

わが国最古の重力式コンクリートダムの再生 —布引五本松堰堤補強および堆積土砂撤去工事—

空 中 博・松田 康 孝

布引ダムは明治33年3月に完成した日本で最古の重力式コンクリートダムである。

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震後、漏水量が増えたため、被害状況の把握と補強の必要性を検討した。その結果、地震時に踵部に引張応力が生じることが判明したので、耐震補強工事を実施した。また、補強工事にあわせて、貯水池内の堆積土砂を撤去し貯水機能を回復した。耐震補強と貯水機能の回復によりダムの再生を行った事例として、布引五本松堰堤補強及び堆積土砂撤去工事について報告する。

キーワード：重力式コンクリートダム、耐震補強、堆積土砂撤去、歴史的構造物、登録有形文化財

1. 布引ダムの諸元

布引ダムは正式名称を「五本松堰堤」という。英国技師バルトンの基本設計（アースダム）を佐野藤次郎が重力式コンクリートダムに変更し、明治33年3月に完成した神戸市水道の水源用ダムである。

建設当時は76万 m^3 あった貯水容量は昭和13年及び昭和42年の大水害などにより約41.7万 m^3 に減少していたが、100年を経過した現在も神戸市の貴重な自己水源として活用されている。表1に布引ダムの

表1 ダムの諸元

ダ ム		貯 水 池	
型 式	重力式	有効容量（創設時）	760,000 m^3
堤 高	33.33 m	有効容量（施工前）	417,000 m^3
堤 長	110.3 m	有効容量（完成後）	601,000 m^3

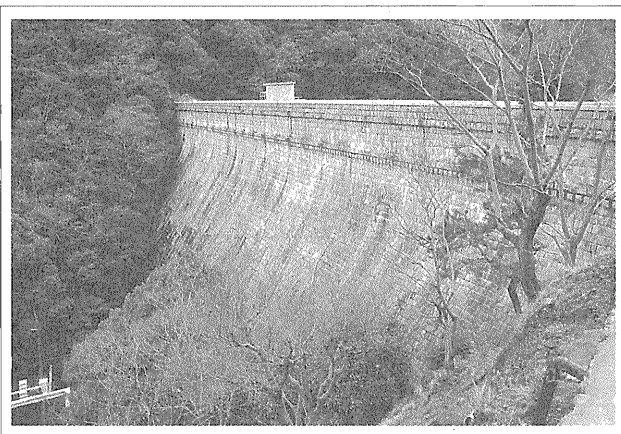


写真1 ダムの外観

諸元を示す。

ダムの表面は型枠がわりに使用された石積みで覆われ、堤頂下方には横一直線にデンテル（歯飾り）が施されており、古典様式の風格ある外観を呈している。ダムは平成10年に登録有形文化財に指定されている（写真1）。

2. 阪神淡路大震災と布引ダム

1995年1月17日午前5時46分、兵庫県南部地震が阪神地区を襲った。震央は布引ダムからおおよそ20 kmという至近距離であった。地震の影響は以下のとおりである。

- ① 地震後新たな漏水が発生し、堤体内に設置した排水孔からの漏水量が地震前に比べ2~4倍程度に増加した。
- ② ダム基岩部での地震加速度はJR新神戸駅の記録及び周辺の被害状況から150~200 galと推定された。

既設堤体について兵庫県南部地震時の安定性を検証した。当時ダムの水位は常時満水位から5.6 m低下していた。この時に200 galの地震力が作用したとして安定計算を行ったところ、安全性は満足していた。しかし現行の設計基準に基づき満水位のダムの安全について検討したところ、踵部に引張応力が発生する結果となり、ダムの耐震補強について検討を行った。

その結果、恒久的補強策として堤体上流側にフィレットを増築する案を採用した。

漏水量の増加に対し災害復旧工事としてグラウト工

事を平成7年10月～平成9年3月まで施工した。

引続き以下の事項について検討を行った。

- ① 安定性が確保できるフィレットの規模
- ② フィレットコンクリート打設時の温度応力
- ③ 既設堤体とフィレットの一体化
- ④ フィレットの表面処理による景観保全
- ⑤ 建設当初の部材を再使用した管理橋再生

これらの検討結果に基づき、堤体補強方法の検討と実施設計を行い、補強工事を実施した。

3. 堤体の再生（耐震補強工事）

工事は平成13年8月に着手し平成17年3月に完了した。工事は、

- ① 堤体補強工事
- ② 堆積土砂撤去工事
- ③ 水辺環境整備工事
- ④ 管理橋の補強工事

からなる。

(1) 堤体の補強

布引ダムは図-1に示すように表面は全面石張りで、内部の上流側約90cmは止水コンクリート（セメント：細砂：砂利=1:2:4）、その下流側は粗石コンクリート（セメント：細砂：砂利=1:3:6の配合コンクリートの中に粗石を混入したもの）となっている。基礎岩盤は白亜紀の花崗閃緑岩であり、一般的にCM級～CH級の堅硬な岩盤である。

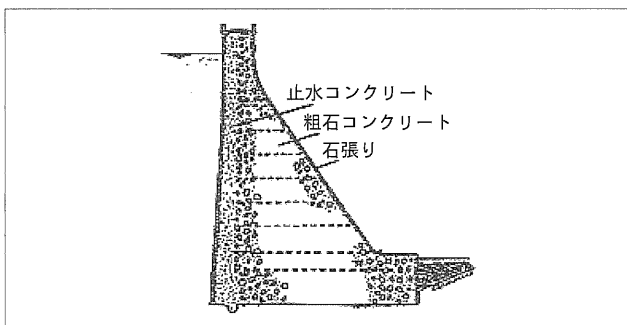


図-1 既設堤体断面

(a) 現行基準と布引ダムの安定性

重力式コンクリートダムの構造的安定性にかかわる条件は、

- ① 滑動（堤体底面のせん断摩擦安全率が4以上であること）、
- ② 転倒（作用外力の合力が堤体水平断面の middle-third に作用し、上流端に引張応力が発生し

ないこと）、

- ③ 圧壊（堤体内圧縮応力、引張応力、せん断応力が許容値を超えないこと）、
- の3条件となっている。

これに基づき既設堤体の安定計算を行った結果を表-2に示す。安定計算の結果は、現堤体が設計洪水水位、サーチャージ水位及び常時満水位で、転倒について条件を満たしていない結果となった。

表-2 既設堤体形状における安定計算結果

水位条件	水位 (Kop. m)	せん断安全率 n (滑動)	判定	上流端応力 σ_u (tf/m ²) (転倒)	判定	下流端応力 σ_d (tf/m ²) (圧壊)	判定
設計洪水水位	212.790 m	5.90	○	-1.30	×	72.8	○
サーチャージ水位	212.540 m	4.99	○	-15.7	×	87.2	○
常時満水位	210.545 m	4.69	○	-18.0	×	90.1	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

(b) 補強方法の検討と結果

今回検討を行った補強方法は次の3方法である。

- ① 発生する引張応力に対し鉄筋で補強を行う。
- ② プレストレスを導入することにより引張応力を解消する。
- ③ 堤体を増築することにより補強する。

その結果、①及び②による方法は、技術面及び維持管理上の問題点が多いため既設堤体上流部にフィレットを設け、転倒に対する安定を確保する③の方法を採用した。

フィレット形状は図-2に示すように底面幅4.5m、

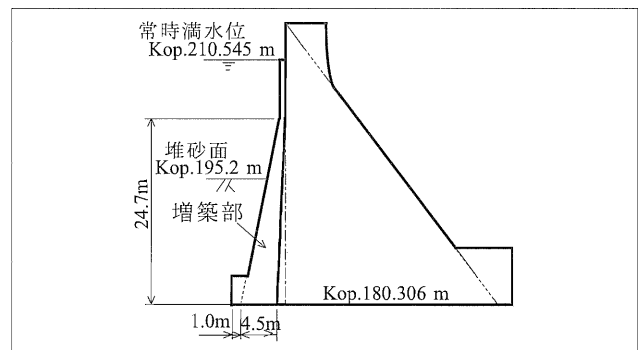


図-2 補強後の断面

表-3 補強後の安定計算結果

水位条件	水位 (Kop. m)	せん断安全率 n (滑動)	判定	上流端応力 σ_u (tf/m ²) (転倒)	判定	下流端応力 σ_d (tf/m ²) (圧壊)	判定
設計洪水水位	212.790 m	7.13	○	15.7	○	60.3	○
サーチャージ水位	212.540 m	5.94	○	4.8	○	71.2	○
常時満水位	210.545 m	5.51	○	1.7	○	74.4	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

高さ 24.7 m とし常時満水位までは既設堤体へ止水コンクリートを打設することにした。増築後の安定計算を行うと、上流側に発生していた引張応力の発生は解消し、その他の条件についても満足する結果が得られた。安定計算の結果を表—3 に示す。

(c) 現堤体との一体化

増築部分のコンクリート打設は、既設堤体への影響を考慮して、表面の石張りを撤去せずに行うこととした。新コンクリートと既設堤体の間知石の一体化を図るため、アンカー筋でせん断応力補強した。

(d) コンクリートの打設

増築コンクリートは 3,300 m³ あり、その打設に際してはマスコンクリートとして温度応力によるひび割れに注意を要した。打設時期は真夏を避け、1回の打設量を制限した。

現場の気温と打設後のコンクリート内部温度差を考慮して、冬季に打設するフィレットコンクリートは打設高さを 0.75 m に制限した。また、春以降は目地間隔を 15 m から 7.5 m に変更するなど細心の注意を払ってひび割れ防止に努めた。コンクリートの打設は 182 ブロック、46 回にのぼった。

(e) 景観への配慮

布引ダムは、表面に石積みを施し、周辺の自然に調和した美しい景観を生み出している。また、登録有形文化財であることから、増築するコンクリートの表面は既設堤体の景観に配慮した形状及び表面処理を兼ね備える必要がある。

既設堤体の石積みは取除かないことから、次のような表面処理案を検討した。

- ① 間知石案：既設堤体と同様の天然矩体間知石を表面に敷設を行う。
- ② 石張り案：薄い天然石板を表面に敷設を行う。
- ③ 人造石張り案：薄い人工製造した石板を表面に

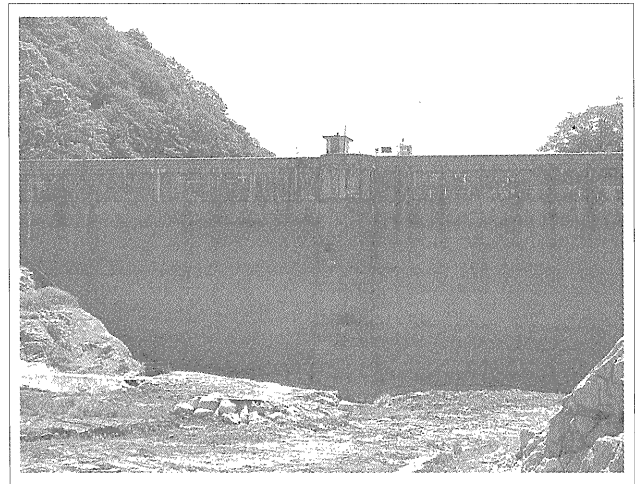
敷設する。

- ④ 化粧型枠案：型枠を石積み形状にして、コンクリートを打設する。

天然石を用い、表面の凹凸も表現できることから、経済比較の結果、②案を採用した（写真—2）。また、石張りの範囲は常時満水位以下の範囲とした。

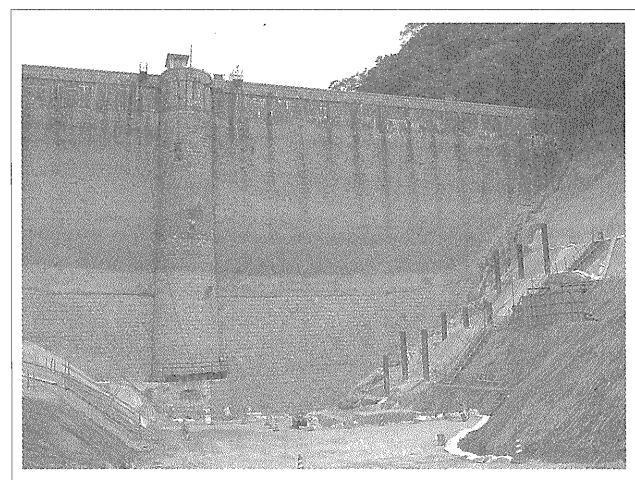
(2) 貯水機能の再生

布引貯水池では過去の大水害などにより約 34 万 m³ の堆砂があり、建設当初の有効貯水量 76 万 m³ の半分近くが砂に埋まっていた（写真—3）。

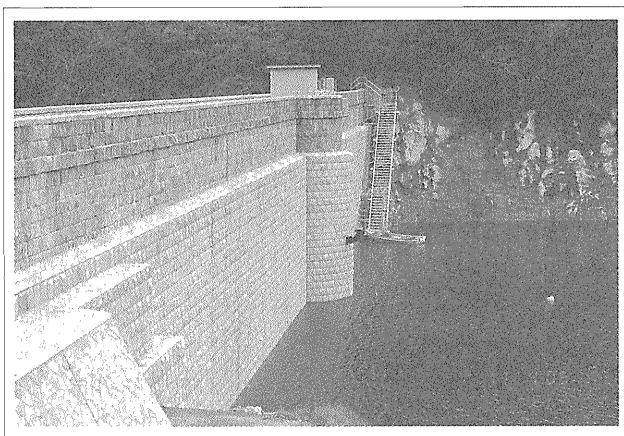


写真—3 土砂堆積状況

このため堆積した土砂を撤去して水源機能回復を行った。堆積土砂の搬出量については、長期にわたって水源を空にすることを避ける観点から、耐震補強工事を施工している間に搬出できる規模とした。この結果、約 20 万 m³ を搬出した（写真—4）。



写真—4 土砂搬出、撤去後の状況



写真—2 補強後のダム

(3) 管理橋の再生

また、堤体左岸にはダム創設期に施工された管理橋がある。建設当時材料運搬用に使われていたトロッキのレールを使用していた。管理橋は老朽化が著しく橋脚もひび割れが発生していたため、今回の工事で補修・補強を行った。

管理橋はダムと隣接する布引貯水池の景観上の重要なポイントであることから、

- ① 現行の歩道橋の設計基準を満足させる、
- ② 建設当初の部材を可能な限り再使用する、
- ③ 現況の橋梁形式を極力変更せず、違和感のない補強部材を使用する、

ことにより、ダム及び貯水池の景観との調和を図った(写真-5)。

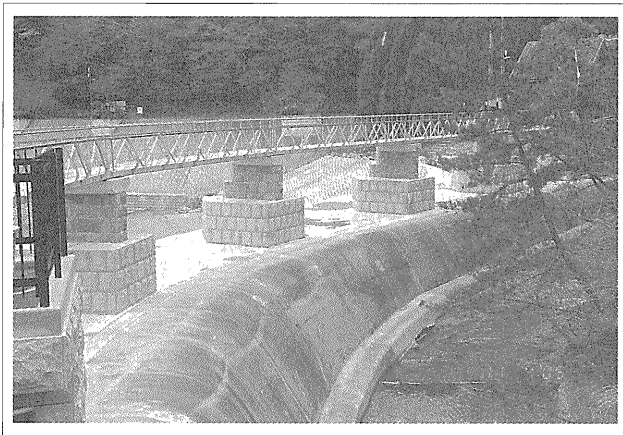


写真-5 新管理橋

4. 終わりに

神戸市は自己水源に乏しく、水源の多くを琵琶湖、淀川等市外に頼っている。渇水時のみならず、地震等の災害時、管路損傷や水質事故時などを考慮すると自己水源の重要性は非常に高い。今回の工事では、

- ① 耐震補強による堤体の再生
- ② 堆積土砂の搬出による貯水機能の再生
- ③ 管理橋の再生

を行い、その結果、新しく生まれ変わった布引ダムの誕生を見ることができた。これにより、神戸市の貴重な自己水源の一つである布引ダムを末永く利用できるようになったことは意義が深い。

今回の報告が今後のダム補強工事の参考になれば幸いである。

J C M A

[筆者紹介]



空中 博(そらなか ひろし)
神戸市水道局
技術部
計画課
構造係長



松田 康孝(まつだ やすたか)
神戸市水道局
技術部
計画課

建設機械用語集

- ・建設機械関係業務者一人一冊必携の辞典。
- ・建設機械関係基本用語約2000語(和・英)を収録。
- ・建設機械の設計・製造・運転・整備・工事・営業等業務担当者用辞書として好適。

B5判 200頁 定価2,100円(消費税込):送料600円
会員1,890円(消費税込):送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) Tel.03(3433)1501 Fax.03(3432)0289