

下水道管路施設の粒子法による定性的な水と空気の挙動

中日本建設コンサルタント（株） 中根 進

1. まえがき

筆者は、本誌に下水道施設の水の流れを格子ボルトマン法や有限要素法を使って三次元で具体例¹⁾、²⁾を示した。また、二次元の粒子法を使って流水だけを対象として伏越し内の流速分布を解析³⁾した。本稿は、二次元かつ定性的ではあるが、粒子法を使って下水道管路施設における水と空気の挙動を紹介する。

下水道施設の多くは、汚水、雨水が自然流下で流れていることから、地中構造物となり、臭気などの問題からふく蓋されている。

密閉状態でふく蓋された地中構造物の下水道施設では、汚水、雨水の流出入に際して、施設内の空気がそれらを阻害したり、空気圧の変動に伴うエアハンマー現象などを示し、マンホール蓋を吹き上げるなどしている。

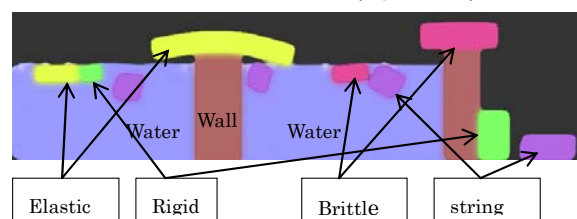
水と空気の二層を扱えるフリーソフトのOE-CAKI! (Ver. 1. 1. 2b) を使って、下水道でしばしば観察される水と空気に関わる現象を定性的ではあるがシミュレーションする。

2. OE-CAKI!ソフト

OE-CAKE!ソフトは、我国のプロメテック・ソフトウェア株式会社のOctaveEngine™ Casualの機能体験版として2008年3月に公開された二次元物理シミュレーションソフトである。なお、OctaveEngine™ Casualは、ゲーム開発のための二次元マルチフィジクスエンジンとのことである。この会社からゲーム開発部門が独立した際にOE-CAKE!ソフトの公開が停止された。その後は他社に渡ったのか、英語版が海外サイト⁴⁾からダウンロードできる。

OE-CAKI!ソフトの特徴は、流体だけではなく、気体、剛体、弾性体など物性が異なる物体同士の力学的相互作用をシミュレーションできることにある。このソフトの物性の一部を図-1に示す。

図-1 OE-CAKI!の物性の一部



残念なことにこのソフトは、施設諸元、流体の速度、密度などの物理量が入力できないことや斜線、円弧など任意の線が綺麗に描けないことである。

したがって本稿は、下水道施設の水と空気の挙動は定性的な解析結果を示す。

3. 下水道管路施設の水と空気の挙動

3.1 圧送管

①初期状態

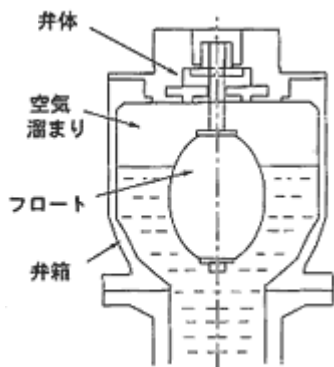
一定水位を保つ上流側水槽をポンプに見立てて、縦断的に2つ山のある圧送管をシミュレーションする(図-2)。圧送管と吐出側マンホールは、空気で充満しているが、吐出側マンホールには空気抜が設置されているものとする。圧送管には、凸部の空気溜りの影響を検討するため空気弁を設ける。

図-2 圧送管のモデル図



空気弁は、図-3に示す構造を持ち、管路内に負圧を生じた際の吸気機能と管路内充水時の排気機能を併せ持つものである。

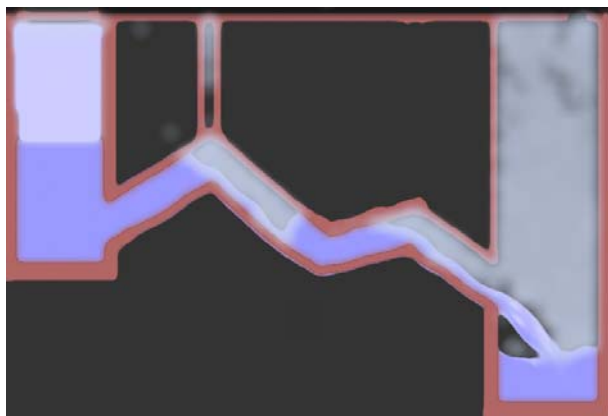
図-3 空気弁の内部構造⁵⁾



②圧送管空気弁無し

圧送管の凸部に空気弁が無い(閉塞)場合の水と空気の挙動を調べる。上流側の配管内の凸部には空気が留まっている。下流側の凸部では吐出側マンホールに向かって自由水面を保ち流下している。配管内に空気が留まっている状態では、滞留空気が流下を阻害し、流量が低下しているはずである。

図-4 空気弁無しの圧送管流況図



③空気弁有

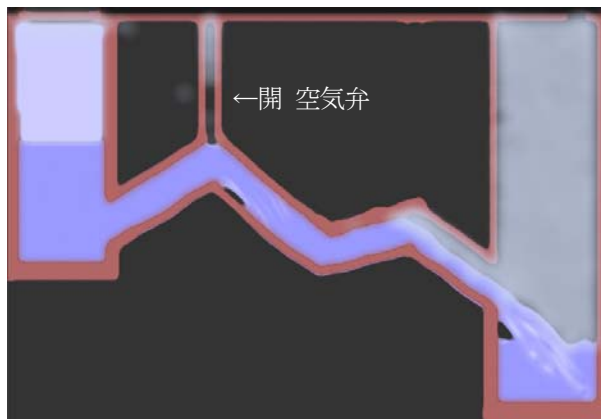
圧送管上流側の凸部に空気弁を設けると、上流側の凸部の空気溜まりはなく、吐出側はマンホールに向かって自由水面を保ち流下している。

下流側の圧送管内の水深を②空気弁無と較べると深くなっており、②より流量が多く流れている。

②の配管内に空気が留まった状態では、ポンプ

の計画量を揚水できないことになり、空気弁の有効性が明らかになる。

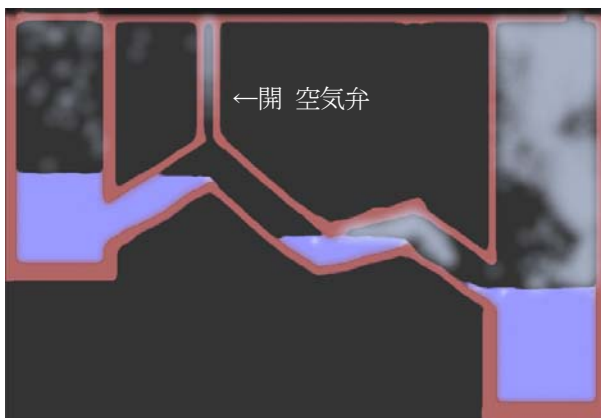
図-5 空気弁有の圧送管流況図



④空気弁有のポンプ停止

ポンプ停止後は、空気弁から吸気された空気溜りが管内に発生する。圧送管内部の空気溜り部分(上流側凸部下流)は、硫化水素ガスに起因した腐食が生じていると報告されている。

図-6 空気弁有のポンプ停止後



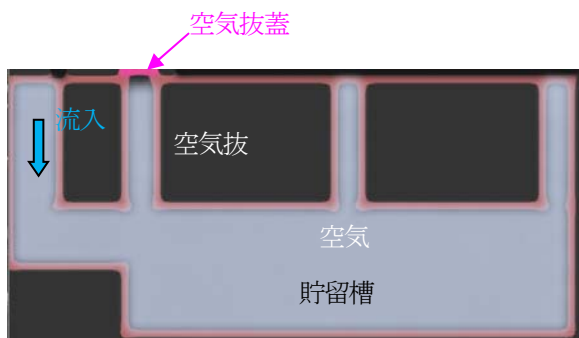
3.2 貯留槽

3.2.1 貯留槽上流1箇所の空気抜

①初期状態

貯留槽に空気抜を3箇所設け、上流部の1箇所の空気抜蓋は貯留槽内の空気圧を調べるため可動タイプとする。他の2つの空気抜は耐圧仕様で空気が抜けられないものとする。

図-6 貯留槽の初期状態



②流入開始(1/2)

雨水の流入開始と同時に貯留槽内の空気が圧縮され始め、空気抜蓋が開き始める。流入の水脈(ナップ)が空気の排出の影響を受け、乱れている。

図-7 貯留槽流入開始(1/2)



③流入開始(2/2)

貯留槽内の空気が吹き出し、空気抜蓋が移動する。流入の水脈(ナップ)も乱れている。

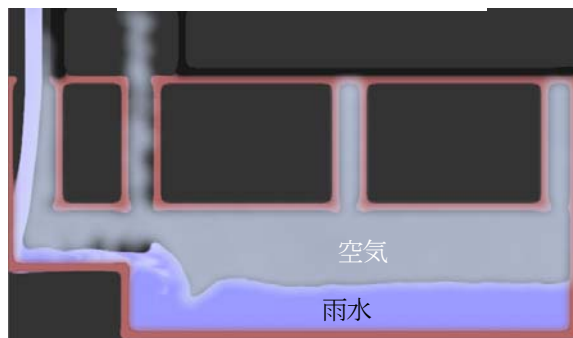
図-8 貯留槽流入開始(2/2)



④貯留槽に貯留始まる

貯留に伴い貯留槽内の空気の吹き出しが続く。流入口では空気が抜けるルートと水脈が分離され、円滑な流入になり、貯留が進んでいる。

図-9 貯留槽に貯留開始



⑤貯留槽が満水に近づく

貯留槽が満水近くなり、貯留槽内の水面が上流の空気抜下端にまで達している。

図-10 貯留槽満水に近い



⑥貯留槽満水(1/2)

貯留槽が満水になるが、空気が抜けることなく貯留槽内に留まっており、水面が空気抜内を上昇している。

図-11 貯留槽満水(1/2)



⑦貯留槽満水(2/2)

貯留槽が満水になるものの、貯留槽の空気が抜けることなく、上流空気抜から溢水始める。

図-12 貯留槽満水(2/2)



3.2.2 貯留槽空気抜3箇所

貯留槽の空気抜を3箇所解放し、雨水が流入、貯留した際の空気抜の効果をシミュレーションする。

①貯留槽内流入状態

3箇所の空気抜の効果があり、流入も円滑に行われ、空気抜から貯留槽の空気が排出され、順調に貯留されている。

図-13 空気抜3箇所所有する貯留槽流入



②貯留槽満水状態

流入も円滑に行われ、貯留槽上部に空気が留まることなく満水状態になっている。

図-14 空気抜3箇所所有する貯留槽満水



空気抜きを適切に配置することにより、流入を円滑にし、貯留槽に空気を留めることなく満水状態にすることができる。

3.3 緊急遮断ゲートを有する管路

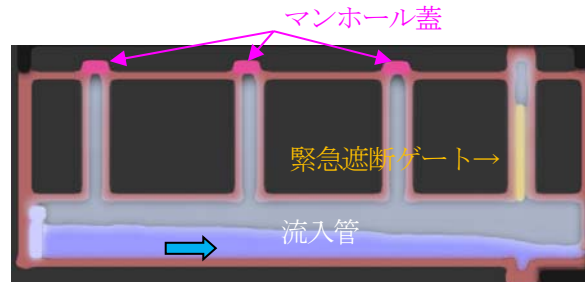
3.3.1 急激な流入

①初期状態

処理場などに流入する緊急遮断ゲートを有する管路の緊急遮断ゲート閉による圧力変動を調べる。調査のため、管路に可動するマンホール蓋を設置する。

急激な量の流入を想定し、管内に急な水面勾配を想定する。

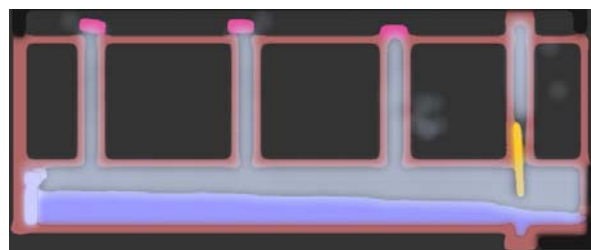
図-15 緊急遮断ゲートを持つ流入管



②緊急遮断ゲート閉 開始

緊急遮断ゲートの閉に伴い、最上流のマンホール蓋と次のマンホール蓋が浮上し始める。

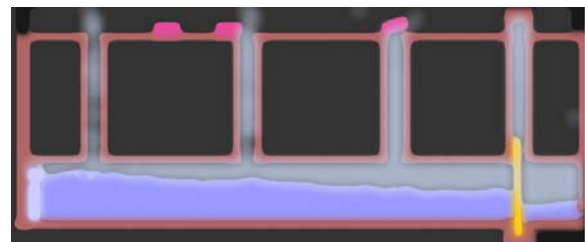
図-16 緊急遮断ゲート閉 開始



③緊急遮断ゲート閉

緊急遮断ゲート閉の状態では、上流側マンホール蓋は移動してしまい、最下流のマンホール蓋が浮上し始める。

図-17 緊急遮断ゲート閉



マンホール蓋の浮上の順番は、最上流からとな

っているが、これは、急激な水位上昇による空気圧変動によるものと考えられる。

一般的には、急なゲートの開閉を行うと水撃作用により、ゲート側の水位変動が下流から上流側に伝搬する。

上流側の水位変動によるマンホール蓋の浮上を避けるため、流入量を減らし水面勾配を小さくし、最上流のマンホール蓋を閉塞してシミュレーションした。

しかし、マンホール蓋はゲート側でなく上流側から浮上する結果となった。

図-18 水面勾配が小さい流入

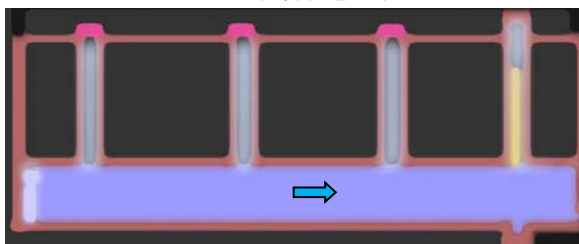


3.3.2 満管状態の流入

数値解析で容易に圧力変動を解析できる満管状態で流下している場合についてシミュレーションする。

①初期状態

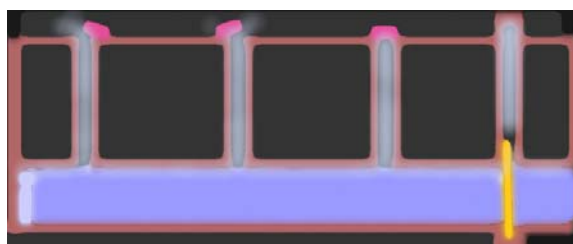
図-19 満管状態の流入



②緊急遮断ゲート閉(1/2)

満管状態であっても緊急ゲートが閉じはじめると上流側マンホール蓋から浮上する。

図-20 満管状態の緊急遮断ゲート閉



③緊急遮断ゲート閉(2/2)

緊急遮断ゲートを閉じたあと、マンホール内水位は脈動すると思われるが、ほとんど観察できなかった。

図-21 ゲート遮断後の水位変動

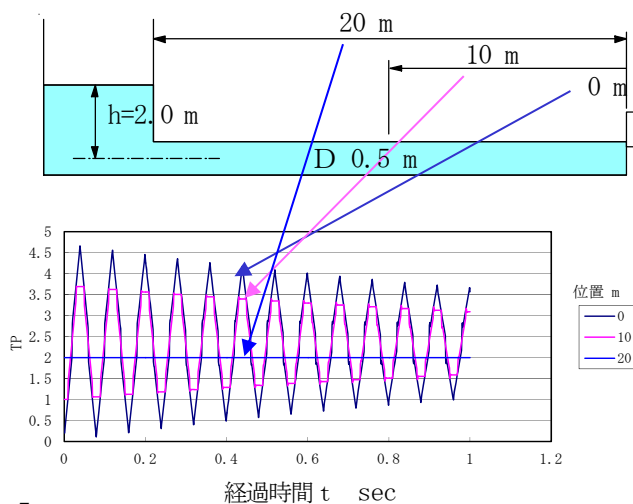


④ゲート閉に伴う水撃圧

ゲートを閉にした場合(閉時間 100 sec)の水撃圧変動を特性曲線法によって計算した例を図-22に示す。横軸を時間にとった圧力変動を示すが、時間が経過すれば圧力変動が収まってくる。

ゲートから上流にいくにしたがって圧力変動が小さくなり、今回③のシミュレーション例ではこの圧力変動を再現できなかった。

図-22 特性曲線法による圧力管の圧力変動



4. あとがき

粒子法を使って圧送管や地下構造の貯留槽に雨水などを流入させる定性的なシミュレーションを行った。この結果、空気を出すルートを適切に確保しないと管路施設内に空気が残留することや、空気が円滑な流入を阻害することを示すことができた。さらに流入口と空気抜を分離し、流入を円滑にすることにより、所定量を流入させることができることを示した。

管路施設内の空気を圧縮することなく排出させないと施設のマンホール蓋、点検蓋あるいは水位計の保護管の蓋などをエアハンマーにより飛散させる原因となる。緊急遮断ゲートなどによる急激な流れの遮断についてのシミュレーションでは水撃作用による水圧変動までは再現することができなかった。しかし、水撃作用による水圧変動は非常に大きくなるのが予想されるので別の適切な方法で検討する必要がある。

<参考文献>

- 1) 中根 進：格子ボルツマン法による下水流れの可視化 月刊下水道 Vol. 36. No. 10 2013 増刊号
- 2) 中根 進：有限要素法(FreeFem++)による三次元流体解析 月刊下水道 2015 11 月号 VOL. 38 No. 13
- 3) 石井 康浩、中根 進：粒子法を用いた伏越し部の流速分布解析の試み 全国上下水道コンサルタント協会 平成 22 年度技術報告集 (第 25 号)
- 4) 入手先：<http://oecake.wikia.com/>
- 5) 下水道圧送管路研究会：
http://assouken.gr.jp/barubu_11.html