

## 2-1-1 水理模型を用いた合流改善貯留管の空気噴出事象の再現について

第二基幹施設再構築事務所 設計課 吉原 慧

### 1. はじめに

下水道局では、水が滞留しやすい河川区間等において、合流式下水道の改善（以下、「合流改善」とする。）を行う貯留施設整備を進めている。合流改善貯留施設は、降雨初期の特に汚れた雨水を取水し、貯留することで、河川などへ放流される汚濁負荷量を削減し、良好な水環境を創出する。

合流改善貯留施設の設計に際しては、貯留水に押し出された空気が適切に排気されるよう、施設規模に応じた排気施設の検討を行う必要がある。しかし、貯留施設内の水と空気の挙動は、流出解析シミュレーション等の机上検討による把握が困難なため、設計時の想定と異なる空気噴出が発生する可能性がある。

本稿はその一例である、令和3年9月に発生した「善福寺川流域貯留管」における空気噴出事象について、水理模型による再現実験の結果を報告し、発生要因の考察を行うものである。

### 2. 善福寺川流域貯留管の概要

「善福寺川流域貯留管」は、善福寺川流域（東京都杉並区・練馬区）の合流改善を目的とした貯留管である。貯留管内径 2.4m、延長約 3.4km、流域面積約 370ha であり、全 19 箇所の取水施設から約 15,000 m<sup>3</sup> の貯留を行う計画である。

令和3年6月より、合流改善効果を早期に発現させるため、先行整備された貯留管と5箇所の取水施設（図1）を暫定的に供用し、取水及び貯留を行っていた。

貯留管内の排気に関しては、原則的に、中間人孔へ整備された高さ約4mの排気施設（写真1）によってなされていた。

### 3. 空気噴出時の状況

令和3年9月18日、台風14号の降雨により、貯留管最下流部に位置する置田橋付近の取水施設（以下、「置田橋取水施設」とする。）から、貯留した雨水と共に貯留管内の空気が噴出する事象が発生した。事象発生直前とみられる午前5時台の降雨強度は26mm/h（原寺分橋観測所）と比較的小さく、降雨条件以外の要因



図1 善福寺川流域貯留管案内図  
(令和3年9月時点)



写真1 中間人孔排気施設  
(杉並区立関根文化公園)

が強く影響した可能性が考えられる。

#### 4. 実験条件

空気噴出事象を再現するため、本管の全延長と5箇所の取水施設（取水構造及び導水構造含む）の水理模型を製作した。模型縮尺は、管内の動水勾配を再現するため、横断方向1/12, 流下方向1/15.3の歪み模型とし、フルードの相似律に従って検討を行った。なお、実験場の空間的制限等の理由から、実験結果に影響を与えない程度に、湾曲部の増減を行っている。



写真2 水理模型全体写真（縮尺は実物換算値）

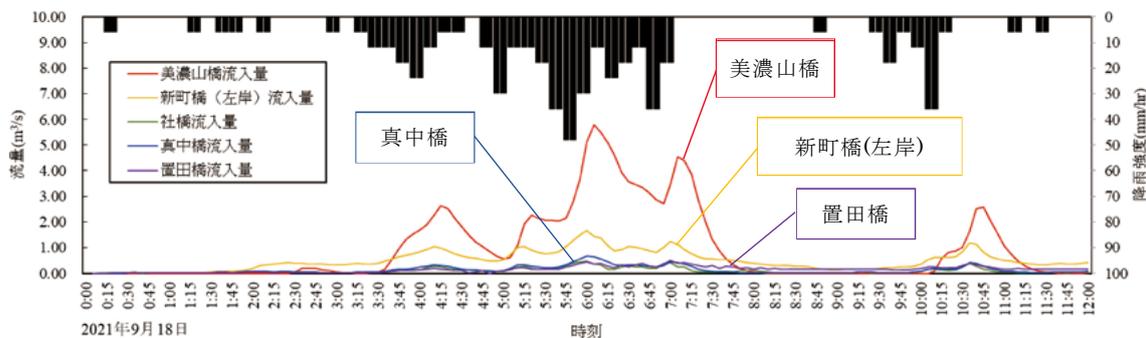


図2 実績降雨ハイトグラフと各取水人孔への流入量

水理模型へ与える非定常流入量は、事象発生時（令和3年9月18日）の降雨に基づく流出解析結果により設定を行った。実績降雨強度及び5箇所の取水施設への流入量の時間変動を図2に示す。

流出解析により求めた流入量を水理模型へ与え、各人孔における水と空気の挙動および圧力変動を記録し、噴出事象の発生有無の確認を行った。

## 5. 実験結果

実験の結果、空気噴出が確認された。実験時の置田橋取水施設付近における水と空気の挙動を写真3に示す。

貯留管取水時は、斜坑管による取水に伴い、貯留管内への空気連行が確認された。貯留管が満水となった後も取水が継続した結果、貯留管内水位が急激に上昇し、管内に閉塞された空気塊が上流側から押し出され、激しく噴出する様子が確認された。

実験中の始端、中間、終端人孔及び置田橋取水人孔の底部における圧力（標高換算値、以下、「圧力標高」とする。）の変動を図3に示す。始端、中間、終端人孔底部の圧力標高は、貯留管が満水となった後、約5分間で10m程度と急激に上昇し、併せて置田橋取水人孔の圧力標高も約2分間で3m程度上昇した。

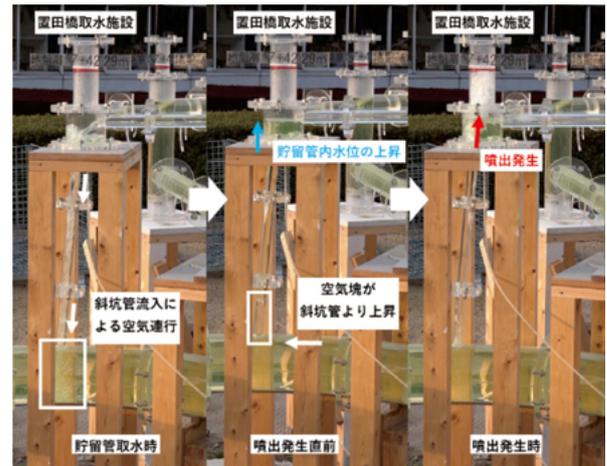


写真3 置田橋取水施設における空気噴出

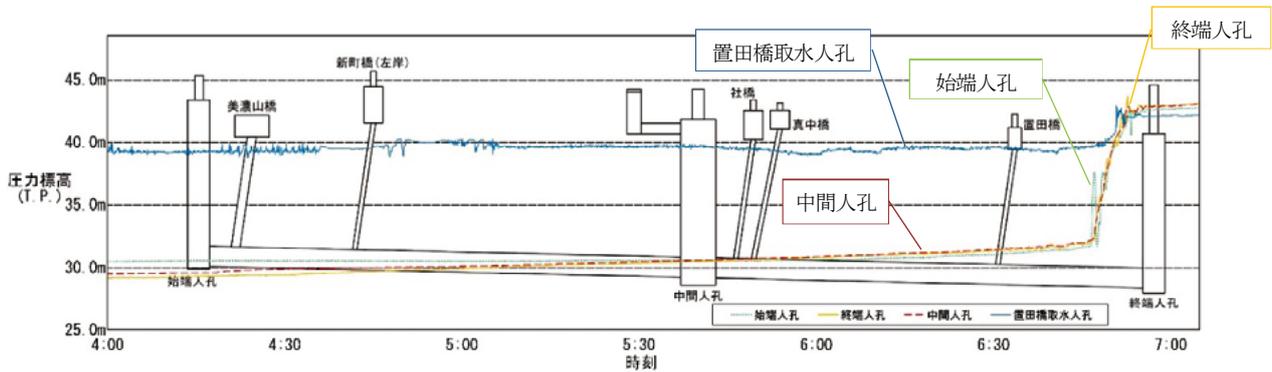


図3 貯留管縦断位置と各取水人孔底部における圧力変動

## 6. 噴出発生要因の考察

水理模型実験の結果より考察される、噴出事象の発生機序を図4に示す。斜坑管取水により連行された空気は、貯留管内水位が低い段階においては、中間人孔排気施設より排気される（図4・貯留前期）。しかし、貯留管内水位が上昇し、中間人孔の管口が閉塞されることで排気が抑制され、連行空気も管頂部に閉塞、被圧される（写真4、図4・貯留中期）。連行空気の閉塞は、真中橋と置田橋の取水施設間、約900mという比較的長区間で発生するため、大量の被圧空気塊が生じると考えられる。貯留管が満水となった後も取水が継続し、貯留管内水位が急激に上昇すると、貯留管内の圧力も急激に上昇し、大量の被圧空気塊は置田橋取水施設へ押し出され、噴出する（図4・貯留管満水後）。



写真4 中間人孔の閉塞と空気塊の滞留

上記発生機序を仮定すると、供用予定の 19 箇所の取水施設の内 5 箇所のみを暫定供用したことにより、置田橋取水施設に排気が集中し、噴出が発生した可能性が示唆される。

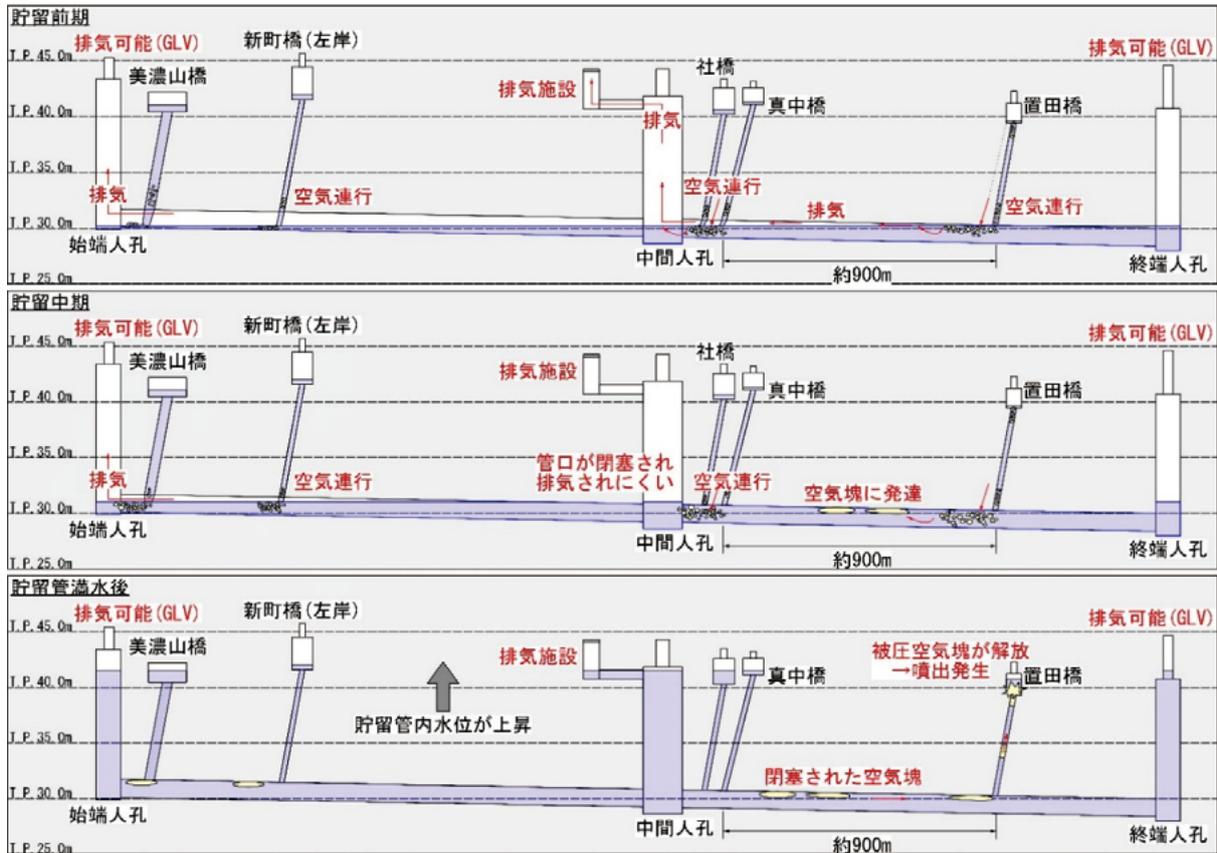


図 4 空気噴出の発生機序

## 7. おわりに

水理模型実験により噴出事象発生時の状況を再現した結果、空気塊が真中橋と置田橋の取水施設間に閉塞され、置田橋取水施設より噴出する様子が確認された。

本事例のように貯留施設の段階的な整備・供用を行う場合は、各供用段階の貯留施設における水と空気の挙動について、水理模型実験等により、実現象を把握することが重要と考えられる。