

CFDを用いた管路内の流れの可視化とその応用

株式会社新日本エグザ 及川 直也 土屋 玄 ○谷口 文武
横浜市道路局河川事業課 石川 真

1. はじめに

某市では、マンホールポンプによる圧送後の汚水管渠において、負圧の発生により家庭内トラップ弁の封水吸い込みが発生し、これに起因した悪臭発生に対し住民より苦情の発生が寄せられていた。しかしながら、現在、一般的に用いられている管路内の設計・評価手法では、等流等速計算ないしは1次元不定流計算を用いていることから、マンホールの落差などによって生じる流れの乱れについて評価を行うことは困難であり、本件に対する問題点の把握や対策施設の検討を定性的に行うことは不可能であった。

このため、本研究は、当該事例における定性的な問題個所の把握ならびに対策施設の検討を行うに当たっての基礎的な研究とし、実施設を対象とした3次元モデルを構築し、流況の再現計算を行うことで、負圧発生メカニズムを明らかにするために行った事例について報告を行うものである。

2. 解析条件

2.1 基礎式

管渠施設内を流れる流体の解析にあたっては、質量保存式と運動量保存式により構成される Navier - Stokes 式を用いた有限体積法により流れの場を解いた。乱流モデルとしては、流速が卓越した状況であることと本検討が基礎的な研究であることから、計算速度並びに収束性の向上を目的として層流モデルを用いた。また、空気の混入・連行状況を確認するため、気液混相の流れを解く必要があることから、流体の体積分率により複数の相による流れの場を取り扱う VOF (Volume Of Fluid) 法を用い、計算負荷の軽減を図った。なお、本解析の実施にあたっては、汎用流体解析ソフトの1つである OpenFOAM V2.1.0 を用いた。

2.2 解析領域および境界条件

表-1に今回解析対象とした管路施設の概要を示す。今回検討対象とした路線は、φ400mmのHP管と1号人孔により構成されており、その管渠勾配は全路線において30%と大きなものとなっている。流入条件は、現地にて設置されているポンプの出力を反映した流量(0.135m³/s)を流入断面に一律の流速で与えた。流出条件は、下流端管渠の末端を解放状態として設定し、負圧発生等による空気の吸い込みに対応できるように、流入入を考慮できる状態とした。解析にあたって作成したメッシュモデルのノード数及びエレメント数は、

表-1 解析対象の概要

項目		諸元
流入管渠	管径	φ450
	管種	DCIP
	流入量	0.135m ³ /s
路線	管径	φ400
	勾配	30%
	延長	約30m
	管種	HP
	人孔	1号人孔

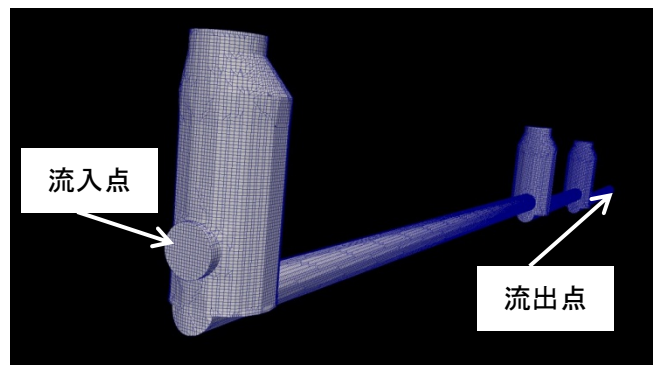


図-1 メッシュ生成状況

それぞれ 250,000 及び 400,000 であり、基本的に直方体により構成されるモデルとした。なお、上述の条件により作成されたメッシュモデルの生成状況は図-1に示すとおりである。

2. 3 解析手順

解析にあたっては、管路施設内が完全に空気で満たされた状態を初期条件とし、先の流入条件を与えた非定常計算を行った。その結果、約 10 秒後に解析領域末端に位置する流出口に下水が到達し、20 秒程度でほぼ定常状態に達することが確認できた。このため、解析期間は若干の余裕を見込み 30 秒間とし、この時点の結果をもって評価を行うこととした。

3. 解析結果と考察

3. 1 相比率分布

図-2に管路中心部における相比率の分布状況を示す。これにみられるとおり、マンホール間の後半では気液界面の形状が安定しているのに対し、管渠の前半やマンホール内やマンホール入り口部分においては界面が大きく乱れていることや、これらの区間においては液相が支配的となっている部分においても気相が入り組んだ状況となっていることから、空気の連行が発生していることが確認できる。これらの現象により、管路施設内に存在する空気が系外に排出されてしまうことで、管渠システム内に負圧が発生し、家庭内トラップ升からの封水吸い込みの大きな原因となっているものと予測できる。また、図中右側のマンホール流出点においては、跳水の流線が管口にまで到達し、管口の閉塞が発生していることも確認することができた。

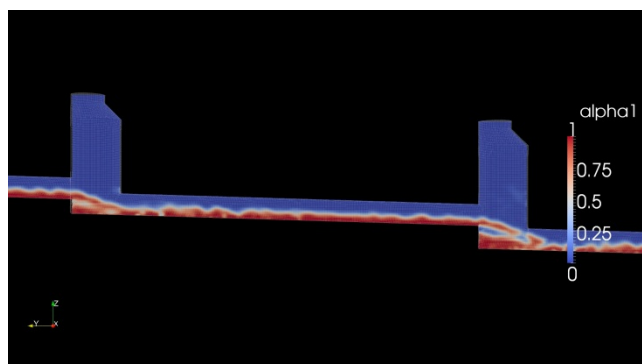


図-2 相比率分布

3. 2 流速分布

図-3に管路中心部における流速の分布状況を示す。これにみられるとおり、管路下部の液相が自然流下によって下流側へ流下しているのに対し、管路上部の空気は同等ないしはそれ以上の速度を有して上流方向へ向かっていることが確認できる。また、管口の閉塞が発生していない左側のマンホールでは、液相の流れとほぼ並行して空気相の流れが発生しているのに対し、管口の閉塞が発生した右側マンホールでは、マンホール躯体内の広い範囲において空気相の流れが発生しているのが確認できる。これは、管口が閉塞したことにより、噴流に近い状態で、マンホール内に空気が逆流したためと考えられる。なお、この時の解析対象領域内における液相の最大流速は、図-3中右側マンホールの跳水部において約 5m/s となり、この値は設計時の理論値では 2.664m/s に対し 2 倍近い値となっている。また、空気相においては、先の噴流に近い状態の地点において最大値が約 30m/s となっており、負圧の発生に伴う吸い込みの影響が大きいことが伺える。

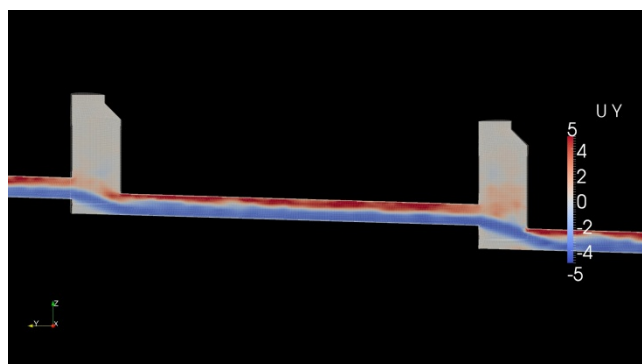


図-3 流速分布

3. 3 ベクトル分布

図-4に計算開始から 30 秒後の管路中心部におけるベクトルの分布状況を示す。これにみられるとおり、

先の流速分布と同様に、管渠の上下部で逆向きのベクトルが発生していることが確認できる。また、マンホール内におけるベクトルの分布状況を比較すると、管口の閉塞が発生していなかった左側のマンホール内では、管渠内におけるベクトルの分布と大差がないのに対し、先の図-1において管口が跳水により閉塞されていた右側のマンホールでは管口から躯体内に向かって非常に大きなベクトルが発生していることから、管口の閉塞により空気の通過断面が狭窄されることにより噴流に近い状況で空気がマンホール内に逆流しているものと考えられる。

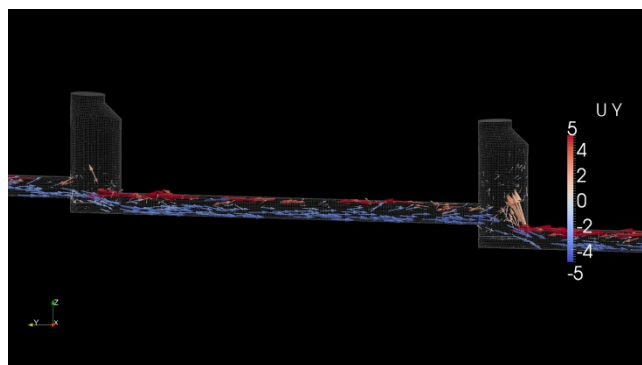


図-4 ベクトル分布

3. 4 流線分布

図-5に、跳水の影響により管口の閉塞が発生していたマンホール近傍における流線の分布状況を示す。これにみられるとおり、空気が激しくマンホール内に吹き込む影響により、マンホール躯体内に旋回流が発生していることが確認できる。また、マンホール流出直後の地点において、マンホール内へと逆流する流線も確認できるが、これは気液界面の乱れにより連行された空気が、液相から剥離しマンホール躯体内へ逆流している状況を示しているものと考えられる。さらに、跳水により生成されている流線の下部においても弱い旋回流が発生しており、マンホールのインバート部において死に水が生成される状況についても確認できた。

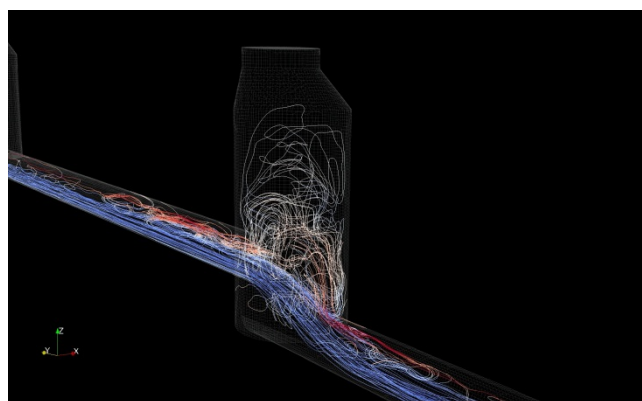


図-5 流線分布

4. まとめ

実際の管渠並びにマンホールを3次元モデル化し、気液混相解析を実施することにより、これまでの1次元解析では不可能であったマンホール内の跳水による管渠の閉塞を確認することができた。また、跳水など流れの乱れによりマンホール内の空気が連行されることにより、管渠内に負圧が発生するとともに、系外より空気を吸い込む状況について確認することが可能となった。これらのことより、本解析手法を用いることにより、現状にて発生している問題の原因を把握することが可能となるとともに、対策施設についても同様の手法によりその効果の検証が可能になるものと考えられる。しかしながら、本研究はあくまで解析結果に対しての考察を行ったのみであるため、実施施設を対象とした実験結果等との比較を行うことによりモデルの妥当性について検証を行うことが望まれる。

[謝辞]本研究は、SW-CFD 研究会における活動の成果を踏まえたものであり、解析作業においては関係各位に感謝の意を表する次第である。

【問い合わせ先】(株)新日本エグザ 東京事務所 谷口 文武
〒110-0015 東京都台東区東上野4-6-7
電話：(03) 5827-1216 e-mail：f-taniguchi@shinnihon-exa.co.jp