

数値流体解析による 貯留槽流入に伴う空気圧の挙動

中日本建設コンサルタント(株) ○中神 拓海
中日本建設コンサルタント(株) 中根 進

1. はじめに

地中に埋設された貯留槽などに汚水、雨水を流入させる際、円滑な流入や構造的に貯留槽に支障がないよう空気抜(排気設備)を設ける必要がある。しかし、空気抜の断面設定については指針などで示されていないため、流入水量分の風量を経験的な排気速度で排気するものとして設定している。

本稿では、空気抜を持つ貯留槽モデルを作成し、気液混合流体を扱えるフリーソフト(OpenFOAM)を使って、貯留槽への流入に伴う空気の挙動を解析し、空気抜の断面積の違いによる空気抜のない密閉マンホールの空気圧内を試算した。

2. 貯留槽空気抜解析モデル

本稿では、解析の計算時間短縮のため規模の小さい貯留槽を解析モデルとして、貯留槽への下水流入に伴う空気の挙動を解析し、空気抜からの排気風速と密閉されたマンホール内の空気圧を明らかにする。

株式会社 G&U 技術研究センター様の実験場におけるマンホール蓋からの噴出の様子を写 2.1 に示す。このような噴出を防ぐためには適切な空気抜きが必要となる。

気体、液体おのおの単独のみの数値流体解析は容易であるが、気液混合状態の数値解析は難しい。気液混合状態も気体、液体が図 2.1 のような状態¹⁾により解析の仕方が異なる。本報告の貯留槽への下水流入にともなう水面上昇による空気の排出は、気体と液体の界面が分離しているタイプ(層状分離流)の計算手法を選択する。

(1)モデル形状と名称およびメッシュ

図 2.2 に示す貯留槽に空気抜(直径 0.3 m×高 2.0 m)の筒を設け、他の 3 筒は密閉マンホールとしたモデル(Case. 1)と空気抜(直径 0.6 m×高 2.0 m)の空気抜を設けたモデル(Case. 2)を作成する。図 2.3 に解析に使用したメッシュを示す。



写 2.1 マンホール蓋からの噴出の様子¹⁾

		気相	
		連続	不連続
液相	連続	層状分離流 	気相分散流
	不連続	液相分散流 	栓状分離流

図 2.1 気液二相流の流動様式¹⁾

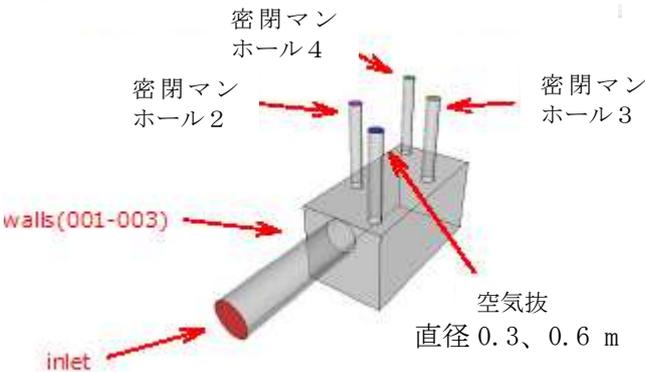


図 2.2 貯留槽各部名称

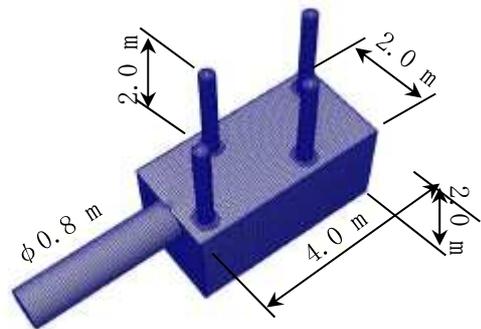


図 2.3 貯留槽メッシュ

- 1) Case. 1(空気抜開口 ϕ 0.3 m)の
 解析モデル諸元
 流入口径：800 mm
 流入水量：0.3 m³/sec
 貯留槽寸法：2.0 m×4.0 m×高さ 2.0 m
 空気抜：径 0.30 m×高さ 2.0 m×1本
 密閉マンホール：径 0.30 m×高さ 2.0 m×3本

- 2) Case. 2(空気抜開口開口 ϕ 0.6 m)の
 解析モデル諸元
 同左
 同左
 同左
 空気抜筒：0.60 m×高さ 2.0 m×1本
 同左

(2)解析ソフト

本稿は気液混合流体を扱えるフリーソフトの DEXCS2022 for OpenFOAM(V2206)を使い、OpenFOAM 付属のチュートリアルにある混相流を解く、interFoam の中で「水路と流出量の計測」にある '\$FOAM_TUTORIALS/multiphase/interFoam/ras/waterChannel²⁾」を利用する。

3. 空気抜の解析結果

3.1 Case. 1(空気抜筒 ϕ 0.3 m)の解析結果

貯留槽満水時の空気(青色着側部)を図 3.1 に示し、空気抜筒の上端部の断面風速(排気風速)を図 3.2 に示す。断面の平均排気風速は、3.84 m/sec であり、中心部で最大 5.45 m/sec となった。流入量分が空気として排出されるとすると、前述 2. に示した 4.24 m/sec(=0.3 m³/sec÷($\pi/4 \times 0.3^2$))である。

密閉マンホール 2、3、4 の上端部は閉となっており、密閉マンホールの上端部の平均空気圧を図 3.3 に示す。ここに示す空気圧は大気圧 1 気圧(101,325Pa)との差の圧力であり、流入管から近い密閉マンホール 2

の圧力が下流部 3、4 の密閉マンホールよりわずかではあるが小さくなっている。

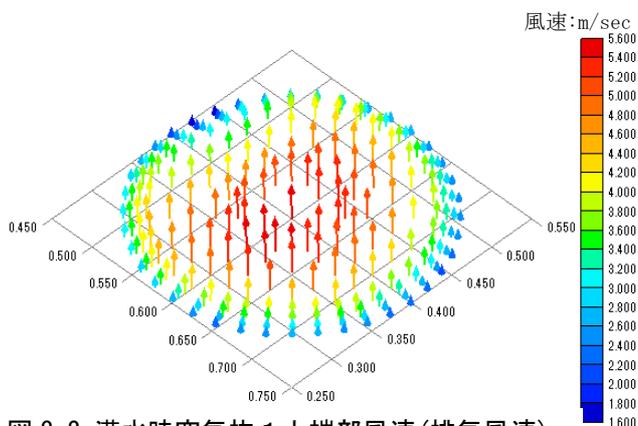


図 3.2 満水時空気抜 1 上端部風速(排気風速)

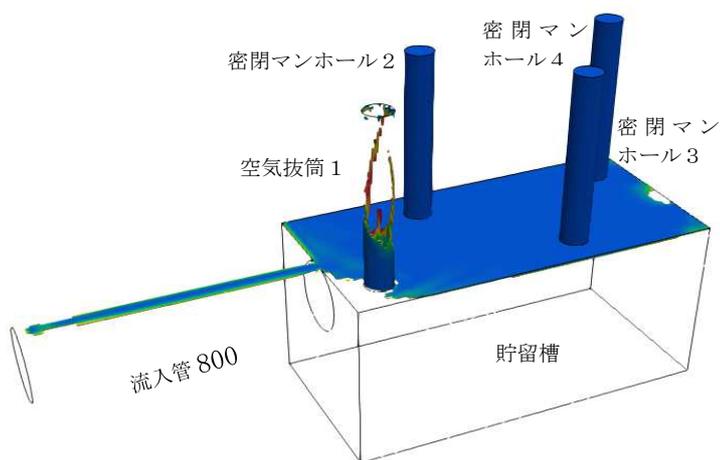


図 3.1 貯留槽満水時の空気だまり

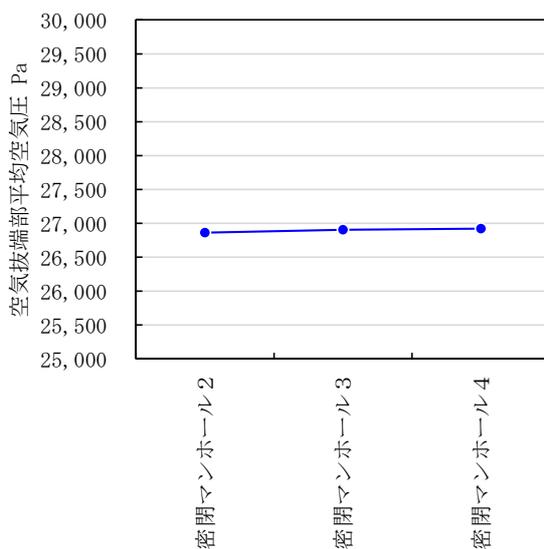


図 3.3 密閉マンホールの空気圧

3.2 Case. 2(空気抜筒 ϕ 0.6 m)の解析結果

貯留槽満水時の空気抜筒の上端部の断面風速(排気風速)を図 3.3 に示す。

密閉マンホール 2 の水位上昇に伴う空気圧の上昇を図 3.4 に示す。満水後、7sec で空気圧が上昇しているが、その間、流入水も空気抜筒から噴出している。

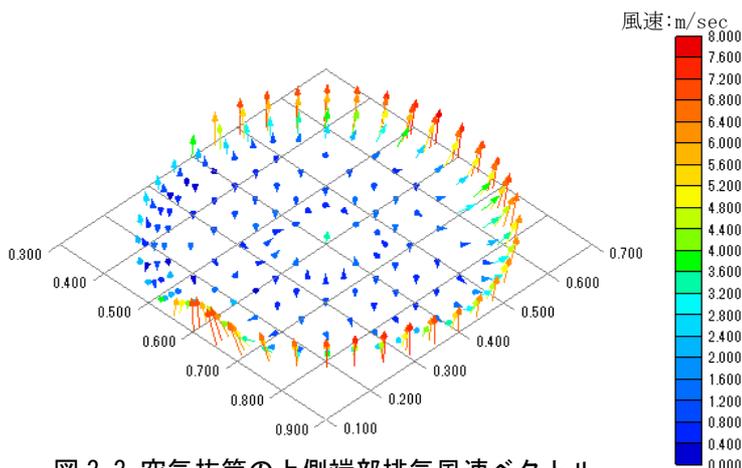


図 3.3 空気抜筒の上側端部排気風速ベクトル

3.3 空気抜筒φ0.3 mとφ0.6 mの密閉マンホールの空気圧の比較

空気抜筒の口径をφ300とφ600にした場合の密閉マンホール2閉の経過時間に伴う空気圧を比較して図3.5に示す。空気抜筒の口径φ600の方がφ300に較べて密閉マンホール2の空気圧は小さい。空気抜筒の口径がφ600であってもマンホール蓋(直径600mm)の耐圧が5,600Pa³⁾であり浮き上がる結果となる。

4. まとめ

貯留容量の小さい貯留槽モデルであり、流入量も仮定したものによる空気圧の解析であるが、直径0.3mの空気抜筒では、密閉マンホールがマンホール蓋であった場合には飛散する結果となり、さらに大きな径の空気抜きが必要と考えられた。そこで直径0.6mの空気抜筒で解析を行ったが、直径0.3mの排気風速は4.2 m/sec、直径0.6mの排気風速は1.06 m/secであり、筆者は経験的に流入量に対して風速10 m/sec以下程度の空気抜断面を設定すればよいと考えていたが、今回の解析結果では適切な大きさではないことが判明した。数値解析モデルによる解析計算により適切な口径の空気抜を考える必要があることを示す結果となった。

今回の計算は気液二相モデルであり、空気の排気速度が大きくなったことにより、クーラン数の制限によりi9-10900X CPU3.7GHz スペックのパソコンでcase.1では計算に129分、case.2では33分要している。

実際の貯留槽は規模が大きく、流体解析には膨大な時間を要するので、経験的に流入水量と同値の空気が排気されるとして、Case.1、Case.2の解析事例から最小4.0 m/sec以下の空気抜を空気連行のある流入口近くと流入口から遠い位置に複数個所設けることが望ましいと思われる。

<参考文献>

- 1) 混相流解析 混相流とは3.気液二相流解析：<https://matsuo.mech.keio.ac.jp/日本語/研究/混相流/>
- 2) OpenFOAM 付属チュートリアル一覧：<https://www.xsim.info/articles/OpenFOAM/Tutorials.html>
- 3) 下水道マンホール緊急対策検討：下水道マンホール安全対策の手引き(案)平成11年度3月 p.44

問い合わせ先：中日本建設コンサルタント(株)水環境技術本部 中根 進

TEL 052-232-6055 E-mail s_nakane@nakanihon.co.jp

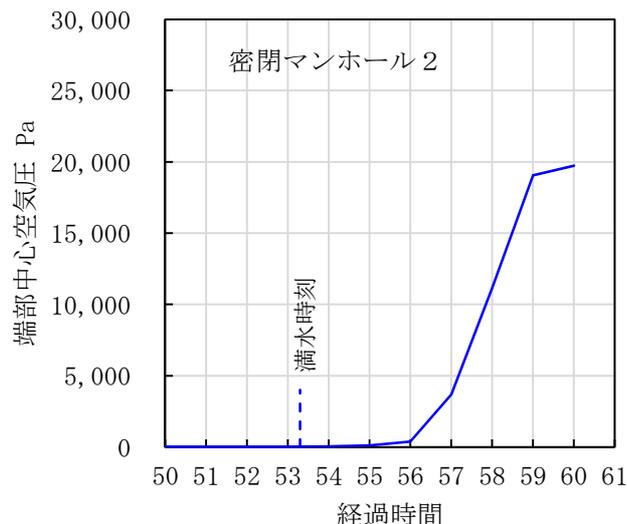


図 3.4 密閉マンホール2閉端部の経過時間と空気圧

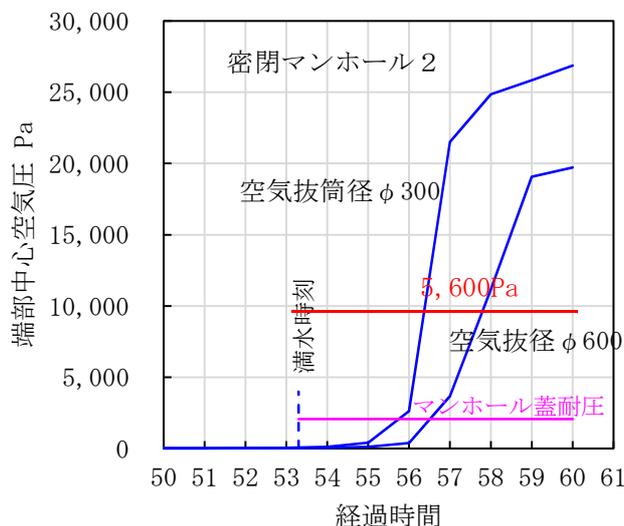


図 3.5 空気抜筒φ300とφ600における密閉マンホール2端部の経過時間と空気圧