

コンクリートダムにみる戦前のダム施工技術

A Study on the Construction Technique for Concrete Dam before the World War II

松浦 茂樹*

by Shigeki MATSUURA

要旨：日本のコンクリートダムの施工技術は、特にアメリカと密接に関係しながら発展した。1924年に竣工した大井ダムが機械化施工の嚆矢だが、施工機械はアメリカから輸入され、アメリカ技術者が来日して指導した。やがて施工機械は国産化され、日本技術者のみで進められるようになったが、昭和10年代の巨大ダム建設にあたり再度、アメリカの施工機械が購入された。それらのダムは小河内ダム、大陸の水豊ダム、豊満ダムであるが、フーバーダム建設を契機として確立されたアメリカ新施工技術が熱心に導入されたのである。

1. はじめに

戦後の昭和20年代から30年代にかけて、治水あるいは発電開発、都市用水・灌漑用水の確保等を目的として上流山間部に大ダムが次から次と建設されていった。コンクリートダムでみると、1964（昭和39）年に高さ186m、堤体積160万 m^3 の黒部ダムを最高に100mを越す多くのダムが建設された。これらのダムは、周知のようにアメリカの大型重土工機械の導入によって進められた。日本の機械工業の発達によりやがて国産品に替わっていくが、当初はほとんどアメリカからの輸入であり、アメリカから技術指導を受けながら次第に自立していったのである。

では戦前は一体どうだったのだろうか。戦前でも日本は国内でダム高84mの三浦ダム、さらに大陸では水豊ダム、豊満ダムなどの世界的にも巨大なコンクリートダムを完成させている。これらのダムは、どのような技術の下で建設されていったのだろうか。よく言われる「戦前の施工水準はもつことつるはし」の技術レベルでは、とてもではないが建設することはできない。これらの建設を支えた技術とはどのようなものであったのか、コンクリートダム技術の中でも施工技術を中心に論じていくものである。

2. 大正年代までのダム施工技術

わが国のコンクリートダムの歴史をみると、1897（明治30）年に着工した神戸の布引五本松ダム（高33.3m）が最初といわれている。神戸水道創設時の水道専用ダムとして築造されたが、設計はイギリス人技師バルトンの指導の下で行われた。

水力発電用のコンクリートダムの最初は、鬼怒川にある黒部ダム（堤高33.9m、堤体積8.1万 m^3 ）で、イギリス人技術者の協力を得て1912（大正元）年、築かれた。布引五本松ダム、黒部ダムとも粗石張玉石コンクリート造（セメントと砂・砂利を混合したコンクリートを割石・玉石の間隔に充填する。また上下流面は型材替りの石材で被覆する。）である。この後、水力発電コンクリートダムは、揖保川水系草木ダム、阿賀川水系小荒ダムなどで高20m台のものが造られた。

高50mを越すハイダムは、1924（大正13）年完成の高梁川水系帝釈川ダム（堤高56.4m、堤体積3.0万 m^3 ）と木曽川水系大井ダム（堤高53.4m、堤体積15.3万 m^3 ）を嚆矢とする。特に大井ダムは、堤体積が10万 m^3 をこえる当時にとって大規模なもので、貯水容量も9,250千 m^3 と大きく、わが国初めての本格的なダム水路式発電所であった。またわが国で最初に機械化施工を行ったダムといわれる¹⁾。ダム上部に設けられた鉄製トラス橋脚のトレスル式高架橋上をガソリン機関車が走り、打設コンクリートを運んだ。コンクリートに投入する粗石はケーブルクレ

Keywords: 水豊ダム、フーバーダム、技術導入

*正会員 工博 建設省建設大学校

(〒330-0003 大宮市深作1丁目9-2)

ーンで運搬され、粗骨材は骨材プラントで破碎して製造された。コンクリートの打ち込みはシュートで行われ、また基礎処理であるカーテングラウトも初めて行われた。ミキサー、ガソリン機関車、ケーブルクレーンなどの工事用機械はアメリカから輸入され、設計・施工はアメリカ人技術者の指導によって行われた。

同じ時期に建設された宇治川水系志津川ダム（堤高31m、堤体積4万 m^3 ）をみると、日本人技術者が中心となって建設されたが、使用された機械のほとんどは外国から輸入された。着工前に所長が洋行し購入したのである。例えばグラウチングマシンが初めて導入され、粗骨材の製造にクラッシャー、コンクリートの練り混ぜにミキサーが使用された。だがコンクリートの運搬、打ち込み等は人力であった。

3. 昭和10年頃までのダム施工技術

この後、庄川水系の小牧ダム（堤高79m、堤体積28.9万 m^3 、1929年竣工）など70m前後のダムの完成をみるが、小牧ダムを指導した石井頼一郎によってわが国のコンクリートダム技術は集大成されたといわれる²⁾。しかしアメリカ技術と密接な関連をもちながら建設は進められた。

小牧ダムは当初、浅野総一郎によって1919（大正8）年に会社が創設され実施に移されたが、アメリカのストーン・エンド・ウェブスター社に建設を委託した。アメリカで当時、世界一と称されたアロロック（Arrowrock）ダムを手がけたMacyを中心にアメリカ人技師団が1921年に来日し、ボーリング等を行ってダム地点を決定し、設計を行った。だが経済の不況、関東大震災の突発によって着工には至らなかった。その後、1925（大正14）年、この会社は日本電力株式会社の傘下に入り、1924年竣工の志津川ダムに従事していた石井が責任者となって工事は進められたのである。

小牧ダムでは、発電の用途変更が行われた。このため、ほとんど総ての工事にわたって設計変更が行われた。また関東大震災後の1925年、物部長穂が地震力を考慮して断面を決定する「貯水池用重力堰堤の特性並びに基の合理的設計方法」を発表したが、これに基づいて小牧ダムの設計は再検討された。またアメリカ人技師によって採取されていたボーリン

グコアを用いて、耐圧強度試験が行われた。さらにダムに働く揚圧力に対して、これまでのコンクリート内部排水工に加えてカーテングラウトの背後に基礎排水工が実施された。石井は1924年、欧米へ水力発電工事の視察にいつているが、その時の調査・研究に基づいてアメリカ人技師の設計を基本に置きながら、手を加えていったのだろう。なお施工機械のほとんどは、アメリカからの輸入品であった。

その後、太田川水系の王泊ダム（堤高59.4m、堤体積12.8万 m^3 、1936年竣工）等、築造されていくが、ダム技術に大きな進展をみたのが1935（昭和10）年着工、1938年に竣工した耳川水系の塚原ダム（堤高83.5m、堤体積36.3万 m^3 ）である。

塚原ダムでは、わが国で初めて硬練りコンクリートが使用された。粗骨材はすべて原石山より採取した岩をクラッシャーで破碎して人工的につくり、細骨材は40km離れた海岸から索道で運搬した。またコンクリート配合は最新の説である水セメント比を用い、各種の骨材を混合して使用した。このために使用されたのが、重量配合で行うウォーセクリータ（コンクリート材料の配合調整器）である。この機器は日本で発明されたものだが、水とセメントを重量計量してセメントペースト状に練り混ぜ、その後ミキサー内で骨材を混合してコンクリートとするものである。わが国で初めてこの機器が使用されたダムは泰阜ダムであった。それまでは、打ち込まれた軟練りコンクリートの中へ、10%～20%の玉石あるいは粗石を投入するというものであった。

塚原ダムでのコンクリートの打ち込みは、横継目に縦継目に加えられたブロック工法が採用され、またそれまでのシュート方式ではなく、バケットに入れてケーブルクレーンで運搬打設する工法で行われた。打ち込んだコンクリートの中への玉石の投入は廃止された。この運搬機械は日本製であった。またそれまで大部分のダムで使われていたドラムミキサーから、ここでは可傾式ミキサーが使用されたが、これも国産品であった。また、コンクリートの締め固めのために、初めてバイブレータが使用された。それまでは突き棒等を用いた人力で行われていた。バイブレータは国産品（フランス通商製品）とアメリカ製であった。さらにセメントも中庸熱セメントが初めて使用されたが、国産品であった。

塚原ダムの施工は、骨材の採取からコンクリートの打ち込みまで一貫として機械化され、戦前の日本のダム施工技术の一つの到達点であった。しかし全く独自に日本で発展したのではなく、アメリカから強い影響を受けていた。アメリカではコンクリートダム技術の一つの頂点をなすフーバーダム（堤高220m、堤体積250万 m^3 、旧名ボールダーダム）が1936年に竣工した。このダムは新しい設計思想、画期的な施工設備でもって行われ、ダム技術に大きなインパクトを与えた。ダム建設技術は、フーバーダム完成により新しい次元へと移ったのである。

塚原ダムの発注者側（九州送電）の現地責任者は、空閑徳平であった。彼は租山ダムに従事し竣工させた後、1931（昭和6）年から33年にかけて欧米諸国の水力電気事業の調査研究のため留学し、フーバーダムの工事現場も視察した。帰国後、太田川水系王泊ダムの現地所長となって完成させた後、塚原ダムの建設所長となったのである。なお空閑は、王泊ダムで人工的にコンクリート用の砂を作って利用したが強度が十分出ず、結局、川砂を半分ぐらい混ぜた。

また塚原ダムを請負ったのは間組である。間組は塚原ダムの現場責任者となった田中敬親を1935年5月から9月にかけての約半年間、アメリカに出張させ、フーバーダム、TVAなどの堰堤工事を現地視察させた。

塚原ダムの機械化は、空閑の欧米での実地研究、また田中のアメリカでの現地視察が重要な役割を果たしたのは間違いないだろう。

4. 昭和10年代のダム施工技术

ところでダム技術界では、国際的なダム技術の交流が積極的に行われていた。世界動力会議が母体となって国際ダム会議が設立され、第一回国際ダム会議がスウェーデンのストックホルムで開催されたのは1933（昭和8）年である。それに先立ち1931年、日本では日本国内委員会が組織され、第一回会議に参加するとともに3編の論文が提出された。

第二回会議は1936年9月、第三回世界動力会議とともにワシントンで開催された。日本からは5論文の提出、小野基樹（東京市役所）、石井頼一郎（日本電力株式会社）他6名が参加した。

アメリカの首都ワシントンで開催されたのはフー

バーダムの竣工に併せてであって、この会議に大統領F. ルーズベルトが出席して演説し、フーバーダム使用開始のボタンを押した。300マイル離れたフーバーダムの現地からは、発電機水車の回転する音が会議場に響きわたるとともに、技師長がダムの説明を行った。それに先立ち会議に出席した各国代表は、大統領レセプションにホワイトハウスに招かれ、大統領からそれぞれ挨拶と握手を受けた。日本の代表者は小野基樹であった。フーバーダムはアメリカの国家威信を示したものであり、並々ならぬ自信と誇りであったことが分かる。なおフーバーダムのコンクリート打設は、1933年6月から1935年5月であった。

会議終了後、アメリカ政府幹旋のもとに22日間にわたる米国横断ダム視察旅行団が結成され、フーバーダム、TVAダム群、グランドクーリーダムなど、アメリカ著名のダムすべてを対象とした9000マイルにわたるダム視察行脚が行われた。これには世界27ヶ国242人、日本からは小野と途中までだが石井が参加した。この視察旅行には、2台の特別列車（軍医、社交室、食堂車、展望車付き、車内冷房客室、トイレ、洗面所、客室はベッド付きの1人ないし2人部屋）が準備され、費用は民間からの寄付金による補助があつて割安に設定された。視察団は各地でレセプション等の歓迎を受け、交流を深めながら視察を行った。

さて日本人として唯一人、全行程に参加した小野基樹は、一般的なダム技術の視察とともに重要な使命を帯びていた。小野は1936年7月に開設された水道用の東京市小河内ダム（堤高149m、堤体積168万 m^3 ）の建設事務所長であったが、小河内ダム建設の工事用機械類の調査と調達という重大な任務をもっていたのである。特にコンクリート配合のための自動骨材計量機とコンクリート打設機械の調達がその中心であった。そして最先端の技術を駆使したフーバーダムに、これらを求めたのである。

小河内ダムは、それまでの国内ダムに比べて、高さもコンクリートボリュームも遥かに大きい。このため新たな施工技術が求められたのである。特にコンクリート構造物内に亀裂を生ぜさせず、ダムとして安全に造り上げることは、その巨大さのためにこれまでの工法では到底困難だと認識されていた。こ

の課題への対処としてフーバーダムで行われた新工法は、次の4つがあげられている。

①低熱セメントを使用し、硬化熱が高まるのを防ぐ。②縦横10m～15mの柱状ブロック工法でコンクリートを打ち上げる。③コンクリート内に多くのパイプを配置して冷却水を流し、硬化熱を取り除く。④柱状コンクリートの継目にモルタルを流して一体化させる。これ以外として、基本的なことであるが硬練りコンクリートが使用されていた。コンクリートは自動計量機でセメント、水、骨材が計られ、バッチャープラントで一度に練り混ぜられた。この後バケットに入れられて、ケーブルクレーンで運搬され、強力なバイブレーターで締め固められた。

これらの新工法について、小河内ダムでは貯水池技術委員会が設置されて検討され、低熱セメントは製造原料が乏しいため混合セメント（混合材をセメントに混入）に変えられた以外、採用された。そして工事用機械類として、フーバーダム使用のものを、かなりの数購入したのである（表-1）。25トンのケーブルクレーン、自動骨材計量機、バケット、クレーンなど多種にわたっている。

当初は、アメリカの専門製造工場で新規に注文するとの考えであった。しかしフーバーダム使用済みのものが十分、再使用に耐え、また価格が新規注文と比較して1/5程度であったので、この選択を行ったのである。

日本のダム技術が欧米、特にアメリカ技術の発展に大きく負っていたことが理解される。これまでとは桁違いに大きい巨大ダム築造のため、新技術が必要となり、それをアメリカに求め、工事用機械類の重要なものはフーバーダム使用後のものを購入したのである。ただ25トンケーブルクレーンがもう一基必要であり、ボンネビルに移設使用中のものを1年以内に購入する内約としていたが、日中戦争開始のため輸入が不可能となった。

これらの施工設備機械類はダムサイトに据付けられ、試運転も行われた。据付・運転には米国から技術者を派遣しなかったら難しいといわれていたが、日本技術者のみで行われた。しかし戦争激化により、特に主要材料であるセメントの入手が見込めない状況となり、コンクリート打ち込み直前にして1943（昭和18）年、小河内ダム建設は中止となった。な

表-1 小河内ダムの工事用設備機械

① フーバーダムからの購入機械

名 称	員 数	原 価（横浜船渠渡）
ケーブルクレーン（25トン）	1	43,000 円（新製品、見込価格 225,000 円）
シー・エス・ジョンソン計量機	2	26,000 円
8 yd ³ 円形バスケット	10	4,200
8 yd ³ 角形バスケット	10	3,500
4 yd ³ 角形バスケット	2	500
2 yd ³ 角形バスケット	10	2,000
ドラグライン	1	5,000
セメントサイロ	2	6,800
振動篩分機	4	3,820
ボーチンソン篩分機	1	820
クレーン	4	670
セメントポンプ	1	2,210
コンプレッサー	1	2,000
バイブレーター	5	1,125
サスペンションブリッジ	1	12,500
ジャックハンマー（S-46）	15	1,575
ドリフター（N-75）	30	5,850
ストーブハンマー（R-51）	2	390
ストーブハンマー（CC-11）	2	250
計	105	124,300 円
邦貨換算（100円ニ付 28.25 円）		440,000 円

② 内務省五十里ダムから譲り受けた機械

種 類	員 数	金 額
5 tケーブルクレーン（ドイツプライヘルト）	1 基	55,137.46 円
20HP モーター付コンクリート混合機	1 台	929.16
バッチャープラント	1 組	1,905.42
深孔開岩機	1 台	4,203.42
錐形磨機	1 組	3,111.87
100HP モーター付コンプレッサー	1 台	1,944.38
モーター直結タービンポンプ	1 台	1,120.27
開岩機	6 台	1,456.79
計		69,808.77

出典：「東京都第二水道拡張事業誌 前編」 東京都水道局 1960年

おこれらの工事用機械類の多くは、海軍の要請により台湾の大甲溪開発事業の中核である達見ダム建設に使用するため、台湾総督府へ譲渡された。しかしその輸送途中、門司埠頭で足止めされたままで終戦となった。この後、これらの機械類は東京都によって買い戻され、戦後の1948（昭和23）年に再開となった小河内ダム建設に使用されたのである。

ところで日本の発電ダムは、1938（昭和13）年の塚原ダム竣工後、さらに大橋ダム（吉野川水系堤高73.5m、堤体積17.2万m³）、立岩ダム（太田川水系堤高67m、堤体積13.8万m³）などを完成させたが、1942（昭和17）年、戦前の国内最高である高さ84mの三浦ダム（木曽川水系堤体積50.7万m³）を完成させた。三浦ダムでは、国内で初めての柱状ブロック

工法が採用された。縦継目は、通気堅坑によって温度応力に対処するため設置されたが、フーバーダムで行われたような冷却水によるパイプクーリングは行われていない。一方、大規模なダムによる水力開発が大陸で展開していった。その代表的なものが国際河川鴨緑江の水豊ダム（堤高106m、堤体積327万 m^3 ）と松花江の豊満ダム（堤高91m、堤体積210万 m^3 ）である。

水豊ダムは、日中戦争開始直後の1937年9月に電力開発を目的に着工された。ダムの施工方法としては、硬練りコンクリートによる柱状ブロック方式が採られ、使用セメントは気温の高い時期は中庸熱セメント、低温期は普通のセメントが使用され、特別なクーリングは行われなかった。工事用機械としては、日本のダム技術で初めて電気ショベル、ジブクレーンなどが使用された。ジブクレーン採用にあたり、9名の技術者が1937年、アメリカに約5ヶ月間滞在し、フーバーダム、コンクリート打設開始直後のグランドクーリーダム（堤体積840万 m^3 ）などを視察した。当時のアメリカの機械施工を十分調査したのである。これに基づく機械化であり、表-2にみる機械が導入された。

これらの工事用機械がどこの国で作られたのか明らかにする資料をもっていないが、小河内ダム、次に述べる豊満ダムの事例から考えて、かなりのものがアメリカ製であると推測している。なお1933年に大学を卒業した坂西徳太郎は、グランドクーリーダムで2年間、工事に携わった後、水豊ダム工事に参画した。

水豊ダムの施工状況をさらに詳しくみると、満州側は西松組、朝鮮側は間組の請負となった。骨材採取には電動ショベルを使い、ダムサイトへの搬入はベルトコンベアー、蒸気機関車、ガソリン機関車によって行われた。骨材のふるい分けは篩分機で行われ、ベルトコンベアーによってコンクリート混合工場（プラント）まで運搬された。使用するセメント量は75万トンにも達するので、自家用工場が建設された。コンクリートはウォーセクリーターとミキサーによって作られた。ウォーセクリーターの使用はフーバーダムで行われてはいず、日本で用いられてきた従来の方法である。練上げたコンクリートは、ホッパーから3 m^3 入りバケットに充たし、台車に載

表-2 水豊ダム主要機械一覧表

名 称	仕 様	数 量
電動ショベル	1.5 m^3	3
機関車	150t	10
"	5t	22
貨 車	30t	105
ト ロ	1.5 m^3	100
ベルトコンベア	900mm	1式
策 道	300t/h	1式
"	35t/h	1式
ウォセクリーター	28切	4
コンクリートミキサー	28切	12
ジブクレーン	8.5t	6
コンクリート運搬台車		24
コンクリートバケット	3 m^3	68

表-3 佐久間ダム主要機械一覧表

名 称	仕 様	数 量	備 考
パワーショベル	2.0 m^3	7	54B, 93M
"	1.5 m^3	2	
ロッカーショベル	0.8 m^3	2	Eimaco104
ローダー		24	Eimco40H
ブルドーザ	2	14	Eucrid36PD
ダンプトラック	15t	45	
トラッククレーン	20~25t	5	
トレーラ	25t	1	
トランシットミキサー	3 m^3	4	
セメント運搬用トレーラ	20t	2	
ポンプクリート	2stage 8in	3	
コンクリートブレッサー	0.76 m^3	6	
エヤースライダー	120t/h	1	
バーチカルポンプ	20in	6	
ワゴンドリル		16	
ドリルジャンボーム	115in, 136in	64	
ドリフター		35	
ケーブルクレーン	25t	2	
パッチャープラント	3 m^3 ×4	1	
クーリングプラント	650ht	1	
骨材プラント	700t/h	1	

せてガソリン機関車で運搬された。またコンクリート試験室が作られ、供試体も製作されて強度試験が行われた。1年、3年、10年、25年後の試験を行う予定であった。

コンクリートの打ち込みは、補助としてケーブルクレーン、デレッククレーンを用いたが、主に片側3台、あわせて6台のジブクレーンで行い、その成

績は非常に良好であった。締固めは計166台の二人持ちのバイブレーターによって行われた。

豊満ダムは、1937年着工された。その工事を指導したのが、九州送電で塚原ダムを担当していた空閑徳平である。彼は、塚原ダムの工事途中の1937年5月、満州国政府からの招聘により同国勅任技師となった。その彼が先ず行ったのが3ヶ月にわたるアメリカ訪問であり、工事中のグランドクーリーダム、フーバーダム、TVA関連のダムなど主要なダムの現地視察を行った。併せて彼は、掘鑿機（ショベル）、ミキサー、ディーゼルエンジン、クラッシャー、ロックドリルなどを造っている多くの機械製造工場を見て回った。このことから、空閑の渡米の目的はダム現場の視察とともに工事用機械類の購入であったと判断している。アメリカ滞在期の彼の感想は後述することとする。

豊満ダムは、コンクリート体積でみるとグランドクーリーダム（1942年竣工）、フーバーダムに次いでその規模の大なること世界第三位と称せられていた。吉林市から上流約25kmの松花江の支川第二松花江に築かれたが、その目的は治水、利水として電力開発（60万kw）、水田開発（72,000町歩の開拓）、舟運整備（吉林までの大型船の就航）、漁業の発達、観光客の誘致である。工事は直営で行われ、空閑徳平は工程事務処長であった。

導入された施工機械についてみると、ダム基礎工事として表土・砂礫層の掘削には電気及び重油機関を動力とするショベル（掘削機）、岩盤の掘削には圧縮空気で作動する削岩機が使用された。コンクリートは硬練りコンクリートが使用されたが、セメント、骨材などの運搬また練り混ぜ等のコンクリート生成は機械によって行われ、その設備は世界第一を誇ると謳われた³⁾。

コンクリートは複々線鉄道により重油機関車で現場に運ばれ、世界最大を誇る大型可動クレーン8基によって打設された。締固めには圧搾空気バイブレーターが使用された。これらの施工機械のほとんどは、先述したように空閑によってアメリカから購入されたと考えている。このダムが最終的に完成したのは戦後のことである。

5. 空閑徳平の1937（昭和12）年のアメリカダム視

察報告

豊満ダム建設のためにアメリカに派遣されたのは、ダム施工技術のベテラン空閑徳平である。彼は、帰国直後の1937年9月17日、大同電力、昭和電力両社の要請の下、多数の日本のダム技術者の前で講演を行っている。その講演は翌10月、「空閑徳平氏米国に於ける高堰堤視察報告書」として印刷された。当時のダム技術界にとって、彼の報告はアメリカ技術に対する重要な資料となったのである。また大きなインパクトを与えたものと思われるので、彼の報告の中から興味深い点を少しばかり整理しよう。これにより当時のわが国のダム技術の状況が一層、理解できると考える。

アメリカに行った理由として、次のように豊満ダム建設であることを述べている。

「私がアメリカに参りましたのは、満州の松花江のダムをやるに付て其の地形なり規模なりがアメリカの工事に大体似ており、アメリカの工事に真似てやらなければ巧いかないのではないかということに依って、主としてダムを見に行つたのであります。」

ダム施工法についてみると、一般論として「ボーラダーダム（フーバーダムの旧名）の時分から仕事が始まるまで」だったこと、その後、「アメリカに於けるダムの施工法は、殆ど同じ」で、「ダムの仕事をするためミキサーはどんなふうに行っているか、或はコンクリートの固さをどのようにしてしているか」ということは、どこでも同じ様である。」と、指摘する。コンクリートは硬練りが使われ、その配合は正確を期し、自動的に記録できるようになっていて非常に均一なものが作られていた。コンクリートの運搬はトレスル上のジブクレーン等またはケーブルクレーンで行われていて、シュートはほとんど使われていない。締固めにはバイブレーターが使用されていた。

さて具体的な現場視察について、フーバーダムとグランドクーリーダムでみてみよう。フーバーダムは、2年前に出来上がり、満々と水を湛えていた。彼が4年前に訪問した時は基礎掘削中であり、2年ぐらいで約240万 m^3 （約40万坪）のコンクリートを打ち上げたスピードに驚きの声をあげている。あまりの速さに施工が乱暴ではないかと彼は予想して

いたが、次のように述べ、その出来上りに感嘆の声をあげている。

「二年くらいの間に四十万坪という大仕掛の仕事で、或人から聞いた所に依りますと、随分酷いコンクリートの打ち方をやっているということでしたため、竣工後の成績に就ては相当興味を持っていました。そして或る程度の漏水は勿論あるだろうと想像して行きましたが、私の予想に反して非常に立派に出来上がっているのです。勿論漏水が全然ない訳ではありませんが。ドレインからの水は又相当出ております。此の立派にできたという訳は、やはりセメントをいろいろ吟味して、特殊のセメントを使ったということ、凝固熱を取る為に冷却法を講じたことなどが、主な理由じゃないかと思います。」

このように、素晴らしい出来上がりは、低熱コンクリートの使用と冷却水を用いたパイプ冷却法による熱除去が効果を発揮したと指摘する。だが日本では、まだまだパイプ冷却法は経済的に使用できないとして次のように述べる。

「冷却法というのは随分金が掛るので、今直ぐこれを真似るということは、ちょっと経済上どうかと思いますけれども、理想的にやる為には、どうしても冷却法というものはやらなくては行けないではないかと思いました。」

またこのダムは完成直後から一般国民に広く開放され、堤体内部の監査廊まで見学することが出来、観光名所にもなっていることを次のように述べている。

「今はアメリカの名所の一つになっている為に、其の天端には約四、五十台の自動車が列んでおります。其の自動車の尻に付いている番号札を見ると、やれフロリダ州、やれオハイオ州、ワシントン州、テキサス州と殆どアメリカの凡ゆる州の名前を見ることが出来ます。兎に角アメリカ全体から見に来ている訳です。今ちょうどヴァケーションで、殆ど三箇月ばかり休みがあります。アメリカ人は御承知の通り非常に働き、休みの時はうんと遊ぶという訳で、重役の手前なんか考えやしない、ヴァケーションだから二週間暇を呉れテナことで、大威張で遊びに行くのであります。其の連中がこんなところに来ているのであります。毎日

何百人という人間が来る、入場料を払って天端から下にエレヴェーターで下ります。私は特別で入場料は払わなくてもよかった。下りた所は監査廊が全部立派なタイル張りで、実に見事なもので床などもタイルのデザインがピカピカ光っております。」

筆者も1995年夏、現地を訪れたが、たくさんの観光客が素晴らしい展示館で多くの記録写真を熱心に見、シアターで記録映画を見るために並んで待っている姿に感動を覚えた。立派に整備された監査廊の中も歩いたが、フーバーダムでは既に戦前に一般国民に開放されていたこと、その来客数は記憶するところでは3000万人に達したことを聞いて、驚いた経験をもっている。

グランドクーリーダムに、空閑は4日程滞在した。このダムは当時、工事中であり、ここの視察が彼の旅行にとって最も大きな目的であった。彼は先ず、これまでたくさんの日本の専門技術者がこの現場に長期間滞在して調査していることを指摘している。ここのダムは日本のダム技術者にとって勉強する現場であったのである。その機械施工状況は次のようであった。

「ここの工法はケーブルクレーンは使いませぬで、トレスルの上にこういうハンマーヘッドクレーンと名付けるクレーンを置き、之でバケットを吊り下すのであります。」

「(其岩の悪いところに)非常に深い穴を掘り、それに大きな発破を掛けて思切って起し立てゝ、それをドラッグラインで搔寄せて、直ぐ側に来ているトラックに載せる。大きな邪魔になる石はブルトザーといふ、トラクターに鉄板の付いている機械でグウグウと押して、十切以上ほどの大きな石を瞬く間に片付けてしまう。そして掘鑿の仕上は日本人の真似も出来ないような綿密さで、すっかり浮いた石を起しております。殊に石を起したら、勿論あとは水と圧搾空気を一緒にして徹底的に洗っております。」

「コンクリートの打ち方は、左右兩岸にミキシングプラントを置きまして、夫々四キュービックヤードミキサー四つ、それにバッチャープラント一つ、之を二十四時間打通しで三十日間少しも休まないで仕事をやっている。日本のように時々運

転を止めて油を注すというようなことはしない。」

「コンクリートを運びますのは此のクレーンで、
之は、スタンダード・ゲージ軌道を三つ跨いでおり
ます。ここにバケツを載せた台車をガソリン機
関車が引張って来まして、これに吊上げて現場へ
持っていく。」

「相当慣れないと危険を伴いますけれども、こ
こを見ているとクレーン、機関車の運転手、合図
手、バケツに乗ってる人間が全く一体となって
実にうまくやっています。」

また工事のていねいさについて、例えば「コンク
リートを打ち継ぐ時は、砂の入ったモルタルを敷い
てコンクリートをやる。その養生がまた実に完全
に行われております。」と驚いている。さらに散水な
ら散水だけ、ドレイン継ぎならドレイン継ぎだけで
「アメリカでは自分の仕事以外は何もしないので
あります。」と、その徹底した分業化に驚いている。

空閑はまた、基礎岩盤のグラウトの状況について
事務所でその結果を示す表をすべて見せてもらっ
ている。アメリカ社会のオープンさが非常によく理
解できる。

次に、彼が訪問した機械メーカーについての感想
をみてみよう。自社の製品について、値段の高い安
いは問題外で質の良さを、「俺の方はこんなに立派
な物を作っているのだ。これ位研究しているのだと
いうことを見せて、金なんかどうだって宜いじゃあ
ないか、勿論、良い物は高いに決まっているじゃな
いか、俺の所はこれ位、立派な物を作っているのだ。」
と、製品の質の面から彼らはP. Rする。またカー
ボンやニッケルの含有率を違えて、10種類以上の
ロックドリルのピストンを準備しているのに驚く。
製品の検査を科学的な方法で一本一本ていねいに行
っているが、ここまでするのだから、製品は高くな
るのは当然と納得している。

またミキサーについて、日本の製品と質が大きく
違っていることに感嘆の声をあげている。日本のミ
キサーだと、二流以下であつたらちょっと仕事をす
ればドラムを取り替えなくてはならない。一流の会
社のミキサーでも、ドラムのスペアがないと心配
だ。ところがアメリカ製品は全く異なる、といって
次のように述べるのである。

「アメリカでは何万坪或はそれ以上のコンクリ

ートを一台のものでやる。而も昼夜二十四時間打
通しで三十日間、それ程酷使したにも拘らず、ボ
ールダー・ダム（フーバーダム）を済ました機械
が現在ではパーカー・ダムに行っている。其の使
った後を私に買わないかというのであります。そ
れは私を侮辱したのでも何でもない、買わないか
と言える程まだ立派なものなのです。ミキサーの
如きも三度の勤めもおろか、四度も五度も勤める
かもしれませぬ、そんなに立派なものなのであり
ます。」

機械製造の技術力に大きな差があることが分かる
が、さらに次のように述べ、日米関係が険悪してい
く中で、掘削機を買わないかと勧誘があつたことを
述べている。

「エキスカペーターを作っている会社へ行つた
のでありますが、そこでいろいろな国から軍用品
としてエキスカペーターを買うそうです。非常に
小型のもので、塹壕などには持って来いの奴であ
ります。日本もこれを買って軍用にしたら宜いん
だがどうかと勧めたりなどいたします。」

機械力の差について、また次のように述べ、その
使い方にも日米の間に大きな差があることを憂いて
いる。

「機械の使い方の上手なこと、ドラッグライン
や機械ショベルなど使う所を見ますと、まるで自
分の手を動かすことゝ変りがないような巧い使い
方をしている。あゝいうのは先天的に巧いのか、
練習で巧いのか、兎に角アメリカ人は機械に親し
みがある。自動車の運転の出来ない人間は先ずな
い。日本人全体の平均した機械に対する知識と、
アメリカ人のそれとは非常な相違があると思う。
これは問題が非常に大きいのですけれども、日本
でももう少し子供の自分から機械に興味を持たせ
るように教育をし、大きくなって自動車の運転位
直ぐ出来る、或はちょっと其の辺にある機械は直
ぐ分かるという様にならないと、将来機械を使
つての戦争の時など西洋人に引けを取りはしないか
などと飛んだことまで考えさせられました。」

仕事場の雰囲気等についても、彼は驚きをもって
報告している。物価水準も3～5倍ぐらいの差があ
るが、賃金が比較にならないほどアメリカは高く、
「君はいくら貰っていると聞かれたが、これが一番

決まりが悪い」と述べる。さらに、日本が12時間労働であるのにアメリカは8時間労働で土、日曜日が休みであること、昼食時に食堂に行ったが労働者の食事が極めて安い上に、「私共が東京で食べる以上に御馳走があり、幾らでも食べ放題」のこと、人夫だとか主任だとか役所とか会社とかで差が全くなく、「お互い自分の仕事さえやっていけば皆平等だという考え」でいること、主任、技師長というトップ責任者でも事務所に引っ込み書類を見たり報告を聞いたりしているのではなく、「陣頭に立って、殆ど一日の大部分を現場」に行き、「自分の思う通りを言い付ける。監督するといっても大きな声で怒ったりする所は一遍も聞いたことはない。」こと、現場が整頓され、到るところに芝生があつて美しいことを指摘している。

彼らの働きぶりは次の言葉によく表れているだろう。

「非常に無邪気で、又仕事をやり出したら一生懸命にやっている。給料もアメリカ人は非常にたくさん貰っていますが、日本人とはまるで比較にならないような熱心さと真面目さで仕事をしているように思います。」

6. 考察

大型土木構造物として代表的なものである大型ダムの戦前の建設について、アメリカ技術と密接な関係を持ちながら発展してきたことを論じてきた。アメリカ技術の導入は二つの時期に大きく分けられる。一つが大正末期、日本で初めて大型ダムが建設された時期であり、アメリカに調査・研究のため視察に出かけるとともに、アメリカ技術者が来日して指導にあたった。その施工機械の多くはアメリカからの輸入であつた。やがて日本技術者が経験を積み重ね自立していくとともに、施工機械も国産されることとなった。

しかしダム技術は、1935（昭和10）年にコンクリート打設を終えたフーバーダムを境に一変した。今日、使用されているダム技術の2/3はフーバーダム建設に関連して確立されたといわれる程で、わが国にも大きな衝撃を与えた。特にこの時期、わが国でも小河内ダム、大陸での水豊ダム、豊満ダムという巨大なダム建設に着手しようとしていた。このため、

新技術の取得にアメリカに出向き、現地視察や現地実習が行われて新技術の取得が熱心に努められた。また大規模工事に見合う施工機械が積極的に導入された。小河内ダムでは、フーバーダムで使用した中古品が購入された。水豊ダム、豊満ダムの工事着手は、盧溝橋事件に端を発した日中戦争が開始された1937年であり、日米関係が悪化したため記録としては残されていないが、間違いなくアメリカ製の施工機械が主になって建設は進められたと考えている。

豊満ダムを指導した空閑徳平は、アメリカ各地の代表的なダムのほとんどを視察し、日本の技術界に興味ある報告を行ったのであるが、それに先立つ1年前、アメリカで第2回国際ダム会議が開催された時、その会議前後に9種類の学術視察旅行が企てられた。小河内ダム建設所長小野基樹はその内の一つに参加し、22日間にわたってアメリカ全土の興味深いダム施設等を回ってきた。石井穎一郎はこの視察旅行に途中まで参画したが、彼は大ダム会議の前に行われた視察旅行にも参加していた。石井は、12年前にもアメリカ視察を行っていたが、特にコンクリート工事のすさまじい進歩に驚嘆し、「何時までも模倣ではいけない。オリジナリティーを作り出さなければならない」と、日本の技術界の奮起を促している⁴¹。

また各地の現場を積極的に見せるアメリカ社会の懐の深さをつくづくと感じさせる。施工技術力には当時、日米間に大きな格差があり、施工機械の主だったものはアメリカから購入しダム建設が進められたのである。このような国に日本は戦争を仕掛け、敗れたのである。

ところで戦後のダム開発は、1951（昭和26）年頃から本格的に開始されるが、さらにアメリカとの関係を深めていった。戦後初の大ダムとして同年、関西電力が木曽川水系の丸山ダム（堤高98m、堤体積約50万 m^3 ）に着工、1953年には電源開発（株）が、佐久間ダム（堤高150m、堤体積112万 m^3 ）、1952年には九州電力がわが国最初の本格的なアーチダム、上椎葉ダム（ダム高110m）に着手した。

これらのダムの施工は、ブルドーザー、ダンプトラック、パワーショベルなどの大型の重土木機械でもって行われ、施工能力は戦前と一新した。第二次世界大戦中、アメリカでさらに発展した機械を導入

したもので、佐久間ダムの主要機械をみたのが表－3である。戦前の機関車主体が、戦後は自走式大型機械に変わっていったことがわかる。またバッチャープラントなどのプラント類も大型化し、大規模な施工が可能となったのである。

これらの施工はアメリカ人技術者の指導によって行われたが、彼らは同時に科学的施工管理を導入した。つまり客観的な基礎データを取り、それに基づき施工を進めていく。この方法は、主に経験と勘に頼っていたそれまでの日本の施工技術と根本的に異なったものであった。上椎葉ダムには、フーバーダム建設に携わった技術者が指導に来ていた。大学を出てすぐに工事に参加した島谷昌宏は、大型機械による大規模施工と科学的施工管理に先輩技術者達は非常に戸惑い、なかなか追いついていけなかったと述懐している。また日本技術者達のみで進められていたダム現場に行った時、大型機械力で進められていた上椎葉ダムと比べ、工事現場の音が全く違っていたと述べている。戦後、アメリカの技術の導入によって施工技術は大きく発展していったのである。

最後に、資料の収集において土木学会図書館藤井肇男氏のご協力があったことを明記するとともに感謝致します。

注釈引用文献

- 1)「水力技術百年史」水力技術百年史編集委員会
(社)電力土木技術協会 1992年
p.241
- 2)同上 p.182
- 3)「松花江堰堤発電工事概況」吉林工程処 「満州の技術No.134」満州技術協会 1940年
- 4)石井頼一郎「第3回世界動力会議並に第2回国際大堰堤会議及視察旅行報告」『土木学会誌第3号』1937年
- 4)「水力技術百年史」水力技術百年史編集委員会
(社)電力土木技術協会 1992年
- 5)「関西電力水力技術百年史」関西電力株式会社建設部 1992年
- 6)「東京都第二水道拡張事業誌 前編」
東京都水道局 1960年
- 7)「東京都第二水道拡張事業誌 後編」
東京都水道局 1984年
- 8)「間組百年史 ー1889～1945」
間組百年史編集委員会 株式会社間組 1989年
- 9)物部長穂「貯水用重力制定の特性並びに其合理的設計方法」『土木学会誌第11巻第5号』1925年
- 10)石井頼一郎「小牧発電工事報告」
『土木学会誌第18巻第4号』1932年
- 11)空閑徳平「王泊堰堤工事概要」
『土木学会誌第20巻』1934年
- 12)空閑徳平「塚原堰堤」
『土木工学第5巻第12号』1936年
- 13)小野基樹「アメリカのダム会議と視察旅行」
1937年
- 14)小野基樹「ボールダー工事に就て」
『土木学会誌第23巻第3号』1937年
- 15)石井頼一郎「第3回世界動力会議並びに第2回国際大堰堤会議及視察旅行報告」
『土木学会誌第23巻第3号』1937年
- 16)空閑徳平「米国に於ける高堰堤視察報告書」
電気新報社 1937年
- 17)「松花江堰堤工事概要」 国務院水力電気建設局
『満州技術協会誌No.97』1937年
- 18)久保田豊「鴨緑江水豊堰堤工事概要」
『土木学会誌第25巻第12号』1939年
- 19)森山忠蔵、山口義彦「三浦貯水池堰堤工事」
『水力第2巻第6号』水力協会1939年
- 20)「松花江堰堤発電工事概況」 吉林工程処
『満州の技術 No.134』満州技術協会 1940年
- 21)佐藤時彦「鴨緑江水豊堰堤工事概要」
『土木学会誌第30巻第1号』1944年
- 22)「発電水力の歴史を語る座談会」
『発電水力第15巻第3号』発電水力協会 1955年
- 23)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 第384号』1987年

参考文献

- 1)「日本土木史 ー大正元年～昭和15年」
日本土木史編集委員会 (社)土木学会 1965年
- 2)「日本土木史 ー昭和16年～昭和40年」
日本土木史編集委員会 (社)土木学会 1973年
- 3)「日本の土木技術」 日本の土木技術編集委員会
(社)土木学会 1964年