

流出解析モデルを用いた雨天時浸入水対策検討

日本水工設計(株) 東京支社 福山 裕史

1. はじめに

現在、分流式下水道で整備されている地区の雨天時における問題として、雨天時浸入水の影響による分流汚水人孔からの溢水、多量の浸入水の流入による汚水ポンプ施設や処理場等への過負荷などが挙げられる。

今回検討を行った A 市においても、雨天時に分流汚水人孔からの溢水や、分流汚水ポンプ場への雨天時流入量が晴天時の最大 6 倍程度あったことも確認されており、しばしばポンプ場が冠水の危機に陥っている。

このような雨天時浸入水により引き起こされる溢水被害や施設機能の停止・損傷等は、リスク管理の点から見ても非常に重要な問題であり、早期に改善対策を講じる必要がある。

これまでの改善対策としては、TV カメラ調査、送煙調査、音響調査、目視調査等を行い雨天時浸入水の原因箇所を突き止めて直接補修等を行うといった対策であった。しかしながら、雨天時浸入水は管きよの破損箇所や継ぎ手、雨水管との誤接合や人孔蓋の穴等さまざまな要因、箇所が存在するため、流域面積が大きい場合には、上記対策では多大な時間と費用を要することになり、改善対策が立ち遅れる傾向にあった。実際、本市においても長期にわたり上記対策を行ってきたが、改善効果はあまり出ていない状況である。

そこで、本検討では、原因箇所に対する直接的な対応で浸入水の削減を早期に実現することは困難なことから、既存施設を有効活用し、短期間かつ少ない費用で溢水の解消とポンプ場の冠水を阻止することを目標として改善計画の立案を行った。

2. 検討フロー

本検討の流れを図-1 に、その内容を表-1 に示す。

表-1 項目内容

| 項目 | 内容 |
|-----------|--------------------------------|
| 基礎調査 | ・資料収集、現場調査 ・実測調査（流量、水位、降雨量） |
| 排水区域のモデル化 | ・流出解析モデルの構築 ・キャリブレーション |
| 現況解析 | ・既存施設の能力評価 ・溢水要因および問題点の抽出 |
| 改善対策の検討 | ・対策方針の設定 ・対策案の検討および評価 |
| 改善計画の立案 | ・段階的な改善対策の立案 ・改善効果の整理 |

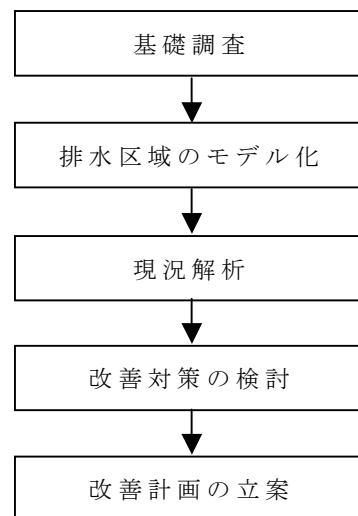


図-1 本検討におけるフロー

3. 流出解析モデルを用いた対策検討

3. 1 基礎調査 - 雨天時浸入水の実態把握 -

本市は、中継ポンプ場上流の主要な集水系統として A、B、C の 3 系統があり、それらが中継ポンプを介して河川横断した後、別系統と合流し処理場へと流入する。

本検討対象区域としては、本市の中でも溢水が多発している低地部周辺 23ha を含む中継ポンプ場流域約 750ha とする。図-2 に本検討対象区域の概要を示す。

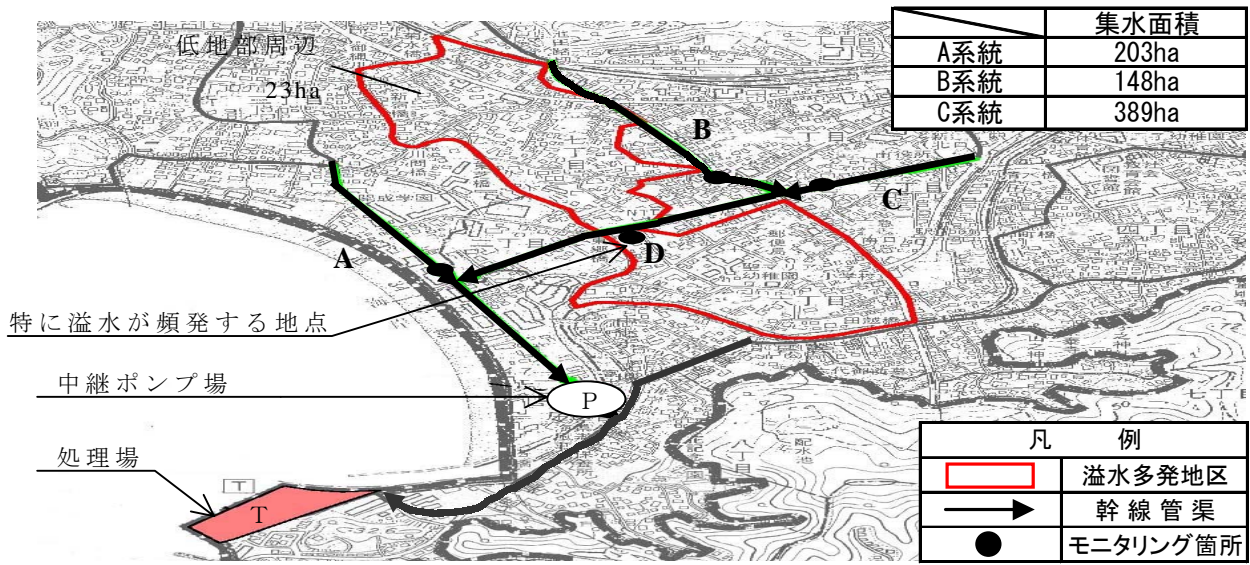


図-2 本検討対象区域の概要

実測調査では、雨天時浸入水の実態を把握するために、これら 3 系統の流末付近および特に溢水が多発する地点 (D 地点) について流量計を設置した。なお、雨量計は対象区域のほぼ中央付近に設置し、流量、水位および降雨量について 3 ヶ月間のモニタリングを実施した。

表-2 に実測調査の結果から算出した雨天時浸入水率を示す。

なお、雨天時浸入水率は以下の式により算出した。

$$\text{雨天時浸入水率(\%)} = \frac{\text{雨天時浸入水量} \times 1(\text{m}^3) / [\text{降雨量}(\text{mm}) \times \text{集水面積}(\text{ha}) \times 10]}{\text{雨天時流量} - \text{晴天時流量}} \times 100$$

※1 雨天時浸入水量：晴天時流量と雨天時流量との差分。(図-3 参照)

表-2 雨天時浸入水率

| | 雨天時浸入水率 | |
|-----|---------|------------|
| | 平均値 | 範囲 |
| A系統 | 1.7% | 0.6%~2.6% |
| B系統 | 2.6% | 1.5%~3.7% |
| C系統 | 1.5% | 0.9%~1.8% |
| D地点 | 6.6% | 3.3%~13.2% |

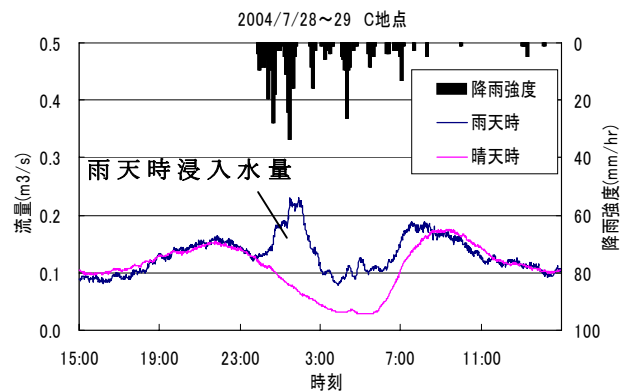


図-3 雨天時浸入水量

3. 2 排水区域のモデル化

流出解析モデルとは、降雨損失モデル、表面流出モデル、管内水理モデルの大きく 3 つの要素から成り立っている。降った雨がどれだけ地中に浸透するか、浸透しなかった雨水がどのような特性で下水管内へ流入するか、また流入した雨水や汚水がどのような特性で管内を流れるか、という要素に対してパラメータを設定し、流出特性を再現することで妥当性の高い解析モデルを構築する。

本検討においては、φ600mm 以上の污水管きよ（但し、溢水多発地区 23ha においては全管網）、地表面、中継ポンプ場についてモデル化を行った。

また、構築したモデルに対して、4 つの降雨を用いて流量と水位についてのキャリブレーションを行い、各種パラメータの最適化を行った。

キャリブレーションの一例を図-4、図-5 に示す。

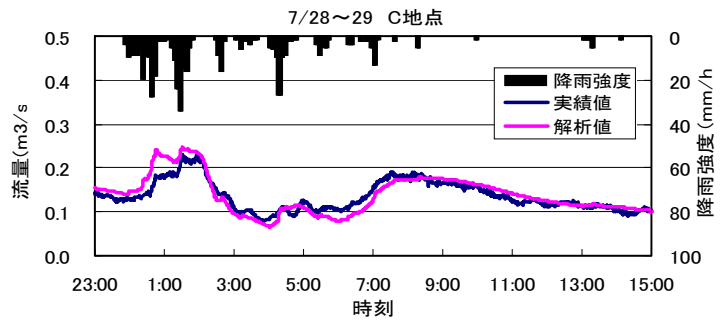


図-4 流量におけるキャリブレーション

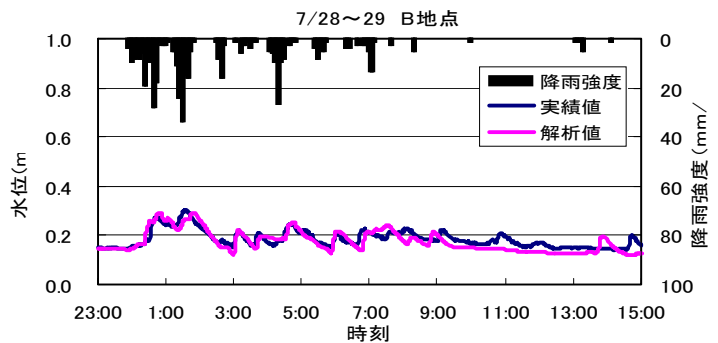


図-5 水位におけるキャリブレーション

3. 3 現況解析

— 溢水要因および問題点の把握 —

溢水要因の解明および問題点の把握を行うにあたり、既存施設的能力評価を行う。なお、雨天時浸入水は降雨に起因して水量が増大することから、降雨規模に対する安全度の判定を行うものとする。

構築した流出解析モデルに 10mm/hr、20mm/hr、30mm/hr・・・と段階的に計画降雨（フラット型）を与えることにより、中継ポンプ場および既設管きよの能力評価を行った。

その結果、各々について下記の能力を有していることが明らかとなった。

既設管きよ能力 = 晴天時汚水量 + 80mm/hr 降雨時の雨天時浸入水量

中継ポンプ能力 = 晴天時汚水量 + 30mm/hr 降雨時の雨天時浸入水量

これより本対象区域では、既設管きよ能力としては本市における設計降雨である降雨強度 50mm/hr 以上を有しているものの、流末の中継ポンプ能力の制限を受けて、対象区域全体では降雨強度 30mm/hr しか有していない。そのため、降雨強度 30mm/hr 以上の降雨時は、中継ポンプからの背水の影響が溢水の要因となっていることが明らかとなった。

溢水要因

中継ポンプ能力不足 → ポンプ井水位の上昇 → その背水により低地部にて溢水

3. 4 改善対策の検討

3. 3 を受けて、溢水の要因となっている中継ポンプ場からの背水の影響を軽減するためには、ポンプ井水位をいくらに保てばよいのか、流出解析モデルを用いてポンプ井限界水位の検討を行った。

その結果、ポンプ井水位を T.P.-0.2m 以下に保持することにより、溢水を解消することが可能となり、なおかつ中継ポンプ場の冠水を防止できることが明らかとなった。(図-6 縦断面図参照)

これより、ポンプ井限界水位を保持するための対策として①貯留、②送水能力増強、③バイパス放流の3パターンについて対策案の立案、選定を行う。

なお、本検討における対策目標は、緊急的な目標として本市における設計降雨^{※2}に対し溢水を解消すること、長期的な目標としては既往最大降雨^{※3}に対し溢水を解消することと設定した。

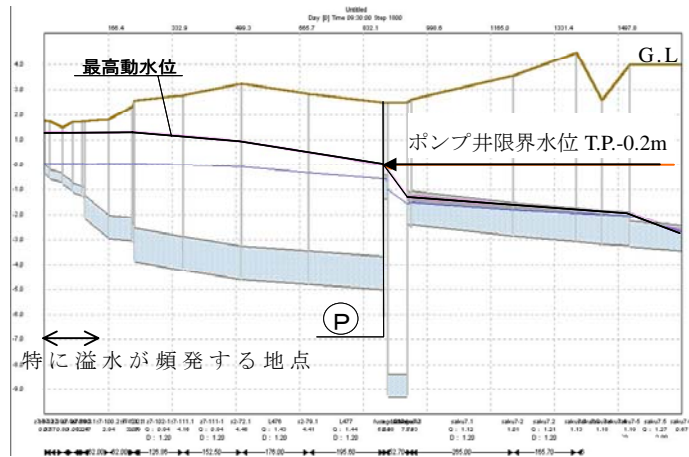


図-6 ポンプ井限界水位

※2 本市の設計降雨：降雨強度 50mm/hr、 $I=5,800/(50+t)$

※3 既往最大降雨(H15.5.31)：総降雨量 178mm、最大降雨強度 99mm/hr、降雨継続時間 450 分

(1) 対策案の立案

前述した3パターンの対策案について、具体的な対策内容を以下に示す。

- ① 貯留案 — 流量ピーク時の中継ポンプ能力超過分を貯留する対策。
 - ・ポンプ場上流に貯留槽の設置
- ② 送水能力増強案 — ポンプ能力を増強し、中継ポンプの能力不足分を補う対策。
 - ・ポンプ増設（送水量の増大による下流管きよの能力不足は増補管にて補うものとする。）
- ③ バイパス放流案 — 中継ポンプ能力不足分を近隣河川へと緊急的に放流する対策。
 - ・中継ポンプ場からの緊急放流
 - ・溢水多発地区（D地点周辺）からの緊急放流

(2) 対策案の検討および評価

雨天時浸入水対策には、段階的対策として浸入水そのものは削減しないが溢水や施設機能の損傷等を回避する緊急的なリスク対策（短期対策）と、長期的には浸入水そのものを削減していく対策や全ての降雨に対し溢水等を回避する対策（長期対策）とがある。

(1) で示した対策案について、本市の設計降雨（中央集中型）を対象降雨として比較検討を行った結果、貯留槽を設置する対策案が経済性や施工性、環境面に優れており、短期的には最も有効であるという結果を得た。

表-3 に比較検討結果を示す。

表-3 対策の比較検討

| | ①貯留案 | ②送水能力増強案 | ③バイパス放流案 | |
|------|---|--|--|--------------------------|
| | 貯留槽の設置 | ポンプ増設 | 中継ポンプ場からの緊急放流 | 溢水多発地区からの緊急放流 |
| 対策施設 | 幅6m×長40m×水深4.5m 有効貯留量 約1,000m ³ | 800φ、11kw×2台 圧送管φ1200mm、L=100m | 放流渠：□2.5m×0.5m L=18m | 流下管：□2.5m×0.5m L=220m |
| 対策効果 | 溢水解消可能 ◎ | 別系統にて溢水 △ | 溢水解消可能 ◎ | 溢水解消可能 ◎ |
| 経済性 | 210百万円 ○ | 1,722百万円 △ | 6百万円 ◎ | 82百万円 ◎ |
| 施工性 | 用地確保可能 施工可能 ◎ | 用地検討必要 施工可能 ○ | 要地下埋設物調査 △ | 要地下埋設物調査 △ |
| 環境面 | 超過分は晴天時に 処理場にて処理 ◎ | 全量を処理場にて処理 (但し、処理場処理能力の 増強が必要) ◎ | 未処理放流の発生 △ | 未処理放流の発生 △ |
| 評価 | 経済性や環境面から 緊急性に優れている | 下流に増補管を設置することにより 溢水解消可能となることから、 短期対策としての対応は難しい が、長期対策としては採用可能 | 緊急放流は安価で短期間にできるため、ポンプ場冠水 による機能停止を阻止するといった緊急的な観点から 短期対策としては容認する(△)ものとする | |

3. 5 改善計画の立案

対策案の検討結果より、短期対策としては安価で早期に実現可能である貯留槽対策が最も効果的である。

ただし、貯留槽では超過降雨およびピークが二山以上の降雨に対しては限界があるため、それらの降雨に対してもある程度溢水を防除するには貯留槽に緊急放流ゲートを設置することが考えられる。

しかしながら、将来的には環境面において負荷を与える緊急放流は極力避けるべきであることから、雨天時浸入水の抜本的な対策として浸入水発生箇所の調査・補修を行うと共に、ポンプの増設を含めた対策を行い、全ての降雨において溢水の防除かつ未処理放流の回避を行うことが求められる。

以上を踏まえて、本検討で立案した段階的な改善計画を表-4 に示す。

表-4 段階的な改善計画とその効果

| 段階的対策 | 項目 | 概要 | 溢水被害度 ^{※4} | |
|-------|------------------|---|---------------------|--------------|
| | | | 設計降雨 | 既往最大降雨 |
| 現況 | — | — | 100% | 100% |
| 短期対策 | 貯留槽の設置 | 有効貯留量 約1,000m ³ 幅6m×長40m×有効水深4.5m | 0% (目標達成) | 30% |
| | 貯留槽に緊急放流ゲートを設置 | 幅2.0m×高0.8m (堰頂高T.P.-0.121m) | | |
| 長期対策 | 浸入水発生箇所の補修 | 発生箇所を突き止め、補修を行う。 | 0% (目標達成) | 0% (目標達成) |
| | 処理場雨天時処理能力の増強 | 雨天時浸入水について簡易処理高度化以上の処理を行う。 | | |
| | 中継ポンプ場下流管きよの能力増強 | 増補管 φ 1,200mm、L=710m | | |
| | 中継ポンプ送水能力増強 | 吐出能力：134m ³ /分 | | |

※4 溢水被害度：現況における最長溢水時間を溢水被害度100%として各段階での最長溢水時間より算出した。

4. おわりに

本検討における雨天時浸入水対策は、早急に雨天時浸入水による溢水や施設機能の停止・損傷等を軽減することが目標であったため、早期に実現可能な規模や経済性に優れた対策が必要であった。そのため、本対象区域のような流域面積が大きい場合には、雨天時浸入水の発生箇所を突き止め、直接補修を行うような対策は多大な時間と費用を要し、緊急対策としては不向きである。

そこで、本検討では雨天時浸入水のある程度受け入れた上で、溢水等の被害を解消するための対策を、流出解析モデルを用いて立案した。

また、長期対策としての基本は、雨天時浸入水の抜本的対策である発生箇所の補修であり、これをもって雨天時浸入水の削減を目指すことが重要である。ただし、雨天時浸入水は発生箇所の特定が困難なことや、発生箇所が公私両面にまたがっていることから、全量を削減することは極めて困難である。そのため、ある程度の補修対策を実施し、その進捗および効果から雨天時浸入水量の削減目標を設定した上で、既存施設の施設改造および対策を行っていく必要がある。

そのため、今後は補修対策の前後で流量調査等を実施し、雨天時浸入水削減量の定量評価を行い、費用効果を考慮した対策を実施するとともに、流出解析モデルを用いて効率的・計画的な長期対策を実施していくことが望ましいと考えられる。