

切羽前方穿孔データによるトンネル支保パターン選定に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○石津綜大 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣宇静
(株)鴻池組 正会員 阪口治 長崎大学 学生会員 力武大朗

1. はじめに

山岳トンネルの施工において支保の設計は、事前調査によって仮設計を行い、掘削時の切羽状態の評価に基づき修正し実施設計を決定する方法が一般的である。切羽評価は、掘削時に得られる目視情報を考慮し、切羽観察記録をもとに最終的には経験者が総合的に地山の良否を判定している。また、切羽前方に対して行うボーリングによって得られる穿孔データが地質の変化を把握するために使われているがあまり有効活用されていないのが現状である。そこで、支保パターンの決定を効率的、定量的に行うために穿孔データを利用できないかと考えた。本研究では、取得した穿孔データと支保パターンとの関連性を分析し、穿孔データの定量的評価による支保パターン選定の可能性について検討を行う。

2. 研究概要

2.1 研究対象トンネル

本研究では新幹線トンネルである新長崎トンネルと道路トンネルである新紀見トンネルの施工済みの2つの現場を対象としている(表-1)。使用するのは、施工時に得られた穿孔データと切羽観察や事前調査などの施工記録である。穿孔データは連続するデータから対象とする切羽面の前後0.5mの範囲、1.0m間の平均値を用いる(図-1)。これは、連続しているデータの取得間隔が短く膨大な量となることや、取得データの変動が激しいこと、取得位置の誤差を軽減するなどのためである。実施支保を支保パターンや補助工法を考慮して分類した(表-2)。ここでは、新長崎トンネルで地山等級Ⅰ_NとⅡ_Nの区別、新紀見トンネルで補助工法の有無を穿孔データにより判別できるかを検証する。

2.2 穿孔データ

穿孔データは穿孔中の油圧データを取得できる測定器をドリルジャンボに接続し取得した。取得データは、穿孔速度、回転圧、フィード圧、打撃圧、打撃数などの各データであり、これらから穿孔エネルギーを下式により算出する。ここでは、取得された各種データを総じて穿孔データとする。なお、穿孔エネルギーは単位体積あたりの岩盤を穿孔するのに要したエネルギー量を示し、より硬質な岩盤ほどより多くの穿孔エネルギーが必要となる。

穿孔エネルギー E_d (J/cm³) =

$$\frac{\text{打撃エネルギー} E_p(\text{J}) \times \text{打撃数 } C_p(\text{bpm}) \times \text{損失係数}(K)}{\text{穿孔速度 } V_d(\text{cm}/\text{min}) \times \text{孔断面積 } S(\text{cm}^2)}$$

表-1 対象トンネル

名称	新長崎トンネル	新紀見トンネル
所在地	長崎県	和歌山県
種類	鉄道トンネル(新幹線)	道路トンネル(国道)
施工距離	3900m	2105m
地質状況	安山岩類、凝灰角礫岩	砂岩、礫岩、泥岩

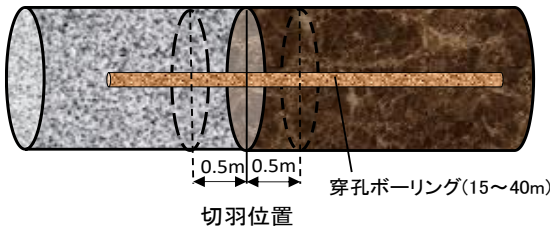


図-1 穿孔ボーリングの概要

表-2 支保パターンの分類

現場	分類	地山等級	標準支保パターン	実施支保パターン	断面数	ボルト本数	支保間隔	補助工	インバート
新長崎トンネル	Type A	Ⅱ _N	Ⅱ _{NP}	Ⅱ-A(B) Ⅱ-A-B(B) Ⅱ-B(B)	175	10本	1.5m	無	有
	Type B	Ⅰ _N	Ⅰ _{NP}	Ⅰ-2-A(B) Ⅰ-2-B(B)	220	10本	1.2m	無	有
	Type C	Ⅰ _N	Ⅰ _{NP}	Ⅰ-2-B(B)C	8	6本	1.2m	無	有
	Type D	Ⅰ _N	Ⅰ _{NP}	Ⅰ-2-B(B)D Ⅰ-2-B(B)E	5	6本	1.2m	有	有
	Type E	CⅡ	CⅡ-b	CⅡ-b(B)	3	13本	1.2m	無	無
新紀見トンネル	Type F	DⅠ	DⅠ-b	DⅠ-b-1(B) DⅠ-b-1(c)	190	16本	1.0m	無	有
	Type G	DⅠ	DⅠ-b	DⅠ-b-2(B) DⅠ-b-3(B)	122	16本	1.0m	有	有
	Type H	DⅢ	DⅢ	DⅢ-a-1(A) DⅢ-a-3(A)	25	8本	1.0m	有	有

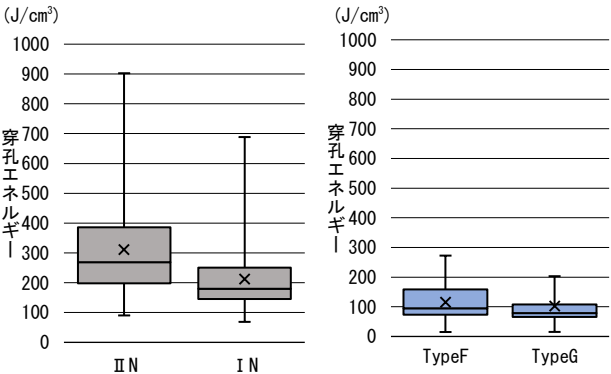


図-2 各分類の穿孔エネルギーの箱ひげ図

3. 結果と考察

まず、新長崎トンネルにおいて穿孔データと地山等級の比較を行う。データの分布は穿孔エネルギーが高いほど地山の良い II_N の断面が多い傾向があることが分かる(図-2)。また、新長崎トンネルにおける穿孔エネルギーの値ごとの支保パターンの採用数を図-3に示す。200J/cm³以下では I_N の採用数が多く7割近くを占めていることが分かる。200～350J/cm³ではほぼ同数で推移し、350J/cm³以上では II_N が多くを占めている。また、他の穿孔データでは、特に回転圧の違いが顕著であった(図-4)。回転圧は硬い岩盤ほど値が大きくなり、5MPaを境界として I_N と II_N の割合が大きく変化している。なお、その他の穿孔データについても値に応じた地山等級の違いが局所的にみられた。そのため、穿孔エネルギーだけでなくその他の穿孔データも活用し組み合わせることで推定の精度が向上し地山等級の判定が可能になると考えられる。一方で、新紀見トンネルでは、Type F(補助工無し)と Type G(補助工有り)の比較を行った。打撃圧でわずかに傾向がみられたものの、新長崎トンネルと比べて明確に区別できるものは少なかった。そのため、補助工法の有無の判定は難しいと考えられる。

次に、複数の変数からどのカテゴリに属するかを予測する判別分析を行い、穿孔データの有効性を数値的に調べた。図-5は新長崎トンネルにおいて全穿孔データによる正準プロットを行ったもので、各地山等級の重心に近いものに分類される。表-3は実測値をもとに作成した予測モデルに再び実測値をあてはめた結果である。予測結果からも分かるように穿孔データを用いることで誤判別の割合が約17%まで低下していることから穿孔データの有効性が確認された。一方で、補助工の有無については誤判別の割合が約39%とあまり改善は見られなかった。誤判別の要因は、切羽という面に対してボーリングは点で評価しているためと考えられる。また、採用された支保パターンの適正やデータ取得位置の誤差なども要因として考えられる。

4. おわりに

本研究では穿孔データに基づく支保パターン選定の可能性を検討したが、これらの結果はあくまでも穿孔データの有効性を示すものであり、現時点での穿孔エネルギーによる支保パターン選定の実用化はまだ難しいと感じた。そのため、事前調査データの利用やデータの前処理、重み付けによって精度を向上させる必要がある。今後は、様々な現場での施工データを取得し、あらゆる支保パターンについて分析していく。

参考文献

- 1) 波多江駿介ほか:トンネル支保パターン決定指標と切羽前方穿孔データとの相関分析,令和元年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集,III-92,pp.453-454,2020.
- 2) 若林宏彰ほか:全断面追尾式穿孔誘導システム「ドリル NAVI」の開発,鴻池組技術研究報告,pp.1-6,2015.

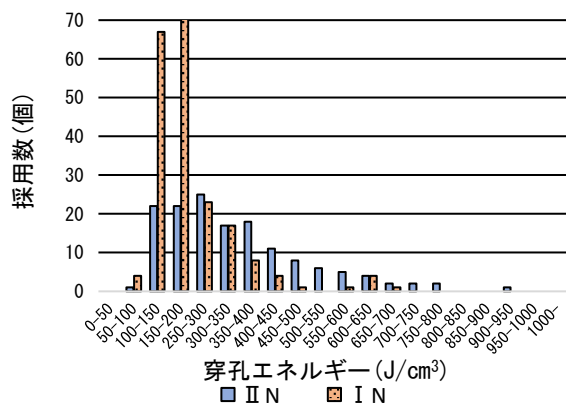


図-3 穿孔エネルギー値別の地山等級の分布(新長崎)

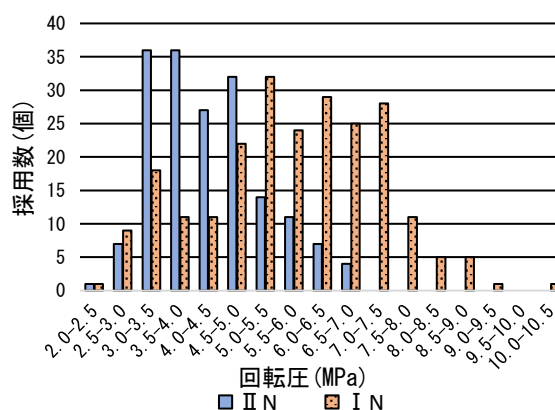


図-4 回転圧値別の支保の分布(新長崎)

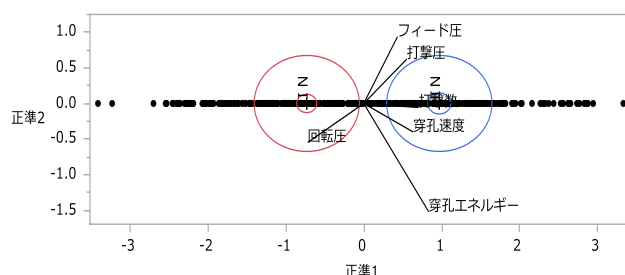


図-5 全穿孔データを用いた正準プロット(新長崎)

表-3 線形判別分析による予測結果

穿孔エネルギーのみ (新長崎)	予測分類		全体誤判別 割合(%)	全穿孔データ (新長崎)	予測分類		全体誤判別 割合(%)
	II_N	I_N			II_N	I_N	
実測分類 II_N	91	84	34.15	実測分類 II_N	147	28	16.95
I_N	55	177		I_N	41	191	
穿孔エネルギーのみ (新紀見)	予測分類		全体誤判別 割合(%)	全穿孔データ (新紀見)	予測分類		全体誤判別 割合(%)
	TypeF	TypeG			TypeF	TypeG	
実測分類 TypeF	96	86	43.71	実測分類 TypeF	103	79	38.99
TypeG	53	83		TypeG	45	91	