

排水機場における新たな改修計画の検討手法

EXAMINATION TECHNIQUE OF THE NEW REPAIR PLAN AT DRAINAGE PUMP STATION

大澤陽介 *・石川紳二 *・山崎祐一 **・涌井 健 * 川越典子 ***

Yosuke OHSAWA, Shinji ISHIKAWA, Yuichi YAMASAKI, Takeshi WAKUI and Noriko KAWAGOE

As for the drainage pump station, the need of deterioration measures is growing more and more. However, the situation that repair work is suffering includes a recent curtailed budget under becoming it. We examined the new repair plan technique that examined cost-effectiveness from the calculation of the expense to need for calculation and repair of the benefit by the inland waters flooding analysis while. We maintained a conventional drainage function as for the thing of such a background, and improving.

Keywords : *drainage pump station, repair plan, maintenance plan, cost effectiveness, cost reduction, functional improvement, analysis of inundation*

1. はじめに

国土交通省、農林水産省及び地方自治体が管理する排水機場は、建設後、30 年以上経過している機場も少なくないため、老朽化対策を施すべき排水機場が増加傾向にある。

従来、排水機場改修工事は、機器の耐用年数を目安にして、機器更新が行われてきた。しかしながら、老朽化施設が多数となった現在、耐用年数を目安に更新・修繕を行うと施工費用が膨大になり、近年の緊縮財政下では改修工事計画の立案が難しい状況にある。

一方で、国土交通省の統計¹⁾によると、排水機場が多く建設された 30 年前に比べ 1 時間に 50mm を超える降雨や 1 日に 200mm を超える降雨の回数が増加傾向にあり、集中豪雨が増え、内水氾濫の危険性は建設当初の想定より高まっている。

このような緊縮財政と集中豪雨頻度の増加のもと、効果的な改修計画の立案が必要であり、新たな立案手法の検討が望まれている。

近年で最も被害の大きかった洪水をモデルとした内水氾濫解析を行い、排水機場が機能することによる被害軽減額（＝総便益（B））と、機場改修に要する費用（C）を求め、費用対効果（B/C）を算出し、目標の費用対効果が発現可能な範囲で、改修計画を立案する新たな手法を検討したので、ここに報告する。

2. 対象施設概要

対象施設は機器の老朽化が進行し、近く改修が必要とされる以下に示す排水機場とした。

排水機場名：N 排水機場

（国土交通省 九州地方整備局 管内）

建設目的：本川左岸に支川が合流する地点に設置され、内水排除を目的としている。

表－1 N 排水機場概要

建設年		昭和 48 年（1973 年）度完成 ※建設後 39 年経過
計画排水量		5.0m ³ /s
主ポンプ	形 式	横軸斜流ポンプ
	吐出量	2.5 m ³ /s
	台 数	2 台

3. 検討概要

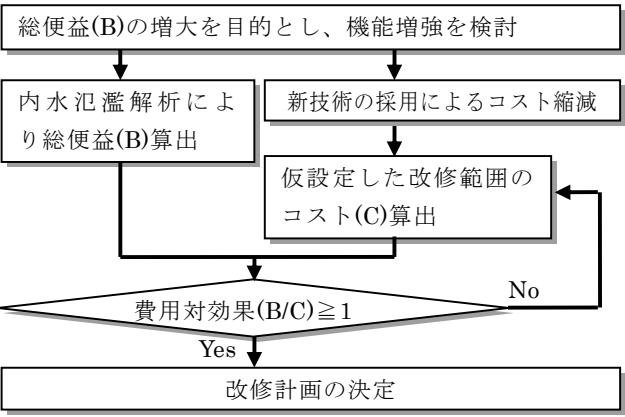
従来の排水機場の改修（更新・修繕）計画は、建設当初の排水量を維持し、既設機能と同等な製品で更新・修繕を行うことを前提とした、ライフサイクルコスト（LCC）の算出による検討が殆どであった。

今回の検討では、必要排水量を機械的な側面と水理的な側面から検討し決定した。水理的な解析手法として内水氾濫解析を用い想定被害軽減額を算出し、機場改修に要する費用との対比による費用対効果の算出から改修範囲（改修する機器）を検討し改修計画を立案した。改修計画の概略検討フローを図－1 に示す。

* プラント事業部 機械・情報通信技術部

** 流域・防災事業部 河川・水工部

*** 福岡支店 技術第一部



図－１ 概略検討フロー

検討内容は、以下のとおりである。

①総便益（B）の増大を目的とし、機能増強を検討

機能増強（排水量増量）することにより、浸水被害が軽減される。したがって、総便益（B）の増大が期待できるため、機能増強の検討を行う。

②内水氾濫解析より総便益（B）算出

機能増強（排水量増量）を踏まえて、内水氾濫解析から総便益（B）を算出する。

③新技術の採用によるコスト削減

総便益（B）の算出と並行し、総コスト（C）の算出を行う。総コスト（C）の算出にあたり、新技術を適用し、コスト削減を図る。

④仮設定した改修範囲の総コスト（C）算出

老朽化した機器や新技術の適用により更新が必要な機器を優先し、改修範囲を決定する。その改修範囲における、更新や修繕の改修計画を立案し、総コスト（C）の算出を行う。

⑤「費用対効果（B/C）≥ 1」

費用対効果（B/C）を算出し、B/C が 1 以下であれば、費用対効果が見込めないため、改修範囲を見直し、総コスト（C）を再度算出する。B/C が 1 以上になるまで、改修範囲を検討し、総コスト（C）の算出を繰り返す行う。

⑥改修計画の決定

費用対効果（B/C）が 1 以上となれば、経済的に事業の有効性が認められる。したがって、その案を改修計画とする。

4. 機能増強（排水量増量）の検討

(1) 機械的な側面から求められる排水量

機能増強は、内水の排水能力を向上させ、内水氾濫の浸水被害の軽減効果がある。機能増強として主ポンプの上位機種への更新やポンプ増設では、費用が多額となり費用対効果が 1 以上となることが見込めないケースが多い。したがって、既設主ポンプを流用し、ポンプの回転数を増速することによる排水量増量を図る工法を検討した。ただし、排水量の増量に比例し、便益が増加するものの、過度に排

水量を増量した場合、ポンプケーシング内にキャビテーションが発生し排水量の減少や故障の原因となる。そのためキャビテーションが発生しない範囲での最大量を排水量とした。

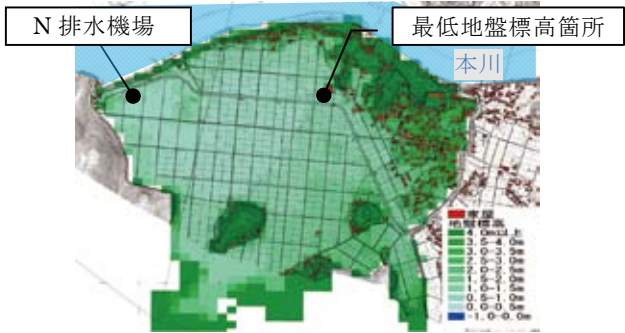
既設ポンプの性能曲線よりキャビテーションが発生しない最大排水量を算出した結果、ポンプ 1 台あたりの吐出量を現状の 2.5m³/s から 2.9m³/s まで約 16% の増量が可能であることを確認した。したがって、本排水機場はポンプ 2 台設置であることから、機場全体での機能増強量は、0.8m³/s で総排水量は 5.8 m³/s が期待された。

(2) 水理的な側面から求められる排水量

水理的な側面から求められる排水量は、内水氾濫解析から必要な排水量を算出した。

1) 対象地区地盤高

内水氾濫解析の対象地区の地盤高を図－2 に示す。



図－2 対象地区地盤標高

2) 解析条件

内水氾濫解析の諸条件を表－2 に示す。

表－2 内水氾濫解析諸条件

対象洪水名	昭和 51 年 7 月洪水 (ピーク水位が最も高い洪水を選定)
内水解析モデル	1 池モデル※ ¹
24 時間雨量	323.6mm
本川（本川）流量	5120m ³ /s
目標水位※ ²	T.P.+1.95m ※ ³

※ 1：「1 池モデル」とは、内水区域を 1 つの池と見なし、流域に降った降雨による流入量と本川に接続する排水施設を通じての排水量の出し入れにより、池（内水区域）の貯留量を算出し、これを水位～流量曲線に当てはめ、内水位を算出する方法

※ 2：目標水位は、対象地区内の全ての一般家屋が、床上浸水しない水位と設定した

※ 3：T.P.+0.00 m＝東京湾中等潮位

3) 内水氾濫解析のフロー

検討する排水量ごとに内水氾濫解析を行い、内水のピーク水位以下となる排水量を算出した。その内水氾濫解析の検討フローを図－3 に示す。

内水氾濫解析は、既存資料から内水氾濫モデルを構築し、目標水位は対象地区内の全ての一般家屋が、床上浸水しない水位を設定した。これらの条件を基に、内水位が目標水位を超えない条件を満足するように排水量を変化させ、繰り返し計算により排水量を確定した。

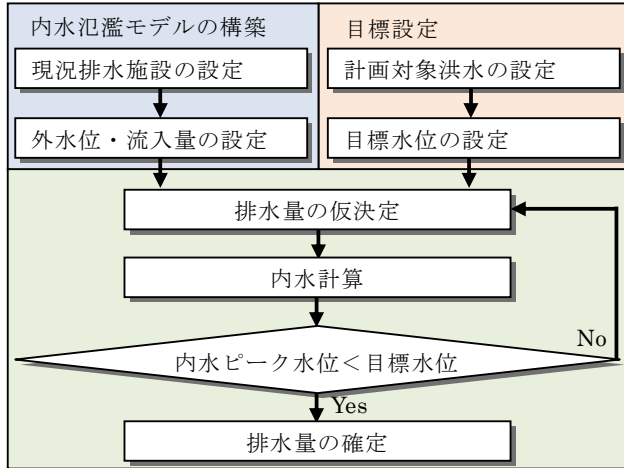


図-3 内水氾濫解析フロー

4) 内水計算結果

各流出量（＝排水量）における内水計算結果を図-4に示す。図-4は、対象洪水における外水位と内水位の時間経過の推移を排水量毎に表す。表-3に各排水量のピーク水位を示す。また、各排水量の内水氾濫状況を表-4に示す。解析結果の概要は以下のとおりである。

①施設故障時：総排水量 0.0 m³/s

ポンプ故障時のピーク水位（T.P+2.21m）は目標水位（T.P+1.95m）を超過した。よって、一般家屋、事業所に床上浸水被害が発生する。

②施設増強前：総排水量 5.0 m³/s

ポンプ増強前（既設）のピーク水位（T.P+1.95m）は目標水位（T.P+1.95m）と同水位であった。したがって、一般家屋、事業所に床上浸水被害が発生する可能性がある。

③施設増強後：総排水量 5.8 m³/s

ポンプ増強後のピーク水位（T.P+1.91m）は目標水位（T.P+1.95m）に達しなかった。よって、一般家屋、事業所に床上浸水被害発生しない。内水氾濫解析より、施設を増強し総排水量 5.8 m³/s にすることにより床上浸水被害が発生しないことを検証し、施設の増強量の妥当性を確認した。

表-3 ピーク水位一覧

単位：T.P.

故障時 ピーク水位	増強前 ピーク水位	増強後 ピーク水位	目標水位
+2.21 m	+1.95 m	+1.91 m	+1.95 m

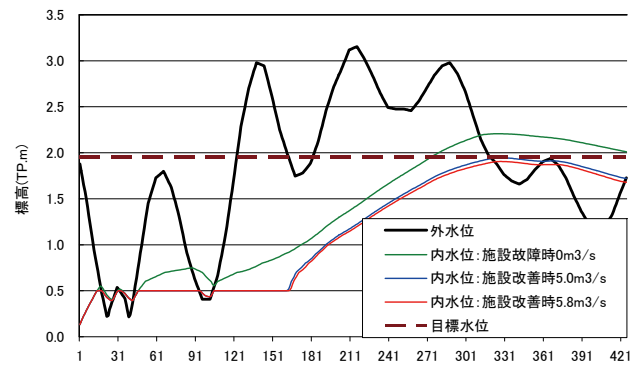


図-4 内水計算結果

表-4 内水氾濫状況

項目	内水区域図
施設故障時 0.0 m³/s	内水氾濫水位 2.0～5.0m 未満の区域が家屋のある地域に及んで、床上浸水被害が発生している。
施設増強前 5.0 m³/s	床上浸水が発生している地域 内水氾濫水位 0.5m 以上の区域が施設故障時に比べ減少しているが、一部で家屋の床上浸水が発生している。
施設増強後 5.8 m³/s	対象区域において、家屋の床上浸水が解消される。

凡例（内水氾濫水位）

0.5m 未満の区域	1.0～2.0m 未満の区域
0.5～1.0m 未満の区域	2.0～5.0m 未満の区域

5. 新技術（機場の無水化）の採用によるコスト縮減

主原動機等の大型機器は移動に伴い発熱し、そのままではオーバーヒートするため冷却する必要がある。N排水機場は、冷却水の給水により機器の熱を吸収・発散させているため、冷却水用の上水設備が不可欠であるが、建設時にはなかった機場無水化技術を採用することにより、水冷・

封水系統が不要となり、設備の簡素化が図れ、信頼性の向上及びコスト削減効果が期待できる。

検討の結果、機場の無水化により、初期投資費及び改修後 50 年の維持管理費を含めて、約 1% のコスト削減が可能となった（表－5 参照）。なお、表－5 は、給水型の合計金額を 1 とし、各費用を示した。

また、無水化技術により設備の簡素化（機器点数の削減）によって、機場全体の故障率が低下し設備の信頼性向上が期待できる。無水化を想定した場合の機器の仕様を表－6 に示す。

表－5 無水化コスト比

項目	給水型（既設）	無水化型
初期投資費	0.27	0.33
維持管理費（50 年）		
修繕工事	0.28	0.23
更新工事	0.45	0.43
合計金額	1.00	0.99

表－6 無水化機器仕様

項目	給水型（既設）	無水化型
主ポンプ （軸封装置）	グランドパッキン	無注水軸封装置
主原動機	水冷式ディーゼル エンジン	ラジエータ式 ディーゼルエンジン
満水系統 （真空ポンプ）	水封式真空ポンプ	乾式真空ポンプ
減速機	水冷式 歯車減速機	空冷式 歯車減速機

6. 総コスト（C）の算出

総コスト（C）は、機場建設費、設備改修費、改修後 50 年間の設備維持管理費を求め、それらを現在価値換算し、その合計とした。

$$\begin{aligned} \text{総コスト（C）} &= \text{機場建設費} \\ &+ \text{設備改修費} \\ &+ \text{設備維持管理費（改修後 50 年間）} \end{aligned}$$

（1）機場建設費

総コスト（C）は、設備改修費や設備維持管理費のみでなく排水機場建設費用も含めて計上し、排水機場建設から改修までの一連のイベントを一体として評価することで、施設改修による効果が過大評価になることを避けた。

（2）設備改修費

設備改修費を想定するために計上した機器を表－7 に示す。

表－7 主な改修機器

施工区分	機器名	施工内容	台数
無水化	主ポンプ	改造	2 台
	真空ポンプ	更新	2 台
	冷却水ポンプ	撤去	3 台
無水化及び 簡素化	監視操作 制御設備	更新	1 式
機能増強	主原動機	更新	2 台
老朽化による更新	可とう管	更新	2 本

無水化：無水化のため、更新または改造が必要な機器及び不要になった機器の撤去

機能増強：機能増強（排水量増量）のため、更新が必要な機器

老朽化による更新：近い将来に更新または修繕が必要と予想される機器

（3）設備維持管理費

機器・部品の更新・修繕周期は「河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）2008.3」²⁾を参考にし、耐用年数を迎えた時点で機械・電気設備を同機能・同性能品に更新・修繕する方針とした。また、維持管理費は、「治水経済評価マニュアル（案）2005.4」³⁾に準拠し、50 年間に更新・修繕に要する費用を計上した。

（4）現在価値化

各費用は、2012 年現在を基準とし社会的割引率を 4% とし、以下の式により現在価値換算した。

$$C_0 = C_t / (1+r)^t$$

C_0 ：基準年度に現在価値化した費用
 C_t ：t 年度の費用
r：割引率（＝4%）

（5）総コスト（C）

総コスト（C）を 1 とした場合の各コストの費用の割合を表－8 に示す。

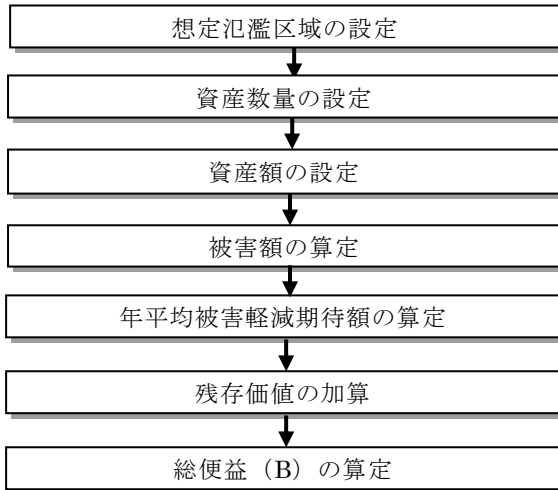
表－8 総コスト（C）

初期 建設費	設備改修 費用	設備維持 管理費用	総コスト（C） （合計）
0.60	0.18	0.22	1.00

7. 総便益 (B) の算出

(1) 総便益 (B) 算定フロー

改修工事を全く実施しない状態を継続した場合、機器は老朽化等により故障し、機場の機能は喪失する。総便益は、その排水機能喪失状態（排水量：0.0m³/s）の想定被害軽減期待額が、排水機能を有し増量した状態（排水量：5.8 m³/s）での想定被害軽減期待額との差額とする。その総便益の算定フローを図－5 に示す。



図－5 総便益 (B) 算定フロー

(2) 資産数量、資産額の設定

資産数量は、基礎となる家屋数および事業所数を 1/2,500 地形図及び住宅地図より図上計測し、これに地方自治体がまとめている住宅・土地の調査資料からの各種統計情報を乗じて算定した。

資産額は、「各種資産評価単価及びデフレーター 治水経済調査マニュアル（案）2010.2」⁵⁾ に示される平成 21 年評価額を用いるものとした。

(3) 年平均被害軽減期待額

当該地域の資産数量、資産額の設定の結果と内水氾濫解析から導出した浸水地域の結果を踏まえ、1 回の洪水の想定被害額（被害軽減額）を算定した。この結果から機能増強することにより、約 15%の被害軽減が期待できた。

年平均被害軽減期待額算出は、洪水・施設ケース毎に算定した想定被害額（被害軽減額）に洪水の生起確率を乗じ、計画外力規模までの被害軽減期待額を累計することにより年平均被害軽減期待額の算定を行った。年平均被害軽減期待額算定式を表－9 に示す。

表－9 年平均被害軽減期待額算定式

洪水流量規模	年平均超過確率	洪水流量に対応する想定被害額	$Q_1 \sim Q_{n+1}$ の年平均超過確率	$Q_1 \sim Q_{n+1}$ の年平均被害額	超過確率×平均被害額
Q_1	Q_1	$L_1 = 0$	$N_1 - N_{10}$ $\left(= 1 - \frac{1}{10}\right)$	$\frac{L_1 + L_{10}}{2}$	$\frac{(N_1 - N_{10}) \times (L_1 + L_{10})}{2}$
Q_{10}	$N_{10} = \frac{1}{10}$	L_{10}	$N_{10} - N_{20}$ $\left(= \frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right)$	$\frac{L_{10} + L_{20}}{2}$	$\frac{(N_{10} - N_{20}) \times (L_{10} + L_{20})}{2}$
Q_{20}	$N_{20} = \frac{1}{20}$	L_{20}	$N_{20} - N_{30}$ $\left(= \frac{1}{20} - \frac{1}{30}\right)$	$\frac{L_{20} + L_{30}}{2}$	$\frac{(N_{20} - N_{30}) \times (L_{20} + L_{30})}{2}$
Q_{30}	$N_{30} = \frac{1}{30}$	L_{30}	$N_{30} - N_{40}$ $\left(= \frac{1}{30} - \frac{1}{40}\right)$	$\frac{L_{30} + L_{40}}{2}$	$\frac{(N_{30} - N_{40}) \times (L_{30} + L_{40})}{2}$
Q_{40}	$N_{40} = \frac{1}{40}$	L_{40}	$N_{40} - N_{50}$ $\left(= \frac{1}{40} - \frac{1}{50}\right)$	$\frac{L_{40} + L_{50}}{2}$	$\frac{(N_{40} - N_{50}) \times (L_{40} + L_{50})}{2}$
Q_{50}	$N_{50} = \frac{1}{50}$	L_{50}			

(4) 残存価値の算定

残存価値は、評価対象期間終了時点において評価できるものについて算定する。

今回対象とする排水機場については、治水機能が低下しないように維持管理を行うため、評価対象期間終了時まで価値は低下しないものとした。以下に算定式を示す。

$$C_{S+50}^1 = \frac{\sum_{t=0}^{S-1} C_t^1}{(1+r)^{S+49}}$$

C_{S+50}^1 : 評価対象期間終了時点の残存価値

C_t^1 : 機械・電気設備等の建設費

(用地費、補償費、間接経費、工事諸費を除く)

S : 整備期間

r : 割引率 (=4%)

8. 費用対効果 (B/C)

仮決定した改修範囲としての総コスト (C) を 1.00 としたとき、対応する総便益 (B) は 3.30 となった。つまり、費用対効果 (B/C) が 3.30 となり、1 を上回った。

N 排水機場においては、近年で最もピーク水位の高い検討対象洪水に対して、床上浸水を発生させないことを目標とした排水量増強を図った場合、費用対効果が大きくなる。なお、従来の経年に伴う更新・修繕の改修方法では、総コスト (C) が増し、総便益 (B) が低くなるため、費用対効果 (B/C) は低くなる。

9. まとめ

従来、排水機場の更新・修繕計画において実施してきた経年に伴う更新・修繕方法では、総コスト (C) ばかりが増加し、総便益 (B) が変化しないことから費用対効果 (B/C) が低くなる傾向にあった。さらに従来の検討では、事業自

体の効果を検討することがそもそも少なかった。

本検討で費用対効果の算出から事業の有効性を評価しつつ、無駄のない改修計画を立案する手法を検討した。また、本検討では、排水機場 1 施設の設備のみを対象としたが、複数機場を併せて検討することも可能である。したがって、より事業規模の大きい改修計画へ対応も期待できる。

この新たな改修検討手法により、排水機場の老朽化対策の一助になることを期待する。

参考文献

- 1) 国土交通省：地球温暖化とわたしたちの暮らし～地球温暖化対策に向けた国土交通行政の展開～、2008

- 2) 国土交通省 総合政策局、河川局：河川ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル（案）、2008
- 3) 国土交通省 河川局：治水経済調査マニュアル（案）、2005
- 4) 総務省 統計局：平成 20 年住宅・土地統計調査
- 5) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案） 各種資産評価単価及びデフレータ、2010
- 6) （財）国土開発技術研究センター：河川ポンプ設備更新検討マニュアル、1996
- 7) （社）河川ポンプ施設技術会：揚排水ポンプ設備設計指針（案）同解説、2001
- 8) （社）河川ポンプ施設技術会：揚排水機場整備点検・整備指針（案）同解説、2010