

暴れ天竜に築いた佐久間ダム －戦後土木技術の原点－

1. 佐久間ダムの概要と時代背景
2. 事業の進捗と二人の指導者
3. 佐久間ダムの施工
4. 佐久間以降の開発
5. 課題と今後の期待

講演者略歴



嶋田 善多
電源開発(株) 取締役常務執行役員



佐藤 俊哉
電源開発(株) 執行役員
土木建築部長



池上 徹
(株)安藤・間 取締役副社長
建設本部長



佐久間ダムは「暴れ天竜」と呼ばれ厳しい施工条件の下、僅か3年の工期で築造された大規模ダムである。この成功は当時の日本の土木技術者にとって大きな自信となり、積極的な機械化施工の導入は「戦後土木技術の原点」として後続のプロジェクトへ展開されていった。本稿はその歴史的なインフラ事業となった経緯や技術的特徴を述べたものである。

1. 佐久間ダムの概要と時代背景

(1) 佐久間ダムが果たした技術的意義

「暴れ天竜」での佐久間ダム(写真1)の建設は「戦後土木技術の原点」と呼ばれ、日本の土木技術に飛躍的な革新をもたらした。その特筆すべき事項は以下のとおりである。

- ①在来工法では10年でも難しいと言われていた難工事を3年で遂行したこと。
- ②当時の日本になかった大型土木機械を導入したこと。
- ③ダムと発電所の規模が当時の国内実績を大きく上回り、後続プロジェクトの基盤となったこと。

(2) 電源開発(株)の設立

佐久間の事業主体となった電源開発(株)は1952(昭和27)年に電源開発促進法の下に特殊法人として発足した。電源開発(株)の役割は大規模または開発が困難な水力開発となっており、まさに佐久間を開発するために設立されたようなものであった。電源開発(株)はその他にも奥只見、田子倉、御母衣、糠平などの大ダムと発電所、国の総合開発(鶴田、桂沢、胆沢、早明浦など)における発電所建設を次々に実施していった。

(3) 天竜川の水力開発

天竜川は、諏訪湖を源流として河口の遠州灘まで全長213km、流域面積は5,090km²の河川であり、現在までに一般水力発電;約100万kW、揚水発電;約100万kWの合計200万kWが開発され、電力供給において重要な河川である。

佐久間などの発電所は50Hzと60Hzの電力を生み出すことができ、東西の電力融通を可能とする佐久間周波

数変換所が配置された電力セキュリティー上の要所にもなっている。

天竜川の水力開発は1900(明治33)年の松川第一発電所(75kW)が最初であり、その後支流を活用した小規模の水力開発が進んだ。第一次世界大戦後に電力不足を受け、天竜川本流の大流量を活用した大型の水力発電所が計画され大久保(1927(昭和2)年)、南向(1929(昭和4)年)、泰阜(1936(昭和11)年)、平岡(1952(昭和27)年)と順次開発されたが、良好なサイトと知られた佐久間地点の開発は困難とされ、何度か立案されるものの結局は手つかずの地域となっていた。

この背景には、中部地方には木曾川や大井川という水力開発が先行している河川があり、それらで手の付けやすい地点の開発が優先されたことも佐久間が残っていた理由の一つと考えられる。

(4) 佐久間ダム地点の特徴

佐久間ダムは、天竜川の中流域(図1)に位置し、発電に重要な落差と水量に関してはダム地点の河川勾配が1/300程度で、水力開発の進んだ黒部川や庄川の急流には及ばないものの適度な落差が得ることができる。またダム地点での流域面積が約4千km²と大きく、年間約50億m³という豊富な流水が得られることが大きな長所であり、現在においても国内最大の年間発生電力量を誇る水力発電所として活躍している所以である。

良好なサイトの佐久間地点ではあったが、当時は施工難易度が高く在来工法では10年でも難しいと言われていた。その理由は4項目ある。

- ①想定すべき出水が年2~3回発生し流量も1,000m³/s超と大きいこと



写真1 建設中の佐久間ダム(一次湛水終了時)



図1 佐久間ダム位置図

②両岸が切り立った断崖で接近が難しいこと

③河床砂礫が厚く、約25mの掘削を行わなければ基礎岩盤が出てこないこと

④大規模のため資金的ハードルが高いこと

これらが課題とされていた。

このように難しい佐久間地点の開発を敢えて進めた理由は、戦後の復興期で電力需給が逼迫していたこと、加えて朝鮮戦争の特需により電力の増強が求められたためである。当時は日常的に停電が発生しており、その意味でも大型電源の佐久間は注目のプロジェクトとなっていた。

国内のダム建設の変遷を述べると、戦前のダムは小牧や塚原は高さ80mクラス、戦後になって完成した丸山や上樺葉が100～110mクラスであった。

そして佐久間のダム高155.5mは当時国内最高の重力式コンクリートダムである丸山（98m）の約1.5倍の規模であった。

水力発電所の規模においても、発電出力35万kWは当時最大の信濃川発電所（17.5万kW）の2倍であり、国内に例のない大規模水力発電プロジェクトであった。表1にダムと発電所の設備諸元、図2にダムの標準断面を示す。

2. 事業の進捗と二人の指導者

(1) 事業の進捗

1952（昭和27）年に発足した電源開発（株）は同年11月に高碕総裁が渡米し大型施工機械の導入を判断、12月に建設所を設置、翌年2月入札、4月に着工し、直ちに仮排水路工事に取りかかった。

忘れていけないのは水没地域の補償であり、佐久間では画期的な方法として各町村に対策委員会を設置して、団体交渉という手法を採用し早期交結に寄与した。また飯田線の付替、天竜名物の筏流しの人達への補償なども次々に進めていった。

着工後の詳細は後述「佐久間ダムの施工」に示すとおりであるが、大型機械化施工などにより工程を確保し、1956（昭和31）年4月に発電所の部分運転開始、同年9月に最大出力35万kWの完全運転開始を成功させた。このように猛烈なスピードで事業を進めることができた背景には、二人の指導者の行動力が大きかった。

(2) 高碕総裁と永田所長

電源開発（株）の初代総裁高碕達之助は水産講習所（現在の東京海洋大学）を出たのち、製罐技師を経て東洋製罐を起業、その後満州重工業の総裁を歴任するなど、ど

表1 佐久間ダム・発電所の設備諸元

直線重力式コンクリートダム		発電所	
高さ	155.5 m	有効落差	133.5 m
堤長	294 m	使用水量	306 m ³ /s
堤体積	112 万m ³	最大出力	350,000 kW
総貯水量	327 百万m ³	水車形式	縦軸フランシス
有効貯水容量	205 百万m ³	発電機	4 台
有効水深	40 m	取水塔	2 基
集水面積	4,156 km ²	導水路延長	1,180 m
設計洪水量	7,700 m ³ /s	導水路断面	内径7.0m×2条
洪水吐ゲート	5 門	着工/竣工	昭和28年/昭和31年

浜松市天竜区佐久間町
（天竜奥三河国定公園）

（集水面積には間接流域を含む）

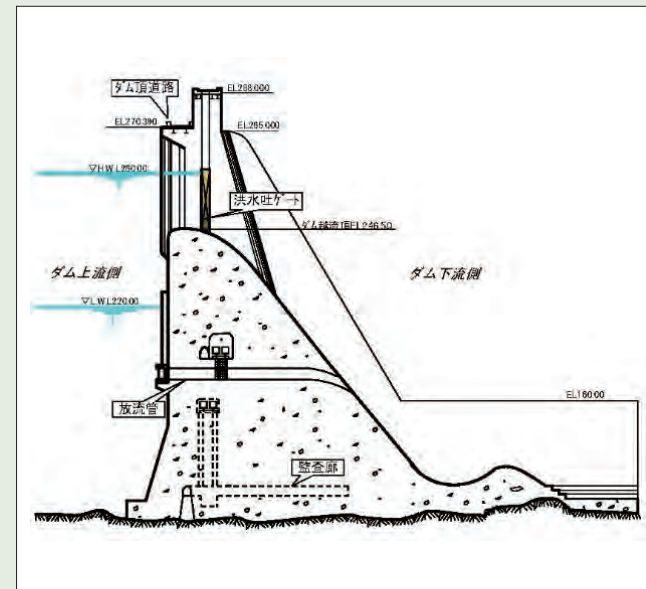


図2 佐久間ダムの標準断面

の職場においても高い見識と果敢な実行力を持っていた。高碕は1952（昭和27）年9月、電源開発（株）総裁となったと同時に政府から佐久間の3年工程を約束させられた。無謀とも思われる約束を受け多くの専門家に相談したものの否定的な意見ばかりであった。その高碕に海外の機械化施工に活路があるのではないかと話したのは北海道電力（株）副社長から電発理事となった永田年（すすむ）である。

高碕は1952（昭和27）年11月に技術者を引き連れて渡米。建設中のパインフラットダム（コンクリート重力式ダム、高さ132m）を視察し、大型重機が主役の状況を見て佐久間の成功にはこれが必要であることを確信した。そしてパインフラットダムの施工機械をほぼ丸ごと買い取る算段をするとともに、米国の施工業者（アトキンソン社）に入札参加を要請した。

また、アメリカ銀行からの総額700万ドル（約25億円）の融資を低利で得るなど大きな功績を残した。のちに立地交渉が難航していた御母衣ダムの水没地域を訪れて、地域住民に親しまれていた桜の巨木2本をダム湖畔に移

植した「荘川桜」の逸話はダム関係者にとっては有名な話である（写真2）。

永田は水力発電の土木技術者であり、日本発送電（株）時代に佐久間ダムの計画策定に従事した経験に加えて、電源開発（株）に請われた時、北海道電力（株）の退職金の大半を土木技術の洋書購入に充てたと言われたほど海外の技術も注視していた。

その後、佐久間建設所長に就任した永田は一本気の親分肌で短気なため、良く灰皿が飛んだという話もあるが、現場主義者である永田の強烈な陣頭指揮によって佐久間の難工事は推し進められた。

(3) 施工業者の選定

難工事を成功させるために入札も工夫がなされ、土木工事の入札条件は、米国業者を含むJV方式とし大型機械化施工を義務付けた。注目の工事のため建設各社も受注意欲が高く、3JVによる入札の結果、間組・熊谷組・アトキンソンのグループが落札した。ダムは間組、水路と発電所は熊谷組、アトキンソン社は技術指導を担当する役割となった。水車発電機は海外メーカーを含む国際入札を予定したところ、国内メーカーの成長の場が奪われるとして政府などから横槍が入ったものの高碕はそれをはねつけて国際入札を敢行、結果は日立、東芝などの国内連合が受注した。

(4) 永田語録

大型施工機械、新技術を導入した施工は、工事関係者の苦労と努力に支えられた。永田は「回想の佐久間」（1956（昭和31）年）¹⁾に当時の様子を残しており、その一部を紹介する。

- 「ショベル掘削が始まると、ダンプが土砂一杯になる前に次のダンプが横付けで待っている。ショベル運転手は乗ったが最後、次の休憩までグルグル廻ってタバコに火をつける隙もない。始めは2、3時間でノビるので2人交代の運転だった。慣れてくるとゆとりもでき1交代1人で勤まるようになった。」
- 「新工法は始めは慣れないので、従来工法より時間がかかる。1、2日やっとうまく出来ないと従来工法に戻ろうとする。これを強制して新工法を続けるのは一苦労、慣れると新工法が非常に早いので従来工法は見向きもしない。」



写真2 荘川桜（御母衣ダム湖畔）

- 「いつしか頭は切り替わって、労働者自ら新工法をマスターするまで努力するようになってきた。練習しながら工事速度を早めるために、職員、請負業者、労働者の苦労は並大抵ではなかった。」

(5) 記録映画「佐久間ダム」について

工事の記録化と国内外への技術的PRを目的として3部作の記録映画を制作した。当時は政府から「映画を作るとは何か！映画費用は出してはならん。」とクレームを受け、「ならば自前でやります。」と一般劇場で有料上映としたところ第1部300万人、第2部250万人、第3部30万人の観客動員となり空前の大ヒットとなった。

淡々とした記録映画ではあるが、多くの国民の目に焼き付けたことにより、佐久間ダムの印象をより強くすることとなった。

3. 佐久間ダムの施工

(1) 工程

佐久間ダム建設工事は当時の電力需要逼迫により早急な完成が求められ、3年での発電開始が大命題であった。

建設は1953（昭和28）年4月の契約・着工以来約3年での一部発電開始、3年半での竣工と驚異的なスピードで施工された。着工以来約12ヶ月でコンクリートを打設開始し、堤体コンクリート打設は実質16ヶ月で完了した。この工程は現在の最新の施工技術をもってしても実現不可能と思われる施工速度であった。

(2) 3年という短期間で完成できたポイント

なぜ佐久間ダムの施工を3年余りという短期間で成し遂げることができたのか。

これには以下の三つポイントがあったと考える。

①最新の建設機械をアメリカから導入

佐久間ダム施工は、わが国での機械化施工の先駆けであるといわれているが、これは当時の電源開発総裁の高碕がアメリカのダム現場を視察した際、計画されていた佐久間ダムと同規模のインフラットダムの施工状況を見て「佐久間を短時間で完成させるにはこの機械化施工しかない」と決断したことである。

インフラットダムで使用されていたケーブルクレーン（写真3）、プラント類などを一式輸入し、また、使用するダンプトラック・ブルドーザーなどの重機械類は全て新品を輸入することとした。

同時に、それらの機械類を使用する最新の施工技術を導入・習得するために、インフラットダムを施工していたアトキンソン社の協力をとりつけた。

②施工の工夫

施工の工夫についての個々の詳細は後述するが、主として作業はできるだけ平行作業を実施したこと、また単一の作業であっても生産性を向上させる施工計画を作成し実施したことであった。

③教育

アメリカから導入した最新の機械設備を使いこなすためには、機械設備を操作・整備する日本人に対する教育が必要となった。

教育については、アトキンソン社員による教育・指導はもとより、機械類の運転・整備について技術者を育成するために「OMスクール（オペレーター・メカニクススクール）」と称する教育制度を設けた。このOMスクール卒業生は佐久間ダム工事の進捗に貢献す

るとともに、その後の黒四ダム、御母衣ダム等で活躍した。

(3) 具体的な施工の工夫

①二次締切での排水対策

上下流締切からの浸透水排水及び洪水により堤体敷に流入した水を速やかに排水するために、上下流二次締切に立坑及び排水トンネルを構築し、ここに排水能力40m³/分の排水ポンプを2基ずつ設備した（図3）。

堤体河床部の掘削は25mに及ぶ堆積層掘削であったが、この排水対策の効果で順調に掘削できた。また、工事期間中に13回の洪水に遭い、仮締切を越流されたが、この排水対策により堤体敷に流入した水を約2日間で排水できた。

②基礎掘削

ダム右岸部は左岸部と比較して風化が進行しており、勾配も緩やかで掘削深さも厚いため、工程進捗のためEL=200mに積込み盤を設けて、EL=200m以上の掘削はコンクリート打設作業と平行して施工した（写真4）。

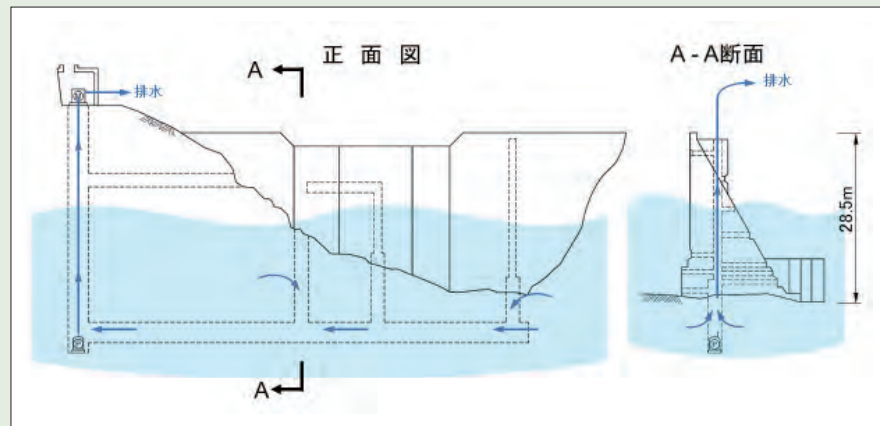


図3 二次締切構造概要

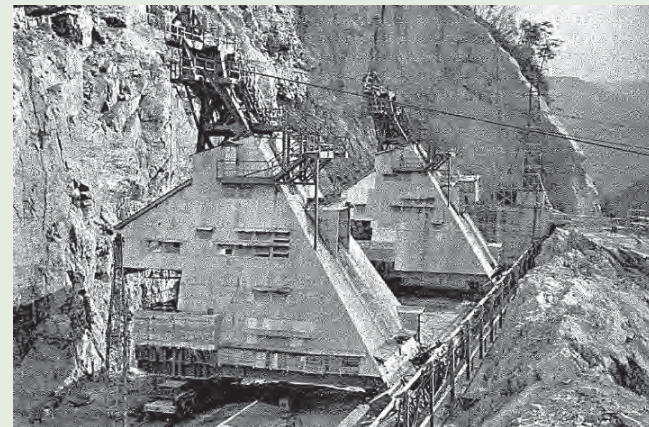


写真3 25t両端走行式ケーブルクレーン



写真4 河床掘削状況



写真5 手巻きウィンチによる型枠スライド



写真6 コンクリート打設全景

左岸部は急峻な地形のため掘削途中に積込み盤を造成することができなかつたため、上部よりベンチカットで掘削した。掘削工事工程進捗のためEL=170～140m間は「スタレ発破」により施工した（図4）。「スタレ発破」を採用した理由は、上部のベンチカット施工中に下部の導坑掘削・坑内からの削孔作業を平行して行えることであった。段発雷管を使用して基礎岩盤への損傷を避けるように施工した。スタレ発破による掘削量は約25,000m³であった。

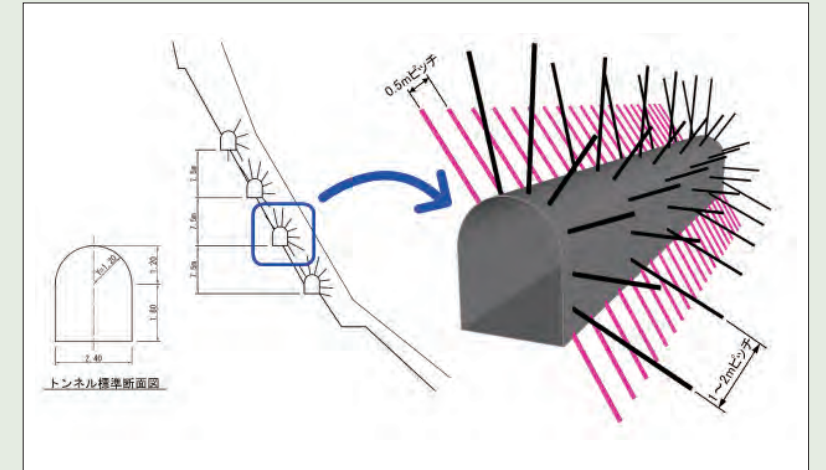


図4 左岸スタレ発破施工概要

③大型スライド型枠の使用

佐久間ダム以前の丸山ダムなどでは普通型枠（通称バラ型枠）を使用していたが、型枠作業の効率化およびスピードアップを図るためにカンチレバー式の大形スライド型枠を使用した。この型枠はインフラットダムで使用されていた大形スライド型枠を参考に設計・製作されたものである。

型枠の構造は現在のスライド型枠と同様であるが、材料は全て木製であり、縦バタ材は約30cm角の木材を使用し、面板材も全て無垢材であった（写真5）。

この大形型枠の採用は、型枠施工時間短縮のみでなく、コンクリート打設のスピードアップによる側圧増大に対応でき、工程短縮に大きく寄与し、成功であった。

大形スライド型枠は型枠重量が130kg/枚あり人力での型枠移動は無理であったので、スライド装置を考案し2枚セットでスライドした。

(4) 温度対策

コンクリート温度応力対策として、プレクーリング及びパイプクーリングを実施した。プレクーリングはコン

クリート打込温度を15℃以下とすることを目標とし、実施した対策は

- ・チューブアイスの混入：31～37kg/m³
- ・練り混ぜ水を1℃に冷却
- ・骨材を冷風冷却で14℃に冷却

などであった。これらの対策によりコンクリート練上がり温度は12～13℃、打込温度は15℃以下を確保した。

パイプクーリングについては、ダム内部温度を最終安定温度にするために実施し、一次クーリングは河川水を二次クーリングは冷却水を使用した。

(5) コンクリート打設

堤体は「柱状工法」により施工され、中標高部以下の上下流堤体敷幅の長い部分は縦継目を2カ所設け3分割している。この縦継目はコンクリート冷却後ジョイントグラウチングにより一体化している。

堤体コンクリートは1.5mリフトを基本として施工され、3層階段状打設を基本とした（写真6）。

コンクリート打設の生産性という面から、打設速度を建設当時の内外のダムと比較してみると、それまで国内

で施工されてきた各ダムよりはるかに速い速度でコンクリート打設を施工していた。

佐久間ダムが施工の手本としたアメリカのパインフラットダムと同等かそれ以上の施工速度であったことは、輸入した慣れないアメリカ製の機械類を使用した状況を考えれば、現場担当者以下の努力の賜物であったと考える。

1956（昭和31）年1月8日に1日当たりのコンクリート打設量5,180m³/日の世界新記録を樹立した。それまでの世界記録はパインフラットダムの5,063m³/日であった。

(6) アトキンソン社

佐久間ダム施工にあたって技術指導を行ったアトキンソン社は、フーバーダムやパインフラットダムなどの工事に参画した大手建設会社であった。

佐久間ダムの施工にあたっては、パーカー技師長以下50名近くが来日し、中には家族を帯同した人もいた。技術指導の内容は、工事全般の指導から機械運転整備の方法、細かいところでは命綱の結び方の指導など多岐にわたり、独自のノウハウを惜しげもなく提供してくれた（写真7）。

(7) 佐久間ダムの施工を振り返って

戦後復興のシンボリック的存在と言われた佐久間ダムの施工について先人の足跡をたどると、入念且つ大胆に考えられた施工計画に驚かされた。

無理とも思われる工期を確保するために、発注者と施工者が前向きに議論し、短期間のうちに決断し実行した。新しいものに挑戦する情熱と覚悟は、今我々が一番学ばなければならないものではないかと考える。



写真7 50万m³達成記念写真（右から6人目パーカー技師長）

4. 佐久間以降の開発

(1) 黒部とOTM

佐久間ダムの成功を受け、日本のダム技術者、土木技術者は自信を持って次なる挑戦に向かうこととなった。水力発電の大規模ダムだけ述べても関西電力（株）の黒部、電源開発（株）が「OTM」と呼ぶ奥只見、田子倉、御母衣など、日本を代表する大規模ダムがこの時期に相次いで建設されている（表2）。

いずれのダムも佐久間完成時には着工もしくは準備が始まっており、各ダムの関係者は佐久間の施工事例を素早く取り入れるとともに、佐久間の成功に続けと意欲と自信を深めた。なお、奥只見、田子倉、黒部の工期が長く要しているのは、道路や鉄道による現場へのアクセス整備が必要であったことおよび豪雪地帯のため冬期の施工に制限を受けたためである。

この時期に開発された大規模重力式ダム3基の形状を並べて比較してみると、本稿主人公の佐久間の堤体積の少なさが秀でており、経済性の面でも良好なサイトであることが明白である（表3）。

	佐久間	奥只見	田子倉	御母衣	黒部
高さ m	155.5	157.0	145.0		
堤頂長 m	294	480	462		
堤体積m ³	112万	166万	190万		

表3 佐久間、奥只見、田子倉ダムの形状比較

地点名	佐久間	奥只見	田子倉	御母衣	黒部
着工/運開	1953/1956	1954/1960	1953/1959	1957/1961	1956/1963
河川	天竜川	阿賀野川	阿賀野川	庄川	黒部川
ダム形式	重力式	重力式	重力式	ロックフィル	アーチ
ダム高	155.5m	157m	145m	131m	186m
総貯水量	3.3億m ³	6.0億m ³	4.9億m ³	3.7億m ³	2.0億m ³
流域面積 ¹⁾	4,156km ²	595km ²	816km ²	443km ²	189km ²
発電出力 ²⁾	35万kW	56万kW	40万kW	21.5万kW	33.5万kW
事業者	電発	電発	電発	電発	関電

1)流域面積は間接（流路変更）を含む 2)発電出力は改造を含む現在値

表2 佐久間直後に開発された大規模ダム

(2) 佐久間周辺の開発

電源開発（株）は、佐久間の大貯水池を有効に活用するため、周辺に次々とダム及び発電所を建設した。佐久間とほぼ同時期に施工した逆調整池機能を持つ秋葉ダム（写真8）・発電所、揚水発電の上ダムを新設し佐久間を下ダムとして活用した新豊根ダム（写真9）・発電所など4ダム8発電所を拡充し、佐久間を含めた設備出力は一般水力73.4万kW、揚水発電112.5万kWに達している。

5. 課題と今後の期待

(1) 流入土砂の課題

天竜川流域の山岳地域は脆い土質が多く、出水時に大量の土砂生産と流下が発生するため、天竜川はどのダムも堆積土砂が課題となっている。

佐久間貯水池に堆積する土砂は出水規模により変動し、少ない年で100万m³、多い年では300万m³以上に達する。約30kmの細長い貯水池は上流から下流に向かって堆積が徐々に進行し、その総量は約1.3億m³、総貯水容量の約40%になってしまっている。現在は上流地域の冠水防止のため専用船団による浚渫、死水域への湖内移送を年間100万m³超実施して凌いでいる（写真10）。

死水域には限界があるため暫定的な苦肉の策であり、持続可能なダムの運用のためにスルーシングや下流への置土が必要である。

(2) 治水事業とのタイアップ

天竜川下流には浜松市、磐田市などの大都市があり、治水安全度を高める目的で佐久間ダムに治水機能を付加する計画を中部地方整備局が進めており、ダム所有者の電源開発（株）の間で治水兼用化（共同ダム化）の協議を実施中である。

発電専用の佐久間ダムの大貯水容量を治水にも活用すること、併せて土砂移動の連続性の確保として下流への置土、下流域及び海岸への土砂供給を実現し、ダムの課題である流入土砂の解決にも繋がる計画となっている。

(3) 今後の期待

佐久間ダムの持つエネルギーは大きく、佐久間発電所は現在も年間発生電力量が国内最大を誇っており、下流の発電所群を含めて再生可能エネルギーの重要な財産となっている。

今後もその財産を活用しながら、未来に引き継いでいくことが私達の役割であり、ダム及び発電設備のリニューアル、気象予測精度の向上、IT・AI等の技術導入を進めていく。



写真8 秋葉ダム



写真9 新豊根ダム



写真10 浚渫船の一例（ガッドバージ船）

<参考文献>

1)「回想の佐久間」(永田年著 1956年)

<図表・写真の提供>

図1～2、表1～3、
写真1～2、8～10
図3～4、写真3～7
電源開発株式会社
株式会社 安藤・間