

中国合同電気の発電施設*

— 恩原ダム・布江調整池・奥津調整池 —

Power Generation Facilities of The Chugoku Godo Electric Power

— Onbara Dam, Nunoe and Okutsu Regulating Reservoir —

樋口輝久**・馬場俊介***

By Teruhisa HIGUCHI and Shunsuke BABA

岡山県の吉井川水系では、中国合同電気（1926～41年）によって、バットレス式の恩原ダム、ラーメン式高架水槽の久田発電所・布江調整池（現存せず）、さらにバットレス式とラーメン式の複合構造による高架水槽の奥津発電所調整池が建設された。このような形式自体が極めて珍しいにもかかわらず、地方の一電力会社が、一連の貯水池や調整池に集中して採用した例は全国にもなく、技術的にも注目される。本論文では、これらの特異な鉄筋コンクリート造の貯水池・調整池に関して、当時の資料を交えながらその実態を紹介するとともに、なぜこのような形式が採用されたのか考察をおこなった。

1. はじめに

平成15～16（2003～04）年度に行われた岡山県近代化遺産（建造物等）総合調査の中で、バットレス式とラーメン式の複合構造による高架水槽の奥津発電所調整池（昭和8年）が発見された。同じ吉井川水系の発電施設の中でも最上流に位置する恩原ダム（昭和3年）は、アンバーセン式バットレスダムとして広く知られているし、久田発電所の布江調整池（昭和6年）は、平成12（2000）年に取り壊されたが、ラーメン式高架水槽の調整池として竣工時から注目されていた。しかし、今回発見された奥津調整池は、恩原ダムと布江調整池の両方の形態上の特徴を採り入れた極めて稀な構造でありながら、当時から現在に至るまで関心が寄せられたことはなく（論文や雑誌などで公表されることもなかった）、管理者（中国電力）以外にその存在が全く知られていなかった。

ちなみに、日本動力協会が昭和12（1937）年に出版した『日本の発電所 中部日本篇』には、「奥津調整池は奥津発電所の水槽に隣接せる溪谷を利用して鉄筋混凝土の高架式耐震水槽を築き…」¹⁾と述べられており、これが一般に公開されている記録の中で、現在までに確認でき

た奥津調整池に関する唯一の記事である。しかしながら、構造に関する記述はこれだけで、写真も掲載されていないため、バットレスとラーメンによる特異な構造であることは想像できない。もっとも、当時のダム界における「耐震」構造といえば、バットレス式を意味していた²⁾ことから判断すれば、分かったのかもしれないが、奥津調整池は構造上、ダムには分類されていない。

本論文では、まず中国合同電気の沿革と各施設の概略について整理し、恩原ダム、布江調整池、奥津調整池の3つの発電施設について、当時の写真や図面、資料をもとに、建設の経緯とその実態を紹介する。さらに、このような特異な形式が生まれた要因の分析もおこなった。

なお、苦田ダムの建設（平成16年度事業完了）によって、布江調整池をはじめとする発電施設の一部が失われたことは、残念でならない。残る2つの施設、特にこれまで全く注目されることのなかった奥津調整池に関して、近代土木遺産としての価値を評価し、その重要性を唱えることが本論文の目的である。

2. 吉井川水系の電力開発

(1) 沿革^{3,4)}

吉井川水系の水力開発は、明治43（1910）年4月に津山電気が苦田郡泉村（現・鏡野町）に井坂発電所（200kW）を建設し、津山町他周辺町村（いずれも現・津山市）に電

* Keywords: 貯水池、調整池、バットレス、高架水槽

** 正会員 博士(学術) 岡山大学大学院環境学研究科助手
(〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

*** 正会員 工学博士 岡山大学大学院環境学研究科教授

燈の供給を開始したことに始まる。翌年には、津山周辺の製紙、製材、繊維、鉄工などの工場に電力の供給が開始された。その後、電力の安定供給を図るため、羽出發電所（400kW）が大正 5（1916）年 9 月に建設された。

同年 6 月、津山電気は倉敷電燈と合併し、備作電気が設立される。合併の目的は、水力開発に適した地勢の県北部で発電を行い、各種産業の発達に伴って電力の需要が増大している県南部に送電するというものであった。その背景には、①長距離送電が技術的に可能になったこと、②石炭の高騰によって、明治後期から「水主火従」時代を迎えたため、水力発電を主体にして、既設の火力発電所は予備にするという両社の思惑が合致したからであった。大正 9（1920）年 4 月に入発電所、大正 10 年 12 月には同社の主力となる久田発電所（3,300W）が発電を開始している。

電力会社の勢力争いが激しくなる中、大正 11 年 1 月には旭川水系で水力開発を行っていた岡山水電と合併し、備作電気は中国水力電気となる。さらに大正 15（1926）年 3 月には姫路水力電気を吸収合併し、中国合同電気と改称する。その後も小規模な電力会社を次々と合併・買収していった。

こうして誕生した中国合同電気は、昭和 3（1928）年 2 月に平作原発電所（1,800kW）、昭和 5 年 7 月に上斎原発電所（1,500kW）、昭和 7 年 2 月に奥津発電所（3,000kW）を建設し、立て続けに発電を開始した。さらにこの時代の特徴として、本論文で対象とした鉄筋コンクリートによる一連の貯水池と調整池が建設されている。中でも布江調整池と奥津調整池は、各発電所の建設当初から併設されていたものではなく、この時期に設置されたものであった。すなわち、初期の水路式発電の場合、使用水量は渇水量を基準に設定されていたため、電力需要が高まるにつれて、河川の流量に左右されず、負荷に応じた発電を行うことを目的に中間調整池が建設された⁵⁾。特に昭和ひと桁年代は、全国的にも調整池の建設が盛んな時代であった（図-1 参照）。

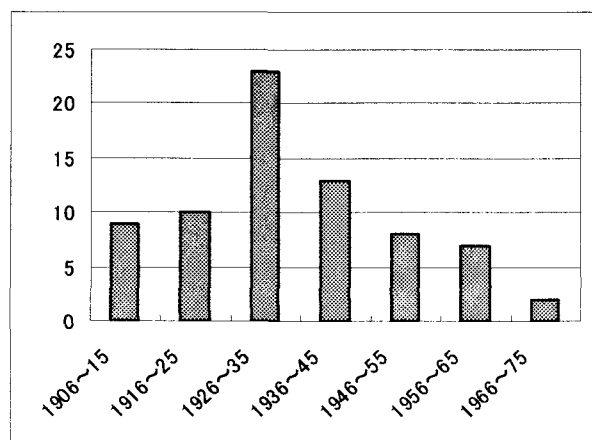


図-1 年代別調整池の設置数
(参考文献 6)より著者作成)

昭和 16（1941）年、中国合同電気は山陽中央水電と合併し、山陽配電が設立される。その後、中国配電を経て、昭和 26（1951）年、中国電力に引き継がれた。

(2) 発電施設

戦前までに造られた吉井川水系の発電施設を図-2 に示した。このエリアの全体的な印象としては、本論文で紹介する 3 つの調整池を除けば、技術的にも見た目にも地味なものが多く、特筆すべきものはない。

取水施設については、恩原ダム、入発電所の吉井川取水堰堤以外は、小規模な重力式溢流型コンクリート堰堤、もしくは石張コンクリート堰堤で、大正期から昭和初期にかけてのごく一般的なものであった（後年にゲート等が取り付けられている）。発電所本館については、木、煉瓦、RC と躯体の構造は時代によって異なるが、装飾はほとんど施されておらず、面白みに欠ける。なお、これは吉井川水系に限ったことではなく、岡山県内の発電所に共通することだった。水路施設については、サイフォ

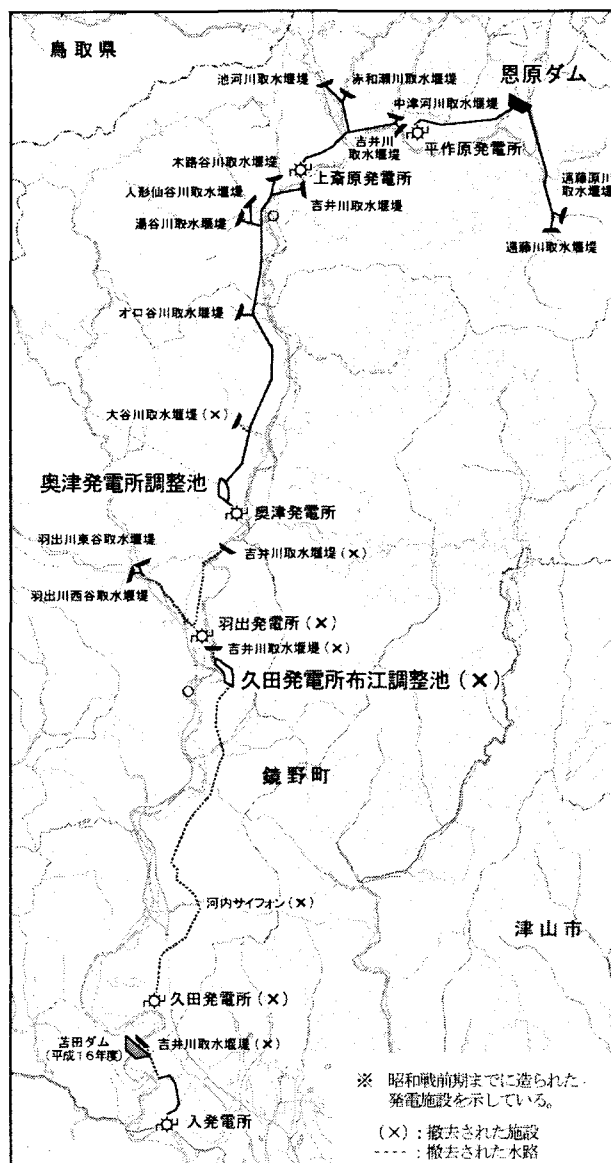


図-2 吉井川水系の発電施設一覧図(著者作成)

ンが多用され、水路橋がほとんど造られなかったため、目にとまるものはない。

以下、上流から発電所ごとに各施設を概説する。なお、井坂発電所の施設ならびに廃止された時期など詳細については明らかになっていない。

a) 平作原^{ひらさくばら}発電所（昭和3年）

恩原ダム（後述）の吉井川の流域面積（9.25km²）よりも、支流の遠藤川の流域面積（14.81km²）が大きいため、遠藤川取水堰堤、遠藤原川取水堰堤を設け、恩原ダムに送水している。発電所本館はRC造で、発電機室の木造切妻屋根が特徴である。

b) 上斎原^{かみさいばら}発電所（昭和5年）

発電所本館はごく普通のRC建屋であるが、近年、上斎原村からの要望で、一般見学者用に外からでも発電機室内の様子が分かるように、壁面の一部がガラス張りに改修された。

c) 奥津発電所（昭和7年）

各施設の中でもバットレスとラーメンの複合構造による奥津調整池（後述）が最も注目されるが、その他の特徴として、吉井川取水堰堤を含め多く支流・溪流に堰堤を築いて取水していることである（合計6箇所）。しかし、ほとんどは高さ2m、長さ5m前後のごく小規模な堰堤である。発電所本館は陸屋根のRC建屋。

d) 羽出^{はで}発電所（大正5年）

平成11年10月に廃止されたため、吉井川取水堰堤、発電所本館（RC建屋）など大部分は撤去されたが、羽出川の取水堰堤と水路の一部は、平成14（2002）年に新設された奥津第二発電所の施設として使用されている。なお、建設当初の写真には、発電所切妻部の四隅に尖塔状の飾が見られ、唯一、装飾的な発電所であったが、後年の改修時に撤去されてしまい、味気ないものとなってしまった。

e) 久田^{くた}発電所（大正10年）

苦田ダムの建設に伴って水没するため、平成13（2001）年3月に廃止され、布江調整池（後述）をはじめとする関連施設はすべて撤去された。発電所本館は煉瓦造2階建（切妻屋根）で、吉井川水系の中では最も規模が大きく立派な発電所であった。なお、水路の途中には、幅約250mの谷を横切る河内サイフォンもあったが、これも撤去されている。

f) 入^{いり}発電所（大正9年）

吉井川取水堰堤（昭和9年）は、門形主構2径間連続ラジアルゲート（径間15.15m×扉高3.636m）を採用した、わが国唯一のタイプであったが⁷⁾、直下に建設された苦田ダムの仮締切として使用された後、撤去された。発電所本館は木造切妻屋根で、現役である。

3. 中国合同電気の貯水池・調整池

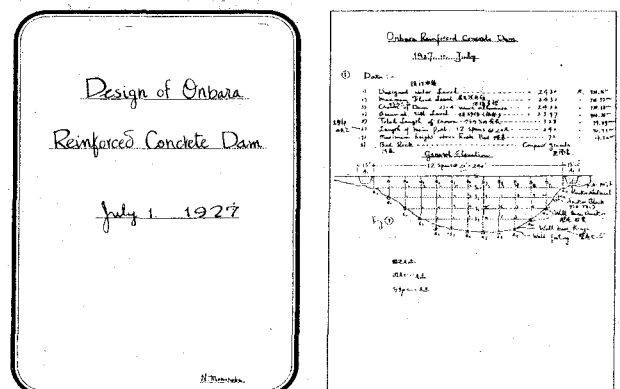
(1) 恩原ダム

恩原ダム（堤高24.03m、堤長93.64m）は、国内に現存する6基のアンバーセン式バットレスダムの内の一つであるとともに（発電用としては現存最古）、大正12（1923）年の関東大震災を期に物部長穂（1888-1941）が確立したバットレスダムの耐震設計理論⁸⁾（通称「耐震池壁」）を適用した第1号でもある。

設計は物部長穂本人によるもので、中国電力には彼の直筆の設計書（図-3参照）⁹⁾が残されている。また、ダムの辺には「恩原貯水創案者山崎仲次君記念碑」があることから、備作電気時代に久田発電所などの工事監督を務めていた山崎仲次が場所の選定、形式選択等に関与したと思われるが、物部との関係を含め詳細については明らかになっていない。

遮水壁で受けた水圧を、水平梁で交互に連結されたバットレスによって地盤に伝えるバットレスダムは、重力ダムと比較してコンクリートの打設量が少なく済むため、セメントの運搬に有利で、工費が安く、工期も短いというメリットがあった。さらに、自重が軽いため重力ダムに適さない地盤でも施工が可能とされていた。恩原ダムでもバットレス式を採用した理由として、「地盤が割合軟弱で堤の支持力に乏しく、殊に山奥のため材料の運搬に不便で、併も工事を速成せねばならぬ事情から」¹⁰⁾と当時の雑誌『土木建築工事書報』に記されている。

工期に関しては、昭和2（1927）年4月に着工し、降雪時にはコンクリートの打設を中止したにもかかわらず、翌年5月には完成したことが報告されており¹⁰⁾、実質的な工期は約10ヶ月間であったと推測される。また、院庄駅（姫新線）まで鉄道輸送された建設資材は、ダムの8km手前までは自動車で運んだが、その先は道路を整備しても馬車でしか運べなかったと言われており¹¹⁾、資材運搬に関する制約条件の大きかったことがうかがえる。



（表紙）

（1ページ目）

図-3 物部長穂の手書き設計計算書

（出典：『Design of Onbara Reinforced Concrete Dam』
提供：中国電力（株））

昭和 23 (1948) 年と 27 年には、遮水壁の補強と計 1.6m の嵩上げが行われたことによって、長さ 80m、一部曲線形を有する余水吐の形状が大きく変更された。また、昭和 40 (1965) 年には遮水壁の上に厚さ 0.9~1.45m の新遮水壁を設置するとともに、バットレスと水平梁に厚さ 15cm のコンクリートを巻く補強工事が行われた。その後も凍結融解作用によって剥離したコンクリートの補修が続けられている。この他、外観を変えたものとしては水位計測塔が設置された。

このように後年の添加物やコンクリートの巻き立てによりバットレスダム特有の当初の華奢なイメージは失われたが(写真-2, 3 参照)、凍害を受けやすいバットレスダムを使い続けるためには致し方ないことなのかもしれない。

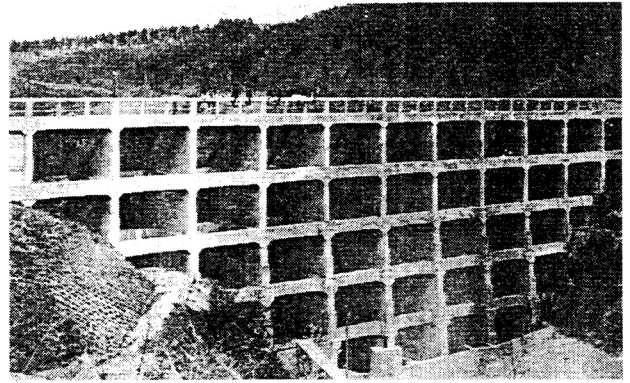


写真-2 竣工当時の恩原ダム
(出典:『上齋原村史 通史編』)

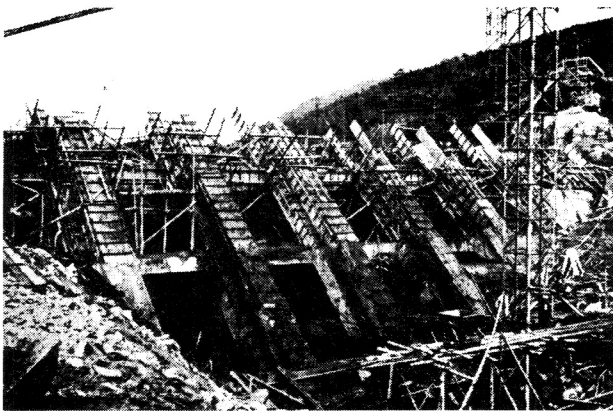


写真-1 工事中の恩原ダム
(出典:『土木建築工事畫報』, 5 卷 8 号, 1929)



写真-3 現在の恩原ダム(撮影:著者 2004)

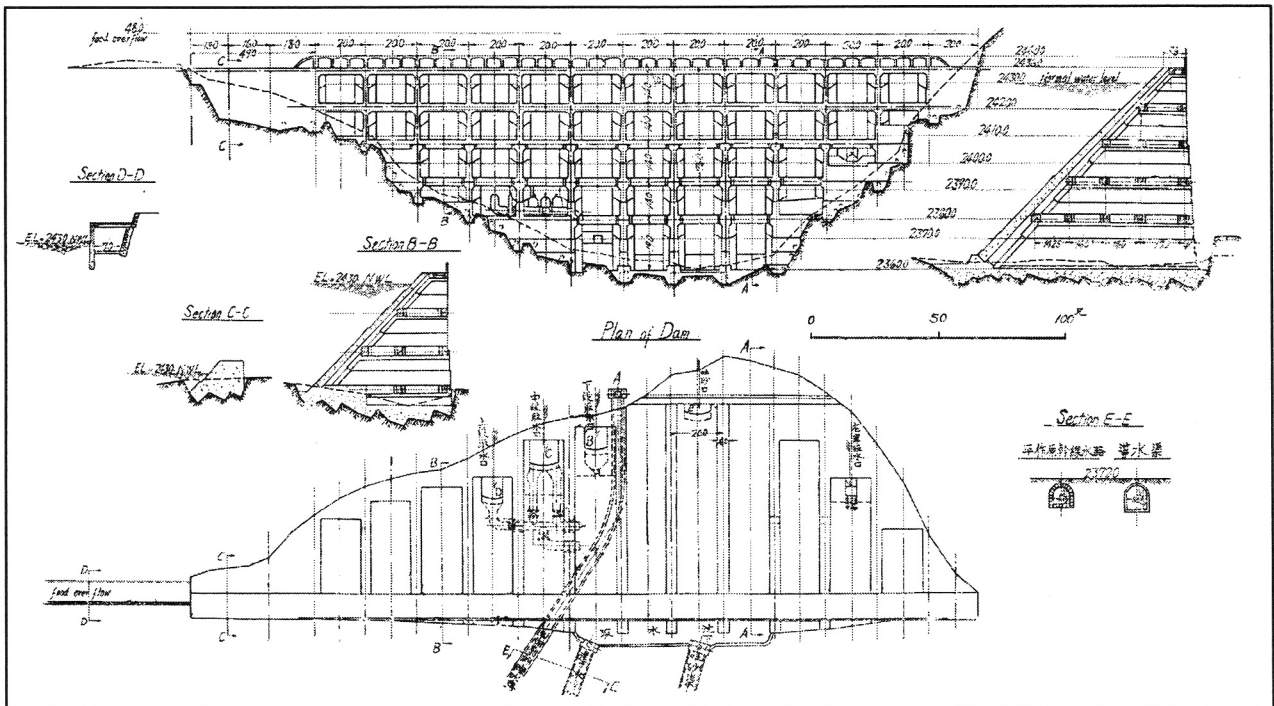


図-4 恩原ダムの設計図(出典:『土木建築工事畫報』, 5 卷 8 号, 1929)

(2) 久田発電所・布江調整池

久田発電所は、大正 10 (1921) 年 12 月に 3,300kW で発電を開始したが、「軽負荷時ニ於ケル剰餘水量ヲ貯水シ負荷状態ニ應ジ調整補給ニ充スル」¹²⁾ため、昭和 5 (1930) 年 4 月に調整池の設置許可を得て、翌月に建設が開始された。翌 6 年 3 月に貯水量約 3 万 m³ の布江調整池が完成し、これによって久田発電所は常時 6,000kW の発電が可能となった。

この布江調整池は、上流から順に①水路に平行する長さ約 240m、幅約 3m の開渠、②山の斜面をならして造成した鉄筋コンクリート造の長さ約 230m、幅 20m 前後の池、それに接続する③高さ約 7m、外縁部の延長 200m、最大幅 80m のラーメン式高架水槽の 3 つで構成されていた。その中で最も注目されるのは、「高架式鉄筋混凝土の一大水槽」¹³⁾と表現される③の部分（写真-5, 6 参照）で、当時出版された発電水力学の数々のテキスト^{14,15,16)}でも、写真付きで紹介されているほどだった。とりわけ、数百本の支柱が林立する独特の構造にその特徴があった（写真-4, 7 参照）。具体的には、「高架部池体ヲ支フル各柱ハ岩盤迄掘鑿ヲナシ「フーチング」ヲ附シー・ニ米角」¹⁷⁾で、30cm 角、中心間隔 2.73m で縦横直角に配置された支柱の「頂上ヲ縦横ニ連繫スル桁梁ト床版トヲ以テ池底ヲ形ルベク鉄筋混凝土（配合一・二・四）構造」¹⁸⁾となっていた。

このような構造を採用した理由を当時の記録に見るこ

とはできないが、『水力技術百年史』には、「地形上の制約条件から」¹⁹⁾と記されている。同書には、調整池を設ける位置として、①水路途中の溪谷または凹地をダムで締め切る、②水槽付近の平地を掘削する、③水路トンネル内のスペースを利用するなどが挙げられているが²⁰⁾、いずれにも適さない布江調整池のような箇所では、山の斜面を利用し、さらにその高さに合わせて平地を一部高架式にする方法が考案されたのであろう。また、RC ラーメン構造にすることによって、建設資材を減らし、山間僻地における輸送を考慮したものと考えられる。

昭和初期の発電水力学のテキストでは、調整池に関して、「地形を巧に利用すれば経済的に造り得られるのみならず、多少工事費を要しても発電能率を増進するから採算の引合ふ場合がある」²¹⁾と述べられている。布江調整池に関しても、「工費 16 萬圓の金利を 8 分として 12,800 圓。之を差引いた純益 16,800 圓は工費の約 1 割強に當る。此の調整池が無ければ上記の利益を挙げ得る水を徒に川に放流するといふことになるのである」²²⁾と、工費と金利、ならびに発電による収入を勘案して、その有効性が唱えられている。

布江調整池の設計者については明らかになっていないが、工事監督は明治 41 (1908) 年に第五高等学校（現・熊本大学）工学部を卒業した吉山 盛であったことが知られている。彼は恩原ダムをはじめ、中国合同電気の各発電所の工事監督を勤めた技術者であった。



写真-4 工事中の布江調整池
(出典:『発電水力学』, 1932)

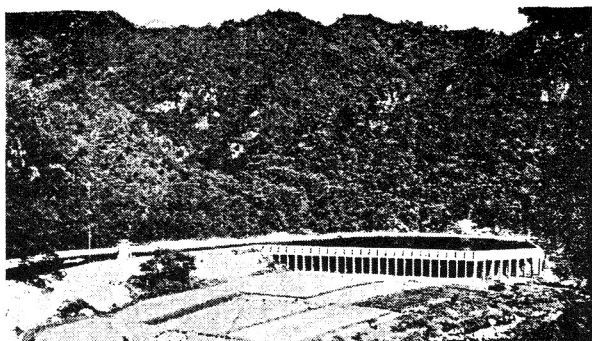


写真-5 竣工当初の布江調整池(全景)
(出典:『発電水力学』, 1932)

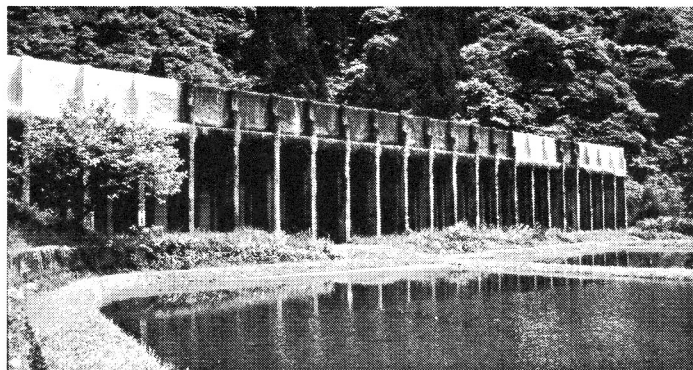


写真-6 ありし日の布江調整池（撮影: 著者 1998）

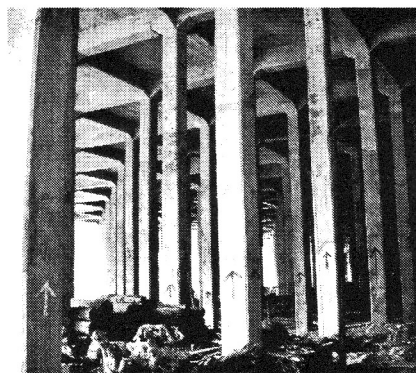


写真-7 支柱が林立する布江調整池
(撮影: 著者 1998)

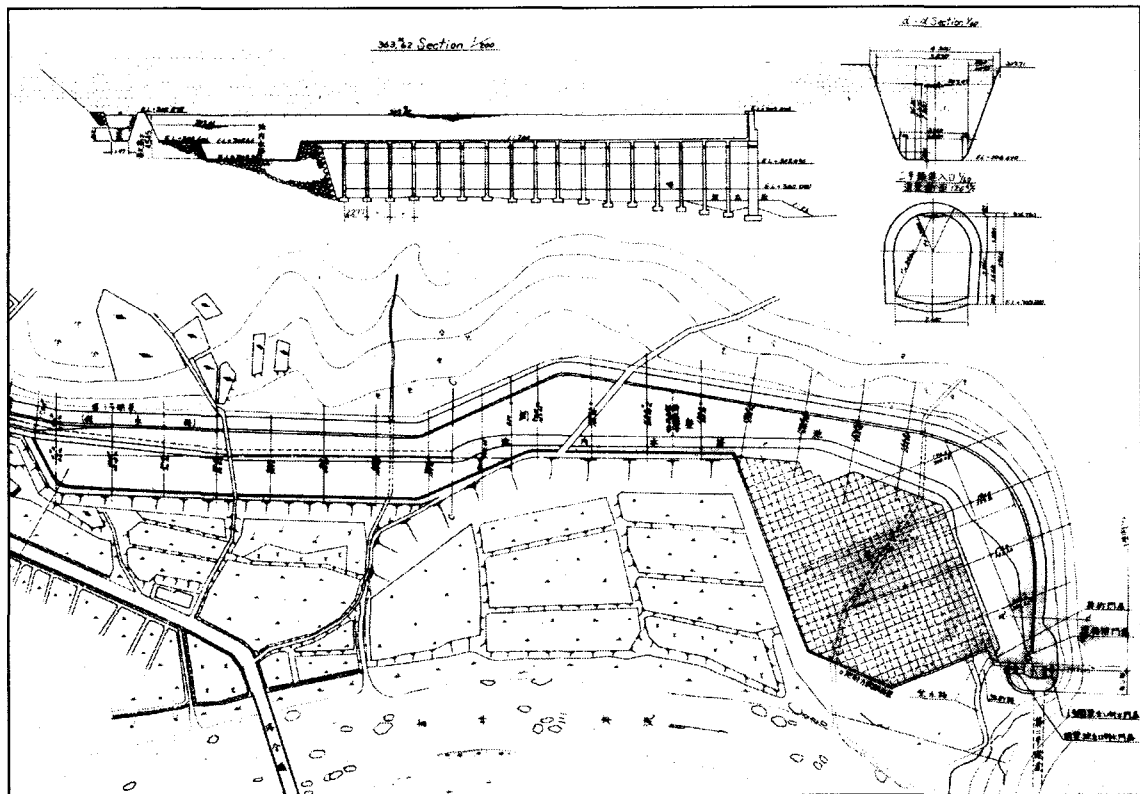


図-5 「布江調整池平面図及断面図」の部分(所蔵:中国電力)

特異な構造の高架式調整池として、建設当初から注目を集めていた布江調整池であったが、苫田ダムの建設に伴って、久田発電所が水没するため、平成 12 (2000) 年 3 月に保存要請もむなしく撤去された。そして、その跡地は新たに建設される奥津第二発電所の土捨て場として使用された。

(3)奥津発電所調整池

奥津発電所は、昭和 7 (1932) 年 2 月に 3,300kW で発電を開始したが、「先頭負荷時若くは突発的変動時に補給し軽負荷時に貯水するを以て目的とす。」¹⁾とあるように、同年 8 月に調整池の設置許可を得て、9 月に奥津発電所調整池の建設が開始された。翌 8 年 12 月に貯水量約 5 万 m^3 (面積約 8,900 m^2) の調整池が完成し、常時 5,100kW の発電が可能となった。前述の布江調整池の場合、久田発電所の運転開始から調整池設置申請まで約 10 年の期間があったが、奥津調整池の場合、運転開始の半年後には設置の許可を得ているので、当初から調整池の設置が計画されていたのであろう。

この調整池は、ラーメン式とバットレス式の複合構造による高架水槽(図-6 参照)で、現在判明している限り全国で唯一無二の存在となっている。しかし、実際には地盤の高さによって調整池は基礎構造が異なっており、①高いところでは、基礎岩盤を掘削して、②やや高いところでは、表層を取り除き基礎工を築いて、③低いところでは「高架式工法・・・(中略)・・・即池体ヲ支持スルタメ

支柱及支壁ヲ配列」²³⁾した構造となっている。山陽配電(昭和 16 年～)の社内資料『水力発電 出資設備調書綴』には、「高架部池壁ハ其ノ内面ヲ四十五度ノ傾斜ヲ附シタル鉄筋混凝土(配合一・二・四)ノ遮水壁及此ノ壁底ヲ水平ニ延長シテ池底ノ一部トシタル床盤ト其ノ外面ニ於テ池壁ノ方向ト直角ニ互ニ平行シ各三・〇米ノ距離ヲ有スル鉄筋混凝土(配合一・二・四)造支壁トノ結合ヨリナル。支壁ハ相隣ル五基ヲ一組トシ三段乃至五段ニ水平支柱ヲ以テ互ニ連結シ・・・」³³⁾とその構造が詳しく記されている。

なぜこのような形式が採用されたのか、現在、中国電力が所蔵している資料にも、残念ながらその理由を記したものは見つからない。布江調整池のようなラーメン式高架水槽に、恩原ダムのようなバットレスを附加した要因として、山間部のため高架式にして平面積を確保し、かつ水深が 6.0m あるため、外縁部(長さ 128m)の遮水壁を傾斜させ、バットレスで支えることによって水圧に対処しようとしたのではなかろうか(布江調整池は水深が 2.0m だったため水圧が小さかった)。実際、奥津調整池の着工(昭和 7 年 9 月)は恩原ダム(昭和 3 年 5 月)、布江調整池(昭和 6 年 3 月)の完成後であり、両者を参考にして、それぞれの利点を取り入れたため、このような形式が誕生したものと推測される。

なお、図面上(図-6 参照)では最大高さ 18.0m であるが、実際にはバットレスと支柱部分の半分以上が埋め戻されているため、地表面からの高さは最大でも 8.6m

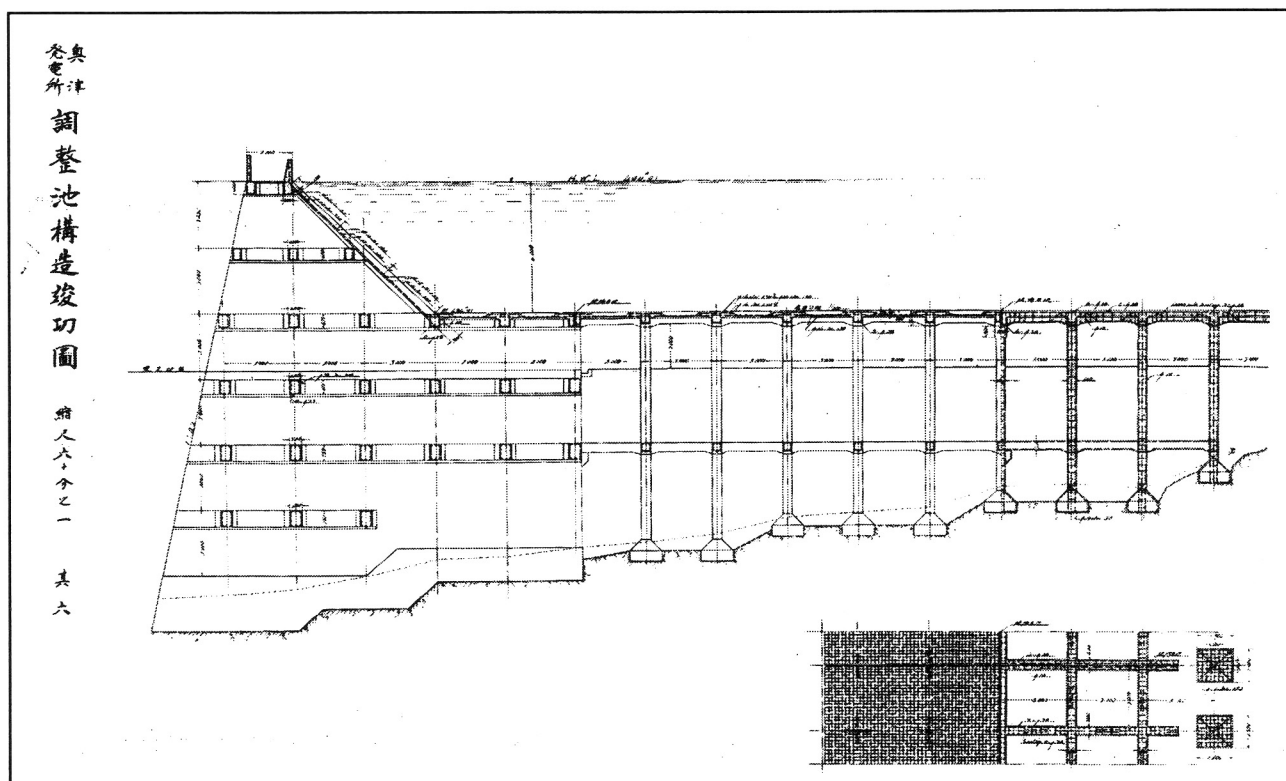


図-6 「奥津発電所調整池構造竣工図」の部分(所蔵:中国電力)

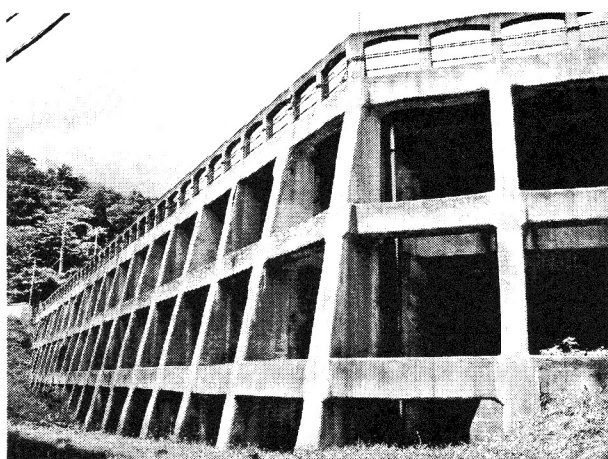


写真-8 奥津調整池(バットレス屈曲部分)
(撮影:著者 2004)

ほどである。写真-8 のようにバットレス部分が途中で屈曲しているのも、通常のバットレスダムには見られない高架式調整池の特徴である。

残念ながら奥津調整池の設計者も判明していない。しかし、こうした一連の鉄筋コンクリート造の調整池が建設されたことから、推測の域を脱しないが、おそらく恩原ダムの設計の際、物部長穂のもとで設計に携わり、その後、布江、奥津の各調整池を設計した技術者が中国合同電気内にいたのではなかろうか。なお、奥津発電所の工事監督は布江調整池と同じく吉山 盛であった。

奥津調整池の保存状態は、良好でほぼ完全に当初の姿を留めている。恩原ダムを含め、わが国に現存するバットレスダムは、凍害の影響によってほとんどの場合、コ

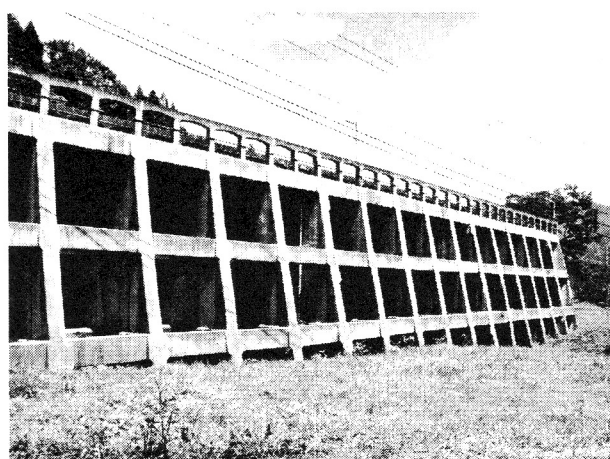


写真-9 奥津調整池(バットレス部分)
(撮影:著者 2004)

ンクリートの巻き立て等の改修がなされているが、この調整池は部分的な補修のみで、当初の華奢なバットレスのまま使用されている。改修された点といえば、貯水容量を増加させるために上部通路の調整池側(内側)の高欄を塞いだことくらいである。

5. まとめ

アンバーセン式バットレスダムの恩原ダム、ならびに取り壊されてしまったがラーメン式高架水槽の布江調整池の存在は知られていたが、今回、その両者の構造上の特徴を併せ持った奥津調整池の存在が確認されたことによって、中国合同電気が手がけた貯水池・調整池は構造的にも一連のものであったとして捉えることができた。

バットレスダムの調整池として知られている真立ダム（昭和4年、日本海電気）、真川ダム（昭和5年、富山県電気局）はいずれも立山山麓に位置し、現在は北陸電力の施設であるが、当初の所轄は異なっていた。したがって、一連の調整池を生み出した中国合同電気は極めて稀な電力会社であり、岡山県の吉井川水系は技術的に特異なエリアであったと言える。

また、鉄筋コンクリートによる特殊な構造を採用した要因として、資材の運搬が困難な山間部では、RC構造にして運搬量を減らした（工期の短縮、工費の節約にもつながる）、平地が少ないところで、なるべく広い面積を確保するために高架式にした（地形による理由）という結論を導いた。

戦後は火力発電が主流となったため、調整池の必要性は低くなり（布江調整池も晩年は使用されていなかった）、奥津調整池も一時取り壊しが出た。しかし、最大出力を維持するために何とか撤去を免れ、現在に至っている。今回の調査で新たにその存在が確認された奥津調整池は、構造の特異性、希少性、保存状態のすべての点で高く評価される極めて貴重な近代土木遺産であり、布江調整池の二の舞にならないことが強く望まれる。

謝辞

中国電力（株）土木部、同岡山支社、同津山電力所の皆様には、資料の収集・提供ならびに現地調査において大変お世話になりました。心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 『日本の発電所 中部日本篇』, 日本動力協會（編）, 工業調査協會, 1937, p.670
- 2) 「近代日本におけるバットレスダムの変遷」, 樋口輝久・馬場俊介, 土木学会論文集IV-63, 2004, p.118
- 3) 『中国地方電気事業史』, 中国地方電気事業史編集委員会, 中国電力, 1974, pp.205-223
- 4) 『岡山県史（近代II）』, 岡山県史編纂委員会, 岡山県, 1987, pp.192-198
- 5) 『水力技術百年史』, 水力技術百年史編纂委員会, 電力土木技術協会, 1992, p.450
- 6) 前掲 5) pp.1065-1137
- 7) 『鋼製ゲート百選』, 水門の風土工学研究委員会, 技報堂出版, 2000, p.112
- 8) 「支壁式鉄筋混凝土堰堤の耐震法に就て」, 物部長穂, 地震研究所彙報, 5号, 1928
- 9) 『Design of Onbara Reinforced Concrete Dam』, 物部長穂, 1927
- 10) 「中國合同電気會社恩原貯水池に就て」, 土木建築工事畫報, 5巻8号, 1929, p.16
- 11) 『上齋原村史 地区誌』, 上齋原村, 2001, pp.241-242
- 12) 『水力發電 出資設備調書綴』, 山陽配電岡山支店土木課, 年不詳, p.12
- 13) 前掲 1) p.668
- 14) 『發電水力工学』, 萩原俊一, 常磐書房, 1932
- 15) 『發電水力学』, 菊地英彦, アルス発行所, 1937
- 16) 『最新發電水力』, 岡村雅夫, 鐵道圖書局, 1937
- 17) 前掲 12) p.60
- 18) 前掲 12) p.56
- 19) 前掲 5) p.455
- 20) 前掲 5) pp.451-452
- 21) 前掲 14) p.233
- 22) 前掲 14) p.251
- 23) 前掲 12) p.32
- 24) 前掲 12) p.33