

布引五本松堰堤補強及び堆積土砂撤去工事の施工

宮 崎 弘

布引五本松堰堤は、1900年に建設された日本最古の重力式コンクリートダムであり、2006年に周辺施設を含め重要文化財の指定を受けた。1995年の阪神・淡路大震災で被災したこの歴史的遺産・建造物の補強、機能回復を目指し取り組んだ当工事の概要を紹介する。

キーワード：日本最古の重力式コンクリートダム、歴史的遺産、ダム、文化財保護、環境配慮の施工、修復履歴、堤体補強、堆積土砂撤去

1. はじめに

山陽新幹線新神戸駅から山側のハイキング道路を、生田川の溪流に沿って布引の滝（雌滝・鼓ヶ滝・夫婦滝・雄滝）を経て、約1km登ると眺望が大きくひらけ巨大な堰堤が現れる。この堰堤は布引五本松堰堤（通称布引ダム）と呼ばれている。

布引五本松堰堤は、日本初の重力式コンクリートダムで、神戸水道創設時の水源として建設された水道専用のダムである。名前の由来は、古典にもその名が見える「布引の滝」が下流にあり、また建設場所の地名が五本松だったことによる。

布引ダムは元設計をウィリアム・K・バルトンが行い、その助言のもと、佐野藤次郎が施工監督も担当し、1897年5月に着手後、3ヶ年をかけて1900年3月に完成した。

このダムの高さは33.3m、堤頂の長さは110.3m、堤頂幅は3.6mあり、当時としては画期的な規模であった。

建設当時の布引ダムの貯水量は76万 m^3 であったが、1938年の阪神大水害などによる土砂の流入で、工事着手前（平成2年調査）では38.2万 m^3 にまで減少した（表-1）。

ダム堤体の表面は、奥行き45cm～60cmの切石

を堤体外壁として布積みした石積みで覆われ、堤頂下方には横一直線のデンテル（歯飾り）を施し、古典様式の風格ある外観を呈している。水位上昇時の余水吐きは堤体の左岸側の岩盤を切り込んで自然の滝を模倣することで、下流の布引の滝に続く布引溪谷の景観に配慮したダムとなっており、1998年に登録有形文化財に指定された。さらに工事完了後の2006年には、周辺施設を含め重要文化財の指定を受けた。

布引ダムは建設から108年を経過し、神戸市の水源に占める割合はごくわずかなものとなったが、現在も貴重な自己水源として使用されており、また都心に近いハイキング道路沿いであるため、市民の憩いの場として親しまれている（写真-1）。



写真-1 下流側よりの布引ダム全景

表-1 布引ダムの緒元（平成2年3月調査）

ダ ム		貯水池	
型 式	重力式	集水面積	9.8 km ²
堤 高	33.3 m	湛水面積	5.0 ha
堤 長	110.3 m	有効容量	382 千 m ³
堤体積	22,482 m ³	有効水深	16.6 m

歴史的遺産・建造物である布引ダムの修復、復元にあたって、「現況を可能な限り残し、修復履歴も分かり、且つ今後百年は耐えられる建造物にする。」が施主である神戸市水道局とともに設計会社、我々施工業者の課題であった。

工種	形質	平成13年			平成14年				平成15年				平成16年				平成17年	
		8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2	4
資機材搬入路工																		
工事用トンネル工 場内整備工	w=5.1, H=4.4, L=323																	
堰堤補強工																		
堰堤本体補強工	掘削																	
	コンクリート																	
表面処理工 グラウチング工																		
周辺整備工																		
管理橋補強工																		
貯水池内道路工	貯水池内道路																	
堆積土砂撤去工																		
仮設工																		
トンネル仮設備	仮設棧台工																	
	他設備工																	
貯水池内仮設備	バンカー線工																	
	他設備工																	

図一 全体実施工程表

2. 工事概要

今回の工事は、阪神・淡路大震災後の第3次布引ダム調査研究会の提言を受けて施工された。水道の歴史的構造物の保全ならびに自己水源を確保することを目的として、堰堤を補強するとともに、水源機能を回復するため、貯水池を空にする期間を利用して、貯水池内に堆積した土砂を撤去するものであった。

図一に、当工事を約43ヶ月にわたって施工した「全体実施工程表」を示す。

3. 堰堤補強工の施工

(1) 資機材搬入路工

工事に着手するにあたり、ダム上下流側に資機材搬入路として大型車の進入できる既存道路がなく、なおかつ国立公園内であるため、周囲の環境を大きく変えることのないよう、ダム上流側に道路トンネルを施工した。またそれを存置することにより、将来の堆積土砂撤去、ダム補修等にも利用できるようにした。既存道路を使用する部分も六甲山ハイキングコースの一部であり、多くの市民が利用していた。工事の開始に伴い大型工事用車両が通行すると、ハイカーの安全確保が困難となるため、道路沿いの山林に仮設遊歩道を設置し、ハイカーの安全を確保した。

(2) 転流工

流水の影響を最小限に抑えて、堤体基礎掘削、基礎処理、及び堤体コンクリート打設等の堤体補強工事と、貯水池内堆積土砂撤去工事を施工するため、本体工事に先立って河川の切り替えを行った。

布引ダムはすでに放水路トンネルが左岸側に設けられており、大雨時はこのトンネルを通して洪水が流下するため、放水路トンネルをそのまま仮排水路トンネルとして活用した。よって対象流域はトンネル呑口より下流の残流域(0.5 km²)となる。

今回ダムの転流を検討した際の留意事項を次に列記する。

- ・対象流域が小さく、対象流量は少ない。
- ・既設堤体内部に通水設備は設けにくい。
- ・貯水池内掘削を行うと、降雨時の流入水による懸濁水量が多くなるので、濁水処理量が増える。

以上の事項を考慮し、転流工は貯水池周辺に仮排水路を巡らせ、ピットに集水後、ポンプで揚水してダム左岸河川へ放流する方式とした。これにより地山からの清水と、作業中の貯水池内濁水が混合されないようにした。また放流経路は、清水時に直に河川へ放流するラインと、濁水発生時に濁水処理設備(100 m³/h)を通過するラインの2系統を設けた。

上流からの伏流水を遮断し、仮排水路により排水するため、上流側に締め切り堰堤を設置した。締め切りにはⅡ型鋼矢板を使用し、岩盤に到達するまで打設した。打設前の試掘の結果、土中に大型の転石、倒木等が発見されたので、全旋回機を使用し、径1,200 mmの先行削孔をおこなった。

(3) 場内道路

堰堤補強工、堆積土砂撤去工の施工に先立ち、工事期間中に工事用車両が通行する場内道路(延長約1,000 m)を築造した。上流側から工事用トンネルを通過後、既設遊歩道下部沿いに堤体左岸に達する主要道路と、途中から分岐後バンカー線(堰堤工用作業構

台)に達する道路を設けた。

仮設道路の盛土は、現地発生良質土をセメント改良(C = 100 kg/m³)して施工した。セメント改良に先立ち盛土材と堆積土砂(軟弱土)に対し六価クロム溶出試験を実施し、貯水池内施工での安全性を確認した。主要道路は、堤体補強コンクリート打設時、堆積土砂搬出時共に車両の通行量が多く、また左岸沿いハイキング道に隣接しているので、アスファルト舗装(t = 50 mm)を敷設した。それ以外の道路面はアスファルト乳剤による防塵舗装を施工した。

上記の道路は貯水池内工事が終了するまで使用したが、土砂撤去の進捗状況に伴い順次撤去し、主要道路のみ舗装を撤去したのち存置した。

(4) バンカー線(堰堤工用作業構台)

既設構造物及び周辺環境の改変を極力なくするため、ダム本体補強工施工時の鋼製作業用構台として、堤体上流側にバンカー線を設置した(写真-2)。



写真-2 バンカー線(作業用構台)全景

分岐道路より堤体と平行に鋼製構台を築造し、この構台を使用して本体補強工の型枠・コンクリート工、グラウト工、表面処理工(石張り工)を施工した。また堤体下流側の布引特1配水池内の配管工、場内整備工にもこの構台を使用した。堤体下流側への管材等荷卸時に無理のないよう、50t吊クローラクレーンに耐えられる構造とした。

基礎構造は、岩露出部はコンクリート打設による直接基礎とし、岩線が深い部分はH鋼(350×350)打設による杭基礎とした。杭打設には、岩掘削が容易なダウンザホール工法を採用した。

(5) 堤体基礎掘削工

堤体基礎掘削工は、堆積土砂撤去に続く作業であったが、掘削作業時は既設堤体を傷めないよう、特に大型ブレイカー使用時は細心の注意を払って施工した。

基礎岩盤を掘削予定線近く(50 cm程度)まで掘削後は、岩盤に弛みが生じないように、ピックハンマー、ブレイカー(20#)等を用い、予定線まで仕上げ掘削を行った。掘削完了後、岩盤面の浮石、堆積物、油及び岩片等を除去し、圧力水・ワーヤーブラシ等を用い、数回の反復作業により岩盤清掃を実施した。溜水、砂等を完全に除去した後、地質・岩級の調査を行い、岩盤マップを作成した。その後、布引ダム調査委員会の立会のもと岩盤検査を実施した。

なお岩盤検査後、長期間放置する標高の高い場所は、雨風による岩盤の風化・劣化を防ぐためモルタル吹付けを行った。吹付けした岩盤面は補強コンクリート打設前に吹付けを撤去し、再度岩盤清掃後検査を受けた。

(6) 補強コンクリート工

堤体補強コンクリートの打設は盛夏を避け、平成15年11月より開始し、平成16年6月初旬で完了した。

打設工程は、全工程の中でも最も重要な工程なので、リフトスケジュールを算定し綿密な計画を立て、それを実行した。

当初バケット打設で計画されていたが、試験施工等により、コンクリートの配合が富配合で、スランプが5 cmであってもコンクリートポンプ車による施工で支障のないことを確認し、補強コンクリートをポンプ圧送にて打設することとした。打設に際しては、特記仕様書及びコンクリートのポンプ施工指針、施工管理基準に基づき、密実で良好なコンクリートが打設できるような品質管理と、工事が円滑に進むような施工管理を徹底して行った。

堤体補強コンクリートは生コン工場から購入のレデ

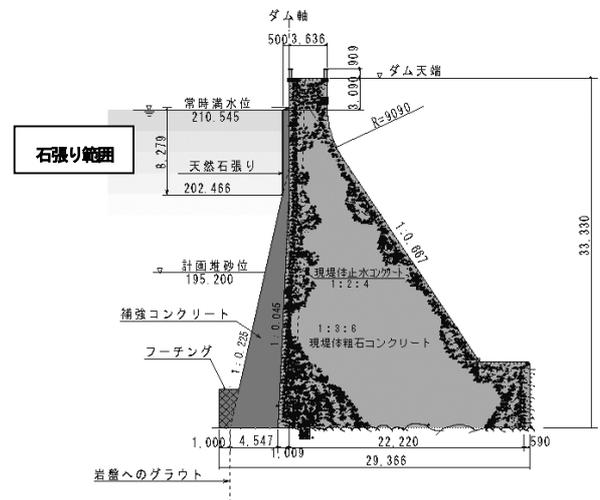


図-2 標準断面図

イミクストコンクリートとし、配合は27-5-40BBのものを使用した。打設実績は約8ヶ月で45回打設を行い、総数量は3,353 m³、日最大打設量は141 m³であった。

コンクリートは拡張レアー方式で打設し、横継目型枠には埋設型枠（鉄板）を使用した。既設堤体石積面との一体化を図るため、約200 Mpaの超高压水にて清掃洗浄後、せん断補強鉄筋を打設し、石積面にはセメントペーストを塗布した（図-2）。

(7) 計測管理工

一般的には、「河川管理施設構造令」に基づいた計測設備を、ダム本体に最低限設置するものとされており、今回の最低計測事項は漏水量・揚圧力であった。

さらに、布引ダム調査研究会において補強後の断面について安定計算、FEM解析による新旧コンクリート接合面応力照査、及び温度応力解析を行っており、これらの検討結果をダム施工中の施工管理、完成後の安全管理等の中で検証する必要がある。また、現堤体にはすでにある程度の計測設備が設置されていた。したがって、現状の計測項目及び布引ダム調査研究会の指導事項を参考に今回の計測項目を決定し、増設フィレットからの漏水量、増設フィレット部の揚圧力、温度、新旧堤体接合面の変形、応力、増設フィレット部と岩着面間の変位、貯水池の水位とした。

(8) 止水板・継目排水工

コンクリート打設時に設ける鉛直打継目よりの漏水を防ぐため、打継部に基礎岩盤より立ち上がる塩ビ止水板（幅400 mm×厚9 mm）を、横方向15 m間隔で設置した。また有害なクラックを防止するため、上部の止水コンクリート部（厚600 mm）には上記止水板の中間にさらに塩ビ止水板（幅300 mm×厚9 mm）を追加設置した。

さらに、万が一止水板を通過した水が、既設堤体に浸透し、本体に悪影響（揚圧力等）を及ぼすことのないよう、止水板の奥に継目排水工（VPφ150 mm）を施工した。この継目排水工へ達した水は、塩ビパイプ（VPφ100 mm）にて各々取水塔（中央円筒部）へ導き、排水時に水量を計測できるようにした。

(9) 表面処理工

景観保全を目的に、今回打設する堤体補強コンクリートのうち、通常時の状況において頻繁に水面以上に姿を現すであろう標高kop+202.0以上の部分について、天然石張りを施工した。

石材は、布引花崗岩調石として、中国福建省普江県産の白御影石を使用し、形状寸法は基本的に、高さ406 mm×幅400 mm×厚さ30 mmのコブ出し仕上げとした。石材の取付工法は、剥落等が起こらないよう、打込みアンカーを併用した湿式工法とし、堅固な構造とした（図-3、写真-3）。

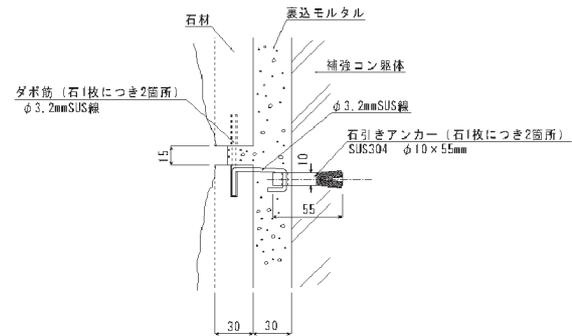


図-3 付詳細図

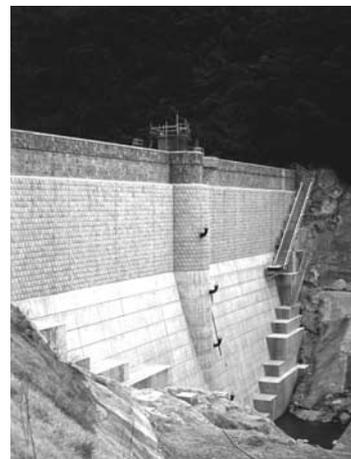


写真-3 堤体補強完了全景

また、主目的が景観保全であることから、現場において試験施工を行い、既存石張り部と調和のとれた美しい仕上がりとなるよう配慮した。

(10) カーテングラウト工

今回のグラウト工は、補強コンクリート範囲の基礎岩盤部をグラウトすることにより、遮水壁を構築し貯留水の漏水を防止するとともに、堰堤に作用する揚圧力を低減することにより、ダムの安定を確保することを目的としたカーテングラウトであった。

ダムの基盤岩としては、左右岸全域に布引花崗閃緑岩が分布していた。

グラウチングは中央内挿方式とし、パイロット孔より施工して順次、1次孔、2次孔、3次孔、追加孔、チェック孔と施工を行った。なお、注入については、



写真—5 管理橋・堤体補強完了全景

圧力流量計およびデータ管理装置を使用してデータを記録・管理した。

ダムの安全性を確保するため、事前に岩盤変位計を5箇所に設置し、補強コンクリート部の基礎岩盤の挙動を計測した。

(11) 堆積土砂撤去工

堤体補強工で基礎地盤まで掘削するため、同時に堆積土砂を撤去し貯水能力を回復させる設計であり、取水可能量、工期、工費等、費用対効果を考慮して撤去する土量を20万 m^3 とした。このうち堤体付近に堆積する約5万 m^3 は超軟弱土であり、その上を走行できるフローティングバックホウを導入して、軟弱土の改良を施工した。路面に工事用トンネルの岩ズリ等を利用するなどして進入路を築造し、軟弱土の固化処理・搬出を行った(写真—4)。



写真—4 軟弱土固化処理状況

また、堆積土砂処理を効果的に施工するため、工事に先立ちディープウェルを5本打設し、事前揚水を行うことにより土砂内の含水量を低減させた。

(12) 管理橋補強工

左岸側にある管理橋は、ダム建設当時のトロッコレールを使用しており、貴重な財産として当時の部材、形状を可能な限り保存する方向で再構築補強を行っ

た。

既設床版コンクリートを撤去後、桁鋼材をそのまま搬出し、工場で部材の点検調査・補修を実施した。旧部材を多く使用するため、赤錆を科学的に安定した黒錆に転換する機能を持つ、無溶剤型特殊エポキシ樹脂錆転換剤を下塗り材に使用した。上塗り材は補修前の色に合わせ、銀色の常温硬化型フッ素樹脂塗料とした。

橋台、橋脚についても、管理橋本体の工場での補修の期間に合わせ、補修補強を行った(写真—5)。

4. おわりに

一般に開放された現場を目指し、目隠しをせず、遊歩道より工事が常に見渡せる状況で工事を進めた。歴史的建造物の再生という新しい形の工事であり、多くの技術者、市民への見学会を開催し、約7,000名の見学者を受け入れた。

今後、建設後50年以上を経過したダムの老朽化及び堆砂量の増大により、補強工事(耐震補強)、堆積土砂撤去工事(浚渫)等を実施し、貯水池機能の維持・改善を図るケースも増加すると思われる。今回の報告がその一助となれば幸いです。

最後に、本工事の設計ならびに施工に関し、ご協力いただいた関係各位に誌面を借りてお礼を申し上げます。

JCMA

《参考文献》

- 1) 写真—1,3,5 土木写真家 西山芳一氏撮影
- 2) 奥村・三井住友・青木あすなろ特定建設工事共同企業体：布引五本松堰堤補強及び堆積土砂撤去工事，工事報告書，平成17年3月

【筆者紹介】

宮崎 弘 (みやざき ひろし)
 (株)奥村組
 関西支社 土木工務部
 石屋川シールドJV工務所
 所長

