

# 佐久間発電所及び佐久間周波数変換所の概要と構造

中村悦幸

天下の“暴れ川”とも呼ばれた天竜川は、長野県の諏訪湖に源を発し、静岡県の大井川に注ぐ延長213 km、流域面積 5,090 km<sup>2</sup> のわが国有数の大河川である。

3～4月の融雪期、6月前後の雨季、9～10月の台風による出水等による豊富な水量と、水力発電として有効な地形を有する佐久間地点は、早くから注目されていたものの厳しい自然条件が開発を拒んでいた。

この、暴れ川・天竜の流れを、最難関といわれた佐久間地点で制しようという試みは、まさに世紀の挑戦であり、1953年（昭和28年）から僅か3年の歳月で、巨大なダムを築き、最大出力35万kWの水力発電に替えたことは、日本の水土木技術をはじめとする広範な業界に革命的な影響を与え、技術革新と高度経済成長の夜明けを告げるものとなった。

佐久間発電所は1956年（昭和31年）4月に運転を開始して以来すでに56年を経過して、累計発生電力量は800億kWhを超えている。年間流量約50億m<sup>3</sup>の豊富な水量から、3億2,600万m<sup>3</sup>の貯水容量と133mという落差が生み出す電力は、1年間の発生電力量で、一般水力発電所としてはほとんどの年で日本一の電力量を誇っている。

キーワード：佐久間ダム、佐久間発電所、佐久間周波数変換所、天竜川、9電力、電源開発調整審議会

## 1. はじめに

佐久間地点における水力発電計画のはじまりは古く、大正時代にさかのぼる。しかしながら洪水期の流量の多さや両岸が切り立った断崖で接近する手段がなかったこと等により着工されることはなかった。

電源開発株式が設立された目的は、1951年（昭和26年）に発足したばかりの9電力体制を補完することにあつた。当時、電力の需要は非常に逼迫しており、その打開を図るため、9電力が火力を重点的に開発し、火力をベースに、水力でピークをまかなうという方針に乗り出したため、水力はそれまでの流れ込み式から大貯水池式に切り替えていく必要性が高まった。しかし、その大貯水池式水力の開発は投資額がかさみ、技術的にもリスクが大きいため、それを電源開発が担当すべし、ということだった。

この目的から、水力発電として、規模、経済性から最適地である佐久間地点の開発が計画され、1952年（昭和27年）電源開発調整審議会で、佐久間ダム・佐久間発電所の着工が決定され、佐久間ダムの高さは150m、発電所の出力は35万kWと決まった。当時のダムの高さの最高が88mであったから一気に2倍近い高さのものであった。

## 2. 佐久間ダムと佐久間発電所の仕様

佐久間ダム・発電所の仕様

認可最大出力 350,000 kW（台数4台）

発電所形式 ダム水路式

最大使用水量 306 m<sup>3</sup>/秒

有効落差（最大） 133.49 m

ダム 形式 コンクリート重力式

堤長×高さ 293.5 m × 155.5 m

貯水容量 326.85 百万 m<sup>3</sup>

（有効容量 205.44 百万 m<sup>3</sup>）

利用水深 40 m

水車 形式 立軸フランシス

出力 96,000 kW × 4台

発電機 出力 93,000 kVA × 4台

周波数 1, 2号機：60/50 Hz,

3, 4号機：50/60 Hz

運転開始 1956年（昭和31年）4月22日

佐久間地点は、開発の困難さでは比類のない地点であった。天竜川は、融雪期、梅雨期のほか、秋には台風のもたらす大出水と、年に3回の洪水期がありその洪水量も数千m<sup>3</sup>/秒にもおよび、この時期を避けて

安全に工事を行うことができる期間は数ヶ月しかない。しかも、ダム地点の堆積砂利層が厚く25mもあり、短期間のうちに、これを取り除き岩盤を露出させてコンクリートを打ち込むことは、それまでの土木技術では不可能であった。

### 3. 佐久間ダムと佐久間発電所の建設施工

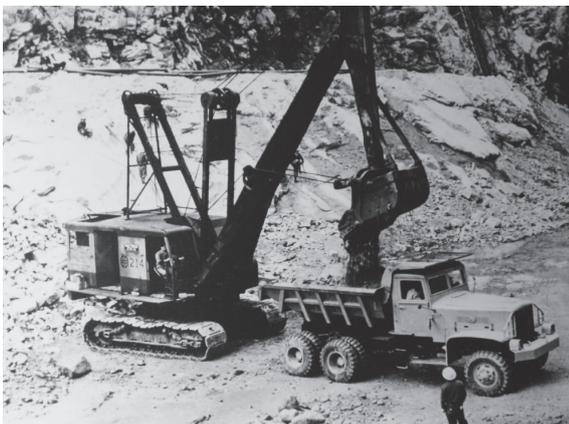
このような状況のもと、1953年（昭和28年）4月に着工した佐久間ダムおよび佐久間発電所は、わずか3年の後1956年（昭和31年）4月に発電を開始し、佐久間ダムは同年の10月に竣工を迎えることとなる。これまで不可能と思われてきた佐久間における水力発電の開発を可能にしたのは何だったのだろうか、特徴的なことについて以下に述べる。

#### (1) 大型土木機械の導入

ダムの建設地点は両岸が切り立った狭隘な場所で、年に数回も $1,000\text{ m}^3$ ／秒以上の洪水があり、しかも河床の堆積砂利層は25mにおよび、それまでの工法では対処できるものではない。それを可能にしたのは、アメリカからの大型工事用機械と、それを駆使する技術の導入であった。

佐久間ダムの建設が決定されると、アメリカのパイプラットダムの建設現場を視察した。同ダムは高さ130m、体積 $150\text{ m}^3$ であり、岩盤の状況、地質、流量などが佐久間とそっくりであったが、その建設工事が、15tダンプトラックやパワーショベル、大型ブルドーザの大型機械群が動き回り人間が少ないことに驚いた。そして、このような大型機械群を駆使した工法を採用すれば、佐久間ダムの建設が可能であるとの見通しを得ることができた。

施工体制にも特徴があった。佐久間ダム・発電所は工事量が大きく一社で請負うのは無理なことから、二



写真一 大型機械による工法

つ以上の請負会社が共同で受注し、連帯して責任を負うという、ジョイントベンチャー方式がとられた。

こうして施工体制が整いつつあったが、佐久間ダム工事の成否を分けたものは、なんとといってもアメリカから輸入された大型土木機械群であった。これらの機械類は、今ではどこでも普通に見られるものであるが、当時においては初めての試みであり、それまでの土木工事の常識を大きく変えるものとなった。

#### (2) 仮排水トンネル工事と本流締切工事

ダム建設には欠かせない仮排水路は、右岸に2本のトンネルを掘った。トンネルの直径は10m、断面積は $104\text{ m}^2$ 、長さは1号仮排水路が750m、2号仮排水路が650mで、2本で最大 $1,100\text{ m}^3$ ／秒の排水能力をもつものであった。工事は渇水期に完了して、次の年の融雪出水前には、仮締切も完了させて天竜川の流れを変えなければならないものであった。

着工した当初はまだ輸入の大型機械群は到着していなかったため、コンプレッサーやドリルなどの工事機械類を川舟で工事地点に運搬し、従来の工法で着手した。

アメリカ製の大型機械群が現場に届いてからは、慣れるに従い徐々にその能力を発揮しはじめるとともに、10月にはダム地点下流に飛竜橋が完成してバイパス工事現場へ大型機械が入れるようになり、工事の能率は飛躍的に上がった。

12月にはバイパスの導坑が2本とも貫通した。本トンネルの断面積は $104\text{ m}^2$ で導坑断面を除いた残りの $64\text{ m}^2$ を掘削しなければならない。そこで活躍したのがジャンボである。ジャンボとは、鉄骨で組んだやぐらの前面に19本のドリルを付けて、レール上を車輪で前後するもので、その下部をパワーショベルやダンプカーが自由に通れる大きなものである。ドリルで6mの発破用の穴を60本穿孔し火薬をつめて岩を爆破する。崩された岩を、パワーショベル、ブルドーザ、ダンプカーを使って坑外へ搬出するというもので、慣れるにつれて掘削の能率は向上し、1日約10mの掘削が可能となり、12月の本掘削開始から2月9日には、650mの2号仮排水路が貫通した。コンクリート巻きにはスチールフォームという機械が使われ、従来の工法に比べ3～4倍のスピードで工事は進行し、3月中旬に2号仮排水路工事は完成した。

この後は、天竜川の流れを仮排水路に流し込むための、仮締切工事である。仮締切工事に要する時間については、1日半から2週間というようにまちまちの意見があり、結局やって見なくては分からないという

ころであったが、仮排水路の取水口をふさいでいたコンクリートが破壊されるのと同様に土砂を満載したダンプカーとブルドーザにより、約1,000 m<sup>3</sup>の岩石と土砂を投入して、わずか55分で仮締切工事は完了した。まさに機械化工法の威力であった。

この後、6月には残る1本の1号仮排水路も完成し、着工以来1年2ヵ月で天竜川は流れを変えた。

この天竜川での工事でもっとも心配されていたことが、たびたび襲われる出水であった。ここでも威力を発揮したのはやはり最新の機械化工法であった。パワーショベル、ブルドーザ、ダンプカー群は自力で走行できる足をもっているため、ギリギリまで作業を行い、いざ危険となれば自力で退避し、水が引けばすぐに再開ができた。また、強力な排水ポンプも非常に有効であった。

#### 4. ダムの本体工事

佐久間ダムは、高さが155.5 m、堤長が293.5 m、体積が112万 m<sup>3</sup>のコンクリート重力式ダムである。

ダム建設における最大の工事量は、ダム建設地点に堆積した土砂や砂利を完全にに取り除き、岩盤を露出させる基礎掘削である。佐久間ダム建設における基礎掘削は、ダムの全長290 mに堆積した砂利層25 mを、幅160 mで掘り上げるもので、その掘削量は100万 m<sup>3</sup>にもなった。

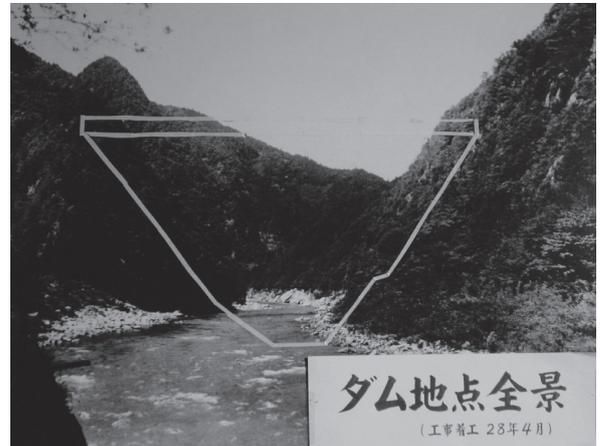
掘削はまず兩岸の上部から階段状に削り落としとしていった。ワーゴンドリルで5 mの垂直な穴をあけ、発破をかけて下へ落とし、ブルドーザ、パワーショベル、ダンプカーで搬出するという手順で、発破は6時、12時、18時、24時の1日4回、昼夜兼行で続けられた。

1954年（昭和29年）10月には川床部の岩盤に到達し、岩盤のひび割れ部にセメントミルクを注入するなどの岩盤処理が施され、昭和30年1月に通産省の岩盤検査が終了して、1955年（昭和30年）1月18日待望のコンクリート打ち込みがはじめられた。

コンクリート用のセメントは主に、静岡県西部地方の金指に新設したセメントの工場から、飯田線を使用して専用貨車で毎日運搬した。中部天竜駅からは専用線でセメントサイロまで運び入れられたが、この専用線はこのために新設され、今ではB型鉄橋として、車と人の通行に利用されている。また、セメントサイロがあった場所は、佐久間側周波数変換所が設置されている。

コンクリート1 m<sup>3</sup>にはセメント200～240 kgと2.2 tの骨材が必要である。骨材はダム地点下流3 kmの上

島地区で採取され、ふるい分けプラントに運ばれて分類された。ここから、ダム地点左岸山上に設置されたバッチャープラントまで、延長2,000 mのベルトコンベアで運ばれた。ベルトの幅90 cm、分速100 mで



写真一2 ダム建設地点



写真一3 ダンプカーによる土砂運搬



写真一4 上流側一次仮締切



写真一五 夜間工事状況



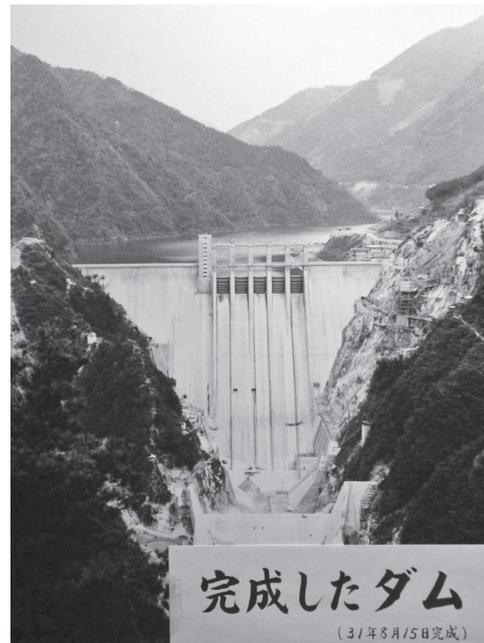
写真一六 掘削工事状況



写真一七 仮排水路による迂回



写真一八 ダム完成までもう一息



写真一九 佐久間ダム完成

運搬能力は1時間に650tという大型のものであった。

バッチャープラントで練られたコンクリートは、ケーブルクレーンで打設地点に運ばれたが、このケーブルクレーンは25tのもの2台で、1台は2,500馬力のハイスピード、もう1台は500馬力のスタンダードのもので、川底から180mの地点に、兩岸に走行路をつけて設置されていた。

コンクリートの打設量は最初のうちは1日200～300 $m^3$ 、慣れるに従い増大し、ダムが高くなるほど能率もあがり、打設終了まで1日も休まず昼夜兼行で進められた。月間の最高は1955年(昭和30年)12月の9.9万 $m^3$ 、1日の最高は1956年(昭和31年)1月7日の5,180 $m^3$ で、当時世界記録といわれた。ダムの高さは順調に積み上がり、打ち込み開始後1年たった時には、中央部83m、右岸は143mに達した。

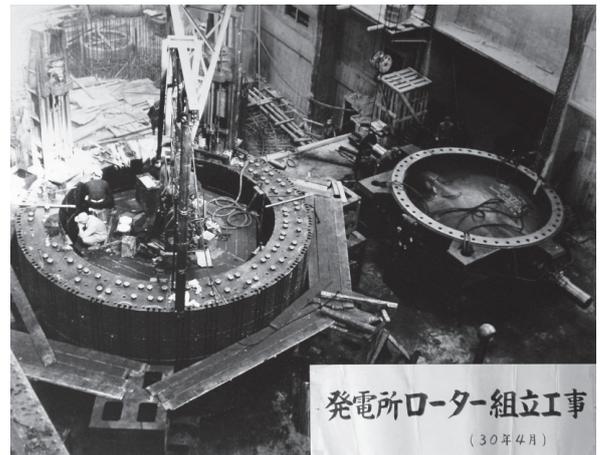
ダムの積み上がりに合わせて湛水が行われた。第1次湛水は1955年(昭和30年)12月6日から、第2次湛水は1956年(昭和31年)2月5日から、第3次湛水は同年3月16日からそれぞれ行われた。

第3次湛水によって取水口からの発電所への通水が可能になり、3月19日より水車発電機の試運転がはじまり、水車や発電機の各種調整試験の後、官庁検査を経て1956年(昭和31年)4月23日から営業運転を開始した(当初は25万kWで運転開始)。

ダム本体工事はこの後も続けられ、上部に5門の洪水吐用ローラーゲートが取付けられ7月に終了した。また、ダムのエプロンの端から下流72mのところ副ダムが設けられた。副ダムの目的は、洪水吐ゲート



図一 1 記念切手発行



写真一 10 発電機（ローター）組立

より放流された水の勢いを殺すもので、 $10,000 \text{ m}^3$  / 秒もの洪水に耐えられるよう設計された。これらの工事は8月19日に完成した。

こうして佐久間ダムの工事はすべて完了し、1956年（昭和31年）10月15日に佐久間ダム完成式が挙行され、式典に合わせて記念切手も発行された。

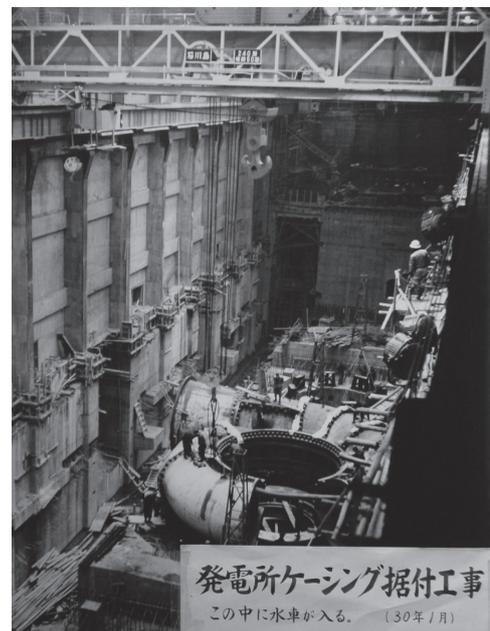
また、延べ350万人、1日最高6,000人といわれた労働者のなかで96名の尊い犠牲者が出た。その方たちの氏名は湖畔の慰霊碑に刻まれている。

## 5. 発電所の建設

発電所の出力は35万kW、最大使用水量 $306 \text{ m}^3$  / 秒、最大有効落差133mで、発生電力は東京電力および中部電力に均等に送電するというものであった。水車発電機の台数は4台、それぞれ、水車は96,000kW、発電機は93,000kVAの出力で、当時としては最大であった。また、いずれの水車発電機も東京および中部電力への送電が可能のように、50Hzおよび60Hzの周波数での運転が可能で、佐久間ダムの利用水深は40mあり、最低落差と最高落差の変動が大きい変落差に対応するものであった。

水車発電機の入札は国際入札で行われ、国内4社、アメリカ2社、西ドイツ2社による競合の結果、国内2社が落札した。

発電所本館は地下6階地上4階で、間口は101m、奥行39m、高さ45mという巨大なものであったが、基礎掘削には大型機械群の威力が如何なく発揮され、1954年（昭和29年）3月下旬には完成した。4月にはいってドラフトチューブが据付けられ、1955年（昭和30年）1月からは、水車発電機が分解されて運び込まれ、組立て工事がはじめられた。運び込まれた機器類は膨大な量にのぼり、そのほとんどを、飯田線を



写真一 11 水車（ケーシング）据付

利用して貨車運搬された。発電所の中では、240tクレーン2台により次々と組立てられ、6月までに2基が完了、8月には4基とも組立てが完了して調整が進められた。

ダムから水圧鉄管までの圧力トンネルは、長さ1,180m、内径は7mのものが2本、調圧水槽は高さ110m、内径20mのものが2本、水圧鉄管は延長147m、内径4.8m～3.8mで4本、傾斜は45度というものであった。水車発電機は地下掘削をして据付ける半地下式発電所で、水圧鉄管も地下に構築された。圧力トンネルの工事は、トンネル内径は7mであるが掘削径は8.2mであり、全断面をジャンボで掘る方式がとられた。1日8mを掘り進み、1954年（昭和29年）6月の本トンネル掘削開始から、1955年（昭和30年）1月16日には2本とも貫通した。また、4本の水圧鉄管を設置するトンネルは、直径6mで傾

斜 45 度のものであり、掘削には全国初の傾斜ジャンボが使用された。傾斜が急なため大変困難な工事であったが、1954 年（昭和 29 年）末には 4 本とも貫通した。

これらの工事は、圧力トンネルのコンクリート巻きを最後に 1956 年（昭和 31 年）1 月に完了した。その後、佐久間ダムの第 3 次湛水によって発電所への通水が可能になり、3 月 19 日より水車発電機の試運転がはじまり、4 月 8 日から官庁検査を受けて 4 月 22 日に出力 25 万 kW の水力発電所として仮使用が認可され、翌日 23 日より営業運転を開始した。

## 6. 佐久間周波数変換所の建設

佐久間周波数変換所は、Frequency Converter の頭文字をとって「佐久間 FC」と呼ばれる。この佐久間 FC が完成、運転を開始したのは昭和 40 年 10 月 10 日、この日をもってそれまで 50 Hz（東日本）と 60 Hz（西日本）に分断されていたわが国の電力系統は連系されることになった。そして、この佐久間 FC の活躍によって、広域運営はいっそう強力に推進されることになった。

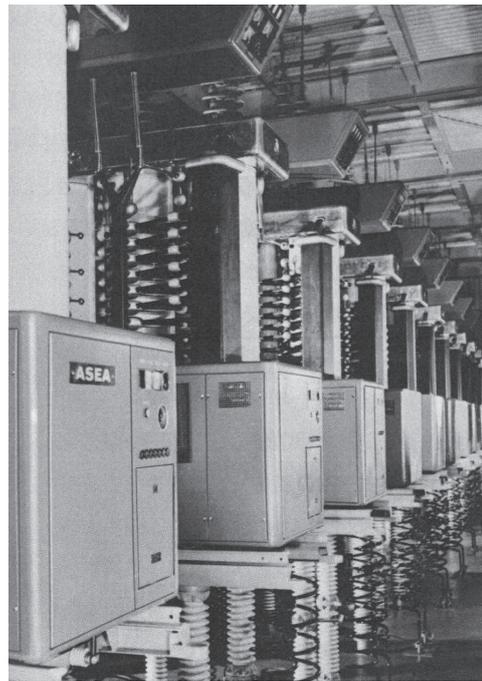
わが国の電力周波数が、東日本と西日本で 50 Hz・60 Hz に分かれたのは、1895 年（明治 28 年）に東京電燈がドイツの AEG 社製の発電機を輸入し、一方、大阪電燈が 1897 年（明治 30 年）にアメリカの GE 社製の発電機を輸入して、火力発電所を建設したことによる。

周波数が異なることは、東西両地域がそれぞれに予備力をもたなければならぬこと、地域間の電力融通ができないこと、電気機器も当然地域別に違ってくるなど、多くの不経済をもたらしていた。終戦直後に周波数の統一がはかられようとしたこともあったが、経済復興が予想外に速かったために統一には至らなかった。

両周波数の系統を連系する構想のきっかけは、1958 年（昭和 33 年）秋の広域運営視察団がもたらした。この時、英仏両国が直流送電連系を計画、16 万 kW の設備をスウェーデンの会社に発注していたのに着目し、これを周波数変換設備として日本でも使ったらどうかと示唆したことにはじまる。

1961 年（昭和 36 年）4 月、電力中央研究所に「両サイクル連系問題委員会」（委員長・福田節雄東大教授）を設けて、技術的な検討を加えることとなった。

1964 年（昭和 38 年）1 月敷地造成工事に着手、スウェーデンから最初の機器輸送船が名古屋港に入港し



写真—12 水銀整流器

たのが翌 39 年 4 月で、文字どおりの突貫工事で、1956 年（昭和 40 年）10 月 10 日に運転を開始した。

佐久間周波数変換所の主な仕様は以下のとおり。

認可出力 300,000 kW

変換器 種類 水銀整流器

電圧×電流 125 kV × 1,200 A

1 極容量×極数 150,000 kW × 2 極

1 群台数×群数 6 台 × 4 群

運転開始 1965 年（昭和 40 年）10 月 10 日

\* 1993 年（平成 5 年）6 月 11 日

サイリスタバルブにリプレース運転開始

## 7. おわりに

以上、エネルギー・エネルギー施設特集にあたり、現在我が国の一般水力発電所として日本一の発生電力量を生み出している佐久間ダム、佐久間発電所の概要、建設施工の歴史を改めて振り返りまとめてみた。興味をお持ちの方に一読いただければ幸いです。

JCM/A

【筆者紹介】

中村 悦幸（なかむら よしゆき）

電源開発(株)

水力発電部 中部支店 佐久間電力所

所長代理

