

技術者の言説からみた 近代日本におけるコンクリートダム技術の変遷 *

Development of Concrete Dam in the Modernized Era in Japan
From the Viewpoint of Dam Engineer' Words

樋口輝久** - 三木美和*** - 馬場俊介****

By Teruhisa HIGUCHI, Miwa MIKI and Shunsuke BABA

The purpose of this paper is establishing the historical review of concrete dams in the modernized era in Japan, from the viewpoint of dam engineer' words. First, we summarized their achievements for every fields, such as a water supply, hydraulic generation, irrigation, erosion control, and others. We extracted their words described about design and construction of concrete dams from the collected technical papers, textbooks of those days, and their memoirs. And we tried to analyze and clarify how technology was introduced, and it developed and was evaluated.

1. はじめに

わが国では、1900(明治 33)年、神戸市水道の布引ダムに初めてコンクリートダムが導入されて以来、重力ダム、アーチダム、バットレスダムと様々な型式が採用されてきた。中でも、現在では造られなくなった曲線形重力ダム、マルチプルアーチダム、アンバーセン式バットレスダムは、わが国のダム史上において、戦前の大きな特徴になっている。また、技術的には、戦前は、欧米の先進技術を導入し、わが国に適應するよう工夫したり、あるいは新たに開発して、現在のダム技術がほぼ確立された時期にあたる。

こうしたダムの技術史については、『水力技術百年史』¹⁾、類似の『関西電力水力技術百年史』²⁾で、また、コンクリートダムの施工技術に関しては、松浦茂樹の研究³⁾である程度知ることができる。しかし、これらの研究は、ダム技術の概略や個々の設計手法や施工技術に関してまとめられたもので、それらの技術を、ダム技術の発達史の中で統合的に捉えようとした研究はこれまでになかった。そこで、当時の資料に基づき、各々の技術についてダム技術史全体の枠組みの中での位置けを行い、かつ、技術の導入元となった欧米先進国と日本との状況を同時代的に見て、ダム技術史の確立を試みようとしている。

近代日本におけるダム技術史の確立をするために、筆者らは、戦前の特徴であるダム型式の多様性に着目して、バツ

トレスダムに関する研究⁴⁾を発表し、現在はアーチダムについて準備中である。そこで、本論文では“ダム技術の発展の背景と技術者”という観点からダム技術者の言説をもとにして、ダム技術史を再構築しようとする。

まず最初に、どのような人たちがダムの設計・建設に携わっていたのか整理しておく。『電力土木』誌に連載された人物銘々伝の記事⁵⁾、『土木史研究』に毎年投稿されている稲松敏夫の電力土木人物史シリーズ⁶⁾、『近代水道百人』⁷⁾などからダム技術者の経歴や活躍を知ることができる。

ダム技術史を構築するための一次資料としては、①論文や報告書、技術テキスト、②ダム建設の許認可に関わる公的書類、③技術者へのインタビューが挙げられる。本論文では、①について、『土木學會誌』をはじめ、『工學會誌』、『工學』、『水利と土木』、『水力』、『水道協會雑誌』、『農業土木研究』、『セメント界彙報』など戦前に刊行された学協会誌・業界誌に記載された論文・報告、当時の教科書や技術参考書の悉皆調査を行った。②については、技術者の意見ではないので、今回は取り扱っていない。③戦前に活躍した技術者へのヒヤリングは、現実的には不可能なため、回顧録や講演記録、および、座談会の記録から彼らの意見を辿っている。

ダム技術の発展の背景を探るために、得られた資料から、技術者の中で議論が重ねられていた話題、実際に彼らが携わっていた当時の状況、彼らの考えを知ることができる記述

* Keywords: 近代、技術史、コンクリートダム、技術者

**正会員 岡山大学助手(環境理工学部環境デザイン工学科)
(〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

*** 非会員 株式会社大設

****正会員 岡山大学教授(環境理工学部環境デザイン工学科)

を抽出する。そして、どのダム築造の際に、どのような技術が、誰によって導入されたのか。それに対する評価はどうであったのか。そして、それがどのように発展、もしくは衰退していったのかを分析し、整理する。

ダム分野における土木史研究もこれまでは個々の事業、構造物が中心であったが、本研究では、戦前の文献の悉皆調査を行い、その中から技術者の言説を抽出して、ダム技術の変遷を辿るという土木史学における新たな方法を試みる。こうして、様々な視点からダム技術史が構築されることによって、土木遺産の客観的な評価も可能となっていくであろう。

なお、本論文で対象としているダムは、貯水・貯砂を目的としているもので、基本的には1935(昭和10)年の「河川堰堤規則」で規定された堤高15m以上のものである。但し、ごく初期のものや施工数が少ない型式のものなど、ダム技術史上、重要なものについては、取水堰堤、ならびに15m未満のものも含まれている。

2. 戦前にコンクリートダムに関わった技術者

明治から昭和戦前期までの間にコンクリートダムの設計理論の確立、施工技術の開発、実際に現場で、あるいは行政側からダム建設に関わった技術者について、各分野の特徴も含めて紹介しておく。代表的な技術者については、表-1に彼らの生没年もしくは判明している活躍した時期、コンクリートダムに関連する戦前の主な業績や経歴および携わった代表的なダムを示した。

(1) 上水道

わが国初のコンクリートダムである布引ダム、バットレスダムの笹流ダムなどダム界の先陣を切ったのが上水道の分野で、佐野藤次郎、小野基樹らの活躍が知られている。

佐野は、後に発電、灌漑用ダムにも関与しているし、小野は電力分野の技術者とも交流が深かった。そして、神戸や東京の水道で活躍した技術者たちは、大正期以降の地方水道の普及に伴って、水道用ダムの建設の指導に招かれることもあった。一方、地方の水道や戦前の特色でもある軍用水道など個々のダム建設で名前の挙がっている技術者もいるが、彼らの実態についてはほとんど知られていない。

(2) 水力発電

戦前のダム技術のエポックとなる志津川、大井、小牧、塚原ダムなどの建設に、石井頼一郎、石川栄次郎、空閑徳平らダム界を代表する技術者がその中心となって携わった。彼らは、これらのダムの建設に先駆けて、欧米視察を行い、積極的に最新技術の導入を図っていた。

各電力会社は、優秀な技術者を雇い、技術力を競い合っていたが、会社の統廃合、ならびに1939(昭和13)年から始ま

った電力の国家管理によって、電力界全体で技術を開発、共有する技術集団が形成されていった。例えば、通信省は、高橋三郎が市浦繁、新井義輔、高畑政信らを各電力会社から引き抜き、優秀な技術者を集積させることによって、技術開発を活発させた。このように電力会社と通信省、内務省との結びつきも強く、技術者の異動もかなり見られた。

また、久保田豊のように技術者自らが、電力会社を設立することも多く、台湾、満州、朝鮮などへ進出して、盛んに水力開発を行い、昭和10年代後半には100m級の巨大ダムを完成させていたこともこの分野の特徴である。

(3) 農業土木

コンクリートダムの経験のなかった農業土木分野では、初の挑戦となった豊稔池ダムの建設に際し、上水道の佐野藤次郎を顧問に招き、指導を受けている。主要な灌漑排水事業には事業費の1/2が国庫から補助されており⁸⁾、農林省の権限が強かったためか、県直轄のダム工事でも杉浦翠、安部義正ら農林省の技師や農林省から出向した技師の名前が登場する。しかし、戦前の灌漑用のコンクリートダム自体が少なく、上水道や水力発電の分野のように、農業土木界における“ダムの権威”とされる技術者は見られない。むしろ、彼らは農業土木技師として、ダムにも携わったという見の方が正しいのかもしれない。

(4) 砂防

内務省直轄の砂防事業で、芦安ダムをはじめとする数多くの現場を担当した蒲 孚が代表的な砂防ダムの技術者であろう。

戦前を通じて砂防ダムには、アーチが採用され、『土木學會誌』や『水利と土木』など主要な雑誌にその工事報告がなされているものの、他の分野ではほとんど認識されておらず、貯水用ダムとは発展過程を異にしてきた。したがって、他の分野とのつながりはほとんどなかったものと思われる。

なお、アーチダムは県営の補助事業でも築造されていたが、地元技術者の名前は挙がっておらず、また内務省の技師がどこまで関与したのか明らかでない。

(5) その他—設計・材料・出版

重力ダム(1925年)、バットレスダム(1928年)の耐震設計理論を確立した物部長穂の貢献は多大で、その開発に永田年ら水力発電の技術者が携わっている。材料の面では、吉田徳次郎、真鍋武雄らがコンクリートの品質改良、製造技術を開発した。

出版分野もダム技術の発展の一翼を担っていた。雑誌『工学研究』(1923年創刊)の社長兼編集者である坂田時和は、国内外の文献を精読し、ダム技術に関する評価、討議を

表-1 戦前にコンクリートダムに関わった技術者

(著者作成)

分野	名前	1870	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	コンクリートダムに関連する戦前の主な業績と経歴	代表的なダム
上水道	中島 鋭治 (1858-1925)														・東京市水道技師長と東大教授を兼任 ・全国で30以上の水道の計画・設計に携わる	藤倉(1911) 千本(1918)
上水道	吉村 長策 (1860-1928)														・神戸市の水道工事で日本初のコンクリートダムを手がける	布引(1900)
上水道	佐野 藤次郎 (1869-1929)														・日本初のコンクリートダムの建設 ・日本初のマルチプルアーチダムの指導 ・水道技師だが、電力、農業土木まで幅広くダム建設に関わる	布引(1900) 大井(1924) 豊登池(1930)
上水道	小野 基樹 (1886-1976)														・わが国のパットレスダムの先駆者 ・東京市水道局で、水道用ダムを手がける	笹流(1923) 小河内(1957)
上水道	水野 広之進 (?-?)														・神戸市の水道用ダム建設に従事 ・地方の水道用ダム建設を指導	布引(1900) 久山田(1924)
水力発電	新井 栄吉 (1881-1952)														・東京電力や台湾電力で水力開発に従事	田代(1928) 武界(1934)
水力発電	鶴田 勝三 (1882-1959)														・日本初のアーチダムの設計・建設 ・工事画報社の社長で、アフリカのダム技術を積極的に紹介	浦山(1920)
水力発電	森 忠蔵 (1883-1952)														・通信省から日本発送電へ移籍し、三浦ダムの初代所長 ・『土木学会誌』で欧米の水力技術を紹介	三浦(1942)
水力発電	菊池 英彦 (1884-1973)														・通信省を経て、球磨川電気、日本発送電などで水力開発 ・『発電水力学』(アリス)を著す	
水力発電	石井 頌一郎 (1885-1972)														・堤体コンクリートの内部温度に関する初の研究 ・施工機械の輸入等欧米ダム技術の導入	志津川(1924) 小牧(1930)
水力発電	石川 栄次郎 (1886-1959)														・機械化施工の推進 ・大同電力、日本発送電などで中部地方のダム工事に従事	大井(1924) 三浦(1942)
水力発電	山本 格 (1889-1974)														・通信省から神戸市水道へ移籍し、千菊ダムを担当 ・九州送電で九州各地の水力開発に従事	千菊(1919) 塚原(1938)
水力発電	萩原 俊一 (1890-1978)														・内務省、東北振興電力などで水力開発を指導 ・『発電水力学』(常盤書房)を著す	
水力発電	久保田 豊 (1890-1986)														・内務省退官後、朝鮮水電等を設立し、朝鮮の水力開発に従事	赴戦江第一(1930) 水豊(1943)
水力発電	佐藤 時彦 (1893-1985)														・朝鮮水電でダム建設の現場担当	水豊(1943)
水力発電	高桑 綱一郎 (1894-1991)														・中部地方の発電用ダム工事に従事	笠置(1936)
水力発電	山口 直樹 (1895-1973)														・物部の「耐震扶壁堰堤」以前にパットレスダムを設計・建設	高野山(1924)
水力発電	水田 年 (1897-1981)														・内務省土木試験所で物部長穂の助手として、パットレスダムの耐震設計の研究 ・東北振興電力や日本発送電などで水力開発に従事	
水力発電	空閑 徳平 (1897-1983)														・昭和電力、大同電力などを経て、満洲のダム建設に従事 ・戦前を代表する数々のダム建設現場を指揮 ・欧米を視察し最新技術の導入	王泊(1935) 塚原(1938) 豊満(1942)
水力発電	味登 稔 (1897-1992)														・広島電気入社以後、中国地方の水力開発に従事	王泊(1935) 立岩(1939)
水力発電	野口 誠 (1901-1939)														・東京電灯から通信省技師、電気庁技師 ・『発電水力概要』(コロナ社)を著す	
水力発電	伊藤 令二 (1902-1990)														・内務省技師、富山県に出向し有峰ダムの主任 ・『堰堤工学』(アリス)を著す	有峰(1959)
水力発電	岩本 常次 (1903-1993)														・恩師物部の「耐震扶壁堰堤」を採用した丸沼ダム建設に従事	丸沼(1931)
水力発電	三野 熊雄 (?-1938)														・東信電気でダム式発電を手がける	鹿瀬(1928) 豊実(1929)
水力発電	新井 止郎 (1907-1970)														・土佐吉野川水力電気をはじめ、四国地方の水力開発に従事	高敷(1930) 大橋(1939)
水力発電	市浦 繁 (1912-1989)														・大同電力で兼山ダムなどに従事した後、通信省の行政官	兼山(1943)
水力発電	高橋 清蔵 (?-?)														・東京電灯、古河鉱業、東北振興電力などで水力開発に従事	蓬萊(1938) 信夫(1939)
水力発電	浅見 東三 (?-1973)														・宇治川電気、上毛電気など各地で水力開発に従事	丸沼(1931)
水力発電	松田 文次 (?-?)														・富山県営電気でパットレスダム建設に従事	真川(1929)
水力発電	高橋 三郎 (?-1973)														・鉄道省から通信省に移り水行政の強化 ・『発電水力』(岩波書店)を著す	
水力発電	土屋 祥三 (?-?)														・日本海電気でパットレスダム建設に従事	真立(1930)
水力発電	有坂 誠喜 (?-1963)														・大同電力、鴨緑江水力電気などで水力開発に従事	笠置(1936) 水豊(1943)
水力発電	新井 義輔 (?-?)														・大同電力を経て通信省の技師 ・重力ダムの内部応力に関する研究	
水力発電	諸川 雄二郎 (?-?)														・富士電力で寸又川流域の水力開発 ・基礎地盤に関する研究で国際ダム会議に論文提出	千頭(1935) 大間(1938)
水力発電	高畑 政信 (?-?)														・宇治川電気をを経て、通信省、軍需省水力課の技師 ・『堰堤』(常盤書房)を著す	
農業土木	牧 隆泰 (1887-?)														・農林省技師、台北帝国大学教授 ・パットレスダムをはじめ、各地のダムを農業土木界に紹介	
農業土木	安部 義正 (1901-?)														・農林省技師で犬上ダムの建設に従事	犬上(1946)
農業土木	木村 久満 (?-?)														・農林省技師で、パットレスダム、マルチプルアーチダムを農業土木界に紹介	
農業土木	杉浦 翠 (?-?)														・農林省技師で豊稔池ダム建設に従事	豊稔池(1930)
農業土木	野呂 勇之助 (?-?)														・兵庫県技師で上田池ダム、山田池ダム建設に従事	上田池(1932) 山田池(1933)
砂防	諸戸 北郎 (?-?)														・砂防工学を体系づけ、『理水と砂防工学』(三浦書店)を著す ・東京帝国大学教授を経て、内務省、農商務省技師	
砂防	蒲 亨 (?-?)														・内務省技師で各地の砂防ダム建設に従事し、業界誌に多くの工事報告を行う ・『砂防工学』(工業図書)を著す	芦安(1925) 本宮(1937) 白岩(1939)
砂防	鈴木 恭介 (?-?)														・砂防ダムの断面に関する理論 ・『實用砂防工学』(丸善)を著す	
その他	物部 長穂 (1888-1941)														・重力式ダム、パットレスダムの耐震設計論を確立 ・内務省土木研究所所長、東京帝国大学教授を兼任	恩原(1928) 小牧(1930)
その他	吉田 徳次郎 (1888-1960)														・水セメント比説を説き、コンクリートの品質向上を図る ・九州帝国大学教授、塚原ダム顧問	塚原(1938)
その他	坂田 時和 (?-?)														・工学研究社の社長兼編集者で、ダム技術の紹介とともに誌上での討論	
その他	真鍋 武雄 (?-?)														・Wa-Ce-Creterの開発(ダム分野では泰泉ダムで初使用)	

※ 生没年が不詳の場合は、関わったダム、論文や著書などから判明した活躍時期を実線(—)で示している。

※ 「代表的なダム」は、戦前のコンクリートダム(戦前着工で戦後完成のダム、台湾・朝鮮・満洲など外地・準外地のダムを含む)で、括弧内は完成年を示す。

誌上で行った。アメリカの大学を卒業した鶴田勝三は、現地の水力開発に詳しく、『土木學會誌』や自らが社長を務める『土木建築工事畫報』(1925年創刊)を通じて、アメリカの技術をわが国に多数紹介している。

3. 重力ダム

ここで、3～5章の構成について触れておく。近代に造られたコンクリートダムの形式を重力ダム、アーチダム(マルチプルアーチダムを含む)、バットレスダムに分類し、それぞれ3、4、5章で述べている。各章の(1)概説では、a)設計、施工に関する技術、b)分野(上水道、水力発電、農業土木、砂防)、c)時代の3つの視点からそれぞれの形式について特徴をまとめている。そして、(2)以降は、技術者の言説に基づいて、各形式の特徴が最も現れている視点からその変遷を述べている。

(1) 概説

a) 技術的な特徴

重力ダムは登場以来、最も信頼された形式としてわが国のコンクリートダムの大半を占めてきたが、設計上の特徴として、①戦前には堤軸形状が曲線になったダムが造られたこと(表-2参照)、②世界で初めて地震力をダムの設計に考慮したことが挙げられる。

ハイダム化、セメントの品質改良、施工の効率化等によって、堤体構造は当初の石張りの粗石コンクリートダムから玉石コンクリートダム、そして純粋なコンクリートダムへと移行して行った。こうしたダムの大型化と堤体構造の変化に伴って、亀裂防止のために収縮継目が導入された他、骨材や配合方法などの材料面における発展、さらに、運搬、打設、締固めなどの施工機械にも大きな変化が見られた。

b) 分野による特徴

コンクリートダムが導入された当初は上水道分野が先行していたが、次第に大型のダムが要求され、数多くのダムを建設するようになった水力発電分野が、その発達をリードしていった。しかしながら、重力ダムは上水道、水力発電、農業土木、砂防いずれの分野でも採用されており(表-2参照)、コンクリートダムとして最も一般的な形式であり、安全性や施工性など重力ダムに対する分野間の認識の差はほとんどなかったものと思われる。

c) 時代による特徴

重力ダムは他のアーチダム、バットレスダムとは異なり、わが国に導入されて以来、戦前戦後を通じて常に採用されてきた形式である。ただし、上述した分野による特徴とも関連するが、上水道分野(明治期)、次に水力発電分野(大正期)、砂防(同)、農業土木(昭和期)の順で導入されてきた。

以上、a)～c)より、近代日本における重力ダムの特徴が最もよく現れているa)の技術面、中でも堤軸形状(2)、地震力(3)、収縮継目(4)、材料(5)、施工機械(6)についてその変遷を述べることにする。

なお、重力ダムに関して本文中(表-1を含む)で登場した主な技術者の相関関係を図-1に示した。

(2) 堤軸形状

堤軸に曲線形を導入した重力ダムは、戦前のわが国のダム技術史上における特徴の一つになっている。

では、なぜ曲線形の重力ダムが築造されたのであろうか。わが国がダム技術の多くを参考にしてきたアメリカでは、アーチ作用に期待して安全性を高めるために曲線形を採用していた。これに対して、ドイツでは、「温度応力を考慮して堤

図-1 重力ダムに関わる技術者の相関関係 (著者作成)

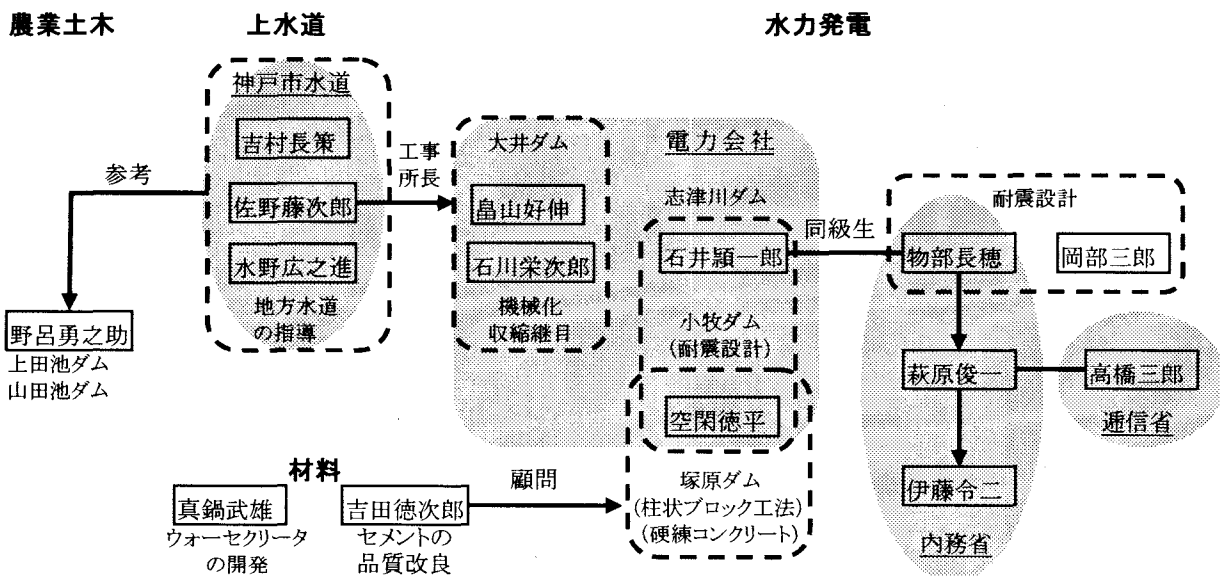


表-2 重力ダム

(著者作成)

竣工年	名称	当初の所管	所在地	諸元	型式	目的
1900(明治33)	布引(五本松)	神戸市	兵庫	堤高33.33m,堤長110.30m	—	水道
1900(明治33)	桂	海軍	京都	堤高12.4m,堤長43.6m	—	水道
1903(明治36)	本河内低部	長崎市	長崎	堤高22.71m,堤長115.15m	—	水道
1905(明治38)	烏原(立ヶ原)	神戸市	兵庫	堤高30.61m,堤長122.42m	○	水道
1910(明治43)	大湊第一	海軍	青森	堤高7.9m,堤長26.5m	○	水道
1913(大正2)	黒部	鬼怒川水力電気	栃木	堤高33.9m,堤長150.00m	○	発電
1915(大正4)	飯豊川第一	新潟水電	新潟	堤高36.85m,堤長49.60m	○	発電
1916(大正5)	本庄	海軍	広島	堤高25.4m,堤長97.0m	○	水道
1916(大正5)	大又沢	不明(現・東京電力)	神奈川	堤高18.7m,堤長90.40m	○	発電
1917(大正6)	乙原	別府町	大分	堤高16.36m,堤長60.6m	○	水道
1917(大正6)	高原	大和電気	奈良	堤高20m,堤長70m	○	発電
1918(大正7)	野花南	富士製紙	北海道	堤高21m,堤長264m	—	発電
1918(大正7)	大鰐	大正水利組合	(朝鮮)	堤高21.21m,堤長257m	○	灌漑
1918(大正7)	芦安*	内務省	山梨	堤高11.5m,堤長41.12m	—	砂防
1919(大正8)	千苺	神戸市	兵庫	堤高36.36m,堤長106.67m	—	水道
1923(大正12)	桂ヶ谷	小郡町	山口	堤高13.4m,堤長23.6m	○	水道
1924(大正13)	大井	大同電力	岐阜	堤高53.4m,堤長276m	—	発電
1924(大正13)	中岩	鬼怒川水力電気	栃木	堤高26.26m,堤長107.87m	○	発電
1924(大正13)	帝釈川	両備水電	広島	堤高62.1m,堤長35m	○	発電
1924(大正13)	志津川(大峯)	宇治川電気	京都	堤高27.58m,堤長91.29m	○	発電
1925(大正14)	久山田	尾道市	広島	堤高21.5m,堤長75m	○	水道
1928(昭和3)	鹿瀬	東信電気	新潟	堤高32.60m,堤長304.24m	—	発電
1928(昭和3)	羽根越	小郡町	山口	堤高18.2m,堤長44m	○	水道
1928(昭和3)	セバ谷	京浜電力	長野	堤高22.7m,堤長42m	○	発電
1929(昭和4)	七番川	四国中央電力	愛媛	堤高25m,堤長72m	○	発電
1930(昭和5)	赴戦江第一	朝鮮水電	(朝鮮)	堤高72.80m,堤長402m	—	発電
1930(昭和5)	小牧	庄川水力電気	富山	堤高79.248m,堤長300.84m	○	発電
1930(昭和5)	江畑	山口県	山口	堤高14.4m,堤長68.6m	—	灌漑
1930(昭和5)	高藪	土佐吉野川水力電気	高知	堤高11.6m,堤長53.4m	○	発電
1930(昭和5)	芋洗谷	九州配電	宮崎	堤高25.5m,堤長69.7m	○	発電
1932(昭和7)	上田池	兵庫県	兵庫	堤高41.21m,堤長131.06m	—	灌漑
1933(昭和8)	釜ツ沢	内務省	栃木	堤高19.7m,堤長64.0m	—	砂防
1934(昭和9)	武界	台湾電力	(台湾)	堤高53m,堤長?m	—	発電
1934(昭和9)	猪鼻	洲本市	兵庫	堤高29.55m,堤長89.21m	○	水道
1935(昭和10)	王泊	広島電気	広島	堤高55m,堤長128m	—	発電
1935(昭和10)	千頭	第二富士電力	静岡	堤高64.0m,堤長178m	—	発電
1936(昭和11)	笠置	大同電力	岐阜	堤高40.8m,堤長154.9m	—	発電
1936(昭和11)	泰阜	矢作水力	長野	堤高50m,堤長143m	—	発電
1937(昭和12)	本宮	内務省	富山	堤高22.00m,堤長107.40m	—	砂防
1938(昭和13)	大谷	山口県	山口	堤高27.3m,堤長59.1m	—	灌漑
1938(昭和13)	塚原	九州送電	宮崎	堤高87.0m,堤長215m	—	発電
1939(昭和14)	大橋	四国中央電力	高知	堤高73.5m,堤長187m	—	発電
1939(昭和14)	白岩	内務省	富山	堤高63.00m,堤長76.00m	—	砂防
1940(昭和15)	菰田	佐世保市	長崎	堤高40m,堤長387.7m	○	水道
1942(昭和17)	三浦	日本発送電	長野	堤高83.2m,堤長290m	—	発電
1942(昭和17)	豊満	満州国	(満州)	堤高91.0m,堤長1100.0m	—	発電
1943(昭和18)	水豊	鴨緑江水力発電	(朝鮮)	堤高107m,堤長900m	—	発電
1943(昭和18)	三永	呉市	広島	堤高14.2m,堤長100m	○	水道

※ 直線形(「型式」欄で —)は、戦前までに竣工したダムで、代表的なものを示した。

※ 曲線形(「型式」欄で ○)は、戦前までに竣工したダムで、現時点で判明しているものすべてを示した。

※ 影付きの行のダムは現存しない。

※ 灌漑用ダムで、県直営の事業で行われたものは、「当初の所管」に県名を示した。

※ 外地(朝鮮、台湾、南樺太)、準外地(満州)のダムを含み、「所在地」欄に ()で示した。

* : 嵩上げ(1925年のアーチダム増築)前の竣工当初の部分を示す。

軸直線の場合の其れに依る龜裂の發生を調べて堰堤軸を彎曲させたのである。但し彼はアーチ作用を無視して⁹⁾と述べられているように、アーチ作用には期待していないが、龜裂を防ぐために曲線形を採用していた。

a) 堤軸に曲線形を導入した理由

わが国では鳥原ダム(1905年)で初めて曲線形の重力ダムが登場した。佐野藤次郎は、曲線形にした理由を「横拱ノ働キヲ計算ニ加ヘタルニ非ス只温度ノ變化ノ抵抗シ易カラシメンガ爲メナリ」¹⁰⁾と、アーチ計算は行っていないが、温度の変化に対応するためと述べている。しかし、この文面からでは、アーチ作用に期待して安全性を高めようとしたのかどうかまで分からない。一方、小牧ダム(1930年)について、石井穎一郎は後年の座談会(1954年11月)の席で、「前からダムというものはストレートがいいという説もあつた。しかし高いダムを作るにはやはりグラビテーセクションで少しでもカーブをつけるのが一番安全だという当時の思想に基いてアロロックが出来、そのエンジニアが来て、そのタイプを踏襲した訳です」¹¹⁾と、アメリカのアローロックダム(Arrowrock, 1916年)を手本にしていることを述べて、「地面を掘つたら丁度右岸の川底に大きな断層が現れたが、断層をよけるのに丁度あのカーブがよかつた」¹¹⁾というエピソードも語っている。

b) 曲線形の有利論

アメリカ事情を紹介した日本の雑誌『工學研究』(1923年)には、曲線形の採用理由を「第一、余分の安全を期する爲め…(省略)…第二、曲線式として立積を減じ得る」¹²⁾のように紹介されている。「第一」については、「曲線式では伸縮の自由が利く、そして垂直龜裂の發生並に擴大を妨げる、又一體に、殊に滑出に對して安全の度を増す」¹²⁾と述べられている。すなわち、曲線形にすることによって、①引張応力による龜裂の發生を減らす、②ダムの安定性を増加させることができると指摘している。ただ、実際にはアーチ計算を行っているわけではなく、どの程度安定性が増加するのか定かではなかった。なお、「第二」の立積に関して詳しい解説はなされていない。

わが国においても同様で、「堰の應力計算設計等總て普通の重力堰と同様になし拱形をなす爲めの拱の働きを考へざるものにして、只單に餘分強度を與へ其安定を増加せしむるため」¹³⁾と、曲線形の導入は安定度を増すためであると明言している。アーチ計算は行っていない点も同じであった。この点について坂田時和は、皮肉をこめて「米國では事情が許せば大概は曲線式を用うる。それは殆ど一の感情乃至信仰ともいふべきである」¹²⁾と発言している。

c) 曲線形の不利論

一方、アメリカにおける直線形の主唱者の意見として、「曲線式には過大な應力を發生する危険がある。又温度變化に對する變形が直線式より大きい。無論立積は増加するがそれよりも混凝土打ちが困難な爲めに工費は著しく嵩む」¹²⁾と、応力と温度變化による變形の影響と施工による工費の点で曲線形が不利であることを紹介している(堤の立積に関する効果は、前記 b)の傍点部の記述と相矛盾する)。そして、先の坂田時和自身も、「曲線式は仕事場の設備殊に索道の使用を困難にすることを忘れてはならぬ」¹²⁾と施工性の面から曲線形の不利な点を指摘している。

d) 曲線形の有利性の消失

この議論について、物部長穂は、「何れにしても數十年來論議盡きざる點より見て兩者の安定上の優劣は、若し存在するとしても極めて輕度のものたるは明かにして、我國の現時の方針を見るも其の何れたるを問はず、合理的に設計施工さるれば可なりとして居る」¹⁴⁾と、特にその差は問題ではなく、設計、施工が合理的になされていれば良いとしている。そして、重力ダムの耐震設計理論を発表した論文(1925年)で、「我が國に於て大堰堤を築造する場合は直、弧何れを問はず適當なる伸縮目地を設くるを可とす」¹⁵⁾と述べている。

この収縮継目は、わが国では大正末期から導入されたが(後述(4)参照)、重力ダムではグラウチングが施されていないため、アーチ作用が期待できなくなり、曲線形であることの有利さが失われてしまう。さらに、戦後間もなく出版された『堰堤工學』(1947年)では、「堤體内部應力の理論より考察すれば、應壓力の最も大なる下流部に於ては同一高さの直線式の場合よりも應壓力度大となるを以て、曲線式は不利なりとの説をなす者ある」¹⁶⁾と、曲線形を否定する技術者がいることを述べている。

戦前からコンクリートの内部応力に関する研究をしていた新井義輔は、「断面は直線重力堰堤と全く同様にして定めるのであるが、應力はその曲率の影響により直線重力堰堤の場合と異つてくる。一般に曲率の影響を無視することは危険側の誤差となる」¹⁷⁾と述べているとおり、曲線形にすると断面の曲げ抵抗が減る分、直線形よりも応力状態が危険になることが次第に指摘されるようになっていた。

現時点で判明している限り、1943(昭和18)年の三永ダム以降、わが国で堤軸を曲線形状にした重力ダムは築造されていない。

(3) 地震力

ダムの設計に地震力を考慮するようになったのは、日本が世界で初めてであろう。アメリカでは、1906年に起きたカリフ

オルニア地震で、世界初のコンクリートダムサン・マテオ・ダム(San Mateo(Lower Crystal Spring),1889年)が、震源に近かったにもかかわらず被害を受けなかった¹⁸⁾。被害がなければ、地震の影響を考慮しようとは思わなかったであろう。

一方、日本では関東大震災(1923年)以前から、構造物に対する耐震性の研究は行われていたが、関東大震災によってその機運が一気に高まり、翌年には、物部長穂や岡部三郎が、土圧に対する耐震理論を提案している。ダムに関しても触れたのは、おそらく岡部が『土木學會誌』に発表した「General Theory on Earth Pressure Seismic Stability of Retaining Wall and Dam」¹⁹⁾が初めてで、さらにその翌年(1925年)に物部が、「貯水用重力堰堤の特性並に其合理的設計方法」²⁰⁾を發表し、地震力をダムの設計に考慮するよう提案している。

a) 物部長穂の耐震設計法

前述の論文で物部は、各国の重力ダムの設計法を概説し、それらの国では地震力を考慮していないことを示して、「本邦獨有の地震力に関する研究を記し…(省略)…此等の諸作用を考慮して重力堰堤を設計するの新方法を發表せんとする」²¹⁾と述べている。彼の提案した耐震設計法とは、①「設計震度」の導入、②「基本断面形」による断面設計の2点であった。

前者は、動的な地震動の外力を水平荷重として取扱い、地域、地盤状況などに基づいて「設計震度」を定め、地震によってダムに作用する水平力を算出しようとするものであった。その「設計震度」の決定について物部は、「考慮すべき地震の強さ堰堤の位置と大地震帯との関係、池水の多寡、下流沿岸の状況等に應じて之を決定すべきものにして…(省略)…貯水池の職分、下流の状況等に應じて満水時の強さの50%乃至100%の間に於て適當に撰定すべきものと認むるものなり」²²⁾と述べている。

後者については、従来から行われていた断面設計法は試算の方法によるもので、それだけでも計算に手間がかかっていたが、さらに地震力を考慮することによって、「合理的断面の決定は非常に困難なるものにして多くの場合全然不可能」²³⁾になると、物部は述べて、「如何なる設計方法を採用するも一擧にして能く基本断面形を決定し、多少の數計算に依り、試算を用ふる事なくして頂幅の影響に因る断面の變改を定め、應力度の條件をも満足するが如き新設計法」²³⁾を提案している。

b) 耐震設計法の採用

物部の耐震設計法は、1925(大正14)年着工の小牧ダム(1930年)で初めて採用された。小牧ダムの工事責任者であった石井頼一郎は後年の座談会で、「当時震災の後で試験所長であった物部君が地震に対する計算を始めていたの

で、その計算を入れてアロロックの断面を少し増したのです」¹¹⁾と語っていた。物部は、小牧ダムの「設計震度」に関して、「満水の場合震度0.15、空虚の場合震度0.075の地震に對して充分なる耐震力を有せしむるを以つて最も適當なりと信ずるものなり」²⁴⁾と、「庄川堰堤耐震力調査書」の中で報告している。

その後、通信省の高橋三郎が、「物部博士の土木學會誌に發表された高堰堤…(省略)…の計算は地震多き我國に適する様創案されたもので我國の殆ど總べての堰堤が其の方針に依つて設計されて居る状態である」²⁵⁾と述べているように、わが国のほとんどのダムに物部の耐震設計理論が採用されるようになった。

c) 動水圧理論の提唱

物部の理論以来、地震力の影響を静水圧の増加と見なし設計に考慮していたわが国に對して、これまで特に地震力を考慮していなかったアメリカでは、地震によって誘発する貯水の波動に関する動水圧理論が、1933年にウェスターガード(Harald Malcolm Westergaard, 189x?-1950)によって發表された。

なお、同年の3月、三陸地震の津波が契機となって、わが国においても、波動に関する研究が始められ²⁶⁾、翌1934(昭和9)年、物部が「地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の断面決定法」²⁷⁾を發表した。その論文では、「最近各國に於ける理論竝に實驗的研究に依て、地盤及び堤體に作用する上流向加速度に依り、堰堤上流面に於て静水壓以外稍著しき動水壓(Dynamic water pressure)の作用する事が確實となり、深くして廣き大貯水池に於ては、上部を除き波動の壓力に匹敵し又は一層大なる動水壓が堰堤上流面に作用し、之に因る堰堤断面の増大、即ち下流面所要傾斜の増大は意想以上に大なる」²⁸⁾ために、動水圧を荷重の一つとして考慮する必要性が生じてきたことが述べられている。そして、物部は、「断面設計も亦之に應じて合理的ならしむる必要がある」²⁹⁾として、基本断面形の修正を行っている。

d) 動水圧を設計荷重として考慮

わが国で初めて動水圧を設計荷重として考慮したのは、1934(昭和9)年着工の笠置ダム(1936年)であった。その後の普及に関して、新井義輔は、「最近米國 Westergaard 教授、我が國に於ては物部博士等の研究に依り地震に因る動水壓が著しく堰堤の安定に關係することが明らかになつた結果、將來は重要な堰堤はこの動水壓を考慮して設計せらるものと考へられる」³⁰⁾と予測している。現在でも、ほぼ当時の算定式をもとに動水圧が設計荷重として考慮されている。

(4) 収縮継目

当初の表面が石張りの粗石コンクリートダムに対して、1924(大正 13 年)以降に登場した型枠にコンクリートを流し込むタイプでは、①外気温の変化による堤体の伸縮、②セメントの水和熱による温度の上昇とコンクリートの収縮が原因で亀裂が発生する。そこで、堤体をブロックに区切り、亀裂が発生しないように設けられたのが収縮継目(Contraction joint)である。

a) 収縮継目の導入

わが国で収縮継目が導入されるようになったのは、1924(大正 13)年の志津川ダムと大井ダムからである。大井ダムの 2 代目建設所長であった畠山好伸は、翌年に執筆した論文で、「堰堤の其の片側は水中にあるが他の側は外気に曝されて居る大なる物体なるが故に外気の温度の變化に伴ひ膨脹及収縮をなすのである従て必ず堤體に龜裂を生ずるに至るのである」³¹⁾と、冒頭の①については述べているが、②については触れていない。しかし、同年(1925 年)には物部長穂が重力ダムの耐震設計法を発表した論文(前述(2)参照)で、「硬化作用に依りて發生せる熱の放散困難となり、(打込當時の温度に比し數日後 20°C 以上上昇す)大堰堤に於ては數年にして漸く常温に復す、此緩慢なる冷却収縮に依りて長さ方向に強大なる張力を作用せしむるを以て横斷堅龜裂を生じ易し」¹⁵⁾と記していることから、亀裂の原因として当初から①、②ともに認識されていたようである。なお、両者の程度については、「混凝土が温度の變化に依り伸縮する差は其硬化に依る収縮よりは遙かに小き」³²⁾いことが知られていた。

先の論文で物部は、「兩端振動位相の差に依りて堅割を生ずる懼れ大なるを以て我が國に於て大堰堤を築造する場合は直、弧何れを問はず適當なる伸縮目地を設くるを可とす」¹⁵⁾と耐震性の面からも収縮継目の必要性を説いている。

b) 収縮継目の間隔

では、収縮継目をどの程度の間隔で設ければ、亀裂の発生を防ぐことができるのであろうか。「それ以前に築造された伸縮接合面の無い堰堤に就き、割れ目の出来工合を見て適當なる區間に伸縮接合を設け、尚其の次に築造される堰堤の場合には前者を適當に補正して伸縮接合が設けられ」³³⁾と述べられているように経験則によって間隔が決定されていた。当初、欧米では 25~30m の間隔であったが、多くのダムで亀裂が発生したため、その後は 15m 程度が標準となつていった³⁴⁾。

わが国で最初に導入された大井ダムでは、「70 尺(21.2m)乃至 90 尺(27.3m)おきに此を作つのであるが、成績は極めて良好で…(省略)…別の龜裂の出来た跡もないのであ

る」³¹⁾と報告されている。大井ダムで亀裂は発生しなかったが、その後、わが国でも継目の間隔は徐々に狭くなっていった。1928(昭和 3)年には、「十五メートル以上三十メートル以下トス」³⁵⁾と言われていたが、戦直後のテキストには、「從來多くの經驗上より大體 15m~20m が適當のやうである」³⁶⁾と記され、1950(昭和 25)年には「15m を標準とする」³⁷⁾と述べられている。

c) 柱状ブロック工法の導入

堤軸に直角方向の亀裂に対しては、これまでの収縮継目(横継目)によって対処できたが、「高堰堤になるほど断面の長さ増大し、龜裂發生の傾向著しく、其のため堤軸に平行なる接手を設くる必要」³⁶⁾が生じてきたため、縦横に継目のある柱状ブロック工法が開発された。この工法はフーバー・ダム(Hoover, 1936 年)の建設の際に開発されたもので、現地を視察した空閑徳平によって、わが国では塚原ダム(1938 年)に初めて採用された。塚原ダムでは 17m 間隔で継目が設けられたが、戦後間もなく、彼は一日のコンクリート打設量も考慮して継目の間隔を決めるよう述べている³⁸⁾。「最近國や縣で建設されてゐるダムは豫算の關係や勞働條其の他簡單ケーブルクレーンの採用等のため一日のコンクリート打設量が可なり制限される。一つのプロックを數日に亘つて施工することはいろいろの不都合があるから、収縮継手の間隔は一日のコンクリート打設量をも考慮して決定したい」

(5) 堤体材料

コンクリートの種類によるダム分類について、当時の記録には「粗石混凝土」、「玉石混凝土」などと表現されているが、明確な定義があるわけではなく、著者によって捉え方は様々であった。そこで本論文では、表面が石張りものを「粗石コンクリートダム」、型枠中に大きな骨材と軟練りコンクリートを流し込むものを「玉石コンクリート」、硬練りコンクリートで玉石が投入されていないものを単に「コンクリートダム」と定義する。

a) 骨材

当初の粗石コンクリートダムは、型枠を兼ねた上下流面の石積の間に大きな石を投入し、その間隙にコンクリートを流し込むもので、ダムにコンクリートを使用するようになった当時は、まだコンクリートだけで大きなダムを築造することに安全性の保証がもてなかつた。

次の玉石コンクリートダムでは、セメントの使用量を減らし、工費を節減するために大きな粗骨材が混入されていたが、施工性の面から大井ダム(1924 年)を最後に人の大きさ程もある骨材の混入は実施されなくなった。「ダムで大きな石を入れたのは大井が最後でしたね…(省略)…あれはやかましくして、タワシをかけてすつかり洗わたのです…(省

略)…あれを吊り落している間、人夫が下で手をあげて待っているんで、打込みに暇がかかる」³⁹⁾

しかし、「2～3貫匁(7.5～11.3kg)の取扱手頃」⁴⁰⁾な玉石は、「重量の増加と工費節減の目的」⁴⁰⁾で小牧ダム(1930年)でも混入していたことを石井頼一郎は述べている。

硬練りコンクリートを採用した塚原ダム(1938年)では、玉石の混入が廃止された。玉石混入の欠点を塚原ダムの工事責任者であった空閑徳平は、「設備、労力を考えると cement の節約量よりもむしろ高價となり作業能率を阻害する。更に重要なことは粗石の下部には concrete 内の餘剰水が附着してそこに latance を生ぜしめる」⁴¹⁾と、施工性と経済性の悪さに加え、レイタンスが発生することを講演会で述べている。

b) 配合

セメント、骨材の配合は、1931(昭和6)年に土木学会の「鐵筋コンクリート標準示方書」によって、「セメントは重量に依りて計量すべし。骨材は細粗別々に重量又は容積に依りて計量すべし」⁴²⁾と規定されたことによって、容積配合から重量配合へ移行した。その背景には、「mixer には定量的水槽附属すと雖もセメントの計量を直接容積に據りたるを以て多少の不同を免れざる」⁴³⁾と、石井が小牧ダムの工事報告書で述べているように、容積計量によるセメント量のばらつきがあった。

そして、1930(昭和5)年に真鍋武雄が開発したウォーセクリータ(Wa-Ce-Creter)が初めて泰阜ダム(1936年)で使用され、ダム分野でも重量配合が行われるようになる。このウォーセクリータは水とセメントを重量計量し、セメントペースト状に練混ぜてミキサー内で骨材と混合するもので、これによって、アブラムス(D.A.Abrams)の「水セメント比説(コンクリートの強度を変えずにワーカビリティを自由に変える)」(1918年)と吉田徳次郎の学説(セメントペーストを作り、これに砂を加えたコンクリートは最高強度を有する)(1914年)が実用化され、均質で所要強度をもったコンクリートが製造できるようになった。しかし、骨材が多量の水分を含有する場合や硬練りとする場合に、これに応じたセメントペーストを作ることが困難で、「速やかに適切なる改良を加へられん事を希望する」⁴⁴⁾とされていた。

欧米を視察した空閑は、「アメリカ(北米合衆國)に於て、最も感心せしめらるるものは、其の材料混合量を砂利、砂、セメント共に夫々秤量、混和比の精確を期することなり」⁴⁵⁾、「獨逸に於ては…(省略)…混和水量の加減も充分注意し、我國に於て往々見るが如く混凝土混和後更に又注水するが如き不法を見ず」⁴⁵⁾とわが国と比較して諸外国の正確な配合ぶりを報告している(1933年)。

また、わが国では当初は軟練りであったコンクリートは、塚

原ダム(1938年)で初めて硬練りとなるが、その理由については、先の空閑は「コンクリートの凝結熱を低減する爲、又セメントの節約のため」⁴⁶⁾と述べている。

(6) 施工機械

施工の機械化は、①人件費とダムの大きさ、および、②材料との関係によるところが大きい。

大井ダム(1924年)では、当初、アメリカから輸入された機械がほとんど使われず、錆付いていた。そこには、日本人技術者が機械に不慣れなため使おうとしなかったこともあるが、アメリカよりも“人件費が安い”という日本の状況があった。しかし、石川栄次郎の説得と工夫により、大井ダムのような大型のダムでは、機械による効率の良さが認められ、徐々に機械化が進められていった⁴⁷⁾。

材料との関係については、a) 運搬・打設、b) 締固めの点から以下にまとめた。

a) 運搬・打設

軟練りコンクリートから硬練りコンクリートに移行したことによって(1938年以降)、運搬・打設用の機械もそれに適したものにへと転換していった。

大井ダム(1924年)では、コンクリートをトロッコで運搬し、シュートで打設していたし、小牧ダム(1930年)では、コンクリートタワーによるシュート方式を採用していた。このシュート式は、石井頼一郎が、「シュート打込は当時としては一番新しい機械だつた。然しシュートでは軟くしないとコンクリートが流れない」³⁹⁾と小牧ダムの際のことを語っているように軟練りコンクリートの打設方法であった。

その後、日本で初めてバケットに入れたコンクリートをケーブルクレーンで運搬し、打設する方法を塚原ダム(1938年)で採用した空閑徳平は、「混凝土は其の混和水量の多寡に依り、其の強度に非常なる影響を與へらるるは一般周知せらるる事實にして、混凝土施工の際シュートを使用せば此の重大影響あるに關らず水量過多となるを免れず、又シュート内流下の時混和材料の分離を來し、其の所期強度を期し難し」⁴⁸⁾と軟練りコンクリートとシュート式の欠点を指摘している。そして、「Boulder で初めて移動 cable crane を見て、我國でも高堰堤では chute 流込式の弊を充分知つてみた、め、是非之を改良すべく塚原の建設に cable crane を採用することにした」⁴⁹⁾とその経緯を講演会で述べている。使用にあたっては、「此の設備を以てコンクリート施工することは、本邦に於て最初であるため其のデータを定むるにも可なり苦心した」⁵⁰⁾ことを述べて、「未だ相當改造すべき點はあるが、之から日本でも方々で此の缺點を改造したものが續々と使はれる事であらう」⁴⁶⁾と予測している。

b) 締固め

コンクリートの軟練りから硬練りへの移行は締固めにも影響を及ぼした。軟練り時代の志津川ダム(1924年)では、「タコでつくということになり、丹念に固くつきかためた」¹¹⁾と石井が語っているように、コンクリートの締固めは蛸つきによる人力作業であった。石井は、さらに、小牧ダムでは、「サンドランマーというタンピング・マシンを買ったけれどもポンポン砂利がはねるものだから皆んな嫌って使わなかった」¹¹⁾ので、結局、「木蛸を突きつ、萬偏なく歩き廻らせた」⁵¹⁾と述べている。

一方、硬練りコンクリートの塚原ダムでは、「在来の蛸突々固法などは到底駄目である。そこで振動機を使用することにした」⁴⁶⁾と空閑が記しているように、バイブレーターを用いるようになった。彼は「堰堤に大規模に使用するのとは、初めてのため、其の使用品の型を採定するのに苦しんだ」⁴⁶⁾とも述べている。なお、石井は塚原ダムが完成した1938(昭和13)年にコンクリート関係の雑誌で、「日本に於ける堰堤用コンクリートが将来一層硬練が多く用ひられるに至る事は改めて云ふまでもない…(省略)…バイブレーターも単に模倣だけではいけない。米国の2人扱ひのバイブレーターは日本人には扱ひ悪い。日本的のものが改良製造されることを切望する」⁵²⁾と今後の改良に期待している。

4. アーチダム

(1) 概説

a) 技術的な特徴

わが国でアーチダムが本格的に採用されるようになるのは戦後になってからであったが、その理由は地震に対する危惧から設計理論の発達で戦後に持ち越されたためであった。その他に施工や工費の面にも建設を躊躇する要素が介在していた。

b) 分野による特徴

本論文では、アーチ(拱)が連続しているマルチプルアーチ(多拱)ダムもアーチダムに分類している。この分類に従えば、各分野における特徴が顕著に現れてくる。表-3からも分かるように、上水道の分野ではアーチダムが1基も築造されなかった。水力発電では、わが国第1号のアーチダムが登場したものの、その後が続かなかった。農業土木ではマルチプルアーチが好まれたが、2基の実施例しかなかった。砂防分野では単式のアーチが戦前戦後を通じて造られ続けていた。しかしながら、砂防分野でアーチダムが採用されていたことは、当時の論文や教科書の類を見る限り、他の分野ではほとんど認識されていなかったものと思われる。

c) 時代による特徴

マルチプルアーチダムを除けば、アーチダムの築造が昭和のひと桁代に一時停滞するが(表-3参照)、わが国で初めて導入された1919(大正8)年以降、数は少ないものの戦後

表-3 アーチダム

(著者作成)

竣工年	名称	所管	所在地	諸元	型式	目的
1919(大正8)	浦山	武蔵水電	埼玉	堤高13.5m,堤長21m	単	発電
1923(大正12)	沓沢	内務省	山梨	堤高22.0m,堤長24.19m	単	砂防
1925(大正14)	芦安*	内務省	山梨	堤高7.51m,堤長66.60m	単	砂防
1927(昭和2)	神戸	篠川郡神西村 他六村組合	島根	堤高1.8m,堤長94.55m	複	灌漑
1927(昭和2)	豊稔池	香川県	香川	堤高31.12m,堤長128.0m	複	灌漑
1939(昭和14)	大源太川第一	内務省	新潟	堤高18.0m,堤長40.09m	単	砂防
1939(昭和14)	宮海道	内務省?	長野	堤高15m,堤長34m	単	砂防
1940(昭和15)	尾添第一	石川県	石川	堤高16.0m,堤長20.83m	単	砂防
1941(昭和16)	土合	群馬県	群馬	堤高11.0m,堤長47.00m	単	砂防
1941(昭和16)	大井滝	(不明)	兵庫	堤高8.5m,堤長29.6m	単	砂防
1942(昭和17)	(青川)	三重県	三重	堤高10.0m,堤長38.20m	単	砂防
1943(昭和18)	釜ヶ淵上流	内務省	長野	堤高29.0m,堤長79.00m	単	砂防
1943(昭和18)	箱膳	(不明)	長野	堤高18.0m,堤長40.0m	単	砂防
1943(昭和18)	(櫛田川)	三重県	三重	堤高6.0m,堤長47.57m	単	砂防
1944(昭和19)	鷺尻川第二	石川県	石川	堤高6.0m,堤長48.17m	単	砂防

※ 戦前までに竣工したダムで、現時点で判明しているものすべてを示した。

※ 影付きの行のダムは現存しない。

※ 「名称」欄で()で示したものは、名称不明のため河川名を示した。

※ 「型式」欄で、「単」は単一(シングル)のアーチダム、「複」はマルチプルアーチダムを示す。

* : 嵩上げ後のアーチダムの部分を示す(「諸元」は嵩上げ前の重力ダムの部分は含まない)。

後まで造られている。中でも1939(昭和14)年以降は、砂防分野で集中して造られており(表-3参照)、戦後に始まるアーチダム時代の到来を予感させる。

以上、a)~c)より、戦前におけるアーチダムの特徴が最もよく現れている、b)分野による視点からアーチダムの変遷を辿ることとする。水力発電(2)、農業土木(3)、砂防(4)の順に見てゆくと、アーチダムが築造されなかった上水道分野については節を設けていない。なお、a)の設計理論に関しては、アーチダムの発展過程を論じる上で欠くことが出来ないため、水力発電(2)の中で触れている。

なお、アーチダムに関して本論文中(表-1を含む)で登場した主な技術者の相関関係を図-2に示した。

(2) 水力発電

a) わが国初のアーチダム

わが国で最初にアーチダムを採用したのは水力発電の分野であった。その設計・建設を行った鶴田勝三は、アメリカのアーチダムの視察をもとに、「我日本ノ如キせめんとノ高價ナル國ニ於テハ此容積ノ最善キ經濟的ナル拱堰堤ノ方式ノ採用ニツキテハ充分考慮スルノ餘地アルヘシト思惟ス」⁵³⁾と、わが国へのアーチダム導入について、経済性の点から所感を述べている。

技術面では、日本のような急流河川でアーチダムを採用した場合に問題となる洪水の処理について、「堤頂ノおぼ一・ふろ一ニ堪ヘ得ルヤ疑ナキ能ハサレトモ是ハだむノクレストニおぼ一ふろ一でふスニ應シテ適當ノカーウヲ設クレハ越流ハ必スだむ基礎ヨリ充分下流ニ落下スルニ至リ」⁵³⁾と解決策を打ち出している。そして、彼は日本初のアーチダムとなる浦山ダム(1919年)の建設を、次のように『土木學會誌』で報告している⁵³⁾。「武蔵水電株式会社ノ浦山川輸入ハ此型ヲ採用スルニ最好適ナルヲ以テ高サ四十五尺敷巾四尺半徑四十八尺ノ堰堤ヲ目下建築中ナリ」

b) アーチダムの設計理論

残念ながら、完成後の浦山ダムに対する鶴田本人や周囲の具体的な評価がこれまでのところ見つかっていない。しかし、後の座談会(1954年11月)の場で、鶴田の言葉ではないが、「まだアーチダム理論の完成していない時分でシリンドリカルフォーミュラという一番簡単な計算式で設計したが、それを許すかどうしようかという問題になったが肉を少し厚くしておけ」¹¹⁾と語られている。

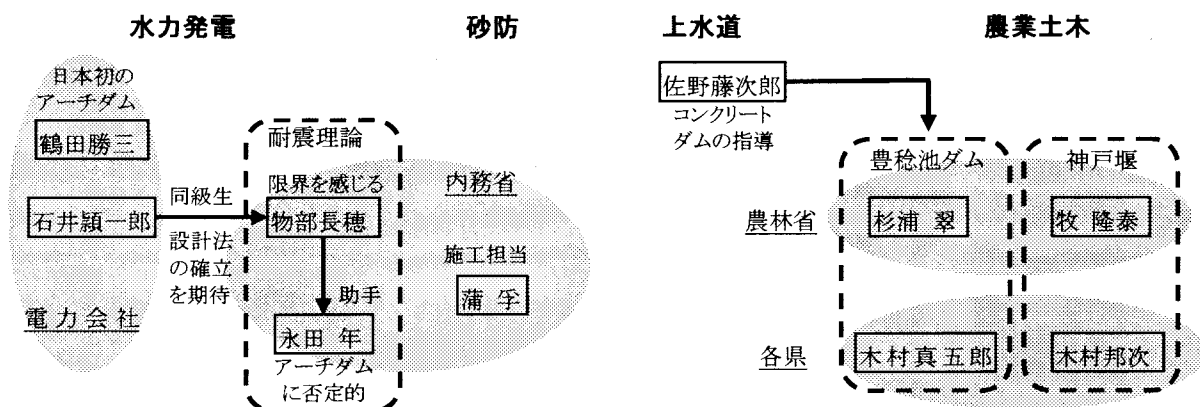
この設計理論である「円筒公式(cylindrical formula)」は、アーチ作用のみで水圧に抵抗するよう計算するもので、当時から「今日迄設計された拱作用のみに依る拱堰堤は弾性理論により拱の解法に依らなければならぬものを大部分單に圓筒公式(cylindrical formula)を使用して居たのである」⁵⁴⁾と、その不合理さが指摘されていた。

したがって欧米では、「円筒公式」の後、アーチ作用とカンティレバー作用の両方で水圧に抵抗するものとして計算する「拱頂片持梁法(Crown Cantilever Method)」(1889年)、続いて、その両者の撓みが一致するように繰り返し計算を行う「試算荷重法(Trial Load Method)」(1921年)が開発されている。

しかし、わが国ではこれらの設計理論を用いて積極的にアーチダムを建設しようとはしていなかった。それは、この設計理論が、「非常に複雑なる力學上の假定条件を入れた多くの公式を用ひる非常に面倒なもの」⁵⁴⁾であったこと、さらに、地震の影響が大きいわが国では安全性に対する不安もあった。このような状況に、石井頴一郎は、「拱状式にすれば工費は可成り減じ得るが唯心配なのは地震の影響である此點新進の技術者に解決を望むこと切なるものがある」⁵⁵⁾と、アーチダムの利点を主張し、わが国に適した理論の開発を期待している。

一方、重力ダムとバットレスダムの耐震設計論(3.(3)と5.(2)参照)を確立した物部長穂は、わが国ではその理論が未発達で、地震の影響を考慮した場合、非常に危険であること

図-2 アーチダムに関わる技術者の相関関係 (著者作成)



を以下のように指摘している(1930年)⁵⁶⁾。「拱堰堤は其の理論未だ明確ならざるのみならず、空虚時上流向きの地震力を受くる時は拱環に軸張力の作用を免れず極めて危険なるを以て…(省略)…我國に於ては未だその發達を見ざる」

そして、欧米で新たに開発された「拱頂片持梁法」等について、物部は、「應力計算の方針としては大體最新の合理的方法に據り堤體各點に於て拱と桁との分擔荷重を定むる事となり居るも、今日の方法に於ては充分精確に之を決定するは到底不可能なりと信ぜらるゝ」⁵⁶⁾と述べ、その正確さに限界を感じている。彼は、アーチダムの耐震設計法の開発を期待されながらも、1941(昭和16)年に亡くなってしまふ。

c) 水力発電分野でアーチダムが広まらなかった理由

重力ダムと比較して資材が少なく済むアーチダムについて、「高地に澤山の材料を運び上げる勞は一通りではない」⁵⁷⁾と、輸送面における有利性が主張される一方で、b)で述べたように、設計理論が未発達であったことから、①安全面、さらに、②施工面からアーチダムを否定する意見が多かった。

①の安全面については、永田年がわが国に適したダムの設計法を連載した『水利と土木』誌(1928年)で、「未だ理論の完成には至らない…(省略)…拱堰堤の設計理論の現状は前述の如くであるから、貯水池の容量小なるか又萬一缺潰しても被害少き箇所にてのみ築造し得るものである」⁵⁸⁾とアーチダムの規模、築造場所を制限する発言を行っている。

②の施工面については、「工事施工上には曲面皆異り頗る手数を免れず」⁵⁹⁾、「施行方法に於て複雑にして熟練なる技術が大切である、又型枠等も相當費用がかかる」⁶⁰⁾と述べられているように、施工の複雑さに伴う、熟練技術の必要性と工費の上昇が指摘されている。

行政サイドの意見として、雑誌『工學研究』には、1931(昭和6年)5月24日の「日刊工業新聞」で「アーチ、ダムの採用論起る」と題して、逓信省のコメントが次のように紹介されている⁶¹⁾。「アーチ、ダムは技術的に見て日本向のものではない。それは日本の如き地震國では米國邊りの技術をその儘採用しては到底危険の見地から許可に對し忍びないものがある。勿論アーチ、ダムとグラヴィテイ、ダムの建設費はその差も甚しい。併し日本向の所謂耐震性のアーチ、ダムを建設するとすれば結局グラヴィテイ、ダムと同様程度の建設費となるから之に對しては尚研究を續けた上で善處すること、としたい」

当時、水力発電の分野で指導的立場にあった逓信省が、アーチダムの採用には消極的であったことも、戦前の発電用

アーチダムが浦山ダムのみに終わり、この分野でアーチダムが広まらなかった要因の一つと考えられる。

なお、戦前に出版された水力発電のテキストでは、アーチダムに関して裂かれたページは、重力ダムと比較して圧倒的に少なく、概略を紹介しただけのものが多かった。

(3) 農業土木

a) マルティプルアーチダムの採用理由

農業土木分野におけるアーチダムの特徴は、他の分野では採用されなかったマルティプルアーチダムを手がけていたことである。神戸堰(1927年)、豊稔池ダム(1929年)の2つの施工例があるが、いずれも地盤状況とそれに関わる工費の節減が採用の理由であった。

堤高1.8mの取水堰堤であるが、わが国初のマルティプルアーチとなった神戸堰では、「軟弱地盤ナリシト極度の工費節約トニテ完全ナル基礎工ヲ施スコト至難ノ事情ニ在リシ」⁶²⁾と述べられている。当初、重力ダムとして建設に着手した豊稔池ダムでは、地盤が原因で途中からマルティプルアーチに設計変更された⁶³⁾。

b) マルティプルアーチダムに対する評価

民間の電力会社と異なり、建設費の多くを地元で負担しなければならぬ灌漑用のダムでは、特に経済性が重視されていた。そこで注目されたのが、マルティプルアーチであった。現在の『農業土木学会誌』の前身となる『農業土木研究』(1932年)では、「現今築造される石造高堰堤の中で…(省略)…最も經濟的であるのは先づ此の多拱式堰堤であると斷定しても差支へない」⁶⁴⁾とまで言われている。具体的には「同一斷面位置に築造せられたる標準斷面の重力式堰堤に要する混凝土の25~50%位で済む」⁶⁴⁾とされていた。

c) マルティプルアーチダムが広まらなかった理由

農業土木界では、評価が高く、期待されていたマルティプルアーチであったが豊稔池ダムの後が続かなかった。その理由には、「材料、混凝土の配合及び型枠の複雑なる點」⁶⁵⁾が挙げられよう。事実、豊稔池ダムでは、「施行中最困難せしはアーチの外側の築造にして、當初は遺型を造り施行せしが、取扱上非常に困難なるのみならず、作業上支障多く、能率上多大の損失あり」⁶⁶⁾と報告されている。

なお、多目的ダムではあるが、マルティプルアーチが再び登場するのは戦後の大倉ダム(1961年)で、スパン100mを超すアーチが2つ連なっていた。

(4) 砂防

a) アーチダムの採用理由

水力発電では1基、農業土木では2基しか造られなかったアーチダムであるが、砂防分野では、現在判明しているだ

けでも戦前に 10 基が築造されている^{67,68)}。その背景には、数多くの砂防工事を担当してきた内務省の蒲 孚が、「拱堰堤には直線堰堤に比し其體積が遙に小さくて済むから兩岸の岩盤にして信頼し得るものならば是非拱堰堤となすべきである」⁶⁹⁾と述べているように、砂防分野では積極的にアーチダムを採用しようという意志があった。

砂防ダムで最初のアーチダムとなった沓沢ダム(1923 年)では、「其の箇所極めて狭く且つ兩岸の岩石硬質にして龜裂少く拱形となし工費を節約するを得たる」⁷⁰⁾と述べられているように、狭い谷で地盤条件が良かったため、アーチダムを採用したことによって工費が節約できた。大源太川第一ダム(1939 年)でも、「堰堤箇所は河床、兩岸共堅硬緻密な硬砂岩より成り狭」⁷¹⁾い谷であったため、アーチダムを採用したことによって、重力ダムと比較して、「貯砂量一立方米當り堰堤工費は桁違いの安價であり…(省略)…二分の一以下の立積で済せ」⁷¹⁾ることができたと報告されている。

また、嵩上げの際に、重力ダムの上にアーチダムを載せた芦安ダム(1918 年、1925 年嵩上げ)では、「大正 7 年 5 月竣工した重力堰堤が安全過ぎるのに鑑み、これに拱堰堤を嵩置することゝし」⁷²⁾と記されていることから、重力ダムでは充分すぎるほど堤体積が大きかったため、アーチダムを採用することによって無駄を省こうとしたと推測される。

b) 砂防ダムにアーチダムが多い理由

他の分野と比較して、砂防ではアーチダムが多かった理由が、「砂防ダムのうち特に貯砂を目的とするものは施工地点が溪谷部である関係から兩岸相迫りて急傾斜をなし、高さの割合に溪中の狭い地点、いわゆる良質岩盤よりなる V 字形の溪谷に施工せられることが多いから、アーチダムを築造せられる機会もまたきわめて多い」⁷³⁾と述べられている(1953 年)。この「施工地点」という観点からすれば、砂防ダムは資材運搬が特に困難な河川の最上流部に

築造されるため、堤体積の少ないアーチダムが採用されたと考えられる(重力ダムと比較して堤体積は 1/3 以下とされている⁷³⁾)。なお、資材運搬が困難な場所でも、広い谷の場合はバットレスダムが適している。

5. バットレスダム

(1) 概説

a) 技術的な特徴

わが国では、外地も含めると戦前に 10 基のバットレスダムが築造された。そのうち 9 基が、水平材で相互に連結された扶壁(バットレス)と遮水壁で構成されるアンバーセン式で、わが国で、“バットレスダム”と言え、このタイプのことを指している。唯一、異なる(水平材がない)のは海軍によって小笠原諸島の父島に造られた境浦ダム(1940 年頃)⁷⁴⁾であった。

設計における特徴としては、物部長穂によって耐震設計理論が確立されたことである。これによって 1928(昭和 3)年以降、続けてバットレスダムが完成している。

b) 分野による特徴

分野別で見れば、軍用も含めた上水道が 2 基、製紙用が 1 基で、残りは水力発電であった(表-4 参照)。一見、分野による差があるように見受けられるが、各分野で造られたコンクリートダムの割合からすれば、アーチダムに見られたような分野間による差は見いだせない。

c) 時代による特徴

バットレスダムの変遷において注目すべき点は、導入、発展、衰退の過程をわずかに四半世紀で迎ったことであろう。1918(大正 7)年に初めて登場した後、a) で述べたように耐震設計が実現し、一時脚光を浴びるものの、昭和 10 年代後半には見向きもされなくなってしまう。

表-4 バットレスダム

(著者作成)

竣工年	名称	当初の所管	所在地	諸元	型式	目的
1918(大正 7)	手井	樺太工業	(南樺太)	堤高 21.21m, 堤長 145.44m	アンバーセン式	産業
1923(大正 12)	笹流	函館市	北海道	堤高 25.30m, 堤長 199.39m	アンバーセン式	水道
1924(大正 13)	高野山	信越電力	新潟	堤高 21m, 堤長 124m	アンバーセン式	発電
1927(昭和 2)	小諸	東信電気	長野	堤高 15.15m, 堤長 94.5m	アンバーセン式	発電
1928(昭和 3)	恩原	中国合同電気	岡山	堤高 24.03m, 堤長 93.64m	アンバーセン式	発電
1929(昭和 4)	真立	日本海電気	富山	堤高 21.8m, 堤長 61m	アンバーセン式	発電
1930(昭和 5)	真川	富山県	富山	堤高 19.1m, 堤長 105m	アンバーセン式	発電
1931(昭和 6)	丸沼	上毛電力	群馬	堤高 32.1m, 堤長 88.2m	アンバーセン式	発電
1937(昭和 12)	三滝	山陽水力電気	鳥取	堤高 25.00m, 堤長 82.50m	アンバーセン式	発電
1940(昭和 15)頃	境浦	海軍	東京	堤高約 10m, 堤長 25.2m	(水平材なし)	水道

※ 戦前までに竣工したダムを示した。

※ 外地(朝鮮、台湾、南樺太)、準外地(満州)のダムを含み、「所在地」欄に () で示した。

※ 影付きの行のダムは現存しない。

以上より、近代日本におけるバットレスダムの特徴が最もよく表れるc)の時代を切り口に、a)のアンバーセン式バットレスダム(2)の変遷について、技術者の言葉から辿ってみる。バットレスダムに関して本論文中(表-1を含む)で登場した主な技術者の相関関係を図-3に示している。

なお、詳細な技術史については、筆者らのバットレスダムに関する研究にまとめてあるので参照されたい⁴⁾。

(2)アンバーセン式バットレスダム

a)わが国初のバットレスダム

これまでわが国最初のバットレスダムは、1923(大正12)年に完成した水道用の笹流ダムとされてきたが、当時日本の領土であった南樺太には製紙会社の樺太工業によって、1918(大正7)年に手井ダムが築造されていた。この樺太工業の社長であった大川平三郎は、後に丸沼ダム(1931年)を造った上毛電気の社長でもあり、彼がダムに関する技術的知識を持ち得ていたかどうかは定かでないが、どちらも自ら現地踏査を行い、ダム地点を選定している⁷⁵⁾。

一方、笹流ダムを手がけた小野基樹は、その工事報告を行った『土木學會誌』(1924年)の梗概で、「鉄筋コンクリート造のホロー・ダムの本邦内地に於ける最初の試みにして」⁷⁶⁾と述べているだけで、手井ダムの存在については明確にしていない(南樺太が内地となるのは1943年なので矛盾はしていない)。

小野は、笹流ダムでバットレスダムを採用した理由を、実際に見たことがなかったが、設計理論が明確で、工費、工期の点から有利なこの型式を、わが国に広めるためと述べている⁷⁷⁾。「著者はこの中空式堰堤の推奨者の一人にして、従来迄未だ其現物を實見せし事無しと雖その設計理論の基く所適確にして、而も經濟且迅速工法なるの點は國益上より考ふるも本邦に採りて以て博く普及せしむることを切望し居りたるなり」

b)バットレスダムの利点

バットレスダムがわが国に導入された大正期から昭和10年代の初め頃までの、バットレスダムの利点として、一般的に、①資材の運搬が困難な場所に適し、②重力ダムが適さない悪い地盤でも施工が可能(床版を用いる場合)で、③工費が安く、④工期が短く、⑤中空構造のため維持管理が容易なことが挙げられている。

具体的な引用で紹介すると、①と③については、「混凝土の容積少なく將に山中深き所でセメントの運搬困難な様な所では大に經濟的となるであらう」⁷⁸⁾と述べられている。②～⑤については、当時、水力発電事業を監督する立場にあった内務省の萩原俊一が、「基礎地盤の支持力不足する場合に於ては、全く重力式を採用し能はざるべし。斯かる場合、中空式堰堤(ホローダム)の如き自重少き、従つて比較的材料を要せざる構造に依らしむるときは、工費及工程を節約し得べきのみならず、其の構造中空なる爲、完成後に於ても、堰堤内部を容易に検査し得られ、工作物の維持、修繕上甚だ有利なり」⁷⁹⁾と述べている。

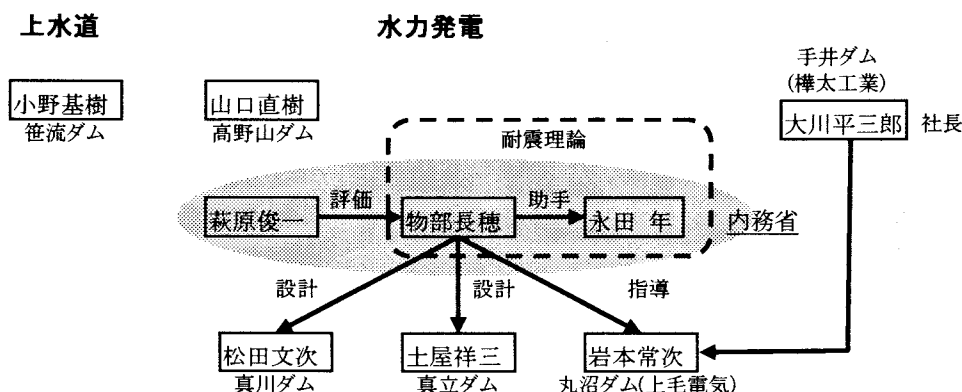
c)バットレスダムの耐震問題

一方、耐震性に関しては当初から、「構造ガ甚シク薄イモノデ高イ構造トシテハ震災其他天災地變ニ遭遇スル場合ヲ豫想スル時ニハ獎勵スベキモノデナカラウト思ヒマス」⁸⁰⁾と指摘されていた(1920年)。バットレスダムの有利さを説いている前記の萩原も、先の引用に続いて「之を耐震構造と爲すことに於て尙相當研究の餘地を存し」⁷⁹⁾と懸念を示すことを忘れていない。

d)物部長穂の耐震設計理論

地震力を考慮した重力ダムの設計理論(3.(2)参照)を確立していた物部長穂は、バットレスダムに対する耐震理論も確立し、1928(昭和3)年に「支壁式鐵筋混凝土堰堤の耐震法に就て」⁸¹⁾を発表した。その中で彼は、「従来の鐵筋混凝

図-3 バットレスダムに関わる技術者の相関関係 (著者作成)



土堰堤は、大地震の災厄を経験せざる欧米諸國に於て發達せるものにして、其の設計法を視るも何等耐震上の考慮を爲さず…(省略)…我國の如き地震國に於ては、耐震上特別の改良を施さざるに於ては其の築造は極めて危険なりと云はざるべからず⁸²⁾と、わが國に適したバットレスダムの設計法の必要性を説いている。

そして、構造上問題となる水平方向の地震力に対して、「堤長に平行なる水平分力を水平支材に依りて兩岸に傳達する方法⁸³⁾を提案し、それを具体化するために、断面の大きな多数の水平材によってバットレスを連結することを提唱している。これは小野が笹流ダムに用いた「全延長を略相等しき長さの三部分に区分し、各部間は互に連繫を斷絶せるが如き構造となし以て氣温變化に起因する堤長の伸縮並に震災に基く不測の衝撃等に對し各部單獨に抵抗せしむる⁸⁴⁾方法、すなわち、堤体を3等分して単獨で地震力に抵抗しようとするものとは対照的であった。

e) 物部理論に対する評価と施工事例

物部がバットレスダムの耐震理論を確立したことによって、b)で述べた利点が、実現のものとなった。「工學博士物部長穂氏の研究に依つて、耐震地盤…(省略)…が考案されたので、此の理想的なホローダムを、耐震的に築造する事が可能になり、斯界に於ける多年の宿望が達せられ、容易に實用化し得る事となつた⁸⁵⁾と高く評価され、恩原ダム(1928年)、真立ダム(1929年)、真川ダム(1930年)、丸沼ダム(1931年)と続けて建設されていった。

例えば、恩原ダムでは、「現場は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、重力堰堤に依らず此の新式工法に依つたのであるが昭和2年5月に起工し、寒中には混凝土の工事を休止したにも拘はらず、3年5月には竣功してしまつた。重力堰堤に較べて工期が大部節約されたわけである⁸⁶⁾と報告されているように、地盤条件、資材運搬の他に、工期の短縮が強調されている。

f) バットレスダムの衰退

物部の理論により耐震性が考慮され、利点ばかりが強調されて、もてはやされたバットレスダムであったが、凍害および施工面の問題が指摘されるようになる。

笹流ダムを手がけた小野は、1936(昭和11)年、第2回大ダム會議(アメリカ・ワシントン)に出席した際のことを、後年、次のように述べている⁸⁷⁾。「北歐諸國・スウェーデン(実際にはノルウェー)からのレポートによれば凍害による壊滅的な被害によってコンクリートダムを作り直したとの數例も報告され今さらながらその恐ろしさに驚愕とした次第であった」

ノルウェーからの凍害報告に衝撃を受けた小野は、ただち

に函館市に調査を指導する。そして、1940(昭和15)年に行われた笹流ダムの風化調査では、凍害が「扶壁の外周6cm位に達していた⁸⁸⁾ことが判明した。

施工面に関しては、コンクリートダムの“権威”石井頼一郎が、1938(昭和13)年発行の『セメント界彙報』で、「プレーンコンクリートの代りに鉄筋コンクリートにしなければならぬし、やつて見ると始め思たより多額の工費を要する。そして其成績は餘り香ばしくない。此故にバットレス式は將來餘り行はれまいと思ふ⁸⁹⁾と、工費と施工実績の点から、バットレスダムが今後広まらないことを予測している。セメントの価格が下がる一方で、人件費が上昇するようになると、資材が少なくて済む代わりに、型枠など施工が煩雜なバットレスダムでは、工費が相対的に上昇し、そのメリットが消失してしまう。

結局、1937(昭和12)年に完成した三滝ダム以降、わが國でアンバーセン式バットレスダムは造られていない。

6. 結論

ダム技術者の言説にもとづいて型式ごとに技術の導入とその評価、発展・衰退の過程を明らかにし、近代日本におけるコンクリートダム技術史の再構築を試みた。以下、従来までのダム技術史との相違点、および、今回新たに明らかになったことなど本論文の成果をまとめた。

1. 重力ダム

(1) 堤軸形状

- ・曲線形重力ダムのリストを公表した。
- ・堤軸形状をめぐる賛否両論があったことを明らかにした。
- ・曲線形重力ダムが採用されなくなつていった理由を明らかにした。

(2) 地震力

- ・世界で初めての耐震設計理論がどのように確立されたのか物部長穂の言説からその経緯を明らかにした。

(3) 収縮地目

- ・収縮継目導入の経緯、継目の間隔については、これまでも明らかにされていたが、技術者の言説に基づいて再整理を行った。

(4) 材料

- ・玉石混入の廃止、重量配合へ変更について、その要因を技術者の言葉から辿つた。

(5) 施工機械

- ・施工の機械化を図つた技術者の苦勞とともに日本人の使用に適するように改良が望まれていたことを明らかにした。

2. アーチダム

- ・現在までに確認できている戦前完成のアーチダムのリストを公表した。

- ・アーチダムの採用状況は分野によって大きな違いがあることを明らかにした。
- ・また、その要因についても、各分野の事情をもとに分析を行った。

(1) 水力発電

- ・わが国初のアーチダムの導入状況を鶴田勝三の論文から明らかにした。
- ・水力発電の分野で指導的立場にあった通信省が、アーチダムの採用には消極的であったことを明らかにした。

(2) 農業土木

- ・マルチプルアーチダムは経済性の点で農業土木分野での評価が高かったことを明らかにした。

(3) 砂防

- ・砂防分野では経済性と地盤条件、資材運搬の点などからアーチダムが積極的に採用されていたことを解明した。

3. バットレスダム

- ・わが国最初とされていた笹流ダムよりも前に樺太でバットレスダムが造られていたことを明らかにした。
- ・物部長穂の言葉から、耐震設計理論確立の経緯を辿るとともに、それ以前のバットレスダム(小野基樹の笹流ダム)との構造上の違いを明確にした。
- ・バットレスダムが脚光を浴びていた時の評価、および、衰退の予見や衰退し始めた時の評価を技術者の言葉から探った。

本論文は、技術者間で議論の多かった事柄を中心にして、ダム技術史を再構築しようとしたもので、必ずしも近代におけるわが国のコンクリートダムの変遷を網羅しているわけではない。今後はより内容を拡充して、ダム技術史の完成度を高めてゆく必要がある。

謝 辞

土木資料探索舎を主宰される藤井肇男氏には、資料の収集、人物史に関して貴重なご教示をいただきました。心から感謝の意を表します。

参考文献

- 『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
- 『関西電力水力技術百年史』, 関西電力株式会社建設部, 1992
- 「コンクリートダムにみる戦前のダム施工技術」, 松浦茂樹, 土木史研究, 18, 1998, pp.569-578
- 「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(印刷中)
- 「電力土木人物銘々伝」, 電力土木, 215-217・219-221・223-232・234・236-237, 1988-1992
- 「電力土木の歴史一第2編 電力土木人物史」, 稲松敏夫, 土木史研究, 13-22, 1993-2002
- 『近代水道百人』, 近代水道百人選考委員会, 水道新聞社, 1988
- 『日本土木史一大正元年～昭和15年』, 日本土木史編集委員会, 土木学会, 1965, p.476
- 『アーチ堰堤と重力堰堤』, フリードリッヒ テルケ (Friedrich Tolke), 野田和郎(訳), 丸善, 1955(原書1938), p.74
- 「神戸市水道擴張水源工事」, 佐野藤次郎, 工學會誌, 285, 1906, p.211
- 「発電水力の歴史を語る座談会(1)」, 発電水力, 15, 1955, p.40
- 「高堰堤に就いて」, 坂田時和, 工學研究, 1, 1923, p.2
- 「拱堰」, 小川敬次郎, 工學, 5.4, 1918, p.194
- 「伊太利貯水用堰堤條令に就て〔二〕」, 物部長穂・中野稔, 水利と土木, 3.7, 1930, p.25
- 「貯水用重力堰堤の特性並に其合理的設計方法」, 物部長穂, 土木學會誌, 11.5, 1925, p.1057
- 『堰堤工學』, 伊藤令二, アルス, 1947, p.127
- 『発電水力(下) 高堰堤』, 新井義輔, 佐々木圖書出版, 1951, p.86
- 『Development of Dam Engineering in the United States』, Eric B. Kollgaard・Wallace L. Chadwick, PERGAMON PRESS, 1988, p.50
- 「General Theory on Earth Pressure Seismic Stability of Retaining Wall and Dam」, Sabro Okabe, 土木學會誌, 10.6, 1924, pp.1277-1323
- 前掲 15), pp.995-1157
- 前掲 15), p.1020
- 前掲 15), p.1060
- 前掲 15), pp.1087-1088
- 「小牧発電工事報告」, 石井頼一郎, 土木學會誌, 18.4, 1932, p.398
- 「発電水力工學(九)」, 高橋三郎, 水利と土木, 2.3, 1929, p.88
- 『物部長穂』, 川村公一, 無明舎, 1996, p.137
- 「地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の断面決定法」, 物部長穂, 土木試験所報告, 26, 1934, pp.1-32
- 前掲 27), pp.1-2
- 前掲 27), p.6
- 「重力堰堤の内部應力算定に關する一方法」, 新井義輔, 土木學會誌, 21.5, 1935, p.677
- 「大井発電所に就きて」, 畠山好伸, 電氣學會雜誌, 45.7, 1925, p.569
- 『発電水力之設計並實例』, 山里尚行, 1934, p.123
- 「コンクリート高堰堤に於ける伸縮接合の距離算定に就て」, 鶴飼孝造, 水力, 2.6, 1939, p.1
- 前掲 9), p.85
- 「堰堤の設計に就て〔三〕」, 永田年, 水利と土木, 1.4, 1928, p.18
- 前掲 16), p.128
- 前掲 17), p.95
- 「重力ダムに就ての私見と希望」, 空閑徳平, 河川, 62, 1950, pp.6-7
- 前掲 11), p.41
- 前掲 24), p.424
- 『コンクリート重力堰堤の施工法 空閑徳平氏講演記録』, 空閑徳平, 鹿島建設技術研究所出版部, 1949, p.19
- 「鐵筋コンクリート標準示方書」, 土木學會, 1931
- 前掲 24), p.435
- 前掲 16), p.151

- 45) 「歐米視察旅行報告書のうちから」, 空閑徳平, 水利と土木, 6.6, 1933, p.53
- 46) 「塚原堰堤工事」, 空閑徳平, 土木工學, 5.12, 1936, pp.798-799
- 47) 『流れとともに 石川栄次郎伝』, 有吉天川・出口啓輔, 輿論時代社, 1955, pp.249-258
- 48) 前掲 45), p.51
- 49) 前掲 41), p.24
- 50) 前掲 46), p.797
- 51) 前掲 24), p.436
- 52) 「堰堤を主としたるコンクリート工法の趨勢に就て」, 石井頼一郎, セメント界彙報, 364, 1938, pp.327-328
- 53) 「北米合衆國輓近ノ水力 討議」, 鶴田勝三, 土木學會誌, 6.4, 1920, p.743
- 54) 『コンクリート堰堤』, 良本正勝, 淀屋書店出版部, 1932, p.77
- 55) 前掲 52), p.326
- 56) 前掲 14), p.29
- 57) 「拱堰堤に就て」, 工學研究, 88, 1931, p.11
- 58) 「堰堤の設計に就て〔一〕」, 永田 年, 水利と土木, 1.2, 1928, p.29
- 59) 前掲 32), p.141
- 60) 「中空式鐵筋混凝土堰堤の理論と設計」, 木村久満, 農業土木研究, 2.3, 1930, p.250
- 61) 「堰堤の温度應力」, 工學研究, 91, 1931, p.37
- 62) 『日本取入堰堤誌』, 農業土木學會, 1942
- 63) 『本邦灌漑排水工事圖譜』, 農業土木學會, 1933, p.16
- 64) 「多拱式堰堤の理論と設計」, 木村久満, 農業土木研究, 4.1, 1932, p.49
- 65) 前掲 64), p.50
- 66) 「香川縣三豊郡大野原村外四ヶ村用排水改良事業概要」, 翠黙, 農業土木研究, 9.2, 1937, p.244
- 67) 「砂防アーチダムについて」, 中村二郎, 河川, 92, 1953, pp.29-30
- 68) 「長野縣・犀川支薄川筋砂防堰堤工事」, 水利と土木, 13.3, 1940, 口繪
- 69) 「砂防堰堤に就て(四)」, 蒲 孚, 工學, 10.4, 1923, p.220
- 70) 「富士川支川御勅使川砂防工事」, 蒲 孚, 土木學會誌, 14. 3, 1928, pp.347
- 71) 「信濃川支川魚野川小支大源太川第一號堰堤」, 蒲 孚, 水利と土木, 13.7, 1940, pp.18-19
- 72) 『砂防工學』, 蒲 孚, 工業圖書, 1937, p.78
- 73) 前掲 67), p.20
- 74) 『小笠原村戦跡調査報告書』, 小笠原村教育委員会, 2002
- 75) 『大川平三郎君伝』, 竹越三叉, 図書出版社, 1990, pp.140-141・p.168
- 76) 「函館市水道貯水池に築造せる中空式鐵筋混凝土堰堤」, 小野基樹, 土木學會誌, 10.4, 1924, p.739
- 77) 前掲 76), p.742
- 78) 『水力電氣』, 高橋三郎, 日本工人倶楽部, 1926, p.119
- 79) 「水利發電事業者に望む」, 萩原俊一, 水利と土木, 1.3, 1928, p.8
- 80) 「北米合衆國輓近ノ水力」, 岡崎文吉, 土木學會誌, 6.1, 1920, p.27
- 81) 「支壁式鐵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, 1928
- 82) 前掲 81), pp.125-126
- 83) 前掲 81), p.131
- 84) 前掲 76), p.743
- 85) 「中國合同電氣會社恩原貯水池に就て」, 土木建築工事畫報, 5.8, 1929, p.14
- 86) 前掲 85), p.16
- 87) 『水到渠成一東京の水源・多摩川と共に六十年』, 小野基樹, 新公論社, 1973, p.105
- 88) 「函館市水道貯水池堰堤のコンクリート風化について」, 水道協會雜誌, 165, 1948, p.38
- 89) 前掲 52), p.326