

マンホール内側を重量化した 浮上防止対策工法の開発と実施事例

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 福原 勝 高橋勝彦 石川 隆

1. はじめに

著者らは、新潟県中越地震（2004年）をはじめとする下水道マンホールの浮上被害を契機に、マンホールの浮上防止対策の一手法として、防錆塗装を施した鋳鉄ブロック（重錘）をマンホール内壁面へ設置して重量化し、揚圧力と平衡状態にして浮上防止を図る工法の開発を進めてきた。模型振動実験（縮尺 1/6）の結果から、①優れた浮上防止効果、②重量増加の必要量は、静水圧と「共同溝設計指針」¹⁾に基づく過剰間隙水圧を考慮して算定できること、③地下水位より上の非液化層内では、マンホール側壁面との微小な摩擦抵抗を考慮できるため、重錘の必要量軽減が図れる等の知見を得た。

本研究では、これら一連の検討結果を総括し、設計・施工に関する報告書を完成させることができた。ここでは、本工法開発のための研究概要ならびに実際の施工状況について報告する。

2. 浮上防止の構造概要

本工法の構造は以下の特徴がある。

- 1) 比重の大きい材料として、鋳鉄製の小版（鋳鉄製重錘，JIS G 5501 ねずみ鋳鉄品，設計比重 7.5）を用いている。主に廃品鉄材の再生品（リサイクル材）である。
- 2) 鋳鉄製の小版は、人孔内側の側壁面に沿って取り付け重量化する。
- 3) 小版は人孔内への搬入を容易にするため一片 20kg 以下前後とし、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）。
- 4) 小版は耐酸性・耐アルカリ性の防錆塗装を施す。
- 5) 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。
- 6) 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。

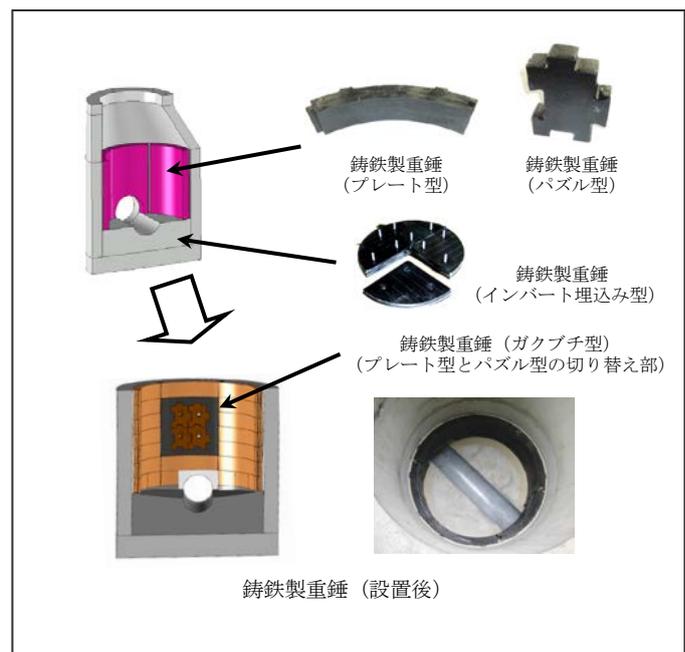


図-1 鋳鉄製重錘の種類

3. 模型振動実験から得た知見

内側重量化の浮上防止効果を検証するため、縮尺 1/6 の模型振動実験^{2)~4)}を行った。この結果から得た設計上の知見を述べる。

(1) 浮上安全率（重錘の必要重量の算出）

液化化時の揚圧力には静水圧と過剰間隙水圧が考えられる。既往の文献類には、これらを考慮した浮上判定式が複数提案されている。著者らは、これらの考え方や過剰間隙水圧の評価方法等について検討した結果、「共同溝設計指針」¹⁾の考え方を選定した（式-1，図-2）。

$$F_s = \frac{\text{抵抗力}}{\text{揚圧力}} = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_B}{U_s + U_D} \quad \dots \text{(式-1)}$$

ここに、

- F_s : 浮上安全率
- W_s : 埋戻し土の荷重 (kN)
- W_B : 重量化後のマンホールの重量 (kN)
- Q_s : 埋戻し土のせん断抵抗 (kN)
- Q_B : 非液状化層内のマンホール側面の摩擦抵抗 (kN)
- U_s : マンホール底面に作用する静水圧による揚圧力 (kN)
- U_D : マンホール底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力 (kN)
- Lu : 過剰間隙水圧比 ($=\Delta u/\sigma'v$)

ただし、模型振動実験は図-2a)の構造条件で行ったので、浮上安全率は(式-1)の W_s と Q_s を考慮しない。
 (2) 非液状化層内のマンホール側面の摩擦抵抗 Q_B について

地下水位を土槽表面より下げたケース A, B(図-3)のデータに基づき、浮上開始する瞬間の浮上安全率を 1.0 として Q_B を逆算して求めることを考えた。

ケースA (地下水位を土槽表面より下げた無対策マンホール)のマンホールは、加振に伴い加振後0.76~1.00秒の間に浮上開始した(図-4)。

実験値として W_B , ($U_s + U_D$)が分かっている。(式-1)へ当てはめると、浮上開始の F_s が 1.0 となる場合の Q_B は、非液状化層のせん断抵抗角 ϕ ($=30.0^\circ$)を 0.22 倍に低減 ($=6.7^\circ$)したときに相当することが分った。この 0.22 を非液状化層のせん断抵抗角 ϕ に対する抵抗率 α として設計へ利用する。文献¹⁾では $\alpha=2/3$ であるが、この実験ではほぼ完全液状化を呈し、値が小さくなった。微小な値ではあるが設計上は必要重量の軽減に効果がある。

さらにケース B (地下水位を土槽表面より下げた重錘設置後)の実験にも当てはめ、間隙水圧の微小な上下変動のうち、値が最大になった 1.92 秒について着目し、 $\alpha=0.22$ を当てはめて F_s の下限値が 1.0 になることを確認した(図-5)。

(3) インナーブロックの必要重量に関する施工上の調整 (浮上安全率の適用範囲)

図-5 は浮上安全率が上下変動する時の下限値を 1.0 としている。施工上の誤差として、浮上安全率が上下変動の中心で 1.0 になるようスライドさせても、浮上しないと判断した。このときの浮上安全率の下限値は 0.97 となる。重量化対策は、浮上安全率に余裕を持たせるのではなく、限界状態 ($F_s=1.0$) で設計し、1.00~0.97 の範囲で施工調整することになる。

(4) 底版へ作用する応力度の影響

重量化後のマンホール底版の応力度については、文献⁵⁾に示された考え方に準拠し、かつインバート内への 45° の荷重分散⁶⁾を考慮した結果、組立式マンホールでは許容値以下に収まった。さらに 3 次元 FEM 解析

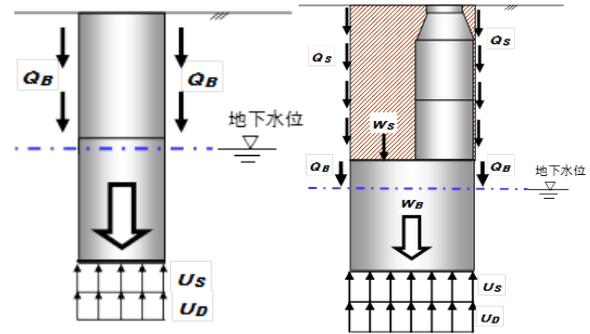


図-2 マンホールに作用する力のつり合い

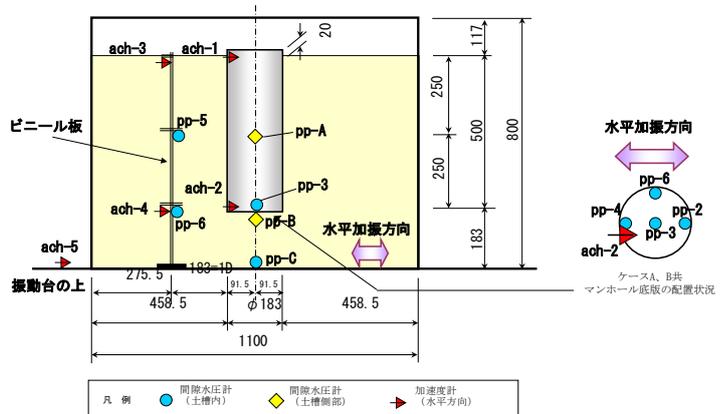
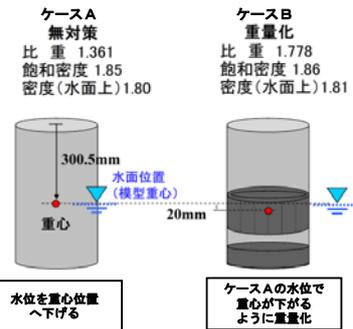


図-3 実験ケースA、Bのマンホールモデル及び計器配置

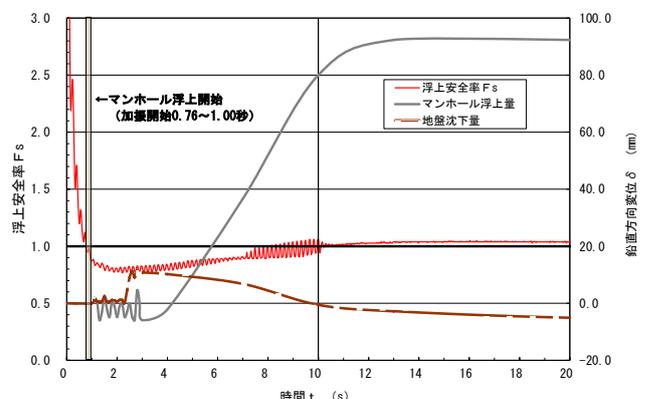


図-4 マンホール浮上量・地盤沈下量の時刻歴変化 (ケースA)

により検証し、妥当性、信頼性を確認した。

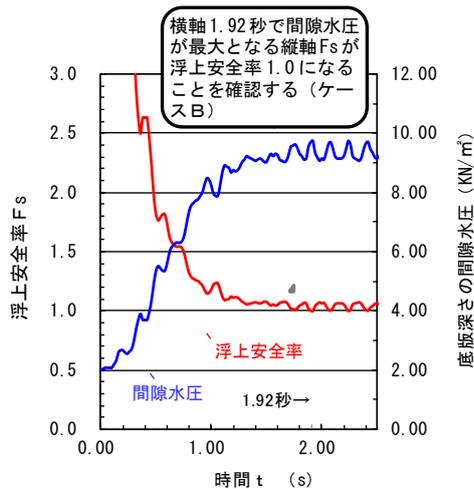


図-5 間隙水圧と浮上安全率の時刻歴変化

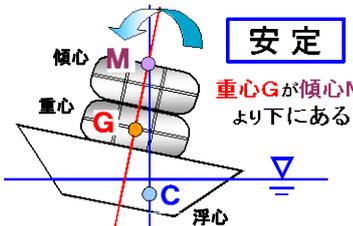


図-6 重心・浮心・傾心の位置関係

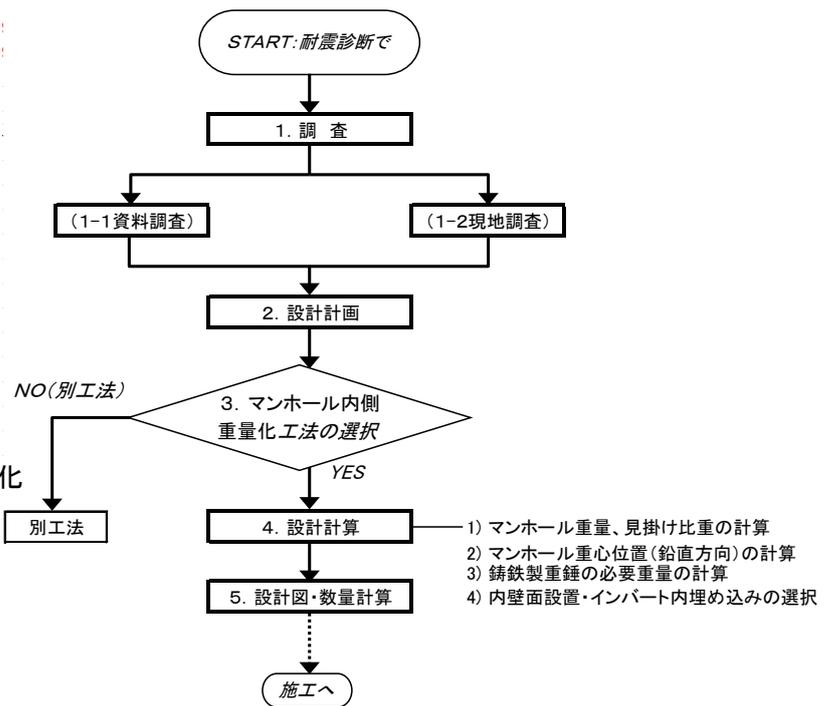


図-7 設計フロー図

4. 実際の施工例

内側重量化工法は関東圏内で既に実施工が行われている。マンホール内部の状態により铸铁製重錘の設置位置が制限され、マンホールの重心位置が上方へ多少移動した場合があった。著者らは、重心G・浮心C・傾心Mの位置関係(図-6)から、重心Gが傾心Mよりも低い位置にあるなら、液状化時でも安定していると判定し施工も了承された。

5. おわりに

以上から、マンホール内側を重量化して浮上防止を図ることの有効性が確認できた。設計の流れを図-7に示す。この結果をもって設計マニュアルを作成し、公的機関の「技術審査証明」⁷⁾を取得した。

今回の開発工法は全ての作業がマンホール内で行えるため、車両交通の多い幹線道路・緊急輸送路でも実施が比較的容易であり、適用が増えるものと期待している。

<参考文献>

- 1) 共同溝設計指針:社団法人日本道路協会, pp. 64-68, 1986. 3
- 2) 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
- 3) 青野, 相原, 西脇, 高橋, 石川, 國生, 遠藤: 重量化による液状化時のマンホールの浮上防止効果, 第 47 回下水道研究発表会講演集:社団法人日本下水道協会, pp. 149-151, 2010. 7
- 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
- 5) 下水道用鉄筋コンクリート製組立マンホール JSWAS A-11:社団法人日本下水道協会: , pp. 43-47, 2005. 4
- 6) コンクリート示方書 設計編:公益社団法人 土木学会, pp. 285, 2007. 10
- 7) 「マンホールの重量化による液状化時の浮上防止技術『インナーウエイト工法』:公益社団法人 土木学会 技術推進機構 技術評価制度検討委員会, 2012.夏発刊予定

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