

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 Technology after WW II

Rediscovered by Analyzing Documentary Films

馬渕浩一**, 今尚之***

by Koichi MABUCHI, Naoyuki KON

Abstract

This paper gives an account of the development of Japan's concrete dam construction technology in the 1950's and 1960's by analyzing the project documentary films, which record both the technical and human aspects of the projects.

As the results of examining 25 project documentary films on the major dams including Maruyama, Kamishiiba, Sakuma, Ikawa, Arimine, Okutadami and Kurobe dams, it is suggested how the mechanized construction method and the concrete cooling method, required for the dams over 100 meters high, were established. The details are as follows: (1) Both machine operations at the project sites and the final works after the material mechanized transportation were supported by highly skilled workers. (2) Concrete pumps, vibrators and steel forms made in Japan were rapidly improved by trial and error, and they were systematized to achieve an effective dam construction method. (3) The concrete cooling method was established after some investigations. (4) The safety first principle had been established incrementally.

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らを支えた作業員の技能などの視点から、戦後の発電用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法が導入された。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が発揮された作業員の技能を一体化したものとして評価すべきであると思われる。さらに、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プレクーリングやパイプクーリングなどの人工冷却の導入も検討しなければならなかった。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。

25t ケーブルクレーン、15t ダンプトラックなどの大型重機を利用した機械化施工と人工冷却が最初どのダムに導入されたのかはほぼ既往研究で明らかになっている。しかし、コンクリートポンプなど比較的小型の機械を使用

した新しい施工法とそれを支えた技能との関係、新施工法の導入に伴う現場での試行錯誤や後継ダムへの技術・技能の伝播過程など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、安全性を高める様々な取り組みの変化についての検討も不十分である。

これらは史料の性質に拠るところが大きい。工事誌や論文などは結果のみの記述に傾斜しがちであり、試行錯誤や後継への伝播は反映され難い。また、技能の文章による表現も困難である。これらを解明するためには、これまでと異なる新たな史料の検証が必要である。

本論文は、戦後、数多く撮影されたダム建設記録映画を基本史料として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する。

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り込んで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の導入により積極的であったことの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建設記録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。それら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1953～69年の間に竣工した発電用ダムに限定し検討を進めることとする。

この期間は、以下に示す3つの視座に応えるものと考

*keywords: ダム, 水力発電, 建設記録映画, 電力会社

**正会員 博士(工学) 名古屋市科学館 主任学芸員
(〒460-0008 名古屋市中区栄二丁目17番1号)

***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)

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。第二に、戦前からの技術蓄積を基とした重力式ダムだけでなく、高価なセメントの大量消費へ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んでいることである。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。即ち水力発電が調整発電の役割に大きく変化しており、このような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、戦後のダム建設技術史を考察する上で齟齬はなく、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

ダム施工技術の歴史については、水越²⁾、松浦³⁾、樋口ら⁴⁾の考察が知られている。水越はわが国最大の電力会社である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施工技術の歴史を俯瞰した。樋口らは土木史研究者としての立場からダム技術者の言説を分析し、ダム施工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、繰り返して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。映画制作の背景には、事業や技術の記録、地域住民に対する電源開発の理解増進の他に、資金獲得、アジア諸国へのセールスプロモーションなどがあった⁶⁾。

建設記録映画の内容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、湛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(注1)。

本研究では、建設記録映画の保存状況の調査結果および史料評価に関する先行研究結果⁷⁾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、それらを複数のダムで比較し、その発展過程を考察した。

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⁸⁾、水越⁹⁾、松浦¹⁰⁾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主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・アンダーソン社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。水越は大井ダムをわが国における高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防止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ダムであり、戦前日本のダム施工技術の一つの到達点に達したと評価している。

1954 年、関西電力によって堤高 98m の丸山ダムが竣工した。部分的にパイプクーリングが試みられ、プレクーリングと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、1956 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、直前の堤高 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、奥只見ダムがそれぞれ 1959 年、1961 年に

(注 1) 近年、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。

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	1951/54	G	98.2 m	497,000 m ³	関西電力	間組
上椎葉	1952/55	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
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
有峰	1956/59	G	140.0	1,568,000	北陸電力	前田建設
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	1963/68	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

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。1959年には、北陸電力が堤高140mの有峰ダムを竣工させた。

以上のダムはすべて重力式である。当初、技術的挑戦よりも早期竣工が優先された。そのため、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が建設した堤高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。セメントがおよそ20%節約された^{11), 12)}。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。

2. 建設記録映画の入手と研究支援体制

2.1. 建設記録映画の入手

本論文では、1953年から1969年に竣工した堤高100m以上の発電用ダムを対象とすることとしたが、例外的に丸山ダムを研究対象に加えた。丸山ダムの堤高は98mで、厳密には100mに満たない。しかし、部分的とはいえわが国で初めてパイプクーリングを試み、プレクー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。また部分的にせよ機械化施工を導入したと評価する見解もある¹³⁾。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、丸山ダムを加えた14基のダムの諸元を表1に示した。各々のダムに対し、『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年度に著者らが行った電力会社、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などにおける保存状況の調査によって、34作品中25作品の所在が確認できた。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作品と理由を以下に示す。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「同第1〜4部」、「同第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、ダム本体工事および発電所導水路工事部分

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」 「蒼い湖 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)『PR映画年鑑』および調査結果より作成。

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た。同席を乞い視聴し、逐次解説を得る体制をとった。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助言を得た。

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



写真1 手押しトロッコ
(F01 14:49)



写真2 ジャンボによる掘削
(F05 19:30)



写真3 ジャンボを潜るショベル
(F05 21:35)



写真4 ダンプの2台並置
(F05 22:28)



写真5 ブリ出し
(F05 22:57)



写真6 ジャンボの前進
(F05 23:18)



写真7 チェリーピッカー
(F04 40:00)



写真8 鋼製支保工
(F09 3:50)

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に焦点を絞り、機械化と技能の関係、技術の段階的発展、安全性確保のための取り組みの変化など、映画から抽出した情報を示す。

3. 2. トンネル掘削と巻き立て

一般的に、工事誌にはトンネル掘削と巻き立ての記述は少ない。トンネル内径とセントルの図面、写真などの記載に留まることが多い。それに比して、建設記録映画は現場の臨場感をよく伝えている。

3. 2. 1. トンネル掘削

3. 2. 1. 1. 佐久間ダム以前のトンネル掘削

丸山水力発電所」(以下、「丸山ダム(F01)」と、ダム名とカッコ内の資料番号で表記する。資料番号は表 2 に示したものである。)には、圧力トンネル掘削のための横坑から木製トロッコによってズリを運び出す作業員、空のトロッコを運び入れる作業員の様子などが記録されている。坑口は扁平で捨て枠(ひさし)がある。笠木と土嚢を積んでいることも確認できる(写真 1)。また、トンネル掘削において、側壁の後に上断面掘削を人力で行っていることが記録されている。作業員の服装には作業着と法被の二種あることが確認された。掘削とズリ出しにおいては、機械化以前の当時一般的に行われていた方法が採られたことが特徴であるといえる。

工事誌¹¹⁾には、圧力トンネル全線で木軸の支保工が行われたことが示されているが、具体的な掘削方法は示されていない。

「上椎葉ダム(F02)」、「井川ダム(F03)」にはトンネル掘削の場面は撮影されていない。

3. 2. 1. 2. 佐久間ダムでの全断面掘削工法

「佐久間ダム(F05)」には、内径 11m の仮排水トンネルにおける機械化された全断面掘削(以下、単に「全断面掘削」とする。)の様子が収められている。ドリルを搭載したジャンボを使って削孔し、5m の長孔発破が行われた(写真 2)。火薬の装填場面、発破の場面も記録されている。ジャンボの下部を潜りショベルとダンプトラックが切羽近くに移動し(写真 3)、ズリの積み込み作業が

行われた。ダンプトラック2台が並列している様子が記録されている(写真 4)。ズリの岩石は大きく、良質な地質であったことも理解され、全断面掘削を可能とする前提条件であったと看取された。ダンプトラックによるズリの搬出およびジャンボが再び前進して切羽に接近する様子も記録されている(写真 5, 6)。ダンプトラックへの積み込みとズリの運び出しが待ち時間なく整然と展開されている様子が確認できる。

「佐久間ダム(F04)」には、内径 7m の圧力トンネルの掘削時に、発破後のズリを積んだトロッコと空のトロッコを入れ替えるため、チェリーピッカーと称される昇降機を使っていたことが示されている(写真 7)。ズリをトロッコに積むローダー操作員は防塵マスクを着用していた。

全断面掘削工法の特徴として、ジャンボなどの掘削装置の新考案、大規模なズリ出しを可能にする大型機械の投入がこれまで指摘されてきた。しかし、建設記録映画を視聴すると、重機の入替えを無駄なく展開していくオペレーションこそがこの工法の急所であることを実感させる。映画は施工現場の様子を明瞭に示している。

3. 2. 1. 3. 全断面掘削工法の伝播

「只見川第 2 部(F08)」(3 基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、ならびにチェリーピッカーによるトロッコの入替え作業が明瞭に記録されている。佐久間ダムの経験は継承され、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。風管は明確に確認できなかった。粉塵で見通しが悪い。作業環境は良好とはいえない。

「奥只見ダム(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¹⁴⁾と照合するとこの場所は第 13 号トンネルと判断される。I 形鋼による支保工が用いられていることが示されている。支保工に古レールを使用した時代から一足に H 形鋼に移行したのではなく¹⁵⁾、I 形鋼を使用し



写真9 ジャンボによる掘削
(F12 27:50)



写真10 トロ列車によるズリ搬出
(F12 29:35)



写真11 鋼製支保工
(F16 30:08)



写真12 風管
(F22 5:02)



写真13 木製セントル
(F01 14:55)



写真14 側壁への流し込み
(F01 15:00)

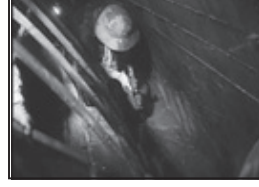


写真15 バイブレータ操作
(F01 15:05)



写真16 圧力トンネル完成
(F01 15:12)

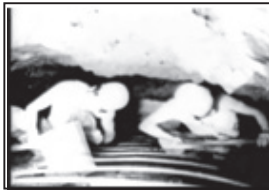


写真17 天端付近の巻き立て
(F02 14:02)

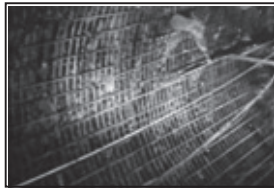


写真18 圧力トンネル配筋
(F04 57:38)



写真19 スチールフォーム
(F04 58:30)



写真20 コンクリートブレース
(F04 59:20)

た鋼製支保工の施工例があったことが示されている。

矢木とともに矢板も確認できる。巻き立てを行った部分と行わなかった部分があることが示されている。側壁を巻き立て、山の状態のよい箇所のトンネル上部は巻き立てなかった可能性が高い。側壁下部に R はなく直線であることが示されている(写真 8)。支保工を必要とする軟弱な地質の現場においても全断面掘削工法が採用されていることが示されている。

「有峰ダム(F12)」には圧力トンネルにおけるジャンボを使った全断面掘削の様子が示されている(写真 9)。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(写真 10)、坑外に搬出された。坑内には「安全第一」の掲示があることも確認された。

「黒部ダム(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(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を用いた掘削作業、スコップによる運び出しの様子が示されるとともに、木製セントルと型枠が確認できる。掘削壁面と型枠の間にコンクリートが投げ込まれていることが分かる。本坑とともに水抜き用のトンネルにおいて H 形鋼による支保工が確認された(写真 11)。曲げ加工はされず、直線の H 形鋼を短く切断し溶接して支保工としていることが分かる。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、トロッコによる搬出、チェリーピッカーによるトロッコの入れ替え作業が示されている。岩質の良好な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、鋼製支保工と矢木が使われていることなど、随所に岩質が悪いことが建設記録映画に示されている。トンネル内部の施工現場に新鮮な空気を送るための大きな風管が見られる。大型のコンプレッサーが使用され作業環境がより改善されてきたことが暗に示されている(写真 12)。

3. 2. 2. トンネル巻き立て

3. 2. 2. 1. 人力による巻き立て

機械化施工が導入される以前の人力による巻き立ての様子が建設記録映画に示されている。

「丸山ダム(F01)」には、圧力トンネルの巻き立て作業が記録されている。木製セントルが明瞭に確認された(写真 13)。上半断面で作業員がコンクリートを積んだトロッコを運搬する様子、仮巻・本巻の二重の巻き立て作業、コンクリートの側壁へのシュート作業(写真 14)、型枠内でのバイブレータによる締め固め作業が記録されている(写真 15)。仮巻を行っていることから地質が不安定であったことが看取される。さらに、巻き立ての終わった圧力トンネルが記録されている(写真 16)。トンネル頂部付近の幕板の跡が示す向きと側壁のそれとが異なっている。これはトンネル頂部のコンクリートがトンネルの軸方向に打ち込まれたことを示すものである。

工事誌²²⁾には、トンネル全線にわたって仮巻が施されたことが示されているとともにセントル写真が掲載されている。しかしながら、高々2 ページの記述であり、現場の状況を十分に伝えているとは言い難い。

「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

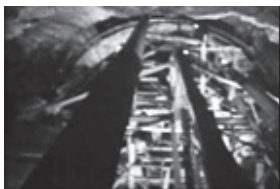


写真21 コンクリートポンプ配管
(F04 59:45)

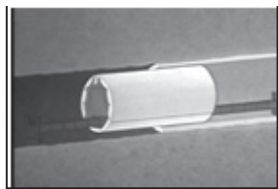


写真22 ニードルビーム
(F04 58:25)



写真23 コンクリートポンプ
(F06 32:15)



写真24 コンクリートポンプ配管
(F06 32:23)



写真25 鋼製セントル
(F13 15:23)



写真26 セントルから配筋
(F13 15:28)



写真27 型枠固定
(F13 15:35)



写真28 架台上段トロッキ搬送
(F13 16:00)

頂部付近の巻き立ての作業が記録されている。コンクリートをトロッキで人力運搬し、1名が下からスコップでコンクリートを投げ上げ、狭い天端の隙間に入り込んだ2名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17)。

人力で行われてきたトンネル頂部付近のコンクリート打設を機械化、省力化することが、在来巻き立て工法の大きな課題であったことが実感させられた。

工事誌^{D3)}には、セントル断面図、施工状況写真、工事歩掛り表などが示されているが、巻き立ての具体的な記述はない。

3. 2. 2. 2. 佐久間ダムにおける巻き立ての機械化

佐久間ダムの仮排水トンネルでは、入口と出口付近を除き巻き立ては行われていない。しかし、圧力トンネルでは全断面掘削とともに巻き立ても行われた。

「佐久間ダム(F04)」によると、全断面掘削後、圧力トンネルの巻き立ては次の手順で行われた。まず、異型鉄筋ではなく丸鋼で配筋され(写真18)、その後スチールフォームが所定位置に配されたことが示されている(写真19)。スチールフォームの後方には圧縮空気によってコンクリートを叩き込むコンクリートプレーサーが定置され(写真20)、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21)。スチールフォームに固定されたパイプの位置から判断し、トンネルのスプリングライン位置の左右2か所および頂部1か所の合計3か所にコンクリートプレーサーからコンクリートが打ちこまれたと推測された。この点は、佐久間ダム建設に従事した元・電源開発社員へのヒアリングによって再確認された(注2)。

この大型型枠ともいえるスチールフォームには、移動を容易にするとともに側壁と同時にインバートの打設を容易にするためのニードルビームが取り付けられていた。ニードルビームの機構がイラストを使って分かりやすく解説されている(写真22)。ニードルビームを備えたスチー

ルフォームの使用は画期的な工法であったことが強調されている。

木軸セントルの解体と再組み立てに要する時間を廃し、かつトンネル頂部付近も含め全面にわたって機械によるコンクリート打設が行われた。大きな進歩である。

「佐久間ダム(F06)」には、コンクリートのスチールフォーム位置までの輸送方法が記録されている。コンクリートはコンクリートポンプによって圧送され、坑口からスチールフォームの地点まで運搬された(写真23)。コンクリートポンプはスクイズ式ではなくピストン式であることが示された。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(写真24)。フランジの継手部分のボルト締め作業が記録されている。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も記録されている。

佐久間ダムの公式な工事誌は作られていない。そのためトンネル巻き立てに関するまとまった記録は存在しない。建設記録映画自体が貴重な記録であると評価される。文献からの断片的な情報を補足すると次の二つが重要であると思われる。

文献¹⁶⁾には、コンクリートポンプとコンクリートプレーサーの使用に関し、「コンクリートは横坑外のバッチャープラントからポンプクリートで(途中で中継ポンプクリートで)輸送し、プレーサーで打ち込んだ。」と記述されている。

電源開発の社内資料¹⁷⁾によると、ポンプクリートとコンクリートプレーサーは共にアメリカ製で、それぞれChain-Belt社製、Press Weld社製であった。アメリカ製機械を使用してトンネル巻き立ての大胆な機械化が試みられたと考えられる。

3. 2. 2. 3. トンネル巻き立ての機械化の進展

「有峰ダム(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。工事誌^{D4)}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25)、セントルの外側に丸鋼鉄筋の配筋作業が行われた様子が記録

(注2)2009年4月23日、吉田正へのヒアリングを実施。



写真29 コンクリートシュート
(F13 16:10)



写真30 コンクリートポンプ
(F13 16:20)



写真31 ポンプ定置ジャンボ
(F13 16:30)



写真32 コンクリートポンプ配管
(F13 16:28)



写真33 坑道式発破
(F05 0:26)



写真34 国産ショベル
(F01 9:37)



写真35 国産ダンプトラック
(F01 9:40)



写真36 米製ダンプとショベル
(F05 18:00)

されている(写真 26)。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 27)。

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(ジャンボと説明されている)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し、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 28)。トンネル側壁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 29)。トンネル頂部の巻き立てには、コンクリートがジャンボ下段デッキに設置されたコンクリートポンプからパイプで圧送され、巻き立て位置に運ばれた(写真 30, 31, 32)。工事誌^{D5)}によると、このポンプは石川島重工業製であることが分かった。丸山ダムなどで行われた在来工法を基としつつ佐久間ダムでの機械化施工を参考にしていることは明らかである。

「有峰ダム(F13)」には、トンネルの奥から順次巻き立てが行われ、次第にセントルとジャンボを坑口に引き戻すように巻き立てられた様子が記録されている。また型枠を外す作業も記録されている。

3. 3. ダム本体工事

3. 3. 1. 堤体位置掘削

堤体位置の両岸の岩盤を露出させるため、発破によって表土が取り除かれる。初期の建設記録映画にはズリ運搬作業の機械化が紹介されている。

「丸山ダム(F01)」、「佐久間ダム(F05)」には、急斜面を一気に掘削する坑道式発破が採用されたことが記録されている(写真 33)。大量に火薬を使用する坑道式発破は、経験を有する火薬技術者の不足から、また安全管理上から、今日では行われておらず、建設記録映画が貴重な技術の記録となっている。

「丸山ダム(F01)」には、日立製ショベルによってズリが国産ダンプトラックに積み込まれる様子が示されている(写真 34)。ダンプトラックと称しても汎用トラックの荷台を改造したものであることが理解される(写真 35)。

ショベルは油圧式ではなくワイヤー式であるにもか

わらず極めて円滑な操作が行われていたことが示されている。重機運転の習熟に関しては研究支援委員のメンバーが強く指摘した点である。すでにこの段階で重機の運転に操作員が習熟していたことを印象付ける。最も優れた作業のみが選択され撮影された可能性は低い(注 3)。本工事によって習熟した可能性も否定できないが、丸山ダム以前、例えば、戦前の朝鮮半島や満洲におけるダム建設、戦後の米軍発注の土木工事などの経験の蓄積も推測される(注 4)

「佐久間ダム(F05)」には、アメリカ Marion 社製のショベルとアメリカ Euclid 社製ダンプトラックによるズリの積載作業が記録されている。丸山ダムのショベルとダンプトラックに比較すると重機の堅牢さが際立っている(写真 36)。ショベルやダンプトラックなどの整然とした配置を見ると、極めて効率的に稼働していたことが示されている(注 5)。

3. 3. 2. コンクリート打設

3. 3. 2. 1. パイプレータとケーブルクレーン操作

パイプレータは早くから日本人の体形に合った国産品が使用されてきた。戦前の塚原ダムにおいて、欧州製と日本製が比較され、後者が選択されたことが示されている²⁰⁾。さらに戦後、圧縮空気を動力源にしたエア式から電動式に置き換わったことも示されている²¹⁾。しかし、その操作方法、操作技能に関する情報は工事誌から見

(注 3) 英映画社社長・宮下英一へのヒアリングによると、当時、フィルムは高価で取り直しはほとんど行われなかったという。2004 年 3 月 12 日ヒアリング実施。

(注 4) 丸山ダム本体工事を受注した間組は、第二次大戦前に水豊ダムの施工経験があり、また戦後の進駐軍工事で重機械施工の実績があった。OM スクール(Operation Mechanic School)を開設してオペレーターの養成にいち早く努めていたことも示されている¹⁸⁾。

(注 5) 研究支援委員の一人、清水建設・安河内孝は、佐久間ダム建設記録映画を視聴した印象を土木学会で講演し、この点を指摘している¹⁹⁾。



写真37 バケットの昇降(1)
(F02 5:57)



写真38 バケットの昇降(2)
(F02 5:58)



写真39 バケットの昇降(3)
(F02 5:59)



写真40 バケットの昇降(4)
(F02 6:00)



写真41 3箇所同時打設
(F02 5:53)



写真42 保安帽着用
(F02 1:20)



写真43 エアパイプレータ
(F03 35:28)



写真44 電動式パイプレータ
(F03 43:37)



写真45 パイプレータ作業
(F04 45:08)



写真46 「安全第一」の掲示
(F13 10:13)



写真47 無事故工事の掲示
(F05 5:37)



写真48 バイブルドーザ
(F13 26:58)

出すことが難しい。

「丸山ダム(F01)」には、バケットからコンクリートが投下され、エアパイプ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。エアパイプレータは 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 人がパイプレータ作業を行っていることが示されている。ヘルメットの着用はなく、布製帽子を被っている。

「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 名がエアパイプレータ 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 本のパイプレータが使用されていることが示されている。

コンクリートバケットは圧縮空気によって開閉した。エアチューブの連結によって開蓋し、コンクリートが投下された。バケットを静止した状態でコンクリートを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中の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撮影されている(写真 37, 38, 39, 40)。ケーブルクレーン操作員、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 41)。1 ブロックに 20～30 名の作業員が密集していた。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着用しているが、日本人作業員は布製の帽子を着用していることも確認された(写真 42)。

「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。間組の印の入った法被姿の作業員がエアパイプレータを操作している(写真 43)。2 人 1 組での作業である。機材の重量を実感させる映像である。その数ヵ月後の打設が別のシーンにも収められている。そこでは電動式パイプレータによる締め固め作業が行われている(写真 44)。この場面では 1 人 1 本を操作している。電動式パイプレータは、周波数変換によってより高い振動数を得、締め固めの効率化を促進した。工事誌^{D6)}によると、東京芝浦製の電動式パイプ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可能性が推測される。

「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。エアパイプレータを 1 人 1 本で作業している。ヘルメット装着の作業員に混じって、布製帽子を着用した作業員も認められる(写真 45)。

「佐久間ダム(F06)」には、都合三度のパイプレータ作業が被写されている。ナレーションによると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の時点においてもエア式のパイプレータが使用されていた。

「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プレータ作業が記録されている。エアパイプレータを 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(F10)」には、1958 年 9 月 16 日の初打設時の 6 m 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ペダルを踏み込んでバケットを



写真49 バイブルドーザ
(F10 22:58)



写真50 コンクリート均し
(F18 5:53)



写真51 バイブルドーザ
(F18 26:15)



写真52 型枠固定作業
(F01 13:50)

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バッチャープラント下部に移され、新しいコンクリートが積載された。

「有峰ダム(F12)」には、作業員が電動式バイブレータを操作する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本のバイブレータを挿入し締め固められている。バイブレータ作業員は保護眼鏡を装着していた。

「有峰ダム(F13)」には、バッチャープラントに巨大な「安全第一」の看板が掲示されていることが示されている(写真46)。工事の安全に対する意識が判読される。有峰ダム以前の工事に対する安全意識の高揚を示す指標としては、佐久間ダムにおける資材運搬道路の脇に掲げられた「お互いに無事故で築く佐久間ダム」の標語が確認されている(写真47)。

3.3.2.2. バイブルドーザの導入と改善

ダム本体の岩着部分および上下流面のコンクリートには強度が求められるため、セメント量の豊富なコンクリートが打設される。結果、高スランプとなり、人力によるバイブレータ作業が可能であった。しかし、ダム内部のコンクリートは、セメントの量が抑えられ、人力によるバイブレータ作業は困難である。この理由からもバイブルドーザ、すなわち、バイブレータを数本固定したブルドーザが導入された。水越²²⁾によると、わが国のダム施工現場で初めてバイブルドーザが用いられたのは有峰ダムである。文献には²³⁾、スイス Mauvoisin ダムでの使用実績を知り、バイブルドーザが導入されたことが記録されている。

「有峰ダム(F13)」、「有峰ダム(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本のバ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48)。この場面は1957年から58年にかけて撮影されたものである。

有峰ダムで用いられたバイブルドーザは、ブルドーザの排土板を外して電動式バイブレータを取り付けた単純な機構であり、バイブレータのコンクリートへの垂直挿入の原則が担保されていない。バイブレータの首に相当する部分に負担がかかったものと推測される。この成否については同文献にも工事誌¹⁷⁾にも記述がない。

「奥只見ダム(F10)」には、バイブルドーザによる作業の様子が示されている。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、バイブレータ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49)。ブルドーザと称されたがトラクタを

改造したものが利用されている。フォークリフトのような垂直移動の機構が取り付けられていることが確認され、バイブレータの垂直挿入の原則が守られていることが示めされている。

工事誌^{D8)}には、バイブルドーザは1959年末から1960年まで使用されたが、この試みはわずか数ヶ月で断念されたことが示されている。原因は、バイブルドーザによる締め固めと、リフト隅角部など、従来の手動による締め固めを切り替える際の要員配置の転換が円滑さを欠いていたことにあった。新技術の導入にはオペレーションの確立が不可欠であることを示唆している。

「黒部ダム(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50, 51)。油圧式のブルドーザにバイブレータが直線的に上下するしくみが考案されている。また、電動式バイブレータ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バイブレータにはキャブタイヤケーブルをもつ電動式が必要条件であったことが建設記録映画から認識された。バイブレータの動力が圧縮空気から電気に発展したことによって、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。このことがバイブルドーザの発想を導いた一因であると推論される。

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を与えている。

「畑薙ダム(F19)」には、電動式バ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バイブレータが使用されている。

3.3.2.3. 型枠

合板を使った木製型枠、スライディングフォーム、鋼製型枠への変化が知られている。建設記録映画にこれらの発展過程と型枠の設置に関する作業が示されている。

3.3.2.3.1. 木製型枠のスライド方法の改良

「丸山ダム(F01)」には、ダム溢流頂部での、型枠固



写真53 中空重力式堤体打設
(F03 52:32)



写真54 スライディングフォーム
(F04 54:40)



写真55 人力での型枠移動
(F04 54:48)



写真56 クレーンによる型枠設置
(F17 18:20)



写真57 落下防止網
(F19 5:30)

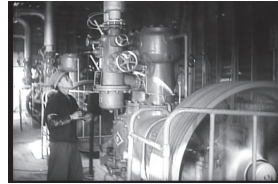


写真58 プレクーリング冷凍機
(F01 7:04)



写真59 仮締切堰堤
(F02 18:50)



写真60 クーリングパイプ加工
(F02 6:05)

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点に注意が必要である(写真 52)。

「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。2700×1800mm 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。合板が利用された最初期のものである²⁴⁾。

「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型枠をスライドす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 名はヘルメットを着用していない。また打設半ばのダムを上空から斜めに俯瞰するカットを見ることができる(写真 53)。中空重力式のダムでは複雑な打設形状をもつため、型枠の数も多く、設計、固定、移動に労力を要したことが改めて実感される。

「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(写真 54)。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 55)。

3. 3. 2. 3. 鋼製型枠の導入

「奥只見ダム(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。国内のダム施工現場において初めて鋼製型枠が使用された²⁵⁾。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。ウィンチ、チェーンブロックともに 4 基同時に同じ速さで引き上げなければ、傾きや隣接する型枠との間にずれが生じてしまう。建設記録映画の視聴によって、A フレームによる引上げが協調作業であったことが示された。

型枠には足場はなく、型枠の部材にのった作業員が

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が、一部の作業員には安全帯の装着が見られた。女性が型枠のケレン作業を行っている様子も記録されている。

「有峰ダム(F12)」にも、4 基の A フレームで型枠が引き上げら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。

「黒部ダム(F17)」にはリフト高 3m の大型の鋼製型枠がクレーンによって移動され、設置済みの型枠との連結作業が撮影されている(写真 56)。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。型枠には落下防止網が取り付けられていた(写真 57)。映像が不鮮明なため安全帯の装着は確認できなかった。

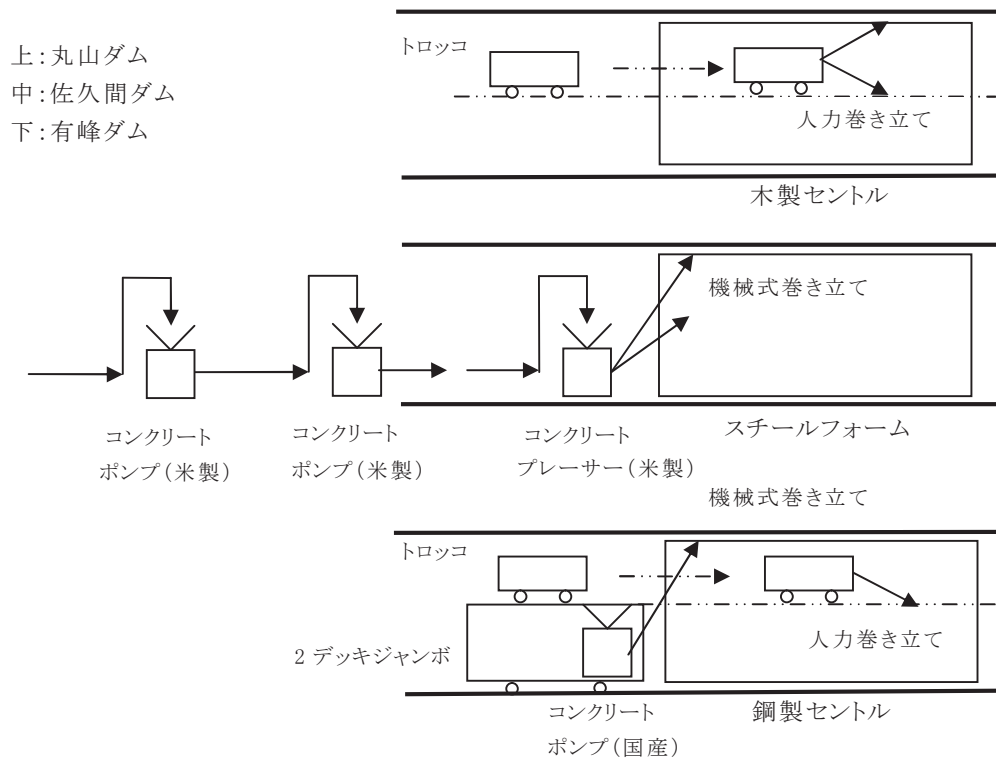
3. 3. 3. 人工冷却

堤体でのクラック発生の原因となるコンクリートの水和熱を除去するため、プレクーリングとパイプクーリングが導入された。機械化施工と並ぶ重要な技術であった。

丸山ダムでは、洪水によって生じた工事の遅延を回復するため、夏季のコンクリート打設にパイプクーリングが部分的に試みられたことが示されている^{D9)}。

しかし、「丸山ダム(F01)」には作業の様子が記録されていない。他方、冷凍機室内が撮影されており、このダムで初めて行われたプレクーリングについて解説されている(写真 58)。初めて本格的にパイプクーリングが行われたのは上椎葉ダムである²⁶⁾。

「上椎葉ダム(F02)」には、ダム本体上流側の仮締切堰堤がアーチ形状をしていることが示されている(写真 59)。工事誌^{D10)}には下記のようにごく僅かな記述が認められた。「施工に当たっては、右岸より 10.50m および 20.50m の両位置に幅 1.0m のスロットを設けて、スロット継目工法によって施工した。施工時に、堤体内に抵抗温度計 7 個を埋め込み、施工時およびその後の温度履



出所)映画及び工事誌などを参考に作成

図1 丸山, 佐久間, 有峰ダムの圧力トンネル巻き立て方法

歴を測定して、本ダムの建設の資料とした。」

重力式ダムに比べると、アーチ式ダムの底辺部分は薄く、パイプクーリング導入の必然性は希薄である。本邦初の本格的な高アーチダムの建設に際し、仮締切堰堤を同様のアーチ形状で築き、埋設した温度計によって堤体内の温度が計測され、人工冷却の必要性が実験検証された。新技術の導入に際し、細かな検証の積み重ねが丹念に行われていたことを示しているといえる。

さらに、「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60)。文献²⁷⁾によると、最初、半円形および四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直線パイプを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、工事誌^{D11)}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が収められている。グリーンカットが極めて丁寧に行われていることが示されている。

「有峰ダム(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^{D12)}、映画には記録されていない。

4. 考察

第3章では、各ダム施工で採用された要素技術を横断的に検証し、当該技術の発展過程を抽出した。ここではさらに一歩踏み込み、(1)佐久間ダムを境にしたトンネル巻き立て機械化の展開、(2)コンクリートバケットを例にしたダム施工の機械化と技能の関係、(3)ダム本体コンクリート打設技術のシステム化、の3点で再検討する。

4.1. コンクリートポンプの国産化とトンネル巻き立て技術の漸進的発展

全断面工法が用いられた良好な地質条件の現場では、トンネル巻き立てにおける機械化施工の発展を見ることが出来る。

佐久間ダムの圧力トンネルではスチールフォームを用いた巻き立てが行われた。有峰ダムの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。建設記録映画を視聴すると、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ることが示されている。以下に、コンクリートポンプの発展を軸としてトンネル巻き立ての技術発展について考察する(図1)。

丸山ダムでは、石川島重工業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²⁸⁾。この点は工事誌に全く記述されていない。

佐久間ダムでは圧力トンネル内に定置した 2 台のコンクリートポンプによって打設場所にコンクリートが輸送され、スチールフォーム後方に設置されたコンクリートプレーサーによって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、アメリカ製コンクリートポンプの使用によって機能した。

これに対して、有峰ダムの圧力トンネルでは、2 デッキジャンボ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ツコ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重工業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バッテリーカー及び人力でコンクリートが運ばれた。

スプリングラインより下半分のトンネル側壁は人力でコンクリートが打ちこまれたことに鑑みると、機械化施工という視点では佐久間ダムより一歩後退した印象を与えるかもしれない。しかし、国産コンクリートポンプの性能向上を確認し、新技術を導入しつつ確実な工法を考案していると判断されるべきである。2 デッキジャンボにコンクリートポンプを設置し、上段・下段でコンクリートの打設方法を使い分け、かつジャンボごとコンクリートポンプを移動可能とした着想は注目に値する。

この着想は丸山や上椎葉ダムで行われていた在来の打設方法を基としつつ、佐久間ダムでの機械化の試みを徹底研究し、在来工法と接合させていることを強く印象付ける。佐久間ダムでの技術情報が共有され、技術の試行錯誤と確立、そして後継の現場への円滑な伝播を示していると思われる。

4. 2. ダム本体工事におけるコンクリート打設の技能

バケットからのコンクリート投下にも熟練した技能が求められた。バケットからのコンクリート投下に合わせて、最初ケーブルクレーンを僅かに下降させ、その後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、バケットがクレーン操作員の視覚に入らない打設場所が皆無であったとは言い切れない。これらの点から、この作業はケーブルクレーン操作員、エアチューブ着脱担当者、そして旗手の 3 名の連携に基づくものであると判断された。この連携作業は、上椎葉ダムだけでなく、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の経験や技能が全否定されたわけではなく、新しい技術に新たな技能が求められ、それらが新技術を取り囲み再編成され、一体化されること

が必要であった。

4. 3. コンクリート打設のシステム化

型枠、バイブレータなどの要素技術の発展は、施工を省力化、効率化してコストダウンと早期竣工を実現する思想に基づいている。しかし、黒部ダムでは、それら要素技術の改良、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、互いに有機的に関連しあって一つの合理的なコンクリート打設システムとして構築されたと考えることができる。まず要素技術の発展を整理する。

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モビル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導入は必然であった。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、周波数変換によって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った。しかし、電動式バイブレータに発展したことがバイブドーザの必要条件を満たすことにもなった。

ダム本体の打設が進むにつれてセメント量を減らし、スランプの小さい硬いコンクリートによって打設するようになった。堰堤上でこの硬いコンクリートを均すにはブルドーザが必要であった。また、人力でバイブレータを挿入することは無理であり、重機に固定することが必要となった。しかし、ブルドーザにバイブレータを組み込むためには引き回しに柔軟性のあるキャブタイヤケーブル付きの電動式バイブレータである必要があった。

また、バイブドーザはリフト上のすべての場所では効かない。隅角や型枠に近い場所の締め固めは従来どおり手動によるバイブレータ作業が求められた。バイブドーザと手動操作の切り替えに伴う人員配置にも工夫が必要であった。

手動バイブレータ操作に比べ、バイブドーザによる締め固めは水平方向に大きな応力をもたらすことになった。この応力に耐えるためにも、鋼製型枠の使用は必須であった。

大林らが指摘するように²⁹⁾、ダム施工現場へのセメント

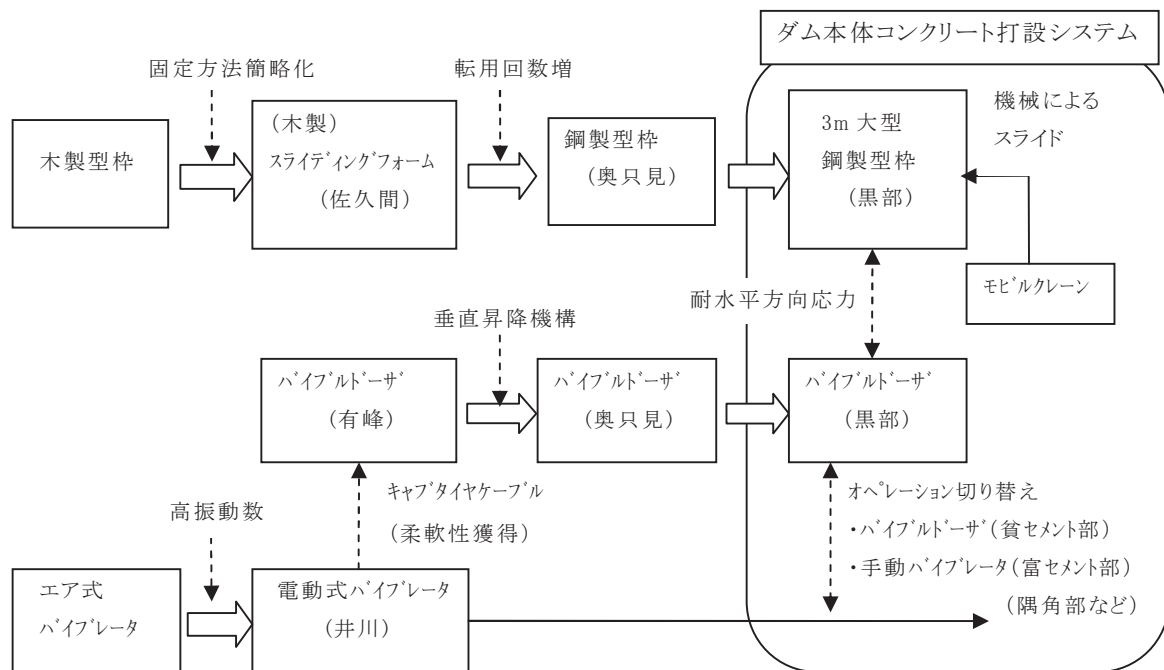


図2 要素技術の個別発展からコンクリート打設システム化への流れ

の運搬、骨材製造などが機械化されても、最終のコンクリート締め固め作業が人力で行われていては効率的でない。パイプドーザーの導入はダム本体施工機械化の決め手であった。しかし、パイプドーザーの導入には、鋼製型枠、モビークレーン、パイプレータなどが一定水準に達し、かつ互いに密接に関連し合うことが求められていた。パイプドーザーの導入はダム本体コンクリート打設のシステム化を必然的にもたらしたといえる。

型枠、パイプレータなど要素技術の個別の発展過程、ならびにパイプドーザーと鋼製型枠の関係、鋼製型枠とそれを引き上げるモビークレーンとの関係、パイプドーザーと手動パイプレータの切り替えの必要性などを図2に示した。

5. 結論

建設記録映画を史料として1953～69年における発電用高ダム施工の技術発展を分析した。その結果、以下の3つの知見を得た。

- [1]機械化施工は新しい技能を必要とした。ショベル、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のこと、バケットからのコンクリート投下は、ケーブルクレーン操作員、旗手、リフト上の打設作業員の高度な連携作業に支えられていた。
- [2]ダム建設の各工種における要素技術の試行錯誤と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。

丸山ダムの圧力トンネル巻き立てでは国産コンクリートポンプの導入に失敗したが、佐久間ダムではアメリカ製コンクリートポンプを導入して機械化打設の効

果を高めた。後継の有峰ダムでは改良された国産コンクリートポンプが採用されて人力打設と組み合わせられ、より確実な打設方法が生み出された。

丸山、上椎葉、佐久間、井川、奥只見ダムでは、型枠、パイプレータなどの要素技術の漸進的な性能向上が見られた。さらに黒部ダムに至ると、個々に発展した要素技術が互いに有機的に関連し合い、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。ヘルメット着用の徹底、型枠作業における足場の確立、防護眼鏡と防塵マスクの使用などが一部の映画に示された。上椎葉、佐久間ダムでは1リフト上で複数のコンクリート打設が行われていたが、有峰、奥只見、黒部ダムなどではそのような例は見られなくなった。有峰ダムのパッチャープラントには「安全第一」の看板が掲示されていた。畑薙第一、奈川渡ダムでは、それぞれ型枠作業時の落下防止網、トンネル作業時の大型風管などが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。

労働安全衛生法の公布は本研究対象期間後の1972年のことである。同法の公布以前から少しずつ安全への意識が高まり、不十分ながらも様々な改善がなされていることが示された。

6. 補論

土木技術史料としての建設記録映画の評価に関してすでに著者らは報告しているが³⁰⁾、本研究の成果を踏

まえて再度この問題を補論として整理する。

工事誌には技術を行使する技能に関する記述は極めて少ないか皆無である。文字による記述が困難であることが原因であろう。この種の情報に関する建設記録映画の優位性は議論するまでもない。結論[1]に示した機械化と技能の関係を明らかにする上で、建設記録映画の果たす役割は大きい。

結論[3]に示した安全に関する様々な試みが次第に形成されていく過程に関して、管見の知るところ既往研究はない。ヘルメット着用の徹底、安全第一の標語掲示、安全網や安全帯の使用などを視覚的に確認できる点から、建設記録映画の史料的価値は評価されるべきであると思われる。

しかし、結論[2]に示した新技術、新工法の試行錯誤と後継ダムへの伝播に関しては、建設記録映画と工事誌などが補完的な関係にあるものと考えられる。

トンネルの全段面掘削を例にあげる。工事誌はトンネル断面図、セントルの図面、機械類の仕様、掘進データなど詳細ではあるが静的でかつ分断された個別の技術情報から成立している。これに対し、建設記録映画はジャンボによる削孔、ダイナマイトの装填、発破、ズリ出しなどのオペレーションが示され、それがいかに円滑に無駄時間なく展開されたのかを全体像として動的に伝えている。このことは、建設記録映画と工事誌がともに記録を残し重複している事項にあっても、それぞれの記録が伝える情報は別物と考えるべきであることを示している。

丸山、佐久間、有峯ダムにおけるトンネル巻き立ての機械化については、建設記録映画によって巻き立てのオペレーションを確認しつつ、工事誌や文献によって国産ポンプの失敗と成功、米国製ポンプの使用などの情報を統合して結論を導いた。

黒部ダムに至るダム本体工事要素技術の段階的發展とシステム化についても同様である。建設記録映画によってバイブレータの垂直挿入機構の考案やブルドーザ上の電動式バイブレータのキャブタイヤケーブルの意味などをヒントとして得、工事誌や文献によってバイブドーザ導入の経緯、オペレーションの切り替え失敗などの事実を確認し、両者を統合して結論を演繹した。

すなわち、建設記録映画も工事誌もそれぞれ単独では記録として不十分な点を抱えている。建設記録映画は動的でかつ関連した技術全体をシステムとして俯瞰する媒体であるが、個別の詳細な技術情報などは工事誌に及ばない。

以上のような観点から、建設記録映画と工事誌は、技術の記録に関し相補的関係を持つものと思われる。

7. 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「映像史料分析による昭和 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、貸与にご配慮頂いた。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。元・清水建設株式会社土木技術本部・安河内孝氏にはダム施工技術の解説で特にご指導頂いた。格別の感謝の意を表する。

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ーダム技術者の発言からー」, 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) 町村敬志:「開発映画の誕生」, 『開発の時代・開発の空間』, 文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B))報告書, 研究代表者・町村敬志, pp.261-386, 2004年3月
- 7) 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」, 土木史研究論文集, Vol.28, pp.67-78, 2009年
- 8) 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
- 9) 上掲 2)
- 10) 上掲 3)
- 11) 藤本得:「井川ホローグラビティー・ダムの計画ならびに工事について」, 発電水力, No.23, pp.2-13, 1956年4月
- 12) 和久英雄, 野々山明:「井川ホローグラビティー・ダムの工事計画とその実績についてⅡ」, 発電水力, No.34, pp.19-36, 1958年5月
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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.180, 1990年

- 16) 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
- 17) 電源開発佐久間建設所：「佐久間発電所計画概要」(内部資料)，1955 年 5 月
- 18) 間組百年史編纂委員会編：『間組百年史 1945～1989』，間組，p.194-201，1990 年
- 19) 安河内孝：「佐久間ダム建設工事記録映像からの教育効果」，『技術教育における映像メディアの効果』，土木学会平成 20 年度全国大会研究討論会梗概，pp.1-4，2008 年
- 20) 空閑徳平：「塚原堰堤」，土木工学，Vol.5，
No.12，pp.95-800，1936 年 12 月
- 21) 上掲 2)
- 22) 上掲 2)
- 23) 大林士一，市浦繁：「有峰ダムにおけるパイプロードーザによるダムコンクリートの締固めについて」，
建設の機械化，No.107，pp.28-31，1959 年
- 24) 水力技術百年史編纂委員会編：『水力技術百年史』，電力土木技術協会，p.258，1992 年
- 25) 上掲 2)
- 26) 上掲 24)，p.265
- 27) 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
- 28) 上掲 18)，p.200
- 29) 上掲 23)
- 30) 上掲 7)

引用工事誌

- D1) 関西電力：『丸山発電所工事誌』，p.551，1956 年
- D2) 上掲 D1)，p.551-552
- D3) 九州電力土木部：『アーチダム 上椎葉ダムの計画と施工』，丸善，p.481-485，1957 年
- D4) 北陸電力：『常願寺川有峰発電所計画工事誌』，
p.343-349，1964 年
- D5) 上掲 D4)，p.343
- D6) 中部電力：『井川発電所工事誌』，p.212，1961 年
- D7) 上掲 D4)
- D8) 鹿島建設奥只見出張所：『奥只見ダム工事誌』，
p.3-26，1962 年
- D9) 上掲 D1)，p.132，1956 年
- D10) 上掲 D3)，p.206，1957 年
- D11) 上掲 D6)
- D12) 関西電力：『黒部川第四発電所工事誌』，p.759，
1966 年