

近代古典コンクリートダムデザインの考察

～佐野藤次郎が設計・指導したダムを対象に～

A Study on Design of Modern Classic Concrete Dams

～Focusing on Designed or Supervised by Dr. Tojiro Sano～

池田大樹* 篠原修**

Hiroki IKEDA, Osamu SHINOHARA

abstract : Dr. Tojiro Sano is known as a dam engineer, who designed the first masonry dam in Japan, the Nunobiki-Gohonmatsu dam. He also supervised design of some characteristic dams, the Karasubara-Tatsugahata dam, and the Honenike dam, which is an only multiple arch type dam in Japan. His design was always improved by studying foreign new engineering. For example, he visited India to study the British way of dam design. His early dams were decorative neoclassicism, but later decoration was vanished from his works. His works were neat and detailed.

1. 背景と目的

近年、土木構造物も建築物と同様に文化財として保存してゆこうという立場から、多くのものが近代化遺産としてその価値を認められてきている。その動きの中で、これまでほとんどデザイン的な観点から顧みられることの無かったダムにも、多くの優れた構造物があることがわかってきた。近代土木遺産の評価は技術、系譜、意匠、地域性など様々な観点からなされるが、本論はダムを対象とし、その意匠・デザイン面に着目して調査、考察を行うことが目的である。

しかし、一口にダムのデザインと言っても、その歴史は長く、また構造形式も多岐にわたるために、全体を網羅する研究を行うことは難しいと考え、本論ではまず対象とする時代を明治から昭和戦前まで、そして材料をコンクリート造（粗石モルタル造、粗石コンクリート造を含む）のものに限定し、これを近代古典コンクリートダムと呼び表すこととした。この時期に造られたダムは、しばしば言われるように造形的に優れたものが多く、特にコンクリート造のダムは、材料性状に支配されがちなフィルダムに

比べ、設計者の意図を反映させやすい材料であり、バットレスダムやマルチプルアーチダムなど、構造形式にも様々なものがあるからである。

この時期は、技術が未だ一般的ではなかった故か、数人の優れたエンジニアがいくつもの事例に関わっている。例えば、吉村長策（布引五本松堰堤、本河内低部堰堤など）、中島鋭治（藤倉堰堤、小ヶ倉堰堤など）、小野基樹（笹流堰堤など）、佐野藤次郎（布引五本松堰堤、鳥原立ヶ畑堰堤など）、石井願一郎（小牧堰堤、小屋平堰堤など）などがそうであるが、本論では、さらに対象を絞って佐野藤次郎に着目し、同時代に活躍した中島鋭治、吉村長策との比較を行って佐野の設計、デザインの特徴を考察する。佐野が設計した、またはその指導を行ったダムには、日本初の粗石コンクリートダムである布引五本松堰堤、唯一のマルチプルアーチダムである豊稔池堰堤など、興味深い事例がいくつか見られることがその理由である。

ダムのデザインについて土木史の観点から考察した論文は、筆者の知る限りでは建築様式に照らした意匠面に関しての窪田の論文¹⁾しかなく、設計者を通してそのデザインの特徴、背景を論じた研究は未だ見あたらない。よって、本論文は明治から昭和初期に活躍した技術者の中でも佐野藤次郎に焦点を当て、彼が設計したダムの技術的、デザインの特徴を述べ、またそのデザインの背景、よりどころとなった所を文献によって調査し、まとめることを目的とする。

キーワード：ダム、景観、近代

*正会員、工修、大日本コンサルタント株式会社

(〒170 東京都豊島区駒込 3-23-1)

**正会員、教授、工博、東京大学大学院工学系研究科

社会基盤工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

2. 佐野藤次郎の経歴^{2),3)}

佐野藤次郎と同時代に活躍したエンジニアとして中島鋭治、吉村長策の2人を比較のために取り上げ、その経歴を表1（次ページ）に示す。下線部は本論で取り上げるダムである。これによれば、佐野藤次郎は、地方自治体から始まり、ダム技術者として各地で自身のもつダム技術を生かしていった。対象は水道用ダムに限らず、発電ダムである大井堰堤も手がけている。

中島鋭治（東大土木工学科明治16年卒）は内務省に勤め、東京市水道を初めとする全国の水道建設に顧問などとして参画し⁴⁾、日本の水道事業発展に多大な貢献をしたとして、その教育・指導面において功績が語られることが多い。

吉村長策（工部大学校明治18年卒）は、初の水道用ダムである本河内高部堰堤（長崎・アースダム）を手がけて以来、水道技術者として、軍部を中心に各地を渡り歩いて活躍した⁵⁾。その点では佐野のお手本となっているとも考えられる。

3. 佐野が関わったダムの特徴と設計の背景

（1）布引五本松堰堤^{6),7)}（写真1）

a) 計画、配置

布引五本松堰堤は神戸市の布引溪谷にあり、神戸市創設水道のために建設された、日本で初の粗石コンクリートダムとして知られている。このダム建設にあたり、神戸市は当初、横浜市水道を建設したパーマーに計画を依頼したが、途中市議会は費用の関係からこの計画を進めず、4年間棚上げになる。その後、1890（明23）年に神戸市でコレラの被害が広がったことから、市議会は本格的に水道建設に乗り出すこととなった。この時には内務省技師バルトンが調査、設計を担当、同年10月には吉村長策が技師として赴任している。この時のバルトンの原計画では、土堰堤を築くことになっていた。

しかし、日清戦争のためにこの計画も着工までにさらに4年の月日を必要とし、その時点ではすでに実状とは合わなくなっていた。そこで拡張設計が実施され、この時初めて吉村長策の招聘で佐野藤次郎が神戸市に赴任することになるのである。佐野は帝

大時代、バルトン、中島鋭治より水道工学を学び、卒業と同時に勤めた大阪市において吉村長策の下で働いていた。神戸市への赴任は、このときの縁がもとだと思われる。なお、佐野は大阪市時代に2年間、グラスゴーに铸铁管の買い付けに派遣されているが、この時にスコットランド、イングランドの水道施設を視察したことが述べられており³⁾、この時海外のダムの事例を見たことが後のダムの設計に生かされていると考えられる。

この拡張設計の最終案において、水道用ダムは布引谷五本松と鳥原立ヶ畑の2点にコンクリートダムを築くことが決定された。これらのプランにおいて特徴的なのは、貯水池上流端から隧道によって流れを二分し、余分な水を放流していることである。『A History of Dams』⁸⁾によれば、貯水池のバックウォーター付近に堰をつくって流量を二分させて貯水池への流入量を調節する方法は、当時イギリスとその植民地のみで行われていたことだと述べられている。ただし、後に述べる鳥原貯水池においては、佐野のインド視察をもとにしてこのイギリス流のプランとしたが、布引貯水池の場合は、当初は堤体横の溢流口のみで余水を処理できると考えていた。しかし完成後に予想以上に貯砂量の多いことから、佐野のイ

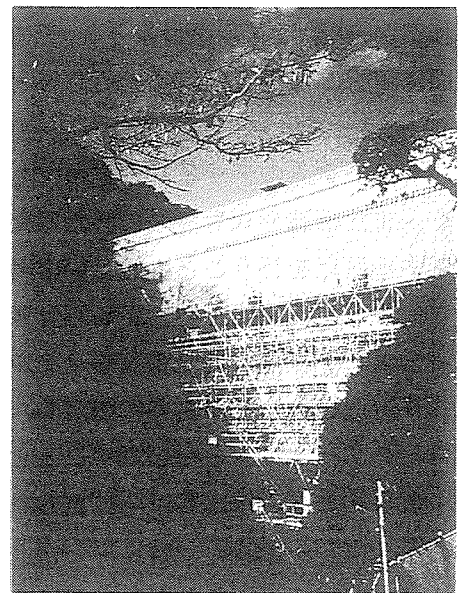


写真1 布引五本松堰堤（撮影：筆者）

着工／竣工年	1897（明30）／1900（明33）年
所在地	兵庫県神戸市
河川名	生田川
堤高（m）	33.3
堤頂長（m）	110.3
目的	水道

表1 佐野藤次郎、中島鋭治、吉村長策の経歴（文献：近代水道百人、大日本博士録を参考に作成）

西暦（元号）	佐野藤次郎	中島鋭治	吉村長策
1857（安政5）		10月，仙台に生まれる	
1860（万延1）			3月，大阪に生まれる
1869（明2）	6月，名古屋市に生まれる。		
1883（明16）		7月，東大理学部土木工学科卒業，助教授に。	
1885（明18）			4月，工部大学校土木工学科卒業
1886（明19）		欧米留学にむかう。	長崎市水道工師長に。
1890（明23）		1月，東京市水道建設のため帰国。	
1891（明24）	8月，帝国大学工科大学土木工学科卒業，大阪市に技師として赴任。	3月，内務技師補併任。 10月，東京市水道技師	11月長崎県を退職，大阪市に技師として赴任。
1892（明25）			大阪市水道副工師長。
1893（明26）	11月，水道鑄鉄管購入のためにスコットランドのグラスゴーに派遣（2年間）。帰国にあたり，スコットランド，イングランドの水道施設群を見学。		
1895（明28）			11月，大阪市を依願解職，広島軍用水道工事科長に。
1896（明29）	10月，大阪市を辞職，吉村長策の招聘により神戸市水道嘱託技師となる。神戸市創設水道（布引五本松堰堤，鳥原立ヶ畑堰堤）の設計，施工に携わる。	9月，東大教授に。	8月，神戸市水道工事長。
1897（明31）		12月，東京市技師長を嘱託される。	8月，神戸市水道工事長を辞す。
1899（明32）	吉村の辞任に伴い，神戸市創設水道工事長となる。	3月，工学博士に。	9月，海軍技師として佐世保海軍鎮守府へ赴任。
1900（明33）	3月，日本で初の粗石コンクリートダム，布引五本松堰堤竣工。同年10月よりインド，香港の水道施設群視察に赴く（70日間）。		海軍建築科長として，海軍施設工事の最高責任者となる。
1903（明36）		藤倉堰堤竣工。	本河内低部堰堤竣工。
1904（明37）			西山堰堤竣工。
1905（明38）	5月，神戸市水道・鳥原立ヶ畑堰堤竣工。7月，工事長を解職，嘱託に。		
1906（明39）	5月，神戸市嘱託ながら韓国水道局嘱託となり，各地の水道工事に携わる。	東京市技師長を辞任。	
1911（明44）	4月，再び神戸市水道拡張工事技師長となり，鳥原立ヶ畑堰堤の嵩上げ，千刈堰堤の設計・建設に携わる		海軍省建築局長に。
1915（大4）	2月，水道用コンクリートの研究により，博士号取得。		博士号取得。
1919（大8）	5月，神戸市拡張水道・千刈堰堤竣工。		
1920（大9）	6月，神戸市水道拡張工事完了に伴い解職，福澤桃介の招聘で木曾電気興業（後の大同電力）に入り，日本初の50m級ハイダム，大井堰堤建設に所長として携わる。		
1920（大10）		東大教授を退官。	
1922（大11）	6月，佐野の指導による鳥取市水道・美敷堰堤竣工（技師・友永染蔵）。		
1923（大12）	大井堰堤に用いる砂の問題が元で所長を辞任。		軍を退官，土木学会会長に。
1924（大13）	12月，大井堰堤竣工（この時の所長・畠山好伸，次長・石川栄次郎）。		
1925（大14）		2月，死去。	
1926（大15）	神戸市第2回水道拡張工事（千刈堰堤の嵩上げ）顧問。豊稔池堰堤の建設工事を指導（技師・木村真五郎）。	小ヶ倉堰堤竣工。	
1928（昭3）			11月，死去。
1929（昭4）	11月，上京中，病氣により死去。		
1930（昭5）	豊稔池堰堤竣工。		
1931（昭6）	千刈堰堤拡張工事完了。		

ンド視察後に隧道を設け、池上流からの放流を行うようにしたものであり、当初からこの隧道を計画していたわけではなかった。しかしこれにより、結果として河川維持に必要な流量をあらかじめ確保でき、景勝である雄滝、雌滝の水を維持できるというメリットが生まれたと考えられる。

b) 堤体の設計

当時工事長であった吉村長策自身も述べているように⁹⁾、布引五本松堰堤の実務にはその時副工事長であった佐野があたっており（吉村は竣工1年前に工事長を辞任）、その設計理論についても佐野が論文として執筆している¹⁰⁾ことから、布引五本松堰堤の堤体設計は吉村の指導の下に佐野が設計したと考えられる。吉村が後に設計する西山堰堤、本河内低部堰堤の外観は布引五本松堰堤とよく似ているが、その細部の造形はだいぶ簡略化されていることを考慮すると、意匠についてはイメージを考えたのが吉村であり、詳細な設計をしたのが佐野ではないかと推測する。

布引五本松堰堤はメーソンリーダムである。本来メーソンリーとは石積みという意味であるが、メーソンリーダムは、型枠代わりの切石をセメントモルタルをもって布積みとし、内部に1～2立方尺程度の大きな石を入れて、その間隙をコンクリート、またはモルタル（粗骨材が配合されていない）で充填し（布引五本松堰堤はコンクリートを充填）、切石はそのまま堤体表面として埋め殺したものを指す。当時、やっと実用が可能になったとは言えコンクリートの品質はまだ悪く、特にダムのように止水が重要とされる構造物では、表面の劣化を防ぐために切石を外面に積んだものであり、また粗石を込めたのは、コンクリートが高価であったためと強度不足によるものである。粗石、切石を用いないコンクリートダムは、コンクリート製造技術がさらに進歩し、自然石に劣らない強度と耐久性を備えるようになった大正13年の志津川堰堤が日本では最初の事例となる。

堤体は平面は直線状であり、上流面側は上部10.9mが垂直、それ以下は22m下の基部で1m開くような勾配がついている。下流面側はやはり上部が5.45mが垂直、その下は半径9mの円弧を用いて2:3の直線勾配へ接続している（図1）。

ダム堤体は、当時のセメント技術の習熟と、「地面を多く利用するは経済の許さざる所なれば…」¹¹⁾という理由、さらに予定給水量を満たすためには土堰堤ではまだ築かれていなかった高さ30m程度のものが必要であったことから、日本では初の粗石コンクリートダムとした。また、19世紀末よりイギリス、フランスにおいてコンクリートダムの合理的設計法が発表されていたことも、その建設を可能にした一因であった。佐野は自身の論文¹⁰⁾の中で、布引五本松堰堤、鳥原立ヶ畑堰堤、千刈堰堤のいずれも、このとき発表されていた Rankine, Delocre, Weggman の理論を用いて設計したことを述べている。その理論は、「材料、地盤の許容応力内におさめること（当時は直応力に対して設計）」「剪断破壊を起こさないこと」「水圧と自重の合力が底面中央1/3に入ること」であった。これらにより、下流面側は一定勾配、あるいは次第に緩になる勾配となり、上流面側は下るに連れ垂直からやや開いて行く勾配が決定される（いわゆる「フランス堰」）。布引五本松堰堤の場合、堤体1平方尺毎に8トンの最大直応力を受ける計算とし、数値解析法の他に図算法を用いて算出している。下流面側は2:3の一定勾配であるが、上端の垂直部から勾配部への接続に円弧を用いているのは、上記許容応力の関係から、天端の通路を形作る部分から受ける応力を滑らかにすりつけるためである。

設計が行われた時点においては、まだ揚圧力が考慮されていなかった。しかし、1895（明治28）年、フランスの Bouzey ダムが揚圧力によって転倒事故を起こした。堤体表面にはたらいた引張力によって生じたクラックから堤体内に水が浸透し、これが揚

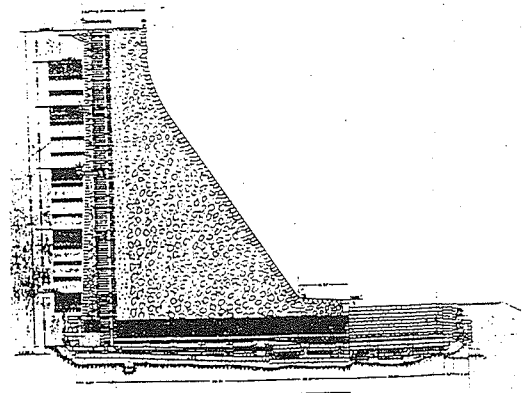


図1 布引五本松堰堤断面図
（出典：神戸市水道誌及び附図）

圧力をはたらかせたものである。揚圧力を考慮したフランスの Levy によるダム堤体の設計理論は 1899 年に発表されるが、布引五本松堰堤の場合は設計変更が間に合わなかったため、堤体の設計に揚圧力を考慮しない代わりに 157 本の鉄管を堤体内に配して浸透水の排除を図っている。

布引五本松堰堤では、本体に余水吐を設けず、東側から横越流し、岩盤を掘削して設けられた放流路を通して自然の滝のように落下するようになっている。この考え方はバルトンによる原設計案を踏襲している。すなわち、「築堤内には決して通水路あるいは余水落としといったものを設けないこと」¹²⁾である。これは、初のコンクリートダムであったことから、当時の技術では洪水が堤体上を流れたときの安全性に自信が持てなかったためであるが、同時に、この地域では「布引の滝」という名勝があり、その景勝保存意識も高かった（極楽谷に建設予定のアースダムを廃止し、雌滝に取水場をつくることに変更している）ことから、余水吐をあたたかも自然の滝の



写真2 布引堰堤のデンティル（歯飾り）（撮影：筆者）

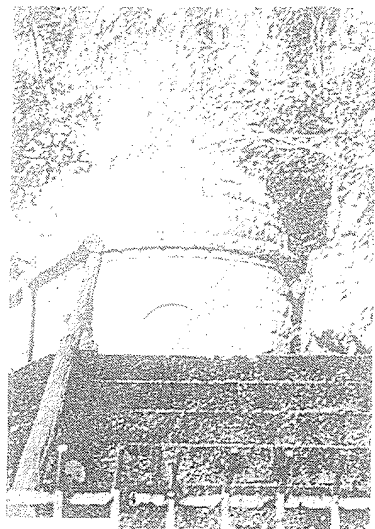


写真3 雌滝取水場建屋（デンティルが見られる）（撮影：筆者）

ように見せかけ、景観に配慮したとも考えられる。

意匠上の特徴は、堤体下流側上部の、垂直面が円弧へ連なる部分につけられたデンティル（歯飾り、写真2）である。このデンティルは、堤頂の胸壁部分にあたるコーニスとともにアーキトレーブ（図2参照）を形作る。これは、19世紀中頃イギリスで流行していた新古典主義の影響を受けている。一段の石を周囲より前に出し、飛び出た部分の四辺を削るという細かな細工が為されているが、こうしたところに佐野の、装飾にも気を使った精神が見て取れる。同様な装飾は雌滝取水場の建屋（写真3）にも見られ、建築様式との調和が図られている。

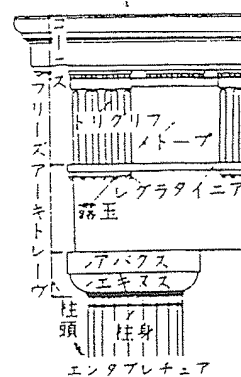


図2 古典様式の各部の名称（出典：建築大事典¹³⁾）

（2）鳥原立ヶ畑堰堤^{6),7)}（写真4）

a) 計画

鳥原立ヶ畑堰堤は布引五本松堰堤と同様に神戸市創設水道のために計画されたダムである。布引五本松堰堤を完工し、鳥原立ヶ畑堰堤を建設するにあたって、佐野はインドなどのイギリスの東洋植民地水道施設調査を行い¹⁴⁾、設計変更を行っている。これ

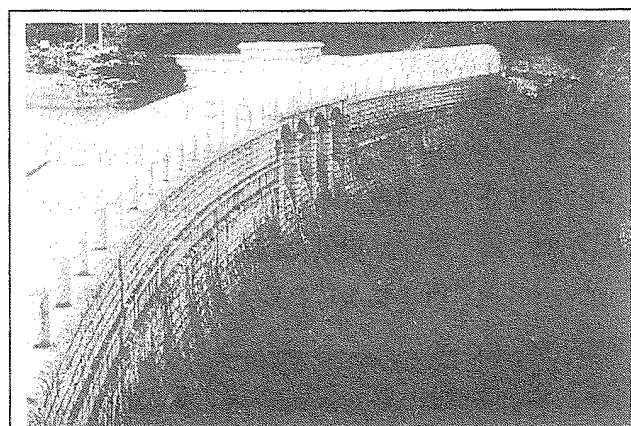


写真4 鳥原立ヶ畑堰堤（撮影：筆者）

着工／竣工年	1901（明34）／1905（明38）年 1915（大4）年拡張工事（嵩上げ）完了
所在地	兵庫県神戸市
河川名	湊川
堤高（m）	33.3（嵩上げ後）
堤頂長（m）	122.4
目的	水道

は、布引五本松堰堤の漏水量が予想外に多く、鳥原立ヶ畑堰堤の建設に不安を抱いたため、佐野はボンベイ、マドラスを訪れ、タンサ (Tansa) ダムやペリヤー (Periyar) ダム、バットガール (Bhatgarh) ダム (写真5) など、当時世界でも有数の大きさのダムを視察し、鳥原立ヶ畑堰堤の設計変更の参考としたものである。そしてこの時に、当初設計では粗石コンクリート堰堤だったものを粗石モルタル堰堤とし、濁水処理のための沈澄池は廃して池上流の放水路によって濁水を分流する方式へと変更された。ここで用いられたモルタルには、インドのダムで用いられているスルキという漆喰を混入してある。布引五本松堰堤においても濁水沈澄は思わしくなく、鳥原立ヶ畑堰堤の建設と同時期に池上流からの放水路が作られているが、鳥原谷の場合粘土質であることからさらに濁水処理には困難が予想されたため、あらかじめ池上流において洪水時の濁水の流入を防ぐ、イギリス流の方法が取り入れられた。また、貯水池内からの放流は布引五本松堰堤と同じように堤体横の岩盤を切って行うはずであったが、こちらは地形が急峻であったため、放流路を設けることが出来ず、布引五本松堰堤では避けるべきとされていた堤体からの放流を行っている。佐野のインド視察により、堤体を当初の粗石コンクリート造から、インドのダムと同じ材料を用いた粗石モルタル造に変更したため、インドのダムで行っている、堤体からの放流が可能になると判断したと思われる。

b) 堤体の設計

鳥原立ヶ畑堰堤は、前述のようにインドのダムを参考として造られているため、同時期に計画されたものでありながら布引五本松堰堤とは大分異なった設計が為されている。堤質は漏水を防ぎやすくするためモルタルで石を積んだものとし、温度変化に対

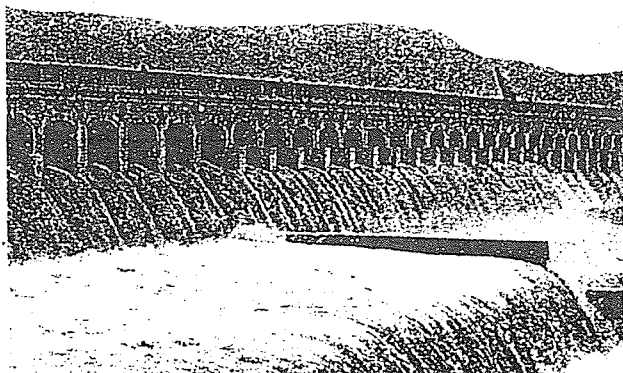


写真5 バットガールダム (出典: Major Dams in India¹⁵⁾)

応するために平面は半径 181.8m (600 尺) の円弧形としている。(この時、まだアーチ効果については考えられていなかった)。断面形状 (図3) は地盤が悪かったため、直応力を布引五本松堰堤より小さい 6 トン/平方尺で一定にする目的から、裾に行くに従って広がるようになっている。堤頂より 3m が垂直、半径 9.09m の円弧で 2 : 3 の勾配へ接続し、その勾配が 11.21m 下ったところから半径 75.75m の円弧で広がる。最下部においては、やはり円弧を用いて水平になるようにしており、水が表面を流れることを意識した設計となっている。

堤体中央には、4 門のストーニー式ゲートが並んでいる。引き上げ式であるために下流側からはゲートの機械が目立たず、石のアーチの重厚な雰囲気が見られる。幅は 3.03m (10 尺)、その上部はアーチ形を為している。このアーチの形状は円弧で、柱に連なる部分にシーマ (横材) を入れるなど、その装飾はルネサンス風となっている。この部分の装飾は、バットガールダムを参考にしたのではないかと考えられる。デンティルが配されていた布引五本松堰堤に比べ、鳥原立ヶ畑堰堤では装飾は余水吐部、および胸壁の部分を石積せずにコーニスのように見せているのみであった。鳥原立ヶ畑堰堤はこの後拡張設計を受け、堤高を 2.72m あげているが、この時この胸壁部のデザインを装飾として残している。現在余水吐の左右に見られる水平ラインがそれである。

取水塔はゲートを避けてその左側につけられ、塔頂部には覆屋 (写真6) が設けられている。この覆屋は新古典主義的影響を受けており、当初三角破風をもっていたが、拡張設計後に平屋根へと変更されている。壁面は印度式粗石工による装飾がなされ

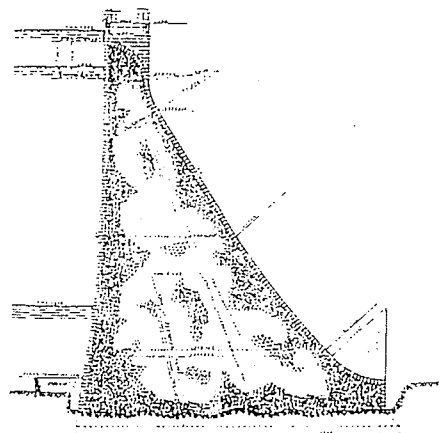


図3 鳥原立ヶ畑堰堤断面図 (拡張後)
(出典: 神戸市水道 70 年史)



写真6 取水塔覆屋
(撮影：筆者)

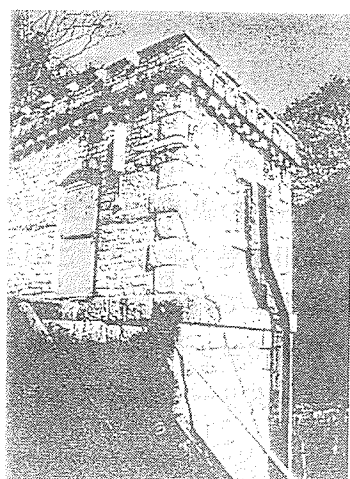


写真7 分水堰堤覆屋
(撮影：岡田一天氏)

ている。この印度式粗石工は佐野がインド視察の際に学んだもので、写真に見るように大きさの違う石を組み合わせて積み上げたものである。これは、やはり新古典主義揚式による放水路の櫓台や、城郭建築のような分水堰堤の覆屋(写真7)などの烏原貯水池の建築の壁面の装飾として用いられている。佐野は技術のみでなく、装飾方法もインド、つまりはイギリスの様式を積極的に取り入れていたことがわかる。しかし、用いられた様式は、古典主義風、ルネサンス風など様々なものがあり、必ずしも

確固たる信念を持って様式が決定されたわけではなく、見たものを次々と取り入れたと考えられる。

(3) 千刈堰堤¹⁶⁾ (写真8)

a) 計画

千刈堰堤は、人口増加に伴って供給が不足してきていた神戸市の新たな水源確保のために、当時韓国統監府勤務であった佐野を顧問として招聘し、神戸市第一回拡張水道として、烏原立ヶ畑堰堤の嵩上げとともに計画された。灌漑用の機能も持たせたため、必要水量が多めに設定された。烏原立ヶ畑堰堤と同様、放水堰堤を主堰堤の上流に建設し、導水管で下流へ放流する計画であった。その後、同時に計画された洗谷貯水池が廃止となり、千刈一本に統一され、将来嵩上げに対応できるように敷幅、頂上幅が広げられた。さらにその後の調査では、当初設計のままでは洪水を放流しきれないことがわかり、計画流量を増大し、導水路のみでなく本体からの大規模な放

流を行うように設計変更が為された。導水路は、布引五本松堰堤と同じく岩盤に放流しており、自然の滝のような景観を生み出している。

b) 堤体の設計

堤体材料は粗石モルタル積みで、いかなる点においても直応力が1平方尺(0.06㎡)あたり6トンを超えないように断面が決定されている。直応力に対して設計したため、合理的断面は下に行くに従って広がることになるが、これは同時に表面を流れ落ちる水の減勢に役立つという利点ももっている。当初から嵩上げを想定したため、烏原立ヶ畑堰堤よりも広がり方が大きくなっている。

平面は、当初設計では烏原立ヶ畑堰堤と同様な円弧を用いるものであったが、温度変化に対応するための継ぎ手を設ける技術が導入され、直線形状としている。

千刈堰堤の特徴とも言える、15門並んだゲートは、先にも挙げたように大量の洪水を放流するために設けられている。ゲートの方式は烏原立ヶ畑堰堤と同じストーンー式である。その装飾はむしろ、シーマなどを用いず簡素化されており、単純に石をアーチ型に積んだものとなっているが、15門と数が多いことにより、リズム感が生まれている。佐野が視察したバットガールダムには、烏原立ヶ畑堰堤よりもむしろ千刈堰堤の方が似ているように思われる。この

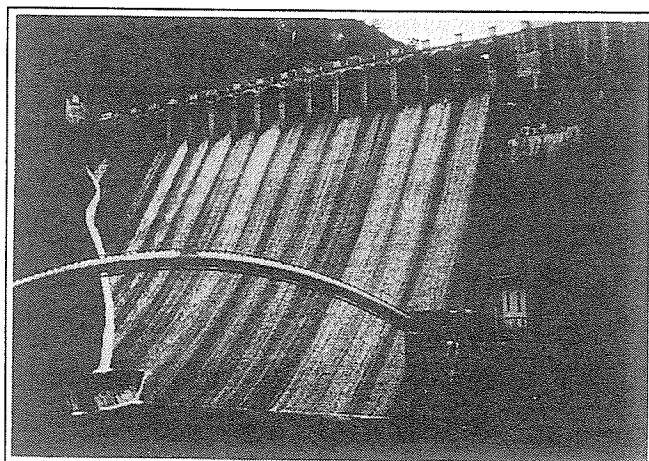


写真8 千刈堰堤 (撮影：筆者)

着工/竣工年	1914(大4)/1919(大8)年 1931(昭6)年拡張工事完了
所在地	兵庫県神戸市
河川名	武庫川
堤高(m)	42.4
堤頂長(m)	106.7
目的	水道

ゲートから放流される水は堤体表面を覆う石によって白みながら流れ、溪谷に見事な落水表情を作り出している。

(4) 大井堰堤 (写真9)

a) 計画

佐野は神戸市水道拡張工事の完了をもって神戸市を解職となり、木曾電気興業（後の大同電力）の技術監督となる。この木曾電気興業は福澤桃介が木曾川水系を発電目的で利用するために興された会社であり、大井堰堤は大井発電所に付随するダムとして計画された。それまでずっと水道畑で歩んできた佐野にとって発電ダムは初めてのことであったが、日本で初めての 50m 超級ダムであったことから、技術者としての手腕を評価され、初代の建設所長となった。この堰堤建設にあたっては、アメリカの会社に技術協力を請い、佐野は日米両国の技術者の橋渡し役として活躍したことが述べられている³⁾。しかし、佐野は堤体に山砂を用いることを主張したが、アメリカでの検査の結果、この砂が不適格であることがわかり、そのごたごたが元で佐野は退職することになった¹⁷⁾。その後、2代目所長の畠山好伸の下に、福澤桃介の命でアメリカにダムの視察・研究に赴いていた石川栄次郎が次長として就き、彼の指揮下、大井堰堤の建設が進められた。なおこの時、堰堤担当には佐野藤次郎指導の下に鳥取市的美敷堰堤を設計した友永染蔵がついている。このダムはそれまで

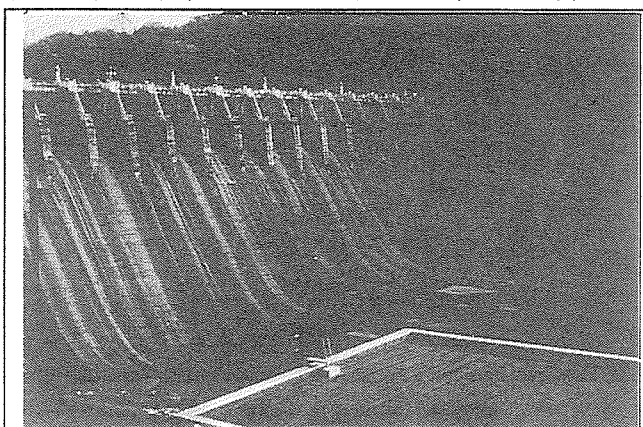


写真9 大井堰堤 (撮影：筆者)

竣工年	1924 (大 13) 年
所在地	岐阜県恵那郡姪川村
河川名	木曾川
堤高 (m)	53.4
堤頂長 (m)	275.8
目的	発電

のダムのように放流路をダムとは別に設ける方式ではなく、ダム自体の余水吐から全てを放流するようになっている。ダムによって出来た貯水池には、現在では遊覧船が走るなど、新たな景観を創出するのに成功している。

b) 堤体の設計

建設途中で退職したことから、佐野は施工にはほとんど携わっていないが、設計段階では佐野が所長をしていたことから、大井堰堤の設計には佐野藤次郎が深く関わっていたと考えられる。大井堰堤の特徴は、日本初の 50m 超級の大ダムであること、堤体表面がメーソンリーではなく、コンクリート表面となっていることである。この大ダムを完成させるためにアメリカから技術者を招聘し、大型機器を用いて建設された。堤体下流部の勾配は布引五本松堰堤と同じように 2 : 3 となっている。日本でメーソンリー形式をやめ、コンクリートの表面とした最初のダムは、宇治川電気の志津川堰堤であるが、この 2 つのダムはほぼ同時期に竣工していることを考えると、ちょうどこの時期に日本のコンクリート技術の発達によって、質の高いコンクリートが実用化されたことがうかがえる。

21 門のテンターゲートを堤頂に備え、ここからの放流で余水を処理する。当時のアメリカのダムを見ると、ほとんどがこのテンターゲートを用いており、石川栄次郎がアメリカで手に入れた図面を日本に送って設計させたものである。このテンターゲートを用いたのも、志津川堰堤に続いて 2 例目となっている。越流頂は水がスムーズに流れるように放物線を用いており、円弧状であった鳥原立ヶ畑堰堤、千刈堰堤と比較して水理学的に進歩したことが見られる。テンターゲートのピアが立ち並ぶことにより、堤体にリズム感が生まれている。装飾的な要素は照明柱、高欄などに限られ、シンプルな外観を見せている。

堤趾部は横方向ブロック毎に高さを変えて地盤に滑らかに繋がるようになっており、地盤にもコンクリートで保護工を作っている。こうした方法はしばしば、アメリカのスキージャンプ式の減勢工を用いたダムにも見ることができ、岩盤掘削量を減らそうとしたこと、膨大な洪水による水の勢いを出来るだけスムーズに下流へ流そうとしたことなどの工夫の成果である。設計・施工が煩雑になるにも関わらず、

水理学的にも合理的で、同時に自然環境への配慮もなされている。

(5) 豊稔池堰堤 (写真 10)

a) 計画¹⁸⁾

佐野藤次郎は神戸市のダム建設により、国内の第一人者として認められていた。当時はまだこうした技術を持つ人が少なかったため、一握りの優れたエンジニアが仕事のあるところを渡り歩くというのが一般的であった。佐野も各地の招聘に応じ、顧問、アドバイザーとして設計・施工の指導を行っている。ここでは、日本唯一のマルチプルアーチダムである、豊稔池堰堤を取り上げる。

豊稔池堰堤は灌漑用の貯水池を築くために、当初、重力式の粗石モルタル造堰堤として計画された¹⁹⁾。佐野は1925(大正14)年10月9日にはじめて顧問として現地を訪れている。その後、1926(大正15)年4月1日の起工後、11月になると基礎掘削の段階で予期せぬ岩盤に達し、急遽堤体中央部をマルチプルアーチダムに変更することとなった。現在、ダム横に立っている碑文を見ると、「堰堤様式撰定者 農林省技師 杉浦翠」と書かれている。また、設計を担当した鈴木信夫の談話によれば、「設計は前任の木村(真五郎、農林省より派遣)技師が担当されたもので、佐野藤次郎工学博士の指導のもとにずいぶん苦労された。」²⁰⁾とある。この頃、土木学会誌に

もアメリカのマルチプルアーチダムの報告が幾つか載るようになり²¹⁾、この形式が知られるようになっていた。よって、形式を選定したのは杉浦が主体か佐野が主体かは判然としないが、佐野がその実現にあたって何らかの技術的なアドバイスをしたであろうことは推測される。佐野はこのダムの完成を前に病死するが、その技術は後輩に受け継がれ、唯一のマルチプルアーチダムとして、現在も補修を受けてはいるが立派に残っている。

b) 堤体の設計

堤体は粗石モルタル積み、アーチ部は径間9.7m(32尺)×5連、厚さ1.8~2.4m(6~8尺)、垂直に対して25度8分40秒オーバーハングさせ、これを厚さ4.8m(16尺)のバットレス(扶壁)6基で支えている。アーチは円筒理論で設計され、オーバーハングによって下方向への水圧を受け、合力をミドルサード内に入れるようにして堤体の安定を図っている。形式選定のきっかけとなった岩盤の不具合に関して、文献ではその詳細は述べられていないが、建設地点に亀裂があり、そこから浸透水が入る恐れがあったのではないかと推測される。そのため、接地面が小さくてすむマルチプルアーチダムとし、揚圧力の影響を押さえようとしたのではないだろうか。

余水はバットレス部に設けられたサイフォンによって処理するという、これも国内では珍しい方式を用いている(図4)。マルチプルアーチダムであるため、テンターゲートなどの大規模なゲートをつけることが出来なかったこと、機械式と異なり、ゲートを操作するための機械室や人手を必要としないで済むことなどがその理由だと思われるが、現在では管のつまり、管理の手間などを考え、採用されない方式である。アメリカの事例では、堤体とは別に余

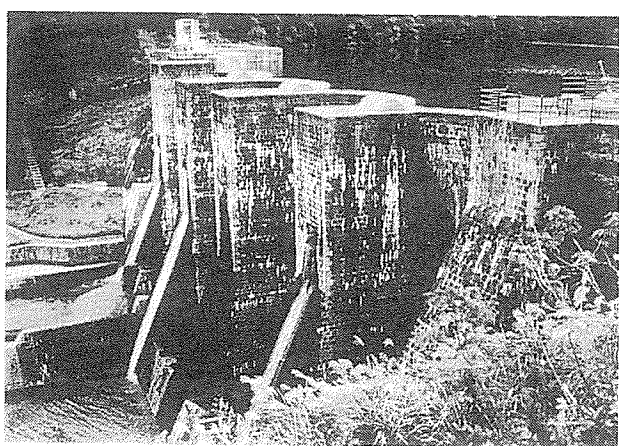


写真 10 豊稔池堰堤 (撮影：筆者)

竣工年	1926(大15)/1929(昭4)年
所在地	香川県観音寺市大野原町
河川名	杵田川
堤高(m)	29.7
堤頂長(m)	145
目的	灌漑

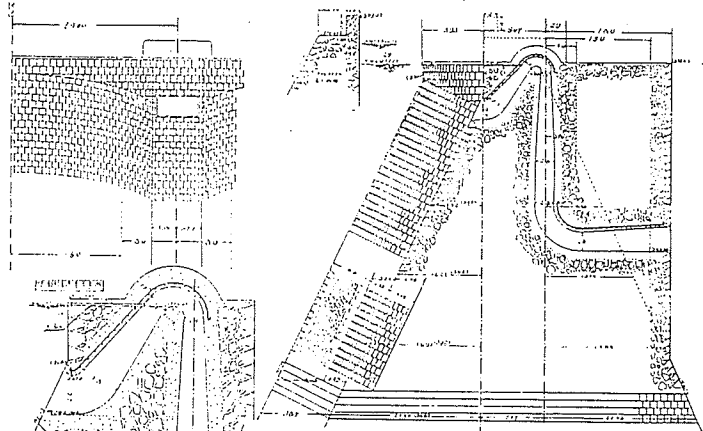


図4 豊稔池ダム断面図 (出典：豊稔池の築造)

水吐を設けていることを考えると、非常に珍しい方式と言える。さらに、豊稔池堰堤ではこのサイフォンで処理しきれなかった水を、全面越流させている（写真11）。これも、普通は堤体基礎の洗堀が懸念されるために、特にバットレス形式などの大きな応力がかかる形式では避けるべきことであるが、ここでは下流側にフーチングを設けることにより、その危険を防いでいる。落水表情という観点からすると、全面越流時には、サイフォンから前方へ噴き出す水、アーチを超えて落ちる水とがダイナミックな景観を作り出している。

堤体表面は上流面とバットレス部が間知石の練り積み、アーチの下流面側がコンクリートブロックになっている。上流面側は水に直接触れるため、丈夫な石を用い、下流面側は曲面、オーバーハング、変断面という難しい条件をクリアするために台形断面

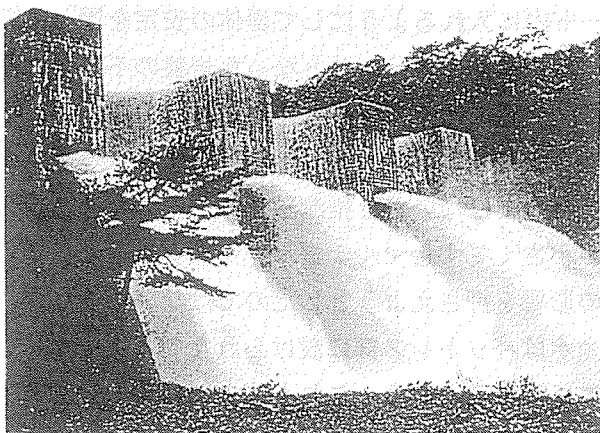


写真11 全面越流する豊稔池ダム（出典：「豊稔池」²²⁾）

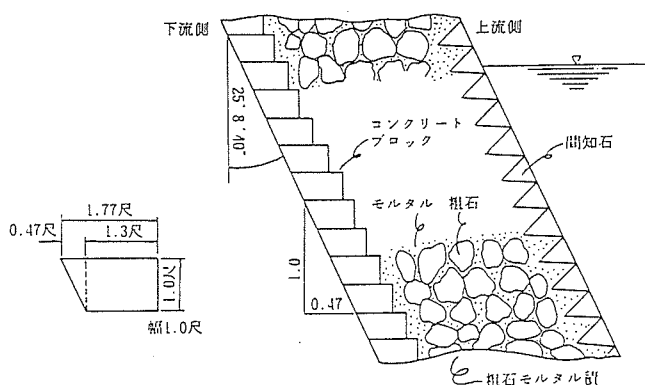


図5 堤体断面詳細図（出典：豊稔池の築造）

のコンクリートブロックを用いた（図5）。このブロックを積むのには、高知出身の熟練した石工が携わり、入念な施工が為されている。これにより、アーチ内面は段差のない1つの滑らかな面が見られるようになった。当時、すでに大井堰堤のようにコンクリート打ち放しのダムは出来ていたが、この地方ではセメントの質が悪く、逆に良質な石が取れる故に、切石とコンクリートブロックとで表面を構成することになったと思われる。

表面が石積みでありながら、もはやコーニスなどの装飾手法は取り入れられておらず、堤体の形状自体が持つダイナミックさに、入念な施工による洗練が加わり、シンプルながらも技術自体のレベルの高さで見事な造形を作り出していると考えられる。

4. 佐野藤次郎のデザインについての考察

前章までの内容をふまえ、佐野藤次郎の設計の特徴を、同時代に活躍した設計者、中島鋭治、吉村長策と比較考察する。中島鋭治、吉村長策の設計した代表的なダムは表2のようにになっている。

中島鋭治は英国留学の経験があり、水道学の基礎を学んできた。彼のダムの設計技術に関しては詳細なことはわかっていないが、和田忠治、沼田尚徳と他の設計者の名が上がっていることを見ると中島は



写真12 藤倉堰堤（撮影：筆者）

表2 中島鋭治、吉村長策が設計に関わったダム

竣工年	ダム名称	所在地	形式	目的	設計者	堤高(m)	堤長(m)	特徴
1903 (明 36)	本河内低部	長崎県長崎市	メーソンリー重力式	水道	吉村長策	22.7	115.2	デンティル
1903 (明 36)	藤倉	秋田県秋田市	メーソンリー重力式	水道	和田忠治, 中島鋭治	16.4	65.0	全面越流
1904 (明 37)	西山	長崎県長崎市	メーソンリー重力式	水道	吉村長策	31.8	139.4	デンティル
1926 (大 15)	小ヶ倉	長崎県長崎市	メーソンリー重力式	水道	中島鋭治	40.0	135.6	
1927 (昭 2)	河内	福岡県北九州市	メーソンリー重力式	水道	沼田尚徳, 中島鋭治	44.1	189.0	

設計指導的な立場だったと推測される。竣工したダムの形式は一般的な重力式ダムであるが、藤倉堰堤（写真 12）を見ると、デンティルなどの装飾は施されていないが、堤体右岸の岩を回り込むように作られた放水路や堤体上にかかるトラス橋などの配置バランスの良さ、堤体を越流する水の流れ、岩着部を自然に見せる処理の仕方などにセンスの良さを感じる。

吉村長策は、日本最初の近代水道用ダムである本河内高部堰堤の設計を行った。これは土堰堤であったためにデザインが施されているのは階段部周りのみであるが、ルネサンス的な意匠となっている。これに対し、布引五本松堰堤とよく似た古典主義的な意匠をその後長崎で設計・建設した 2 つのダム、本河内低部堰堤（写真 13）と西山堰堤で用いているが、これらの堰堤にあるデンティルはコンクリートブロックを 1 つおきに前方へ出したものであり、布引五本松堰堤のものより簡略化されている。吉村がその後、岡山水道の三野浄水場において見事なルネサンス様式の建築を設計していることを考えると、デザイン能力は高いはずである。しかし、理由は定かではないが布引五本松堰堤以降、この 2 つの堰堤の意匠には大きな変化は見られない。

彼らに対し佐野藤次郎は、今回調査した事例が比較的多いこともあるが、意匠面に限らず技術面でも変化に富んでいる。これは佐野 1 人に限らないが、

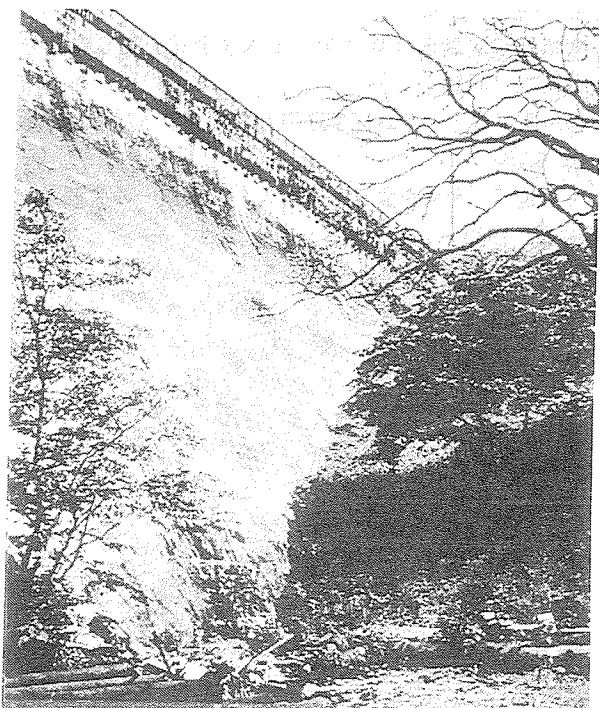


写真 13 本河内低部堰堤（撮影：岡田一天氏）

明治という時代柄、技術は海外からの輸入であり、新しいものを取り入れていった。と同時に佐野の場合は、意匠についても印度式粗石工に見られるように海外に範を求めたということがわかる。例えば、論文¹⁰⁾のなかではヨーロッパで発表された設計理論をいち早く紹介していたり、Bouzey ダムの転倒事故の教訓をすぐに取り入れたり、インドに当時最大のダムを視察に行くなどということから、海外のダム技術の動きには敏感だったと言える。その結果、中島や吉村がダムに限らない水道の大家として知られるのとは異なり、むしろダムのオーソリティーとして各地のダム建設に顧問として関わることとなった。八田與一の設計で知られる台湾の烏山頭堰堤にも、佐野が設計に保証を与えている²³⁾。しかし、逆に言えば佐野が独自で作り出した技術というのは見あたらない。冷たく言えば、海外技術を実践に応用しただけとも言える。

次に、景観に対しては、布引五本松堰堤や千刈堰堤において導流路の放水口を自然の滝のように見せかけて景勝保存を考慮しており、また岩着部の処理もうまく行っている。中島もそうであるが、周囲の景観への配慮が見られる。

構造物のデザインは、堤体にデンティルなどの装飾を設けたこと、余水吐のアーチをルネサンス風に組むことなど、シンプルではあったが、当時の常套手段であった洋風意匠を取り入れることにより、風格を持たせることを図っている。前述したように吉村が浄水場を設計するなどこの時代のエンジニアは建築にも造詣が深く、佐野もそうした視点をもってデザインを行っていたと思われる。デンティルは細かな作業によってつくられ、ディテールへの配慮もなされている。飛び抜けて優れたデザイン力があったとは思えないが、この時代の優秀なエンジニアの多くがそうした意匠の知識、配慮があったと考えられる。時代が下るに連れ、モダニズムが台頭してきた頃でもあり、装飾よりも機能、構造を重視するようになってこうした装飾は簡略化されるようになるが、豊稔池堰堤のアーチ部では入念な施工をするなどディテールをきちっと仕上げることに重点が置かれている。これは佐野が直接手がけた工事ではないが、技術者がディテールへのこだわりを持っていたことを窺わせる。

5. 結論と今後の課題

土木構造物において設計者、デザイナーを特定することは難しいと言われているが、本論では設計者が判っている近代古典コンクリートダムの中から、佐野藤次郎が設計、または設計指導したものを取り上げ、そのダムのデザインについて分析、考察を行った。考察の結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 佐野藤次郎の設計は技術、意匠ともに海外のものに頼っているが、新規なものを取り入れ、実践する積極的な姿勢があったこと。
- (2) 意匠要素、堤体表面などのディテールは入念な施工がなされていること。
- (3) 景観に対しては、周囲との調和を考慮し、うまく処理していること。

今後の課題としては以下ようになる。

- (1) 佐野藤次郎が参考にしたとされるイギリス、インドのダムについて文献のみでなく、実地調査を行い、関連性をより詳細に確かめる必要がある。
- (2) 同時代のエンジニア達を同じように構造物、人物の両面から、比較考察を行う必要がある。今回は昭和初期のダムまでしか取り扱っていないが、近代だけでもまだ優れた意匠のダムがあり、それらを対象とした研究を行うことが必要である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、神戸市役所の湊氏、豊稔池土地改良区事務所、(株)プランニングネットワークの岡田氏、ダム水源地環境整備センターの下村氏、山田氏、土木学会図書館の藤井氏、日本大ダム会議事務局ほかの皆様に資料収集にご協力いただきました。この場を借りて感謝いたします。

文献

- 1) 窪田陽一、明治期の水利施設のデザインに関する考察、第5回日本土木史研究発表会論文集、pp.49-54、1985.6
- 2) 近代水道百人選考委員会編『近代水道百人』、日本水道新聞社、pp.26-27、1988
- 3) 井関九郎編『大日本博士録 第5巻工学博士之部』、発展社、p.169,221、1921-1930
- 4) 3)に同じ、pp.57-58,76-77
- 5) 3)に同じ、pp.148-149,190-191
- 6) 神戸市役所『神戸市水道誌及び附図』、1910
- 7) 神戸市水道局『神戸市水道70年史』、1973
- 8) Norman Smith "A History of Dams", PETER DAVIS, p.172, 1971
- 9) 吉村長策、我が四十年間における技術界の回顧、土木学会誌、第13巻1号、土木学会、pp.1-8、1927
- 10) 佐野藤次郎、石堰堤の内部応力について、土木学会誌、第2巻3号、pp.1-29、1916.6
- 11) 7)に同じ、p.72
- 12) 6)に同じ、p.146-147
- 13) 『建築大事典』彰国社、1993
- 14) 佐野藤次郎、上水道引き込み管としての鋼管、水道、第26号、水道社、pp.516-518、1928.10
- 15) Indian National Committee on Large Dams "Major Dams in India", Central Board of Irrigation and Power, p117, 1979
- 16) 神戸市役所『神戸市水道拡張誌』、1922
- 17) 有吉天川、出口啓輔『石川栄次郎伝～流れとともに～』、輿論時代社、1955
- 18) 豊稔池土地改良区『豊稔池の築造 豊稔池改修事業竣工記念誌』、1994
- 19) 18)に同じ、p.59
- 20) 18)に同じ、p.92
- 21) 複拱堰堤ノ設計ニ就イテ、土木学会誌、第5巻6号、pp.46-54、1919
- 22) 香川県三豊土地改良区事務所パンフレット『豊稔池』、1995.5
- 23) 古川勝三『台湾を愛した日本人―八田與一の生涯』、青葉図書、1989