

下水道管路地震被害データベース (Ver. 1) にみるマンホール被害状況

中日本建設コンサルタント(株)○打田卓実 中根 進

1. まえがき

平成 27 年 3 月国土交通省国土技術政策総合研究所によって下水道管路地震被害データベース (Ver. 1) が公開された。本稿では、平成 27 年 6 月に入手したデータベースから液状化などによって生じたと思われるマンホールの浮上に関するデータを抽出し、マンホールの種類による被害原因の推定と検証結果について報告する。

表-1 地震情報¹⁾

地震名	発生日	自治体名	スパン数
能登半島地震	2007年3月25日	輪島市	496
新潟県中越沖地震	2007年7月16日	柏崎市	306
東北地方太平洋沖地震	2011年3月11日	一関市, 遠野市, 加美町, 栗原市, 気仙沼市, 仙台市, 大衡村, 大崎市, 登米市, 白石市, 会津若松市, 西郷村, 福島市, いわき市, かすみがうら市, 茨城町, 神栖市, 太田原市, 那須市, 習志野市, 千葉市, 船橋市	4, 291
長野県北部地震	2011年3月12日	津南町	8
計			5, 101

2. 国総研データベース

下水道管路地震被害データベースの情報、被害項目を以下に列記する。

2.1 地震情報

データベースに収録されている地震に関する情報は、表-1 の通りである。

2.2 地震関連データ

微地形分類：該当する処理区内の代表的な微地形分類

計測震度：該当する処理区内の代表的な計測震度

SI 値：該当する処理区内の代表的な SI 値

2.3 管路諸元と被害内容

自然流下管の管路諸元と被害内容は表-2 の通りである。

表-2 管路諸元と被害内容

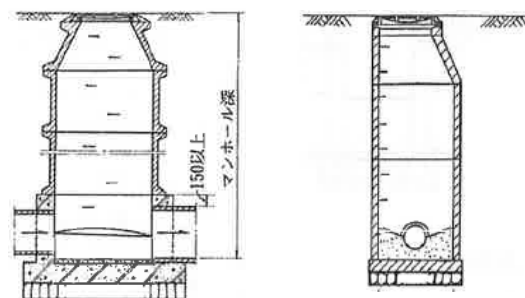
	管路諸元	被害内容
管きよ	管径(mm), 管種, 形状, 延長(m), 上流管きよ土被り(m), 下流管きよ土被り(m)	破損, 変形, たるみ・蛇行, 継手ずれ, クラック, 浸入水, 取付管突出・接合不良の有無・不明
マンホール	上流人孔種類, 下流人孔種類, 上流人孔深(m), 下流人孔深(m)	人孔滞水深(上流側及び下流側cm), 浮上量(上流人孔及び下流人孔cm)

3. 下水道管路の分類

3.1 下水道マンホールの種類

従前、下水道用マンホールは、現場打コンクリートの直壁とその上部に JIS 型の斜ブロック、直壁ブロックを積んだマンホール(ここでは、JIS 型マンホールという(図-1.a))であった。

もう一つは下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール(図-1.b)) (以下組立マンホールという)で、平成 17 年(2005)に(社)日本下水道協会の下水道用認定適用資器材 I 類に登録



a. JIS マンホール b. JSWAS 組立マンホール
図-1 マンホールの種類

されたものである。

3.2 管きよの種類と最小口径

従前、管きよの種類は、鉄筋コンクリート管、陶管であり、最小口径は、下水道施設設計指針と解説の1984、1994、2001、2009年版によると汚水200mm、雨水・合流250mmであったが、筆者の経験では、汚水であっても合流式の250mmを採用し、JIS型マンホールとともに面整備管路としていた。しかし、1997年ころ会計検査において250mmを採用していた自治体に対して最小口径が過大であり、維持管理にも支障のない200mmが妥当であるとの指摘を受け、面整備管路は塩ビ管と組立マンホールによって整備するようになったと記憶する。

4. 下水道マンホールの地震による被害形態

下水道マンホールの地震による被害形態は、i. 蓋・調整部の異常、ii. 破損・クラック・変形、iii. 躯体ズレ、iv. マンホールの浮上・沈下、v. 管口突出し・拔出し その他があるが、本データベースにはiv. マンホールの浮上、沈下のみが記載されている。

マンホールの浮上量は、管路のスパングとにまとめられており、スパンの上・下流の浮上量が示されている。スパンが連続している場合、スパン下流と次のスパンの上流マンホールは同じものとなり、重複が出るので、上流側マンホールの浮上量のみ抽出し、整理した。

本稿では、「3. 下水道マンホールの種類」に記したように筆者の経験と記憶に基づいて、鉄筋コンクリート管には、JIS型マンホールを、塩ビ管には組立マンホールを使っていたと大胆に仮定して、マンホールの地震被害を整理する。

コンクリート管路線および塩ビ管路線のマンホールについて、大きさ・形状等の規格別に、後述(1)式による調査数に対する浮上数割合を図-2に示す。

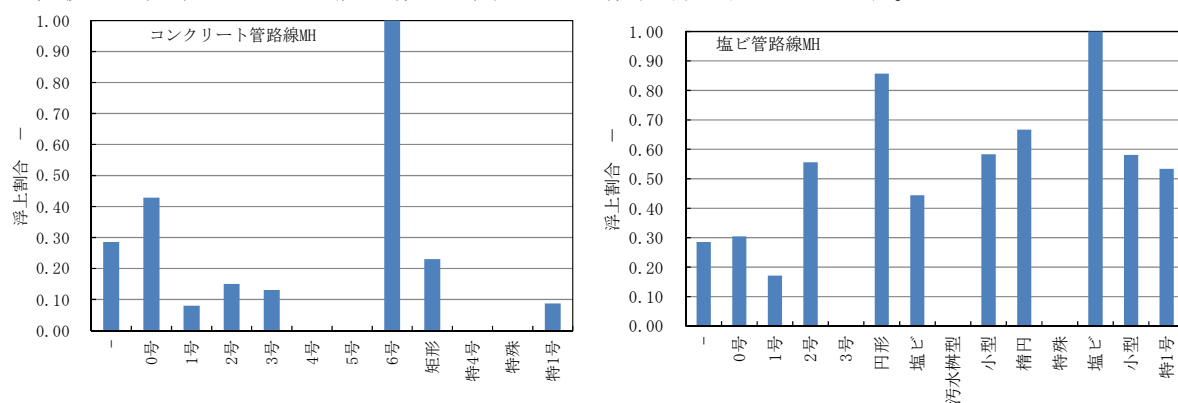


図-2 コンクリート管路線および塩ビ管路線の調査数に対する浮上数割合

図-2では、コンクリート管路線と塩ビ管路線のマンホールの大きさ等の規格が異なり比較分析しにくいので、大きさが共通する1号～3号マンホールを抽出して表-3に浮上数割合を示す。調査数は、コンクリート管路線より塩ビ管路線の数が多く、その中で1号マンホールの浮上が最も多い。一方、コンクリート管路線には2、3号の浮上も多い。この

ことは、コンクリート管路線は、塩ビ管路線と比べて本管径が大きく、2、3号マンホールが使われる機会が多いことによるものと推察される。

加えて、浮上量の不明なマンホールも多いため、後述(2)式を使った浮上数割合も表-3の下段に示した。

表-3の上段：浮上割合 = $\frac{\text{浮上数}}{\text{調査数}} \dots (1)$ 、下段：浮上割合 = $\frac{\text{浮上数}}{\text{調査数} - \text{不明数}} \dots (2)$

表-3のうち(1)(2)式の調査数に対する浮上数割合を図-3に示す。これによると、1号では塩ビ管路線のマンホールがコンクリート管路線のマンホールより浮上する割合が大であったが、2号マンホールでは(2)

表-3 コンクリート管路および塩ビ管路のマンホール調査数と浮上数とその割合

規格	コンクリート管路線MH				塩ビ管路線MH				
	調査数	不明	浮上数	無	調査数	不明	浮上数	無	
1号	基数	610	485	49	59	3230	2129	552	379
	割合	不明除く	0.80	0.08	0.10	不明除く	0.66	0.17	0.12
2号	基数	133	97	20	6	47	38	5	1
	割合	不明除く	0.73	0.15	0.05	不明除く	0.81	0.11	0.02
3号	基数	46	32	6	1	5	4	0	1
	割合	不明除く	0.70	0.13	0.02	不明除く	0.80	0.00	0.20
		不明除く	—	0.39	0.47	不明除く	—	0.50	0.34
		不明除く	—	0.56	0.17	不明除く	—	0.56	0.11
		不明除く	—	0.43	0.07	不明除く	—	0.00	1.00

式の調査数に対する浮上数割合は同値であり、3号は塩ビ管路線の調査数が少なく浮上しているものが無かった。

次に塩ビ管路線のマンホールで調査数に対する浮上数割合の大きかった1号マンホールの浮上量を図-4に示す。図-4はマンホール深と浮上量、沈下量の関係を示し、地下水位の位置は、データベースにないが、マンホール深が大きい方が地下水位以深にある部分が大きく、浮力が大となる。

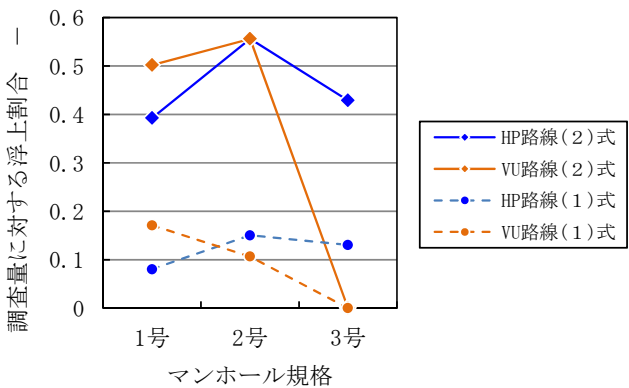


図-3 マンホール規格別の浮上数割合

塩ビ管路線のマンホールは、コンクリート管路線に比べ、浮上量が大きいものもあり、マンホール深が1.0 mと浅いマンホールの浮上も見られる。

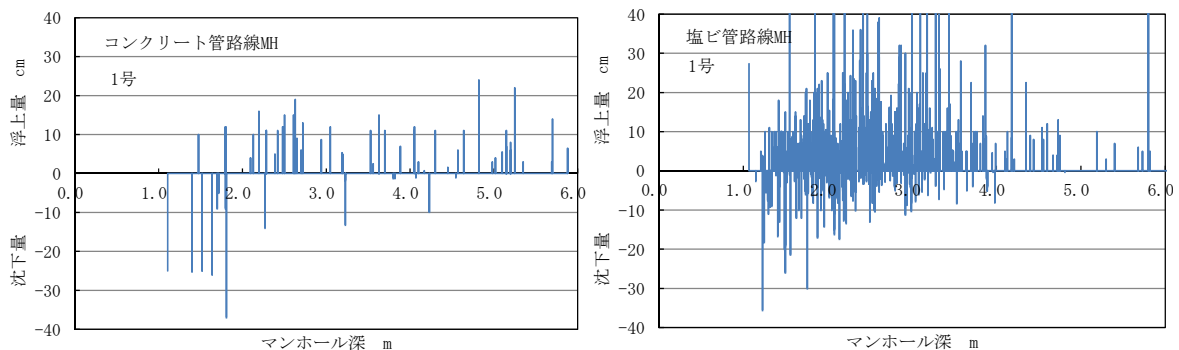


図-4 マンホール深とマンホール浮上・沈下量の関係

コンクリート管路線と塩ビ管路線のマンホール浮上量の差について次に推測する。

5. 浮上要因の推測

5.1 マンホール形状

JIS 型マンホールは、マンホール接合部に幅 15cm の張出しがあるため、鉛直方向に凸凹がある。一方、組立マンホールは接合部に張出しがなく、鉛直方向に凸凹がない。

このため、液状化時、浮力により浮上しようとしたとき、JIS 型マンホールでは、地下水位より上の接合部と外壁面と土と摩擦力が浮力に抵抗する。マンホール接合部は、鉛直方向に対して凸型となり、浮上に対する抵抗となることや接合部上部の土砂による重量増加も考えられる。これに対して組立マンホールでは、地下水位より上の外壁面と土と摩擦力だけが浮力に対する抵抗となる。

図-5²⁾ は、杭先端が滑らかに拡径している場合とつば状に拡径している場合の引抜時の地盤(この場合、砂)の変位状況を X 線画像で示したものである。この状態を液状化時、非液状化層にあるマンホール接続部に見立てると、杭先端がつば状の場合は、滑らかに拡径している杭より地盤の鉛直方向の変位量が大きく、また水平方向の変位領域が広く、引抜抵抗が大きいことを示している。このことから JIS 型マンホールは組立マンホールより浮上時の抵抗が大きいことが想像される。

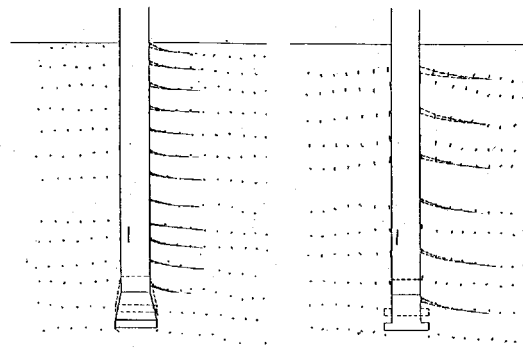


図-5 模型拡底杭の引抜時の地盤変位状況²⁾

5.2 過剰間げき水圧

間げき水圧は、土の間げき内の水圧で、地下水圧に対する増分を過剰間げき水圧といい、その過剰間げき水圧は、地震時のせん断力により、地下水で満たされた土の空隙が狭くなる際に一時的に発生する水圧である。

地盤が液状化するかどうかは、過剰間げき水圧と地盤の有効応力(浮力を差し引いた応力)が釣り合い、地盤のせん断抵抗を失うかどうかである。有効応力より過剰間げき水圧が大きくなれば、その地盤は液状化する可能性がある。マンホール周辺地盤の間げき水圧の関係を図-6 に示す。JIS 型と組立マンホールマンホールで、マンホール底部地盤の液状化を考えた場合、マンホール全体の単位体積重量(重量/体積)が、土の単位体積重量より軽いと、周辺地盤が液状化するより時間的に前に底部地盤が液状化する可能性がある。組立マンホールは、JIS 型マンホールより単位体積重量が軽いため、底部地盤では JIS 型マン

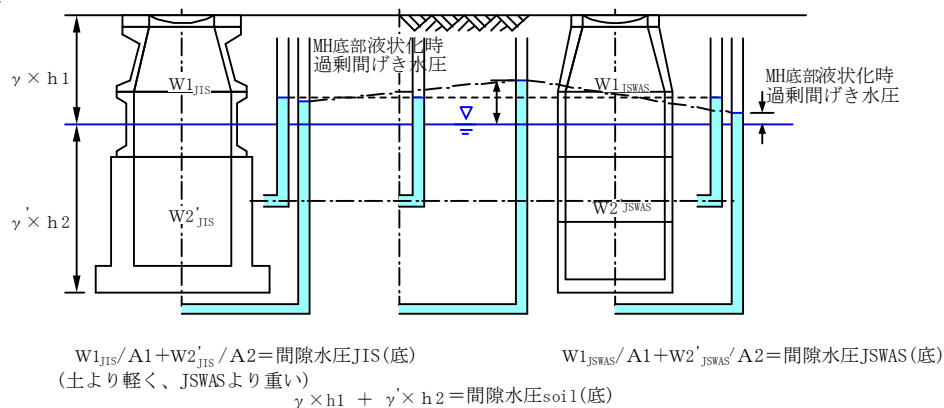


図-6 マンホール周辺地盤の液状化時間げき水圧

ホールより低い水圧で液状化する。

6. 液状化時マンホール浮上検討例

耐震対策指針³⁾に示される浮上判定式のケース1(砂層が泥水状になった状態)における浮上検討計算例を示す。マンホールの液状化による浮上りの検討は、**図-7**および(3)式⁴⁾により行う。

$$F_s = \frac{\overline{W}}{U} = \frac{W + R}{V_{\omega} \times \gamma_{\omega} + V_l \times \gamma_l} \dots\dots (3)$$

土重量無視

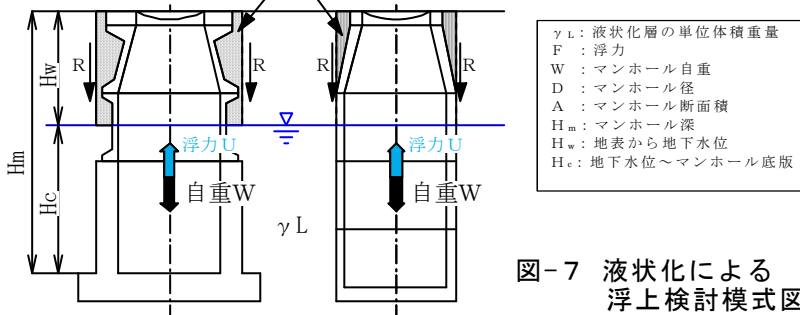


図-7 液状化による浮上検討模式図

ここに、

F_s : 安全率 (常時, レベル1地震動 ≥ 1.20 , レベル2地震動 ≥ 1.00)

\overline{W} : 浮力抵抗力 = $W + R$ (kN)

斜ブロック部の土の重量は、浮力抵抗力となるが安全側に無視する。

U : 浮力 (kN)

W : 構造物本体の重量 (kN)

マンホールは常時水位が満管でないことから空水とする。

R : 構造物の側壁面での液状化層を除く部分の摩擦抵抗力 (kN)

摩擦応力度は、**表-4**の工場製品より算定する。

表-4 単位摩擦応力度⁴⁾

地盤の種類	構造物の種類	工場製品	現場打ちコンクリート
砂質土		$N/5 (\leq 10)$	$N/2 (\leq 20)$
粘性土		C 又は $N (\leq 15)$	C 又は $N (\leq 15)$

注: C (kgf/cm²) は粘着力であり、乱さない試料の一軸圧縮強度の1/2としてよい。

V_{ω} : 構造物本体の非液状化層の地下水位以下の部分の体積 (kN/m³)

γ_{ω} : 水の単位体積重量 (kN/m³)

V_l : 構造物本体の液状化層の位置にある部分の体積 (m³)

γ_l : 液状化した泥土の単位体積重量 (=18 kN/m³)⁴⁾

その他以下のような液状化しやすい条件を入力する。

N 値 ≤ 15

砂質土 平均粒径 D_{50} 0.1 mm

細粒分 F_c 0%

地震動のタイプ II種

地盤種別 III種

地域別補正係数 C_z 地域により自動的に設定

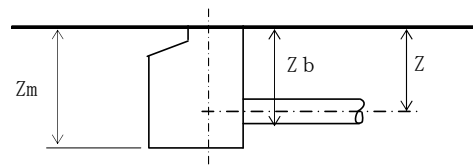


図-8 浮上検討計算表説明図

設計水平震度 0.6 地盤種別と地震動のタイプにより自動的に設定

レベル2の地震動に対して1号丸型を対象に、N値が液状化の対象となる15ケースまでとマンホール深1.3m～5.9mの組み合わせについて、JIS型マンホールと組立マンホールの浮上に対する安全率を計算した一例を表-5、6に示す。データベースには、マンホール深1.0mの浮上も認められたので、地下水位は地表面下0.5mに設定した。

ここで、表中の記号は図-8による。また、表中の“-”は、モデル化した地盤に対する液状化判定の結果が液状化しない地盤であることを示す。表-5、6より、浮力に対して幅広く安全性が高いのは、JIS型マンホールであった。

表-5 JISマンホールの浮上に対する安全率

地震時浮上安全率		表層地盤の平均N値 (-)					
Zb	Zm	2	5	7	10	12	15
0	0	-	-	-	-	-	-
1	1.3	1.8	3.3	4.3	5.8	6.8	-
1.2	1.5	1.6	2.8	3.6	4.8	5.6	-
1.4	1.7	1.5	2.5	3.1	4.1	4.8	-
1.6	1.9	1.4	2.2	2.8	3.7	4.2	106.9
1.7	2	1.3	2.1	2.7	3.5	4.0	71.5
1.8	2.1	1.3	2.1	2.5	3.3	3.8	53.8
2.1	2.4	1.2	1.9	2.3	2.9	3.3	31.1
2.4	2.7	1.2	1.7	2.1	2.6	3.0	22.0
2.7	3	1.1	1.6	1.9	2.4	2.7	17.1
2.8	3.1	1.1	1.6	1.9	2.3	2.6	15.9
2.9	3.2	1.1	1.5	1.8	2.3	2.6	14.9
3	3.3	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5	14.0
3.3	3.6	1.1	1.4	1.7	2.1	2.3	12.0
3.6	3.9	1.0	1.4	1.6	2.0	2.2	10.4
3.9	4.2	1.0	1.3	1.5	1.9	2.1	9.3
4.2	4.5	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	8.4
4.4	4.7	1.0	1.3	1.5	1.7	1.9	7.9
4.6	4.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	7.4
4.8	5.1	1.0	1.2	1.4	1.7	1.8	7.0
5	5.3	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	6.7
5.2	5.5	0.9	1.2	1.3	1.6	1.7	6.4
5.4	5.7	0.9	1.2	1.3	1.6	1.7	6.1
5.6	5.9	0.9	1.2	1.3	1.5	1.7	5.8

表-6 組立型マンホールの浮上に対する安全率

地震時浮上安全率		表層地盤の平均N値 (-)					
Zb	Zm	2	5	7	10	12	15
0	0	-	-	-	-	-	-
1	1.3	1.4	2.2	2.7	3.5	4.1	-
1.2	1.5	1.2	1.9	2.3	2.9	3.3	-
1.4	1.7	1.1	1.6	2.0	2.5	2.8	52.0
1.6	1.9	1.0	1.4	1.7	2.2	2.5	26.2
1.7	2	0.9	1.4	1.6	2.1	2.3	21.0
1.8	2.1	0.9	1.3	1.6	2.0	2.2	17.5
2.1	2.4	0.8	1.1	1.4	1.7	1.9	11.8
2.4	2.7	0.7	1.0	1.2	1.5	1.7	9.0
2.7	3	0.7	1.0	1.1	1.4	1.5	7.2
2.8	3.1	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	6.8
2.9	3.2	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	6.4
3	3.3	0.7	0.9	1.0	1.3	1.4	6.1
3.3	3.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	5.3
3.6	3.9	0.6	0.8	0.9	1.1	1.2	4.7
3.9	4.2	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	4.2
4.2	4.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	3.8
4.4	4.7	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	3.6
4.6	4.9	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	3.4
4.8	5.1	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	3.2
5	5.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	3.1
5.2	5.5	0.5	0.7	0.7	0.9	1.0	2.9
5.4	5.7	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	2.8
5.6	5.9	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	2.7

6. まとめ

地震被害データベースによると、塩ビ管路線のマンホールはコンクリート管路線のマンホールより浮上数割合が高く、浮上量も大きいことが明らかになった。

本稿では、塩ビ管路線に敷設されたマンホールが組立マンホールであり、コンクリート管路線がJIS型マンホールと仮定して、その形状・重量による抵抗力の違いが浮上量に影響しているのではないかと推測した。

その結果、過剰間げき水圧とマンホール全体の単位体積重量(重量/体積)の関係から、組立マンホールは、JIS型マンホールより単位体積重量が軽いために、底部ではJIS型マンホールより低い水圧で液状化すること、泥水状態になっている地盤のマンホールにおいて、浮上に対する安全率は組立マンホールの方が低いことを簡易な計算(判定式ケース1)で示した。

<参考文献>

- 1) 国交省国土技術政策総合研究所：下水道管路地震被害データベース H27年3月同6月ダウンロード
- 2) 文 松森・横山幸満・今泉繁良：砂地盤における模型杭底杭の引抜き抵抗挙動 土木学会論文集 No. 535/III-34, 127-134, 1996. 3
- 3) (公社)日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年版 pp. 373~374
- 4) (公社)日本下水道協会：下水道施設耐震計算例 2015年版—処理場・ポンプ場編— p. 63