

# 西郷ダム通砂対策工事の施工報告

## —西郷発電所ダム通砂対策工事—

高木秀和 \* 野澤順一郎 \*\* 中村正雄 \*\*\* 江島裕章 \*\*\*\* 齊藤剛 \*\*\*\*\*

宮崎県耳川水系では、平成 17 年の台風 14 号により、多数の斜面崩壊と甚大な浸水被害が発生した。この大水害を契機に河川管理者である宮崎県は河川整備計画を見直し、「耳川水系総合土砂管理計画」を策定した。九州電力株式会社では当計画におけるダム事業者の行動計画として、河川本来の土砂の流れを取り戻すことを目指し、山須原ダム、西郷ダムおよび大内原ダムの連携による通砂運用を行うこととした。本工事は、この通砂運用のためのダム改造工事を行うもので、当社は西郷ダム通砂対策工事のうち土木工事を担当した。

キーワード：ダム改造、ダム天端の切り下げ、摩耗対策、ダクトル

### 1. はじめに

近年の気候変動による異常気象で想定を超える豪雨や巨大台風が発生し、各地で大水害や土砂災害が発生している。一方、昭和初期の電力エネルギー需要に対応するため建設された多くの水力発電所は、更新の時期を迎えつつある。また、地球環境保全の観点より再生可能エネルギーの利用促進の要求は高まっている。以上より、これからは洪水調整能力の増強やダム本体の更新などの再開発工事の必要性が高まることが予想される。本工事は建設されてから90年が経過したダムの改造工事で、その施工技術は今後のダム更新時代に参考となる多数の工種で施工された。今後の参考のためにここに報告する。

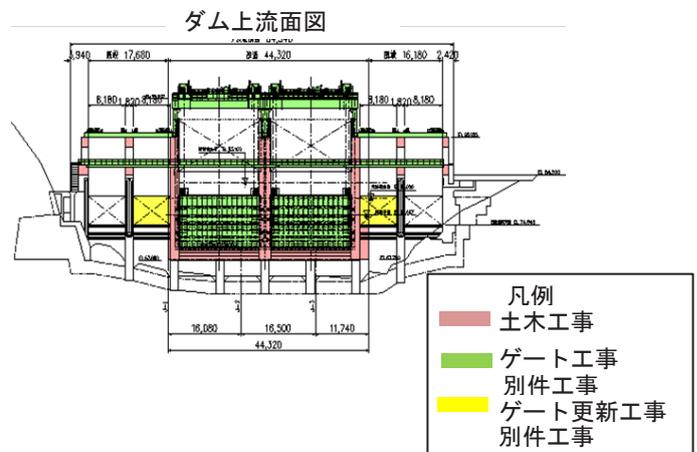
### 2. 工事概要

工事名：西郷発電所ダム通砂対策工事（土木工事および土木除却工事）、工事場所：宮崎県東臼杵郡美郷町西郷小原字川戸口、工期：平成 23 年 9 月 16 日～平成 30 年 8 月 21 日、発注者：九州電力株式会社耳川水力整備事務所、施工者：株式会社熊谷組・飛島建設株式会社・株式会社志多組共同企業体

当工事は既設堤体の洪水吐きゲート中央 4 門分の堤体を、高さ 4.3m 切り下げて、大型洪水吐きゲート 2 門に交換する工事である。全景写真を Photo. 1 に、ダム改造工事計画図を Fig. 1 に、工事数量を Table 1 に、工事工程表を Table 2 に示す。工事は原則、毎年非出水期の 11 月～5 月末で実施した。



Photo. 1 西郷ダム全景



改造前断面図 (Cross-section diagram before renovation)

改造後断面図 (Cross-section diagram after renovation)

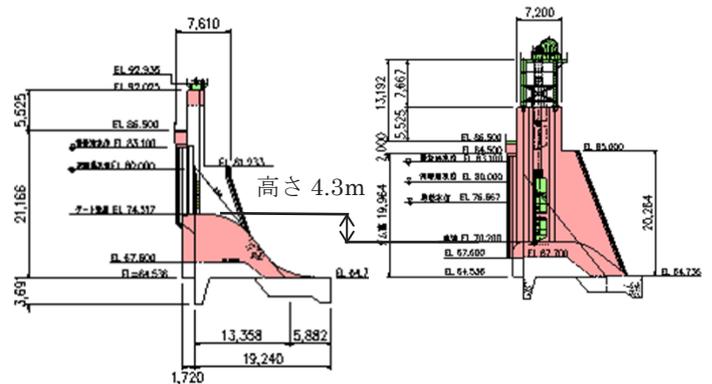


Fig. 1 ダム改造工事計画図 (Dam renovation work plan diagram)

- \* 土木事業本部 ダム技術部
- \*\* 九州支店 女子畑作業所
- \*\*\* 九州支店 JR 立野作業所
- \*\*\*\* 九州支店 川内原発土木作業所
- \*\*\*\*\* 九州支店 七隈地下鉄作業所

Table 1 主要工事数量表

項目	細目	単位	数量	備考
旧堤体取壊し	通路橋	m <sup>3</sup>	408	
"	ピア	m <sup>3</sup>	883	
"	堤体	m <sup>3</sup>	3,595	合計4886m <sup>3</sup>
新設堤体				
コンクリート工		m <sup>3</sup>	4,447	
鉄筋工		t	384	
基礎処理工	ボーリング	m	1,800	
	注入	時間	468	

Table 2 主要工事工程表

工程	1期	2期	3期	4期	5期	6期	7期
準備工							
仮締切工	■						
SR堰工		■					
機械							
土工							
堤体部							
堤体工							
ゲート工							
仮設構台他							
ピア補強工							
周辺整備							

■ 工程      ■ クリティカルパス

### 3. ダム通砂運用とダム改造の概念

Fig. 2にI) 通常放流とII) 通砂運用の違いを示す。

改造前のダムでは、洪水時に上流から土砂が流入すると、河川流速が急激に小さくなる貯水池上流端で土砂が堆積、その結果河川水位を上昇させ、周辺家屋への浸水リスクを高める。

このため、ダム改造により越流天端を切下げて、洪水時は貯水池の水位を下げ、河川本来の流れにより土砂を流下させることで、土砂の堆積を防止することができる。このように運用することが通砂運用である。

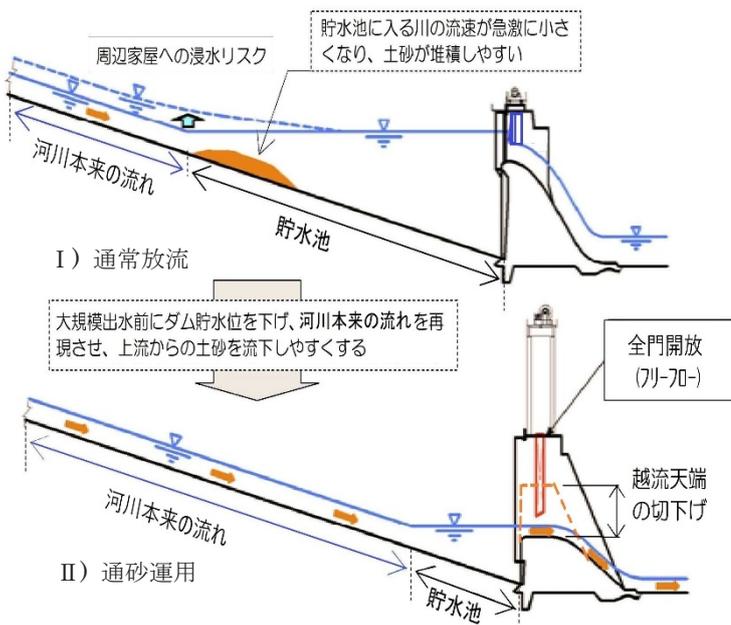


Fig. 2 ダム通砂運用による土砂流下とダム改造概念<sup>1)</sup>

### 4. 仮設備計画

#### 4. 1 仮設備計画平面図

Fig. 3に仮設備計画平面図を示す。西郷ダムのダムサイトは国道327号線に接した立地状況で、十分な作業ヤードが確保できなかったため、工事を効率的に進めるためダム堤体右岸側、堤体上流側、下流河床部にそれぞれ作業ヤードを配置した。また、第1・2・5期工事では上流湛水池内に80tクレーン台船を配置し左岸側の工事に使用した。

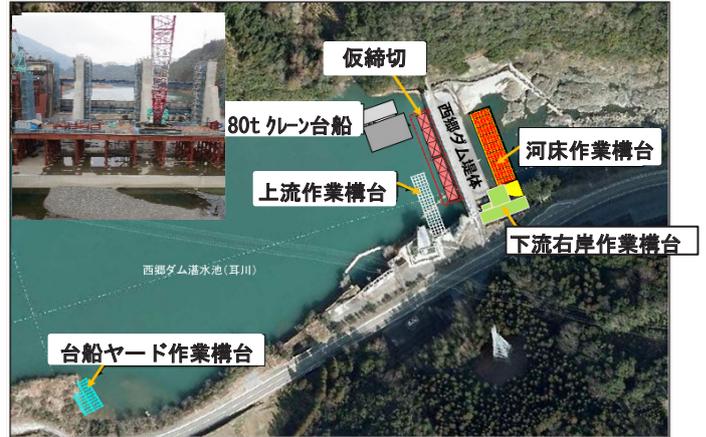


Fig. 3 西郷ダム仮設備計画平面図

#### 4. 2 仮設構台設置状況

以下、各作業ヤード設置状況を示す。

Photo. 2 に下流右岸作業構台を示す。

Fig. 4に河床作業構台構造図、Photo. 3に河床基礎ブロック設置状況と河床作業構台作業状況を示す。



Photo. 2 右岸作業構台

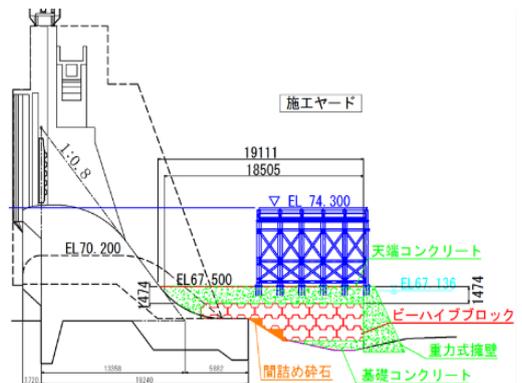


Fig. 4 河床作業構台構造図



Photo. 3 河床基礎ブロック設置状況, 河床作業構台作業状況

Photo. 4 に上流作業構台（リーブラ工法）を示す。  
Photo. 5 に 80t クレーン台船（5 期工事）を示す。



Photo. 4 上流作業構台設置状況



Photo. 5 80t クレーン台船作業状況（5 期工事）

## 5. 詳細施工計画

### 5. 1 上流仮締切工

西郷ダムでは上流仮締切は、鋼矢板による締切とその上部に可倒堰を設置した形状で、可倒堰は堰高 4.0m の SR 堰であった。SR 堰は鋼製の扉体とゴム袋体からなり、ゴム袋体に給排気することで扉体を起立、倒伏させる機能を有している。

上流仮締切基礎部分は上流面と側面部に鋼矢板を岩着

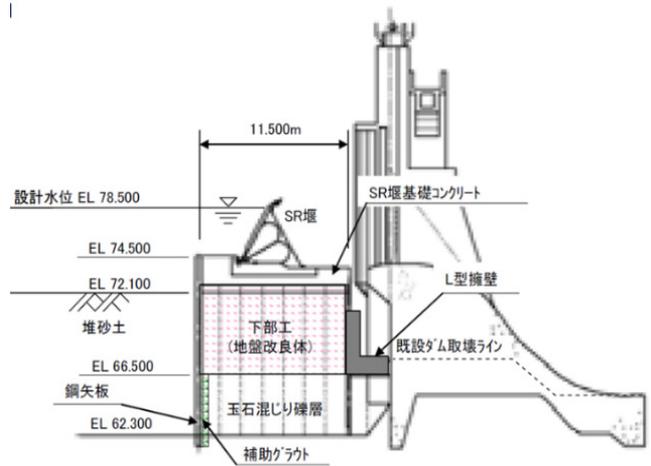


Fig. 5 上流仮締切断面図

させるように打設後、内部の堆積土砂を地盤改良（エポコラム工法）で必要強度に改良した。下流側は地盤改良体に打設した H 鋼 300 に鉄板とコンクリート擁壁で改良体を保護する構造とした。Fig. 5 に堤体及び上流仮締切断面図を示す。

### 5. 1. 1 上流仮締切の設置・再設置

上流仮締切は V 型鋼矢板を着岩する構造で、硬質地盤クリア工法で打設した。打設機械は 2 セットとし、上流作業構台上の 150t クローラクレーン、80t 台船クレーンで施工した。（Photo. 6 参照）



Photo. 6 仮締切鋼矢板打設状況（1 期）

この仮締切鋼矢板は SR 堰設置時（1・2 年目）と撤去時（5・6 年目）に止水矢板として使用する計画で、設計では 1 年目の工事終了時に水中で鋼矢板を切断して一旦撤去し、次期に切断した上部の鋼矢板を残置した元の鋼矢

設計計画

変更計画

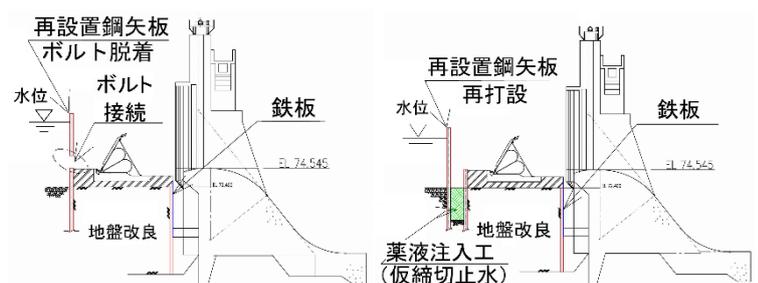


Fig. 6 止水矢板設置変更計画

板にボルト止めして再設置する計画であった。しかし、一度水圧や地盤改良注入圧による変形を伴った鋼矢板を水中で接続することは困難と判断して、2・5年目は上流仮締切を

囲う様に複列に鋼矢板（止水矢板）を土砂部に打設し、締切矢板との間を薬液注入で遮水処理する工法を採用した。Fig. 6に変更計画を示す。Photo. 7に2期工事止水矢板設置状況を、Photo. 8に2期工事薬液注入状況を示す。



Photo. 7 止水矢板打設状況（2期）



Photo. 8 止水矢板薬液注入状況（2期）

### 5. 1. 2 上流仮締切基礎工

SR堰基礎は、河床堆積土砂をエポコラム工法φ1600mm、接円配置で、基礎岩盤まで改良する設計であった。実施工では玉石部は改良が困難であったため、その上部までを改良体とし、玉石部は未改良で残置して下流側にL型擁壁で既設堤体に接続させることで、安定化を確保した。

エポコラム機を配置するために、湛水池水位標高まで埋戻して敷鉄板で重機足場を確保した。エポコラム工法の改良目標強度 $1,200\text{kN/m}^2$ に対し、セメント添加量は $220\text{kg/m}^3$ （砂質土： $160\text{kg/m}^3$ ，粘性土： $220\text{kg/m}^3$ ），実際の改良土強度は、 $1,600\sim 4,000\text{kN/m}^2$ であった。

Photo. 9にエポコラム改良機を示す。

仮締切の周囲は、遮水性を確保するため、二重管ダブルパッカー工法で注入した。



Photo. 9 エポコラム改良機



Photo. 10 右岸側均しコンクリート打設

地盤改良完了後、中詰め土砂を撤去して均しコンクリートを打設した。Photo. 10に均しコンクリート打設作業を示す。

工程を確保するため上流仮締切を2分割して、台船クレーンが配置されている左岸側を先行して左右岸を同時並行作業とした。

### 5. 1. 3 SR堰工

SR堰は2期工事で上流仮締切を再設置後施工した。クレーン作業や資機材運搬は80tクレーン台船と運搬台船を用いた。上流仮締切は基礎コンクリートを打設して仮締切の反力を支持できるまでの期間は土止め支保工を設置した。基礎コンクリート打設後にSR堰基礎金物を設置し2次コンクリートを打設した。その後、ゴム袋体の設置、スチール製の扉体を運搬台船で運搬し、80tクレーン台船で設置した。Photo. 11にゴム袋体と扉体設置状況を示す。

SR堰設置完了後上流仮締切とSR堰間に注水して試験湛水し、袋体の変形状況、応力発生状況を測定し設計値と比較して、施工精度を確認した。Photo. 12に試験湛水・応力測定状況を示す。



Photo. 11 ゴム袋体と扉体設置状況

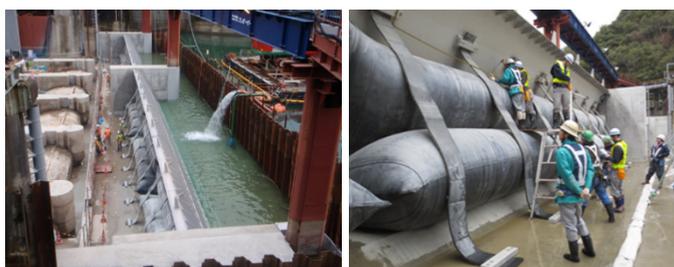


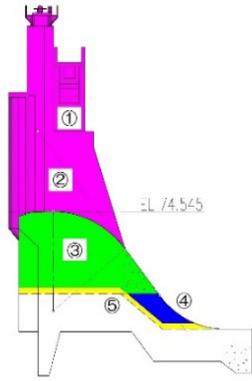
Photo. 12 試験湛水・応力計測状況

## 5. 2 堤体取壊し工

### 5. 2. 1 通路橋・ピア撤去工

Fig. 7に堤体取壊し区分を示す。

通路橋・既設ピアの取壊しはワイヤーソーにより切断し、河床作業構台に設置した200tクローラクレーンで搬出する計画で工事を進めた。通路橋は事前調査でU字型の無筋アーチ構造であることが判明していたので、切断による崩落を防止するため、下部に支保工を設置し仮受けした。また、吊り上げ時にワイヤーの絞り込みによるU字構造の破壊が生じないように側壁間に高張力鋼製のサポートを設置した。Photo. 13に足場支保工設置状況、Photo. 14にワイヤーソー切断状況を示す。



凡例	
場所	取壊し方法
①通路橋	ワイヤーソー切断
②ピア部	ワイヤーソー切断
③本体部	大型ブレーカ 取壊し
④堤趾部	大型ブレーカ 取壊し
⑤接合部	ツインヘッダー切削

Fig. 7 堤体取壊し区分図



Photo. 13 支保工設置状況 Photo. 14 ワイヤーソー切断

なお、左右岸両端部ブロックの通路橋撤去時は、ゲート下流側の放流断面を確保するため支保工を鋼材で仮受した。Photo. 15 に支保工仮受による施工状況を示す。

通路橋取壊し後、ピア部の取壊しを実施した。ピア部もワイヤーソーで大型ブロックに切断し、河床作業ヤードでダンプに積載可能な大きさに再切断してダンプトラックで搬出した。Photo. 16 にワイヤーソー切断状況、Photo. 17 に200tクローラクレーン搬出状況を示す。



Photo. 15 支保工仮受状況



Photo. 16 ワイヤーソー切断状況



Photo. 17 切断ブロック搬出状況

### 5. 2. 2 堤体取壊し

ピア部の取壊し完了後、堤体部の取壊しを開始した。取壊しは大型ブレーカによる取壊しとし、既設堤体残置部

との鉛直方向の境界面をワイヤーソーで切断、水平方向の境界部は、仕上がり面から75cmの範囲は、ツインヘッダーによる切削で取壊して、既設堤体に振動の影響を与えない工法とした。ブレーカ作業とツインヘッダー作業による発生振動を事前に取り壊し予定部で計測して影響無いこと（許容振動速度5kine以下）を確認した。

Fig. 8 にブレーカ取壊し時発生振動速度試験結果を、Fig. 9 にツインヘッダー切削時発生振動速度計測結果を、Photo. 18 にワイヤーソーによる境界部切断状況を、Photo. 19 に堤体ブレーカ取壊し状況を示す。Photo. 20 に振動計測状況、Photo. 21 にツインヘッダー切削状況を示す。

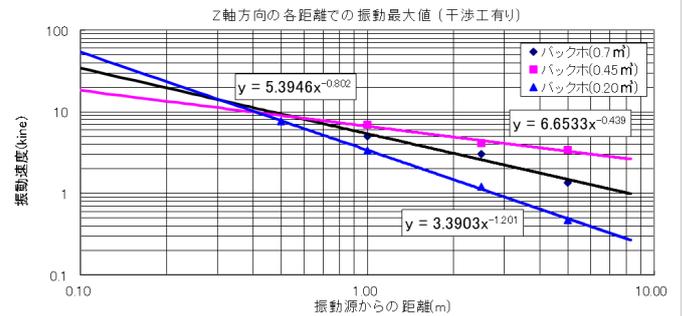


Fig. 8 ブレーカ取壊し時振動速度

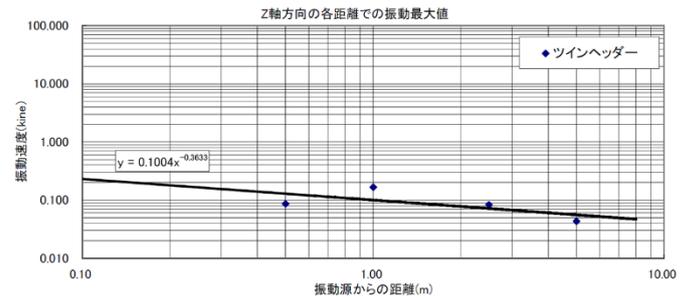


Fig. 9 ツインヘッダー切削時振動速度



Photo. 18 ワイヤーソー境界部切断状況



Photo. 19 堤体ブレーカ取壊し状況



Photo. 20 振動計測状況



Photo. 21 ツインヘッダー切削状況

### 5. 3 堤体コンクリート

#### 5. 3. 1 堤体コンクリート試験練り

堤体コンクリートの示方配合表を以下に示す。

Table3 示方配合表

水結 合材 比	細骨 材率	単用量(kg/m <sup>3</sup> )							AE減 水剤	
		水W	セメン トC	フライ アッシュ F	細骨 材S1	細骨 材S2	粗骨材G(mm)			
52	33	117	158	67	457	196	G1 60-40	G2 40-20	G3 25-5	0.565
					654		473	487	392	

打設時期と同じ環境となる打設開始1年前の12月と2月に堤体コンクリート試験練りを実施した。試験項目はダムコンクリートのフレッシュ性状、硬化性状、配筋部への充填性、冬季養生の確認である。

フレッシュ性状、コンシステンシー試験について平成24年11月20日と平成25年2月5日の結果をTable 4に示す。フレッシュ性状において練り混ぜ後75分でコンシステンシーの規格値4.0 cm±1.0 cmを外れる値があった。そこで、75分経過した生コンはコンシステンシーの再試験が打設の条件となった。

Table 4 経時変化試験結果

試験日	配合	粗骨材 最大寸法 Gmax [mm]	練混ぜ 時間 t [s]	経過時間	試験結果				
					スラブ [cm]	空気量		外気温 [°C]	コンクリート 温度 [°C]
						測定値 [%]	フルサイズ [%]		
平成24年 11月20日	堤体	60	30	5分	5	4.5	3.7	16	13
				30分	3.5	4.2	3.4	17	14
				60分	3.1	3.7	3	17	15
				75分	3	3.6	3	18	16
				90分	2.3	3.3	2.7	19	16.5
平成25年 2月5日	堤体	60	30	0秒	5.5	6.6	5.4	-	15
				30分	3.7	5.1	4.2	-	16
				60分	3.5	4.4	3.6	-	18
				90分	1.8	3.6	3	-	20

規格値：スラブ 4.0±1.0cm, 空気量 4.0%±1.0%

充填性試験では、練り混ぜ後90分経過したコンクリートにおいても、仕上りが面の気泡、鉄筋内外の偏りが無いことを硬化したコンクリートからコア採取して確認した。また、仮置き時細骨材の下方の水分が切れにくいことが判った。

品質管理項目は、コンクリート標準示方書の内容を基本とし、試験練り結果を踏まえ、細骨材表面水率の測定を2回/日以上、細骨材の表面水の変動抑制対策として細骨材は仮置き砂の下方50cmは練り混ぜに使用しないこととした。Photo. 22に細骨材仮置き状況を示す。



Photo. 22 細骨材仮置き状況

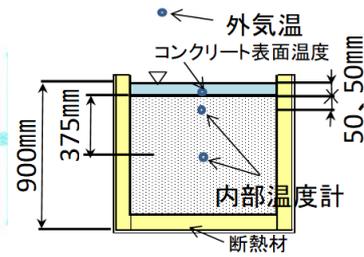


図 試験体および測点概要図



	表面	表面から5cm	中心部
湛水	22.4	21.3	22.7
コンマット	20.7	20.2	23
Qマット	26.9	26.9	26.7

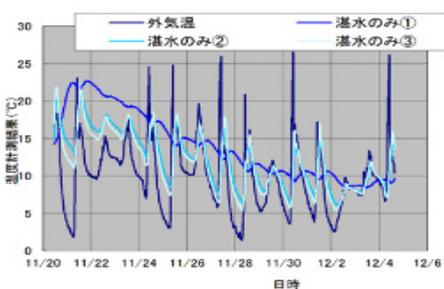


図 経過日数と温度測定結果(湛水のみ)

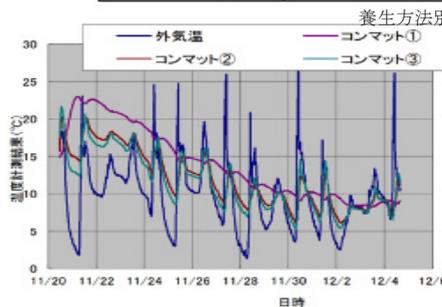


図 経過日数と温度測定結果(コンマット)

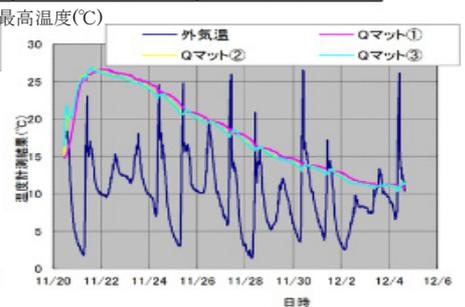


図 経過日数と温度測定結果(Qマット)

Fig. 10 コンクリート養生効果確認試験結果

試験練りに合わせて、打設コンクリートの養生方法の効果確認試験を、ブロック供試体を用いて実施した。

養生方法としては湛水養生、コンマット湿潤養生、Qマットの3種類とした。

ブロック供試体は□900mm×900mm×900mmとし、コンクリートから外気への熱発散を防止するため、ウレタンフォームを周囲に配置した。

外気温とコンクリートの表面と50mm、400mmの深さ方向の位置で温度測定した。養生確認試験の結果いずれの養生方法も、コンクリート表面温度は5℃以上を確保できることが確認できた。そこで、実作業では湛水養生(t=5cm)を基本とし、湛水できない時はコンマットを設置することとした。Fig. 10 にコンクリート養生効果確認試験結果を示す。

### 5. 3. 2 新旧コンクリートの一体化処理

取壊し完了後、新旧コンクリートの一体化処理を実施した。新旧コンクリート一体化処理として①超高压ジェット処理(コンクリート表面のマイクロクラック処理)②補強鉄筋、用心鉄筋の設置を施工した。また、止水性を確保するため③止水板の設置を新旧コンクリートの一体化面の水平部(ダム軸水平部)と鉛直部(各ジョイント部)に実施した。

新旧コンクリート一体化面の引張強度を確認するため、確認試験を実施した。堤体より切出した1.0m立方体に超高压ジェット処理2タイプとサンドブラスト処理の合計3タイプで処理した打継面に堤体配合コンクリートを打設し、そこから採取したコアで引張強度を確認した。その結果、超高压ジェット処理(200Mpa)が最良となったので、この工法で実施工した。Photo. 23 に試験状況、Photo. 24 に施工状況、Photo. 25 に止水板設置状況を示す。

鉛直止水板は、既設堤体面にφ100mmのコアドリルで連続して溝を設置することで作業の効率化を図った。水平

止水板は、既設堤体面を人力ハツリで掘り込んだ。止水板と旧堤体コンクリートは無収縮モルタルを充填して一体化した。

### 5. 3. 3 堤体コンクリート打設

堤体コンクリートは当初設計では堤体部の打設高さを0.75m、ピア部を1.0m~1.5mとして、全打設リフト数は25リフトであった。実施工に当たり効率化のため、ピア部を1.0mと2.0mで打設することとし実施打設リフト数は22リフトとした。日最大打設数量は155m<sup>3</sup>であった。

堤体コンクリート打設設備は、河床作業構台上の200tクローラクレーンによる2.25m<sup>3</sup>バケット打設とした。コンクリート運搬はアジテータトラック4.5m<sup>3</sup>積で、現場でバケット2回に分割して投入する方式とした。

打設の前にモルタルを、コンクリート打継部で15mm岩着部で20mm敷き均した。コンクリートは人力締固めとし、φ100mmバイブレータとφ120mmバイブレータを使用した。また、鉄筋が過密に配置された部分はφ60mmフレキシブルバイブレータを使用した。

打継面処理のグリーンカットは人力でハイウォッシャを用いて表面部のレイタンス2~5mmを取り除いた。グリーンカット開始時刻は、打設完了翌日の定時作業時間に開始して十分対応出来た。打設終了後概ね13時間から15時間で最適な状態であった。

打設は平成25年1月から開始し、5月末までに約4,000m<sup>3</sup>を打設したが、残り約190m<sup>3</sup>が第3期工事期間内に完了できなかった。原因は、ゲート巻上機架台用埋設金物が先行して配置されたことにより、鉄筋や型枠作業の効率等が低下したためであった。

堤体打設工事の遅延は、全体工程が1年延長することになる。そこで、遅延回避策を検討し、洪水期にピアの残り工事を実施することを決定した。Photo. 26~Photo. 30 に打設作業状況を示す。

型枠は越流部を木製型枠とし、ピア部は足場の設置撤去が不要になる簡易式スライドフォームを使用した。簡



Photo. 23 試験状況



Photo. 24 施工状況



Photo. 25 止水板設置状況



Photo. 26 生コン荷受け状況



Photo. 27 着岩部打設状況



Photo. 28 ピア部施工状況

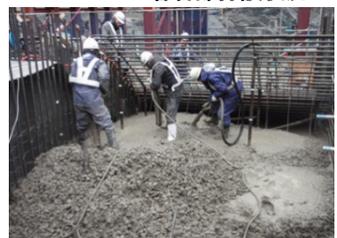


Photo. 29 人力締固状況



Photo. 30 マット養生状況



Photo. 31 スライドフォーム

易式スライドフォームは、キャンチレバーで支持できる側圧が打設高さ1.2m分なので、中段・天端をセパレーターで補強して使用した。Photo. 31 にスライドフォームを示す。

### 5. 3. 4 夏季打設計画

3期工事で打ち残したブロックを施工するために夏季に河川内工事を実施する計画とした。発注者河川管理者との協議の中で、以下の計画とした。

- ① ピア上部の洪水時に影響が無い範囲に作業床を設けてそこに足場型枠を設置する。
- ② 作業通路はダム上流通路橋から、作業床に直接渡れる栈橋を設置し、河床に降りることなく通行する。
- ③ コンクリート打設用のクレーンは使用日に、河床作業ヤードに吊り下ろし、作業完了後搬出する。

以上の条件で、梅雨明けの7月初旬から作業を開始し、10月末までに無事全てのリフトの打設を完了させた。

### 5. 4 摩耗対策工

ダクトパネル設置範囲は越流部全面と、ピア部の越流部から1.0mの高さまでである。

ダクトパネルの設置方法は、ピア側面部はダクトパネルを型枠代わりに配置して直接堤体コンクリートを打設し、ダクトパネルに取り付けたアンカーボルトでコンクリートと一体化を図った。越流面は堤体コンクリート打設終了後に設置した。固定方法はダクトパネルを打ち込み式アンカーで堤体コンクリートに固定し、隙間を無収縮モルタルで充填した。

1回当たり無収縮モルタル充填作業量を基準に全体を数ブロックに分けてブロックごとに設置と注入を行った。

ダクトパネルには、高さ調整用、固定用、グラウト用の孔を配置し、ダクトパネルを所定の位置に吊り込み後、高さ調整用ボルトで平滑性を調整、その後固定用孔にアンカーを削孔した。鉄筋にアンカーが当たった場合は再削孔できるように固定用孔は長孔形状とした。ダクトパネル間は目地を設けずに設置したが、製品の伸びにより端部で切断調整する必要があった。

無収縮モルタルの注入前に注入箇所を水洗いし、余剰水は小型バキュームで排水した。現場練りの無収縮モルタルをモルタルポンプで圧送し、1枚ずつグラウト孔から注入圧が発生しない様に流し込んだ。グラウト孔は2箇所/枚設けられており、1箇所のグラウト孔にはエントラプトエアーが抜けるようにアクリルパイプを設置した。隣接ダクトパネルのグラウト孔からモルタルが噴き出すのを確認して、グラウト孔を木栓で閉塞した。Photo. 32に無収縮モルタル充填状況、Photo. 33に設置完了全景を示す。



Photo. 32 無収縮モルタル充填状況



Photo. 33 越流面設置完了全景

### 謝辞

本工事は、発注者の九州電力株式会社耳川水力整備事務所の各位、河川管理者の宮崎県、建設地の宮崎県美郷町の役場、地域の皆様、本社や九州支店の多くのご協力によって無事完成することができました。ここに、深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 朝崎勝之、加来睦宏、山上裕也：ダム貯水池における堆砂問題とその対策(第6回)―耳川水系での取り組み―、電力土木、2012.7 NO. 360

## Construction Report of Saigo Dam Remodeling Work

### —Power Plant of SAIGO DAM Remodeling Work—

Hidekazu TAKAGI, Junnichiro NOZAWA, Masao NAKAMURA, Hiroaki ESHIMA and Tsuyosi SAITO

A large-scale sediment inflow and inundation was caused by Typhoon No. 14 in 2005 in Mimikawa river in Miyazaki Prefecture. Kyushu Electric Power Co., Inc. planned sand operation by remodeling the dam. Kumagaigumi renovated Saigo Dam.

Key words: Dam remodeling, Top of the dam Devaluation, Wear countermeasures, Ductal