

「篠津運河下流地区」八幡第1排水機場の 施設設計について —施設改修設計におけるICT活用—

札幌開発建設部 札幌北農業事務所 第1工事課 ○田守 空良
高谷 智文
藤井 幸基

篠津運河下流地区で改修する八幡第1排水機場は、供用中の機場に隣接した位置に新設する計画であり、既設河川管理施設との接合、供用中の機場の運転継続や非出水期での施工検討が必要であるなどの課題もあった。これらを検討し関係者との調整を行ううえでは視覚でイメージし、共通認識のもと課題に係る対策を図ることが大切である。本報は、八幡第1排水機場の施設設計の概要とともに、設計過程で用いられたICT技術について紹介する。

キーワード：排水計画、排水機場、施設改修、ICT

1.地区概要

国営かんがい排水事業篠津運河下流地区（以下、「本地区」という。）は、北海道江別市及び石狩郡当別町に位置する1,863haの農業地帯であり、水稻、小麦、大豆、ブロッコリー、スイートコーン、レタス等を組み合わせた農業経営が展開されている。

地区内の農業排水は、国営篠津中央土地改良事業（昭和60年度～平成18年度）等で整備された排水施設により排水されているが、土地利用の変化に起因した流出量の増加等による農地の湛水被害及び泥炭土に起因した地盤沈下による農地の過湿被害が生じており、農業生産性が低下するとともに、施設の経年的な劣化等により維持管理に多大な費用と労力を要している。

このため、本事業において排水施設の整備を行い、併せて関連事業において暗渠排水を整備することにより、施設の維持管理の軽減、農地の湛水被害及び過湿被害の解消を図り、農業生産性の維持及び農業経営の安定に資するものである。

2.排水計画

(1)排水整備構想の基本的考え方

本地区の湛水被害を解消する排水対策（排水改良）として、以下を基本として検討した。

本地区の機械排水時の排水区域は、自然排水時の排水施設である2樋門（南7号樋門、八幡25線樋門）を閉塞し、八幡第1排水機場、八幡第2排水機場、八幡排水機場（河川直轄）の3機場で排水を行っている。

地区内の排水施設能力を検証した結果、八幡第1排水機場、八幡第2排水機場、八幡南8号排水路及び八幡25線

排水路において排水能力が不足している。

上記の排水施設では、排水能力不足に加え施設の経年的な劣化等により機能低下していることから、これら排水施設を対象に最も経済的、効率的な排水計画を検討する必要がある。

(2)整備構想の比較

不足する施設規模を解消するため、以下の2案で比較検討を行い、経済的な視点から排水系統を再編する計画とした。

- ・現況排水系統を維持し、現況施設を改修（排水機場を増強、排水路を拡幅）する案（図-1）。
- ・造成後17年経過の八幡第2排水機場を現況規模で更新し、排水対応できない分を造成後37年経過している八幡第1排水機場掛（八幡南8号排水路～流下）へ排水再編する案（図-2）。

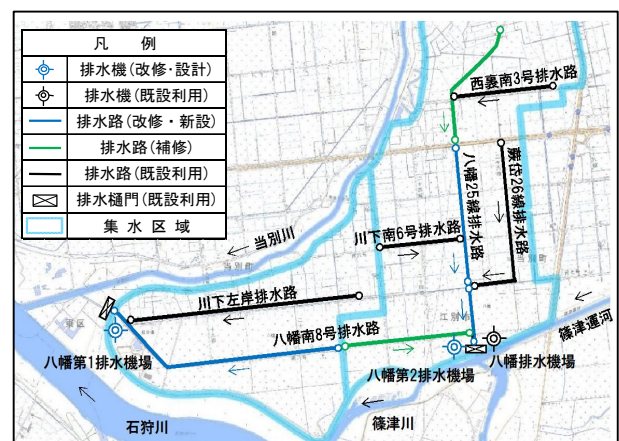


図-1 現況排水系統案による整備位置図

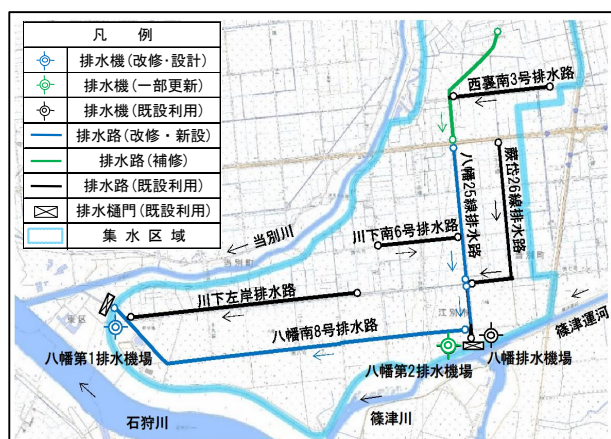


図-2 排水系統再編案による整備位置図

(3)排水再編に伴う分水量の決定

本地区の排水再編整備計画は、八幡第2排水機場を現況規模での更新とし、排水対応できない量を八幡第1排水機場流域へ分水することとしている。このため、八幡第2排水機場流域で湛水被害が発生しない分水量を決定するため、排水解析シミュレーションによって分水量を段階的に変化させ、流域内で湛水被害が発生しない分水量を決定した。

なお、シミュレーション解析は、分水量を $1.0\text{m}^3/\text{s}$ から $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 単位で増加させ、八幡第2排水機場流域での湛水有無を確認した（表-1、図-3）。

結果、分水量 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ で無湛水となることが確認されたことから、八幡南8号排水路終端部（八幡25線排水路測点：No.1+83.36）の分水量を $1.5\text{m}^3/\text{s}$ に決定した。

表-1 段階的に分水量を変化させた結果表

八幡第1排水機場流域 への分水量 (m^3/s)	湛水の有無		
	【湛水判定】	解析結果の 湛水面積 (ha)	メッシュNo.
1.0	×	6.0	No.3
1.5	○	0.0	—

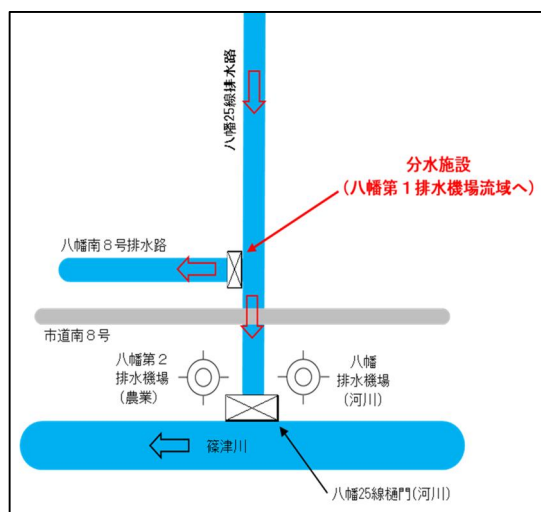


図-3 分水地点概念図

3.八幡第1排水機場設計概要

(1)主ポンプ台数

本排水機場（計画排水量： $12.53\text{m}^3/\text{s}$ 、 $752\text{m}^3/\text{min}$ ）におけるポンプ台数は、下記を条件とし4台配置（洪水排水 $4.0\text{m}^3/\text{s} \times 3$ 台、常時排水 $0.53\text{m}^3/\text{s} \times 1$ 台）とした。

- ・迅速な排水作業を行わなければならないことから、台数は極力少なくする。
- ・流入量に対し即座に対応しなければならないことから最低限の台数制御とする。
- ・危険分散を考慮して2台以上の配置とする。
- ・排水シミュレーションを含め2～4台（洪水時用）の経済比較を行い決定する。
- ・過湿被害の解消のため設置する常時排水ポンプの運転も洪水時に許容する。

(2)洪水排水ポンプロ径

ポンプ1台当りの排水量は、計画洪水時の出水変動に追従できるとともに、運転を必要とする中小規模降雨時の出水にも円滑な運転ができるように決定しなければならない。この中小洪水量によっては異口径ポンプとするか、同口径ポンプとして回転速度制御、羽根角度制御、吐出し弁開度制御などの制御方法の検討を行う必要もある。

異口径ポンプの場合、構成機器が異なるために操作内容に差異が生じることで、同口径ポンプに比べて運転操作性能に劣る。また、故障時における部品の互換性等の維持管理面でも同口径ポンプに劣る。

本排水機場の場合、流出量のピークが短時間に集中し、それ以外は小口径の常時兼用ポンプで長い時間をカバーすることができる。

このことから、細かな制御を行い効率的な運転の必要性は少なく、運転操作の均等化を図る方が望ましいため、同口径ポンプとする。また、口径と台数を変えて比較した結果、最も有利となった $\phi 1,350\text{mm} \times 3$ 台の洪水用ポンプと決定した（表-2、表-3）。

表-2 八幡第1排水機場の台数割と吐出し量

項 目	ポンプ台数	計画吐出し量	計画排水量
洪水排水ポンプ	2 台	$6.265\text{m}^3/\text{s}$ ($376\text{m}^3/\text{min}$)	$12.530\text{m}^3/\text{s}$ ($752\text{m}^3/\text{min}$)
	3 台	$4.177\text{m}^3/\text{s}$ ($251\text{m}^3/\text{min}$)	$12.530\text{m}^3/\text{s}$ ($752\text{m}^3/\text{min}$)
	4 台	$3.133\text{m}^3/\text{s}$ ($188\text{m}^3/\text{min}$)	$12.530\text{m}^3/\text{s}$ ($752\text{m}^3/\text{min}$)
常時排水ポンプ	1 台	$0.526\text{m}^3/\text{s}$ ($32\text{m}^3/\text{min}$)	$0.526\text{m}^3/\text{s}$ ($32\text{m}^3/\text{min}$)

※常時排水ポンプの計画排水量は、洪水排水ポンプの内数である。

表-3 口径及び台数配置に係る経済性

洪水排水ポンプ		経済性			総合判定
		ポンプ設備	燃料費（20年分）	計	
$\phi 1,650$	2 台	1.01	1.01	1.01	×
$\phi 1,350$	3 台	1.00	1.00	1.00	◎
$\phi 1,200$	4 台	1.04	1.04	1.04	×

(3)常時排水ポンプ

本地区では、農地の低下に起因して八幡南8号排水路周辺で過湿状態が確認されており、常時排水ポンプを整備する。

常時排水ポンプは、平水量から吐出量を定めているため、遊水池があるものの実際の流入量によっては運転による水位増減にともなう起動停止頻度（断続運転）の増加が見込まれる。

このことから円滑に連続運転を行うために「内水位一定制御」を実施するためには、常時排水ポンプにおける流量制御が必要となる。よって、「流量制御方式」について比較検討を行うと共に、流量制御だけでは対処できない場合に必要、「断続運転防止対策」を検討した。

a)流量制御方式の検討

本地区の常時排水ポンプの口径は600mmの小口径であり、この条件下で電動機駆動による常時ポンプの流量制御方式には、「回転数制御方式（インバータ制御）」「バルブ開度制御方式（吐出弁開度制御）」の方式が効果的であることから、2案を比較検討した（表4）。

表4 流量制御方式比較

	A案：回転数制御方式（インバータ制御）	B案：バルブ開度制御方式（吐出弁開度制御）
制御概要	常時ポンプを駆動する電動機回転数をインバータにより増減し、ポンプ自体の回転数を変えることで全揚程曲線を変化することで流量を制御する方式。	常時ポンプの吐出弁（電動バタフライ弁）の開度を増減し、管路抵抗を変えることでポンプ運転点に変化することで流量を制御する方式。
制御概要		
長所	<ul style="list-style-type: none"> インバータ制御により任意回転への調整が連続的に可能であることから、内水位制御に対する応答性が高い。 回転数が低下することで、軸動力も低下するため低流量運転が長時間続く場合には電気料金の削減が見込まれる。 	<ul style="list-style-type: none"> 流量制御用の機器として特別設ける必要がなく、吐出弁を利用することで対応が可能。
短所	<ul style="list-style-type: none"> インバータ本体の耐用年数（15年）が短いことや、予充がなく故障する可能性がある。本設備でバックアップ電動機（減電圧起動／固定速）があるので、排水信頼性の面で問題がないが、維持管理面でインバータの整備、更新費用を見込む必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 上図にあるようにバルブ開度の変化に対する損失増加量は一定ではなく、低流量側では開度の最小変化で流量が大きく増減してしまうため、内水位一定制御の状況（水位の増減）によっては、開閉動作にインパクトが生じてしまう。 上記動作に対して、バルブコントローラに適用したものが無く、最悪の場合にコントローラが破損してしまう可能性がある。
本機場への適用	常時ポンプは、実際の流入量による起動停止頻度が想定できないため、内水位一定制御を前提とした場合にインバータの制御応答性は有用であり、本設備に適用できる。	排水時ポンプのように、内水位を低下することを主とした運転には、吐出弁開度による手動流量制御は適当であるが、常時ポンプでの内水位一定制御を考慮した場合には不適である。

b)断続運転防止対策の検討

ポンプの断続運転防止策として、前述の流量制御方式を用いて連続した運転を行うが、制御できる流量の下限（吐出量の約50%程度）があり、ある程度の起動停止は生じてしまう。

この起動停止時において、横軸ポンプの場合には真空ポンプによる満水作業時間による起動遅れがあると、水位制御に支障を生じるおそれがある。このための対策として考えられる、停止時における待機方式「満水待機方式」「後方待機（バイパス管待機）方式」について検討した。

「満水待機方式」：通常の主ポンプ起動では、満水検知器により満水を検知する。主ポンプが一旦停止すると、手動により真空破壊弁の開操作により落水するか、真空破壊弁は操作せずに軸封部からの吸気により徐々に落水する。

この場合、主ポンプの再始動時には真空ポンプによる

満水作業が再度必要となり、始動遅れや水位制御遅れが生じる。

これに対し、満水検知器に代えて下図のような満水タンクを設置し、主ポンプ停止中にポンプ内部が常に満水を保持するように、真空ポンプを満水タンクの水位で自動起動停止させる。これにより、主ポンプの再始動時に満水作業を不要として、再始動遅れを防止する（図4）。

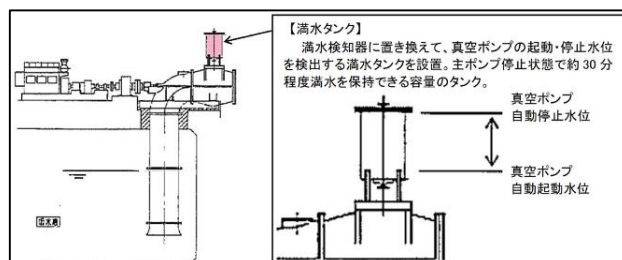


図4 満水タンク

「後方待機（バイパス管待機）方式」：内水位が低下して主ポンプ停止水位に達しても主ポンプは停止せずに、吐出弁を全閉、バイパス管を全開することでバイパス循環運転を行う。

この運転状態を保持する中で、内水位が再び上昇した場合に、吐出弁とバイパス弁を操作して通常の排水運転状態に切り替えることで、排水運転を再開することで再始動遅れを防止する（図5）。

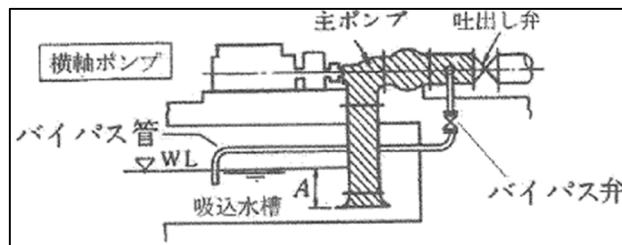


図5 バイパス管待機

c)検討結果

本機場の常時排水ポンプは、将来的な流入量および水位の変化にともない稼働状況が異なることから、現状での起動停止頻度の想定は困難である。

よって、水位一定制御への応答性を重視して常時ポンプにはインバータによる回転数制御を設けるものとした。

また、断続運転防止に関しては、水位一定制御でも起動停止頻度が多くなる場合に適用されるものであり、現時点での採用は過剰設計になる可能性（必要ない可能性）がある。

よって、将来的に必要性が生じた場合に改造設置するものとした。

(4)ポンプ形式

ポンプ形式の選定は下表を目安に行い、かつ概略全揚

程に対して吸込性能から、キャビテーションを確認して選定した。なお、経済性（設備費等）や地域における維持管理性、施工性を考慮したなかで横軸斜流ポンプに決定した。（表-5）。

表-5 低揚程ポンプの概略全揚程

主ポンプ軸形式	横軸ポンプ			立軸ポンプ		
吐出し管形式	タイプ1	タイプ3	タイプ2	タイプ1	タイプ3	タイプ2
主ポンプ型式	I型		II型	I型	III型	II型
軸流ポンプ	3m以下		2.5m以下	5m以下		4m以下
斜流ポンプ	5m以下		4m以下	9m以下		8m以下

主ポンプの据付高さと回転速度は、吸込実揚程（低揚程ポンプの場合はインペラ上端と最低吸込水位との差）と、主ポンプの運転範囲（吐出し量が設計点に対して、どの程度変動するか）の要因により、有害なキャビテーションを起こさないように決める必要がある。

有害なキャビテーションが発生しないためには、 h_{sv} （利用有効吸込ヘッド） $\geq H_{sv}$ （必要有効吸込ヘッド）の条件が成り立つことが必要である。

キャビテーション計算を、「設計計画点」「設計点以外（最低実揚程時）」において実施した結果、II型ポンプではキャビテーションが発生し、I型ポンプではキャビテーションが発生しないことを確認できたことから、経済的なI型ポンプを採用した（表-6）。

表-6 I型・II型比較表

ポンプ形式		洪水時ポンプ		常時ポンプ	
主ポンプ型式		I 型ポンプ	II 型ポンプ	I 型ポンプ	II 型ポンプ
吐出し管形式		タイプ 1		タイプ 1	
ポンプ口径		φ 1350mm	φ 1350mm	φ 600mm	φ 600mm
吐出し管口径		φ 1350mm	φ 1200mm	φ 600mm	φ 500mm
原動機出力		210kw	240kw	18.5kw	定格 22kw
キャビテーション	設計計画点	発生せず○	発生×	発生せず○	発生せず○
	最低実揚程運転時	発生せず○	発生せず○	発生せず○	発生せず○

(5)排水機場の位置

八幡第1排水機場は、排水量の増加に伴う通水能力不足や常時機械排水ポンプの設置に伴う改修が必要である。しかし、排水機場は、単年度で造成することができないことから、既設排水機場を活かしながら整備する必要がある。新設排水機場の完成後に既存施設を撤去することとなり、同位置での改修は行えないため経済性や排水の連続性等を考慮し②案（江別市側）に新設することとした（写真-1、図-6）。



写真-1 既設排水機場全景

TAMORI Sora, TAKAYA Tomofumi, FUJII Koki



図-6 排水機場位置図

また、詳細には新しい八幡第1排水機場の吐出し水槽と既設樋函（樋門）を接続する方法を検討のうえ、河川管理者を含む関係機関等へ確認し、機場位置を確定した。

(6)吐出水槽以後の構造

a)導水路

本機場設計では、吐出水槽と合流工を結ぶ函渠を「導水路」、機械排水（ポンプ場）と自然排水（八幡南8号排水路）が合流する部分を「合流工」と称している。規模については、既設の樋門と同等以上の断面積（ $2.0\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2\text{連} = 10\text{m}^2$ ）を基本とし、吐出水槽の越流堰標高（ $\text{EL}=1.65\text{m}$ ）及び計画吐出し水位（ $\text{EL}=4.06\text{m}$ ）で定まる標高で内空高を定めた（図-7）。

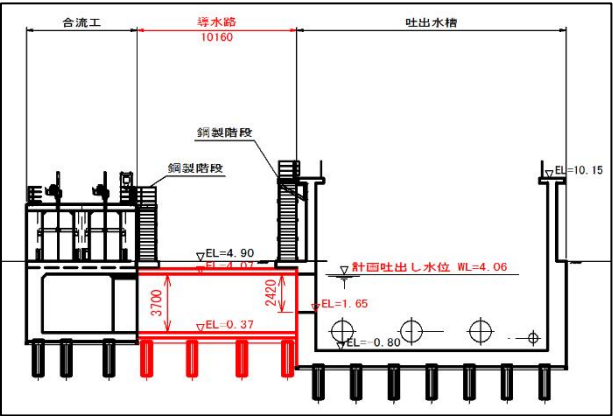


図-7 吐出水槽～導水路接続図

b)合流工

規模については、内空高は前述のとおり導水路に合わせて3.7mとし、内空幅は吐出水槽側は導水路と同じ4.0m、自然排水路側はゲートサイズ及び戸当たりで必要な土木寸法を加味して5.0m とした（図-8）。

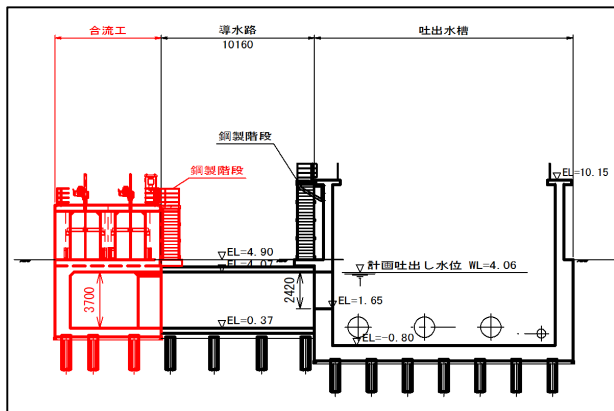


図-8 導水路～合流工接続図

c)接続水路

合流工と既設樋函（樋門）を接続する函渠を「接続水路」と称している。規模については、内空高は既設樋門に合わせて2.5mとし、内空幅は既設樋門（2連）の総内幅に合わせて5.5m（2.0m×2+隔壁1.5m）とした（図-9）。

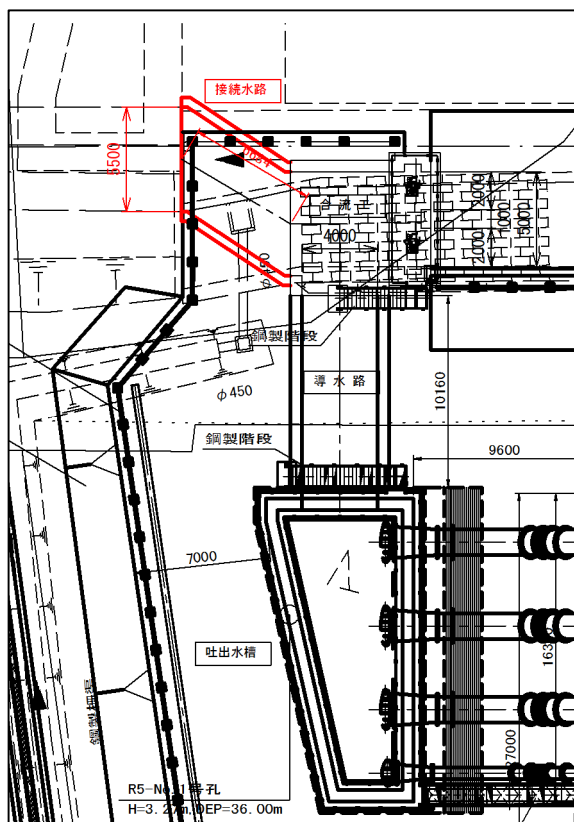


図-9 吐出水槽～接続水路平面図

4.三次元モデルの活用

本排水機場の設計では、関係者への説明等において三次元モデルを活用した。これについて、関係者の理解が促進され、有効な手法であったものと考えている。以下、内容について紹介する。

(1)UAV空中撮影写真の活用

本設計にあたり、排水機場周辺の施設状況や設計説明資料への利用等を目的として、UAV（ドローン）による空中写真の撮影が行われている（写真-2）。



写真-2 排水機場周辺地形の把握

(2)三次元モデル

UAVによる空中撮影写真から、三次元製図ソフトを使用して現地の三次元地形モデルを作成、さらに、土木・建築・機械構造物の三次元モデルを作成し、施工ステップ図、排水機場完成図も三次元モデルで作成されている（図-10、図-11）。



図-10 施工ステップ図

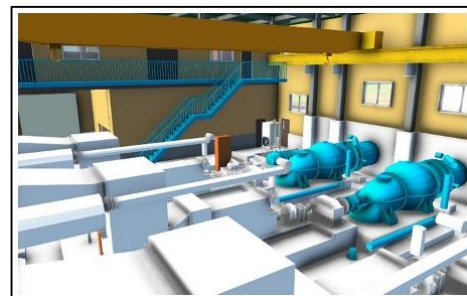


図-11 機場機器配置イメージ図

(3)模型の活用

土木構造物の三次元モデルから、3Dプリンターを利用して模型を作成し、新設排水機場から接続される既設樋門までの一連の構造物の配置状態、撤去後の既設吐出水槽との関係を、わかりやすく関係者に説明するために活用した（写真-3）。



写真-3 八幡第1排水機場（模型）

(4)3次元モデル利用成果

施設予定管理者等との協議に際しては、従来設計で広く用いられてきた 2次元計画平面図に加え統合された3次元モデル、配布・提示可能な各種資料(3DPDF、動画ファイル、3Dプリントモデル等)を活用した。

これにより、施工ステップ図による土木構造物の施工工程や排水路の締切工、構造物間の干渉確認など、様々な視点からの確認ができ、かつ、多面的な検討をその場で迅速に行うことで、理解が促進され、効率的な合意形成に寄与した。

また、特に 3Dプリントモデルの活用については平面図面のみでは理解が困難となる課題について、「新設排水機場と既設樋門との連続した構造物配置」や、「既設吐出水槽撤去後の空間的な関係性」について、理解が促進され高く評価されるものであった。

5.おわりに

本地区は、近年10か年で3回の湛水被害が生じており、八幡第1排水機場をはじめとした排水施設の改修及び湛水被害の解消が早期に実現することが望まれている。

今回、八幡第1排水機場の設計において活用された三次元モデルは、関係者への説明が円滑に進み設計が遅延すること無く、順調に進んだものと考えており、排水計画を早期に実現するには有効な手段であると考えている。

現在、排水機場の工事実施に向けて、引き続き周辺整備工などの補足設計及び旧機場の撤去設計を行っているが、八幡第1排水機場施設の施工状況や、本地区の排水計画の効果検証など、機会があれば続報も検討していきたい。