

切羽観察記録を援用したトンネル先受工選定方法の開発

関西エックス線株式会社 正会員 平谷龍一
 山口県土木建築部道路建設課 阿部雅昭
 山口大学大学院 正会員 〇進士正人

1 はじめに

より経済的なトンネル建設を目指して、近年の山岳トンネルの施工現場では、極めて脆弱な地山で切羽の自立が難しい場合においても、切羽に多種・多様な補助工法を採用し全断面でトンネル掘進を行うことが一般的になりつつある。しかしながら、種々の補助工法に対する採用基準はあまり明確ではなく、施工性・経済性などの観点から現場トンネル技術者が総合的に判断するとされている。近年、補助工法の採用を判断する根拠の一つとしてトンネル掘削時の切羽観察記録を統計的に分析し、分析結果から補助工法の必要性の有無を判定する方法を進士らが提案している^{1),2)}。(以下、「既往の研究」と呼ぶ)この研究では、主な補助工法のひとつである鏡吹付け工法の選定の有無の判断には切羽観察記録の分析が有効であることが示されているが、主要な補助工法である長尺鋼管フォアパイリング工法(以下「AGF」という)、フォアパイリング工法(以下「FP」という)などの選定及びそれらの分別手法の有効性が示されていない。本研究では再度、切羽観察記録の利用項目を見直し、AGFとFPの分別方法の確立を目指した。そして、その結果を山口県で施工されたトンネルの施工記録に適用し、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、1997～2002年までに施工された2車線道路トンネルの切羽観察データである(表-1参照)。本研究では、切羽観察記録のうちデータが最も充実している岩石グループ4軟質岩(層状)に属する5,690データについて検討を行う。

3 先受け工法の必要性判定手法の提案

(1) 先受け工法の必要性判定手法

切羽観察記録は、どの項目においても評価区分値が大きくなるほど状態が悪い状態と考えている。そこで本研究では、既往の研究で考案された観察項目6項目から、評価区分値そのものが大きくなるほどAGF・FPの採用割合が増加している項目のみにデータをまず絞り込んだ。この絞り込んだ観察項目のみで数量化Ⅱ類

表-1 切羽観察記録表の一部¹⁾

観察項目	評価区分					
	100以上	100～50	50～25	25～10	10～3	3以下
圧縮強度(N/mm ²)	ポイントロード	4以上	4～2	2～1	0.4以下	0.4以下
	ハンマーの打撃による強度の目安	岩片を地面に置きハンマーで強打しても割れにくい	岩片を地面に置きハンマーで強打すれば割れる	岩片を手に持ってハンマーでたたき割ることができる	両手で岩片を部分的にでも割ることができる	力を込めれば、小さな岩片を指先で潰すことができる
	評価区分	1	2	3	4	5
風化変質	風化の目安	概ね新鮮	割れ目沿いの風化変質	岩芯まで風化変質	土砂状風化、表面結土あり	土砂状風化、表面結土あり
	変質は見られない	変質は見られない	変質により割れ目に粘土を挟む	変質により岩芯まで強度低下	変質により全体が土砂化、粘土化	変質により全体が土砂化、粘土化
	評価区分	1	2	3	4	5
割れ目間隔	割れ目の間隔RQD	d≥1m	1m>d≥50cm	50cm>d≥20cm	20cm>d≥5cm	5cm>d
	80以上	80～50	60～30	40～10	20以下	20以下
	評価区分	1	2	3	4	5
割れ目状態	割れ目の開口度	割れ目は密着している	割れ目の一部が開いている(幅<1mm)	割れ目の多くが開いている(幅<1mm)	割れ目が開口している(幅1～5mm)	割れ目が開口している(幅5mm以上の幅がある)
	割れ目の挟み物	なし	なし	なし	薄い粘土を挟む(5mm以下)	厚い粘土を挟む(5mm以上)
	割れ目の粗度観察	粗い	割れ目が平滑	一部に鏡肌	よく磨かれた鏡肌	よく磨かれた鏡肌
	評価区分	1	2	3	4	5
湧水量	状態	なし、湧水10分以下	湧水10分～20分	集中湧水20～100分	全面湧水100分以上	全面湧水100分以上
	評価区分	1	2	3	4	5
	劣化	水による劣化	緩みを生ず	軟弱化	流出	流出
	評価区分	1	2	3	4	5

$$x = x_{\max} \cdot \frac{a}{a_{\max}} \quad (1)$$

ここに、x：もともとの評価区分値における評価点

$x_{\max}$ ：各項目における最高点(表-2、圧縮強度の場合27)

a：もともとの評価区分値における採用割合(図-1参照)

$a_{\max}$ ：各項目における最高点の採用割合

(図-1の場合、評価区分値6の採用有りの割合)

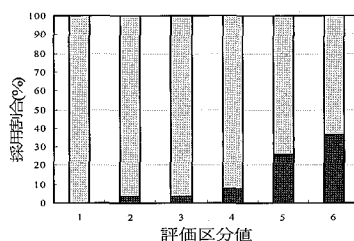


図-1 圧縮強度の採用割合

表-2 先受け工法評価点

観察項目	評価区分値					
	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	0	3	3	6	19	27
風化変質	0	2	15	30		
割れ目間隔	0	0	0	0	0	
割れ目状態	0	0	1	3	6	
湧水	0	0	0	0		
劣化	0	8	19	37		

の判別分析を行い、得られた分析結果より影響度を算出した。そして、既往の研究と同様に各項目の最高得点を分析結果の影響度から求めた。各評価区分値は式(1)、図-1を用いて、各項目の最高得点の採用割合に対する比率から配分した。また、評価区分値が1の観察項目は表-1の記述より影響は僅少と考えられるので評価しないこととした。この手法により作成した評価点表を表-2に示す。表に示すとおり既往の研究に比べ、割れ目間隔、湧水の2項目が評価点表の観察項目から除かれ、得点配分自身も変化している。

この評価点表に基づき算出された評価点を説明関数とし、別途、判別分析より得られた採用有りの確率を目的関数として、回帰分析を行い式(2)に示すロジス

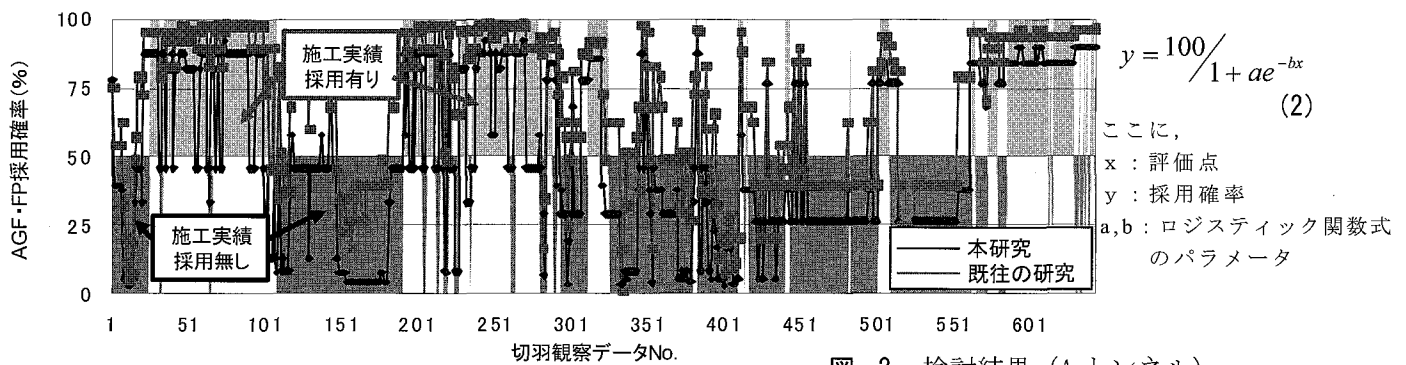


図-2 検討結果 (A トンネル)

ディック関数式を逆算した. 回帰分析より得られたパラメータの値は $a=7.33$, $b=0.047$ となった. このロジスティック関係式に評価点を代入し, 求められる AGF・FP 採用有りの確率が 50% 以上なら「採用有り」とし, 逆に, 50% 以下なら「採用無し」として AGF・FP 採用の有無の判定を行った.

(2) 有用性の検証

本研究の有用性を検証するために, A トンネルの切羽観察結果から, 式 (2) に従って評価点を算出し, AGF・FP 採用の有無について判別し, 図-2 にその適用結果を示す. この図より, 本研究での選定手法は, 概ね一致していることが分かる.

4 AGF・FP の分別手法の提案

(1) 分別手法

AGF・FP の分別判定をおこなうため, まず 3. と同様の手法で検証を行った. しかし, このままでは, 高い一致率得られなかった. そこで, AGF と FP の分別をおこなうため, 別の手法を考案した. すなわち, FP は掘削直後の切羽状態, 観察記録から FP の打設範囲・本数などをその都度決めるのに対して, AGF は打設位置からほぼ 10m の全区間に対してトンネル掘削前に補助工法の選択が行われるため, その実施判断が FP より広範囲のデータからより慎重な判断がなされていると十分想定される. そこで, 全岩石トンネルデータの中で AGF が用いられ, かつ, AGF 施工開始点の前後 10 点ずつの切羽観測データである 4 本のトンネル合計 80 データの切羽観察項目に着目した. そして, 影響している度合いが高い観察項目のみを絞り込むため, AGF 施工開始点前後で評価区分値が変化している項目を用いた. 次に, 観察項目データを説明関数, AGF の採用の有無を目的関数として, 重回帰分析を実施した. そして, 分析結果の偏回帰係数から式 (3) に示す回帰方程式をもとめた. この式より得られた判定値を用い, 判定値が正の場合は「採用有り」, 負の場合は「採用無し」とする. また, 回帰方程式の一致状況を

表-1 観察項目ごとの偏回帰係数 $Y_n = \sum_{k=1}^n a_k \cdot x_k + R \quad (3)$

観察項目	偏回帰係数	観察項目	偏回帰係数
左肩部圧縮強度	0.1300	天端部割れ目状態	-0.3219
左肩部風化変質	-0.0525	天端部劣化	0.1180
左肩部割れ目間隔	0.0428	右肩部圧縮強度	-0.1647
左肩部割れ目状態	0.0299	右肩部風化変質	0.0350
天端部圧縮強度	-0.2581	右肩部割れ目間隔	-0.1366
天端部風化変質	0.0664	右肩部割れ目状態	0.2769
天端部割れ目間隔	0.0699	右肩部劣化	-0.1386

Y: AGF 採用の有無の判定値
(AGF 採用: +, FP 採用: -)

a_k : 各項目の偏回帰係数

x_k : 各項目の評価区分値

R: 定数項 (= -6.461)

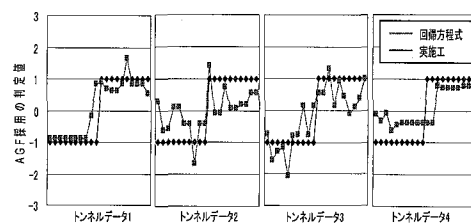


図-3 重回帰分析適用結果

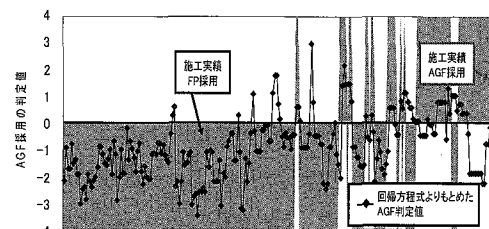


図-4 検証結果 (A トンネル)

図-3 に示す. この図から式 (3) より分別が可能であることが分かる.

(2) 有用性の検証

式 (3) を用い, 3. と同様に A トンネルの切羽観察結果から, AGF の採用の有無を判別し, 選定手法の有用性について検証を行った. 総切羽観察データ数は 643 データであり, そのうち AGF 採用データ数は 60 データ, FP 採用データ数は 178 データである. 図-4 にその検証結果を示す. なお, この図には, AGF・FP の施工実績がある切羽観測データのみ抽出し表示している. この図より AGF と FP の分別は概ね可能であることが分かる. しかし, 今後は更にデータを集積するとともに, 分析方法の更なる検討が今後必要である.

参考文献

- 1) 進士正人他: 切羽観察記録結果を用いた切羽補助工法の選定システム, 土木学会論文集 F, vol.62, No.3, pp513-518, 2006.8