

## トンネル掘削時の情報に基づく地山地下水圧分布の推定

東京電力(株) 正会員 小澤啓明, 日比野悦久  
 東電設計(株) 正会員 恒国光義, 大槻哲也, 瀬下雄一

### 1. はじめに

近年, 揚水発電所における圧力水路トンネルは地山被りが大きくなる傾向にあるが, 地山被り相当の高地下水圧を覆工設計の外水圧とすることは不経済である。一般に, 2次元定常浸透流解析を実施しているが, 建設後の地山地下水圧計測結果は, 必ずしも解析で想定した地山被りに応じた一様分布とはならない。そこで, トンネル掘削時に測定される坑内湧水量やボーリング孔内水位等の情報に基づき, 破碎帯等岩盤の不均一性を考慮して地山全体をモデル化した2次元非定常浸透流解析を行い, 水路に沿った地山地下水圧の変化状況とその分布の推定を試みた。本稿では, 計測結果の評価も含めて報告するものである。

### 2. トンネル掘削から建設後に至るまでの地下水変化の状況

検討対象としたのはK発電所圧力導水路トンネルである。図-1に地質状況・地下水状況を, 図-2に坑内湧水量・ボーリング孔内水位経時変化を示す。最大地山被りは600m, 岩種は角礫岩類, ホルンフェルス, 砂岩・泥岩混合層からなり, 一部に破碎帯(F-)が存在する(最大幅250cm, 概ね100cm以下)が, 全線の90%以上がC<sub>H</sub>級の良好な岩盤である。破碎帯は粘土化し, 脆弱化したC<sub>M</sub>~C<sub>L</sub>級の弱層を挟在している。掘削前のボーリング孔内水位は図-1に示すように地表面近くに存在していたが, 外水圧評価としては2次元定常浸透流解析により点線で示すような地山地下水圧分布を想定していた。掘削は下流側から上流側(T.D.3,000m T.D.1,600m方向)に向けてNATMで行われた。その後, 上流側から55~75cmの覆工コンクリート打設,

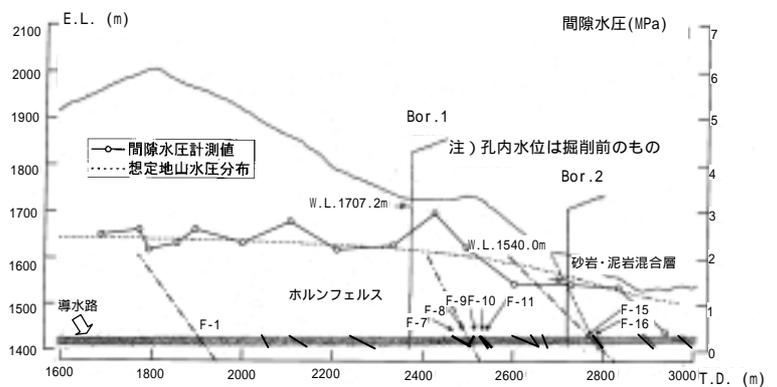


図-1 K発電所導水路地質状況・地山地下水圧状況

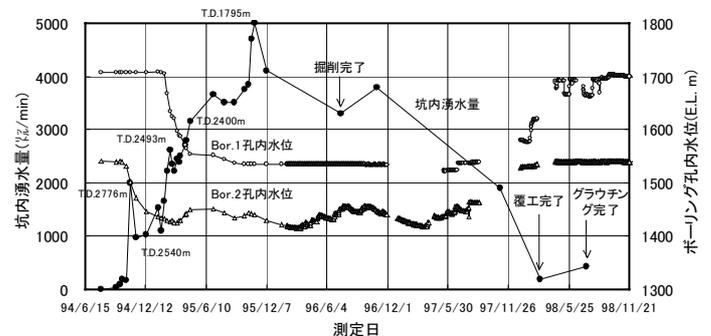


図-2 坑内湧水とボーリング孔内水位変化

2MPa + 湧水圧のコンソリデーショングラウチングによる周辺岩盤の改良を実施した。掘削時切羽進行に伴う破碎帯通過時に, 多量湧水(500~800 l/min)が発生し, 坑内湧水量の増加ならびに周辺ボーリング孔内水位の低下が認められており, 破碎帯の遮水効果による地下水位の塞き上げならびに高透水の弱層の水みち化が考えられる。建設後(覆工・グラウチング完了後)には, 坑内湧水量は減少しかつボーリング孔内水位は回復しており掘削前の状況に近くなっている。しかし, 計測された地山内の地下水圧分布は, 従来の2次元定常浸透流解析で想定した地山被りに応じた一様分布とはならず, 掘削時に多量湧水が発生した破碎帯箇所において高くなっており, 岩盤の不均一性の考慮が必要であると考えられる。

### 3. 二次元浸透流解析による地山地下水圧の推定

(1)浸透流解析モデル そこで, 多量湧水箇所について, 脆弱化したC<sub>M</sub>~C<sub>L</sub>級岩盤を高透水層, それを挟む

キーワード: トンネル掘削, 高地下水圧, 浸透流解析, 地下水変化, 間隙水圧

連絡先 : 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 1-1-3 TEL 03-4216-4259 FAX 03-3596-8574

〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 TEL 03-4464-5575 FAX 03-4464-5595

破碎帯を難透水層としてそれぞれモデル化し,図-3 に示す2次元浸透流解析のモデルを作成した。高透水層,難透水層,およびそれ以外の地山の透水係数は,事前に行われたボーリング孔内透水試験結果に基づいて,表-1のように設定した。

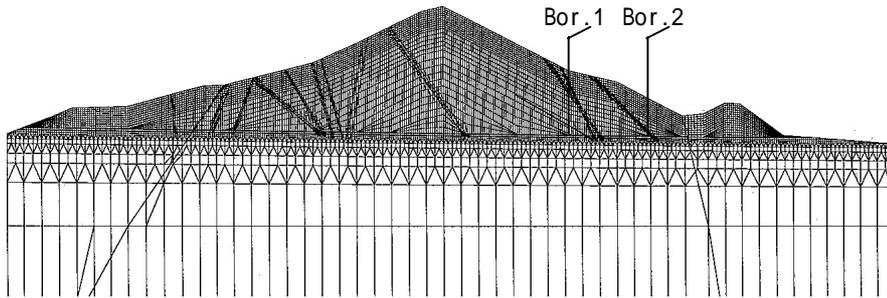


図-3 2次元浸透流解析モデル

(2)地下水位変化のシミュレーション 上記のモデルを用いて,トンネル掘削に伴うボーリング孔内水位の低下や,その後の覆工・グラウチング実施に伴う孔内水位の回復過程のシミュレーションを実施した。掘削によって低下した地下水位は,覆工・グラウチング実施後には掘削前の水位にまで回復していることから,地山への水の流入を地表面での降雨によって考慮している(表-1)。掘削時のシミュレーションでは,図-3のモデルにおいて,トンネル位置の要素を取り除き,その内面を浸出面とした非定常浸透流解析を行った。また,掘削内面に覆工をモデル化した要素を設けることで,覆工・グラウチング実施後のシミュレーションを行った。掘削時ならびに覆工・グラウチング実施後におけるボーリング孔内水位変化量に関して,解析値と計測値を比較したものが,図-4ならびに図-5である。Bor.1に関しては再現性があまりよくないが,解析結果は,掘削や覆工・グラウチング実施に伴う地下水位の変化状況を概ね再現していることが分かる。

表-1 解析条件

項目	条件	
透水係数 (cm/sec)	地山	$3 \times 10^{-5}$
	弱層	$15 \times 10^{-5}$
	破碎帯	$1 \times 10^{-8}$
	覆工	$1 \times 10^{-8}$
降雨(mm/日)	4	

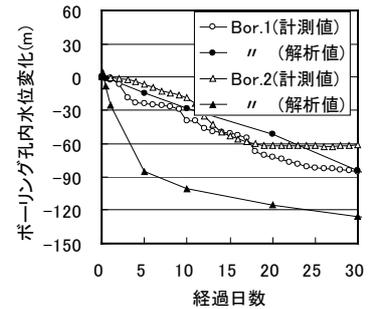


図-4 掘削時シミュレーション結果

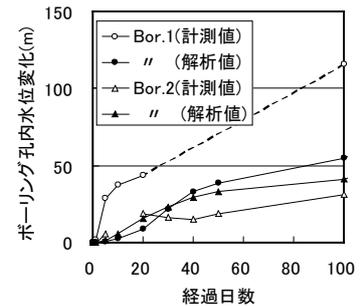


図-5 覆工時シミュレーション結果

(3)地下水圧の推定 覆工をモデル化した解析モデルを用いて非定常浸透流解析を行い,長期的な地山地下水圧の推定を行った。図-6は,覆工・グラウチング施工後における計測値と解析値の比較を示したものである。計測値は,多量湧水箇所地山地下水圧が高くなっており(図-1),本推定手法による多量湧水箇所を考慮した解析値は,その現象を概ね再現していることがわかる。このことは,施工時の情報に基づいた岩盤の不均一性を考慮した地山透水性の適切なモデル化によって,実際の地下水圧分布を推定できることを意味している。

4.まとめ

山岳トンネル掘削時に得られる地質や坑内湧水状況に基づいて,岩盤の不均一性を考慮した2次元非定常浸透流解析を実施した。その結果,破碎帯箇所覆工に作用する地山地下水圧が高くなる計測値を概ね再現することができた。施工時の情報を適切に考慮することで,当該地点の地山水理特性を反映した地下水圧分布の推定が可能であり,今後,本推定手法の高度化を図ることで,圧力水路トンネル覆工設計,水圧鉄管のバックリング検討における外水圧評価,グラウチング実施の有無に関する検討等の設計合理化が可能になるとともに,本手法による長期的な地下水理環境評価の検討等も可能になるものと考えられる。

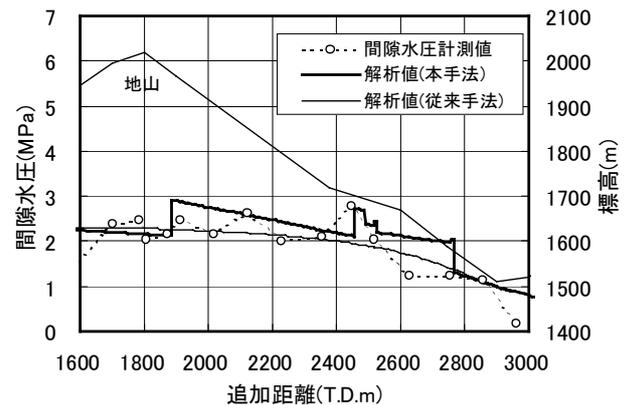


図-6 地山地下水圧の解析結果