9	21.8	19.5	99.1	11.9
	水平変位(mm)	165.0	0.0	87.8	1.0	0.0
人孔傾き(度)	25.0	0.4	32.5	0.5	0.4	

※1 人孔天端を基準とした下向き方向の位置 ※2 人孔外周からの水平方向の位置
 ※3 相対差は、+; 隆起、-; 沈下を表す

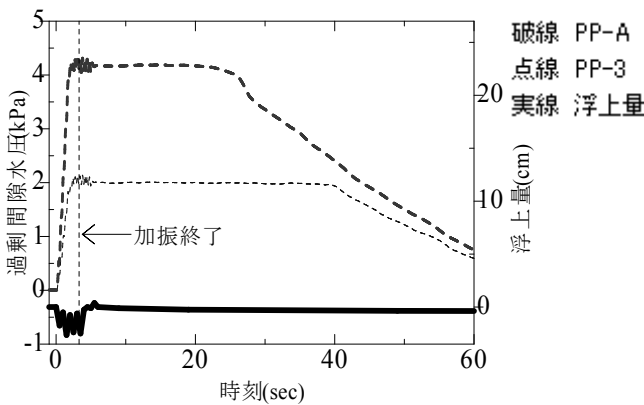


図-3 浮上量・過剰間隙水圧の時刻歴 (ケース6)

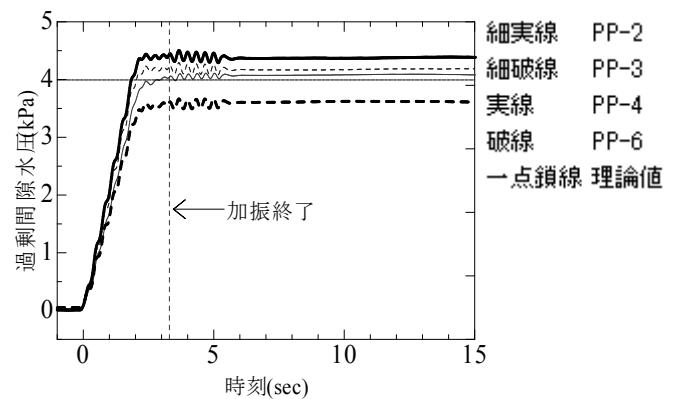


図-4 人孔底板部の過剰間隙水圧 (ケース6)

5. おわりに

以上から、重量化による人孔の浮上防止効果の有効性が確認できた。現在は、この結果をもって公的機関の「技術審査証明」の取得について出願中であり、また試験施工も計画中である。

<参考文献>

- 1) 相原素晴:マンホールの地震対策の現状と課題,「マンホールの地震対策の現状と課題-浮上抑制対策と管口の耐震対策-」に関するシンポジウム, 社団法人全国上下水道コンサルタント協会, pp8, 2009
- 2) マンホール浮上防止対策工法(浮上防止マンホールフランジ工法)技術マニュアル, 下水道新技術推進機構, pp34-37, 2008
- 3) 高橋, 國生, 遠藤, 青野:重量化によるマンホール浮上防止効果の振動実験, 第54回地盤工学シンポジウム, 液状化, pp405-410, 2009
- 4) 國生, 串田, 遠藤, 高橋, 西脇:重量化によるマンホール浮上防止効果の模型振動実験, 土木学会関東支部第37回技術研究発表会, CD-ROM版講演概要集, 2010

問合せ先: 浮上防止マンホール工業会事務局 株式会社福原鋳物製作所内 高橋勝彦

〒332-0021 埼玉県川口市西川口 5-10-3 TEL:048-257-0910 E-Mail:k-taka-cast@cablenet.ne.jp