

中部電力(株) 土木建築部 正会員 土山茂希  
 同上 正会員 西川 力  
 (株) 間組 技術研究所 正会員 蓮井昭則

1. まえがき

水力発電所の圧力トンネルでは、一般に内水圧の岩盤負担を期待した設計が行われており、水圧鉄管のように内水圧が大きい構造物では、計測による岩盤負担の確認が報告されている。しかし、内水圧が比較的小さい、鉄筋コンクリート覆工の場合での報告は少ないようである。筆者らは、赤石水力発電所の圧力トンネルにおいて、岩盤負担に対するグラウチング効果の研究を目的とした各種の計測を実施した。それらのうち、内水圧作用時のトンネル覆工挙動の計測と解析結果から、岩盤負担について検討した。

2. 計測概要

圧力トンネルは内径 3.6m の円形断面を有し、設計覆工厚30cm の馬蹄形で発破工法を用いた NATM 工法で施工された。トンネル覆工は円周方向の主鉄筋として D25 の異形鉄筋を 20cm 間隔で配した鉄筋コンクリート覆工である。調査断面付近の地質は砂岩とけつ岩の互層で構成される CM 級岩盤で、亀裂は比較的多いが亀裂面の風化は少なく、岩石は硬質である。調査断面付近の地質状況を図-1 に、実測された覆工断面形状を図-2 に示す。

計測は主鉄筋の位置で、トンネル円周方向に鉄筋応力計 (GF-25SA: 土木測器センター) を図-3 のように設置して実施した。計測位置はトンネル横断面において、天端、底盤、川 S L (スプリングライン)、山 S L とそれぞれの中間の 8 地点である。また、覆工の内壁面と外壁面には間隙水圧計 (GMP-10W: 土木測器センター) を設置して水圧を計測した。

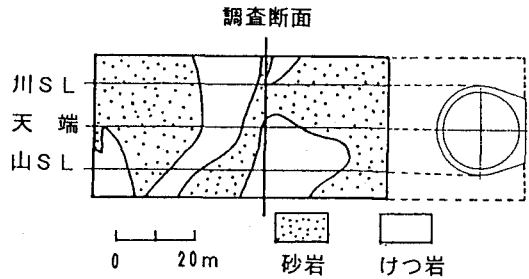


図-1 調査断面付近の地質

表-1 コンクリートの力学特性

単位体積重量	2.36	g/cm <sup>3</sup>
一軸圧縮強度	253	kgf/cm <sup>2</sup>
静弾性係数	289000	kgf/cm <sup>2</sup>
静ポアソン比	0.25	
圧裂引張強度	32.4	kgf/cm <sup>2</sup>

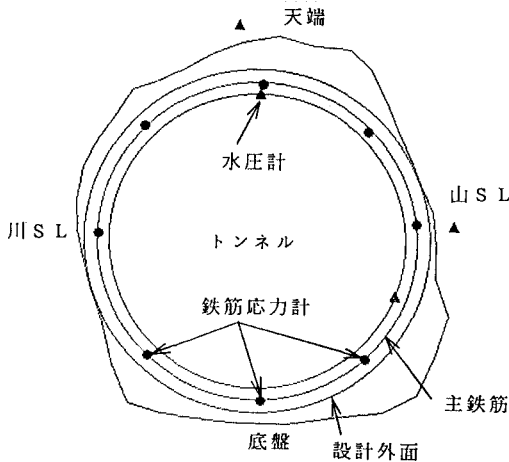


図-2 覆工断面形状

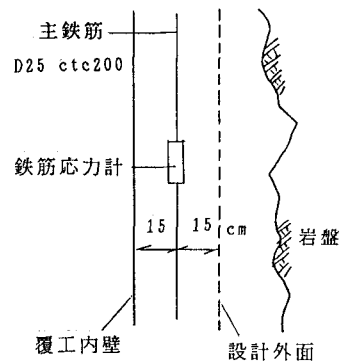


図-3 鉄筋応力計の設置

### 3. FEM解析

岩盤負担を考慮しない（岩盤がない）場合の覆工内の応力状態を推定するために、実測された覆工の断面形状と力学特性を用いたFEM解析を行った。コンクリートの解析モデルは4節点アイソパラメトリック要素、鉄筋はトンネル軸方向に連続していると仮定し、等価断面に変換した棒要素を用いた。また、底盤部では覆工コンクリート内壁面にトンネル軸方向のクラックが目視で確認され、その部分にはジョイント要素を採用した。コンクリートの力学特性を表-1に示す。

表-2 局部岩盤負担率（充水時：内壁から深さ15cmの鉄筋応力）

位置	天端		山SL		底盤		川SL	
FEM：岩盤なし	108	103	81	61	413	60	-	105
計測値	120	42	64	67	97	67	-	66
局部岩盤負担率 %	-11	59	21	-10	77	-10	-	37

- 引張り応力を正  
(単位：kgf/cm<sup>2</sup>)
- 解析では底盤部にクラック
- 内水圧は  
3.14kgf/cm<sup>2</sup>

### 4. 結果および考察

計測とFEM解析の結果から得られた鉄筋応力、および局部的にみた場合の岩盤負担率を表-2に示す。ここで、底盤部ではクラックが目視確認されており、解析モデルに考慮している。しかし、川SL部では、他の計測結果から内水圧によってコンクリートにクラック発生の可能性が高いと判断され、解析でか考慮していないので評価から除いた。局部的な岩盤負担率をみると、最大は底盤部で77%である。しかし、天端部や底盤部の両サイドでは、岩盤のないFEM解析値の方が計測値よりも小さい逆転現象がみられ、局部的な差がかなりあることが分かる。この原因と1つとして覆工背面の凹凸が挙げられ、覆工厚が場所によって異なることなどにより、実際の覆工コンクリート内では局部的な応力の大小（集中）が生じているためと考えられる。したがって、圧力トンネルの掘削では、設計で示された覆工厚を確保することはもちろんであるが、覆工外面（掘削面）の形状を滑らかにし、過度な覆工厚の変化を生じさせないようにすることが必要であると思われる。

一方、実測によって得られた局部的な岩盤負担率を平均したものと設計に用いられた岩盤負担率との比較を表-2に示す。なお、設計では周辺岩盤とコンクリートの弾性係数を7000kgf/cm<sup>2</sup>、27000kgf/cm<sup>2</sup>と仮定しているのに対し、実測では16500kgf/cm<sup>2</sup>、28900kgf/cm<sup>2</sup>であった。これより実測では設計より2～10%程度大きい岩盤負担があることが確認された。

### 5. あとがき

実測された内水圧作用時の鉄筋計応力とFEM解析により、岩盤負担率の確認を行った。その結果、平均的には設計定数より大きな岩盤負担率が確認されたが、局部的には岩盤負担率の大小があり、岩盤負担率がマイナスになる部分もあることが判明した。原因の1つとしては覆工厚の変化が考えられるが、その詳細検討については今後の課題である。最後に、本試験・計測に御協力頂いた間・株木・鴻池共同企業体の皆様に深謝の意を表します。

参考文献 1) (社)水門鉄管協会：水門鉄管技術基準、昭和56年 2) 西川、土山、蓮井：圧力トンネル周辺岩盤のグラウチング前後の変化について、第23回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、1991.2

表-3 岩盤負担率 (%)

	クラックなし	クラックあり
実測	13 (底盤)	77 (底盤以外)
設計	11 (底盤)	65 (底盤以外)