

宮 口 友 延 (中部電力)

正会員 福 島 啓 一 (飛島建設)

正会員 ○ 安 藤 寿之介 (飛島建設)

1. はじめに

本報告は、中部電力(株)が矢作川水系の旧黒田ダムを嵩上げした貯水池と既設の建設省矢作貯水池の落差を利用して、1,095,000 KWの揚水発電所を建設する工事のうち、第一発電所の導水路調圧水槽の施工について述べるものである。

従来、調圧水槽は事情が許す限り、地中に入れる方法を探ってきたが、この発電所の調圧水槽は、適当な地点に高い山がなく、近年のP C構造物施工実績を考慮して、地上50m、地下24mの調圧水槽のうち、地上部をP C構造として建設することになった。当初の設計段階では、従来の足場工法による施工が考えられていたが、山の頂上にあるため、風が強いこと等を考慮して、安全施工の面からスリップフォーム工法で施工することになった。又、更にコンクリートの連続打設から得られる打継目の減少による水密性の向上、コンクリートの品質管理の容易さ、工期の短縮等の利点があったが、一方、P C構造からくる制約による停止回数の増加により、スリップフォーム工法の経済的メリットが薄れた。

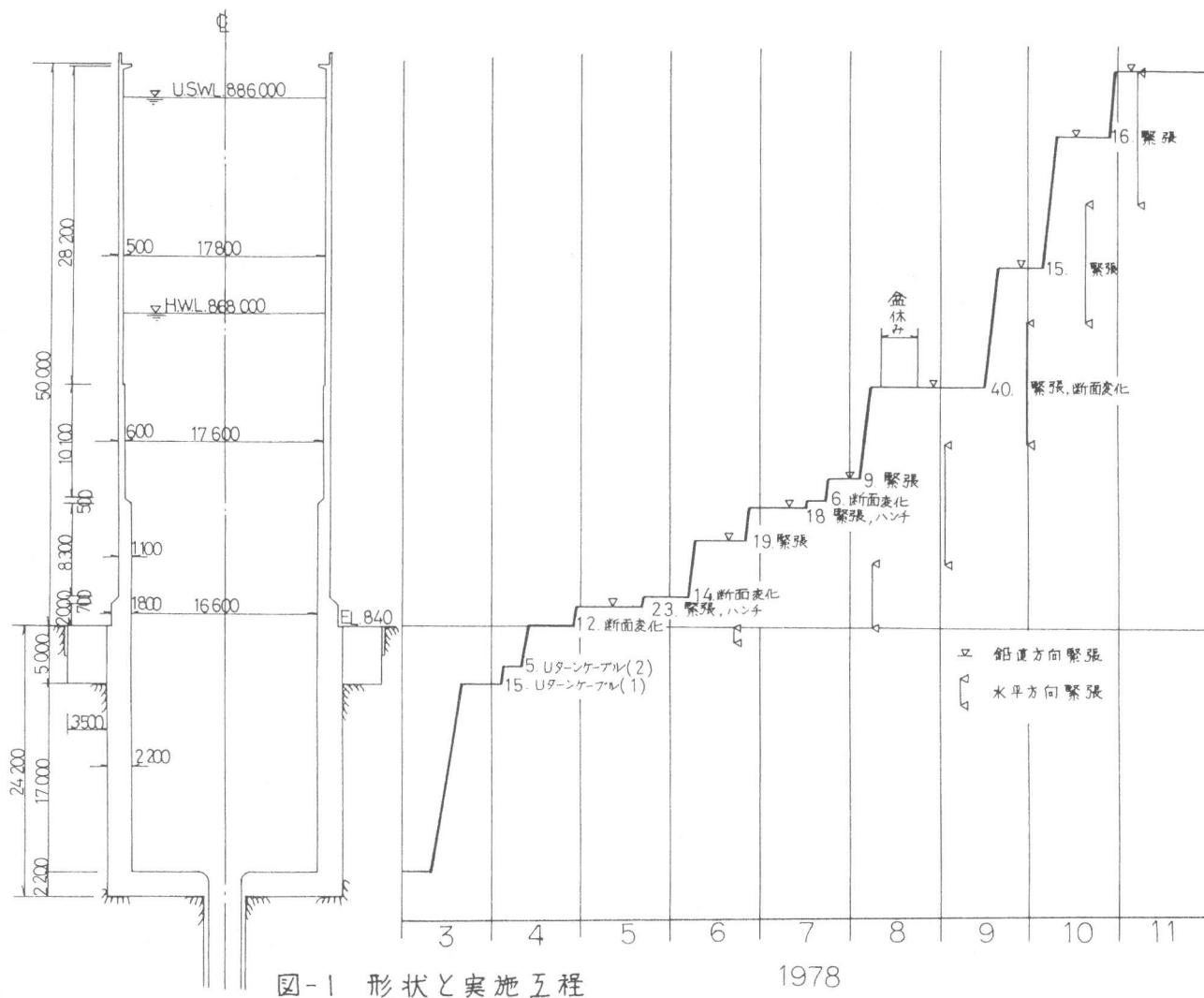


図-1 形状と実施工程

1978

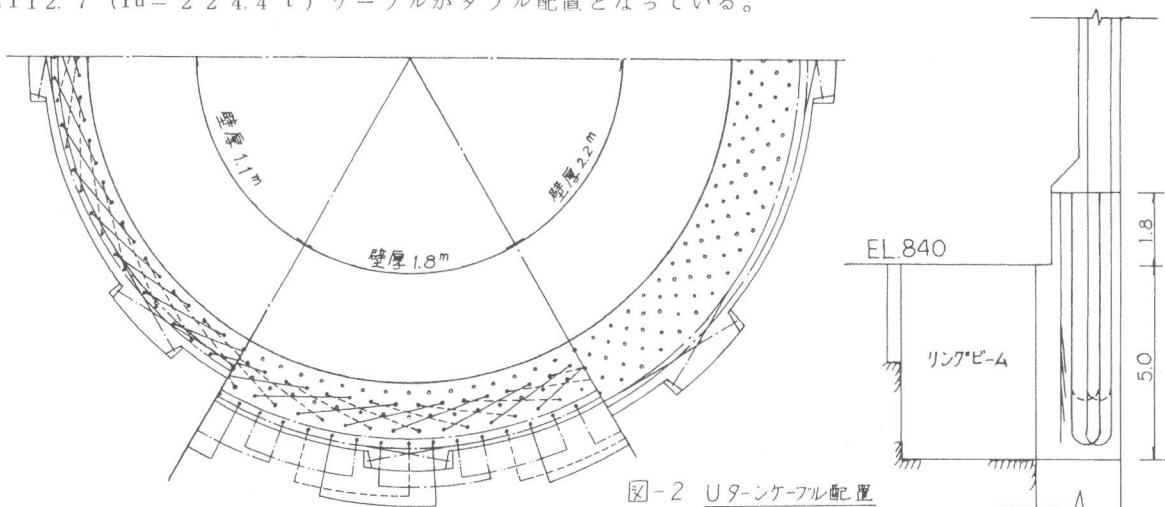
2. PC 調圧水槽

2-1 形状

このPC調圧水槽は、図-1のような形状をしており、RC部19.2m、PC部56.0mで、地上51.0mの構造物であり、美神上と施工上から外径(18.8m)一定の円筒構造物である。壁厚変化は内側で3段階に変化し、壁厚の変化する部分には応力の伝達がなめらかになるように1:1のハンチが付いている。PC部とRC部の境界部には、剛性を高めるために、高さ5m、厚さ3.5mのリングビームがあり、壁厚は2.2m~50cmまでの5種類である。リングビームのコンクリート打設は、壁体コンクリートを13.5mまで打設後、行なった。

2-2 PCケーブルの配置

本工事の特徴としては、地上10.8mまでにフレシネ工法の中で我が国における最大緊張力を持つ12T15.2($P_u = 319.2\text{ t}$)ケーブルを縦方向Uターンケーブルとして用い、その配置は図-2に示すように壁厚2.2mと1.8m部分では壁厚方向に5重にもなるという複雑なものであり、水平ケーブルも、その地上10.8mまでは、12T12.7($P_u = 224.4\text{ t}$)ケーブルがダブル配置となっている。



Uターンケーブルのシースは、U字部を正確に施工するため、亜鉛メッキを施した肉厚2mm(径90mm)の鋼管パイプを工場加工し、それを所定の位置に組立鉄筋に繋結した。Uターンケーブルは、配置方法により8種類あり、その5重配置の一番外側のケーブルは4種類が立体的に配置されているので、施工前に十分な検討を行ない配置精度を上げるように配慮した。このU字部の鋼管パイプに継きたすシースと鉄筋は、上部作業床が、コンクリート面より3.5m上有るので、そこにガイドを取り付けて位置の確保に努めた。水平ケーブルの定着部である壁体からの突出部は、固定型枠とし、スリップフォームのローリング防止の役割を持たせた。水平ケーブルのシースは、約1.5mピッチに鋼製シース受台を設置し、それに繋結してから鉄筋に結束し、コンクリート打設中の浮上り、ズレ、折れ曲りのないように配慮した。

ケーブル挿入は後挿入とし、吊足場上で所定の長さに切断し、挿入に先だってケーブル案内を付けた鋼線を通し、挿入用ワイヤーに挿入ネットを取り付けてウィンチで引き込んだ。ケーブル緊張は、種類、長さが変るので緊張に先だって、毎回試験緊張で引き止め点を決定し、各種の専用ジャッキ8台を使用して、セット作業、緊張作業の二班に分けて、各作業が流れ作業となるように配慮した。

挿入、緊張、グラウト等のPC作業を高所で行なうための通信設備として、電話、トランシーバー、無線等を種々使ってみたが、結局作業性の点から無線を使い、連絡係員による密な連絡でミスのないように行なえた。

スリップフォーム工法であるため、切断、挿入、緊張、グラウト、後打コンクリート等の作業性は、従来工法に較べて作業空間が広く、非常に良好であったし、地上作業とあまり変わらなかった。

2-3 作業人員

この工事で1番問題となるのは、必要作業員数の変動である。すなわち、PCの一般作業は、20人程度で、

切断、挿入、鉄筋加工、緊張、グラウト、後打ちコンクリート等を一連の作業を行なえるが、連続コンクリート打設時には、昼夜二交代制で全工事平均して、鉄筋、シース、鋼棒等の組立作業員約30人、コンクリート打設関係作業員約40人の計70人程度が必要となるので、全工事期間一定した作業員とすることはできず、作業員の確保と機械の故障などにより工事ができなかった時の作業員の転用等に問題があった。

3. スリップフォーム工法

3-1 P C構造物とスリップフォーム工法の組合せ

P C構造物のP C鋼材、鉄筋等を正しく配置できるように、各施工段階を考えて、ヨーク20本、クライミングシャッキ50台（総能力420t）を等分に配置した。なお、シャッキの1ストロークは25mmとした。

型枠及び作業床を構成するスリップフォームの構造は、本構造物が各断面で一定径であることを考慮して、施工精度で優る剛性の高いトラス構造とし、その安全を重視した構造とした。作業床は、上、下部作業床の他に、内周、外周に吊足場を取り付けたが、ケーブル緊張のために、連続コンクリート打設可能長さは、最大11.6mであった。そして、この時の緊張作業に必要な足場長さは、9段18mとなった。下部作業床は、コンクリート打設等の主要作業場及び材料置場であり、上部作業床は、鉛直方向の鉄筋、シースの配置作業場及び材料置場とした。内、外吊足場には、安全施工と太陽の直射日光を避けるために、シートと安全ネットを張り、最下段の足場には、本体コンクリートと足場の隙間をなくすよう板を張って、飛来落下防止をした。このような作業足場では下が見えないので高所作業というイメージがなく、地上と同様の安心感を持って作業ができたと思われる。その上、昇降用エレベーターを取り付けて、作業性の向上も計った。

3-2 施工精度

スリップフォーム工法の可否を決定するのは、正確な上昇と型枠の精度である。本工事では、全ヨークに水位計と電磁弁を設置して、司令室の中央制御盤に連結した。中央制御盤では、各ヨークの上昇状況が1目で判別でき、各ヨークが所定の25mm上昇するとそのヨークの電磁弁が閉じ、全ヨークがバランス良く確実に上昇する機構を採用した。又、3段階の断面変化も、複起しを3種類製作し、各断面ごとに組替えを行なったため、精度の良い無理のない施工ができたが、そのために費やした日数はそれぞれ3日間であった。

3-3 実施工工程

実施工工程は図-1に示したが、これからも明らかなようにスリップフォームの実働日数は32日間であった。スリップ部分の作業月数は約8ヶ月であり、この点から言って、非常に不経済な施工となっている。この原因は地下5.0m部や地上1.8m部やハンチ部の固定型枠、緊張、断面変化等12回の停止が必要になったためである。これは従来の足場工法を前提とした設計を多少の変更はしたもの、そのままスリップフォーム工法で施工した結果である。今後、このような構造物の施工において、今回の施工経験を参考にして、設計、計画段階で考慮すれば、より効率の良い施工となるであろう。なお、スリップ上昇速度は壁厚等にもよるが平均2.5m/日であった。

4. コンクリートの品質管理

4-1 コンクリートの配合

この構造物は、特に地上壁体部の壁厚1.8m～1.1mの区間にについて底部の変位拘束と熱応力に対する配慮から、中庸熟ポルトランドセメントC=300kg/m³（ベースコンクリートのスランプ5cm）というできる限り、セメント量と水を減じたコ

表-1 コンクリート配合表

ンクリートで施工した。
又、同様の配慮から、
この部分の施工を春
(5月)に行なった。
各コンクリートの配合
は、表-1に示した。

| 種別 | 粗骨材の 最大寸法 G _{max} (mm) | スランプの 範囲 S _ℓ (cm) | 空気量 Air (%) | 水セメント 比 W/C (%) | 細骨材率 S/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | セメント の種類 | 備考 |
|----|--|---------------------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-----------|----------|----------|------------|-------------|----------|
| | | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | 混和剤 (%) | | |
| A | 40 | 6以下 | 3±1 | 48.8 | 38.0 | 161 | 330 | 702 | 1154 | 0.25 | 中庸熟 | R C部 砂石 |
| B | 40 | 5以下 | 4±1 | 44.0 | 34.0 | 132 | 300 | 656 | 1298 | 0.25 | 中庸熟 | P C部 川砂利 |
| C | 25 | 5以下 | 4±1 | 44.1 | 43.0 | 150 | 340 | 794 | 1070 | 0.25 | 普通 | P C部 川砂利 |

一般の P C タンク等でのコンクリートの配合は、早強又は普通ポルトランドセメント C = 400 kg/m^3 位を用い、コンクリート打設後 3 日位で緊張作業を行なえるようになるのが普通であるが、この構造物では、緊張可能強度 $\sigma = 280 \text{ kg/cm}^2$ が出るためには、B 配合で 12 日間、C 配合で 7 ~ 9 日間を要したため、作業工程が非常に長くなっている。

4-2 高性能減水剤（流動化剤）

スランプ 5 cm 以下の練上りコンクリートは、現場着のスランプが低下し、流動性がなくなり、施工性が悪くなる。そこでこれを施工可能なコンクリートにするため、後添加の高性能減水剤（流動化剤）を使用した。この流動化剤の使用に当り、流動化に伴う材料分離を避けるために、生コン工場と現場添加装置に各 1 人ずつ管理責任者を配置して、気象条件、気温、スランプを考慮した添加量を決め、添加位置にセットした計量器によりスランプが 8 ~ 10 cm 以上にならないように徹底管理した。

しかし、流動化剤を添加したコンクリートは、添加後 40 ~ 60 分間で、ベースコンクリートのスランプへの低下が起るので、添加後打設部分でのトラブルが起ると、その後のすべての作業に悪影響を及ぼし、仕上りも悪くなる。又、流動化剤を入れ過ぎると打設コンクリートが多少分離し、ブリージング量も増加するので、高性能減水剤を使用する場合、添加量に十分注意して、管理には細心の注意を払う必要があった。

4-3 コンクリート打設

コンクリート打設は、高性能減水剤を添加したコンクリートを 1.5 m³ のバケットに投入し、タワークレーンを用いて作業床中央に備えたホッパーへ運び、ホッパー下端の 360° 回転可能で壁厚方向にも移動可能なベルトコンベヤで打設した。このベルトコンベヤは、各ヨーク間の 2.5 m 巾のどこにでも投入できるため、コンクリートをバイブレーターで流す必要がなかった。なお壁厚の厚い部分には、ダム用エアーバイブレーターと高周波バイブレーターを使用して、十分な締め固めを行なった。コンクリートの打設速度は平均して 10 m³/h であり、一層の打設高さは、打継ぎを考慮して一層約 30 cm 厚とし、打設面も水平になるように注意した。打設停止時には、コンクリート打設後適当な時期に、ハイウォッシャーを使用してレイターンス処理を行なった。

4-4 若材令強度試験

コンクリートの若材令強度用供試体を 1 日 2 回採取し、4 時間と 6 時間の 2 種類の強度を調べ、スリップフォームの上昇速度の管理に使用した。この工事は、3 月から 10 月までの 8 ヶ月間もかかり、一方壁厚も 2.2 m ~ 5.0 m と変化するため、若材令強度の結果とコンクリートの性状を良く検討し、上昇速度、打設速度を決める必要があった。

5. あとがき

我国で初めての地上 51.0 m の P C 調圧水槽（R C 部 19.2 m、P C 部 56.0 m）をスリップフォーム工法で施工したが、構造物の施工精度も良く、クラックやシャンカ等漏水の発生源となるものは全く認められなかった。これは、コンクリートの配合設計において熱発生を極力小さくするよう配慮したこと、高性能減水剤（流動化剤）の使用により、施工性の良いコンクリートで施工できたこと、打設工程計画、打設設備計画が適切であったことによると思われる。その上、当初懸念していたよりも、P C 工事の煩雑な施工もスムースに行なえ、高所作業にもかかわらず、非常に安全な作業が行なえた。

このように、スリップフォーム工法は特殊な工法であるため、微妙な点も多いが、その管理に十分気を付けるなら、巨大な P C 構造物を施工するのに最も適した工法の一つであろう。従って今後このような構造物には、益々この工法が採用されると思われるが、本来のこの工法のメリットを十分に引き出せるように、今回の経験を生かし、停止回数を低減するように設計上配慮する必要があると思われる。

なお、この工事の設計、施工に当り、吉田弥智教授（名工大）、（財）電力中央研究所コンクリート構造研究阿部室長の御協力をいただいた。ここに感謝の意を表する次第である。