

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

(株)計測技研 正会員○馬詰祥代
山口大学工学部 正会員 進士正人

日本技術開発(株) 榎田敦之
臨床トンネル工学研究所 フェロ-会員 中川浩二

1. はじめに

山岳トンネルにおいて、切羽が不安定な地山でも、補助工法を併用することで安定した掘削が可能となり、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みられ、客観的かつ定量的な指標が望まれている。

一方、採用基準の明確化の試みとして、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に基づいた多変量解析による選定手法の提案がなされている¹⁾。しかし、選定するごとに再解析を実施する必要がある、早急な判断が求められる現場での適用は困難である。

そこで本研究では、多変量解析に基づき、鏡吹付け評価点を考案し、その適用性の検証を行った。また、モンテカルロ法²⁾による定量的な鏡吹付け選定手法の検討を行った。

2. 対象データの概要

本研究では、日本道路公団のトンネル現場において、表-1に示す切羽観察記録表を用いて切羽観察が実施された1997～2002年までに施工された軟質岩（層状）トンネルの6,333データにより検討を行った。この記録表には、切羽観察4項目の評価結果をはじめ、鏡吹付け採用の有無などが入力されている。なお、対象データは既往の研究¹⁾と同じものである。

3. 鏡吹付け評価点の考案および適用性の検証

従来の切羽観察評価点による支保パターン選定と同様に、鏡吹付け採用の必要性を判断できる評価点表を考案されている¹⁾。すなわち各観察項目の最高点は、多変量解析結果より求められる鏡吹付け採用に与える各観察項目の影響度である。しかし、各評価区分値への配分については検討されていなかったため、図-1に示す評価区分値と採用割合の関数に着目した。すなわち、図-1(a)をみると、採用の有無の境界にあたる評価区分値が3.25であることから、その評価区分値より大きい整数値（4）から評価区分値の最大値（6）まで、ほぼ等間隔に最高点をもとに配分することとし、採用の無い評価区分値については評価点を与えないようにした。他の観察項目についても同様に行い、表-2に示す鏡吹付け評価点表を作成した。

この鏡吹付け評価点の適用性の検証を行うために、個々のデータについて鏡吹付け評価点を算出した。この評価点と多変量解析結果より求められた採用有りの確率を比較したものを図-2に示す。この図より、多少のばらつきはあるものの近似式の傾きは1に近いことから、鏡吹付け評価点は

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	100～50	50以下
A. 圧縮強度 (kmf/cm ²)	1,000以上 ポイントロード ハンマーの打撃 による強度の目安	1,000～500 40以上 岩片を地面に 置きハンマー で強打しても 割れにくい	500～250 40～20 岩片を手で 持つてハン マーでたた いて割れる ことができる	250～100 10～4 岩片とおし たたき合わせ 部分的にでも 割れることが できる	100～50 4以下 両手で岩片を 握ることも 割れることが できる	50以下 力を込めず ば、小さな岩 片を指先で潰 すことができる
B. 風化変質	風化の目安 熱水変質 などの目安	風化新陳 変質は見られない	割れ目沿いの風化変質 変質により割れ目に 粘土を挟む	変質まで風化変質 変質により変質まで 強度低下	変質まで風化変質 変質により変質まで 強度低下	変質まで風化変質 変質により変質まで 強度低下
C. 割れ目の間隔	割れ目の間隔 300	d≧1m 80以上	1m>d≧50cm 80～50	50cm>d≧20cm 80～20	20cm>d≧5cm 40～10	5cm>d 20以下
D. 割れ目の状態	割れ目の開口度 割れ目の挟持物 割れ目の粗度	割れ目は密着し ている ない 粗い	割れ目の一部が 開口している (幅<1mm) なし	割れ目の多くが 開口している (幅<1mm) なし	割れ目の開口が 5mm以上の幅がある (幅1～5mm) 薄い粘土を挟む (5mm以下)	割れ目の開口が 5mm以上の幅がある (幅1～5mm) 薄い粘土を挟む (5mm以上)
	評価区分	1	2	3	4	5

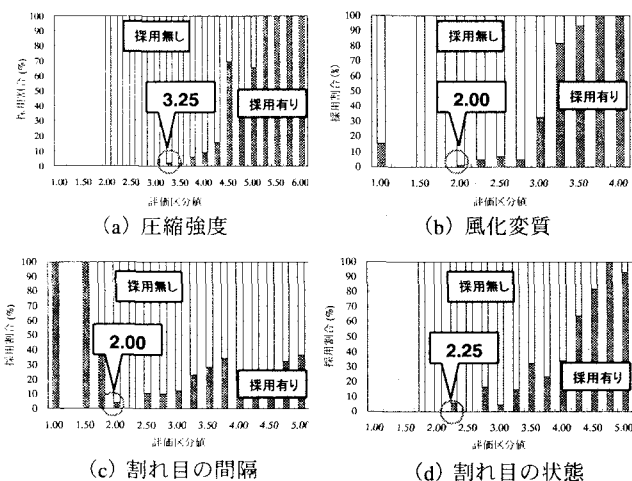


図-1 評価区分値における採用割合

表-2 鏡吹付け評価点表

観察項目	評価区分値					
	1	2	3	4	5	6
圧縮強度	0			20	40	60
風化変質	0	16	32			
割れ目間隔	0	1	1	1		
割れ目状態	0	2	4	7		

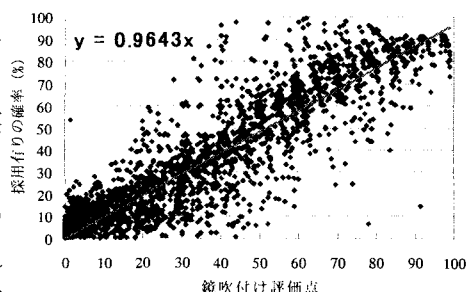


図-2 鏡吹付け評価点と採用有りの確率との関係

採用有りの確率を表現しているといえる。従って、鏡吹付け評価点の有用性は高いと考えられる。この鏡吹付け評価点は、多変量解析を行わなくても、切羽観察結果より簡易に算出できるため、現場での活用に応用である。

4. モンテカルロ法による検討

多変量解析では、切羽観察4項目の評価区分値に基づき採用有りの確率が算出される。この時、切羽観察4項目の評価区分値の組み合わせの生起確率は全条件である。そこで、生起確率を加味した選定手法の検討を行った。本研究では、採用有りの確率を算出するためのパラメータに確率分布を当てはめ、乱数を発生させて繰り返しシミュレーションを行えるモンテカルロ法を用いた。

図-3にシミュレーション結果を示す。この図より、鏡吹付け評価点が高い10点以下では、採用有りの確率も10%以下が卓越しており、評価点が高くなるにつれて、生起確率の最も高い位置が、全体的に平坦となり、その後、採用有りの確率の高い方へと変移し、評価点の高い90～100点では、採用有りの確率の90%以上が卓越していることが分かる。これより、ある程度の傾向をもつ評価選定指標が得られたと思われる。また、図-4にシミュレーション結果より算出した評価点10点毎の採用有りの確率の期待値を示す。この表より、評価点10点毎の採用有りの確率を決定する。

本選定手法の有用性を検証するため、これまでの分析に含まれていないHトンネル（切羽観察769データ数）について図-4を用いて採用有りの確率の期待値を算出し、施工実績との一致状況をみた。ここで、一致率とは実績群と推定群における採用の有無の一致の割合であり、推定群では採用有りの確率の期待値が50%より大きければ「採用有り」、逆に小さければ「採用無し」とした。施工実績との一致状況を図-5に示す。この図から、施工実績の区間に採用有りの確率の期待値が概ね収まっていることから、一致状況は良好といえる。また、一致率は80.0%と比較的高い値を得られた。よって、本選定手法の有用性は検証されたと思われる。

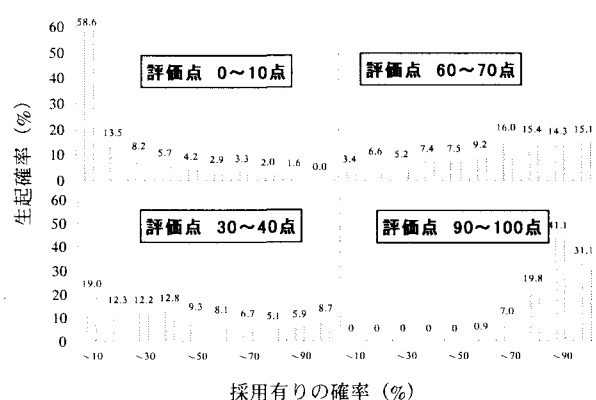


図-3 シミュレーション結果

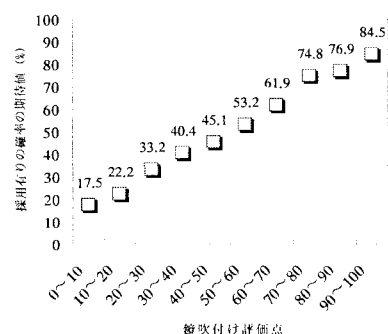


図-4 鏡吹付け評価点10点毎の期待値

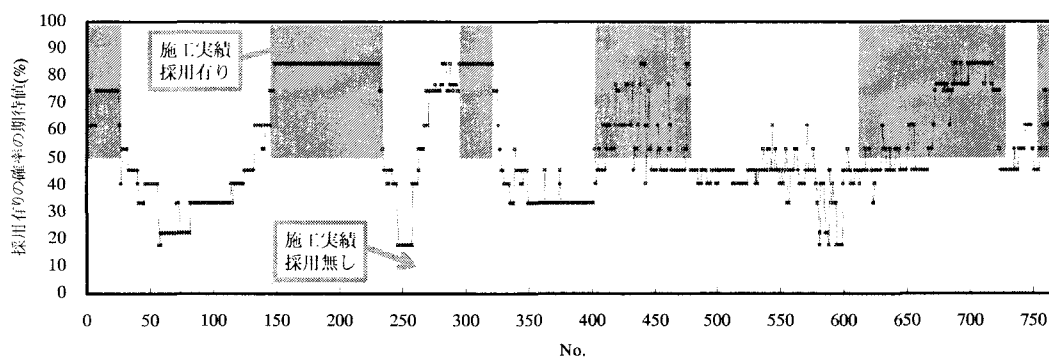


図-5 Hトンネルでの適用事例

5. まとめ

本研究では、これまでの鏡吹付けの選定手法を、簡易で実用的な選定手法とするための検討を行った。本研究から得られた結果を以下に示す。

- ① 切羽観察結果より算出できる鏡吹付け評価点を提案し、多変量解析結果より求まる採用確率を的確に表現できる結果が得られた。
- ② 生起確率を考慮できるモンテカルロ法を用い、切羽観察4項目より、鏡吹付け採用の期待値を算出し、その有用性を確認した。

<参考文献>

- 1) 榎田敦之ほか：切羽観察結果に基づく鏡吹付けコンクリート工の採用特性，トンネル工学報告書，第14巻，pp.95-100，2004.11.
- 2) デビッド・ヴォース／長谷川専＋堤盛人訳：入門リスク分析-基礎から実践