

流出解析モデルを用いた雨天時浸入水対策とその効果の検証

日本理水設計(株) 九州支店 鈴木 英之

1. はじめに

雨天時浸入水は、污水管への雨水管の誤接合部、マンホール・汚水ますのふた穴、管の破損箇所、継手の目開き部などから浸入する。それら箇所からの雨水の浸入で汚水量が増大することにより、人孔からの汚水の溢水、ポンプへの負荷の増大、処理場・ポンプ場における冠水などといった被害が報告されている。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・損傷などは、リスク管理の観点から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。

従前の対策手法としては、施工年度等から見当をつけて、TVカメラ調査や送煙調査などを行い、雨天時浸入水の原因箇所を特定し、改築・修繕を実施するといった手法がある。このような手法は、雨水浸入エリアをある程度限定できる場合には有効な方法となりうる。しかし、流域面積が広大で、浸入エリアが広範囲にわたる場合には、その原因箇所特定に多大な費用と時間が必要となり、対策効果が発現しにくいといった問題点がある。

本検討の対象地区であるA市B処理区においても、供用開始後30年以上が経過し、雨天時浸入水による污水管渠からの溢水現象や処理場の冠水といった被害が発生している状況にある。B処理区の供用面積は約1,200haと広大であるため、雨天時浸入水対策を鋭意実施しているものの、顕著な効果を得ることができない状態であった。

そこで、本検討では、流出解析モデルを用いることにより、効率的・効果的な雨天時浸入水対策の基本計画を策定した。また、その計画に基づいて実施した改築・修繕計画の策定及び改築・修繕を実施した後の事後調査結果からみた改善効果の検証を行った。

2. 検討フロー

本検討の作業フローを図-1に、作業内容を表-1にそれぞれ示す。

表-1 作業内容

項目	内容
基本計画	・対象面積：約1,200ha ・処理区を20分割(50～60ha程度／1ブロック) ・実測調査結果からシミュレーションを実施し、優先順位を設定
改築・修繕計画	・最優先地区をさらに細分化(数ha程度／1地区) ・実測調査結果による詳細調査(TVカメラ調査)地区の決定及び実施 ・改築・修繕箇所の決定
改築・修繕の実施	・改築・修繕計画結果に基づいた改築・修繕(管更生)の実施
事後調査	・改築・修繕実施地区における実測調査 ・対策前後における改善効果の検証

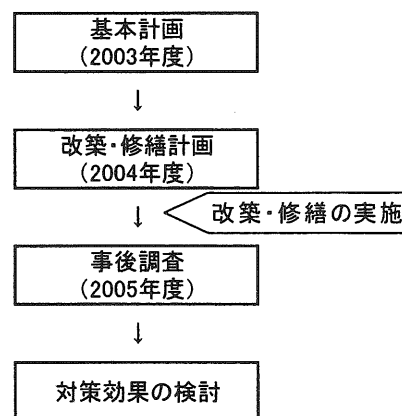


図-1 作業フロー

3. 作業概要

3-1. 基本計画 ～処理区内の対策優先ブロックの決定～

雨天時浸入水対策基本計画は、図-2に示すフローに基づいて実施した。各項目における詳細な作業概要

を以下に述べる。

(1) 実測調査（降雨、流量）

実測調査では、各幹線系統における雨天時浸入水の実態を把握するために、処理区を20ブロック（50～60ha程度／1ブロック）に分割した。実測調査は、それぞれの流末において晴天時及び雨天時の管内流量を3ヶ月間測定した。また、同時に降雨量についても調査を行った（表-2参照）。

各ブロックの概略位置図を図-3に、実測調査における現況の雨天時増水の状況を図-4に示す。図-4より、雨天時に大幅に汚水量が増加している、いわゆる雨天時浸入水が流入していることが確認された。

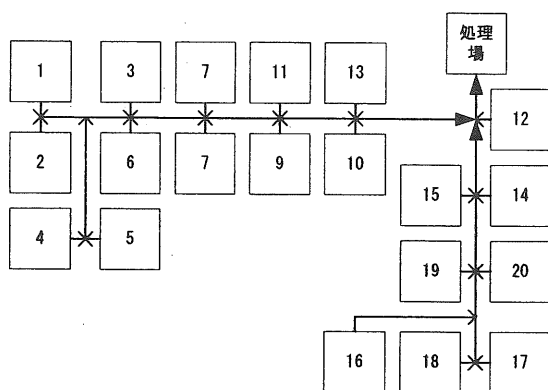


図-3 実測調査ブロック概略位置図

実測調査(降雨、流量)



キャリブレーションによる
雨天時増水特性の把握



対策優先順位の設定
及び効果の検証

図-2 作業フロー(基本計画)

表-2 実測調査諸元(基本計画)

項目	実測調査諸元
対象面積	約1,200ha
実測調査ブロック	20ブロック
調査期間	3ヶ月間
調査項目	降雨量 管内流量(晴天時、雨天時)

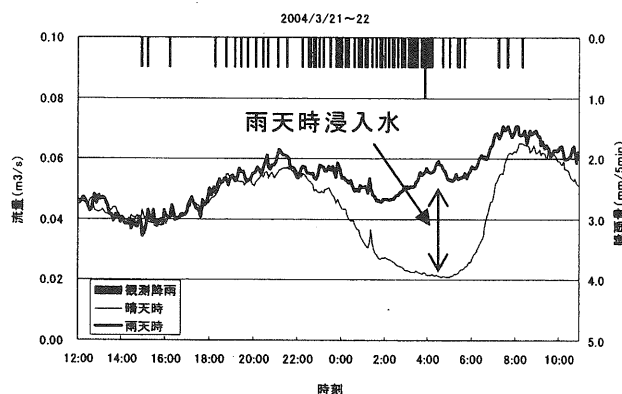


図-4 雨天時浸入水の状況(No.18)

(2) キャリブレーションによる雨天時増水特性の把握

基本計画における解析では、各幹線系統、地表面、処理場流入部（ポンプ室）についてモデル化を行った。構築したモデルに対して、実測調査結果から総降雨量の大きな5降雨を抽出し、各降雨について流量のキャリブレーションを実施した。本検討におけるキャリブレーションは、①降った雨が污水管渠に浸入してくる割合（雨水浸入率＝各ブロックの不浸透面積率× α ）、②地中に浸透した雨水が降雨終了後に污水管渠に影響を及ぼす時間（影響低減時間）を設定した。なお、 α については、過年度の処理場への雨水流入割合の最大値に若干余裕をみた0.10を採用した。

キャリブレーション結果から、各ブロックにおける総降雨量と雨水浸入率に関する相関図を作成し、対策の優先順位の設定に活用した（図-5参照）。

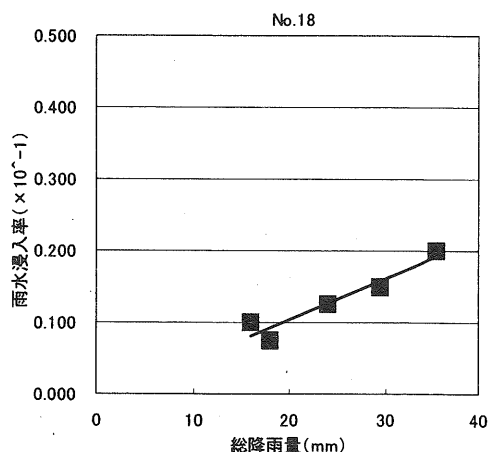


図-5 相関図(No.18)

(3) 対策優先順位の設定及び効果の検証

本処理区における雨天時浸入水対策は、環境的な配慮からバイパス放流等の対策は実施せず、キャリブレーション結果等から優先順位を設定し、優先順位の高いブロックから浸入水対策（改築・修繕）を実施することとした。

また、本計画における対策目標レベルは、現状の晴天時日平均流入汚水量である 30,000m³/日（地下水流入がないと仮定）に下水道計画において許容されている地下水量（5,000m³/日）を加えた 35,000m³/日まで、処理場流入水量を低減させることとした。

計画降雨時の雨水浸入率、降雨終了後の晴天時レベルへの回復時間、供用開始からの経過年数、排水面積等を考慮することで、対策の優先順位を A（緊急）～E（対策なし）の 5 段階に設定した（表-3 参照）。これに基づいて、各段階の対策レベルと対策効果を流出解析モデルで検証した結果を表-4 に示す。

表-4 より、8 ブロックで対策を行うことにより、本処理区の雨天時浸入水対策目標レベルである 35,000 m³/日程度まで処理場流入水量を低減させることが可能であることが確認できた。

表-3 各ブロックの対策優先順位の設定

ブロック	排水面積 (ha)	計画降雨時の 雨水浸入率 ($\times 10^{-1}$)	晴天時レベル 回復時間	供用開始 経過年数	優先順位
1	36	0.049	短	10年	E
2	117	0.099	短	10年	D
3	85	0.030	短	11年	E
4	61	0.028	長	10年	E
5	50	0.056	長	11年	E
6	82	0.047	短	12年	E
7	57	0.030	短	11年	E
8	54	0.548	長	11年	C
9	47	0.066	短	16年	E
10	37	0.288	短	36年	A
11	30	0.172	長	29年	C
12	93	0.037	短	17年	E
13	49	0.030	短	19年	E
14	28	0.282	短	17年	D
15	28	0.207	長	19年	D
16	105	0.288	長	34年	B
17	26	0.138	長	14年	B
18	86	0.403	長	34年	A
19	74	0.193	長	15年	B
20	44	0.165	短	35年	B

表-4 各対策段階における効果の検証結果

優先順位	該当ブロック	対策レベル	対策効果 (処理場流入水量)
現況	-	-	49,000m ³ /日
緊急(Aランク)	10、18	処理区内の溢水解消	45,000m ³ /日
短期(Bランク)	16、17、19、20	雨水浸入率の低減	38,000m ³ /日
中期(Cランク)	8、11	雨水浸入率の低減	35,000m ³ /日
長期(Dランク)	2、14、15	雨水浸入率:0.060以下	32,000m ³ /日
対策なし(Eランク)	1、3、4、5、6、7、9、12、13	-	-

3-2. 改築・修繕計画 ～最優先ブロックにおける改築・修繕箇所の設定～

基本計画において緊急度が高いと判定された No.18 ブロックについて、ブロック内をさらに細分化して実測調査（降雨、流量）を実施することで、雨天時浸入水量が多いと考えられる地区を抽出し、詳細調査

(TV カメラ調査)を行った。この調査結果から、改築・修繕箇所を決定した。図-6 に改築・修繕計画策定にかかる作業フローを示す。なお、本計画では、改築・修繕箇所を決定するために、管内の流下汚水量に対する雨水量を考慮する必要があることから、評価指標として雨水混入比を用いた。

(1) 実測調査(降雨、流量)

改築・修繕計画においては、No.18 ブロック(86ha)をさらに18地区に細分化(数ha/1地区)した。それぞれの流末において、「3-1.(1)実測調査」と同様の方法で、実測調査を1ヶ月間実施した。

各地区の概略位置図を図-7に、実測調査における18-3地区の雨天時増水の状況を図-8に示す。図-8より、雨天時に汚水量が異常増加していることが確認された。

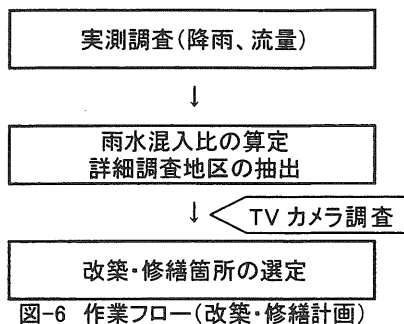


図-6 作業フロー(改築・修繕計画)

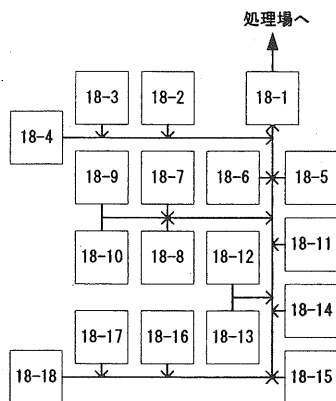


図-7 18ブロック調査箇所概略位置図

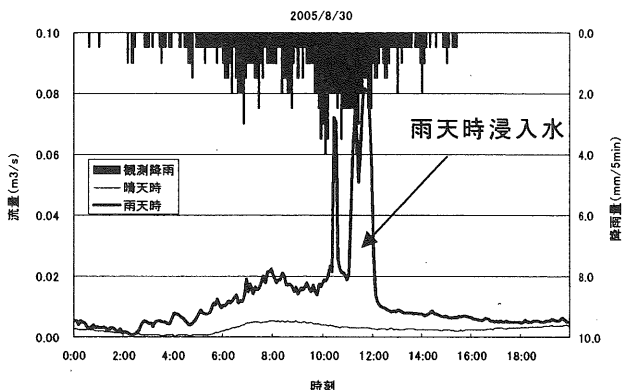


図-8 雨天時浸入水の状況(No.18-3)

(2) 雨水混入比の算定及び詳細調査箇所の抽出

実測調査結果から、降雨別に各地区の雨水混入比を算定し、平均値が比較的高い地区(雨水混入比の平均が3.0以上)を詳細調査(TVカメラ調査)箇所として抽出した。

なお、雨水混入比は下式により算出した。

$$\text{雨水混入比} = \frac{\text{降雨期間中の最大流量 (m}^3/\text{hr)}}{\text{当該時間帯の晴天時流量 (m}^3/\text{hr)}}$$

(3) 改築・修繕箇所の選定¹⁾

上記地区において、詳細調査として本管及び取付管のTVカメラ調査を実施した。その結果から、雨天時浸入水対策に効果が高いと考えられる異常箇所(破損、クラック、ズレ・隙間、浸入水)を抽出し、改築・修繕箇所を選定した。

表-6に調査地区における改築・修繕箇所数の一覧を示す。表より、対策効果が大きいと考えられる

表-5 雨水混入比算定結果

項目		面積 (ha)	雨水混入比		
			平均	最大	最小
調査箇所	18-3	3.0	7.61	21.54	1.52
	18-4	3.0	3.55	5.29	2.21
	18-5	9.0	1.16	1.26	1.02
	18-6	2.0	4.41	7.48	2.31
	18-9	5.0	3.24	6.32	1.35
	18-10	10.0	3.03	5.24	1.68
	18-11	3.0	27.90	121.32	2.31
	18-17	1.0	3.71	7.28	1.74
	平均	36.0	6.83	121.32	1.02
未調査箇所平均		50.0	1.72	6.57	0.75

表-6 改築・修繕箇所数一覧

地区No.	改築・修繕箇所			備考
	本管	取付管	計	
18-3	8	2	10	
18-4	3	4	7	
18-6	8	16	24	
18-9	12	10	22	
18-10	11	2	13	
18-11	15	8	23	
18-17	11	1	12	
計	68	43	111	

箇所として、本管（管体が完全に破損している、継手が完全にずれているなど）が 68 箇所、取付管（本管と完全に離れているなど）が 43 箇所、合計 111 箇所を選定した。

3-4. 事後調査 ～雨天時浸入水対策効果の検証～

上記において抽出した異常箇所のうち、本管部について、反転工法、形成工法等により改築・修繕を実施した後、各地区の雨天時浸入水削減効果を定量的に評価するために、一部地区に対して事後調査を実施した。

事後調査は、「3-1. (1) 実測調査」と同様に、降雨量と管内流量を 1 ヶ月間測定した。調査地点は No. 18-4、18-6、18-11 の 3 地区とし、晴天時・雨天時の管内流量について調査した。

表-7 事後調査諸元

項目	事後調査諸元
調査地区No.	18-4、18-6、18-11
調査期間	1ヶ月間
調査項目	降雨量、管内流量

4. 本手法による雨天浸入水対策の対策効果の検証

改築・修繕前後の対策効果について検証する。検証は、改築・修繕計画策定時に実施した実測調査と事後調査の結果とを比較することにより検証する。

(1) 検証方法

改築・修繕前後の実測調査結果から、雨天時における雨水浸入水量を算定し、これと総降雨量に関する相関図を作成することにより、対策効果を検証した。

以下に雨水浸入水量の算定式を、算定イメージを図-9 に示す。

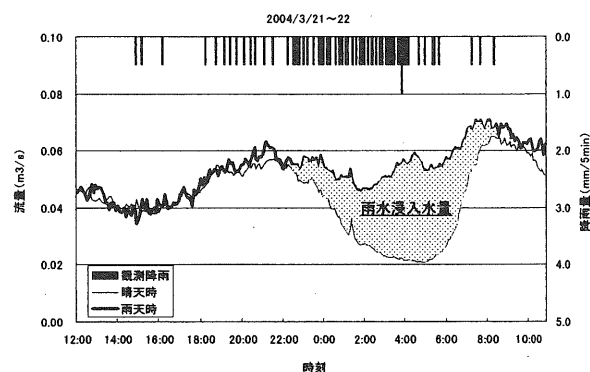


図-9 雨水浸入水量の算定イメージ

$$\text{雨水浸入水量} = \Sigma [\text{雨天時流入水量} - \text{該当時間の晴天時平均流量}]$$

(2) 検証結果

表-8 に各地区の改築・修繕前後の近似式の一覧及び計画降雨時の雨水浸入水量を、図-10 にその一例を示す。

これをみると、各地区とも雨水浸入水量が低減しており、対策前後の雨水浸入水量の削減率としては 42.2～78.4%、平均 67.8% となった。

ここで、浸入水対策効果について評価する。表-9 に No. 18 ブロックにおける雨天時浸入水対策の評価結果を示す。

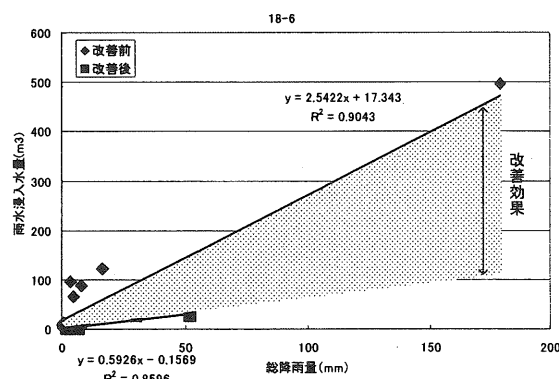


図-10 改築・修繕前後の改善効果 (No.18-6)

計画降雨時の処理場流入量に対する A ランク対策目標は、4,000m³ となる（表-4 参照）。A ランク対策は No. 10、18 の 2 ブロックにおける対策であることから、対策目標を面積按分することにより、No. 18 ブロックの対策目標量は 2,797m³ となる。表-8 より、雨天時浸入水対策箇所 1 箇所当たりの改善効果は平均 21.7m³/箇所であることから、取付管対策が本管対策と同様の効果があると想定すると、No. 18 ブロック全体である 111 箇所の対策を実施した場合の削減量は 2,408.7m³ となる。これを対策目標量と比較すると 86% 程度削減したこととなり、No. 18 ブロックの 4 割程度の区域における雨天時浸入水対策で大幅な効果を得ることができたといえる。

表-8 対策前後の雨天時浸入水対策効果の検証結果

項目	本管対策 箇所数 (箇所)	近似式		計画降雨時の 雨水浸入水量(m ³)		改善効果		
		対策前	対策後	対策前 (A)	対策後 (B)	A-B (m ³)	削減率	削減効果 (m ³ /箇所)
18-4	3	$y=1.5243x+17.271$	$y=1.0034x-1.2267$	156.8	90.6	66.2	42.2%	22.1
18-6	8	$y=2.5422x+17.343$	$y=0.5926x-0.1569$	250.1	54.1	196.0	78.4%	24.5
18-11	15	$y=4.5638x-29.858$	$y=1.1718x+4.1177$	387.9	111.4	276.5	71.3%	18.4
平均	8.7	-	-	264.9	85.4	179.6	67.8%	21.7

表-9 No.18ブロックにおける雨天時浸入水対策の評価

ブロックNo.	排水面積 (ha)	削減目標 (m ³) (面積按分)	対策効果※1 (m ³)	削減割合
10	37	1,203.0	-	-
18	86	2,797.0	2,408.7	86%
合計	123	4,000.0	2,408.7	60%

※1:21.7m³/箇所(表-8改善効果平均)×111箇所(表-6)

5. おわりに

本検討においては、流出解析モデルを用いた雨天時浸入水対策基本計画の策定、基本計画を用いた改築・修繕計画の策定、改築・修繕計画で抽出した箇所を改築・修繕したことによる対策効果の検証を行った。

本検討では、以下のことが確認できた。

- ① 流出解析モデルを用いて雨天時浸入水対策基本計画を策定することで、対策効果の高いブロックが抽出できるため、改築・修繕計画を立案するエリアを限定することが可能である。
- ② 基本計画に基づく改築・修繕計画の策定により、ブロック内でも雨天時浸入水対策効果の高い地区が抽出でき、詳細調査（TVカメラ調査）箇所を限定することができる。
- ③ 雨天時浸入水対策前後の実測調査結果からみると、少ないエリアで大きな効果を得ることが可能であり、本手法による雨天時浸入水対策は有効な手法といえる。

本検討における対策効果の検証では、取付管の対策効果を本管の対策効果と同程度と仮定していることから、今後は、取付管の改築・修繕前後の実測調査結果に基づいた対策効果の検証を行うことにより、本手法による雨天時浸入水対策効果の評価の正確性を向上させ、他都市への適用を図っていきたい。

《参考文献》

- 1) 下水道管路施設改築・修繕に関するコンサルティング・マニュアル（案）第二回改訂版 平成16年1月 管路診断コンサルタント協会