

技術革新における漸進性と技能依存性

－1950年代の日本のダム施工技術－

Incremental Technological Innovation Supported by Workers' Skill

－Japan's Dam Construction Technology in the 1950's－

馬淵 浩一*, 今 尚之**

MABUCHI Koichi, KON Naoyuki

ダム, 水力発電, 記録映画, 電力会社

Dam, Hydroelectric Power Generation, Documentary Film, Electric Power Company

要 旨

1950年代, 丸山, 上椎葉, 佐久間, 井川, 有峰の5つの発電用大ダムが建設された。佐久間ダムはアメリカの大型土木機械を用いた機械化施工により竣工した。本論文では, 佐久間ダムとその直前における丸山ダム, 上椎葉ダムの3つの建設記録映画を基に, 革新的な機械化施工以外の, トンネル掘削, 型枠, 冷却管などの施工技術を比較検討した。その結果, 1950年代のダム施工技術の革新は, それ以前から漸進的に発展してきた技術の統合によるところが大きく, そこに高い技能依存性があることがわかった。

1. はじめに

本論文はわが国の1950年代における発電用ダムの高堰堤化を支えた施工技術の漸進的な革新の一端を論じようとするものである。ダムは貯水, 洪水対策など多様な目的で設置されるが, 高堰堤化の技術の展開を議論する本論文において, 水頭を重視する発電用ダムに限定して考察することは妥当であると考えられる。

第二次大戦によって海外との技術交流がまったく停滞した日本においては, 未経験の高堰堤化に取り組むために, また工期短縮, 建設コスト削減などの観点から海外の機械化施工技術を導入することが必要であった。その象徴的なダムが佐久間ダムで米アトキンソン社の指導によって竣工した。今日の機械化工法の基礎を築き, 日本の土木技術史上画期的な工事となった¹⁾。

佐久間ダムに導入された斬新な技術として, 例えば, 25tケーブルクレーン2基, 2 m³パワーショベル, 15tダンプトラックなどを用いたセメントおよびその他資材や廃土の効率的な輸送, 仮排水トンネルにおけるジャンボを使った全断面掘削工法などが指摘される。これらの全容は工事に関与した技術者らによって報告されている^{2), 3)}。また, 水越⁴⁾, 松浦⁵⁾, 樋口ら⁶⁾, 伊東ら⁷⁾もダム技術史研究として論及している。

しかし, ダム施工にはこれら以外にも様々な技術が組み合わされている。画期的とされる上記の技術以外にも視点を移し, それ以前のダム施工と比較対照することが, 戦後のダム技術史における佐久間ダムの意義を再確認することに繋がる。さらに視点を広げ戦前から戦後にかけてのわが国のダム施工技術の発展を俯瞰する一助となる蓋然性が認

*名古屋市科学館 学芸課 主任学芸員

**北海道教育大学 教育学部 准教授

*Nagoya City Science Museum,

Chief Curator, Dr.Eng

**Hokkaido University of Education,

Associate Professor, Dr.Eng

められる。

そこで本論文では、佐久間ダム直前に竣工した丸山、上椎葉の2つのダムと佐久間ダムの建設記録映像を比較視聴することで、1950年代のダム施工の要素技術の変化、発展を考察し、ダム施工技術の漸進的な発展と現場作業員の技能との密接な関係を抽出しようとする。ここで技能とは、作業員個人に帰結する技能の他に集団としての効率的、合理的なオペレーションも含むものとする。

2. 発電用ダムの高堰堤化

2-1. 発電用ダム発展の略史

わが国のコンクリートダムの歴史は布引ダム(1900年竣工、堤高30m)に始まる。但しこれは水道用のダムである。大井ダム(同1924年、53m)は木曾川という大河川の本流を堰き止め、堤高50mを初めて超えた。小牧ダム(同1930年、79m)は物部長穂の耐震理論を基として設計された。塚原ダム(同1938年、87m)はフーバーダムで導入された大ダム施工技術を採用した。

水越⁸⁾は、アメリカのダム施工技術を導入した塚原ダムはそれ以前のダムと一線を画すものとして高く評価している。それまで経験知を基にしたダム施工から科学的知識に裏づけされた近代的なダム施工への転換が塚原ダムで試みられた。セメント骨材の粒度調

整、温度応力を回避するためのブロック工法が初めて採用されたこと、また、国産の可動式9tケーブルクレーンを採用するなどの機械化工法も試みられた。

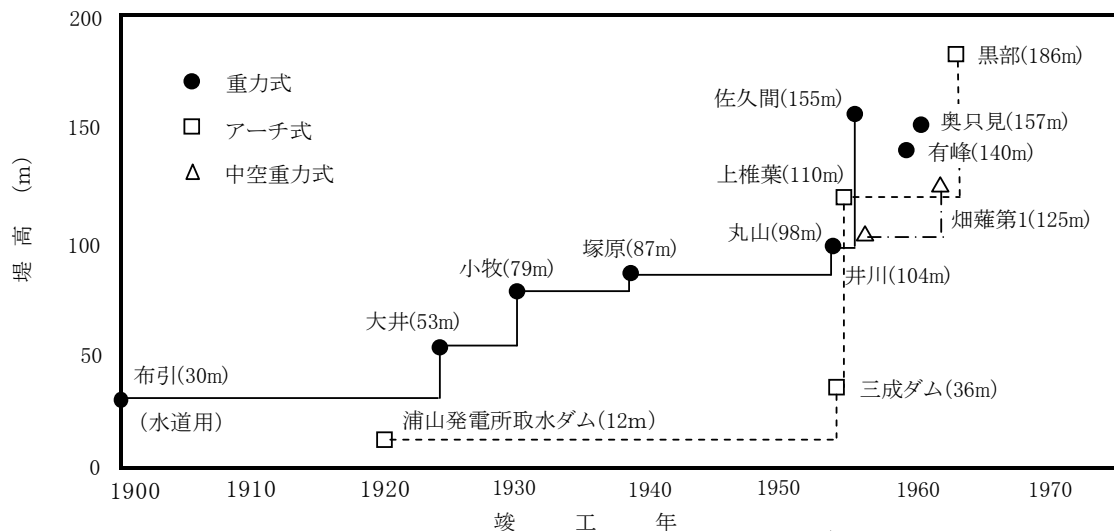
丸山ダム(同1954年、98m)ではセメント骨材の粒度調整があらゆる粒度にわたって徹底され、セメントの水和熱除去のためにパイプクーリングが部分的に初めて試行された⁹⁾。さらに、伊東は佐久間ダムに先立つ機械化工法の先駆として丸山ダムに一定の評価を与えている¹⁰⁾。

布引ダムを起点とし代表的なコンクリート発電用ダムの高堰堤化を図1に示す。佐久間ダムの堤高155mは、その直前に施工された丸山、上椎葉の両ダムのそれに比して約1.5倍である。倍以上にも及ぶ堤体積を3年の工期で竣工させるには大規模な機械化が必要であった。

機械化施工によって高堰堤化の大きな飛躍があった時期であると同時に1950年代は高堰堤化の最終期であることも図1に示されている。この時期、最新の火力発電所が竣工し、主水火従から火主水従への転換が進んだ。その結果、水力発電に調整発電としての機能が求められるようになった。

2-2. ダム施工における技術革新の特性

1950年代までは概ね重力式ダムの発展過程と考えられる。革新的な技術の発展というよりセメントや骨材の大量投入を前提と



出所:水越⁸⁾、『ダム総覧』などを基に作成。

図1 主要発電用コンクリートダムの高堰堤化

表1 堤高100m超発電用ダムと建設記録映像

ダム名称	竣工年	形式	堤高	施主	施工請負	映画企画者	映画制作会社	映画名称
丸山ダム	1954	G	98.0m	関西電力	間組	関西電力	日本映画新社	「丸山水力発電所」
上椎葉ダム	1955	A	110.0	九州電力	鹿島建設	九州電力	新理研映画	「上椎葉水力発電所」
佐久間ダム	1956	G	155.5	電源開発	間組	電源開発	岩波映画製作所	「佐久間ダム第1部」 「佐久間ダム第2部」 「佐久間ダム第3部」 「佐久間ダム総集編」
						間組	英映画社	「佐久間ダム建設記録第1部」 「佐久間ダム建設記録第2部」 「佐久間ダム総合編」
井川ダム	1957	HG	103.6	中部電力	間組	中部電力	岩波映画製作所	「大井川 井川ホローグラビティダム」
						間組	英映画社	「井川五郎ダム」
有峰ダム	1959	G	140.0	北陸電力	前田建設	北陸電力	岩波映画製作所	「有峰ダム第1部」 「有峰ダム第2部」 「有峰ダム第3部」 「有峰ダム第4部」 「有峰ダム」(総集編:著者追記)

ダム形式の略称: G: 重力式 A: アーチ式 HG: 中空重力式

出所:『ダム総覧』(1964)および『PR映画年鑑』(1959～1970)から作成

した漸進的な技術革新である。特に塚原ダム以降は、工期短縮のための機械化施工ならびに高堰堤化に伴って発生する水和熱とそれに起因するクラックを防止する人工冷却に眼が向けられてきたと判断される。

また、1950年代はアーチ式、中空重力式ダムを生んだ時代でもある。それぞれ上椎葉、井川という先駆的なダムが誕生し、60年代の黒部、畑薙第一ダムへの道を拓いた。これらは高価なセメントを節約する思想に貫かれている。火主水従の時代を迎え、早期竣工からコスト低減へと施主の意識の変化が背景にある。

1950年代までのダム施工技術革新に大学の直接的な関与を認めることは難しい。素材としてのコンクリートの研究は九州大学の吉田徳次郎によって行われたが、耐震設計理論の物部長穂は内務省技師であり、塚原ダムを指揮したのは施主である九州送電の技師・空閑徳平である。佐久間ダムの永田年も電源開発の技師である。民間の技術者たちがアメリカのダム工事現場を視察し、また世界大ダム会議などから学び、アメリカの土木施工会社などの指導を受けながら高堰堤化に臨んでいった。

3. 土木技術史料としての記録映画

本研究の基となる土木技術史料としての建設記録映像の量的、質的評価についてはすでに著者らが報告している^{11), 12)}。1950～60年代に堤高100mを超える発電用ダム

は15件建設され、そのうち13件に建設記録映画が撮影された。総数48本の映画が作成され、現在そのうちの少なくとも28本の所在が確認されている。多くはダム建設全般を記録し、必要な部分に解説を加える内容構成で編集されている。当該技術が撮影されている部分を抽出し、比較検証することでダム施工技術史研究が可能となる。

表1に1950年代に竣工した堤高100m超のダムとその建設記録映画についてまとめた。丸山ダムは堤高98mで厳密には上記の堤高の条件に合致しない。しかし100mに順じるものであり、かつパイプクーリングを部分的にせよ初めて試みるとともに、佐久間ダムに先んじて機械化工法の導入が認められる。これらの理由により丸山ダムを加えて考察するものとする。

4. 建設記録映画による技術革新研究

4-1. トンネル覆工

入手した「丸山水力発電所」、「上椎葉水力発電所」、「佐久間ダム建設記録第2部」の3作品から、トンネル覆工、型枠の固定、冷却管の敷設に関する部分を抽出し比較検討を試みた(表2)。

まずトンネル覆工を議論する。丸山ダムの圧力トンネルでは、コンクリートを積んだナベ型トロッコを作業員が運搬している様子、ならびに巻き立て場所にセメントを運び、足でバケットを傾斜させてセメントを排出させ、木製型枠と掘削壁面の間に打ち込むとともに

表2 丸山・上椎葉・佐久間ダム映画におけるトンネル施工、型枠、パイプクーリングに関する映像比較

建設記録映画	「丸山水力発電所」	「上椎葉水力発電所」	「佐久間ダム建設記録第2部」
竣工年／堤高	1954年／98m	1955年／110m	1956年／155m
施主／施工請負	関西電力／間組	九州電力／鹿島建設	電源開発／間組
トンネル施工	14:40～15:13 圧力トンネルにおけるトロッコ人力ズリ出し、セメントのナベトロ運搬、木製支保工、予巻き・本巻き二重の巻き立て作業、型枠内でのパイプレーターによるコンクリート締め	13:45～14:20 取水トンネルにおけるセメントのナベトロ運搬、巻き立て用配筋作業、トンネル上部での巻き立て、スコップによるセメントの投げ上げ	32:14～32:40 圧力トンネルにおける覆工用セメントのポンプ輸送、トンネル頂部のパイプ端から壁面へのセメント流し込み、パイプの継ぎ手ボルトの締めつけ作業、鉄製型枠の使用
	ダム本体型枠	13:45～14:00 溢流頂部における木製型枠固定用木骨の設置作業	3:28～3:43 クレーンによる幅3600mmの木製型枠の移設固定作業
パイプクーリング	なし	6:05～6:37 現場での手作業による外径1インチパイプの曲げ加工	19:17～19:57 パイプ敷設作業、ジョイントによる鋼管の接合作業

「佐久間ダム建設記録第2部」は英映画社が制作。第2部はダム本体工事を撮影したもの。

作業員がパイプレーターで締めている様子が映画に記録されている。木製支保工も確認された。

上椎葉ダムの取水トンネルにおいては、側壁下部での配筋作業と木製型枠の設置、トンネル下方からスコップでセメントを投げ上げ、木製セントルの上に乗った作業員2名がトンネル頂部のコンクリート打設を行っている様子が映画に記録されている。丸山、上椎葉の両ダムにおいて在来型のトンネル覆工作業が行われたことが示されている。

これに対し、佐久間ダムの圧力トンネルでは、スラリーポンプでセメントをタンクから覆工場所まで圧送し、トンネル頂部でパイプ端から押し出されてくるセメントを覆工型枠と掘削壁面の間に流し込む場面が映画に記録されている。ポンプの性能とコンクリートの品質が合致していることが示されている。伝統的な覆工作業を基本としつつ、トロッコを使ったコンクリートの人力運搬の代わりにポンプが導入され、その操作と整備、パイプの連結などの新しい作業が生まれた。そして、それに必要な技能が要求されたと推測される。

4-2. 型枠の固定

1961年竣工の奥只見ダムにおいて、それまで使用されてきた木製型枠から初めて鋼製型枠に転換されたことが指摘されている¹³⁾。鋼製型枠の木製型枠に対する優位性

は、転用可能回数が増大し結果として経済的であること、仕上げ面が美しいことなどに基づいている。

型枠はコンクリートと接する幕板と幕板を固定する軸組みである縦バタおよび横バタからなる。幕板は縦バタ、横バタとともにボルトでコンクリートに固定される。鋼製型枠への転換はダム本体のような平面的な部分においてであり、堤頂部など複雑な形状を有する部分には木製型枠が今日でも依然として使用される。

柱状ブロック方式を採るとダム本体施工時の型枠は膨大な数となる。型枠素材の変化の前段階として、取り付けと取り外し、上方移動の作業迅速化が求められた。木製型枠の大型化と固定方法の変化は3つの建設記録映画に断片的に捉えられている。

丸山ダムでは、ダム溢流頂部壁面における大工による型枠固定用の木骨組みの大掛かりな作業が映画に記録されている。足場のない作業環境で型枠が固定され、それが大工の木工作業に大きく依存していたことが示されている。上椎葉ダムにおいては、横3000mm、縦1800mmの木製型枠が所定位置にクレーンで運搬される場面が記録されているのみである。

佐久間ダムでは、横7500mm、縦1740mmの大型のスライドフォームが設置される場面

表3 佐久間・田瀬ダムにおける職種別人員

職 種	佐久間ダム		田瀬ダム	
	実数	(%)	実数	(%)
大工	298	(10.9)	88	(6.3)
土工	1030	(37.5)	1057	(75.7)
鳶	147	(5.4)	8	(0.6)
機械工	338	536 (19.5)	90	(6.4)
ドライバー	88			
メカニック	64			
オペレーター	46			
その他①	337	(12.3) ¹⁾	89	(6.4) ²⁾
その他②	397	(14.5)	65	(4.7)
合 計	2745	(100.0)	1397	(100.0)

¹⁾進削工・石工

²⁾坑夫・信号手

出所)江口ら¹⁶⁾から引用した。共にダム本体コンクリート打設時の人員構成。

が記録されている。型枠の大型化は文献等にも示されている。スライドフォームが導入され、片側だけで支持するカンチレバー方式となり¹⁴⁾。これによって型枠の取り付け取り外し作業が簡便化された。しかし残念ながらこの作業は映画に記録されていない。

打設場所にもよるため単純比較はできないが、丸山ダムでの木骨組立作業と比較すると、重量型枠を短時間に容易に固定するスライドフォームの導入は画期的で、型枠作業が大幅に軽減されたことが推測される。

4-3. 冷却管の敷設

次いでパイプクーリングを検討する。1954年竣工の丸山ダムにおいて、コンクリートの水和熱を除去するために初めてパイプクーリングが部分的に試みられ、本格的には上椎葉ダムで最初に実施された¹⁵⁾。

丸山ダムでのクーリングパイプ敷設作業は残念ながら映画に記録されていない。上椎葉ダムでは、1インチ径の鋼管を現場で手作業によって曲げ加工している様子が記録されており、肉厚の鋼管が使用されたことが示唆される。パイプクーリングが現場合わせの技能に依存していた事実は興味深い。

1953年に刊行された『ダム建設の機械化』¹⁶⁾には、パイプクーリングの理論から設置間隔、使用鋼管径などの実用的なデータとともに鋼管と鋼管の接合に使われた特殊なカップリングが記されている。佐久間ダムではフーバーダムと同一のカップリングによってパイプ接合が行われたことが映画に記録さ

れている。パイプクーリングという新技術の受容に伴う上椎葉ダムから佐久間ダムに至る試行錯誤は興味深い。

5. 機械化による工員数の変化

機械化に伴う作業員数の変化に関する既往の研究結果を引用する。江口ら¹⁷⁾は佐久間ダムとほぼ同時期に行われた田瀬ダムにおけるダム本体コンクリート打設時の

人員数を比較した(表3)。地理的条件、工期などの諸条件を無視した単純比較を行えば、表3から以下の2点が指摘される。

まず第1に、機械化施工の導入によって土工の全作業員に占める割合が極端に減少し、機械工・ドライバー・メカニック・オペレーターの割合が急増している。ここで機械工とは重機を除く機械製備工、機械運転工、溶接工などを示し、メカニックおよびオペレーターは重機の整備工、運転工を示している。機械工は他の機械工労働市場から流入したと指摘されている。機械化施工は新しい職種である機械工・ドライバー・メカニック・オペレーターを増加させ、土工を駆逐したことが示されている。

第2に、機械化施工が行われながらも約3000名の作業人数は極めて多い。作業員の技術習得の必要性、機械の性能判断の甘さ、機械化の未徹底などが理由として推測されている。佐久間ダムにおける機械化は一概に人員の大幅な削減に結びつかなかったと考えられている。

6. 結論

佐久間ダムにおいて、ジャンボを使った仮排水路の全断面掘削、25tケーブルクレーンに代表される大型土木建設機械などが導入された。直前に行われた堤高がそれぞれ98mの丸山ダムに対し、佐久間ダムの155mは大きな跳躍を見ることができる。しかも、丸

山ダムに比してコンクリート体積比 2.25 倍の佐久間ダムを丸山ダムとほぼ同じ 20 ヶ月で打設完了させた要因は、まさしく機械化工法の画期性を示すものに他ならない。

しかし、ダム施工は様々な要素技術によって成り立っている。トンネル覆工、型枠固定、冷却管敷設などを、丸山、上椎葉などと比較検証すると、佐久間以前に試みられた技術を連続的かつ段階的に発展させていったことは明らかである。

確かに、佐久間ダムでの内径 11m の仮排水トンネルの全断面掘削は画期的工法と指摘された。しかし、日本の建設業界では、半断面掘削、鉄製移動型枠、ジャンボドリルなどは小規模のものが、第二次世界大戦以前の鉄道トンネル建設工事ですでに経験済みであった。

これらの根拠により、ダム施工の技術全般を俯瞰した場合に、革新的というよりもむしろ過去の蓄積との連続性を示す漸進的な技術革新であったことが示唆される。

その漸進的な技術革新を支えるために作業員の技能が大きく貢献した。初期のクーリングパイプの敷設においては現場での曲げ加工が必要であった。土工中心のコンクリート打設現場に金属加工技能が要求された。また、佐久間ダムのトンネル覆工では、伝統的なトンネル施工作業を基本としつつもコンクリートの運搬が機械化された。これは、ポンプの運転、整備に機械工の技能が要求されたことを暗示している。

江口らの考察を参考にすると、少なくともダム本体施工時において、機械化施工は作業員の減員に直結せず、新しい技能を要求し機械オペレーターという新しい職種を生み出したと判断される。

機械化の導入によってそれまでの技能はいったん解体されたが、新しく導入された施工技術に在来の技能と新しい技能が再編され一体化しシステム化していった。そしてそれが 1950 年代の大ダム施工を支えたと考えた方が妥当である。

謝辞

本論文は、文部科学省科研費補助金・特定領域

(課題番号 20032001)の一部を基にまとめたものである。

引用文献

- 1) 土木学会日本土木史編集委員会編：『日本土木史』，pp.1508-1510，1973 年
- 2) 永田年：「佐久間ダム・機械化施工の黎明」，土木学会誌，pp.48-51，1975 年 1 月号
- 3) 野瀬正儀：「佐久間ダムにおける大規模機械化施工実現の経緯」，建設の機械化，pp.10-13，1979 年 5 月号
- 4) 水越達雄：「コンクリートダムの施工方法の変遷」，土木学会論文集，Vol.384，pp.1-7，1987 年
- 5) 松浦茂樹：「コンクリートダムにみる戦前のダム施工技术」，土木史研究，Vol.18，pp.569-578，1998 年
- 6) 樋口輝久，三木美和，馬場俊介：「近代日本におけるコンクリートダム技術の変遷」，土木史研究論文集，Vol.23，pp.117-133，2004 年
- 7) 伊東孝，大沢伸生：『ダムをつくる』，p.208，日本経済評論社，1991 年
- 8) 上掲 4)
- 9) 水力技術百年史編纂委員会編：『水力技術史』，電力土木技術協会，p.265，1992 年
- 10) 上掲 7)，pp.287-311
- 11) 昌子住江，今尚之，馬淵浩一：『土木技術史料としての発電所建設記録映像の評価確立に関する基礎的研究』，文部科学省科学研究費補助金萌芽研究報告書，pp.27-38，2008 年 3 月
- 12) 馬淵浩一，今尚之，昌子住江：「土木技術史料としてのダム建設記録映像の評価に関する基礎的研究」，土木史研究講演集，Vol.28，pp.37-41，2008 年
- 13) 上掲 4)
- 14) 永田年：「佐久間ダムのコンクリートとその打ち込み」，セメント・コンクリート，No.99，pp.2-12，1955 年 5 月
- 15) 上掲 9)
- 16) 社団法人日本建設機械化協会編：『ダム建設の機械化』，編者，pp.478-486，1953 年
- 17) 日本文科学会編：『佐久間ダム 近代技術の社会的影響』，東京大学出版会，pp.69-111，1958 年，所収

(2008 年 9 月 30 日原稿受理，2008 年 11 月 4 日採用決定)