

建設記録映画の分析による戦後日本の発電用コンクリートダム建設技術の発展

Development of Japan's Concrete Dam Construction Method after WW II

Rediscovered by Analyzing Documentary Films

馬淵浩一, 今尚之

by Koichi MABUCHI, Naoyuki KON

Abstract

丸山, 上椎葉, 佐久間, 奥只見, 有峰, 黒部などの11の戦後発電用コンクリートダムの建設記録映画を比較視聴し, 機械化施工と人工冷却の受容過程を考察した。その結果, 以下の3点が明らかになった。1) 機械化施工は操作, 運転最適化の点で作業員の熟練した技能に支えられていた。2) コンクリートポンプ, 型枠, パイプレータなどが個々に性能向上を図り, やがてそれらが相互に関連し一つの一体化したシステムが構築されていく過程が認められた。3) 次第に安全性への関心が励起され, ヘルメット, 作業着の着用が次第に徹底された。落下防止網や風管の設置などが見られるようになっていった。

1. はじめに

1. 1. 序文

本論文は, 試行錯誤による技術の確立ならびにそれを支えた作業員の技能などの視点から, 戦後のコンクリートダム建設における技術の発展過程を明らかにしようとするものである。

戦後の発電用コンクリートダムの建設では, 戦後復興の足かせとなっていた電力不足を速やかに解消するために早期竣工が至上命題となった。そのためにアメリカから大型土木建設機械を使った最新の機械化施工が導入された。これらの操作には熟練した技能が求められた。機械化施工とは主に運搬手段の機械化, 合理化, 省力化を意味することに鑑みると, 機械類による運搬とその後に発揮された作業員の技能を一体化したものと評価すべきであると思われる。さらに, 高堰堤になると顕著な水和熱によるクラック防止のために, 柱状ブロック工法と並んでブレーキングやパイプブローリングなどの人工冷却の検討も要求された。それらにも現場で様々な工夫がなされたものと思われる。

機械化と人工冷却の試みが最初どのダムに導入されたのかは既往研究で明らかになっている。しかし, その受容過程, すなわち, 機械化施工とそれを支えた運転技能との関係, 現場における新施工法の試行錯誤と後継のダムへの技術伝播の全容についてはこれまであまり十分に検証されてこなかった。また, 安全性の意識高揚がどのように形成されてきたのかについても十分に検討されてこなかった。これらは, 技術の項目ごとに寸断された記述, しかも結果のみの記述に傾斜しがちな建設工事記録や論文, 報文などには十分反映され難い性質

の情報である。工事の全容を俯瞰できる史料を検証することが枢要であると考ええる。

本論文は, 戦後, 数多く撮影されたダム建設記録映画を分析することによって, 現場で発揮された技術, 技能を再検討し, ダム建設技術の受容過程を解明しようと試みるものである。

1. 2. 研究対象

機械化施工と人工冷却の導入は, 戦後の高ダムに共通の課題である。しかし, 本研究では発電用ダムに絞って検証を進めていくこととする。その理由として, 発電用ダムは水頭を重視するため必然的に高堰堤志向を内包していたと考えられること, また, 電力需要逼迫の社会背景の下, 早期竣工のために機械化施工法の導入により積極的であったと判断されることの2点が指摘される。

さらに, 本研究では, 技術, 技能という行為の記録に長けた映画を史料として分析することを試みる。戦後, 数多くの発電用ダムの建設記録映画が撮影された。これらの記録映画の存在を示すほぼ唯一のリストである『PR映画年鑑』¹⁾に記録が残っている1953年から1969年の間に竣工した発電用ダムに限定して検討を進めることとする。

この期間は, 以下に示す3つの視座に込めるものと考えられる。第一に, 戦後復興に不可欠な電力需要増大に対応するため発電用ダムの建設ラッシュがあった時期を含んでいることである。戦後のダム建設技術史を考察する上で価値はない。第二に, 戦前からの技術蓄積を背景にした重力式ダムだけでなく, 高価なセメント消費の再検討が生んだアーチ式, 中空重力式などの新形式のダムが競うように建設された時期を含むことである。多様な技術が記録されている可能性に富むものと推測される。第三に, 1955年, 東京電力千葉火力発電所の運転開始を嚆矢として最新鋭の火力発電所の建設が主要都市で始まり, いわゆる水主火従から火主水従への移行が顕在化した時期を含んでいることである。水力

*keywords: ダム, 水力発電, 建設記録映画, 電力会社

**正会員 博士(工学)愛知文教大学 非常勤講師

(〒485-8565 愛知県小牧市大草字年上坂 5969-3)

***正会員 博士(工学)北海道教育大学教育学部 准教授

(〒002-8501 札幌市北区あいの里 5 条 3 丁目 1 番 3 号)

発電が調整発電の役割に変化した。このような社会情勢の変化が技術発展にどのような影響を及ぼしたのかについて検証するにも有用であると思われる。以上の点から、1953年から1969年という期間の設定は、本研究の目的を損なうものではないと判断される。

1. 3. 既往研究

ダム技術の歴史については、水越²⁾、松浦³⁾、馬場⁴⁾の考察が知られている。水越は東京電力の土木技術者としての経験を基に、松浦は旧建設省の土木技官として、河川、水利、治水などの土木行政の経験を基にわが国におけるダム技術の歴史を俯瞰した。馬場らは土木史の研究者として、ダム技術者の言説を分析しダム技術の受容を解明しようとした。これらは、いずれも新しい技術が最初どのダムで試みられたのかを重視し論及する傾向が強い。しかし、新しい技術は二度三度と少しずつ改良され、繰り返し試みられて確立していくものと考えた方が妥当である。失敗、改良といった現場での試行錯誤のプロセスから技術の発展を考察する視点は、これらの先行研究に脆弱である。

一方、映画は行為を記録するに長けた媒体である。日本ダム協会が発行する『ダム年鑑』によると、1953年から1969年までに堤高100m以上の発電専用コンクリートダムは13基竣工している。著者ら⁵⁾は、そのうち10のダムに対して建設記録映画が撮影されたことを明らかにした。それらは以下のような特徴をもつ。

- (1) 計画から河川転流、基礎掘削、仮設備工事、骨材生産、ダム本体工事、満水までダム工事全般を記録している。
- (2) 佐久間、黒部ダムなど著名なダムだけではなく、竣工時期、ダム形式などにも偏ることなく広範に撮影対象となっている。
- (3) 映画の内容について一定の客観性を有する。

さらに、著者らは電力会社、土木建設会社、映画制作プロダクションおよび国立近代美術館フィルムセンターにおける建設記録映画の原版および複製品の保存状況の調査を行った⁶⁾。

本研究は、映画の保存状況の調査結果に基づき、学術研究を目的とした視聴許諾を得て映画を入手し、ダム建設における各工種で展開された技術と技能を抽出した。そして、当該期間に竣工した複数のダム建設技術を比較しその変遷を考察した。

1. 4. わが国におけるコンクリートダム発展の略史

わが国における発電用コンクリートダム発展の略史については、日本土木史⁷⁾、水越、松浦などを参考に下記のようにまとめることができる。

わが国最初のコンクリートダムは布引ダムで、神戸市が水道用として計画し1900年に竣工した。発電のみならずあらゆる目的で計画されたコンクリートダムの起点はこの堤高33mの布引ダムである。1924年、大同電力・大井ダムが竣工した。堤高53mで初めて50mを超え、かつ木曽川という大河川の本流を初めてせき止めた。

大井ダムの建設はアメリカ・シーボーストーン・アンド・ソンの技術協力を得て進められた。スチームショベル、ミキサー、ケーブルクレーンなどの重機が初めてわが国に導入されたことでも知られている。水越は近代コンクリートダムの先駆と位置付けている。1929年、堤高79mの小牧ダムが竣工した。この設計で温度応力に伴うクラックが初めて考慮された。

1938年には、九州送電によって堤高87mの塚原ダムが竣工した。それまで行われていた玉石混入を廃し硬練りコンクリートとし、粒度調整した砕石骨材を粗骨材として使用した。国産の可動9tケーブルクレーンとバケット、パイプレータを使った工法も採用された。さらに、横継目に加え縦継目をもつブロック工法も採用された。これらの工法はアメリカのフーバーダムその他を視察した空閑徳平によって紹介された。松浦は、骨材の採取からコンクリートの打ち込みまで一貫して機械化された戦前日本のダム施工技術のひとつの到達点に達したダムであると評価している。

1954年、関西電力によって堤高98mの丸山ダムが竣工した。試行的にはあるが部分的にパイプクーリングも初めて試みられ、プレクーリングとともに両者併用でコンクリートの水和熱除去を行った最初のダムとなった。また、細骨材の粒度調整も初めて行われた。

そして、1958年電源開発によって佐久間ダムが竣工した。アメリカ・アトキンソン社の技術指導を得て、堤高98mの丸山ダムから一気に堤高155mのダムが誕生した。佐久間ダムの竣工後、同じ電源開発によって田子倉、奥只見のダムがそれぞれ1959年、1961年に竣工した。堤高はそれぞれ、145m、157mであり、佐久間ダムと併せて150m級の高ダム3基が短期間に建設された。

以上のダムはすべて重力式ダムである。当初、早期竣工には技術的挑戦よりも経験蓄積があり技術の確立した重力式ダムがもっぱら採用されてきたが、高価なセメントを節約する思想も徐々に芽生えてきた。わが国における初の本格的なアーチダムは九州電力による堤高110mの上椎葉ダムである。OCI(Overseas Consultants Incorporated)の指導の下、丸山ダム竣工の翌1955年に完成した。上椎葉ダムでは、細骨材から粗骨材まですべて砕石骨材が使用された。大型のロッドミルによる製砂が行われ、また初めて本格的なパイプクーリングが行われた。1963年、関西電力によって黒部ダムが竣工した。堤高186mは現在でも日本一である。さらに、1969年には堤高155mの東京電力・奈川渡ダムが竣工した。

アーチダム以外にも高価なセメントを節約する手法として中空重力式ダムが検討された。1957年、中部電力によってわが国初の中空重力式ダムである井川ダムが建設された。堤高103.6m。セメントがおおよそ30%節約された⁸⁾。1962年には中部電力が同じ中空重力式の畑薙第一ダムを竣工させた。型枠の設置など手間を要するため人件費が低廉な時代に有効なダム形式であった。

表1 1953年から1969年に竣工した堤高100m超発電用ダム

ダム名称	着工/竣工年	形 式	堤 高	堤体積	事業者	本体施工請負
丸山	1950/55	G	98.0 m	350,000 m ³	関西電力	間組
上椎葉	1950/55	A	110.0	350,000	九州電力	鹿島
井川	1952/57	HG	103.6	430,000	中部電力	間組
佐久間	1953/56	G	155.5	1,120,000	電源開発	間組
田子倉	1953/59	G	145.0	1,949,000	電源開発	前田建設
有峰	1956/59	G	140.0	1,568,000	北陸電力	前田建設
奥只見	1953/61	G	157.0	1,627,500	電源開発	鹿島建設
風屋	1954/61	G	101.0	592,000	電源開発	大林組
黒部	1956/63	A	186.0	1,598,139	関西電力	間組
畑薙第一	1957/62	HG	125.0	587,000	中部電力	間組
坂本	1959/62	A	103.0	175,000	電源開発	熊谷組
一ツ瀬	1960/63	A	130.0	555,000	九州電力	鹿島建設
奈川渡	1961/69	A	155.0	660,000	東京電力	鹿島建設
高根第一	1963/69	A	133.0	327,000	中部電力	間組

出所:『ダム総覧』(1964)から作成。

ダム形式の略称:G: 重力 A: アーチ HG: 中空重力

2. 映画の入手と研究支援体制

2.1. 映画の入手

本論文では、1953年から1969年に竣工した堤高100m以上の発電用専用ダムを対象とすることとしたが、例外的に丸山ダムを加えた。丸山ダムの堤高は98mで、厳密には100mに満たないが、わが国で初めてハイブクーリングを試み、ブレーキリングとともに両者併用で水和熱除去を初めて実施したダムである。また佐久間ダム以前に大規模な機械化施工が導入されたと評価する見解もある⁹⁾。同ダムを検討対象に加えることは妥当と考えられる。

『ダム年鑑』などから上記の条件で抽出を試みると、14のダムが選定された(表1)。そのダム工事に対しダム諸元とともに、『PR映画年鑑』から建設記録映画として制作された作品名を表2に示した。坂本、一ツ瀬、高根第一ダムの3基以外はすべて建設記録映画が撮影されたことが示されている。

2007年度に行った電力会社、施工請負業者、映画制作プロダクションおよび国立近代美術館フィルムセンターの保存状況の調査結果、34作品中25作品の所在が確認できた(注1)。学術研究を目的に使用することを条件に著作権者へ視聴許諾申請を行った。

関西電力、九州電力、間組、新潟県建設業組合、土木図書館からは、無償でVHSもしくはDVDを借用した。北陸電力からは16mmフィルムを借用し、有償でDVDを制作した。日映映画製作所、岩波映像、日本映画新社、カジマビジョンへは有償で依頼しDVD化した。

2.2. 研究対象映画の選定

25の入手作品すべてを視聴し、22の作品を選定して

本研究で使用するものとした。選定に漏れた3作品と理由を示す。英映画社制作「佐久間ダム総合編」は「佐久間ダム建設記録第1部」、「同第2部」のダイジェスト版であり、第1、2部を検討すれば不要と判断した。同様の理由で「有峰ダム」、「黒部川第4発電所建設記録第4集」も、それぞれ第1〜4部、第1〜3集の再編集であり不要と判断した。

上椎葉、田子倉、畑薙第一ダムの映画は、工事全般の記録を入手できなかった。「上椎葉水力発電所」はフィルム4巻に合計80分の記録が収められた映画である。しかし、第2巻のフィルムだけが保存されており、その原版に基づいて制作されたDVDを九州電力から借用した。そのため、ダム本体工事部分のみが検証された。「只見川第1、2部」は、田子倉、奥只見、黒又第一の3つのダムを対象としている。堤高100m以上の田子倉、奥只見ダムの2件が撮影された部分のみを検証した。畑薙第一ダムの作品「蒼い湖 畑薙ダム建設記録第2部」は、ダム本体工事が始まってからの記録であった。奈川渡ダムの「礎 梓川電源開発の記録」および「梓川開発の記録」の2作品はいずれもダム本体工事以前の、ダム建設地点における断層処理に関する記録であった。そのため、工事全般を記録した「アルプスにダムができた」と併せて検討した。

2.3. 研究支援体制

本研究では、ダム施工の現場で用いられる技術について詳細かつ広範な知識が必要である。そこで、土木学会の協力を得、土木技術映像委員会アーカイブズ小委員会会員2名(共に大成建設OB)および現役ダム技術者1名(清水建設土木技術本部)からなる研究支援委員会を組織し、同席して視聴し、逐一助言を得る体制を構築した。適宜、この研究支援委員会に、間組の現役ダム技術者、岩波映画製作所元プロデューサー、電源開発元社員などを招聘して疑問点を解決した。

注1)建設記録映画のマスターネガが映画制作プロダクションから国立近代美術館に寄贈される事例が増えている¹⁰⁾。

表2 映画制作状況と入手映画

ダム名称	映画企画者	映画制作・プロダクション	映 画 名 称	入手映画 (資料番号)	映画入手先
丸山	関西電力	日本映画新社	「丸山水力発電所」	○(F01)	関西電力
上椎葉	九州電力	新理研映画	「上椎葉水力発電所」 ⁽¹⁾	○(F02)	九州電力
井川	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」	○(F03)	間組
佐久間	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」	○(F04)	土木学会図書館
	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」	○(F05) ○(F06) ○	間組 間組 間組
田子倉	電源開発	岩波映画製作所 日映科学映画製作所	「大ダム」 ⁽²⁾ 「只見川第1部」 ⁽²⁾ 「只見川第2部」 ⁽²⁾	○(F07) ○(F08)	日映科学映画製作所 日映科学映画製作所
奥只見	鹿島建設	岩波映画製作所	「奥只見ダム第1部」 「奥只見ダム第2部」	○(F09) ○(F10)	新潟県建設業組合 岩波映像
風谷	大林組	八千代映画製作所	「風谷ダム仮設編」 「風谷ダム打設編」		
有峰	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」 ⁽³⁾	○(F11) ○(F12) ○(F13) ○(F14) ○	北陸電力 北陸電力 北陸電力 北陸電力 北陸電力
黒部	関西電力	日本映画新社	「黒部川第4発電所建設記録第1集」 「黒部川第4発電所建設記録第2集」 「黒部川第4発電所建設記録第3集」 「黒部川第4発電所建設記録第4集」 ⁽⁴⁾	○(F15) ○(F16) ○(F17) ○	間組 間組 間組 間組
	間組	宝塚映画社	「黒部川第4アーチダム建設の記録」	○(F18)	間組
畑薙第一	中部電力	日本映画新社	「赤石の山峡 畑薙ダム建設記録第1部」 「若い湖 畑薙ダム建設記録第2部」	○(F19)	日本映画新社
	間組	英映画社	「イコス工法」		
坂本		なし			
一ツ瀬		なし			
奈川渡	東京電力	岩波映画製作所	「礎 梓川電源開発の記録」	○(F20)	土木学会図書館
	鹿島建設	日本技術映画社	「梓川開発の記録」	○(F21)	土木学会図書館
		鹿島映画	「アルプスにダムができた」	○(F22)	カジマビジョン
高根第一		なし			

(1) 全80分中「堰堤工事編」20分のみ入手できた。

(3) 第1～4部をダイジェストした総集編に該当する。

(2) 田子倉ダム単独の記録ではなく、奥只見、黒又川第1ダム建設も含む。

(4) 第1～3集をダイジェストした総集編に該当する。

(出所)『198映画年鑑』および調査結果より作成。

3. 建設記録映像に記録されたダム施工技術

3.1. 検討対象としたダム施工技術

ダム建設にはさまざまな技術が投入される。本論文では土木工事として汎用性の高いトンネル掘削と巻き立て、およびダム本体工事を中心に、機械化と技能の関係、技術の段階的発展、安全性への対応など、映画から情報を抽出した。結果は以下のとおりである。

3.2. トンネル掘削と巻き立て

「丸山水力発電所」(以下、「丸山ダム(F01)」と、ダム名とカッコ内の史料番号で表記する。史料番号は表2に示したものである。)では、圧力トンネル掘削のための

横坑からズリを木製トロッキによって運び出す抗夫、およびトンネル内での作業の様子が記録されている。木製トロッキの操作は人力である。坑口は扁平で捨て枠(ひさし)がある。等木と土嚢を積んでいることも確認できる。トンネル内に後光梁をもつ木製支保工が確認された(写真1)。

丸山ダムの圧力トンネルでは、側壁掘削の後に上段面掘削を行っていることが示された。上半断面で抗夫がコンクリートのトロッキを運搬する様子、仮巻・本巻の二重の巻き立て作業、型枠内でのパイプシートの締め固め作業が記録されている。仮巻を行っていることから地質が不安定であることが暗示されている。

「上椎葉ダム(F02)」には、取水トンネル内、すなわち取水口と発電所をつなぐ導水路での作業の様子が記録されている。側壁下部の配筋作業とともに、トンネル頂部付近の巻き立ての作業が記録されている。浮石を落とすすぐに巻き立てを行っている。コンクリートをトロッコで人力運搬して、1名が下からスコップでコンクリートを投げ上げ、そして狭い天端の隙間に入り込んだ2人の作業員がスコップでコンクリートを充填している様子が示されている(写真2)。

「佐久間ダム(F05)」には、仮排水トンネルの掘削の様子が収められている。架台にドリルを搭載したジャンボと呼ばれる機械を使って穿孔し、長孔発破を行って全断面掘削が行われたことは周知のとおりである。火薬の装填場面、発破の場面も記録されている。ジャンボの下部はズリ出し用のトラックが2台潜ることができるようにになっている。また並列配置でき、積み込みと運び出しが待ち時間なく展開されている様子が確認できる。ズリの岩石は大きく、良質な地質であったことが理解される。全断面掘削を可能とする前提条件であったと看取される。

「佐久間ダム(F04)」には、圧力トンネルの掘削時に、ズリの入ったトロッコと空のトロッコを入れ替えるためにチェリーピッカーと称される昇降機を使っていることが示されている。

「佐久間ダム(F06)」には、圧力トンネル坑口付近における巻き立て作業の様子が撮影されている。雑工事用バッチャープラント下部に常置されたコンクリートポンプを使ってコンクリートを圧送し(写真3)、坑口付近の巻き立てが行われた(写真4)。トンネル頂部のパイプ端からコンクリートが押し出される様子が記録されている。コンクリートポンプから巻き立て場所までをつなぐパイプは、高圧輸送を考慮しフランジ接続されている。フランジの継手部分のボルト締め作業も記録されている(写真5)。

「佐久間ダム(F04)」によると、仮排水トンネルのみならず圧力トンネルの巻き立てにもスチールフォームが使われたことが示されている。まず鉄筋が配筋され(写真6)、スチールフォームが所定位置に配された(写真7)。コンクリートプレーサーがスチールフォームの後方に定置され(写真8)、コンクリートがスチールフォームとトンネル掘削壁面との隙間に圧送されていることが示されている(写真9)。断崖絶壁に立てられた雑工事用バッチャープラントから圧力トンネルは幅の狭い通路しかなく、バッチャープラント下部のコンクリートポンプからコンクリートプレーサーまで圧送されたと考えられる。ポンプとプレーサー間、プレーサー以降の8インチパイプの着脱が作業員に負担をかけていたであろうことが推測される。

「只見川第2部」(3つのダム建設が含まれていることから、この映画のみ作品名で表記する。)には、奥只見ダム資材運搬用道路の第13号トンネルにおいて、ジャンボによる全断面掘削とワンマン運転のロッカーショベルによってズリをすくう作業、ならびにピッカーによるトロッコの入れ替え作業が明瞭に記録されている。佐久間

ダムの経験を継承し、ジャンボを使った全断面掘削工法がすっかり定着しているかの印象を与えている。風管は見られず粉塵で見通しが悪く、作業環境は良好とはいえない。

「奥只見ダム第1部(F09)」には、工事用専用道路の掘削と巻き立て作業が記録されている。掘削にはジャンボが使われた。文献¹¹⁾と照合するとこの場所は第13号トンネルである。I型鋼による支保工が用いられている。矢木とともに送り矢板も確認できる。巻き立てを行った部分と行わない部分があることが示されている。側壁のみ巻き立て、山の状態のよい部分は巻き立てなかった可能性が高い。側壁にRはなく直線であることが示されている(写真10)。

「有峰ダム第2部(F12)」には、圧力トンネルにおいてジャンボを使った全断面掘削が示されている。発破後のズリはまずロッカーショベルによってトロッコに積載され、トロッコ列車によって坑外に搬出された。

「有峰ダム第3部(F13)」には、圧力トンネルにおける巻き立て作業が記録されている。工事記録¹¹⁾と照合すると、和田川第一および第二発電所への圧力トンネル第4号トンネル下口部分の掘削であることが判断される。トンネル掘削後、鋼製セントルが運び込まれ(写真11)、セントルの外側に鉄筋の配筋作業が行われた様子が記録されている(写真12)。型枠にはメタルフォームが用いられ、クランプで固定された(写真13)。

セントルの後部すなわち坑口側に小型の2デッキの架台が接続していることが示されている。さらに坑口側に確認できる門型クレーンで金属性トロッコが引き上げられ、スプリングライン近辺の高さの上段デッキ上を平行移動され、セントル内の巻き立て位置にコンクリートが運搬された(写真14)。トンネル下部壁面の巻き立てには人力でトロッコからシュートを利用して行われた(写真15)。トンネル頂部の巻き立てには架台下段デッキに設置されたコンクリートポンプからコンクリートがパイプで圧送され巻き立て位置に運ばれた(写真16,17,18)。工事記録¹²⁾によると石川島播磨重工業製のポンプであることが示された。トンネルの奥から順次巻き立てが行われ、次第にセントルと架台を坑口に引き戻すように巻き立てていった。また型枠を外す作業も記録されている。

佐久間ダムではコンクリートポンプの位置がバッチャープラント下部に定置されていたが、有峰ダムでは移動型となった。架台に設置して移動型とすることでパイプ長を最短化し、コンクリートの圧送距離を縮め、パイプ内の詰まりを最小化することを試みたのであろう。そして、セントルを移動しても、コンクリートパイプの連結を大きく変えることなく、配筋、型枠作業と巻き立て作業を連続的に行うしくみが考案されたと考えられる。トンネル巻き立ての要素技術を統合しシステム化する思想が感じられる。

コンクリートを上方移動するためムカデコンベアが使用されたことが示された。急勾配を上げるためにはまだまだポンプのヘッドが不足していたことが読み取れる。



写真1 後光張り
(F01 14:55)



写真2 トンネル巻き立て
(F02 14:02)



写真3 コンクリートポンプ
(F06 32:15)

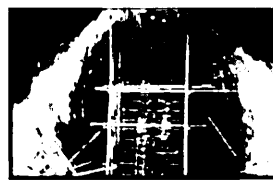


写真4 取水口巻き立て
(F06 32:20)



写真5 コンクリートポンプ配管
(F06 32:23)



写真6 圧力トンネル配筋
(F04 57:38)



写真7 スチールフォーム
(F04 58:30)



写真8 コンクリートブレース
(F04 59:20)



写真9 コンクリートポンプ配管
(F04 59:45)



写真10 鋼製支保工
(F09 3:50)



写真11 鋼製セントル
(F13 15:23)



写真12 セントルから配筋
(F13 15:28)



写真13 型枠固定
(F13 15:35)

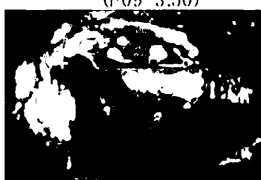


写真14 架台上段トロコ輸送
(F13 16:00)

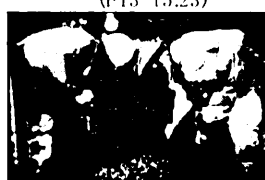


写真15 コンクリートシュート
(F13 16:10)



写真16 コンクリートポンプ
(F13 16:20)



写真17 ポンプ定置ジャンボ
(F13 16:30)

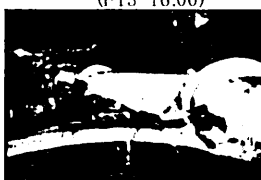


写真18 コンクリートポンプ配管
(F13 16:28)



写真19 鋼製支保工
(F16 30:08)



写真20 風管
(F22 5:02)

「黒部ダム第1集(F15)」には、大町トンネルの掘削を記録に残している。最初は大型ジャンボによる全断面掘削が行われたことが示されている。

「黒部ダム第2集(F16)」には、大町トンネルにおける破砕帯での掘削作業が記録されている。大町側のハイドロップ工法が説明されている。破砕帯でのエア削岩機での手掘り作業、スコップでの運び出しの様子が示されるとともに、木製のセントルと型枠が確認できる。コンクリートが投げ込まれていることが分かる。排水坑においてH型鋼による支保工が確認された(写真19)。また、良質な岩盤での作業も記録されている。ジャンボによる掘削後のロッカーショベルによるズリをすくう作業、トロコによる搬出、ヒッカーによる装置によってトロコの入替え作業が示されている。岩質の良い場所と破砕帯のような不良な場所を跨いでいた事が示されている。

「奈川渡ダム(F22)」には、鋼製支保工と矢板ではなく矢木が使われていることなど、随所に岩質が悪いことが示されている。風管が見られ、作業環境の改善がより徹底してきたことが示されている(写真20)。

3.3. ダム本体工事

3.3.1. 工事現場へのセメント輸送

最初、セメント工場から袋詰めのセメントが鉄道で運び込まれ、工事現場付近で解袋されたが、次第にバラ積みセメントを運搬するよう合理化される過程が示されている。輸送手段も、鉄道だけでなく専用道路を建設する事例が増えてくる事が示されている。

「丸山ダム(F01)」には、名古屋鉄道八百津線八百津駅から延伸された工事専用線によって、袋詰めセメントがセメント専用車で錦織まで運ばれた後、錦織駅に隣接した倉庫に保管される様子が記録されている。その後、索道で工事現場に送られ、女性および男性作業員によって袋が解体された後、スクレーコンベアでセメントサイロに輸送される工程が記録されている。

「上椎葉ダム(F02)」には、袋詰めのセメントが日豊線南延岡駅に運搬され、隣接する倉庫に袋のまま保管される様子が記録されている。その後、ベルトコンベアと索道を使って工事現場に運搬された。女性従業員がセメント袋を積んだ索道のリフトをガイドする作業を行っている様子が示されている。

「井川ダム(F03)」には、井川線のディーゼル機関車

で袋詰めセメントを運搬する様子が記録されている。セメント積載貨車に屋根はなかったことが示された。

「佐久間ダム(F06)」には、引込み線からセメント運搬専用車でバラ積みのセメントがセメントサイロに運ばれる様子が記録されている。架線はない。鉄道の後ろにトラックの走行が確認でき、道路併用の線路であったことが示されている。セメントサイロからは 20t セメントトレーラーで現場の第 2 次サイロに運搬された。サイロからホッパーでトレーラーに積み込む様子が示されている。

「奥只見ダム第 1 部(F09)」には、セメントホッパー車が上越線の小出駅から分岐した引込み線によって小出集積場に到着し、ホッパー車から直接セメントトラックに積み替えが行われている様子が撮影されている。舗装した全長 32km の工事用輸送道路を経て工事現場に運ばれたことが示されている。

「有峰ダム第 2 部(F12)」には、山口県(周南市)富田のセメント工場からバラ積みのセメントが 4000t セメントタンカーに積み込まれ、出航後、富山港に到着し、積み降ろしされて電気機関車で牽引された専用貨車によって小見に輸送される様子が記録されている。その後、索道で工事現場に輸送され、コンテナに積み込まれ、再度索道でセメントプラントに運ばれた。複雑な資材運搬を要するダム立地であったものと推測される。

3. 3. 2. 骨材プラントとパッチャープラント

砕石によって骨材を得、粒度分布を制御してコンクリートの強度を最大化する手法は、すでに塚原ダムで緒についていた。丸山、上椎葉ダムなどではさらにその発展を見ることができる。以降、畑薙第一以外のすべてのダムにおける機械化された骨材生産と調製の工程を映画で確認することができた。

丸山から奈川渡ダムに至るまでの大きな変化を指摘することはできなかったが、「上椎葉ダム(F02)」のナレーションにおいて、骨材生産の際、「科学」という言葉が使用されていることが注目される。

こうして1日最大3500トンの骨材を生産する採石工場はダム建設の原動力となっており、日夜その活動を続けています。このように原石採掘からコンクリートを堰堤に打設するまでの流れるような一貫作業は科学と人工の力を結集した新鋭機械と近代設備の総合的な運営によって、正確に、しかも安全に、よどみなく行われています。

このナレーションから 2 つの点が指摘される。第一に、経験に基づく作業から科学に基づく合理的な作業への転換が導かれた当時の時代背景と合致するものであり、このような機械式工法の導入は、当時のダム建設において画期的な変化を示していたと推測される。第二に、機械化の導入には二つの段階があり、その第二段階に到達したことを示すことである。おそらく、最初、人力による人海戦術的な作業がダンプトラック、パワーショベルなどの機械によって代替された。これが機械化の第一段階であろう。その次の第二段階として、コンクリートの強

度を最大化する科学知見に基づいて運転される骨材生産プラント、パッチャープラントなどの機械化がなされたと考えることができる。

3. 3. 3. コンクリート打設

「丸山ダム(F01)」には、バケットからコンクリートが投下され、エアバイブレータによる締め固めの作業が行われている様子が示されている。エアバイブレータは 1 人で操作されている。1 回で投下されるコンクリートに対し、6〜7 人がバイブレータ作業を行っていることが示されている。ヘルメットの装着はなく、布製帽子を戴帽している。

「上椎葉ダム(F02)」には、1953 年 11 月の初打設時の様子が記録されている。法被姿の作業員 2 名がエアバイブレータ 1 本を操作している。1 人はエアホースの引き回しを介添えしている。バケット接近時の退避等の際、エアホースが太く引き回しが容易でなかったものと推測される。1 回の投下コンクリートに 4〜5 本のバイブレータが使用されていることが示されている。

バケットはエアによって開閉する形式である。チューブの連結によって開閉し、コンクリートが投下される。バケットを静止した状態で投下すると急に軽くなって跳ね上がるため、コンクリートの投下とともにバケットを一瞬降下させ、すぐに引き上げなければならない。完全に投下が終わったタイミングで上昇するバケットからチューブを外し、蓋を閉じる作業が行われる。チューブの着脱とバケットの昇降の様子がはっきりと撮影されている(写真 21,22,23,24)。クレーン操作員、クレーン旗手、エアチューブ操作員の 3 名の意思疎通がこの作業を支えていたことが示されている。また、1 ブロックに 3 箇所の打設が同時に行われている(写真 26)。1 ブロックに 20〜30 名の作業員が密集していたことが示されている。安全性よりも早期竣工を重視していたことが示唆される。外国人技師はヘルメットを装着しているが、日本人作業員は布製の帽子であることも興味深い(写真 25)。

「井川ダム(F03)」には、1956 年 3 月の初打設の様子が記録されている。間組のマークの入った法被姿の作業員がエアバイブレータを操作している(写真 27)。2 人 1 組での作業である。その数ヵ月後の打設が別のシーンにも収められている。そこでは電動式バイブレータによる締め固め作業が行われている(写真 28)。この場面では 1 人 1 本を操作している。電動式バイブレータは、高周波変換によって高い振動数を得て、締め固めの効率化を促進した。工事記録¹³⁾によると、東芝製の電動式バイブレータを使用したことのみが示されている。工事途中で新機材を導入し交換したか、あるいは式典としての初打設における失敗回避のために、使い慣れたエアバイブレータを使用したものと推察される。

「佐久間ダム(F06)」には、1955 年 1 月 18 日の初打設時の作業が克明に記録されている。エアバイブレータ 1 人 1 本で作業している。締め固めによって飛沫が上がっている様子が克明に示されている(写真 29,30,31)。機械による砕石の分級だけでは不十分で、採取場所に



写真21 バケットの昇降(1)
(F02 5:57)



写真22 バケットの昇降(2)
(F02 5:58)



写真23 バケットの昇降(3)
(F02 5:59)



写真24 バケットの昇降(4)
(F02 6:00)



写真25 保安帽着用
(F02 1:20)



写真26 3箇所同時打設
(F02 5:53)



写真27 エアパイブレータ
(F03 35:28)



写真28 電動式パイブレータ
(F03 43:37)



写真29 飛沫(1)
(F06 4:45)



写真30 飛沫(2)
(F06 4:52)



写真31 飛沫(3)
(F06 4:57)



写真32 バイブルドーザ
(F10 22:58)



写真33 バイブルドーザ
(F13 26:58)

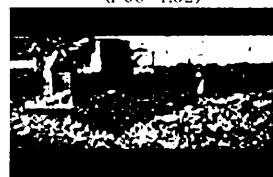


写真34 コンクリート均し
(F18 5:53)



写真35 バイブルドーザ
(F18 26:15)



写真36 型枠固定作業
(F01 13:50)



写真37 スライディングフォーム
(F04 54:50)

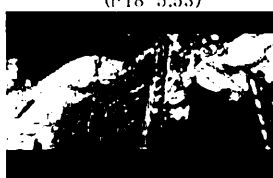


写真38 クレーンによる型枠設置
(F13 8:20)



写真39 落下防止網
(F19 5:30)



写真40 クーリングパイプ加工
(F02 6:05)

よって異なる骨材から一定品質の粒度分布を得るためには新たな知識が必要であった。大量に骨材を必要とするダム建設において、コンクリートの調製が手探りで行われていたことが示されている。このことは、佐久間ダム建設に携わった元電発職員へのヒアリングでも確認された。この解決のために、アメリカ人技師からストックパイルという手法を学んだという。

「佐久間ダム(F06)」には、都合三度パイブレータ作業が被写されている。二度目の作業でもコンクリートは柔らかい。この時期は不明である。コンクリート打設が70%終了する直前に撮影された三度目には適正な硬さに調整できていることが示されている。映画に出るパイブレータはいずれもエア式のものであった。

「只見川第2部(F08)」には、1956年11月22日の田子倉ダム初打設時のパイブレータ作業が記録されている。エアパイブレータを2人1組で操作していることが示されている。

「奥只見ダム第2部(F10)」には、1958年9月16日の初打設時の6mバケットからのコンクリート投下が記録

されている。法被姿の作業員は確認できず、作業着姿に統一されている。バケットはエアで開閉する方式であるが、エアホースを接続した上でヘダルを踏み込んでバケットを開放する形式である。空になったバケットはトランスファーカーに載ってパッチャープラント下部に移され、そこで直接新しいコンクリートが積載された。

さらに、「奥只見ダム第2部(F10)」には、電動式パイブレータによる作業の様子が示されている。また、バケットから投下したコンクリートをまずブルドーザで均し、パイブレータ6本を固定したバイブルドーザによって締め固めが行われていることが示されている(写真32)。バイブルドーザと称される方式である。

「有峰ダム第2部(F12)」には、作業員が電動式パイブレータを操作の様子が記録されている。初打設は1957年7月21日。バケットから投下したコンクリートに5〜6本のパイブレータが挿入され締め固められている。パイブレータ作業員は保護眼鏡を装着していた。

「有峰ダム第3部(F13)」、「有峰ダム第4部(F14)」には、ブルドーザによるコンクリートの均し作業とともに、6

本のパイブレータを取り付けたバイブルドーザによる締め固め作業が確認された(写真 33)。ダム本体下部のコンクリートには強度が求められるためセメント豊富な軟コンクリートが打設される。ここでは人力によるパイブレータ作業が可能であった。しかし、ある高さ以上では、セメントの配合が抑えられ硬コンクリートとなり、人力によるパイブレータ作業は困難で、その理由からもバイブルドーザが導入された可能性が示されている。

「黒部ダム宝塚(F18)」にも、ブルドーザによるコンクリートの均し作業とともにバイブルドーザの作業が克明に記録されている(写真 34,35)。電動式パイブレータ 6 本のキャブタイヤケーブルがコンパクトに束ねられ、ブルドーザの右側に固定されていることが示されている。バイブルドーザに固定するパイブレータにはキャブタイヤケーブルをもつ電動式が有利であったことが映画でよく認識される。パイブレータの動力が圧縮空気から電気に変化したことによって、引き回しの困難なエアチューブから細く柔軟性のあるキャブタイヤケーブルに代わったことが、バイブルドーザの発想を導いた可能性が暗示された。

上椎葉、丸山ダムなどに比べると、1 ブロック上の作業員の数が極端に少なくなっていることが示されている。1 ブロックで 5〜6 名とブルドーザ運転員 2 名である。省力化が図られた印象が強い。

「畑薙ダム(F19)」には、電動式パイブレータによる締め固めの作業が記録されている。1 人 1 本を操作している様子が示されている。

「奈川渡ダム(F22)」には、1966 年 11 月 3 日の初打設の様子が記録されている。法被姿の作業員が礎石を運び、式典が挙行されている。礎石運搬員以外はすべて作業着を着用している。締め固めには電動式のパイブレータが使用されている。

3. 3. 4. 型枠

「丸山ダム(F01)」には、ダム溢流頂部での、型枠固定用の木骨組みの大掛かりな作業が記録されている。ヘルメットを着用していない型枠大工が足場のない場所で作業している(写真 36)。複雑な形状の打設には今日でも木製型枠が利用される。

「上椎葉ダム(F02)」には、ダム最下部すなわち岩着部分の型枠の取り付け作業が記録されている。3000×1800mm の合板がクレーンで所定位置に運搬され、作業員が取り付け作業を行っている。合板には油染みが見られ転用が示唆される。

「井川ダム(F03)」には、2 名の作業員がクランクを回転させ、A フレームによって木製スライドフォームを引き上げる作業の様子が記録されている。シーボルトを締める 2 名の作業員の 1 名はヘルメットを装着していない。

「佐久間ダム(F06)」には、木製型枠によるスライドフォームが設置された様子が記録されている。型枠の大型化に伴い、導入されたスライドフォームは、片側だけで支持するカンチレバー方式になった。これによって取り付け作業が簡便になったとされている。

「佐久間ダム(F04)」には、A フレームによって型枠を引き上げる作業が示されている。貧弱な足場から作業員が型枠の固定作業を行っている様子も記録されている(写真 37)。

「奥只見ダム第 2 部(F10)」には、4 基の A フレームによって、幅 36m に連結された鋼製型枠を引き上げる場面が撮影されている。国内で初めて鋼製型枠が使用された。3〜4 名 1 組の人力によってチェーンブロック 1 基が引き上げられている。4 基同時に同じ長さを引き上げないと、傾きや隣接する型枠との間にずれが生じてしまう。A フレームによる引上げ作業には高い技能が要求されたことが推測される。

型枠の足場からシーボルトを固定する作業も記録されている。落下防止網はこの段階でも見られない。型枠のケレン作業は女性が担当している。

「有峰ダム第 2 部(F12)」でも、4 基の A フレームで型枠の引き上げが行われている様子が記録されている。A フレーム 1 基のクランク操作は 1 名で行われていることが示されている。

「黒部ダム第 3 部(F17)」にはリフト高 3m の大型の鋼製型枠がバラ枠でクレーンによって移動され、設置済みの型枠と連結される作業が撮影されている(写真 38)。大型型枠の重量を考慮すると、クレーンでの移設、スライドが必要であったことを実感させる。

「畑薙ダム(F19)」には、鉄製の縦バタを使用した木製型枠が使われている。所定位置への移動はモビルクレーンで行われ、スライドは A フレームの人力操作によって行われたことが示されている。型枠には落下防止用網が取り付けられていた(写真 39)。

3. 3. 5. パイプクーリング

丸山ダムでは部分的にパイプクーリングが試みられたことが示されているが^{D4)}、映画には記録されていない。

「上椎葉ダム(F02)」には、現場で作業員がベンダーを用い手作業でクーリングパイプを曲げ加工している様子が記録されている(写真 40)。文献¹²⁾によると、最初、円形・半円形のパイプを購入したが、カップリング数を減らすため現場加工とした経緯が示されている。人工冷却という新技術が現場の技能によって支えられていた。

井川ダムにパイプクーリングが行われた事実は、工事記録^{D5)}に示されていない。

「佐久間ダム(F06)」には、クーリングパイプの敷設作業、パイプのジョイント作業も収められている。

「有峰ダム第 2 部(F12)」には、クーリングパイプからの排水チェックが行われている場面が記録されている。

黒部ダムにおいてもパイプクーリングが行われたことが示されているが^{D6)}、映画には記録されていない。

4. 考察

4. 1. トンネル掘削

トンネル掘削では、ジャンボドリルを使った全断面掘削などの新しい工法と半断面掘削もしくは導坑掘削のよう

な在来工法が共存していることが映画で示された。これは、掘削場所の地質の判断に基づき、最も相応しい技術が選択された結果である。必ずしも最新工法が優先的に選択されるわけではない。これは、土木工事の最大の特徴であると考えられる。技術が行使される環境に応じて、新旧の技術の中から最適な技術の選択がなされた。そのような場合、複線的な技術発展が看取される。

文献を参考に、良質な地質条件に恵まれた施工区間に採用された全断面掘削工法について検討する。伊東は、佐久間ダムから黒部ダムに至る全断面掘削工法の伝搬について重要な考察を示している。関連の文献も総合すると、下記のようにまとめることができる。

全断面掘削工法が初めて用いられたのは、東京電力・幸知水力発電所の水路工事であり、加納俊二が渡米して工法を導入した。これがトンネル施工における機械化導入の契機となった¹³⁾。

加納は京都帝大を卒業後に鉄道省に勤務し、関門鉄道トンネルの工事に関わった。その後、1949年、熊谷組に入社し、専務、副社長を務めた¹⁴⁾。熊谷組は1953～56にかけて中部電力・東上田水力発電所の第10号トンネル(3644m)において、レールを利用した支保工、2デッキ・8ブームジャンボを使用した全断面掘削を試みた。このトンネルの断面は高さ4.4m、幅4.42mであり、断面積約15㎡である。さらに、同トンネルには部分的に米国式伸縮型枠、すなわちスチールフォームが使用された¹⁵⁾。

さらに、佐久間ダムの仮排水トンネルが掘削される同時期に、佐久間ダムの資材輸送として国鉄飯田線の付替え工事が行われた。その際、熊谷組は大原トンネルに全断面掘削工法を採用した¹⁶⁾。関西電力は佐久間ダムの導水路掘削工事ならびに大原トンネル掘削工事を視察、調査しており、黒部ダムの大町トンネルにおける全断面掘削工法の採用を検討した¹⁷⁾。

この事実に基づく以下の2点が演繹される。第一に、全断面掘削工法は佐久間ダムにおいて初めて導入されたものではなく、すでに施工業者にある程度の経験蓄積があったこと。第二に、それを最初に紹介した邦人土木技師と施工業者を軸として全断面掘削工法が佐久間ダムから黒部ダムに継承されたことである。

佐久間ダムから黒部ダムへの全断面掘削工法の伝播は、熊谷組という共通の施工請負によって理解される。同様に、有峰ダムへの全断面掘削広報の伝播は、佐藤工業の貢献が暗示される。有峰ダムの施工業者は前田建設であるが、トンネル施工は主として佐藤工業が前田建設から請け負った¹⁷⁾。佐藤工業も前掲の中部電力・東上田発電所導水路トンネル掘削に参画しており¹⁸⁾、熊谷組による全断面掘削工法を間近に見る機会に恵まれていた。

さらに、多くの建設記録映画に、他電力会社社長以下による合同視察が行われたことがそれぞれ記録されている。事業者や施工請負の違いを超えて、重要な技術

は秘匿されることなく公開され、施主や施工請負の違いを超えて伝搬しわが国における土木技術の水準向上に寄与したことが推測される。この点については、別途、文献調査、ヒアリングなどを深めた研究が必要であると思われるが、いずれにせよ、食欲に新しい技術、工法を公式、非公式に吸収していたものと推測することができる。

4. 2. トンネル巻き立て

全断面工法が用いられた良質な地質条件の現場では、トンネル巻き立てにおける要素技術のシステム化を見ることができる。

佐久間ダム圧力トンネルでは全断面スチールフォームを用いた巻き立てが行われた。有峰ダム圧力トンネルでは鋼製セントルとメタルフォームによって巻き立て作業が行われた。この2つの作業で重要な役割を果たしているのがコンクリートポンプであった。

丸山ダムでは、石川島重工製コンクリートポンプの試作品が試用されたが、コンクリートが頻繁につまり、パイプ清掃に手間取って十分機能しなかったことが示されている¹⁹⁾。佐久間ダムではパッチャーブラント下部に定置したコンクリートポンプからスチールフォームと掘削壁面との隙間にコンクリートが圧送された。コンクリートポンプは今日のスクイズ式ではなくピストン式である。コンクリートポンプによるコンクリート圧送が奏功した最初期のトンネル巻き立てであると判断される。この試みは、コンクリートポンプの能力不足で必ずしも十全に稼働したわけではなかったことが、関係者のヒアリングから明らかとなった。

これに対して、有峰ダムの圧力トンネルでは、2デッキの架台を鋼製セントルの後部すなわち坑口側に置き、上段デッキからはトンネル側壁下部の巻き立てのためコンクリートがトロッキからシュートされる一方、下段デッキに設置された石川島製コンクリートポンプからトンネル頂部付近の巻き立てのためのコンクリートが圧送された。コンクリートポンプのホッパーまでは人力でコンクリートが運ばれた。コンクリートポンプを架台上に設置して可動式とするとともに、コンクリートを圧送するパイプ長を最短化し、パイプ内のコンクリートのつまりを可能な限り回避するための仕組みが考案された。有峰ダム建設時に至ってもコンクリートポンプの能力が高くなかった。このことは、トンネル内の場所に応じて、ムカデコンベアによって頂部付近へコンクリートが運搬されたことから明白である。低かったポンプの能力を最大に引き出す工夫がなされたと考えられる。

コンクリートポンプをセントルに連結して移動型にすることで、圧送パイプはセントル長の範囲に限定される。これは、メタルフォームを固定した鋼製セントルとトンネル掘削壁の巻き立てをより連続的、効率的に行うために考案された一つのシステムと考えてもよいであろう。個々の要素技術の発展が相互に関連し、一つの一体化したシステム技術となったものと考えられる。

4. 3. コンクリート打設

4. 3. 1. セメント、骨材の合理的輸送方法

コンクリート打設は、パッチャープラントでの練り混ぜからブロック上でのバケットからの投下に至る作業、バイブレータによる締め固め、コンクリート打設面の処理、クーリングパイプの設置、型枠の設置と移動などによって構成されるが、広義には、セメントや骨材の輸送も含まれるものとして考えた方が妥当である。

セメントが工場から工事現場に送られるまでの顕著な変化は、より合理的なセメントの輸送手段が追求され、袋詰めからバラ積みによる輸送手段が確立したことが重要である。丸山、上椎葉、井川ダムで行われた解袋作業は皆無となり、ホッパー付貨車、ホッパー付トラックが次第に利用されるようになった。

骨材の生産、分級作業への機械化は、すでに丸山、上椎葉ダムの現場ですでに十分確立していた。「上椎葉ダム(F02)」のナレーションにおいて、骨材生産・調整のシーンに「科学」の表現が認められる。他の映画にはこの語句は使用されていない。これは、機械化した骨材生産・調整作業に科学知見が導入され、過去の経験に基づく在来ダム施工法と一線を画する段階に入っていたことを意味する。佐久間ダムの段階で、すでにセメントの運搬、骨材の採取からコンクリートの打ち込みまで一貫して合理化、機械化された方法が形成されていたと判断される。

4. 3. 2. コンクリート調製

しかしながら、佐久間ダムにおける初打設時の軟コンクリートは、骨材の粒度分布構成が不十分、特に微細粒度成分が不足していたことに原因がある。また、骨材の不安定な品質も現場を戸惑わせた。機械による自動化の背景には、セメントと水との配合比および骨材の粒度分布に関する科学研究が存在していたが、それでも現実の運用には機械の能力を超えた知識と経験による補正が必要で、未だこの時代、コンクリート調製が手探りで行われていたことが示唆された。このような事実は、これまで工事記録、論文などには示されておらず、今回映画分析によって初めて得られた。

バケットからのコンクリート投下にも大きな技能が求められた。バケットからのコンクリート投下に合わせてケーブルクレーンを最初僅かに下降させ、その後わずかに上昇させなければならなかった。コンクリート投下によるリバウンドを防止するためである。その上昇とタイミングを合わせエアチューブの離脱が行われた。ダム本体の施工は柱状ブロック工法を採るため、バケットが視覚に入らない場面も皆無であったとは言い切れない。これらの点に鑑みるに、この作業はクレーン操作員、エアチューブ着脱担当者そしてケーブルクレーン旗手の3名の十全な連携に基づくものであると判断される。この連携作業は、上椎葉ダム建設記録だけでなく、黒部ダム建設記録映画においても明瞭に記録されている。映画分析によって、機械化施工を支えた技能の存在がより明確に表出したものと考えられる。機械化、自動化によって省力化、効率化が図られたが、それによって作業員が有する経験

や技能が払拭、否定されたわけではなく、新しい技術に新たな技能が取り囲み再編成される必要があった。

4. 3. 3. コンクリート打設のシステム化

型枠では、木製型枠から鋼製型枠への変化、スライドフォームの利用、A フレームを使った人力から小型クレーンによる型枠引き上げ手段の変化などが認められた。黒部ダムにおいても、大幅に不足する電力事情を一日も早く改善するために早期竣工が至上命題となった。作業効率向上、技術的問題の解決などあらゆる検討がなされ、その結果、リフト高 3m が設定された。それ以前の重力ダムの多くで採用された 1.5m の倍の高さである。これに対応するためには大型の型枠が必要であり、また型枠上部における撓み、反りを最小化し、転用回数を上げる目的からも鋼製型枠の利用は必然であった。その結果、大型の鋼製型枠のスライドは A フレームによる人力作業では対応不可能で、モビルクレーンによる引き上げが求められた。

締め固め方式に関しては、エアバイブレータから電動式バイブレータへの変化、そして、ブルドーザを利用したコンクリートの均しとバイブドーザの使用などが認められた。エアバイブレータから電動式バイブレータへの変化はより高い振動数を得て締め固めの効率を上げるためのものである。しかし、エアチューブからキャブタイヤケーブルへの変化によって引き回しが容易になり、これがバイブドーザの着想を導いた可能性も否定できない。また、打設が進むにつれてセメント量を少なくした結果、スランプの小さいコンクリートとなったが、この硬いコンクリートを均し、打設するためにも堰堤上でのブルドーザの使用は不可避であった。

個々の要素技術の発展は、施工を省力化しより効率的に行って早期竣工を実現し、かつコストダウンを実現する思想に基づくものである。しかし、黒部ダムでは、それ以前から着々と進められてきた要素技術の改良、改善、性能向上の段階からさらに一つ上の段階に達したこと、すなわち、それぞれが有機的に関連しあって一つのコンクリート打設システムとして構築されたことを認めることができる。この知見は、文献等による個々の技術の記述を比較検討することでは獲得が困難であり、作業全体を視覚的に俯瞰することのできる映画史料研究によって初めて得られた果実であると強調したい。

5. 結論

建設記録映画を史料として発電用高堰堤ダム施工の技術の発展を分析した。その結果、下記の3つの知見が得られた。

1) 機械化の導入は新しい技能を必要とした。ケーブルクレーン、ダンプトラックなど機械の操作は無論、自動化されたとされるコンクリート調製においても、知識と経験に基づく補正がなされなければならなかった。また何気なく行われたかのように思われたバケットからのコンクリート投下にも、エアチューブの着脱、ケーブル

クレーン操作に熟練技能が求められた。

2)ダム建設の各工種における要素技術の性能向上の過程およびそれらが有機的に関連し合い、一体化されシステム化される過程が確認された。丸山、佐久間ダムではコンクリートポンプの発展が見られ、さらに有峰ダムに至っては、トンネル巻き立ての一つの一体化したシステムが構築された。丸山、上椎葉、佐久間、井川、奥只見ダムでは、型枠、パイプレークなどの要素技術の漸進的な性能向上が見られた。さらに黒部に至ると、発展した要素技術が互いに有機的に関連し合い、大型鋼製型枠、パイプドローザなどを使用するダム本体コンクリート打設の一つの一体化したシステムが構築された。

3)ダム建設技術の発展と共に、作業員の安全性が次第に確立されていった。ヘルメット着帽の徹底、型枠作業における足場の登場、防護眼鏡と粉塵マスクの使用などが示された。上椎葉、佐久間ダムで行われた1ブロック上で複数のコンクリート打設は、有峰、奥只見、黒部ダムなどでは見られなくなった。型枠作業時の落下防止網、トンネル掘削時の風管なども設置されるようになり、次第に安全性と作業環境の改善に配慮していく過程が示された。

建設記録映画から得られる情報は、工事記録などに記述が認められるものも含まれている。しかし、工事記録などの記述には、技術の項目ごとに寸断されたもので一連の工程を俯瞰できるものでなく、さらに試行錯誤の後にたどり着いた最終的な手法のみが記録される傾向が強い。また、作業員の行為に関する情報の抽出が困難であるなどの弱点が指摘される。建設記録映画はこれらの点を補うことができる。映画と工事記録は、技術の記録に関し相補的関係を持つものと思われる。

6. 謝辞

本研究は平成 20～21年度科研費・特定領域「日本の技術革新」公募研究「映像資料分析による昭和 30年代のダム建設技術の革新」(課題番号 20032001)の一部を基にしている。電力会社各社、土木建設会社各社、映画制作プロダクション各社には、映画の使用許可、貸与に格別のご配慮を頂いた。また、土木学会土木技術映像委員会の寺田公彦氏、岡崎孝夫氏、土木学会附属図書館室長・坂本真至氏には映像評価でお世話になった。清水建設株式会社土木技術本部・安河内孝氏にはダム技術の解説で特にご指導頂いた。感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 日本投資協会編:『PR映画年鑑』, 1959～70年(1968～70年は『産業文化映画年鑑』に後継)
- 2) 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
- 3) 松浦茂樹:「コンクリートダムにみる戦前のダム施

工技術」, 土木史研究, Vol.18, pp.569-578, 1998年

- 4) 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 -ダム技術者の発言から」, 土木史研究論文集, Vol.23, pp.117-133, 2004年
- 5) 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
- 6) 馬淵浩一, 今尚之:「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, Vol.28, pp.37-41, 2008年
- 7) 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
- 8) 藤本得:「井川ホローグラビティダムの計画ならびに工事について」, 発電水力, Vol.23, No.4, pp.2-13, 1956年
- 9) 伊東孝, 大沢伸生:「機械化工法の先駆 丸山ダム」, 『ダムをつくる』, 日本経済新聞社, pp.285-311, 1991年
- 10) 上掲 6)
- 11) 鈴木勇:「奥只見発電所新設道路工事について」, 発電水力, 通号 29号, pp.17-38, 1957年
- 12) 緒方惟明:「上椎葉アーチダムに就いて」, 発電水力, No.13・14合併, pp.54-58, 1955年
- 13) 成岡昌夫:『新体系土木工学 別巻土木資料百科』(土木学会編), 技報堂出版, p.179, 1990年
- 14) 大塚本夫:「加納俊二」(土木学会誌訃報記事), 土木学会誌, Vol.69, No.6, p.52, 1984年
- 15) 藤本得:「東上田発電所トンネル工事の機械化施工について」, 日本機械学会誌, Vol. 56, No.413, pp.90-93, 1953年
- 16) 笹島建設:『笹島建設の歩み-創業 60周年-』, pp.26-28, 笹島建設, 2005年
- 17) 上掲 9), 「土木技術の革新 佐久間ダム」, p.231
- 18) 佐藤工業 110年史編纂委員会:『110年のあゆみ』, 佐藤工業, p.443, 1972年
- 19) 上掲 9), 「機械化工法の先駆 丸山ダム」, p.307

工事記録

- D1) 北陸電力:『常願寺川有峰発電所計画工事誌』, p.343, 1964年
- D2) 上掲 D1), p.343
- D3) 中部電力:『井川発電所工事誌』, p.212, 1961年
- D4) 関西電力:『丸山発電所工事誌』, p.132, 1956年
- D5) 上掲 D3)
- D6) 関西電力:『黒部川第四発電所工事誌』, p.759, 1966年
- D7) 上掲 D1), p.430-437