

2-1-3 水理模型を用いた合流改善対策用貯留管の

水理現象及び圧縮空気塊に関する検証

南部下水道事務所 建設課 遠藤 光

1. はじめに

閉鎖性水域である勝島運河は、合流式下水道からの雨天時越流水などの影響により、水質悪化が問題となっている。このため、東京都下水道局は合流式下水道の改善を行う重点水域のひとつとして位置付け、降雨初期の特に汚れた下水のうち、流域内降雨6mm分を貯留する合流改善施設（φ2200の貯留管）を現在施工中である（図1）。

本施設は貯留管であるため、圧縮空気塊の噴出等が想定される。しかし、初期降雨を貯留する合流改善施設の実績は少なく、空気抜きや取水構造が及ぼす複雑な水理挙動を机上検討で十分に把握することが困難である。そこで、平成25、26年度に模型による実験を行うこととした。

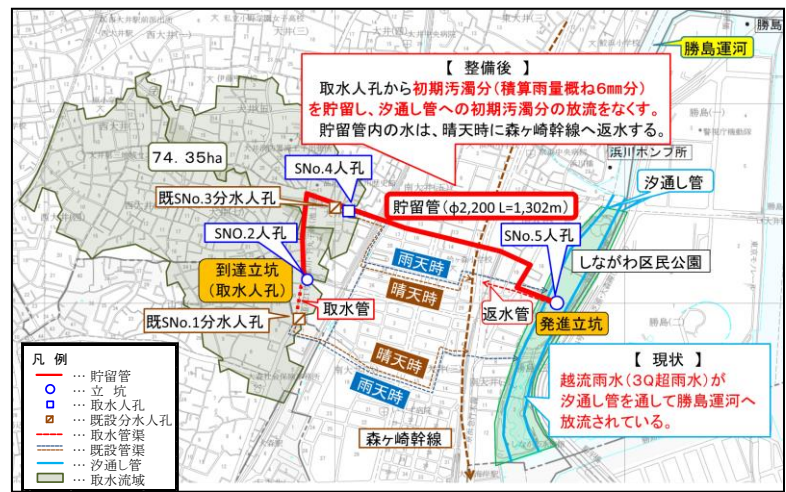


図1 合流改善対策用貯留管の概要図

2. 課題及び目的

本施設は貯留管という施設構造のため、空気抜き施設を配置するなど圧縮空気塊の噴出に対する対策を行う必要がある。本施設では、取水位置と貯留管終点部（最下流部）の地上での高低差が約6mあることから、貯留管終点部の空気抜き施設は6m以上の高さが必要であると想定された（図2）。しかし、6m以上の空気抜き施設を設置することは、現場の土地利用の状況から困難である。

そこで、勝島運河合流改善施設の全体（取水施設・貯留管）を再現した水理模型を使用し、貯留過程に現れる様々な水理現象の検証と現実的な空気抜き施設の検討を行った。

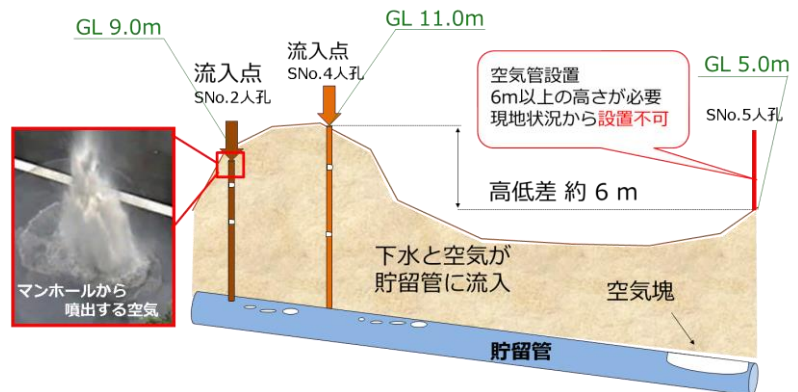


図2 貯留管における課題の概要図

3. 水理模型実験の概要

本水理模型実験では、貯留管、取水管、流出入管及び人孔を対象（縮尺：【貯留管：断面方向 1/11.0、流下方向 1/13.6】【その他：1/11.0】）として再現した（図 3～7）。実験条件は、時間降雨 50 mm/h とし、近年頻発している局所的集中豪雨を鑑み、危険側の条件である前方集中型の計画降雨（ピーク流量発生時の直前に貯留管が満管になる）で実験を行った。

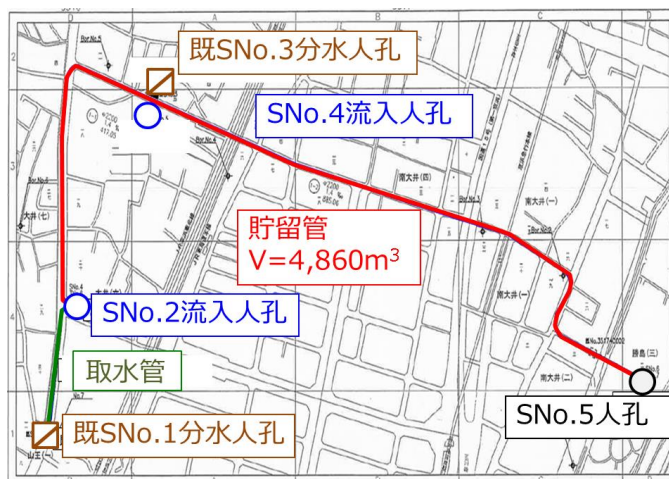


図 3 水理模型で再現した対象施設の概要

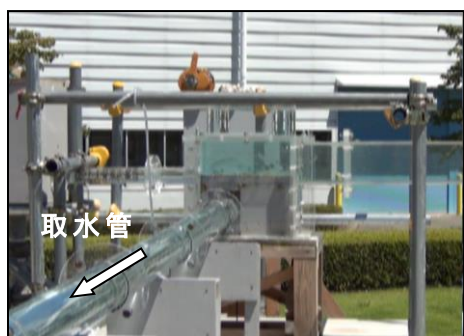


図 4 既 SNo. 1 分水人孔

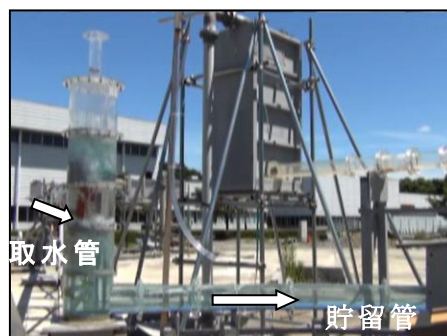


図 5 SNo. 2 流入人孔



図 6 左側：既 SNo. 3 分水人孔
右側：SNo. 4 流入人孔

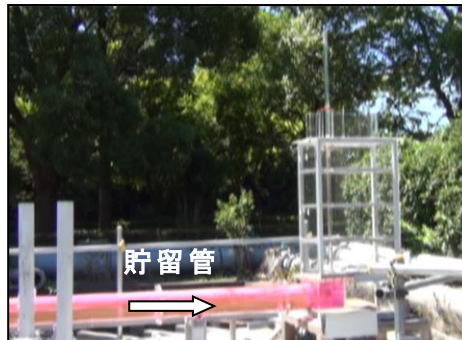


図 7 SNo. 5 流末人孔

3.1 原設計の実験結果

合流改善を目的とした初期雨水を取水する貯留管において、今回対象とした前方集中型の降雨の場合、水理模型実験により次のような現象及び課題を確認した。

(i) 貯留管満水時の水位上昇（水の噴出）・・・課題1

既 SNo.1 分水人孔の原設計形状を図 8 に示す。既 SNo.1 分水人孔は、汚水遮集管への流入が $3Q$ を超えた後、人孔内の横堰を超えて人孔底部に流れ落ち、この水が放流管の入口に設置された堰にあたって、人孔内で放流管と対面側に設置されている取水管（貯留管への導水管）に導かれる構造となっている。

また、放流管入口の取水用堰高は、原設計では放流管径の $1/2$ の高さに設定され、放流管口が $1/2$ の断面に絞られている。このため、実験では貯留管満水時に分水人孔内の水位が上昇し、人孔上部より水の噴出が発生した。

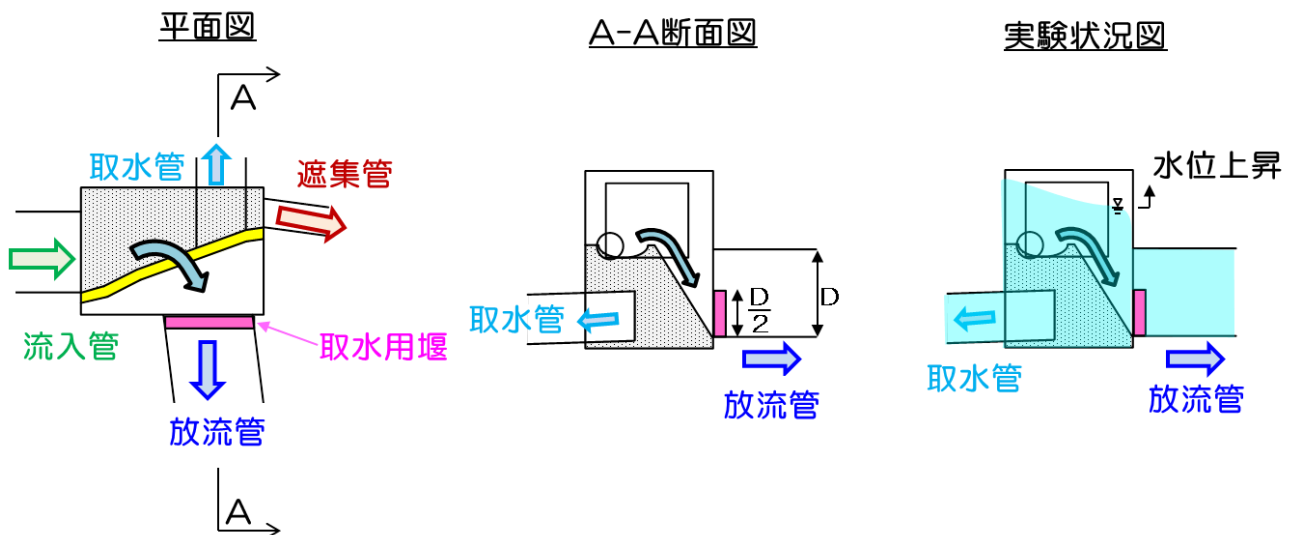


図 8 既 SNo.1 分水人孔における原設計形状及び実験状況

(ii) 圧縮空気塊の噴出・・・課題2

貯留管内における空気塊の形成概念図を図 9 に示す。一般的に貯留管内では、流れが流末部へ到達後、上流側へ向かう段波が発生する。この段波は、SNo.4 流入人孔（斜行管）からの流入水により遮られ、空気塊が形成される。この空気塊は、貯留管満水後に被圧されて、さらに上流側に遡上し、既 SNo.1, SNo.2, 4 人孔から噴出することが確認された。また、地盤高が低い SNo.5 流末人孔では、地盤高から最大水位 6m 相当の水しぶきを伴う空気塊を確認した（図 10～14）。

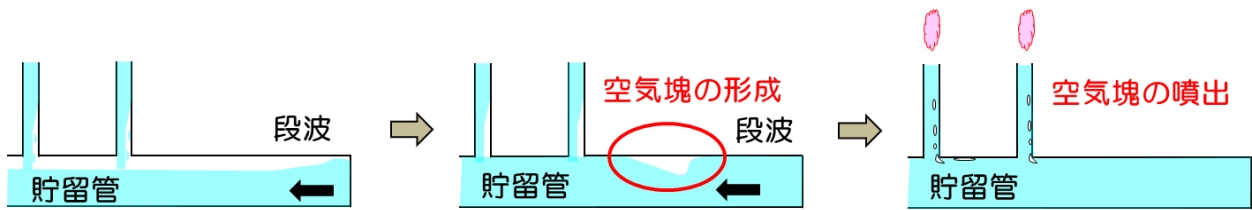


図 9 空気塊の形成概念図

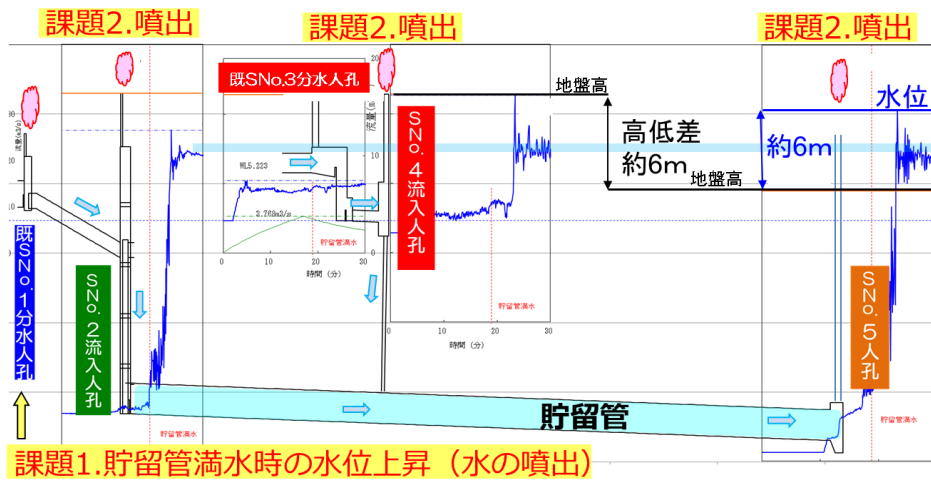


図 10 原設計における実験結果（水及び空気塊の噴出）

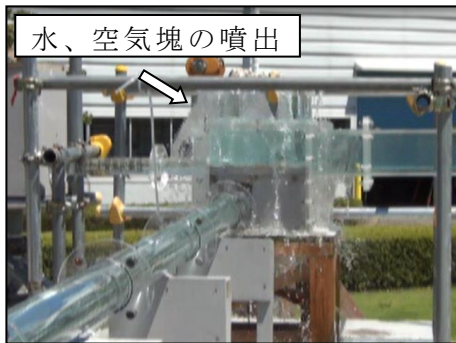


図 11 既 SNo. 1 分水人孔における流況

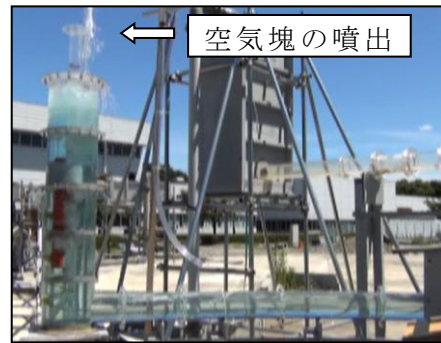


図 12 SNo. 2 流入人孔における流況



図 13 左側：既 SNo. 3 分水人孔
右側：SNo. 4 流入人孔
における流況



図 14 SNo. 5 流末人孔における流況

3.2 改良案の検討

原設計における2点の課題について、次のような改良案を検討した。

(i) 貯留管満水時の水位上昇（水の噴出）に対する改良案

既 SNo. 1 分水人孔における水位上昇の要因は、降雨初期の雨水を取水管に取り込むために放流管入口に設置された堰が放流管の断面を阻害していることと考えられた。これを改善するため、取水管への取水と人孔内の水位上昇のバランスをとりながら、図 15 のように 3Q 分水堰の形状を変更し堰長を長く取るとともに、放流管入口の取水用堰の位置を分水人孔の内側に変更した。これにより有効離隔が大きくなるとともに、放流管への開口面積拡大を図ることで、水位上昇の抑制が期待できる。

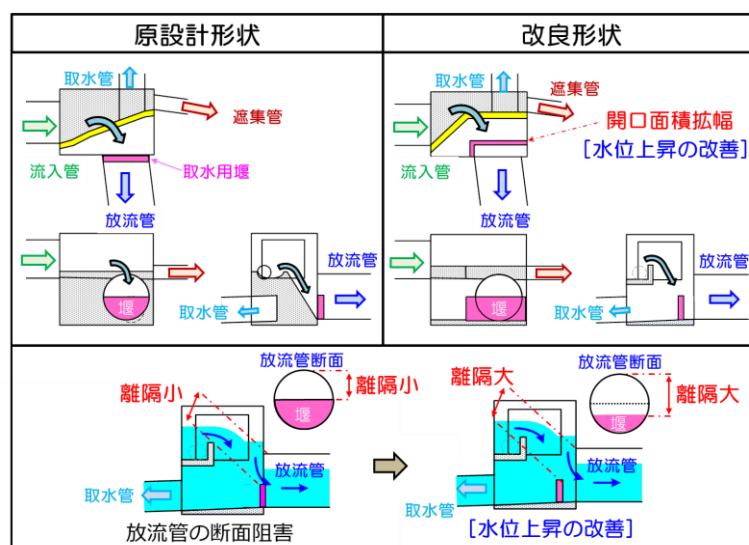


図 15 既 SNo. 1 分水人孔における改良案の概念図

(ii) 圧縮空気塊の噴出に対する改良案

各人孔における圧縮空気塊の噴出を抑えるため、SNo. 2, 4, 5 人孔付近に排気管を設置した。排気管の規模は、人孔蓋浮上・飛散防止や周辺環境に配慮し、地表 12 m/s、管内 48 m/s を制限風速として決定した。なお、(i) 案の改良により SNo. 5 人孔での水位上昇が地盤高から +1.6m 程度の高さに抑えられたため、1 割程度の安全性を考慮して SNo. 5 の排気管を 1.8m で設定して実験を行った。

3.3 改良案の実験結果

3.2 の改良案で行った実験により、原設計の課題に対して以下の抑制効果が確認できた。

(i) 貯留管満水時の水位上昇（水の噴出）に対する抑制効果

既 SNo. 1 分水人孔における実験時の動水位を図 16 に示す。原設計では実験時に雨水吐室が完全に満水状態になり、流入管の動水位も管頂よりも高く、完全な圧力状態であった。一方、改良案では中間スラブ付近まで動水位が低下したことから、人孔改造が水位上昇の抑制に有効であることを確認できた。

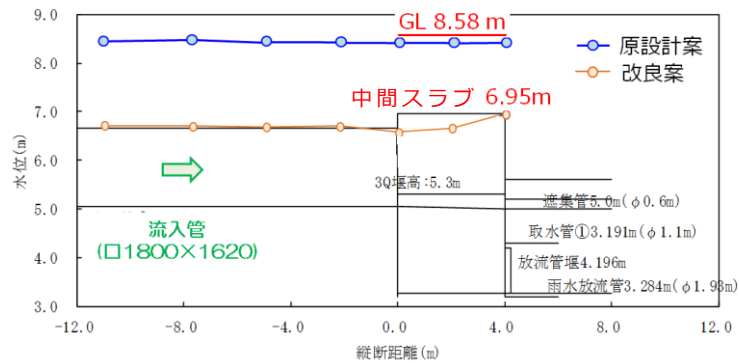


図 16 既 SNo. 1 分水人孔における実験時の動水位

(ii) 圧縮空気塊の噴出に対する抑制効果

図 17 に実験結果を示す。

原設計で確認された SNo. 2, 4, 5 における圧縮空気塊の噴出現象は、排気管の設置により解消された。

一方、SNo. 5 人孔では、サージング現象により水位が不安定となり、貯留水の噴出が確認されたため、排気筒を追加して予備実験を行い、サージング現象の緩和が可能で、最大水位が排気筒から越流しない最小の径として内径 $\phi 2000 \times 1.8\text{mH}$ を採用した。

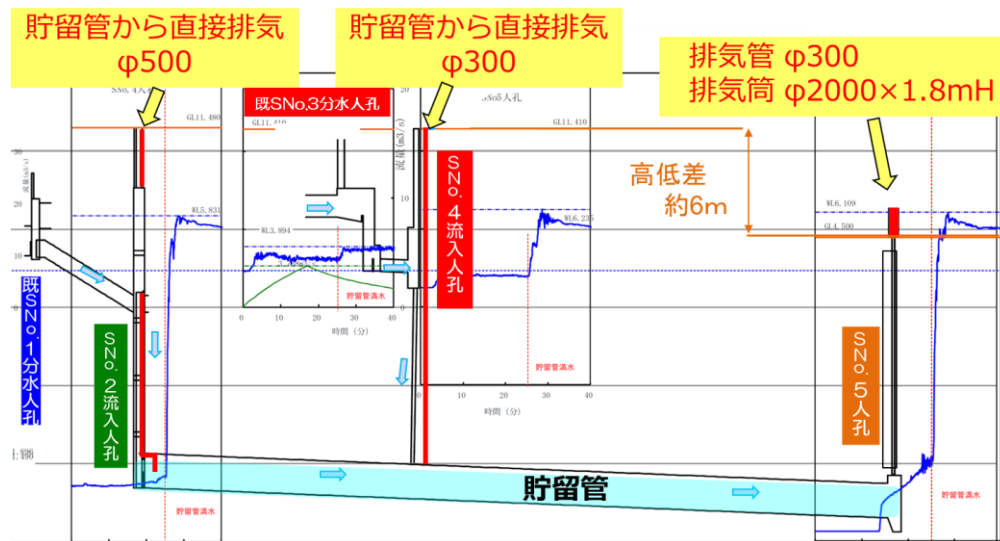


図 17 改良案における実験結果（水及び空気塊の噴出解消）

4. まとめ

本実験では、大きく 2 つの課題が判明した。

(i) 原設計では、降雨初期の雨水を貯留管へ取り込むために放流管入口に堰を設置しており、この堰が貯留管が満水になった後、放流管への放流を障害し、人孔内の水位を上昇させている。

(ii) 段波及び斜行管からの流入水により貯留管内に閉じ込められた空気塊によって、圧縮空気塊が噴出する。

このような現象を解消するため、次のような対策を行った。

(i) 堰によって制限された放流量の増加を目的とした放流管の開口面積拡大

(ii) 圧縮空気塊を先行的に排出させることを目的とした排気管の設置

近年頻発している集中豪雨のような前方集中型の降雨では、合流改善を目的とした貯留管は急激に満水になるため、圧縮空気塊が発生しやすい等の課題がある。そのため今回実施した水理模型実験による検証等によって、次のような事項を設計に反映させることが重要である。

(i) 合流改善効果のみに捉われた検討により浸水被害を誘発させることのないよう、放流管断面を阻害しない取水構造とすること。

(ii) 圧縮空気塊を速やかに排気させるための施設を各人孔ごとに設置すること。