

三陸沿岸部における津波対策型水門新設工事の施工報告 — 二級河川甲子川筋甲子川水門土木工事 —

牧田孝之 * 蘇茜 ** 武田尚之 ***

本工事は東日本大震災により壊滅的な被害を受けた岩手県釜石市において、再度の津波遡上の被害を防御するため、市内を流れる甲子川の河口付近に津波対策型水門を新設する工事である。工事箇所は、岩手県沿岸部特有のリアス式海岸の沿岸部で、河川の約半分を堰止めた仮締切堤内で、幅約120mの水門を左右2分割で施工する大規模なものである。

本報では、上記環境の中で施工した水門の仮設工事、基礎工事、コンクリート工事について報告する。

キーワード：水門新設工事、仮締切堤、鋼管ソイルセメント杭、パイプクーリング

1. はじめに

岩手県釜石市は、リアス式海岸を特徴とする三陸沿岸部に位置し、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に続く大津波により壊滅的な被害を被った。建物やインフラが破壊された沿岸地域では、復興事業として、津波のリスクを低減するための土地の嵩上げと、高台への移転が行われた。海岸部では津波防御施設の強化として、防潮堤の復旧や新設が行われる一方、河川を遡上する津波の防御施設として、主要な河川の河口付近に津波対策型の水門が新設されることとなった。

本工事は、釜石市内を流れる甲子川の河口付近に、数十年から百数十年内の津波発生予測をもとに計画された、津波の遡上防御機能を持つ水門を新設するものである。

本稿では、比較的施工事例の少ない水門工事について、今後の参考のためにその内容を報告する。工事場所をFig.1に、水門の位置をFig.2に示す。



Fig.1 工事場所



Fig.2 甲子川水門位置(釜石市)

- * 首都圏支店 土木事業部 秩父水力改良工事所
川又発電所作業所
- ** 土木事業本部 土木設計部 土工・開削グループ
- *** 東北支店 土木部 野辺地風力作業所

2. 工事概要

工事件名：二級河川甲子川筋甲子川水門土木工事

発注者：岩手県

受注者：熊谷組・本間組・小澤組特定共同企業体

工事場所：岩手県釜石市嬉石町地内

工期：平成26年3月26日～令和3年3月12日



Photo.1 着工前



Photo.2 完成時

水門の規模、形式、構造

規模	水門長さ	120.0m
	津波水位	T.P+6.10m
形式	引上げ式ローラゲート	
構造	水門数高	T.P-3.77m
	基礎形式	杭基礎
	水門構造	鉄筋コンクリート構造
	堰柱構造	逆T形

主要構造物

水門本体	堰柱:5基 4径間, 総幅員:120m, 門柱高:15.8m, 全高:20.1m
カーテンウォール	4径間 120.0m (ポストテンション方式 PC 箱桁)
管理橋	7.0m×120.0m (ポストテンション方式 PC2 径間 連結中空床板2連)
操作室建屋	アルミニウム:5棟
特殊防潮堤	H=2.0~10.0m L=147.0m
水門ゲート設備	別途工事

主要工事数量

仮締切	1,024m (鋼矢板 2,943t)
鋼管ソイルセメント杭	
	φ1400 (29.5~35.5m) 128本
	φ1000 (14.0~35.0m) 211本
掘削工	57,180m ³
鉄筋コンクリート	19,927m ³
鋼管杭	
(特殊防潮堤)	φ1500 ジャイロプレス工 (28.5~31.0m) 73本
	φ1200 ジャイロプレス工 (22.5~27.0m) 75本

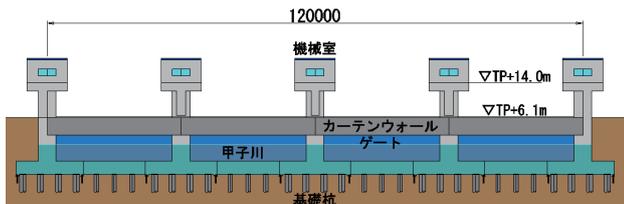


Fig. 3 甲子川水門正面図

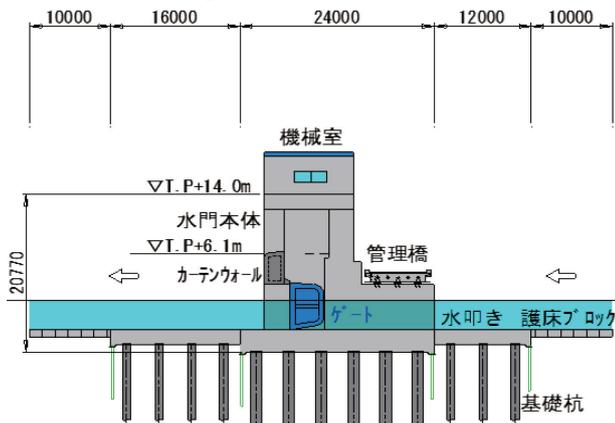


Fig. 4 甲子川水門断面図

3. 仮締切工

3.1 施工順序と構造

本工事は、岩手県沿岸部特有のリアス式海岸の河口付近で、河川の約半分を堰止める形状で仮設した仮締切堤（指定仮設）内で、幅約120mの水門を左右2分割で施工した。

施工順序は、まず河川左岸側に2列の鋼矢板と中詰め土からなる仮締切堤を設置し、締切内を排水後、全5基の水門堰柱のうち左岸側3基の構築と堰柱間2門のゲート（別途工事）設置で締切内作業完了となる。次に左岸側仮締切堤の撤去・通水後、右岸側に仮締切堤を再度設置し締切内を排水後、右岸側堰柱2基と2門のゲート設置で、水門本体工事は完了となる。施工順序図を Fig. 5, Fig. 6 に示す。

仮締切堤の標準構造は、河床に打込んだ2列の鋼矢板頭部をタイロッドボルトで緊張し、鋼矢板間を土砂で中詰めしたもので、仮締切に作用する土水圧、波圧、並びにボーリングに対し、安定を確保できる構造となっている。

仮締切堤の標準断面図を Fig. 7 に示す。

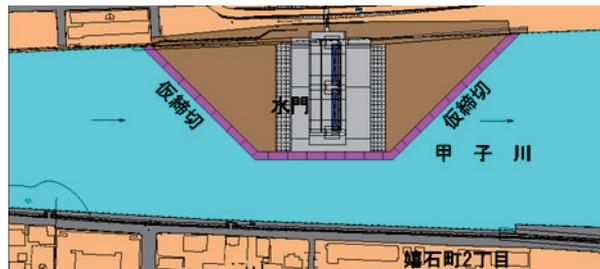


Fig. 5 施工順序図1 左岸側平面図(先行)

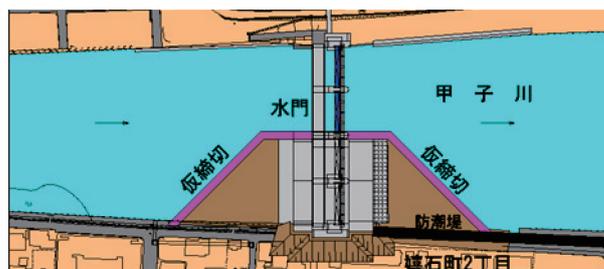


Fig. 6 施工順序図2 右岸側平面図(後行)

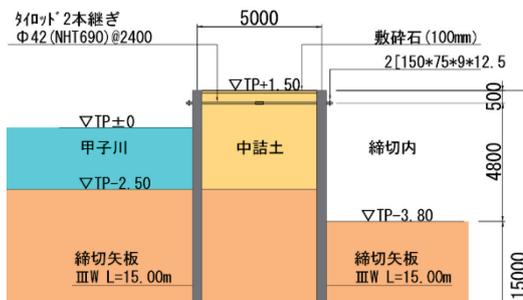


Fig. 7 仮締切堤標準断面図

3.2 仮締切堤の切替

先にも述べた通り、甲子川水門は河川の約半分を堰止める形状の仮締切堤内で、水門を左右2分割で施工した。水門構造物の分割位置は、中央堰柱P2の右岸側面、当該分割位置より左岸側が先行する第1期施工、右岸側が後施工の第2期施工である。仮締切堤の設置形状と施工分割位置を Fig. 8 に示す。

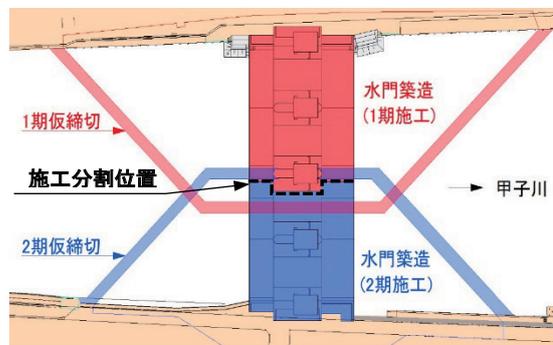


Fig. 8 仮締切堤の設置形状と施工分割位置

仮締切堤の構造は、1期施工では支障物等の無い河川内での施工であったため、全て標準構造で設置した。一方2期施工では、連続する水門床版を構築するため、

施工済みの床版接継面を仮締切堤内に露出させる必要があることから、施工済の堰柱上部構造物を仮締切堤として兼用し、同床版を露出させた。上部構造の無い床版部には、自立式の仮締切堤を設置する構造とした。

自立式仮締切堤の当初設計は、床版上に打込んだアンカーボルトと中詰め土の自重により、仮締切堤の安定を確保する構造となっていたが、架設・撤去時の施工性と安全性を考慮し、締切堤を設置する床版側部に支保材として支柱鋼材を埋め込み、腹起材を介し締切矢板を固定する構造へ変更した。自立式仮締切堤の構造図を Fig.9 に示す。

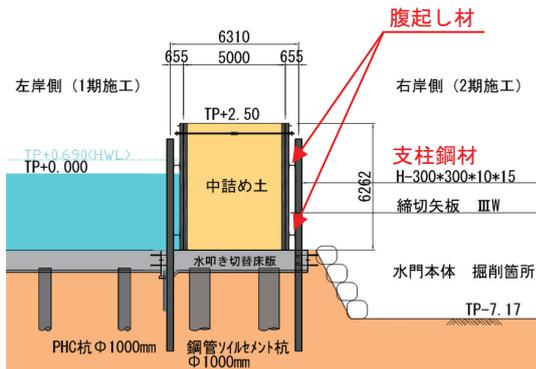


Fig. 9 自立式仮締切堤断面図

床版と締切矢板の接面には、アスファルト系加熱注入材を充填し、遮水性を確保した。

また、鋼矢板と腹起し材の固定にはフック式の金物を採用し、クレーンでの引抜作業のみで鋼矢板が撤去可能な構造とした。支柱材撤去については水中での切断作業が必要である。なお、自立式仮締切堤の設置作業は全て1期施工仮締切内で行った。

自立式仮締切堤の施工状況写真を Photo. 3~Photo. 6 に示す。



Photo. 3 仮締切支柱材



Photo. 4 自立式仮締切堤



Photo. 5 仮締切堤全景



Photo. 6 仮締切堤中央部

3. 3 自立式仮締切堤部の遮水構造

標準的な仮締切堤は、2重に打込んだ鋼矢板の根入部分が透水経路となり、透水経路長により遮水性を判断する。

右岸側 2期施工の仮締切堤は、前述の通り一部を躯体床版上に自立式構造で設置するため、遮水性能を評価する最短の透水経路は、標準構造の仮締切堤と床版の交点上から始まり、床版端部に打込まれた遮水矢板下端を経由し、締切内の床付け面に至る経路となる。

2期施工床付け面への最短透水経路を Fig. 10 に示す。

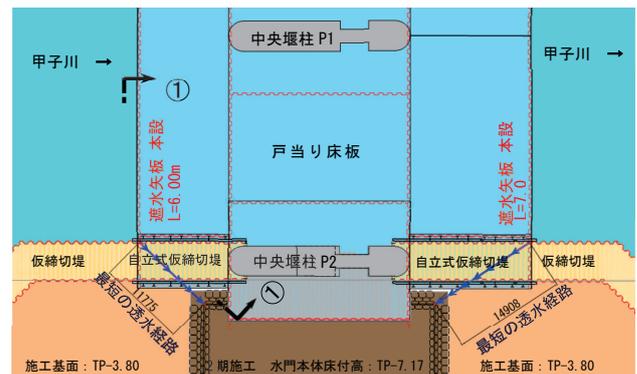


Fig. 10 2期施工掘削面への最短透水経路平面図

まず当初設計の構造で透水性評価を行ったところ、自立式仮締切堤の上・下流側とも遮水性が保てない結果となった。

仮締切堤の遮水性は、鋼矢板の根入長より確保する構造が基本であるが、前述の通り今回の仮締切堤は根入が無い構造のため、透水経路上にある水叩き床版下部の遮水矢板を締切り矢板と接続することで根入材兼用とし、かつ根入長の延長により透水経路長を確保する構造とすることで、上下流とも必要な透水経路長の確保が可能となった。Fig. 11 に透水経路長確保に必要な遮水矢板延長の変更図を示す。

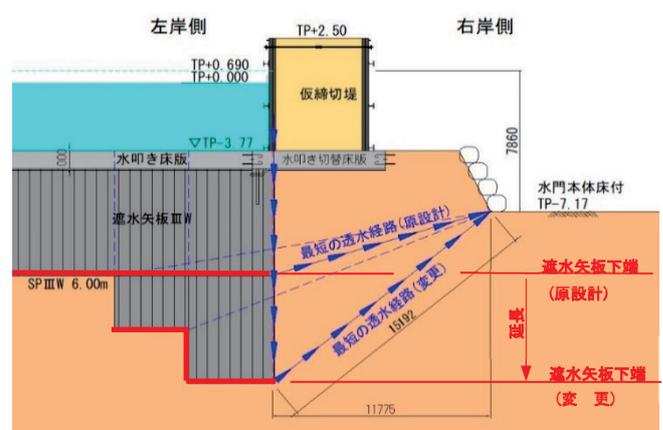


Fig. 11 ①-①最短の透水経路断面図

上記検討結果は協議事項として発注者に提案し、採用・実施に至った。

実際の施工では、締切内での水門本体部掘削床付け、躯体

体築造から躯体埋戻しに至る一連の施工期間中、仮締切堤部からの河川水の透水は無く、良好な施工環境を維持することができた。

3. 4 波浪被害と対策

2016年1月、低気圧接近に伴う高波により海水が仮締切堤を越え、工事箇所が浸水する被害が発生した。

同様の被害は前年10月にも発生していることから、今後の被害と復旧に係る工程遅延を防止するため、異常気象時の仮締切堤越波対策を実施した。被害写真をPhoto. 7, Photo. 8に示す。



Photo. 7 仮締切越波状況
2015. 10. 8



Photo. 8 仮締切内浸水状況
2016. 1. 19

事前検討では、釜石港の有義波高から仮締切に作用する波圧を合田式により算出し、越波対策時の仮締切堤構造の安全性を確認した。なお有義波高は、NOWPHAS³⁾により釜石港で2016年1月18日～19日に観測されたデータを用いた。

上記異常気象時の水位・波浪条件を考慮した検討の結果、仮締切堤天端への大型土のうによる2mの高上げと堤内側の押え盛土設置により、越波防止及び構造の安定が確保できることが確認された。仮締切堤の検討モデル図をFig. 12に示す。

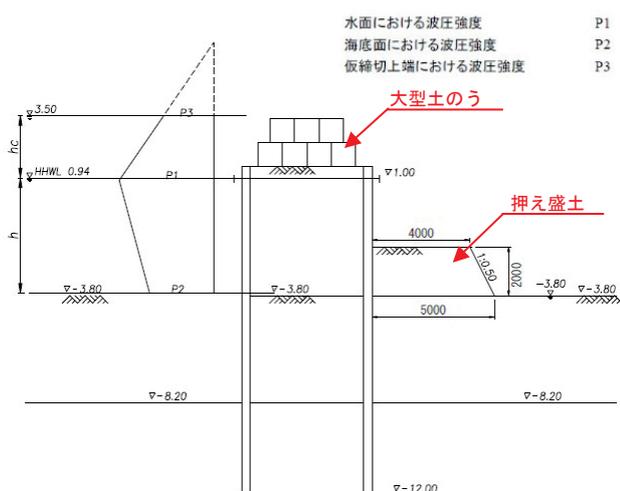


Fig. 12 異常気象時の仮締切堤検討モデル図

検討結果は協議事項として発注者に提案し、採用・実施に至った。

本対策後、仮締切越波による浸水被害の再発及び、被害に伴う工程遅延を防ぐことができた。現場で実施した仮

締切越波対策の状況をPhoto. 20, Photo. 21に示す。



Photo. 9 仮締切堤嵩上げ



Photo. 10 仮締切内側補強盛土

4. 基礎工

4. 1 鋼管ソイルセメント杭工概要

本水門の堰柱と戸当り床板及び翼壁の基礎は、それぞれφ1400mm (L=29.5～35.5m:128本) φ1000mm (L=14.0～35.0m:211本)の鋼管ソイルセメント杭である。

本工法における設計時の適用条件は、中間層の礫径が100mm以下、施工深度は工法適用可能深度、支持層付近から地表面に達する被圧水の影響は受けないの3点である。なお支持形式は支持と摩擦の両方が必要となっている。

杭の支持層は、Asg3の下層(砂礫層)である。直上のAsg3の上層(砂礫層、層厚約6.5m)は、標準貫入試験結果より不均一な地層が確認できることから、支持層と評価されない。水門各堰柱付近の地質断面図をFig. 13に示す。

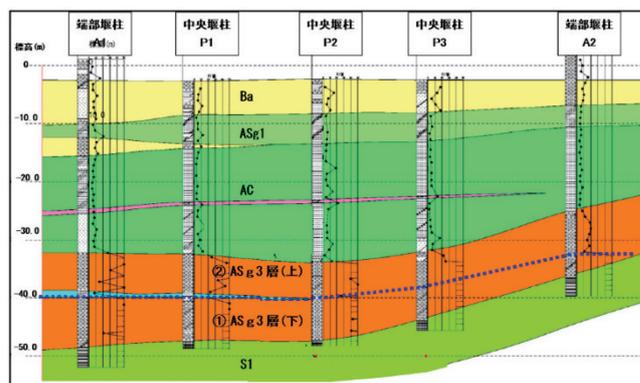


Fig. 13 水門各堰柱付近の地質断面図

中間層に区分された上記Asg3の上層の礫径は、「φ100～150mm大のチャート、粘板岩の玉石混入する」との記述がボーリング柱状図にあることから、実際の礫径はφ450mm程度と推定され、施工不能になる可能性が高いことが予見された。

4. 2 試験杭施工と補助工法導入

本施工に先立つ杭の試験施工は、水門堰柱、戸当り床板、翼壁の各構造物の基礎杭16～28本を一つの施工単位とし、施工単位毎に最初に施工する杭で実施した。

試験施工の結果、事前予測の通り全ての施工箇所において、支持層直上の中間層 Asg3（上層）で巨礫と想定される障害に接触し、オーガーマーターの異常振動と周期的上下動が発生し、掘進速度が極端に低下した後、施工不能となった。試験施工の結果と対応策について発注者と協議を行い、補助工法として単軸ロックオーガーによる先行削孔工法を導入した。削孔機は使用中の杭打機との兼用が可能で、高出力タイプのオーガーマーターへの換装、ロッド先端部への先行削孔用ビット（Photo. 12）とオーガースクリューを装着することで施工が可能であった。



Photo. 11 削孔攪拌用ビット



Photo. 12 先行削孔用ビット

単軸式ロックオーガーによる先行削孔により、93.8%に当たる 226 本/241 本が鋼管建込みを完了した。6.2%に当たる 15 本/241 本は、地中障害により鋼管建込み不能となった。建込み不能の原因は、除去対象の礫塊が先行削孔用ビットの接触により揺動し、粉碎前にオーガースクリューに巻き上げられ、孔壁側面に押付ける形で残置されたため、鋼管建込み時の支障になったと考えられる。原因の想定図を Fig. 14 に示す。

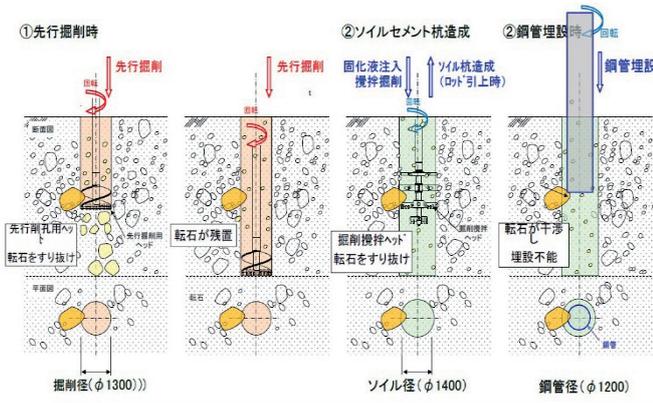


Fig. 14 地中障害残存原因の想定図

残置された礫塊の周囲は、ほぐされた地山であり、再度の粉碎除去が極めて困難なことから、ケーシング削孔による地山土砂の置換え後に再施工を実施し、全ての鋼管建込みを完了した。なおケーシング削孔により排出された礫塊は箇所により 450mm を超えた。

ケーシング削孔状況、排出された礫塊を Photo. 13, Photo. 14 に示す。各補助工法の導入位置を Fig. 15 に示す。



Photo. 13 ケーシング削孔



Photo. 14 掘削された礫塊

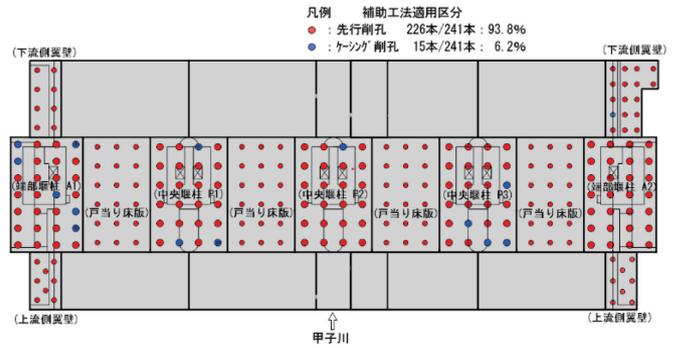


Fig. 15 基礎杭補助工法適用箇所平面図

5. コンクリート工

5. 1 温度ひび割れ抑制対策

水門本体構造物の構築にあたり、マスコンクリート構造物の品質向上として温度応力によるひび割れ抑制対策を実施した。

本章では、2016年7月から10月の夏季に施工した1期施工（左岸側）堰柱と2019年2月から5月の冬季に施工した2期施工（右岸側）堰柱のそれぞれについて、温度ひび割れ抑制対策の検討と施工、及び計測データに基づく工法の適用性、効果について報告する。

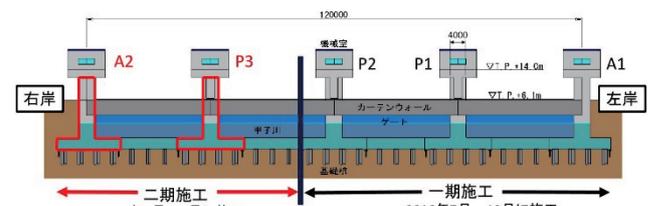


Fig. 16 コンクリート工事施工区分図

対象となる構造物は、壁厚 4.0m×壁高約 17.8m×延長 24.0m の堰柱である。コンクリートの配合は、33-8-20N, W/C=44.0%, C=357kg/m³, 打設リフト高は構造形式・施工性を考慮し、平均 3.1m, 全 6 リフトとした。

Fig. 17 にリフト図を示す。

温度応力解析手法には 3 次元の熱の移動と応力の作用を考慮できる 3 次元有限要素法を用いた。検討段階での目標レベルは、「ひび割れの発生は許容するが、ひび割れ幅が過大とならない程度」とし、ひび割れ発生確率 50%, 最小ひび割れ指数 1.0 以上とした⁴⁾。

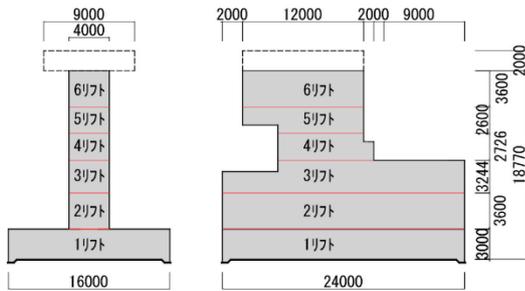


Fig. 17 コンクリート打設リフト図

5. 2 水冷式パイプクーリング

1 期施工の事前の予測解析では最大温度上昇量が 56℃，最小ひび割れ指数が 0.61 となり，有害な温度ひび割れの発生が懸念された．このため，温度ひび割れ制御対策として，温度上昇を抑制するパイプクーリング工法と体積変化を抑制する（収縮ひび割れ低減）膨張材の添加を組み合わせた対策を採用した．

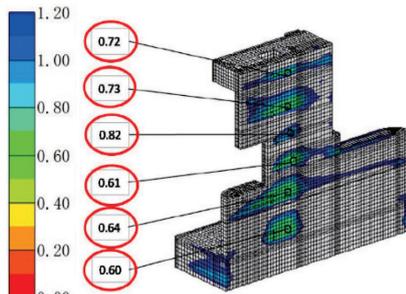


Fig. 18 1期施工の事前予測解析図

は 17℃程度であった．通水は 2.5 (cm/sec) の流速で，水量が 5.0 (l/min) を約 6 日程度行うこととした．

事前の予測解析では流速を u (cm/sec) として下式⁵⁾よりパイプ壁面の熱伝達率 h を設定し，パイプクーリングにより最大 10℃程度の温度上昇を抑制できると予測された．

$$h = 4.75u + 43.0 \text{ (kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C)} \quad 5)$$

リフト 2～リフト 4 までの温度計測位置は，Fig. 20 に示すようにクーリング管の近傍 (No. 1)，クーリング管と管の中央位置 (No. 2) 及びクーリングの影響が小さいと考えられる位置 (No. 3) に熱電

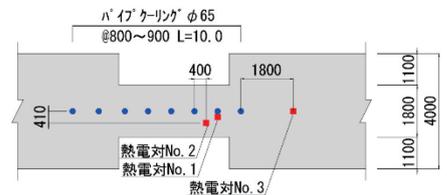


Fig. 20 リフト2～4 温度計測位置

対を設置した．また，パイプクーリングを実施しないリフト 6 の温度計測位置は，Fig. 21 に示すようにコンクリートの温度境界まで 0.9m の位置を No. 4 と No. 5，2.0m の位置を No. 6 とし，いずれも打設高さのほぼ中央位置に設置した．

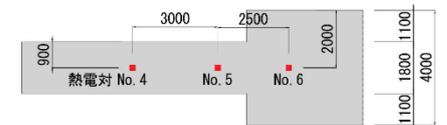


Fig. 21 リフト6 温度計測位置

Fig. 22 にパイプクーリングを設置したリフト 2～リフト 4 の計測値，及び実施工で得られたコンクリート打設温度と外気温を基に再現解析した解析値の温度経時変化図を示す．

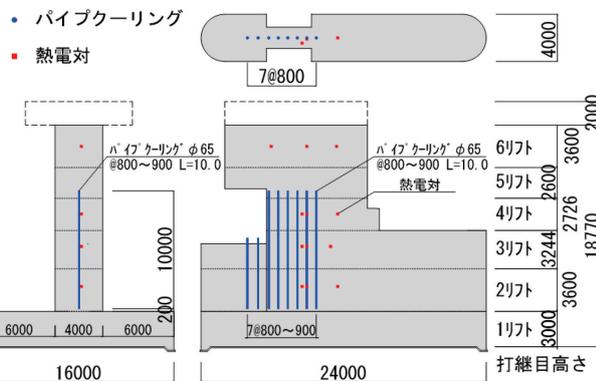


Fig. 19 1期施工 冷却管，熱電対配置図

パイプクーリングは，鋼管 (φ 65.0mm) を壁中心付近に水平間隔約 0.8m～0.9m であらかじめ設置し (Fig. 19)，コンクリート打設後に鋼管内に挿入したホースを通じて鋼管下方から通水させる方法とした．

使用水は現場で削井した井戸水を用い，通水後の冷却水は養生水として使用する事とした．原水の水温は 13.5℃，通水後の水温



Photo. 15 パイプクーリング

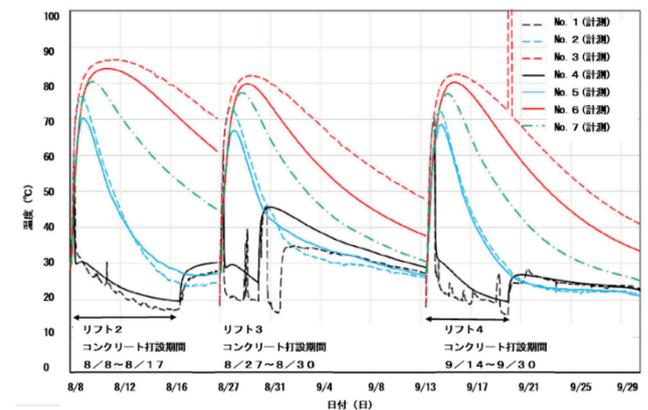


Fig. 22 リフト2～4 の温度経時変化図

各測点の計測値と解析値がほぼ同時に最大値に達し，No. 2 と No. 3 における解析値と計測値の温度差は 2～6℃であった．

計測されたコンクリートの最高温度を比較すると，No. 3 と No. 1 で 19.1℃，No. 3 と No. 2 で 9.7℃程度の差があり，パイプクーリングによるコンクリート温度の抑制効果を確認できた．

また、パイプクーリングを行わない場合の解析値も併せて示しているが、パイプクーリングにより 13.6℃程度最大温度が小さくなっており、目標とした温度抑制効果を得ることができている。なお、パイプクーリングによる最小ひび割れ指数の改善効果を Table.1 に示す。

Table.1 最小ひび割れ指数

リフト	PC無し	PC有り
2	0.96	1.34
3	0.77	1.01
4	0.97	1.31

※両方とも膨張材を考慮した結果

Fig. 23 にパイプクーリングを設置しないリフト6のコンクリート温度の計測値と解析値の経時変化図を示す。

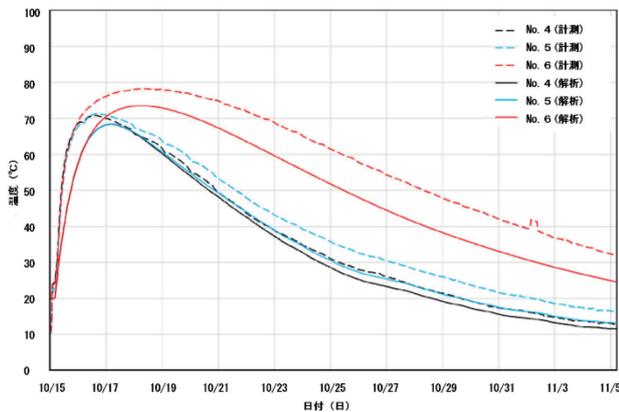


Fig. 23 リフト6の温度経時変化図

No. 6 の計測値がほぼ同時に最大温度に達するのに対し、No. 4 と No. 5 の計測値が解析値より 1 日早く最大温度に達し、両者の温度差は 3~5℃であった。

コンクリート打設後 4 年経過時において、構造物に有害なひび割れは生じておらず、本工法による対策の有効性が確認された。

5. 3 空冷式パイプクーリング

2 期施工の事前の予測解析では Fig. 24 で示す通りリフト 2~6 で最小ひび割れ指数が 0.60~0.81 となり、有害な温度ひび割れの発生が懸念された。

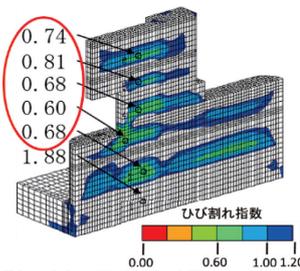


Fig. 24 予測解析図(無対策)

温度ひび割れ制御対策として 1 期施工同様、パイプクーリング工法と膨張材添加を採用した。1 期施工のパイプクーリングでは冷却媒体に水を使用した。2 期施工は施工時期が冬季のため、冷媒凍結等により施工性、安全性の低下が懸念されることから、外気を

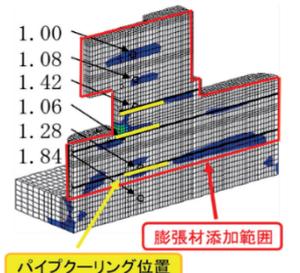


Fig. 25 予測解析図(対策後)

冷却媒体として使用するエアークーリング工法を採用した。

クーリングパイプの配置は、出来映えの観点から Fig. 26 に示す通りコンクリート表面付近を避け、水平打継部にパイプが露出する U 字形状とした。クーリングはコンクリート打設完了直後より送風機にて外気を風速 22m/sec で送気し、膨張材(添加量: 20kg/m³)は、事前に配合確認を行った上でコンクリート製造時にプラントで添加することとした。

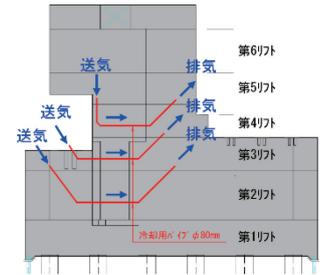


Fig. 26 冷却管配置図

上記対策を実施した場合の予測解析では、Fig. 24 で示す通り全ての箇所において最小ひび割れ指数が 1.00 以上となった。

実際のクーリングパイプ配置状況を Photo. 16 に、送気状況を Photo. 17 に示す。



Photo. 16 クーリングパイプ配置

クーリング期間は打設日から 3 日間以上とし、使用済みのクーリングパイプは無収縮モルタルを充填した後、上層リフト内に埋設した。



Photo. 17 クーリング状況

クーリング効果の確認は、1 期施工と同様に各所に熱電対を設置し、外気温、送排気温度、コンクリート温度等の計測を実施した。

測定結果より、コンクリート温度の解析値と実測値に若干の偏差が見られたが、エアークーリングによる冷却効果は概ね計画通りであった。Fig. 27 に端部 A2 堰柱第 4 リフトの温度計測記録図を示す。

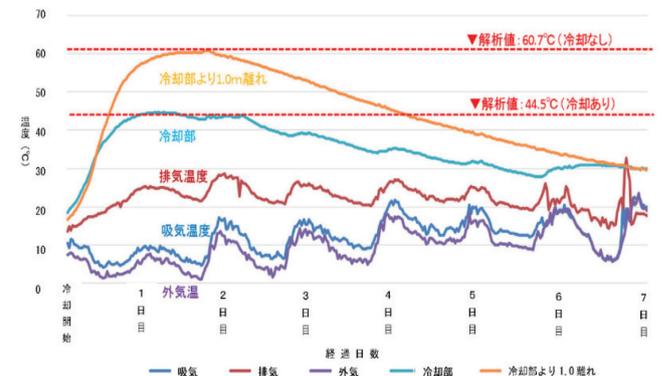


Fig. 27 A2-4リフト温度計測記録図

コンクリート打設後、ひび割れ発生状況調査を実施し、構造物に有害なひび割れは生じておらず、本工法による対策の有効性が確認された。

なお、今回採用した冬季におけるエアークーリング工法は、冷却媒体が空気であるため副産物等の排出が無く、冷却に必要な設備は全て汎用品で対応可能であり、環境性・コスト性に優れ、管理面においても優れた工法であることが確認できた。



Photo. 18 水門堰柱部

6. まとめ

二級河川甲子川筋甲子川水門土木工事は、東日本大震災により壊滅的な被害を受けた岩手県釜石市において、1日も早い復興を目指し、受注後に詳細な工事内容が指示される「標準断面図等による発注方式」により発注された工事である。

比較的工事事例の少ない沿岸部の河口付近での水門建設工事であり、波浪等の厳しい自然環境に起因する被害を被る中、常に工程短縮と安全、構造物の品質確保を求め

られた。7年に及ぶ工事期間中、突発的な事象や発注者からの指示に対し、本支店関係部署及び専門工事業者等と連携しながら問題解決に取り組んだことで、全体工程を逸脱することなく工事は進捗し、工期内に工事を完成することができた。また構造物についても様々な品質向上の取組みにより満足のいく成果が得られた。

本工事における取組みが今後の水門工事をはじめ、河川構造物の工事計画の一助となれば幸いである。

謝辞

本工事は、発注者である岩手県沿岸広域振興局の皆様のご理解とご指導、地域の皆様、本支店関係部署ならびに協力業者の方々のご協力によって完成することができました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル，財団法人国土技術研究センター。
- 2) 港湾の施設の技術上の基準・同解説，国土交通省港湾局監修。
- 3) 国土交通省港湾局の全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)。
- 4) 2012年制定 コンクリート標準示方書，社団法人土木学会。
- 5) 田辺，山川，渡辺：パイプクーリングにおける管壁面熱伝達率の決定ならびに冷却効果の解析，土木学会論文報告集，第343号，p. 171～179，1984年3月。

Construction report of new tsunami-proof floodgate in the Sanriku coastal area: Civil engineering work of Kashi River Floodgate in Kashi River, a class B river

Takayuki MAKITA, Sen SO, and Naoyuki TAKEDA

Abstract

This construction work was carried out in Kamaishi City, Iwate Prefecture, which was devastated by the Great East Japan Earthquake, to prevent damage from another tsunami run-up by constructing a new tsunami-proof floodgate near the mouth of the Kashi River, which flows through the city. The floodgate was constructed on the edge of the rias coast, which is peculiar to the coastal area of Iwate Prefecture. A sluice gate with a width of approximately 120 m was constructed in two parts (left and right) inside a temporary cut-off bank that dams approximately half of the river. This report describes the temporary construction, foundation construction, and concrete construction that were carried out in the above construction environment.

Key words: new floodgate construction, temporary dike, steel pipe soil cement pile, water pipe cooling, air pipe cooling