

NATMにおける事前設計の改善方法に関する一考察

(株) 大本組 正員 鈴木昌次
山口大学工学部 正員 古川浩平
日本道路公団 日永田雅司
山口大学工学部 正員 中川浩二

1. はじめに 筆者らは、先に中国地方の花崗岩、粘板岩、片岩地山に発破掘削によるNATMで施工されたトンネルを対象とした施工時の工法変更に関する実態調査を行った¹⁾。この結果、施工時に支保パターンの変更がなされる場合が少なくないことが明らかにされたことから、事前設計時の支保パターンに対する補正指標を提案した。しかし、上記の研究では片岩トンネルの実績データの内弾性波速度に偏りがあると思われる点に問題が残された。そこで、本研究では片岩トンネルに関して新たにデータを追加した上で、先に示した補正指標に実用的見地からの改訂を加えた。

2. 数量化理論Ⅰ類を用いた補正モデル 文献1)では、施工時の切羽観察と事前調査時の弾性波速度、土被りを説明変数とした数量化理論Ⅰ類によるモデル化を試みた。しかし、実際には切羽観察は事前調査時に未知であるため、ここでは弾性波速度と土被りのみによるモデル化を試みた。なお、目的変数は文献1)と同様に支保パターンの変更幅を採用する。変更幅は支保パターンA、B、C_I、C_{II}、D_I、D_{II}を1～6の階級値に対応させ、施工支保パターンと事前設計支保パターンの階級差をとったものである。例えば、B→C_{II}は2ランク下位側の変更となる。表-1は数量化理論Ⅰ類を用いた解析結果で、基準化後のカテゴリーウエイトを示したものである。表中のウエイトおよび定数項の欄における()内の数値は文献1)で示した補正指標である。表より、文献1)においては片岩トンネルの弾性波速度に関して(*, 5.0]と(3.8, 2.5]の範囲が含まれていない。これに対して、新たに3トンネルでの実績を追加したことで(*, 5.0]の範囲が現れているが、(3.8, 2.5]の範囲は含まれていない。このため、さらに文献により他の変成帯での施工実績5例における弾性波速度を調べた²⁻⁵⁾。表-2は弾性波速度範囲と出現度数を示したものであるが、(3.8, 2.5]の範囲が非常に少ないことがわかる。さらに、これまでに用いたデータと合わせると上記範囲の出現率は全体の3%程度にすぎない。このことから、片岩トンネルにおける弾性波速度は一般に2.5～3.8Km/sの範囲に評価される場合が非常に少ないと推測される。したがって、片岩トンネルでの実績データにおいて弾性波速度の一部に欠落があるのは、調査上の偏りよりも地山の特異性に起因するものと考えられる。

表-1 数量化理論Ⅰ類の解析結果

岩種	弾性波速度 Vp (Km/s)		土被り厚 h(m)		定数項
	範囲	ウエイト	範囲	ウエイト	
花崗岩	(*, 4.8]	-0.039(-0.123)	(*, 20)	0.518(0.166)	-0.635 (-0.626)
	(4.8, 3.5]	-0.259(-0.311)	[20, 50)	0.247(0.026)	
	(3.5, 3.0]	0.948(0.888)	[50, 100)	-0.415(-0.088)	
	(3.0, 2.5]	0.290(0.306)	[100, *)	-0.215(-0.098)	
	(2.5, *)	0.187(0.544)			
粘板岩	(*, 5.0]	-0.512(-0.431)	(*, 50)	0.245(0.096)	-0.980 (-0.966)
	(5.0, 3.8]	0.068(-0.095)	[50, 100)	0.187(0.655)	
	(3.8, 3.2]	0.995(0.761)	[100, 200)	-0.095(0.421)	
	(3.2, 2.5]	2.009(2.062)	[200, *)	-0.258(-0.286)	
	(2.5, *)	2.205(2.450)			
片岩	(*, 5.0]	-0.396(—)	(*, 20)	0.61 (1.419)	-1.307 (-1.488)
	(5.0, 3.8]	-0.048(-0.031)	(20, 50)	0.397(0.314)	
	(3.8, 3.2]	— (—)	[50, 100)	-0.234(-0.206)	
	(3.2, 2.5]	— (—)	[100, *)	-1.311(-0.905)	
	(2.5, *)	1.006(0.592)			

とったものである。例えば、B→C_{II}は2ランク下位側の変更となる。表-1は数量化理論Ⅰ類を用いた解析結果で、基準化後のカテゴリーウエイトを示したものである。表中のウエイトおよび定数項の欄における()内の数値は文献1)で示した補正指標である。表より、文献1)においては片岩トンネルの弾性波速度に関して(*, 5.0]と(3.8, 2.5]の範囲が含まれていない。これに対して、新たに3トンネルでの実績を追加したことで(*, 5.0]の範囲が現れているが、(3.8, 2.5]の範囲は含まれていない。このため、さらに文献により他の変成帯での施工実績5例における弾性波速度を調べた²⁻⁵⁾。表-2は弾性波速度範囲と出現度数を示したものであるが、(3.8, 2.5]の範囲が非常に少ないことがわかる。さらに、これまでに用いたデータと合わせると上記範囲の出現率は全体の3%程度にすぎない。このことから、片岩トンネルにおける弾性波速度は一般に2.5～3.8Km/sの範囲に評価される場合が非常に少ないと推測される。したがって、片岩トンネルでの実績データにおいて弾性波速度の一部に欠落があるのは、調査上の偏りよりも地山の特異性に起因するものと考えられる。

事前設計の補正に用いる補正量は表-1を用いて下式(1)から算出される。
$$\delta = W_{up} + W_h + C \quad (1)$$

ここに、 δ は支保パターン補正量、 W_{up} 、 W_h は弾性波速度および土被りに対するカテゴリーウエイト、 C は定数項である。図-1～図-3は式(1)を用いて算出した支保パターン補正量を示したものである。図の横軸は表-1に示す弾性

表-2 文献調査による片岩トンネルでの弾性波速度

弾性波速度(Km/s)	出現度数
$V_p \geq 5.0$	7
$5.0 > V_p \geq 3.8$	12
$3.8 > V_p \geq 3.2$	2
$3.2 > V_p \geq 2.5$	4*
$2.5 > V_p$	13

*2.7Km/s以下

波速度の範囲、縦軸は補正量である。図より、弾性波速度に対する補正量の変化は岩種によって異なるが、3岩種に共通して土被りが大きいほど下位側への補正量が大きくなることわかる。

土被りが大きいほど弾性波探査の精度が低下することは容易に推察できる。しかし、下位側への補正量が増大することは、岩種に関わらず土被りの増加に従って弾性波速度が実際より高く評価される傾向にあることを示すものである。この原因としては、弾性波探査における解析上の問題が挙げられる。すなわち、走時曲線の解析では各層の速度は下層になるほど高くなければならない。また、低速度層を挟在する場合には低速度層の速度は不明であり、層厚も不明である。この場合には適当な速度を仮定する必要があるが、その他の調査結果が与えられない限り、周辺の速度から類推せざるを得ない。また、調査資料が与えられた場合にも、当然のことながら土被りが厚くなるほど調査資料の不確定さは増大する。いま一つには、弾性波探査は基本的に二次元断面での調査法であり、測線に沿って低速度層が存在する場合には、それに沿った高速度層の速度を検出している場合もある。この場合には、横断方向の探査を実施することにより精度の向上が期待できるが、現実にはほとんどの場合に行われていないようである¹⁾。

3. 結 論 本研究では、事前設計の精度改善のための一手法として弾性波速度と土被りを用いた支保パターンの補正指標を提案した。これは従来の実績を統計的にまとめたものであり、今後の事前設計における平均的な精度の向上が望める。また、事前設計においては弾性波探査では土被りが大きいほど高速度層に評価される可能性が大きいことを配慮する必要がある。さらに、横断方向への弾性波探査の実施によって事前調査自体の精度は特に堆積岩や変成岩地山で向上することが期待される。

参考文献 1) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：NATM施工実績に基づく事前設計の評価に関する一考察、土木学会論文集、第427号／VI-14、pp. 261～270、1991.3 2) 矢野俊明・寺田光太郎：片岩地帯におけるNATM-海南湯浅道路藤白トンネル、トンネルと地下、第12巻8号、pp. 607～616、1981.8 3) 山崎 享・坂山安男：三波川・御荷鉾変成帯を掘る-海南湯浅道路長峰第2トンネル、トンネルと地下、第13巻9号、pp. 679～692、1982.2 4) 今中康昭・山本雄二：しゅう曲や断層の入り込む四国西部でのトンネル工事、トンネルと地下、第15巻10号、pp. 805～810、1984.10 5) 木村隆雄・森 芳博・朝倉 清：神居古たん変成帯をNATMで貫く-道央自動車道常盤トンネル、トンネルと地下、第20巻6号、pp. 459～465、1989.6

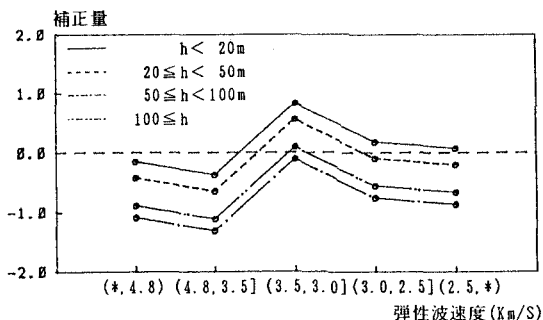


図-1 初期設計支保パターンの補正量（花崗岩）

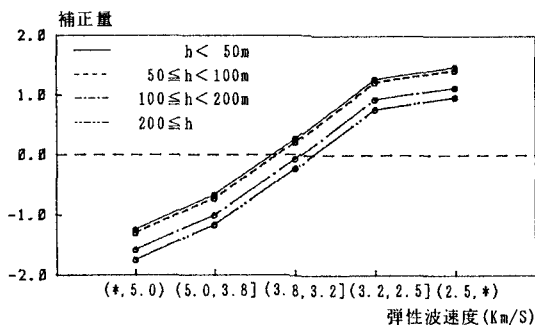


図-2 初期設計支保パターンの補正量（粘板岩）

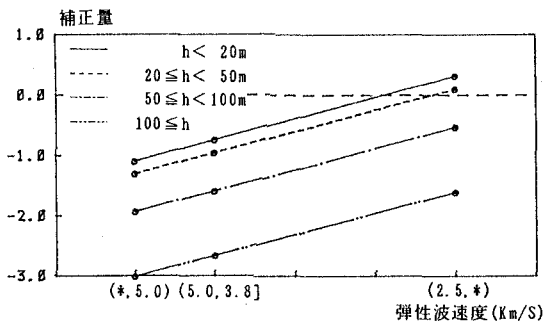


図-3 初期設計支保パターンの補正量（片岩）