

九州大学 工学部 学生員○ 三角 衡一郎
九州大学 工学部 正員 相川 明
九州大学 工学部 正員 樗木 武

1. はじめに

NATMトンネルの基本計画段階における支保パターンの策定は、地山に関する弾性波探査、ボーリング調査などの事前調査項目とトンネル断面形状を加味して行うことが多い。しかしながら、現在用いられている地山分類表に対応したNATMの標準支保パターンは、必ずしも十分な経験を踏まえたものでなく試行錯誤の中で改良案を加えながら用いられており、きちんとした位置付けはまだなされていないといつてよい。そこで、本研究では、数多くのNATMトンネルに関する現物データを収集し、その分析に基づいて容易に設計できるようなNATM設計の標準化について検討するものである。

2. 分析方法

分析の手順は図-1に示す通りである。まず、最近施工されたトンネル施工実績とその地点の地山に関する調査項目のデータを193断面について入手した。それらを検討したところ、トンネル断面積の大・小と地山の硬・軟という2つの観点により、支保パターンが大きく異なっていることが判明した。そこで、これらの2つの指標により収集データを大きく4グループに分類し、各グループごとに標準的な設計を提案するものとする。すなわち、断面積の大小の区分は小断面(20m²-40m²)と大断面(50m²-80m²)とに二分するものであり、主に、小断面は鉄道トンネルであり、大断面は2車線道路トンネルである。一方、地山の硬・軟の分類は地山の地質時代とその状態から次の通り分類した。軟岩地山：新第三紀層、第四紀層、土砂層、断層破碎帯に属する地山。硬岩地山：古生層、中生層、古第三紀層に属する地山。次に標準設計を考える際に使用する説明変数は著者らが先に提案した地山分類表¹⁾との関連性をもたせるため、土被り厚、弾性波速度、岩質、亀裂、湧水、断面積の6指標とした。また、説明変数のカテゴリーは4つの収集データグループによりそれぞれ異なるものである。表-1は硬岩で小断面の説明変数のカテゴリー区分を例示するものである。NATMトンネルの設計に必要とされる設計項目は図-2に示す7項目であり、また、設計項目の決定順序は実際の施工順序に準じている。分析手段として吹付厚予測、ロックボルト密度の予測には数量化理論第1類を適用し、その他の判別分析には数量化理論第2類を適用した。数量化理論第2類に関する外的基準のカテゴリー区分を示せば表-2の通りである。なお、鋼製支保工の規格判別、ロックボルト密度予測、インバート厚判別については決定済みの設計項目も、説明変数として用いた。

3. 分析結果

各設計パターンの設計項目に関するサンプルスコア表は紙面の都合上割愛するが、それらに関する決定係

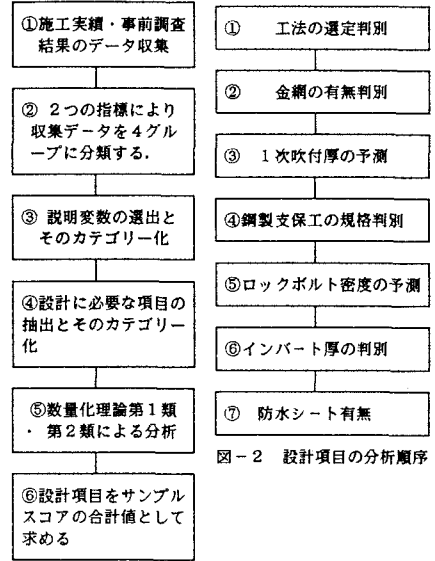


図-1 分析方法のフロー

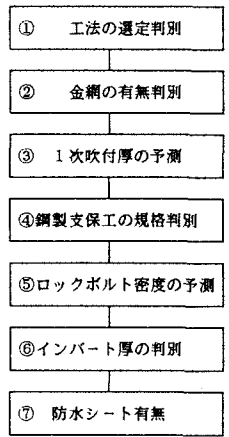


図-2 設計項目の分析順序

表-1 硬岩・小断面の説明変数のカテゴリー区分

説明変数	カテゴリー区分					
	1	2	3	4	5	6
土被り厚 (s)	H ≤ 30	30 < H ≤ 70	70 < H ≤ 120	120 < H		
弾性波速度 (ka/s)	Vp ≤ 2.5	2.5 < Vp ≤ 3.5	3.5 < Vp ≤ 4.5	4.5 < Vp		
岩質	中古生層 火成岩	中古生層 堆積岩A	中古生層 堆積岩B	古第三紀 火成岩	古第三紀 堆積岩A	古第三紀 堆積岩B
亀裂	多い	少ない	強風化土			
湧水	多い	少ない				
断面積 (a ²)	A ≤ 25	25 < A ≤ 30	30 < A ≤ 40			

堆積岩A: 泥岩, 頁岩, 砂岩

堆積岩B: 火山堆積物, 凝灰岩

数(R^2)・相関比(η^2)を示せば、表-3の通りである。これらは1に近いほど判別・予測の程度がよいことを表わしているが、それをもとに、各設計項目の決定モデルの評価を行なえば次の通りである。

①工法の選定：硬岩地山において、工法の選定に寄与する主な説明変数は弾性波速度、岩質の2つである。その中で弾性波が速く、しかも、岩質が硬いものほど全断面工法を採用する傾向がある。なお、軟岩地山では全断面工法を採用した例はなかったため、ショートベンチ工法を基本パターンとする。②金網の有無：金網の有無判別に影響する主な説明変数は土被り厚、弾性波速度、亀裂である。その中で亀裂が多いもの、弾性波が遅いもの、土被りが厚いものが、金網有りに作用している。③1次吹付厚の予測：吹付厚を決定づける主な説明変数は硬岩地山の場合、弾性波速度、岩質、亀裂である。その中で、弾性波が速いもの、岩質が硬いもの、亀裂が少ないものが吹付厚を減らす方へ作用して

る。④鋼製支保工の規格：鋼製支保工の規格を決定づける主な説明変数は硬岩地山の時、岩質、吹付厚、弾性波速度であり、鋼製支保工有りに作用するカテゴリーは岩質状態の悪いもの、弾性波の遅いもの、吹付厚の厚いものである。⑤ロックボルト密度の予測：ロックボルト密度の予測に寄与する主な説明変数は硬岩地山の場合、岩質、弾性波速度、鋼製支保工の規格である。その中で、岩質状態が良いもの、鋼製支保工の規格がH-150以上のものがロックボルトを増やす要因となっているが、これはトンネル軸方向の鋼製支保工ピッチとの関係によるものである。一方、軟岩地山の場合、説明変数として、岩質、鋼製支保工の規格、土被り厚が主に寄与している。その中で、岩質が第四紀層、土砂層のもの、土被りが厚いもの、鋼製支保工で高強度のものがロックボルト密度を増やす傾向がある。⑥インバート厚：一般的に地山が土砂層で自立性が期待できない時、また、大きな地圧がかかる時、さらに内空変位が大きく収束しにくい時インバートによる全断面の閉合が有効である。インバート厚を決定づける説明変数は岩質、土被り厚、亀裂である。その中で、インバート有りに作用するカテゴリーは岩質が第四紀層か土砂層のもの、土被りが厚いものである。⑦NATM防水シートの有無：防水シートの有無を決定づける説明変数は岩質、土被り厚、亀裂の3つである。その中で、岩質では第四紀層と土砂層で未固結のもの、土被りは厚いものが防水シート有りに作用している。

4. あとがき

提案したNATMの設計はサンプルスコア表のカテゴリー合計値として得られるもので、統計処理したままの形でありNATM設計の標準化の第1段階に過ぎないといえる。しかしながら、①解析結果である相関比、決定係数はほとんど0.5以上であり、しかも②設計項目に対する説明変数の作用の仕方が現実と矛盾を生じてないことから考えると本設計法は、充分実用に耐えるものと考えられる。今後の課題として、データの数を増やしデータに存在する偏りをなくすこと、また、実用性をもたせるために、FEM等による力学的な解析による裏付けを行なった上で地山分類表に対応づけることが必要と考える。

< 参考文献 >

1) 梶木 武, 相川 明他: NATMの数値解析のための地山分類と地山定数, 土と基礎1986, 2

表-2 外的基準のカテゴリー化

設計項目	カテゴリー区分		
	1	2	3
工法の判別	全断面工法	ショートベンチ工法	
金網の判別	あり	なし	
鋼製支保工の規格判別	なし	H-100 H-125	H-150 H-200
インバート厚の判別	なし	30 cm以下	30 cmより厚
防水シートの判別	あり	なし	

表-3 多変量解析の決定係数, 相関比

設計項目	収集データのグループ			
	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4
データ数	40	31	54	68
工法の選定	0.53	—	0.67	—
金網の有無	0.49	0.78	0.64	0.41
鋼製支保工の規格	0.75, 0.61	0.81	0.76, 0.49	0.54
インバート厚判別	0.76, 0.69	0.97, 0.40	0.51	0.52, 0.29
防水シートの有無	0.62	0.81	0.57	0.42
1次吹付厚の予測	0.71	0.89	0.73	0.59
R・B 密度	ブロック1	0.48	0.72	0.64
	ブロック2	0.59	0.78	0.56
	ブロック3	0.48	0.85	0.74

相関比(η^2): 工法の選定, 金網の有無, 鋼製支保工の規格, 防水シートの有無
決定係数(R^2): 1次吹付厚予測, ロックボルト密度予測