

8. 地山と岩石の弾性波速度に基づいた地山等級基準の再評価と施工結果

○常光 伸照・門藤 正幸（中電技術コンサルタント）

末国 光彦・金元 高志（中国電力 奥津第二発電所建設所）

1. はじめに

中国電力では、これまで多くの小水力発電所を建設してきた。それに伴い多くの導水路トンネルを掘削してきたが、地山等級が事前調査段階の予測（以下予測という）と施工時（以下実際という）で大きく異なり、工事費が増大した事例が多い。

予測と実際の相違を軽減するために、奥津第二発電所第1号トンネル（TBM）では、地山と岩石の弾性波速度から求めた係数を地山の良好度とし、地山等級基準の再評価の基本とすることを試みた。ここでは、新基準による予測と実際の地山等級を比較し、再評価方法の妥当性について述べる。

2. 地形・地質概要

発電所位置は、中国脊梁山地にあたる。第1号トンネルは、図-1に位置図を示すように、奥津町の中央部を南流する吉井川沿いで、ほぼ南北方向の主稜線を有する山体に計画されている。標高は500~700m程度で、全体に非常に急峻な山岳地形を形成している。吉井川に面する斜面の一部は急崖で、奥津溪谷と呼ばれる名勝地となっている。トンネルの北側は土被りが100~300m、南側では土被りが50~150mとなっている。

地質は、中生代白亜紀後期から新生代古第三紀初期に形成された侵入岩類で、奥津花崗閃緑岩体と総称されている。トンネル北部の多くの沢筋では $C_H \sim C_M$ 級岩盤となり、南部では $C_L \sim C_M$ 級岩盤が主体となる。稜線部のマサ化帯の厚さは数10mである。

3. 地山等級基準の再評価方法

表-1に第1号トンネルの緒元を示す。

3-1. 地山等級基準の再評価の必要性

地山等級の予測と実際の異なる問題に対して、鈴木ら¹⁾、飯酒盃²⁾によりその要因が抽出されている。中川³⁾は、鈴木らの要因を限定して実証的検討を行い、地質調査自体の技術的限界や地質情的限界や地質情報不足等に起因する地山解釈に関する対人依存が多い場合に発生すると指摘している。また、門藤ら⁴⁾は、地山等級の予測には類似地形・地質の導水路トンネル施工実績を参考にすることが、重要であると指摘している。筆者らは、これらの要因のうち、類似の導水路トンネル施工

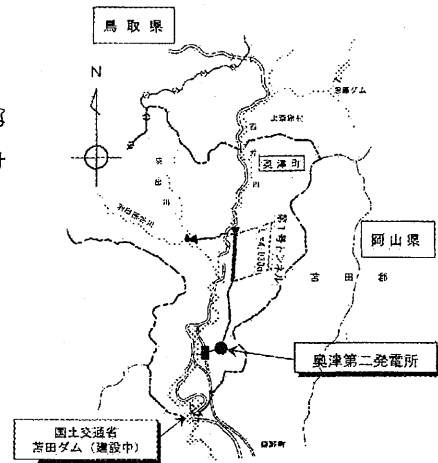


図-1 トンネル位置図

表-1 第1号トンネルの緒元

項目	緒元
延長	L≒4,030m
トンネル形状	円形
径	φ≒3.9~3.6m
掘削方式	機械掘削（TBM）

実績を考慮した地山等級基準とすることで、予測と実際の差を最小限にとどめることを目的として地山等級基準の再評価を実施した。

3-2. 花崗岩地域（第1号トンネル）の地山の良好度

図-2に第1号トンネルの断面図を示す。低速度帯を除く弾性波速度は $V_p=3.4\sim 5.3\text{km/s}$ で、かなりの幅を有している。その要因として、比較的均一性の高い花崗岩であることを考慮すると、割れ目の性状（頻度・開口など）の差である可能性が高く、地山等級基準の再評価にあたっては、割れ目の発達度を配慮したものにする必要がある。小野寺⁵⁾は地山と岩石の弾性波速度比の二乗 $((V_p/v_p)^2)$ を地山の良好度と定義している。この地山の良好度が有効な目安になると判断した。

室内岩石試験は、地域内の道路切り取り斜面工事現場からブロックサンプルを4試料採取し、それぞれからコア抜きした供試体を用いて超音波伝播速度測定を行った。その結果、最大値は $v_p\approx 5.5\text{km/s}$ であった。

3-3. 地山等級基準の再評価にあたっての配慮事項

類似の多くの導水路トンネルで予測と実際が大きく異なっていることは冒頭で述べたが、どの程度の差が生じているのか把握しておくことは、地山等級基準の再評価にあたって重要な問題ある。当トンネルと同じ花崗岩を対象としているS導水路トンネル(NATM)における予測と実際の比較図を図-3に示す(中国電力資料)。この図はトンネル全長に対する各岩級の累積長の割合を表したもので、次のことが判った。

- ・ 実際ではB級岩盤が極めて少なく、CM級岩盤が多くなっている。また、CL級・D級岩盤は、予測と実際は極めて近い値となっている。
- ・ 予測と実際の等級の差はおよそ1ランクである。
- ・ 地山等級基準の見直しはCM級以上の岩盤を主体に行う必要がある。
- ・ ただし、TBM方式で掘削する当トンネルではNATMで掘削したSトンネルほど緩みが大きくないことを考慮し、中間領域(CM~CH級、CH~B級)を設ける。

3-4. 新地山等級基準

表-2に第1号トンネルの新・旧の地山等級基準を示す。

地山の良好度の算出は、岩石試験結果の最大値 ($v_p\approx 5.5\text{ km/s}$) を無亀裂状態として使用した。

CM級以上は、再評価前では2ないし3段階であったが、再評価後では中間領域を含め7段階に区分した。地山等級を詳細に区分した理由は、以下のとおりである。

- ・ 適切な支保工の選定（切羽に対し支保工が過剰になる傾向にある）
- ・ TBMの経済的なビット交換
- ・ 情報収集（今後のTBM採用への対応）

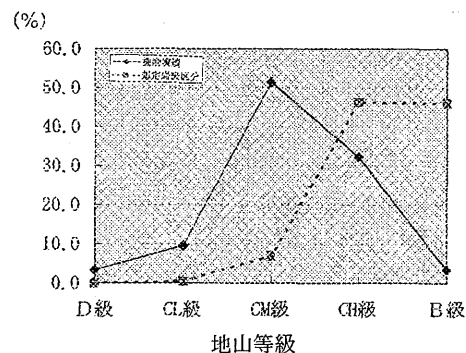


図-3 既存のS導水路トンネル(NATM)における予測と実際の比較図

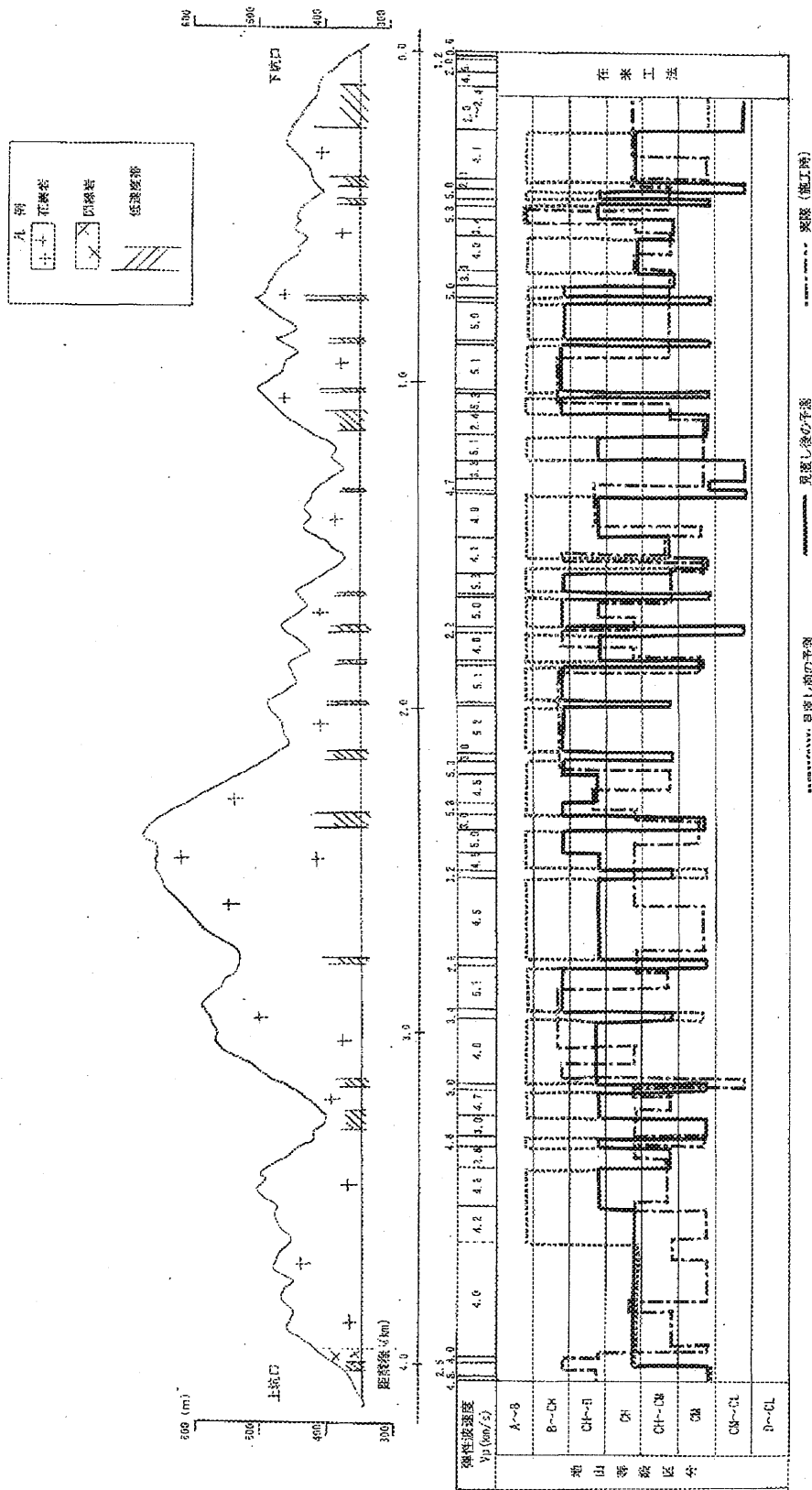


図-2 第1号トンネル断面図

表-2 新・旧の地山等級基準

見直し前				見直し後				
地山等級		弾性波速度 Vp(km/s)		地山等級	弾性波速度 Vp(km/s)	地山の良好度 (Vp/vp) ²	支保工	種別
CH~B	B	3.2~5.3	4.0~5.3	A~B	5.5以上	1.00以上	素掘	1種
				B~CH	5.0~5.5	0.81~1.00		
	CH	3.2~4.0	CH~B	4.5~5.0	0.67~0.81	吹付=2cm	2種	
			CH	3.9~4.5	0.50~0.67			
CM	1.8~3.2	CH~CM	3.2~3.9	0.33~0.50	吹付=3cm	3種		
		CM	2.5~3.2	0.20~0.33				
D~CL	0.8~1.8	CM~CL	2.0~2.5	0.20以下	吹付=2cm・鋼製リング	4種		
D	0.3~0.8	D~CL	0.8~1.8	—	吹付=3cm・鋼製リング	5種		
D	0.3~0.8	D	0.3~0.8	—				

4. 新・旧の予測と実際の地山等級とその評価

図-2の断面図によると、再評価前の予測と実際を比較では地山等級が半~2ランク、全体的に良好度の下方にズレており、これまでの類似導水路トンネルの実績を裏付けるものとなった。一方、再評価後の予測と実際では予測の地山等級が全体的に高めとなっているものの、比較的同様な傾向を示していると判断される。

新基準の予測と実際には、次の2点の傾向が認められる。

(a) Vp=5.0 km/s 程度では、一致性が比較的良好 (主に距離程 2.0 km 付近)。

(b) Vp=4.5 km/s 程度では、一致性がやや悪い (主に距離程 2.7 km 付近)。

5. まとめ

再評価方法の妥当性を検討した結果、次のようにまとめることができる。

①新地山等級基準による地山等級と実際の地山等級は概ね一致しており、地山の良好度による再評価は有効であった。

②再評価にあたっては、地質など類似のトンネルの施工実績を参考にすることは極めて有効であるが、トンネルの規模や施工方法を十分考慮する必要がある。

③(b)について、新地山等級基準から Vp=4.5 km/s 区間の絶対値をそのまま評価して CH~B 級と予測したが、実際は CM ないし CH 級であった。異なった要因として、この区間は Vp=5.0 km/s 区間に挟まれた形となっており、実際には Vp=4.0 km/s 程度であった可能性が高いと考えているが、今回の比較検討ではそれを明らかにすることはできなかった。

6. あとがき

今回は地山等級基準の再評価について述べたが、③に示す問題が残された。現在岩石試験などを追加しさらに検討を進めており、その成果は今後発表していきたいと考えている。最後に、地山等級基準の再評価にあたって、発注者は、予測した地山等級を盾にとって過剰ともいえる支保工を実施されることを懸念している。発注者と施工者の信頼関係が必要不可欠であり、その中間に立つ地質調査技術者の役割は大きいと考える。 以上

参考文献

- 1) 鈴木守、富田宏夫：トンネルの地質調査の性格と問題点 (2)、トンネルと地下、第24巻、10号、pp49-58、1993
- 2) 中川浩二：弾性波速度分布によるトンネル岩盤の事前予測と施工時の岩盤評価との関係、平成13年度、シンポジウム予稿集、p1-7、日本応用地質学会
- 3) 飯酒孟久夫：トンネル地質の予測が当たらない諸要因について、平成13年、シンポジウム予稿集、p52-60、日本応用地質学会
- 4) 門藤正幸、常光伸照、曾我部淳、前田明宏、石田滋樹、北川隆司：トンネルの地質調査結果と施工時の地山状況の対比、平成9年度研究発表会、p153-156、日本応用地質学会
- 5) 土木工学社：わかりやすい土木地質学、p181、2001