

# 丸沼ダムの遮水壁の PC 版による補修

辻 幸和\*

丸沼ダムは、ダム高が 32 m のわが国でもっとも高いバットレス形式の珍しいダムである。1930 年に竣工した当時としては、先駆的な水力発電用ダムであった。しかし丸沼ダムは、標高が約 1 400 m の厳寒地に位置し、冬期は気温が -20℃ まで下がるため、凍結融解作用の繰返しを受ける厳しい環境にある。本稿は、深さ 30 m に近い水圧を比較的薄い鉄筋コンクリート版で受けていた遮水壁を、プレストレストコンクリート (PC) 版で補修したわが国で例のない丸沼ダムの補修事例を報告する。

キーワード：丸沼ダム，バットレスダム，遮水壁，PC 版，補修

## 1. はじめに

丸沼ダムは、群馬県の北東部に位置し栃木県との県境に程近い片品村の山深い高地（標高 1 400 m）に、1930 年に竣工した水力発電用のバットレスダムである。バットレスダムは、水を堰き止める床版の遮水壁を、バットレス（扶壁）で支える方式によって、水圧を河床の基礎岩盤に伝える鉄筋コンクリート構造物である。そしてバットレスダムは、河床に垂直に立てる垂直バットレスとともに、垂直バットレスを支えるための横梁を水平に設置するため、格子状の特徴ある外観となる（写真 - 1）。



写真 - 1 バットレス形式の丸沼ダム

ダムの構造形式として一般的な重力式ダムに比べて、水荷重を大きくし、揚圧力も無いとして設計できるため、堤体積を大幅に低減できるメリットがある。そのため、セメントが高価であり、コンクリート用材料も運搬が困難な場所では、1900 年代前半において、欧米で多く建設された。

わが国でのバットレスダムは、1923 年の笹流ダムを最初に、1937 年の三滝ダムまで、合計 8 基が建設されたが、現存するのは 6 基のみであり、非常に珍しい形式のダムである（表 - 1）。最初に建設された笹流ダムが水道用であるのを除き、ほかは水力発電用のダムである。

丸沼ダムは、堤高が 32 m あり、わが国のバットレスダムのなかではもっとも高いダムである。また、堤高が 30 m を超えるため、わが国でバットレスダムとして唯一のハイダムでもあり、当時としては先駆的な事業であった<sup>1)</sup>。しかし丸沼ダムは、標高が約 1 400 m の厳寒地に位置し、冬期は気温が -20℃ まで下がる。そのため冬期間は、凍結融解作用を繰返し受ける厳しい環境にある。

本稿では、水深 30 m 程度に相当する水圧を比較的薄い鉄筋コンクリート (RC) 版で受けていた遮水壁を、プレストレストコンクリート (PC) 版で補修したわが国で例のない丸沼ダムの事例<sup>2)</sup>を報告する。

## 2. 構造の概要

丸沼ダムは、非越流型バットレス形式である。図 - 1 と表 - 1 に示すように、堤高が 32 m、堤頂長が 88 m、堤

表 - 1 日本のバットレスダム<sup>1)</sup>

ダム名	所在地	水系・河川名	堤高 (m)	堤頂長 (m)	堤体積 (m <sup>3</sup> )	事業者	竣工年
笹流	北海道	亀田川・笹流川	25	199	16 000	函館市 水道局	1923
恩原	岡山県	吉井川・恩原川	23	94	26 000	中国電力	1928
真立	富山県	常願寺川・小口川	22	61	4 000	北陸電力	1929
真川	富山県	常願寺川・牛首谷川	19	105	8 000	北陸電力	1929
丸沼	群馬県	利根川・片品川	32	88	13 500	東京電力	1930
三滝	鳥取県	千代川・北股川	24	83	9 000	中国電力	1937

\* Yukikazu TSUJI : NPO 法人 持続可能な社会基盤研究会 理事長, 群馬大学・前橋工科大学 名誉教授

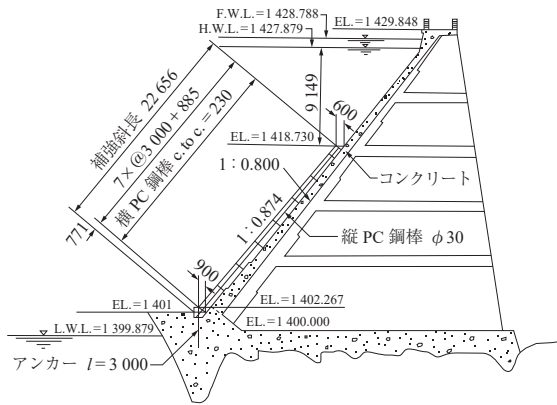


図 - 1 ダム断面図 (PC 版を含む)<sup>2)</sup>

頂幅が 3.9 m で、堤体積が 13 500 m<sup>3</sup> である。そして、上流側の勾配が 1 : 0.87、下流側の勾配が 1 : 0.15 である。

遮水壁は、厚さが 1.485 m から 0.545 m の RC 版を、6.0 m の間隔で配置したバットレスで支持する、単純梁構造となっている (写真 - 2)。

丸沼ダムの基本設計は物部長穂博士によるもので、物部博士による耐震理論に基づいて建設された初期のダムである。物部博士が、土木学会誌にいわゆる物部理論を発表したのが、1925 (大正 14) 年であって<sup>3)</sup>、耐震設計に用いる地震荷重は「震度法」によって定めることを、世界に先駆けて提唱している。この震度法の内容は、ダムを含めて、その後の構造物の耐震設計の基礎となっている。丸沼ダムでは、水平設計震度を 20% と設定している。

のちに北海道電力株式会社へ移られ、会長を務められた岩本常次は、入社間もないとき、物部博士と上司の浅見東三の指導の下、設計と現場の指揮を任された。1928 (昭和 3) 年から建設を開始して、1930 年に竣工させている。



写真 - 2 バットレスダムの扶壁、遮水壁および横梁

### 3. 建設後の調査および補修の概要

丸沼ダムは、1930 年に竣工して以来、ほぼ原状のまま現在まで使用に耐えている。岩本常次を筆頭に、建設に従事した技術者と技能者の細心の配慮と心意気が窺えるコンクリート構造物である。

建設後の丸沼ダムの経過については、現存する資料はなく、口伝した状況を、1954 (昭和 29) 年にまとめた記録が残されている<sup>4)</sup>。その記録によると、竣工後ただちに貯水を開始したが、遮水壁に浸透水が見られ、そのため冬期に遮水壁の背面が一面に凍結していた。そして遮水壁からの浸透水が著しくなったため、1933 (昭和 8) 年に、透水壁の前面にモルタル吹付けを行ったとの記録が見られる。

モルタル吹付け後もたびたび補修を重ねたが、状況の改善が見られなかった。そのため、1952 (昭和 27) 年と翌年にわたって、(財)電力技術研究所 [現在の (一財)電力中央研究所] の協力を得て、詳細な調査がなされた。その後 1961~1962 年に、漏水を防止するため、遮水壁の上流面全体にわたり、不透水性タールエポキシ系塗料が塗布された。

その後も実施された調査結果から、1968 年時に以下に述べる変状が明らかになって、後述する遮水壁の PC 版の増設による本格的な補修が、1968 年 12 月から 1969 年 6 月まで実施された。

- 1) 遮水壁の表面の凍害を受けた箇所は、カルシウムの溶出が著しい。
- 2) コンクリートの細骨材に、粘土分の多いものを用いていた。
- 3) 採取した φ15 cm によるコンクリートの圧縮強度の平均値は約 20 N/mm<sup>2</sup> であったが、それより低い強度の箇所も多くあった。
- 4) 弾性係数は最大値で 1.7 × 10<sup>4</sup> N/mm<sup>2</sup> と、上記の圧縮強度に対応する普通コンクリートに比べてかなり小さかった。
- 5) カールソン型鉄筋計を用いて測定したダムの空虚時と満水時との間の鉄筋応力度は、54~180 N/mm<sup>2</sup> と比較的大きな応力度であった。

### 4. PC 版による補修

遮水壁の補修にあたっては、既設の RC 版の遮水壁はそのままにして、その前面に全水圧に耐える新遮水版を PC 版で、以下に述べるように設置している<sup>2)</sup>。PC 版にしたのは、高強度で、軽量のものにし、ダムの安定性を確保するためであった。すなわち、バットレスはその頭部を除いて水に接していないので、凍害を受けておらず、またコンクリートは良好であったため、補修はしないことに依る。

PC 版による新遮水版の施工範囲は、ダムの H.W.L. (計画高水位: High Water Level) より 9.1 m 以下の部分で、斜長で 22.65 m、上端幅 56.64 m、底幅 20.28 m の台形の形状寸法としている (図 - 2、写真 - 3)。版幅は 3.0 m で、版長は 6.0 m とし、7 段設置している。その版厚は、上端で 60 cm、下端で 90 cm である (図 - 1)。

コンクリートの配合を、表 - 2 に示す。設計基準強度が 35 N/mm<sup>2</sup> のため配合強度を 39 N/mm<sup>2</sup>、スランブを 6~8 cm、空気量を 4.5 ± 1% としている。そのため、水セメント比 (W/C) を 36.6%、単位セメント量 (C) を 410 kg/m<sup>3</sup>、単位水量 (W) を 150 kg/m<sup>3</sup>、細骨材率 (s/a) を 34% としている。セメントには普通ポルトランドセメントを用

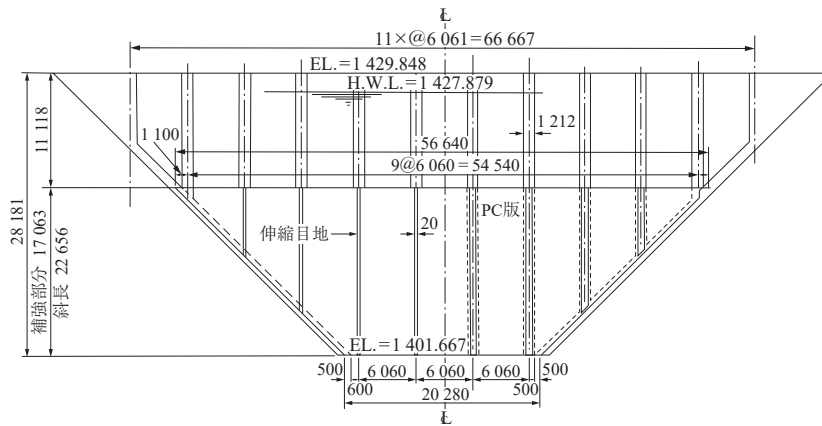


図 - 2 ダム正面図<sup>2)</sup>



写真 - 3 PC版により補修された遮水壁

表 - 2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G	Ad
36.6	35	150	410	627	1 162	2.05

Ad : AE 減水剤

い、骨材は、利根川水系片品川太陽河原産の川砂および川砂利を用いている。川砂は、密度が2.54 g/cm<sup>3</sup>、吸水率が3.5%、粗粒率が2.69であった。川砂利は、最大寸法が25 mmで、密度が2.59 g/cm<sup>3</sup>、吸水率が2.6%であった。

コンクリートは、ダム左岸に容量が約750 l (27切)のコンクリートプラントを設置し、アジテータ車でダム前面直下まで運搬している。そして、コンクリートポンプにより、1リフト3mの高さで、下段より順次上段へと打ち込んでいる。1日あたりの打込み量は、最大70m<sup>3</sup>であった。

PC版の横方向には、φ30 mmのPC鋼棒(第3種)を底部で3列、上部で2列に、それぞれ23cmピッチで配置している。そして、コンクリートの強度が24 N/mm<sup>2</sup>を超えたのを確認して、プレストレスを導入している。縦方向には、コンクリートの打継面に水密性をもたせるため、同じくφ30 mmのPC鋼棒を50 cm間隔で千鳥に配置して、最下部面で0.85 N/mm<sup>2</sup>の圧縮応力度を導入している。緊張ジャッキは、容量が750 kNのセンターホール型で、横方向のPC版の設置間隔が80 cmの間で作業できるものを選定している。

表 - 3 PCグラウトの配合

W/C (%)	単位質量 (C = 1 000 kg 当たり)			
	C	W	グラウト混和剤	アルミニウム粉末
40	1 000 kg	400 kg	2.5 kg	50 g

PCグラウトは、表 - 3に示す水セメント比(W/C)が40%と高く、アルミニウム粉末を添加した施工当時の一般的なものであった。

PC版は、バットレス間を1つの単純版として設計しているため、伸縮目地をバットレス頭部に設けている。そして、緊張用ジャッキを挿入するため、約80 cmのあきを探っている。伸縮目地は前面に7 cmの長さで切欠きをつくり、エポキシ樹脂を填充し、その背面に塩化ビニールの止水板を二重に挿入している。

PC版支承部には、図 - 3に示すように、幅50 cm×厚さ15 mmのネオプレーンゴムを敷き、自由に移動できるようにしている。また旧止水版上には、1962年に不透水

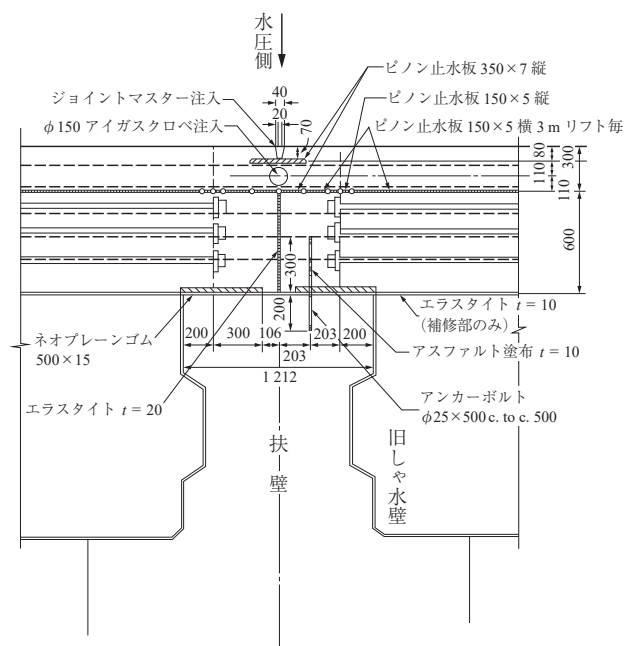


図 - 3 伸縮目地の構造<sup>2)</sup>

## ○報文○

性タールエポキシ系塗料で10mm厚に防水工を施している。その防水工の上に新遮水壁のPC版を設けたので、新旧遮水壁は完全に縁が切れた状態になっている。

### 5. その後の補修

2000(平成12)年から2002年にわたっては、遮水壁の前述したPC版で補修した上部のRC版について、その表面部を深さ15cmで打ち替えている(写真-4)。竣工後約70年経過し、表面部が凍害を受けたためである。

そののちに遮水壁、バットレス、横梁の各表面に、耐凍結融解性を高めるために厚さ2mmのポリウレタンを吹き付け、耐候性のコーティング塗料で仕上げている。また横梁には、炭素繊維による補強も実施された(写真-5)。

### 6. おわりに

厳寒地にある丸沼ダムは、漏水と凍結融解作用などによる劣化に対処するため、たび重なる補修が実施されてきた。その中で、PC版による遮水壁の補修を紹介した。この補修を含め、いずれの実施においても、丸沼ダムの当初の構造形式と設計思想を尊重してなされたため、構造躯体は建造時の形状を留めている。

こうした細心の維持管理を続けた結果、建設後70年以上を経ても当時の姿で稼働していることなどが評価され、2003(平成15)年12月25日付けで「丸沼堰堤」として重要文化財(建造物)に指定されている。

#### 参考文献

- 1) 辻 幸和：バットレスダムの笹流ダムと丸沼ダムの建造と改修，コンクリート テクノ，Vol.37, No.10, pp.26-33, 2018.10
- 2) 岩田元恒：東京電力 丸沼ダムのPC工法による補修について，コンクリート・ジャーナル，Vol.8, No.4, pp.28-34, 1970.4
- 3) 物部長穂：貯水用重力堰堤の特性並びに其の合理的設計法，土木学会誌，Vol.11, No.5, pp.995-1157, 1925.10
- 4) 土木学会関東支部群馬会：群馬の土木技術 -ふるさと群馬の土木史を訪ねて-，pp.143-146, 2009.5



写真-4 上部RC版の打替え



写真-5 横梁の補強

【2019年10月2日受付】



新刊案内

## コンクリート構造診断技術 コンクリート構造診断技術講習テキスト

2020年1月(CD-R版)

定 価 7,700円(税込)／送料300円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会