

# 「六角川水系緊急治水対策プロジェクト」における高橋排水機場増設検討について ～既存施設を生かした洪水被害軽減対策～

河上 誠二<sup>1</sup>・三浦 成治<sup>1</sup>・向窪 広幸<sup>1</sup>・武富 光一<sup>2</sup>・高森 賢太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 武雄河川事務所 管理課（〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町昭和 745）

<sup>2</sup>九州地方整備局 武雄河川事務所 調査課（〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町昭和 745）

六角川水系では、令和元年8月の水害を踏まえ「六角川水系緊急治水対策プロジェクト」を策定し、被害の軽減に向けた治水対策を推進している。本プロジェクトの一環である、六角川水系武雄川の高橋地区における高橋排水機場増設の検討を行うあたり、既存ポンプ設備の能力を最大限に生かす事でコスト縮減及び治水効果の早期発揮を目的とした設計をおこなったので報告する。

**キーワード** 六角川水系緊急治水対策プロジェクト、高橋排水機場増設、既存ポンプ設備、コスト縮減

## 1. はじめに

令和元年8月豪雨では、佐賀県と福岡県、長崎県を中心として九州北部の広い範囲で前線の影響による線状降水帯が発生し、各地で記録的な大雨となり大きな災害や浸水被害が発生した。六角川水系では本水害を踏まえ「六角川水系緊急治水対策プロジェクト」をとりまとめ、被害軽減に向けた治水対策を推進している。

六角川水系武雄川の高橋地区では平成9年度に高橋排水機場「ポンプ規模  $Q=50\text{ m}^3/\text{s}$ 」が完成し、内水被害軽減に寄与しているところであるが、今回の水害では既存のポンプでの対応が困難であった。



写真-1 R1.8月出水状況

本プロジェクトでは、整備計画目標にあわせて確率規模（1/10）の内水に対して、高橋地区の床上浸水被害の解消を目的としている。この目標を現実にするためには、既設の高橋排水機場の既存排水能力  $50\text{ m}^3/\text{s}$  に加え、 $11\text{ m}^3/\text{s}$  の排水能力を増設する必要がある。

$11\text{ m}^3/\text{s}$  増設の検討を進める上で、新規ポンプ設備設置案と既存ポンプ設備の施設改良案（ポンプ能力の増強）の比較を行った結果、既存ポンプ設備の能力を最大限生かすことで、コスト縮減及び治水効果の早期発揮を目的としたポンプ能力増強が可能となったので報告する。

## 2. 既設ポンプ設備諸元

総排水量	$50.0\text{ m}^3/\text{s}$
ポンプ形式	立軸軸流ポンプ
ポンプ台数	3台（1台あたり吐出量 $16.7\text{ m}^3/\text{s}$ ）
ポンプ口径	$2,600\text{ mm}$
全揚程	$2.9\text{ m}$
主原動機	ガスタービン（ $807\text{ kW}$ ）

### 3. 増設方針の比較検討

#### (1) 増設の比較検討

増設方針を表-1で比較を行った。

表-1 増設方針比較表

比較ケース	Case 1 (新規増設)	Case 2 (新規増設)	Case 3 (既設増強)			
50m <sup>3</sup> /s	既設	既設	既設			
11m <sup>3</sup> /s	高橋川右岸側	高橋川左岸側	既設			
イメージ図						
事業効果	自然観察公園に新設するため用地費不要であるが、新規11m <sup>3</sup> /s増設分の費用が必要	用地買収、新規11m <sup>3</sup> /s増設分の費用が必要	用地費用不要、大規模な土木工事不要、既存の機械・電気設備の更新で迅速な事業を行える。			
概算工事費	土木	21.0億	土木	19.7億	土木	0.1億
	機械	25.1億	機械	24.8億	機械	21.0億
	電気	—	電気	—	電気	—
	営繕	1.8億	営繕	1.8億	営繕	—
	用地	0.3億	用地	3.3億	用地	—
合計	48.2億	合計	49.6億	合計	21.1億	
評価	△	×	◎			

Case1及びCase2の場合、全ての構造物を新規に増設する必要がある。Case2では用地買収も必要となり、用地交渉・調査・設計を必要とするため、事業が遅れる可能性がある。Case3においてはいずれと比較して、大規模構造物を新規に増設する必要がないため、27~28億円程度のコスト縮減を図ることが可能となる。

また、新規でポンプ台数を増やすこともないため、設備の点検・整備費も含めコスト面で有利となる。

よって今回、Case3の既設ポンプ増強での事業をするめることとした。

#### (2) 事業計画

表-1のCase1、Case2のいずれかで施工する場合、効果が発揮されるのは早くして令和6年3月となる。今回、表-2のとおり、I~III期で事業を計画することで、毎年排水能力約3.7m<sup>3</sup>/sの効果が発揮することが可能となった。また、現場施工を非出水期に行うことで、出水期間中においては、ポンプ全台数の運転が可能となる。

表-2 事業計画表

排水機	R2年度												R3年度												R4年度												R5年度												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
設計	←												←												←												←												
I期	工場	←												←												←												←											
	稼働	←												←												←												←											
II期	工場	←												←												←												←											
	稼働	←												←												←												←											
III期	工場	←												←												←												←											
	稼働	←												←												←												←											

### 4. 既存ポンプ排水量増強に伴う各機器の検討

#### (1) 既設ポンプの劣化状況

高橋排水機場における整備実績は下記のとおり。

- ポンプ及び減速機 整備実績なし
- ガスタービン 2006年、2010~12年整備
- 制御設備 軽微な部品交換のみ

2017年に行った点検報告を表-3~4、図-1示す。

表-3 点検結果報告

項目番号	点検部品名	点検内容	結果	調査状況・補修方法
1	吸込みライナ (SS400+SUS304)	内側 流水部の塗装面を目視検査	×	・溶接部付近に孔食及び錆コブが点在していた。(写真No.1-3、1-4参照) ・ケレン後、エポキシ系樹脂充填し再塗装を行い継続使用してください。
		外側 流水部の塗装面を目視検査	×	・コンクリートとの境界部や、溶接部付近、天端角部に孔食及び錆コブが点在していた。(写真No.1-5~1-10参照) ・ケレン後、エポキシ系樹脂充填し再塗装を行い継続使用してください。
		室内側 流水部の塗装面を目視検査	×	・天・地両翼端部に、比較的大きな腐食が確認された。(写真No.1-11~1-13参照) ・(天側翼端 腐食部最大深さ8mm、地側翼端 腐食部最大深さ7mm) ・ケレン後、エポキシ系樹脂充填し再塗装を行い継続使用してください。
2	インペラハブ (SGS13)	磨耗・腐食状況目視検査	○	異常なし
3	インペラケーシング (SGS13)	流水部 磨耗・腐食状況目視検査	○	異常なし
4	インペラブレード (SGS13)	磨耗状況目視検査	○	異常なし
5	吐出シロワル (SGS13)	流水部 磨耗状況目視検査	○	異常なし
7	吐出ライナ (SS400)	塗装面の目視検査	○	異常なし
8	吊下げケーシング (SS400)	流水部 塗装面の目視検査	△	・全体的に小さな錆コブの点在があります。 ・ケレン後、深さ3mm以上の孔食の進行が認められた場合は、エポキシ系樹脂充填後、再塗装を行い継続使用してください。 ・錆の発生のみで腐食の場合は、ケレン後再塗装のみ行ってください。
10	ヘッドカバー (SS400)	流水・流水部 塗装面の目視検査	△	・マンホールの接合部に部分的な塗装の剥離とそれに伴う錆の発生が見受けられます。 ・ケレン後、再塗装を行い継続使用してください。
20	保護管 (SS400)	非流水部 目視検査 塗膜の有無目視検査	○	異常なし
		流水・流水部 塗膜・塗装剥離の目視検査	△	・二つ割部及び、ヘッドカバーとの結合部のボルト頭部に錆の発生が見受けられました。 ・ケレン後、再塗装を行い継続使用してください。

結果欄：○ 正常な腐食 ケレン後エポキシ系樹脂充填後 再塗装  
△ 軽微な腐食 ケレン後 再塗装  
× 腐食ほとんどなし  
— 対象外

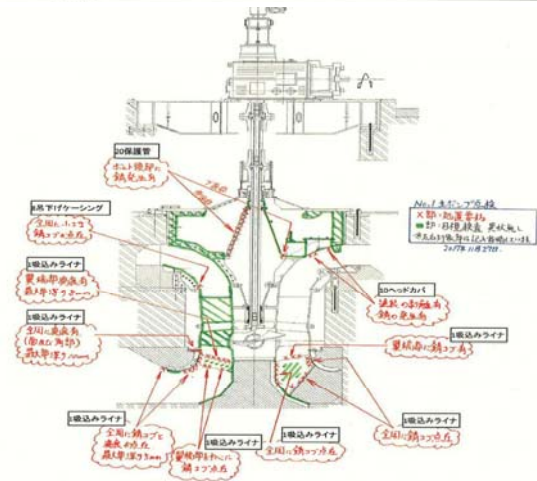


図-1 ポンプ劣化状況

表-4 インペラとケーシングの隙間測定結果

図2-1 No.1主ポンプ インペラとケーシングの隙間測定結果

機名	φ2600mm立軸可動型回転流ポンプ	測定日	平成28年11月27日
機番	No.1	測定者	
ポンプ番号	高橋排水機場	機種	16.7m <sup>3</sup> /s × 2.5m × 100.0mm × 1.500PS
測定対象	マンホールケーシング		

インペラ径	A部位	B部位	C部位
1	4.30	4.50	4.10
2	4.30	4.70	4.30
3	3.80	4.20	3.80
4	4.10	4.30	3.80

設計値 7.30~4.00mm  
判定 継続使用可能

注意事項：測時は設計時の3倍程度(ルーファ基準)の排水量で実施せよ。実用排水量がなければ使用可能と判定する。

※1 天側より測定  
※2 C部 地側より測定  
※3 図面位置 -21°

(所見) 回転部に大きな異音無く、良好な状態でした。

表-3・図-1に示すとおりライナー部に腐食が確認されたが、ポンプ本体の主軸やインペラは良好な状態であった。

表-4ではポンプのインペラとケーシングの隙間測定を行っているが摺動面に大きな損傷もなく、隙間は設計値の範囲内であった。

### (2) 排水量増強に伴うポンプ揚程の決定

排水量増強に伴い、全揚程見直しを行う。

図-2のとおり、ポンプ実揚程との合計損失により、ポンプ全揚程は3.2mとする。

$$\begin{aligned} \text{ポンプ全揚程 (Hr)} &= \text{ポンプ実揚程 (機場実揚程 + スクリーン等損失 + 吐出器管損失)} + \text{ポンプ回り損失} \\ &= 2.8\text{m} (2.1\text{m} + 0.1\text{m} + 0.6\text{m}) + 0.4\text{m} \\ &= 3.2\text{m} \end{aligned}$$

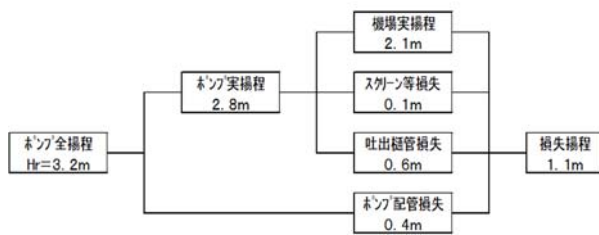


図-2 ポンプ全揚程模式図

### (3) ポンプ性能曲線

今回、1台あたりの排水量を既設16.7m<sup>3</sup>/sから20.4m<sup>3</sup>/sに増強するために、ポンプ回転速度100% (108.9min<sup>-1</sup>) から113% (123min<sup>-1</sup>)へ増加する必要がある。この場合の予想性能曲線を図-3に示す。

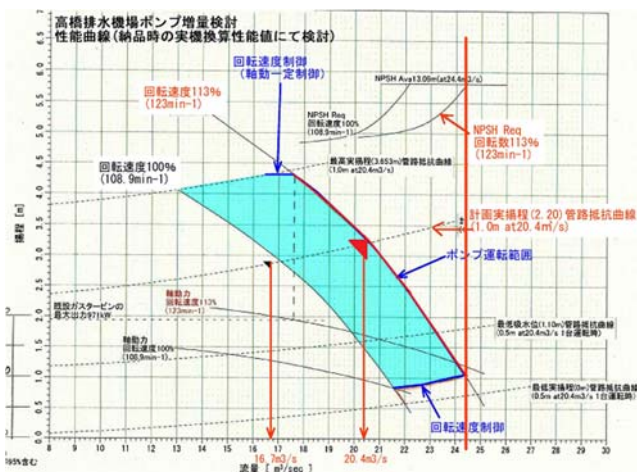


図-3 高橋排水機場性能曲線

### (4) 既存機器の検討

#### a) 主ポンプ

ポンプ回転速度の増加に伴い、キャビテーションについて検討が必要である。既設回転速度100% (108.9min<sup>-1</sup>) ではキャビテーションは発生しない。(NPSH Ava > NPSH Req) しかし、今回のポンプ回転速度113% (123min<sup>-1</sup>) においては、図-3より約24.4m<sup>3</sup>/s以上 (NPSH Ava < NPSH Req) でキャビテーションの発生が予想される。したがって、排水量が24.4m<sup>3</sup>/s

以上になった状態では、回転速度抑制機能の追加が必要となる。また、既設主ポンプの既設の主軸及びインペラの強度については、回転数増量に伴い再度強度計算をおこなったが、既設を問題なく使用が可能であった。

#### b) 主原動機 (ガスタービン) ・減速機

排水量増量に伴い、主原動機出力を次式にて求める。

$$P = \frac{0.163 \cdot Q \cdot H \cdot \gamma}{\eta_P \cdot \eta_G} \cdot (1 + \alpha)$$

Q	ポンプ吐出量	20.4 × 60m <sup>3</sup> /min
H	ポンプ全揚程	3.2m
γ	水の比重	1.0kg/m <sup>3</sup>
η <sub>P</sub>	ポンプ効率	80.5 (既設メーカーヒアリング値)
η <sub>G</sub>	流体継手付減速機効率	0.95
α	余裕率	0.16

$$\begin{aligned} P &= \frac{0.163 \times 20.4 \times 60 \times 3.2 \times 1.0}{0.805 \times 0.95} \times (1 + 0.16) \\ &= 968.46\text{kW} \rightarrow 971\text{kW} \text{とする。} \end{aligned}$$

表-5 主原動機出力範囲

○ 揚排水ポンプ設備技術基準より 参考表 8.5.4 横軸ガスタービン用排水消音器の排水消音器の主要寸法と概略質量(1/2)

製作会社	出力 (kW)	一次消音器						二次消音器								
		90dB(A)			75dB(A)			70dB(A)			65dB(A)					
		A(mm)	B(mm)	C(mm)	質量(kg)	A(mm)	B(mm)	C(mm)	質量(kg)	A(mm)	B(mm)	C(mm)	質量(kg)			
BHI	2,600	2,000	2,000	3,000	2,800	2,000	2,000	4,500	4,200	2,000	2,000	6,000	5,000	2,000	2,000	6,500
住原製作所	221~375					1,460	3,350	990	1,900	1,460	3,100	1,690	2,390	1,460	3,550	1,620
	375~485					1,460	3,350	990	1,900	1,460	3,100	1,690	2,390	1,460	3,550	1,620
	485~640					1,460	3,450	990	2,000	1,460	3,650	1,560	2,740	1,460	4,170	1,670
	640~971					1,940	3,800	1,460	3,290	1,940	3,450	2,200	3,620	1,940	4,320	2,220
1,280~1,471						1,940	3,900	1,460	3,410	1,940	3,860	2,300	4,740	1,940	4,370	2,450
						1,940	3,750	1,470	1,940	4,250	1,470	4,720	1,940	4,400	2,020	

既設主原動機の出力範囲は表-5のとおり640~971kW (既設807kW→971kWへ変更)の範囲となり、既設原動機の使用が可能となる。

ただし、減速機については減速比が異なることにより、減速機の更新が必要となる。

#### C) 系統機器

原動機出力を増加することにより燃料系統の再検討が必要である。今回計画排水運転時間は主要洪水を対象とした内水排除計算で最も長い、42時間以上運転できる容量が必要となる。燃料貯油槽の容量については次式にて算出する。

$$Q = \sum \frac{Be \times Pe \times T}{1000 \times Wf} \times \alpha$$

- Q: 重油槽の容量 kL
- Be: 原動機の燃料消費量 kg/kW・hr
- Pe: 原動機の出力 kW
- T: 運転時間 hr
- Wf: 燃料の比重 A重油=0.85kg/L
- α: 余裕係数 1.2(揚排水技術基準)

燃料消費量は次として求める。

971kW Be= 0.424 kg/kW・hr(メーカー値を採用する)※主原動機  
290kW Be= 0.270 kg/kW・hr(揚排水技術基準)※自家発

$$Q = \frac{(0.424 \times 971 \times 3 + 0.27 \times 290 \times 1) \times 42}{1000 \times 0.85} \times 1.2$$

$$= 77.8\text{kL}$$

上記計算の結果、既設燃料貯油槽の容量は80kLであり、必要となる容量を満足する結果となった。また、燃料移送ポンプについても、容量の再計算を行ったが既設流用で問題ない結果となった。

#### d) 除塵設備の検討

排水量増量に伴い、しき発生量の再計算を次式にて求める。

$$V_g = K \times Q \times \alpha$$

K: 係数 (=0.2~0.25) 揚排水技術基準  
 Q: 施設総排水量 (20.4 m<sup>3</sup>/s)  
 α: 割増係数 10 揚排水機場ポンプ設計演習より

$$V_g = 0.2 \sim 0.25 \times 20.4 \times 10 \\ = 40.8 \sim 51 \text{ m}^3/\text{h}$$

既設しき処理量は12.82 m<sup>3</sup>/hであるため、除塵設備の能力をアップさせる必要がある。

この機能向上にあたって、除塵設備における必要な整備・改造・更新について検討した結果を表-6に示す。

表-6 除塵設備の改造・更新一覧表

機器名	方針	理由
除塵機	レーキ	改造 処理能力増加により、レーキ数を4→8個に変更
	電動機付送送機	更新 処理能力増加により、電動機出力を3.7→5.5kwへ変更
	軸駆動	更新 レーキ数等増加に伴い強度不足
	スクリーン	継続使用
	チェーン類	更新 レーキ数増加に伴い、強度不足
	エプロン	一部改造 機器の追加に伴う取り付け寸法が変わる
水平コンベア	モーターリ	更新 輸送容量増加により、モーターリ2.2→3.7Kwへ変更
	コンベヤベルト	更新 モーターリ直径大に伴う長さ不足
	フレーム	一部改造 モーターリ直径大に伴う改造
ローラ類	継続使用	
傾斜コンベア	更新 輸送容量増加により、ベルト幅変更900→1000mm	

#### (5) 土木構造物の検討

排水量の増加に伴い、吐出水槽のサージング量がアップするため、吐出槽水位が上昇することになる。その対応として、図-4のとおり吐出水槽を500mm嵩上げる必要が生じる。

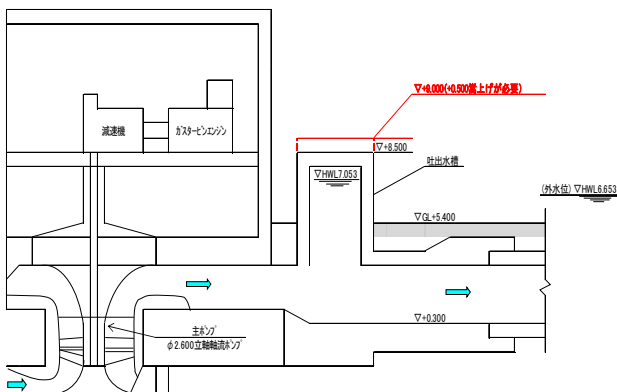


図-4 吐出水槽断面図

通常、コンクリートでの嵩上げにて対応するが、吐出水槽部の重量増加抑止と施工性を考慮し、鋼板製で水槽廻りを+500mmの高さで囲い込むことにより対応することとした。

#### (6) 電気設備の検討

機械設備更新機器の容量アップに伴い、自家発電装置(250kVA→300kVA)及び変圧装置の更新が必要となったため更新することとした。また、発電機更新に伴い、換気設備の増設も行うこととした。

## 5. まとめ

高橋排水機場の11 m<sup>3</sup>/sの増設にあたり、通常であれば新規でポンプ場を建設するところである。しかしながら、治水効果を早期に発揮するとともに、コスト及び維持管理費の削減を目的に設計を行った。

あまり前例のない既存ポンプ設備の能力アップについて検討を行うなかで、既存ポンプ設備の現状と性能を確認することが重要である。

今回の検討で得られた重要なポイントは以下のとおりである。

- ポンプ回転速度を113%増加することで、1台当たりの排水量を16.7 m<sup>3</sup>/sから20.4 m<sup>3</sup>/sに増量する。
- ポンプ本体は劣化状況及び構造確認を行い、主要部品(主軸、インペラ)を継続使用する。
- 回転速度制御により既設原動機の定格出力内で運転可能となる。
- 排水能力アップに伴い、除塵設備、吐出水槽等の改造を行う。

これらの検討を行うことにより、他の既存ポンプ設備でも排水能力増強ができる可能性がある。

近年の気象環境変化に伴う台風や集中豪雨などにより、ポンプ設備が注目される中、既存ポンプを活用した排水能力増強は、土木構造物の施工が少ないため、治水効果の早期発揮とコスト縮減対策として有効であると考ええる。

今後、高橋排水機場の工事を進めていく中で、現場施工で発生した問題点を取りまとめることで、同様の施策を展開していく上での有益な知見が得られると考える。

最後に「六角川水系緊急治水対策プロジェクト」として、被災地の一日も早い復旧復興に向け、「逃げ遅れゼロ」、「社会経済被害の最小化」を目指して、治水事業を推進して参りたい。

#### 参考文献

- 1) 一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会：揚排水ポンプ設備技術基準・同解説
- 2) 一般社団法人 河川ポンプ施設技術協会：揚排水機場ポンプ設備設計演習
- 3) 国土交通省 水管理・国土保全局：河川砂防技術基準(案)
- 4) 国土交通省 九州地方整備局：土木工事設計要領
- 5) 一般社団法人 農業土木事業協会：高Ns・高流速ポンプ設備計画技術指針