

超高落差で 水力発電の常識を覆せ！

東京電力(株)・^{かん ながわ}神流川発電所



美しい景観でグッドデザイン賞にも輝いた南相木ダム

世界最大級の揚水式水力発電所

気象庁の長期予報によると、今年の夏も平年を上回る暑い夏になるとのことです。暑いのが苦手という方には大変な季節ですが、それ以上に心配されるのが、首都圏の電力需要の急増です。このような中、群馬県と長野県の県境に位置する山間部で、東京電力が誇る最新鋭の水力発電所が稼働しています。それが、神流川発電所です。

今回のトピックスでは、様々な最新技術が導入され、関係者から多くの注目を集めているこの水力発電所を取材し、施設の概要と使用された技術を皆様にご紹介することにしました。

神流川発電所は、長野県の南相木村を流れる信濃川水系南相木川の最上流部に上部ダムを、群馬県の上野村を流れる利根川水系神流川の最上流部に下部ダムを建設し、このダムとダムとの間に生じる653mの落差を利用して発電を行う揚水式の水力発電所です。

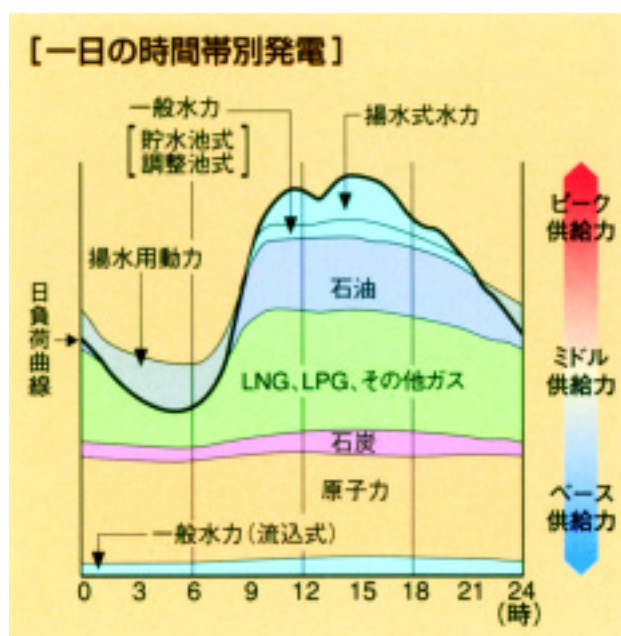
揚水発電は、火力発電や原子力発電などの発電設備に余裕ができる夜間に、その電気を使って下部ダムの水を上部ダムに汲み上げ、需要がピークを迎える昼間にその水を落とし込んで電気を供給します。つまり、蓄えることのできない電気を位置エネルギーとして蓄えておく施設とも言えます。

昼夜の電力需要の格差が激しくなった1980年代からは、次々と建設が行われ、現在、東京電力だけでも9カ所の揚水式水力発電所を所有しています。運転開始

からわずか数分で最大出力を発揮できることが最大のメリットで、電力調整のためのピーク電源として、ベース電源の原子力発電やミドル電源の火力発電などの効率的な運転に欠かせない施設になっています。

神流川発電所が発電に使用できる有効貯水量は1,267万m³で、夜間に約10時間かけて揚水された水を延長約2.4kmの導水路（φ8.2m）と約1.4kmの水圧管路（φ8.2～2.3m）を通して、地表から約500mの地下につくられた発電所に送り込みます。

現在、6台計画されている発電機のうち、1号機（47万kW）が稼働しており、今後2号機から6号機までが順次完成していけば、その最大出力は282万



kW（一般家庭約90万世帯分）となり、世界最大級の揚水式発電所が誕生することになります。

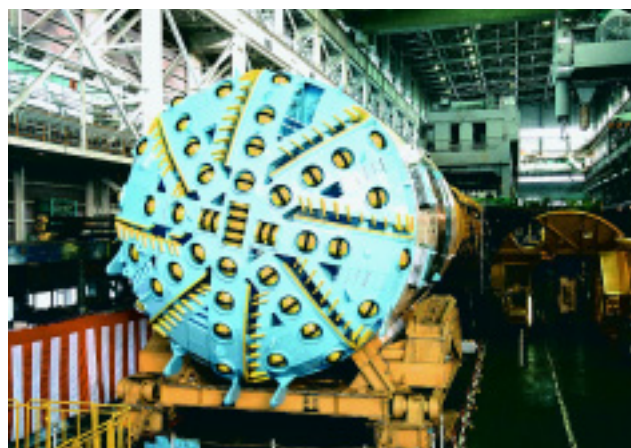
全断面TBM工法による斜坑掘削

神流川発電所の本格的な建設工事がスタートしたのは平成9年のこと。地下施設や上・下部ダム建設のためのバイパストンネルを掘るところから始まり、平成15年には下部ダムである上野ダムが、平成16年には上部ダムである南相木ダムが完成し、水を貯めはじめました。この間、地下を掘り進んだところでは、土木工事最大の難関である斜坑掘削と地下発電所構築のための巨大な空洞の掘削工事が始まりました。

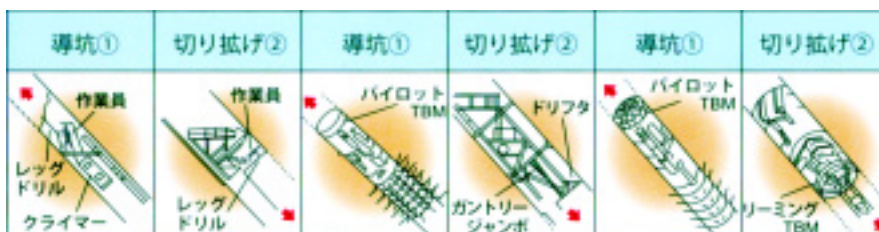
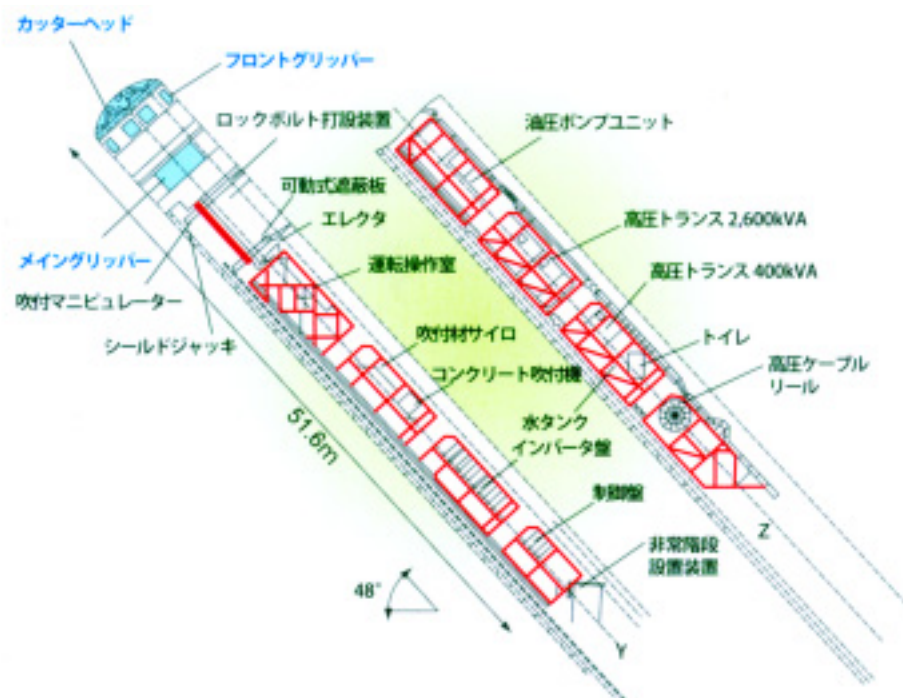
斜坑掘削にはこれまで、様々な工法が採用されてきました。昭和60年代までは、作業員がクライマーと呼ばれる作業台に乗りながらドリルで爆薬を装填し、爆破で直径の小さいトンネル（導坑）を上掘りしていき、その導坑を爆破で切り抜けながら下りてくる方法がとられていました。その後、導坑をトンネルボーリング

マシン（TBM）で掘って、下りるときは同じように爆破で切り抜ける方法や、同じように導坑をTBMで掘って、切り抜けを径の大きなTBMで行うというように進化してきました。

ただ、これまで採用されてきた技術は、下から小さなトンネルを掘り、上からそれを抜けていくという2工程方式の掘削だったわけです。



国内で初めて採用された全断面TBM



全断面TBM工法の概要図とこれまでの斜坑掘削工法

しかし、神流川発電所の斜坑掘削には、国内で初めての全断面TBM工法が採用され、傾斜48°，長さ約1,000m、φ6.6mの斜坑を下から一気に掘り上げました。

「TBMは巨大になればそれだけ重量も重くなります。ここで使用されたTBMは、掘削径が斜坑用としては世界最大でしたが、その重量もおよそ600tと、これまでにない重さでした。幸い周りの地盤が比較的固く丈夫だったこともあり、この新工法の採用に踏み切りました。従来の2工程方式と比較すると約1.5倍のスピードで掘削が完了しましたので、大幅な工期短縮とコスト縮減につながりました」(東京電力・建設部)。

また、このTBMは、掘進管理を行ううえで最も重要な地山の状態を予測する方法として「前方探査システム」を取り入れました。このシステムは、ロックボルト削孔機を使用して、ドリルの削孔速度や打撃圧等から求めた打撃係数データと発生するスライムなどから岩盤の性状を推定するもので、軟弱層を事前に検知しながらそれに合わせた支保が準備できるという特長を持っています。

高張力鋼HT100を採用

斜坑掘削が完了すると、次は水を流下させるための水圧管路の築造です。神流川発電所で使用される水の量は毎秒510t（水圧管路1本当たりは170t）にもなります。そのため、最大10Mpaの水圧に耐えられるよう引張強さ100kgf/mm²の高張力鋼「HT100」を国

内で初めて採用しました。長さ3m、φ4.6m、管厚6cmの半割れ管を10枚溶接して長さ15mの鋼管をつくり、それをウィンチでトンネル内につり下げていくわけですが、その重量は100tにもなります。

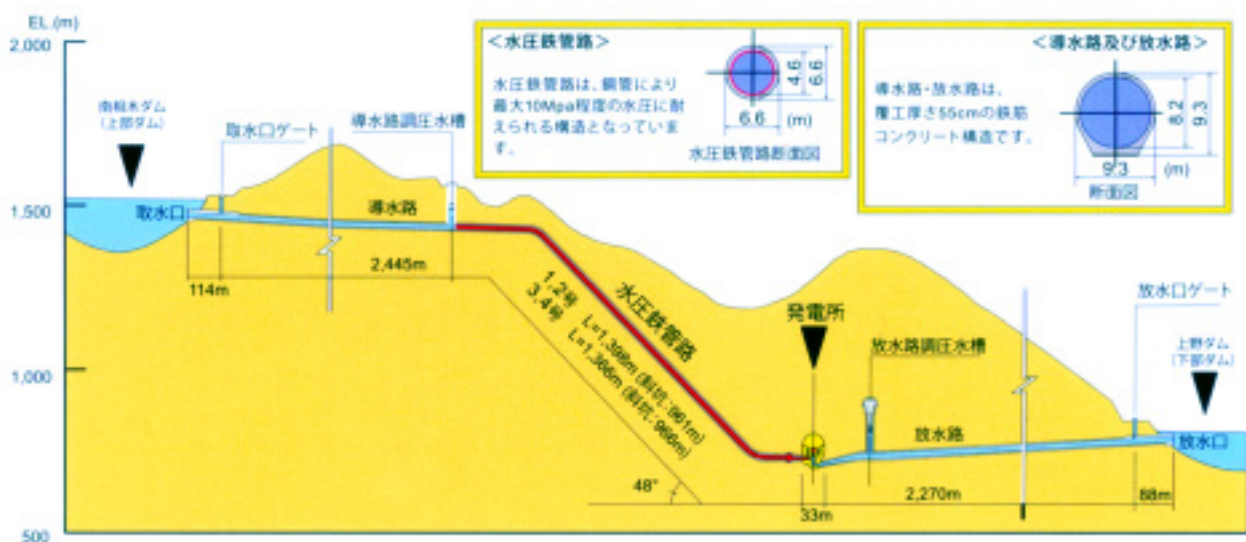
「それまではH80という高張力鋼を使用していましたが、管厚が8cmもあったので4本（13m）までつなげるのが限界でした。HT100の採用によって坑内での溶接作業が減り、施工スピードが上がりまし、水圧管路としての品質も向上しました」(同)。

また、トンネルと鋼管の隙間に充填する裏込材にも流下距離1,000mに対応するため、高流動性のコンクリートを使用するなど様々な工期短縮の工夫が凝らされています。

そして次の難関は、発電機を設置する地下発電所の掘削です。ここで必要とされた空洞の大きさは、超高層ビルがすっぽり収まってしまいそうな長さ216m、幅33m、高さ51mの巨大な空間です。



神流川発電所地下空洞は圧倒される大きさ



神流川発電所の縦断面図



水力発電の常識を変えたスプリッターランナ



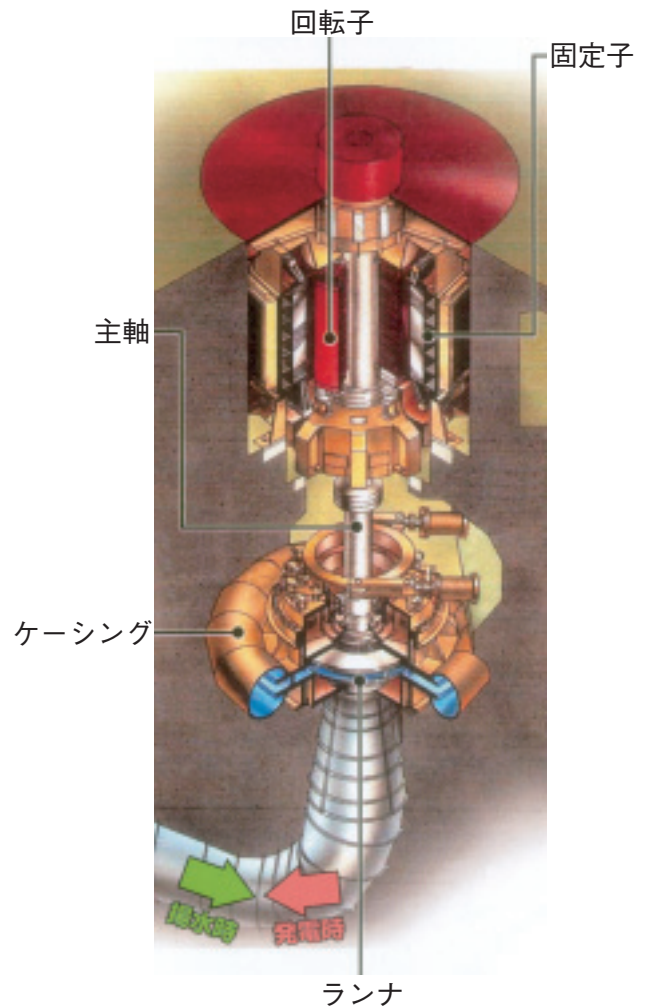
この下に巨大な発電発電機とポンプ水車が設置されている

その構築方法は、まず通常のトンネルを3本掘り、それぞれを横に掘り抜けながら天井をロックボルトで固定し、アーチコンクリートで固めていきます。広い空間ができあがったら、少しずつ下に向かって掘り下げていくのですが、その際にはボーリングなどによる地質調査に加えて、アーチコンクリートや周辺岩盤の挙動を監視する計測点を1,500カ所程度設け、掘削に伴う応力の変化や岩盤の挙動・変位に合わせて効率的なロックボルトの設置を行う「情報化設計・施工システム」が導入され、安全性の確保とともに、経済性の向上が図られました。

こうしてできあがった大空洞に、発電設備を設置していくわけですが、そこでも世界が注目する新技術が生み出されています。

常識を覆した水車ランナの開発

発電施設の駆動部は、主に水の力を受けて回転するポンプ水車とその回転を受けて電気を起こす発電電動



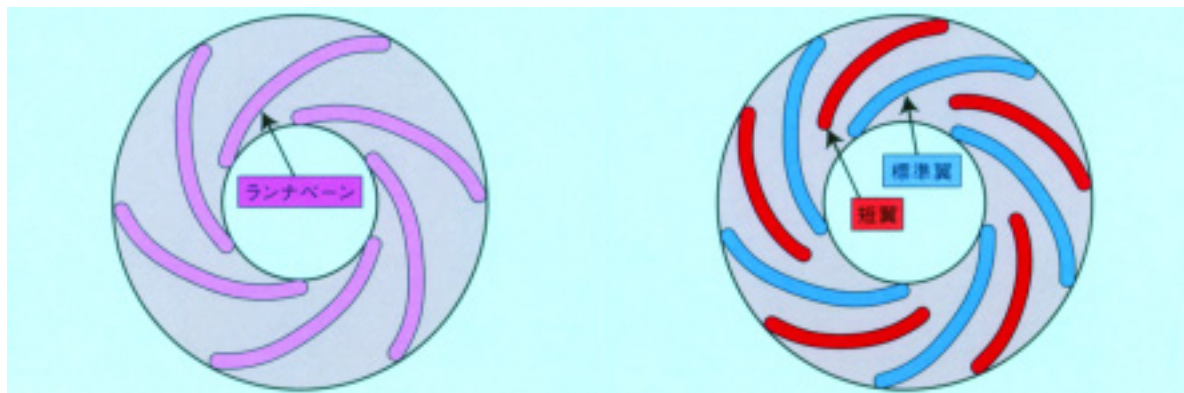
ポンプ水車・発電発電機の仕組み

機の二つから構成されています。

電動発電機は、電気を発生させるためのコイルを巻いてある「固定子」(φ7.9m)の中に円筒形の電磁石である「回転子」(φ5.0m、高さ5.9m)を据え付けた構造になっています。この回転子が主軸によって下のポンプ水車ランナ(φ4.4m)につながっており、水の流れを受けたランナが1分間に500回転して電気を発生させます。逆に、水を上部ダムに揚水する際には、発電機がモーターとなり、ランナを逆回転させて水を汲み上げるしくみになっています。

年々高落差化が進んでいる揚水発電は、このランナの性能ですべてが決まると言われています。そこで、東京電力ではこれまでにない効率的なランナを開発するためメーカーとの共同研究プロジェクトチームを立ち上げました。

「これまでの水力発電では、ランナの翼は6～7枚が適当とされていました。それ以上増やすと摩擦抵抗によって効率が悪くなると考えられていたからです。



従来型のポンプ水車ランナ（左）と新開発のスプリッターランナ

ところが、コンピュータの流体解析技術を使ってシミュレーションしたところ、効率が悪くなるのは摩擦抵抗によるものよりも流水の乱流損失のほうがはるかに大きいことが分かりました。そこで、翼の枚数を増やして乱流が抑えられるような工夫を施した新型ランナを開発したのです」(同)

こうしてできあがったスプリッターランナは、これまでの常識を覆す10枚翼のランナでした。翼が多くなると水の流れる流路が狭くなるというデメリットを、長さの異なる翼を交互に取り付けることで克服し、ランナが回転する時の振動も低減しました。

「この新型ランナによって発電機1台あたり45万kWで計画されていた発電量が47万kWにまで向上しました。6台分だと12万kWにもなります。開発当初は批判されることもありましたが、過去の定説や常識にとらわれず、最新のテクノロジーを駆使して古い技術をもう一度見直してみることが大切だということを痛感しました」(同)

このスプリッターランナの開発には、日本エネルギー学会賞や渋沢賞など多くの表彰が送られました。また、先に紹介した全断面TBMやHT100などの水圧管路築造技術も土木学会技術賞を受賞するなど、日本のみならず世界中から高い評価を受けています。

おわりに

神流川発電所は、平成17年12月の1号機の稼働開始から毎年、電力供給がピークを迎える夏場にはフル稼働で対応しているそうです。また、東京電力では、この事業を多くの人に知ってもらおうと、発電所を「GEO E SiTE（ジオイーサイト）神流川」と名付け、見学者に全面公開し、これまでに2万8,000人あまり



上野村ふれあい館に併設されている「見学ツアーステーション」



が訪れているとのことでした。山奥の地下深くで黙々と稼働する新技術の数々と圧倒される壮観な景色が、読者の皆様をお待ちしています。ぜひ一度訪れてみてはいかがでしょうか。

最後になりましたが、取材の際にお世話になった東京電力(株)本社広報部、建設部の皆様、また現地を案内していただいた群馬支店広報部と富岡制御所の皆様にご協力いただき、この場をお借りして御礼申し上げます。