

Ⅵ-1 土被りの薄い大断面水圧管路トンネルの設計と施工について

東北電力（株）第二山郷発電所建設所 高橋 宏
金子 誠司
○銭谷 清司

1. まえがき

東北電力（株）第二山郷発電所（ $Q=170\text{ m}^3/\text{s}$ ， $H=15.93\text{ m}$ ， $P=22,900\text{ kW}$ ）の水圧管路トンネルは既設屋外変電所の直下に計画され、土被り17m～25mに、掘削径9.7～13.8mの大断面トンネルを施工した。本報告は、水圧管路トンネルの設計、施工および計測結果について報告する。

2. 工事概要

この発電所の取水口から発電所を含む放水路終点までの延長は302.6mである。このうち水圧管路トンネルの延長は92.6mであり、呑口部は立坑としトンネルは下流側の発電所側から掘削した。

トンネルは、標準部（掘削径 $D=9.7\text{ m}$ ）と漸拡部（掘削径 $D=9.7\text{ m}\sim 13.8\text{ m}$ ）に分かれ、全て機械による掘削とし、上半はロードヘッダ（MRH-S90型）、下半は大型油圧ブレイカー（1t級）を使用し、全線NATM工法で掘削した。

発電所側の坑口部は発電所立坑掘削時のゆるみ領域内であること、掘削径が13.8mと大断面（ $A=160\text{ m}^2$ ）であることを考慮し、補助工法としてパイプルーフ工（ $\phi 76\text{ mm}$ ， $l=7.5\text{ m}\sim 11.4\text{ m}$ ，間隔500mm）を施工した。

3. 地 質

地質は、第三紀中新世に堆積した緑色凝灰岩（グリーンタフ）と砂質泥岩とで構成されており、最上部10～14m間に $C_L\sim C_M$ 級の砂質泥岩（一軸圧縮強度 $q_u=80\sim 180\text{ kgf/cm}^2$ ）、その下部約9m間に $D\sim C_L$ 級の緑色凝灰岩（ $q_u=10\sim 30\text{ kgf/cm}^2$ ）、最下部が $C_L\sim C_M$ 級の緑色凝灰岩（ $q_u=70\sim 100\text{ kgf/cm}^2$ ）となっており、地層はEWの走行で $10\sim 20^\circ$ の南傾斜となっている。このうち、下部および最下部の緑色凝灰岩の境界付近をトンネルのスプリングラインが通過している。

4. 掘削工法の選定

掘削工法は既設屋外変電所に影響のないよう地表沈下の抑制を考慮し、FEM弾性解析により解析した結果、漸拡部は地表沈下および天端沈下の抑制に効果のある上半中壁分割工法を、標準部は上半先進リングカット工法を採用した。

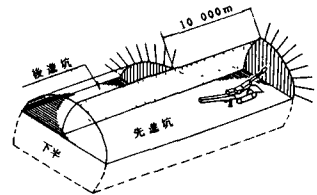


図-1 上半中壁分割工法概要図

円空変位、天端沈下等の日常の施工管理（計測A）の他に土被りが薄いこと、坑口部の安全性の確認ならびに中壁の剛度および変位について当初設計と対比して妥当性を検討するため、地表沈下測定、地中沈下測定、鋼製支保工応力測定およびロックボルト軸力測定を追加し、図-2に示す要領で計測を実施した。

漸拡部における天端沈下は、先進坑掘削による変位は中壁で分割した縦長の形状のためほとんどなく、後進坑切羽通過後変位を生じ、切羽位置が $1D\sim 2D$ （ D =掘削径）で収束した。

漸拡部、標準部とも天端沈下はほとんどが上半掘削で発生し、最終変位量は漸拡部で20mm、標準部で10mm程度であった。

逆に内空変位は上半掘削ではほとんど変位せず1～3mm程度であったが、下半掘削に伴ない内空変位は増加し、最終変位量は漸拡部で7～12mm、標準部で6～10mm程度となった。

地表沈下は漸拡部付近で大きい傾向を示し、ほとんどが上半掘削時に生じ、D断面付近で7～9mmで中壁撤去時に伴う動きはほとんどなかった。上流側にいくほど沈下は小さくなり、標準部では3～5mm程度の

沈下であった。

ロックボルトの軸力は上半掘削時にはほとんど発生せず、むしろ圧縮の値を示した箇所もあった。これは吹付モルタルと鋼製支保工による支保が強くロックボルトより優先して働いたものと考えられる。

下半掘削では側圧の増加に伴ない側壁のロックボルトの軸力は徐々に増加したが、天端部のロックボルトには上半の支保工と根固めコンクリートによる支保が働いて軸力はほとんど発生しなかった。

漸拡部の鋼製アーチ支保工の軸力は、E断面では後進坑側で最大80t程度、D断面では先進坑側で最大100t程度となった。

中壁支保工の軸力は最大で35t程度、曲げモーメントは $6.4\text{ t}\cdot\text{m}$ 程度発生し、FEM弾性解析結果の軸力2.5t、曲げモーメントは $8.8\text{ t}\cdot\text{m}$ に比べると軸力が非常に大きく、実際の中壁は軸力部材として働いたと考えられ、中壁撤去時には若干の挙動が生じた。

6. あとがき

設計の時点でFEM解析によるトンネルの挙動傾向を把握したが、計測の結果はおおむね当初の想定どおりであった。ただし、中壁の鋼製支保工に発生した曲げモーメントと軸力については解析と計測結果に大きな差が生じた。理由としては、アーチ支保工と中壁支保工の継手部が実際にはヒンジ構造でないこと等のモデル化の差異、後進坑掘削時に中壁の吹付モルタルが壊れないように地山を少し残して施工したことによる中壁の剛性の増加などが考えられる。

設計では、中壁に発生する曲げモーメントを全て鋼製支保工で負担できるように鋼製支保工の大きさを決定したが、実際の中壁は曲げ部材でなく軸力部材として働き、中壁撤去時に若干の挙動が生じた。しかし、アーチおよび中壁支保工間のバランスはよく、後進坑外周支保への応力の伝達はスムーズに行なわれ、クラックの発生も見受けられず、所期の目的は十分に達成できた。

下半の掘削においては、岩盤状況、

湧水状況および計測結果により坑口付近以外は下半の鋼製支保工を取り止め、吹付とロックボルトのみで施工できた。また、上半中壁分割工法およびパイプルーフ工についても良好な結果が得られたものと考えている。

最後に、本工事に当ってご指導、ご協力をいただいた関係官庁、工事関係者各位に感謝の意を表する。

以 上

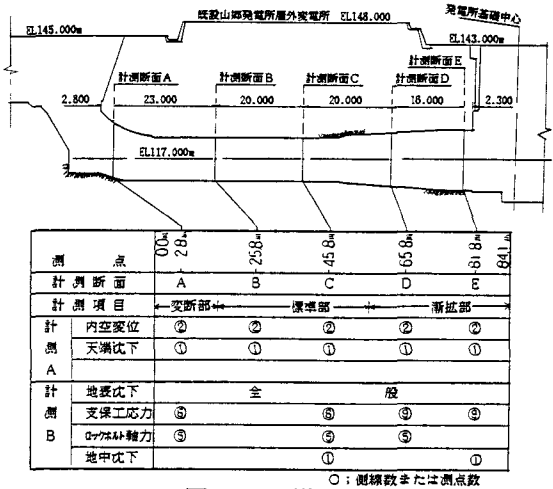


図-2 計測要領

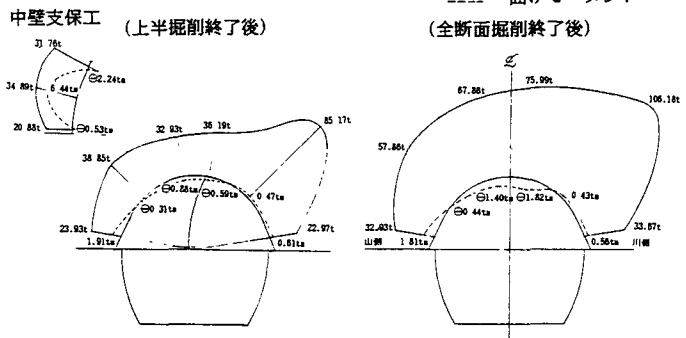


図-3 D断面 鋼製支保工断面力測定結果