

(50) 切羽観察に基づく最終変位量の予測

佐藤工業㈱中央技術研究所 正会員 ○西野治彦 篠川俊夫

佐藤工業㈱中央技術研究所 正会員 矢田 敏

佐藤工業㈱土木本部技術部 正会員 福島晴夫

1 はじめに

近年、土木工事の管理方法として施工情報の蓄積と統計分析、信頼性解析などの手法を用いた判断方法のシステム化と、これをさらに発展させた人工知能（AI）による管理の自動化に関する研究開発等が進められている。工事の管理には、設計管理、施工管理、安全管理などがあり、これらは実際に現場技術者の豊富な経験に基づいて運用されていることが多い。このため、有効な管理方法を作成するための第一の課題は、これまで現場の技術者が個人的な経験として蓄積してきた技術を具象化し、体系付けることであると考えられる。トンネル工事の施工管理は、これまで現場技術者の体験や勘による判断を中心として行なわれてきた傾向が強いが、NA TMの導入以来、計測や地質観察を重視した定量的な観察方法が要求されるようになってきている。トンネルでは、掘削直後の切羽や周辺地山の地質状態からその後に発生する挙動を予測し、適切な支保を施工していくことが基本であり、作業員から管理者まで工事に従事する全ての技術者が共通の判断基準に基づき、相互理解を持って施工することで、工事の安全性、経済性の一層の向上が望めるものと考えられる。本研究では、NA TMで施工された数件のトンネルを対象として、事前調査および切羽観察の結果から支保選定基準の作成に有効な地質因子を抽出し、内空変位測定結果と関連づけて最終変位量を予測する管理手法について考察する。

2 地山分類法の検討

トンネルの設計や施工計画は、各種の地山分類法と関連づけられた支保選定基準に基づいて行なわれることが多く、切羽観察は、これを再評価、修正するための重要なデータを提供する。しかし、切羽観察により地山を再評価する場合、各等級間に明確な境界を設定することは難しく、分類の際に主観的判断が入り易いため、的確な地山評価が行なわれない場合も生じている。この観点から、BieniawskiのRMR値¹⁾²⁾、BartonのQ値²⁾³⁾に代表されるような客観的に地山を評価しようとする地山評価手法が提案されている。これらの地山評価手法は、岩石強度、節理状況、湧水状況等の各項目毎に一定の判断基準を設けており、これまでの分類法に比べると定量的で、客観的に地山を評価するのに適していると考えられる。ここでは、代表的な地山評価手法の1つであるRMR値（表-1参照）を用いて、合理的な支保選定と最終変位予測を行なう手法について検討を行なう。

表-1 RMR値を構成する各項目

NO.	項 目	評点	NO.	項 目	評点
1	岩石強度	R1	4	節理の状態	R4
2	RQD	R2	5	湧水状態	R5
3	節理の間隔	R3	6	節理の方向性	R6
R M R 値 = R1+R2+R3+R4+R5+R6					

3 最終変位量を支配する要因

A、B、C3つのトンネルにおける実測データに基づき、最終変位量を支配する様々な要因の中でも、特に、初期応力状態と地山性状の2つの要因が最終変位量に及ぼす影響を検討する。ここでは、初期応力状態を数量化するため、初期応力を γH （ γ ：単休、 H ：土被り）とし、地山性状については、以下に示すような2通りの方法で数量化を行なう。

〔方法1〕；RMR値をそのまま地山性状を示すパラメータとする。

〔方法2〕；RMR値を構成する各項目の評点をそれぞれ独立した6つのパラメータとする。

方法1は、地山性状を容易に1つのパラメータへ数量化することができ、方法2よりも実用的であると考えられる。方法2は、地山性状を示すパラメータが多いため計算は複雑になるが、各項目についてそれぞれ

の重要度を考慮しながら地山性状を数量化できるという利点がある。A、B、C3つのトンネルにおいて、地山性状を方法1、2によりそれぞれ数量化し、重回帰分析により初期応力状態と地山性状に基づく最終変位量の予測式を求めた。その予測式から求めた最終変位量の予測値と実測値との相関係数を表-2に示す。いずれのトンネルにおいても、方法1、2ともに予測値と実測値との相関係数は高く、最終変位量が初期応力状態と地山性状の2つの要因に強く支配されていることが確認できる。また、予測値と実測値との相関係数には、方法1と方法2に大きな差異は認められない。次に、Aトンネルにおける最終変位量の予測値と実測値との散布図を図-1、2に示す。図-1は方法1により、図-2は方法2により、それぞれ地山性状を数量化したものである。図中、最終変位量への影響度は、最終変位量に対する各項目の偏相関係数を示しており、土被りには正の相関が、RMR値およびRMR値を構成する各項目には負の相関が認められる。図-2に示すように、RMR値の各評点のうち、Aトンネルにおいては、岩石強度、節理間隔が最終変位量へ及ぼす影響が大きいことがわかる。なお、湧水状態の影響がほとんど認められないのは、Aトンネルでは湧水がほとんど無かったためである。ここで、図-1と図-2の散布状況を比較すれば、両者には大きな差異が認められず、方法1、方法2のいずれの方法でも比較的精度よく地山性状が数量化できるものと考えられる。したがって、ここでは、より実用的な方法1を用いて地山性状の数量化を行なう。

4 最終変位量の予測法

3章の結果を踏まえ、ここでは、初期応力状態を γH 、地山性状をRMR値とし、これら2つの要因に基づいて支保選定および最終変位量の予測が行なえる手法を提案する。既設断面における実測データの重回帰分析だけでは、その分析結果を以後の断面における任意の支保パターンに反映していくことは困難である。そこで、図-3のフローに示すように、統計手法に特性曲線法⁴⁾を組み入れた最終変位量の予測法を提案する。本手法は、①既設断面において土被りと最終変位量の実測値から特性曲線法による逆解析⁵⁾を行ない、地山弾

表-2 最終変位量の予測値と実測値との相関係数

地山性状数量化	方法1	方法2
最終変位量の予測式(=重回帰式)	予測値 $UPR = a(\gamma H) + b(RMR) + c$	$UPR = a(\gamma H) + b(R1) + c(R2) + d(R3) + e(R4) + f(R5) + g(R6) + h$
Aトンネル	0.865	0.874
Bトンネル	0.901	0.914
Cトンネル	0.806	0.980

($RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$ R1~R6については、表-1参照)

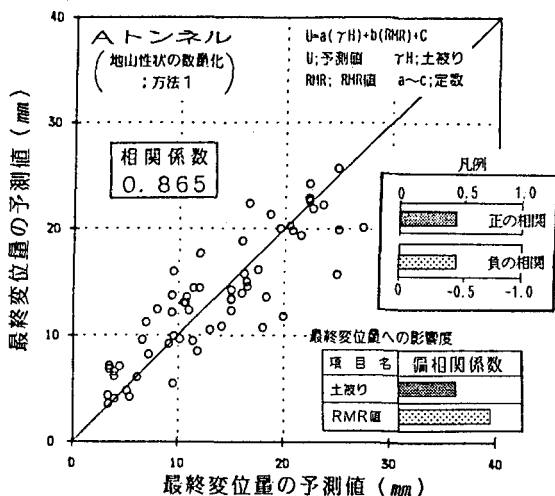


図-1 最終変位量の実測値と予測値の関係
(地山性状の数量化；方法1)

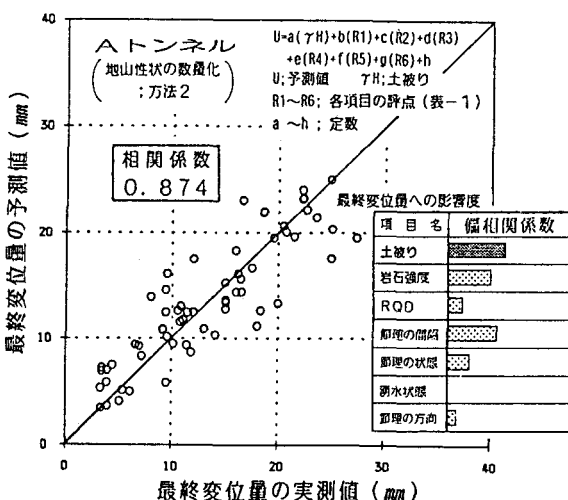


図-2 最終変位量の実測値と予測値の関係
(地山性状の数量化；方法2)

性係数Eを求める。②EとRMR値について統計分析を行ない、既設断面における両者の関係式を求める。③新規掘削断面において、その関係式を用いてRMR値からEを推定する。④推定したEを用いて特性曲線法の順解析を行なう。というステップを踏んでいるため、既設断面において実績の無い任意の支保パターンにおける最終変位量を予測できるという特徴がある。ここで、A、B、C3つのトンネルでの実測データをもとに、本手法の妥当性について検討を行なう。図-4に、AトンネルにおけるRMR値と地山弾性係数Eの関係を示す。この散布状況を踏まえ、ここでは両者の関係を双曲線で近似する。この関係を用いて特性曲線法から得られた最終変位量の予測値と実測値の散布図を図-5に示す。この図から予測値と実測値には良好な相関があることがわかる。次に、B、Cトンネルにおいても同様に最終変位量の予測値を求め、表-3に、最終変位量の予測値と実測値との相関係数を示す。これらの結果から、本手法により比較的精度よく最終変位量の予測が行なえることを確認できる。

5 各断面での最終変位量の予測値

A、B、C3つのトンネルにおける実測データに基づき、各トンネルの各断面において、本手法による最終変位量の予測値と実測値の比較を行なう。図-6は、Aトンネルの例であり、ここでは、各断面におけるRMR値と土被りも示している。同様にBトンネルおよびCトンネルでの結果を図-7および図-8に示す。いずれのトンネルにおいても、本手法による予測値は実測値とよく合っているのがわかる。しかし、予測値が実測値から外れている断面もいくつか認められ、その原因を明らかにするため、該当するAトンネルのN0.30～35付近の断面における切羽観察結果を調査した。その結果、それらの断面においては、①一部に破碎帯またはシームが見られる②節理が多く、節理間隔も狭い③節理の方向が流れ目になっており掘削に不利である等の状況が認められ、周囲の断面よりもRMR値がかなり小さくなっている。しかし、最終変位量の実測値は周囲の断面と同程度の値を示しており、そのため実測値と予測値との間に差異が生じたものと考えられる。

表-3 最終変位量の予測値と実測値との相関係数

	Aトンネル	Bトンネル	Cトンネル
相関係数	0.784	0.832	0.549

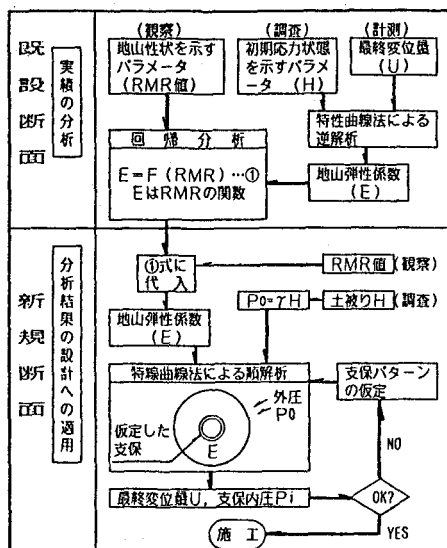


図-3 最終変位予測法のフロー

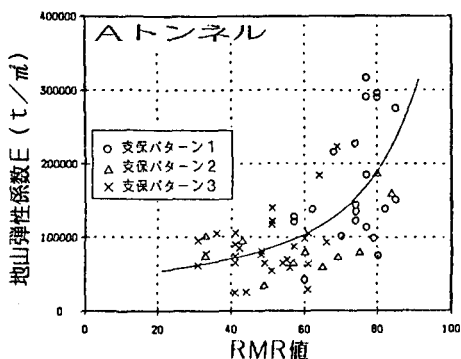


図-4 RMR値と地山弾性係数Eの関係

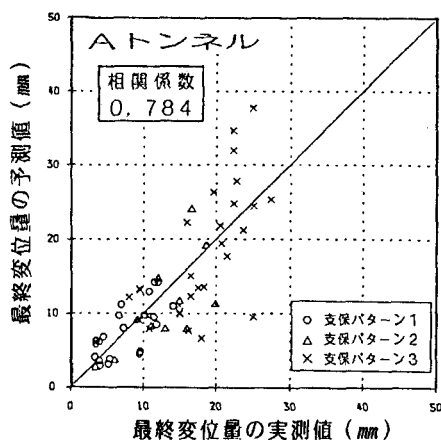


図-5 最終変位量の予測値と実測値の散布図

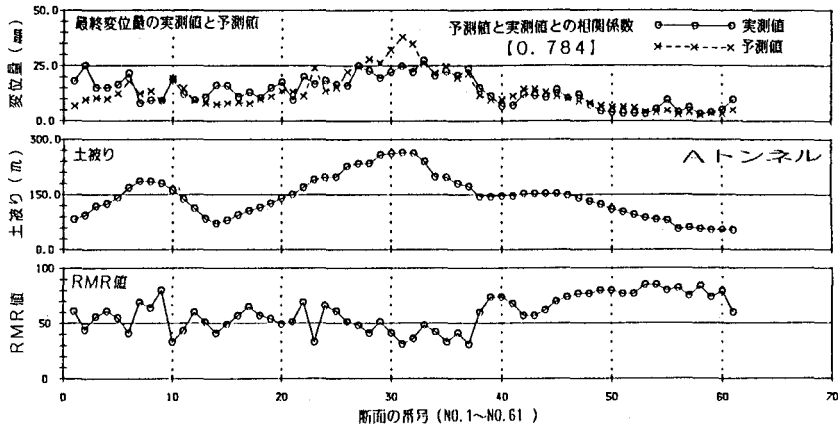


図-6 最終変位量と土被り、RMR値との関係 (Aトンネル)

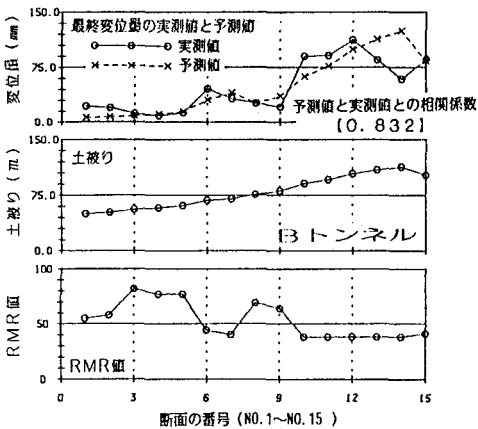


図-7 最終変位量と土被り、RMR値との関係 (Bトンネル)

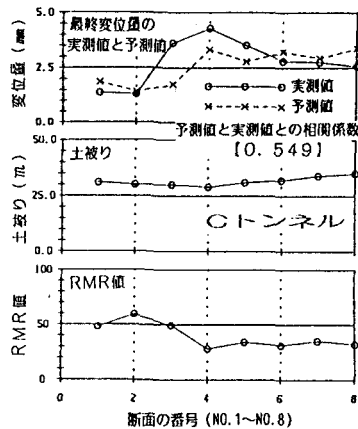


図-8 最終変位量と土被り、RMR値との関係 (Cトンネル)

6 おわりに

初期応力状態と地山性状に基づいて最終変位量の予測を行なう手法を提案した。本手法は、任意の支保パターンについて最終変位量を予測できるという特徴を持っている。A, B, C3つのトンネルにおける実測データを用いて本手法の妥当性を検討した結果、本手法による予測値がかなり実測値と合致していることが確認できた。ここでは、地山性状を示すのにRMR値を用いたが、RMR値にも観察者の主観が入る余地があり、しかも、切羽以外の周辺地山の状況を考慮できないため、的確に地山を評価できない場合もある。したがって、RMR値に加えて地山弾性波速度等の客観的な情報も考慮し、より正確かつ客観的に地山状況を把握し、本手法の精度を高めていく必要があると考えられる。今後は、各種のトンネルにおいてデータの蓄積を行ない、本手法による工事の管理システムを確立していく所存である。

参考文献

- 1) Bieniawski, Z.T., 「Rock mass classifications in rock engineering」, Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering, vol. 1, pp. 97-106, 1976
- 2) Lock, E. and E.T. Brown (小野寺透, 吉中龍之進, 斉藤正忠, 北川隆共訳), 「岩盤地下空洞の設計と施工」, 土木工学社, pp. 7-26, 1985
- 3) Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 「Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support」, Rock Mechanics, vol. 6, pp. 189-236, 1974
- 4) 西野, 矢田, 「特性曲線法によるNATMの施工管理について」, 土木学会第41回年次学術講演会講演集 (VI), pp. 43-44, 1986
- 5) 西野, 藤川, 矢田, 「切羽観察に基づく変位予測と支保選定」, 第7回岩の力学シンポジウム講演論文集, pp. 349-354, 1987

(50) A Study to Predict Ultimate Displacement Based on Observation

by

Haruhiko Nishino, Toshio Shinokawa and Kei Yada
(Engineering Research Institute, Sato Kogyo Co.,Ltd.)

Haruo Fukushima
(Civil Engineering Department, Sato Kogyo Co.,Ltd.)

ABSTRACT

A method to predict the ultimate displacement which takes into account the state of the ground and the initial stress state around the tunnel is presented so as to select the rational supports. A statistical analysis based on the RMR value proposed by Bieniawski, which is one of the typical method to digitize the state of the ground, is used in this method.

The ultimate displacement is predicted through the Fenner-Pacher curve in which Young's modulus is derived from the RMR value by the statistical approach. This method can be used widely because it can be applied to any kind of the support.

Comparisons between the estimated ultimate displacement and the measured displacement is performed at three actual tunnels. The correspondence between them is good, hence it is confirmed that the present method can estimate the ultimate displacement of the tunnel well.