

VI-13

多変量解析を用いた水力発電所導水路トンネル無巻判定基準に関する研究

東北電力（株） 正会員 ○佐々木牧夫
 東北電力（株） 正会員 柴田 一成
 東北ホール（株） 正会員 阿部 壽

1. はじめに

水力エネルギー開発推進上の最大の課題は建設費の低減である。

当社の既設水力発電所導水路トンネル49.7kmの内、無巻導水路トンネルが8.1km、16%を占め、技術的には新設導水路トンネルにおいても無巻区間を設けることが可能と考えられること¹⁾から、導水路トンネル施工部の岩盤性状により、どんなところを巻立て、どんなところを巻立てなくともよいかという判断基準（以下「無巻判定基準」という。）を作成したので、その概要を報告するものである。

2. 無巻導水路トンネルの調査項目

無巻導水路トンネルを建設する区間を適切に選定するために、既設無巻導水路トンネルの岩盤性状について、38発電所、5.4kmに亘って現地調査を実施した。図-1に地質別の調査延長を示す。

岩盤を分類する基準は多数ある²⁾が、調査に使用した岩盤分類基準は、土木技術者が簡便に実施できること、電力施設における使用実績が多いことから、電中研式岩盤分類を使用し、更に、岩盤性状をより的確に評価するために、分類要素別の評価³⁾および表-1、2に示す独自に設定した判定区分を併せて使用し、岩級区分、固結度、風化・変質、割れ目の性状、割れ目の間隔、割れ目のパターン、湧水区分の7項目の判定要素について調査を実施した。

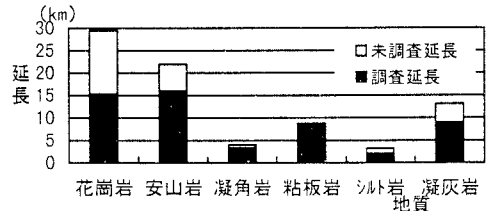


図-1 地質別調査延長

3. 総合評価による無巻判定基準⁴⁾

(1) 各判定要素の関連性

7項目の判定要素の内、他の判定要素との関連性が高い岩級区分および風化・変質については、固結度で代表することとし、固結度、割れ目の間隔、割れ目の性状、割れ目のパターンについて総合的に評価し、判定が容易な湧水区分については単独で判定することとした。

表-1 割れ目のパターンによる区分

名称	定義
X	単独の割れ目
Y	XとZの中間の割れ目
Z	格子状の割れ目

表-2 湧水区分

名称	定義
湧-1	にじむ程度
湧-2	滴水程度
湧-3	集中湧水
湧-4	全面湧水

表-3 判定要素の評価段階毎の重み係数（花崗岩）

判定要素 評価段階	固結度	割れ目の 間隔	割れ目の 性状	割れ目の パターン	判別中点
1	0.0343	0.0296	0.1701	0.1770	-0.133
2	-0.0143	0.1162	0.1951	-0.0498	
3	0.0340	0.0165	-0.0964	-0.0978	
4	-0.0615	-0.0936	-0.6294	———	
5	0.2451	-0.1602	———	———	

(2) 総合評価手法

岩盤性状を表わす判定要素および評価の目的である無巻方式採用の可否は、定量的に表わすことができないため、総合評価手法として多変量解析における数量化理論Ⅱ類⁵⁾を用い、各判定要素の重み係数を定めた。凝灰角礫岩、シルト岩については、現地調査データの不足により総合評価ができなかった。表-3に花崗岩の重み係数を示す。

(3) 総合評価による無巻判定基準

各判定要素の総合評価は、表-3より4判定要素について該当する評価段階の重み係数を選択し、それらを総和して総合評価点とし、その総合評価点が該当する各地質の判別中点より大きければ無巻にできると判定される。

4. 無巻判定基準の検証

(1) 総合評価手法による無巻判定

図-2は、表-3の重み係数を用いて、花崗岩の現地調査結果を総合評価したものである。図中の落石部とは、現地調査時に落石の痕跡が見られる箇所近傍（2m程度）の岩盤性状を総合評価したものである。

評価の結果、判別中点を境界として無巻部と落石部の岩盤性状が区別されており、本手法は、導水路トン

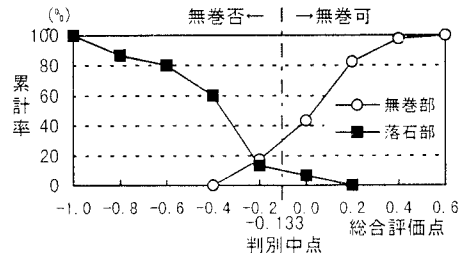


図-2 総合評価点（花崗岩）

ネルの岩盤性状を的確に表わしていると考えられる。

(2) 既往の支保基準との比較

トンネルの巻立基準は、種々提案されているが、無巻方式を含めた巻立基準がないことから、岩盤性状から支保タイプを選定するRMR評価法²⁾との比較を行った。

RMR評価法における支保タイプの選定指標は、過去の経験から、表-4に示す区分が使用されている。

無巻導水路トンネルの現地調査結果による総合評価手法による無巻判定ならびにRMR値を表-5に示す。

総合評価手法による無巻判定において、無巻と判定される部分はRMR値が67～92であり、支保タイプは最も簡易な工法となっている。

また、総合評価手法による無巻判定において、巻立と判定される部分はRMR値が30～60であり、支保タイプは鋼製支保工などの工法が選定される。

以上から、総合評価手法で無巻と判定される岩盤性状の全ては、RMR評価法では最も簡易な支保タイプが選定され、総合評価手法による無巻判定基準はRMR評価法と矛盾しない。

(3) 既設無巻導水路トンネルの判定

現地調査を実施した5.4 kmの既設無巻導水路トンネルの岩盤性状について、作成した本基準により無巻判定したのが図-3である。

既設無巻導水路トンネル延長に対して、無巻判定基準により無巻と判定されるトンネル延長は、花崗岩では83.0%、安山岩83.7%、粘板岩89.1%、凝灰岩31.3%である。

花崗岩、安山岩、粘板岩については、既設無巻導水路トンネル延長の80%を超えており、無巻判定結果は、既設の実態よりも安全側であるが、よく一致している。凝灰岩については、既設無巻導水路トンネル延長の30%程度であり、無巻判定結果は、既設の実態よりも極めて安全側に設定されることとなる。

5. おわりに

無巻導水路トンネルの現地調査から多変量解析を用いて、判定要素を総合的に評価した無巻判定基準を作成することができた。今回作成した無巻判定基準の検証結果から、総合評価手法による無巻判定が岩盤性状を基に支保タイプを選定するRMR評価法とよく一致し、既設無巻導水路トンネルの岩盤性状を的確に評価していること、無巻判定基準を新設導水路トンネルに適用した場合、既設の実態に比べて安全側に判定でき、花崗岩、安山岩、粘板岩についてはよく一致することが明らかとなった。凝灰岩については、既設の実態に比べて極めて安全側の判定となるため、今後も継続して検討することとしたい。

導水路トンネルに無巻方式を採用することにより、発電出力10,000 kWのモデルケースでは、土木工事費の13%が省力化でき、その効果は非常に大きい。

今後は、本無巻判定基準による無巻方式を、新設する水力発電所の導水路トンネルの巻立計画に反映し、建設費の低減に努めていきたいと考えている。

最後に、本研究の実施にあたりご協力をいただいた(株)大和地質研究所 佐々木部長をはじめとし、関係した皆様に深く感謝の意を表します。

< 参考文献 >

1) 安藤清美, 阿部 壽, 柴田一成: 導水路トンネルの実態からみた巻立方式の合理化について, 第48回土木学会年次学術講演会, 1993, pp244～245.
2) 例えば 土木学会: トンネル標準設計方書・同解説, pp28.
3) 齊藤和雄: トンネルを対象とした電中研式岩盤分類の数量化の試み—火成岩地域におけるNATMへの適用—, 電力中央研究所研究報告, U91059, 1992. 4.
4) 柴田一成, 阿部 壽, 佐々木牧夫: 導水路トンネル無巻区間の判定基準に関する研究—総合評価手法の導入—, 第50回土木学会年次学術講演会, 1995, pp192～193.
5) 例えば 中村正一: 例解 多変量解析入門, 日刊工業新聞社, pp187～195.
6) 柴田一成, 佐々木牧夫, 阿部 壽: 水力発電所導水路トンネル無巻判定基準に関する研究, 電力土木 No. 265, 1996. 9.

表-4 RMR値による支保タイプ選定指標

RMR値	支保タイプ	岩級区分
100～66	吹付モルタル	B, CH
65～40	吹付モルタル+ロックボルト	CM
39～0	鋼製支保工	CL, D

表-5 無巻判定結果

総合評価手法による無巻判定	RMR値	支保タイプ
無巻	67～92	吹付モルタル
巻立	30～60	鋼製支保工他

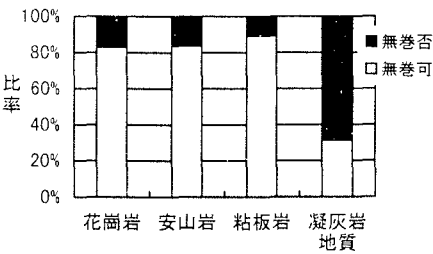


図-3 既設無巻区間の判定