

N-1

マンホール蓋の浮上・飛散現象を考慮した雨水貯留管の設計手法

国土交通省国土技術政策総合研究所	○森 博昭
同上	那須 基
同上	藤生 和也
国土交通省都市・地域整備局下水道部	森田 弘昭
(財) 下水道新技術推進機構	鈴木 茂
同上	稲毛 順二

1. はじめに

本研究は、伏越し形状の貯留管でのマンホール蓋の浮上・飛散現象について、高落差流入により形成された空気と水の混相流の観点から水理模型実験および数値解析により検討を行い、安全性照査手法を開発したものである。

近年、集中豪雨によりマンホール蓋が浮上・飛散する現象が顕在化し、平成10年には高知県で人的被害が出るなど、生命・財産の安全上の問題が指摘されている。国土交通省では、平成11年3月に、「下水道マンホール安全対策の手引き(案)」(以降、「手引き」という)を策定し、各下水道管理者に対し、マンホール蓋の浮上・飛散を未然に防ぐための対策を講じるよう指導している¹⁾。この手引きは、マンホール蓋の浮上・飛散現象の水理、安全対策の検討手順等について整理されたものであるが、貯留管における空気混入・噴出現象、間欠泉現象、衝撃圧(ウォーターハンマー現象、エアハンマー現象)等、水理的検討が極めて困難である現象については具体的な検討が行われていない。

そこで本研究では、これらの現象のうち、貯留管における空気混入・噴出現象に着目し、そのメカニズムの解明とマンホール蓋の浮上・飛散現象を考慮した定量的な設計手法の確立を目指すこととした。本研究の流れは図-1に示すとおりであり、まず単純な伏越し形状の貯留管を模した水理模型実験により、水と空気の挙動を定量的に把握するとともに、水と空気の混合状態を適切に表現できる数値解析モデルを構築し、得られた知見を基にマンホール蓋の浮上・飛散に対する安全性照査手法について検討することとした。

なお、本研究は(財)下水道新技術推進機構、川崎市、横浜市、名古屋市、大阪市、福岡市との共同研究である。

2. 水理模型実験

水理模型実験では、単純伏越し形状で模型縮尺の異なる3種類(本管径 $\phi 500\text{mm}$ (モデル1)、 $\phi 250\text{mm}$ (モデル2)、 $\phi 125\text{mm}$ (モデル3))の亚克力製実験模型を使用した。実験模型の一例として、モデル1の概要図を図-2に示す。

(1) 混入空気量把握実験(定常実験)

一定流量を通水し、バルブ開度調整により人孔水位を一定に保持した状態で、混入する空気量を計測し、縮尺効果(相似則)に関する知見²⁾、空気混入率(流量に占める混入空気量の割合)推定式に関する知見³⁾を得た。これらの知見は、数値解析モデルにおける与条件(人孔部から管路部へ移流する空気量)として活用した。

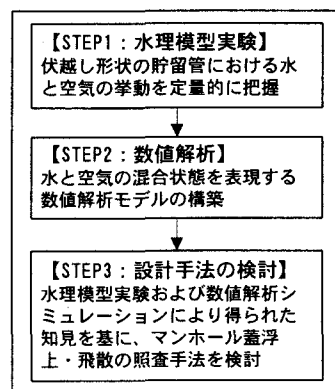


図-1 研究の流れ

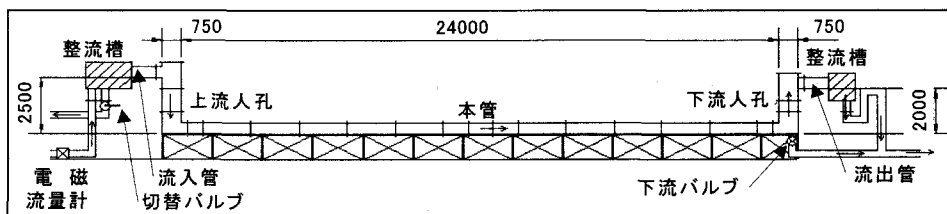


図-2 水理実験模型例（モデル1、本管径φ500mm、中間人孔なし）（単位：mm）

(2) 空気排気現象把握実験（非定常実験）

空の状態から一定流量を通水し、下流人孔側の流出管に水位が達するまでの間、上下流人孔から排出される風量、本管および人孔内の水位、並びに空気圧の経時変化を計測し、これらの相関関係を定量的に整理²⁾するとともに、計測データを数値解析モデルの同定検証資料として活用した。

3. 数値解析モデルの構築

現在、一般的に浸水対策用として用いられている管路非定常解析モデルは、水のみを対象とした開水路流れと圧力流れの一次元数値解析モデルであり、本研究で対象とする伏越し形状の貯留管における水と空氣の混合状態（高落差流入による空氣の混入、再浮上、運搬、人孔での噴出等）については取り扱うことができない。そこで本研究では、水理模型実験結果より得られた知見を基に、貯留管における水と空氣の混相流モデルを開発することとした。

(1) モデル構築の基本方針

貯留管を人孔ブロックと48の管路ブロックに区分し、それらの各ブロック・各断面において、数値解析により計算する7つの解析要素（水密度、空氣密度、流量、風量、水深、空氣圧、気泡密度）を定義するとともに、これらの計算のため、水と空氣の質量保存則（連続式）、水と空氣の運動量保存則（運動量方程式）、水中気泡の質量保存則（気泡の拡散方程式）、空氣圧と空氣密度の関係（状態方程式）、気泡濃度と水密度の関係を用いて、7つの基礎方程式を立式した。なお、各要素の解析方法は、管路流れ方向に関する一次元解析法とし、離散化には差分法を適用した。

(2) モデルの同定検証

構築した数値解析モデルの精度、妥当性を検証するため、数値解析結果と水理模型実験結果との同定検証を行った。ただし、両者の波形を完全に一致させることは困難であるため、マンホール蓋の浮上・飛散の照査指標となるピーク空氣圧値が両者で一致するか否かに着目し、同定検証を行うこととした。モデル1～3について、それぞれ2種類の流量（モデル1の場合、 $Q1: 150 \text{ } \mu\text{s}$ 、 $Q3: 100 \text{ } \mu\text{s}$ ）で同定検証を行った結果、両者の差（ $= |(\text{実験値}) - (\text{計算値})| \div (\text{実験値}) \times 100$ ）は、流量 $Q1$ では9%～66%、流量 $Q3$ では2%～20%となった。流量が比較的少ない場合（ $Q3$ ）のバラツキが大きい、ピーク空氣圧がより大きくなる $Q1$ での精度は比較的良好であると思われる。現時点での数値解析モデルはまだ十分な精度を有しているとは言えず、今後精度向上に向けたモデルの改良を進める予定である。参考として、数値解析および水理模型実験による空

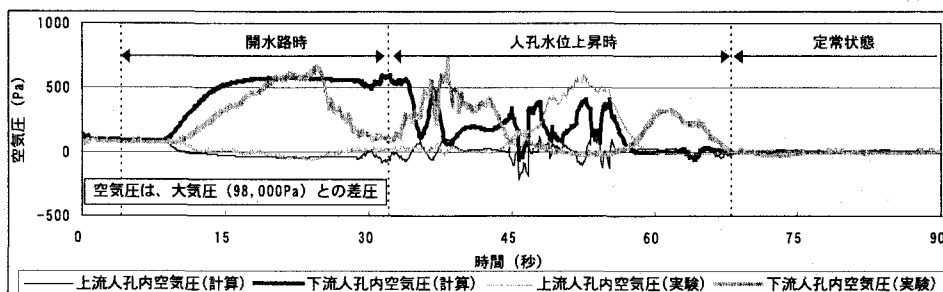


図-3 同定検証結果例（空氣圧の経時変化、モデル1-Q1）

気圧の波形（経時変化）の一例を図-3に示す。

4. マンホール蓋の浮上・飛散に対する安全性照査手法の検討

(1) 基本的な考え方

マンホール蓋の浮上・飛散の原因は、蓋の耐内圧力を上回る空気圧（水圧）が蓋の下方から作用することであり、両者の比較が安全性照査の基本となる。蓋の耐内圧力については、その種別により決定される（例えば、勾配受け方式で5,600Pa¹⁾）。一方、伏越し形状の貯留管における蓋に作用する圧力については、流入流量や本管径、人孔深等の管路施設構造に影響されると考えられるが、その算定手法は確立していない。そこで、構築した数値解析モデルにより、予め種々の条件でのピーク空気圧を計算し、それらをグラフ化した簡易判定図表として整理することができれば、マンホール蓋の浮上・飛散に対する安全性を簡易に判定できると考え、伏越し形状の貯留管を対象として簡易判定図表を試作した。

(2) 簡易判定図表の作成

簡易判定図表は、極力多くの施設において適用可能なものとする必要がある。本研究では、表-1に示すケースについてシミュレーションを実施し、簡易判定図表を作成することとした。簡易判定図表は、縦軸を最大空気圧、横軸を検討項目として作成する。例えば、図-4に示す簡易判定図表例の場合、横軸を開口面積としており、各計画流量に対し、どの程度の開口面積を確保すれば、浮上飛散に対し安全となるか判定可能な図表となっている。

表-1 簡易判定図表の作成ケース(案)

項目	単位	範囲
流量	—	各本管径に対する満管流速1.0、2.0、3.0、4.0、5.0m/s 相当の流量を設定
本管径	mm	φ1350、φ2000、φ3000、φ6000
本管延長	m	250、500、1000、2000、3000
人孔深	m	10、15、20、30
人孔径	—	本管径と同値、および本管径の1.5倍
空気抜き開口面積	m ²	0.25、0.50、1.00、2.00、3.00

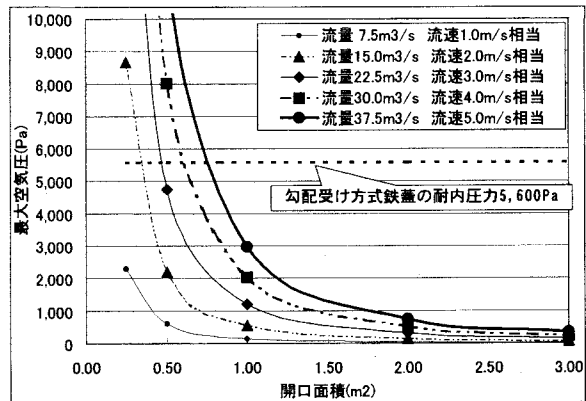


図-4 簡易判定図表例

(本管径φ3000mm、延長1000m、人孔径φ4500mm、人孔深20m)

5. まとめと今後の課題

簡易判定図表の活用によるマンホール蓋の浮上・飛散に対する安全性照査手法は、これまで困難であった空気を含んだ水理上の検討が必要な施設における簡易な安全性照査手法として有効であると考えている。一方、今後の課題として数値解析モデルの精度向上や、流入形式・接続形式の差異への対応、中間人孔への対応、簡易判定図表の整理手法（様式）等が残されており、引き続き研究を進める予定である。

また、本研究を進める過程で得た貯留管における水理現象に関する知見、水と空気の混相流モデル構築に関する知見、水理模型実験要領等については、個別に数値解析シミュレーション、或いは水理模型実験を実施する際に参考となる知見であり、今後整理したいと考えている。

【参考文献】

- (社)日本下水道協会：下水道マンホール安全対策の手引き（案）、1999年3月
- 森博昭、那須基、森田弘昭、松原誠：水理模型実験による雨水管路の空気混入・排出現象に関する研究、環境技術、vol.32、No.4、2003、環境技術研究会
- 森博昭、那須基、森田弘昭：伏越し形状の貯留管における空気混入現象、第40回下水道研究発表会講演集、pp.322、2003