

山口県におけるトンネル切羽安定対策工選定手法の検討

山崎プラント(株) 正会員 ○堀陽輔
大広エンジニアリング 正会員 谷増唯
山口大学大学院 正会員 進士正人

1. はじめに

山岳トンネル工法に補助工法を併用することにより、切羽が若干不安定な地山でも、比較的安定した掘削が可能となったとの工事報告が近年増加している。それに合わせて補助工法の必要性ならびに重要性は広く認識されるようになった。しかし、補助工法の採用基準は明確ではなく、現場技術者の経験的主観に強く依存している傾向が見られ、客観的かつ定量的な指標の確立が望まれている。

その試みとして、既往の研究では、鏡吹付けコンクリート（以下、「鏡吹付け」という）を対象として切羽観察結果から鏡吹付け評価点を考案し、選定手法の明確化を試みている（以下、「既往の研究1¹⁾」と呼ぶ）。しかし、切羽観察項目の中の湧水、劣化の項目を考慮していないなどの不備が指摘されている。また、数量化Ⅱ類による判別分析より定量的な選定手法の提案もなされている（以下、「既往の研究2²⁾」と呼ぶ）。この研究では同時にフォアポーリング、フォアバイリング（以下、2工法をあわせてFPという）、AGFの選定手法の明確化の試みも行われている。しかし、この手法を用いるには分析に手間がかかり、現場での適用は困難とされている。本研究では、切羽観察記録から鏡吹付け、AGF及びFPなど代表的な補助工法を対象として、定量的な選定手法の確立を目的に、湧水、劣化を考慮した新しい評価点を考案した。そして、その結果を山口県のトンネル施工データに適用することで選定手法の有用性を検証した。

2. 対象データの概要

本研究で用いたデータは、表-1のような切羽観察記録が実施された1997～2002年までに施工された全国トンネルデータベースである。ここでは、補助工法と関連が深い、軟質岩（層状）の6,333データについて検討を行う。

3. 湧水、劣化を考慮した鏡吹付け評価点の考案及びその適用性の検証

既往の研究1で提案された鏡吹付け評価点に、湧水と劣化の項目を新たに評価項目に加えた新しい鏡吹付け評価点を再分析する。まず、鏡吹付けの採用の有無と各観察項目の関係について多変量解析を行った。この分析結果を表-2に示す。この結果を基に、各観察項目の鏡吹付けの採用に与える影響度の比率を求めた。そして表-2に示すとおり、この影響度の合計が100点となるように各観察項目の最高点を決定した。各評価区分値への配分方法は、図-1に示す評価区分値と採用割合に着目し、採用実績の無い評価区分値には評価点を与えないこととした上で、既往の研究1と同様に、評価区分値間で、ほぼ等間隔に配分した。表-3に、このようにして求めた鏡吹付け評価点表を示す。この鏡吹付け評価点の適用性を検証するため、6,333データについて鏡吹付け評価点を算出した。同じデータに対し目的変数を鏡吹付けの採用の有無、説明変数を各観察項目の

表-1 切羽観察記録表の一部

観察項目	評価区分	1,000以上	1,000～500	500～250	250～100	100～30	30以下
A. 圧縮強度 (km/cm ²)	ハンマーの打撃による強度の目安	1,000以上	1,000～500	500～250	250～100	100～30	30以下
B. 風化変質	風化の目安	変質は見られない	変質は認められる	変質は認められる	変質は認められる	変質は認められる	変質は認められる
C. 割れ目間隔	割れ目の間隔	d≥1m	1m>d≥50cm	50cm>d≥20cm	20cm>d≥5cm	5cm>d	5cm以下
D. 割れ目状態	割れ目の開口度	割れ目の開口が閉じている	割れ目の開口が半開いている	割れ目の開口が半開いている	割れ目の開口が半開いている	割れ目の開口が半開いている	割れ目の開口が半開いている
E. 湧水量	状態	なし	湧水11/分以下	湧水11/分以上	湧水11/分以上	湧水11/分以上	湧水11/分以上
F. 劣化	水による劣化	なし	軽微な劣化	軽微な劣化	軽微な劣化	軽微な劣化	軽微な劣化

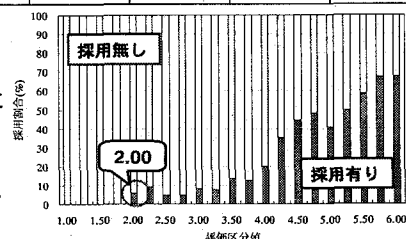


図-1 評価区分値における採用割合 (例 圧縮強度)

表-2 各観察項目の比率、最高点、境界の評価区分値

観察項目	影響度の比率 (%)	最高点	採用の有無の境界の評価区分値
圧縮強度	38.6	39	2.00
風化変質	21.9	22	1.00
割れ目間隔	4.0	4	2.50
割れ目状態	13.1	13	1.75
湧水	14.5	14	1.00
劣化	7.9	8	1.00

表-3 鏡吹付け評価点表 (湧水、劣化を含む)

観察項目	評価区分値					
	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	0	9	19	29	39	
風化変質	0	7	14	22		
割れ目間隔	0	1	2	4		
割れ目状態	0	3	6	9	13	
湧水	0	4	9	14		
劣化	0	2	5	8		

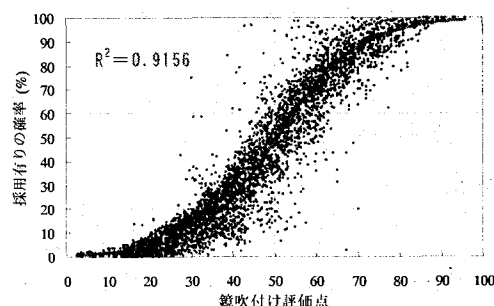


図-2 鏡吹付け評価点と採用有りの確率との関係

評価区分値とした数量化Ⅱ類による判別分析を実施し、鏡吹付け評価点と鏡吹付け採用有りの確率との相関を求めた。その分布を図-2に示す。この図から明らかなように、湧水、劣化を考慮した鏡吹付け評価点と、採用有りの確率との間には良い相関性が認められるため、本研究で提案した湧水、劣化を考慮に入れた鏡吹付け評価点の有用性が確認できた。

4. 回帰分析による判別

湧水、劣化を考慮した鏡吹付け評価点を用いて鏡吹付け採用の有無を判定する。そのために本研究では、下式に示す、ロジスティック関数式を用いて図-2で示した鏡吹付け採用有りの確率の近似式を算出する。

$$y = \frac{k}{1 + ae^{-bx}} \dots (1)$$

ここで x: 鏡吹付け評価点
y: 採用有りの確率
a, b, k: ロジスティック関数式のパラメーター

回帰分析より求められたa, b, kの値はそれぞれ、120.4, 0.0916, 100となった。このロジスティック関数式を用いると、切羽観察結果から鏡吹付け評価点が求まり、それを関数式に代入することで、鏡吹付け採用有りの確率が算出できる。ここで、その確率が50%以上なら鏡吹付け「採用有り」と判定し、50%未満なら「採用無し」とすることにより鏡吹付けの必要性が判定できる。

本選定手法の有用性を検証するために、山口県のAトンネル（切羽観察348データ）について鏡吹付け評価点を求め、それを式(1)に代入し「採用あり確率」として施工実績との一致率を既往の研究と比較した。ここで一致率とは、実施工における鏡吹付けの採用の有無と、本研究により判定された鏡吹付けの採用の有無との一致数の割合である。これまでの研究の一致状況を図-3に示す。この図からわかるように、施工実績の区間と各研究の採用有りの確率はよく対応していることがわかる。

また、そのときの一致率を表-3に示す。

5. AGF または FP 提案手法の考案及び検証

代表的な天端対策工である、AGF 及び FP の選定手法の提案を行うため、3. 及び

4. と同様の手順を用い、評価点表を作成した。なお、AGF 及び FP は天端対策工なのでここでは、切羽観察結果のうち天端部での評価結果のみを対象にした。そして

4. と同様に、回帰分析を実施してAGF, FP採用有りの確率を表す算出式を求めた。ここでは算出式のパラメーターa, b, kはそれぞれ200.05, 0.1166, 100となった。山口県のAトンネルについてAGF, FP採用有りの確率を求め、施工実績との一致率を算出した。図-4にその結果を、表-4にその一致率の結果を示す。この結果より、本研究においてもその改善はみられなかった。

6. まとめ

本研究では、既往の補助工法選定手法研究の問題点を整理し、湧水、劣化を考慮した評価点を考案し、山口県の切羽観察データに適用した。得られた結果を以下に示す。

①鏡吹付けの採用の有無に関しては、鏡吹付け評価点に湧水、劣化を考慮し検証した評価法は、既往の研究より高い一致率を求めることができた。そのため、本研究の有用性が確認できた。

②AGF または FP の選定判断においては、一致率が向上せず、切羽観察結果以外の情報が必要である。

参考文献

- 1) 榎田敦之: 観察記録を用いた切羽安定対策工選定手法の提案. 山口大学大学院, 修士論文. 2005. 3.
- 2) 馬詰祥代: 切羽観察結果に基づく鏡吹付けコンクリートの定量的な選定手法の検討. 山口大学, 卒業論文. 2005. 3.

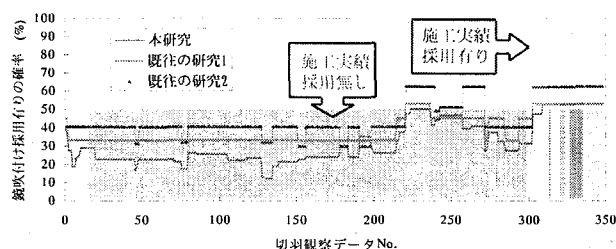


図-3 Aトンネルの適用結果(鏡吹付け)

表-3 各研究の一致率
(鏡吹付け)

	一致率(%)
本研究	83.33
既往の研究1	80.46
既往の研究2	71.26

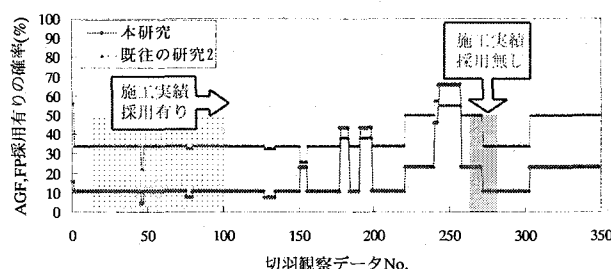


図-4 Aトンネルの適用結果(AGF, FP)

表-4 各研究の一致率
(AGF, FP)

	一致率(%)
本研究	31.90
既往の研究2	50.57