

## 圧力放水路トンネルの覆工設計に用いた岩盤評価手法

北海道電力(株) 京極水力発電所建設所 正会員 ○佐藤 渡  
北電総合設計(株) 土木部京極技術室 正会員 小澤 正志

### 1. はじめに

北海道電力(株)京極発電所放水路トンネルは、内径6.4m、覆工厚40cmおよび65cm、延長2,483mの円形圧力トンネルである。周辺の地質はグリーンタフ地域特有の熱水変質作用を被った第三紀の火山岩類が広く分布しており、デイサイト質安山岩を主体とする層と玄武岩質安山岩溶岩と同質火砕岩を主体とする層で構成されている。

本稿では、放水路トンネル周辺で原位置岩盤試験を実施することにより岩盤物性を取得するとともに、掘削時に評価した岩級を定量化(地山岩級指数)して、トンネル全線の岩級区分を設定し、岩級毎に設計値を定めて覆工設計に採用したのでその手法について報告するものである。

### 2. 岩盤試験

当放水路トンネルの覆工設計の基本的な考え方は、内水圧は全てを覆工に頼らず、一部を周囲の岩盤に負担させるものである。岩盤の変形特性については、覆工設計を行う上で最も重要なパラメータとなることから原位置での岩盤試験として、平板載荷試験から弾性係数を求め、他試験との相関から物性値の信頼度を評価した。岩盤試験の内容を表-1に示す。

表-1 岩盤試験内容

試験項目	試験数量
平板載荷試験	8箇所
底盤弾性波探査	10m×8箇所=80m
シュミットロックハンマー試験	21箇所
簡易動的コーン貫入試験	7回

#### 2.1 平板載荷試験

平板載荷試験の載荷パターンは、最大荷重までの間を5段階の荷重レベルに分け、最大荷重を3回繰り返す段階荷重とした。試験は、原則として岩級別に3回測定したが、バラツキの少ない良好な試験結果が得られ、岩級との相関も良好であった。

なお、岩級区分は(財)電力中央研究所の岩盤分類基準による。平板載荷試験結果を表-2に岩級区分と割線弾性係数Esの関係を図-1に示す。

表-2 平板載荷試験結果 (N/mm<sup>2</sup>)

岩級	変形係数	接線弾性係数	割線弾性係数
C <sub>H</sub>	12,303	16,471	17,145
C <sub>M</sub>	3,139	3,737	4,206
C <sub>L</sub>	580	999	1,013
D	77	203	171

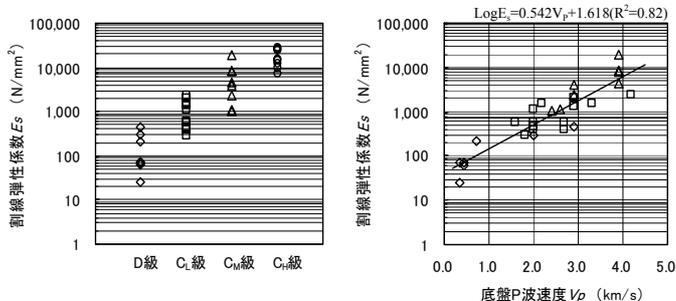


図-1 岩級区分と Es の関係

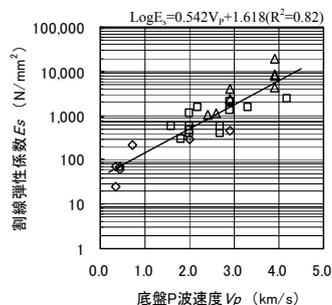


図-2 底盤 P 波速度 Vp と Es の関係

#### 2.2 底盤弾性波探査

底盤弾性波探査は、平板載荷試験と同一箇所測定し、受振点は0.5m間隔で、起振点は3点(0.3m, 4.8m, 9.8m)設置することにより実施した。また、解析は、はぎとり法により実施した。底盤弾性波探査におけるP波速(第2層)とEsとの関係を比較すると、若干のバラつきはあるものの、良好な相関が得られた。底盤P波速度VpとEsの関係を図-2に示す。

#### 2.3 補完試験

反発度Rおよび簡易動的コーン貫入試験による打撃回数NdとEsとの関係を図-3および図-4に示す。

シュミットロックハンマー試験による反発度は、岩級が上位になるほど反発度が大きくなる傾向が認められた。

なお、D級岩盤は簡易動的コーン貫入試験(質量5kgのハンマーを50cmの高さから自由落下させた時の貫入深度10cm毎の打撃回数を測定)により評価した。Esとの関係は、双方ともに良好な相関が得られた。

【キーワード】 割線弾性係数, 地山岩級指数  
【連絡先】 〒044-0101 北海道虻田郡京極町字京極 149 北海道電力(株)京極水力発電所建設所 TEL 0136-42-3713 FAX 0136-42-3714

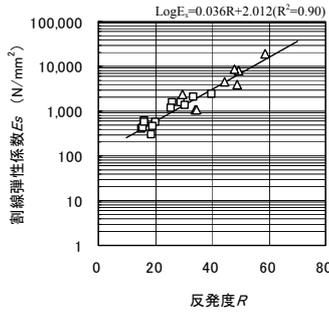


図-3 反発度 R と Es の関係

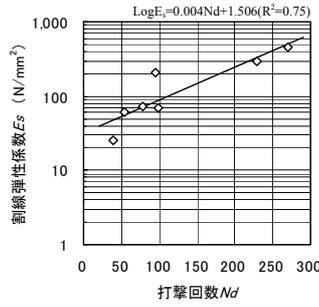


図-4 打撃回数 Nd と Es の関係

3. 岩盤区分

3.1 岩級の定量化

原位置岩盤試験結果を用いて放水路トンネル全線に適用する手法を検討した。適用に当たっての指標としては、掘削時の岩級区分図、掘削時の支保パターン、内空変位量から逆解析により求める変形係数などが挙げられるが、当放水路トンネルにおいては、掘削時に詳細な岩種・岩級区分図を作成していることから、これらをベースとして扱い易い指標とするために、地山岩級指数に定量化することとした。なお、岩級区分は、比較的精度が高いことから底盤の岩級区分図を用いた。岩級の定量化手順を表-3に、地山岩級指数  $I_{RC}$  の算定方法を図-5に示す。

表-3 岩級の定量化手順

- (1) 各岩級の配点を設定する
- (2) 底盤岩級区分図のL, C, R各ラインの1m毎の岩級を読み取り、配点を与える。
- (3) 各ラインの配点の平均値を1m毎に算出する。
- (4) 平均値の5m移動平均を『地山岩級指数  $I_{RC}$ 』とする。

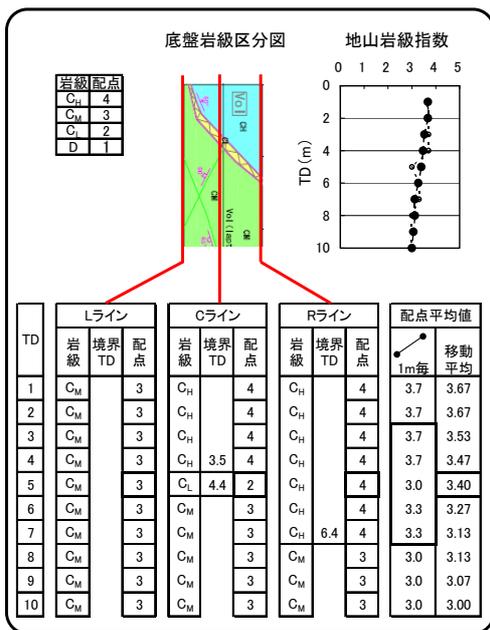


図-5 地山岩級指数  $I_{RC}$  の算定方法

3.2 岩級区分の設定

岩級区分設定イメージを図-6に示す。一例を示すと、底盤面のL, C, Rライン全てがC<sub>M</sub>級の場合は  $I_{RC}=3.0$  となるが、ひとつのラインにC<sub>M</sub>级以上が含まれると  $I_{RC} > 3.0$  (C<sub>M</sub>級), C<sub>M</sub>級以下が含まれると  $I_{RC} < 3.0$  (C<sub>M</sub>'級)となる。同様の考え方を用いて他の岩級も細分化した。なお、C<sub>M</sub>'級と判定されるには3本のラインの内2本はC<sub>M</sub>級であることを条件として  $(3.0+3.0+2.0) \div 3 \approx 2.7$  を境界とした。

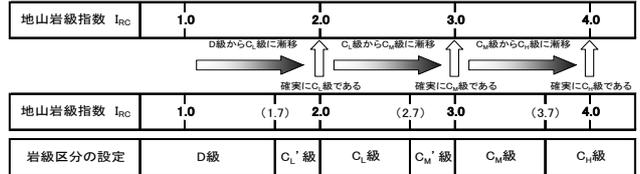


図-6 地山岩級指数  $I_{RC}$  による岩級区分の設定

3.3 岩級区分の設計値

各岩級の設計値として用いる割線弾性係数は、京極地点の地下発電所本体空洞および水圧管路立坑の既往検討結果も参考として表-4に示すとおり定めた。

設計上、堅固な岩盤であり、かつ、トンネル延長のうち2%程度しか分布していないC<sub>H</sub>級は、発電所における原位置岩盤試験値の最小値を採用した。C<sub>M</sub>級およびC<sub>L</sub>級は、既往文献で述べられている物性値とほぼ同様である平板載荷試験値の平均値を採用した。当該岩級の下限側の物性として評価したC<sub>M</sub>'級およびC<sub>L</sub>'級は、平板載荷試験値の平均値 - 0.5σ の値を採用した。D級は、トンネル外周面の全周に分布している箇所がほとんどないため、平板載荷試験値の平均値を採用した。

表-4 岩級区分の設計値

岩級	設計値 (割線弾性係数) Es (N/mm²)	備考
C <sub>H</sub>	7,060	発電所原位置岩盤試験値の最小値
C <sub>M</sub>	4,210	平板載荷試験値の平均値
C <sub>M</sub> '	2,670	平板載荷試験値の平均値 - 0.5σ
C <sub>L</sub>	1,010	平板載荷試験値の平均値
C <sub>L</sub> '	670	平板載荷試験値の平均値 - 0.5σ
D	171	平板載荷試験値の平均値

4. おわりに

今回の報告は、掘削時の岩盤区分と平板載荷試験値を覆工の打設スパンに合わせて定量化し、設計弾性係数を割り当てることにより、合理的な覆工設計を行ったものである。

【参考文献】(社)電力土木技術協会 電力施設地下構造物の設計と施工 1986.3  
(社)土木学会 原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針 1983.12