

解析による支保パターン設計例

（株）間組 正会員 鈴木 雅行

○ 正会員 井上 賢一

1. はじめに

従来、トンネルの施工においては、標準支保パターンを設定しておき地山状況に応じて選択する方法をとってきた。しかし、5～6種類の標準支保パターンでは、多種多様な日本の地形・地質状況下で、常に適切な支保パターンを適用しているとは言い難く、標準パターンを補う中間的な新パターンを設定して施工している例も見受けられる。今回、Ⅱ期線トンネルの支保パターンの設定にあたり、Ⅰ期線施工時の計測結果をもとに逆解析を実施し、それによって得られた地山の物性を使った順解析による評価方法を用いた。以下、その評価手法の流れ、および実際の施工に反映する際の留意点について示す。

2. 対象トンネルの地形・地質概要

対象としたトンネルは、2車線道路トンネルのⅡ期線で、地形的には海岸沿いの標高 200m 前後の丘陵地形を呈しており、最大土被りは約 70mである。地質的には新第三紀谷浜層の泥岩砂岩互層（泥岩優勢）と新第三紀名立層泥岩に大別され、特に谷浜層の泥岩は脆弱であり、湧水により泥濘化しているなど全体的に不良な状況である。

3. 支保のマルチパターン設定までの流れ

中間支保パターンを設定するまでのフローチャートを示す。図-1 に示すように、Ⅰ期線施工時の計測結果、特に内空変位、支保部材応力に着目し、2次元FEM解析によって逆解析を行い、地山の物性値を決定する。次に、Ⅱ期線の支保パターンを想定した上で、逆解析により決定した地山の物性値を用いて順解析を実施し、内空変位、支保部材応力や地山の緩み範囲が妥当かどうかで評価する。

また、支保工施工後の計測結果によっても、その中間支保パターンの適否を評価し、次のパターン選定に反映させるものとする。

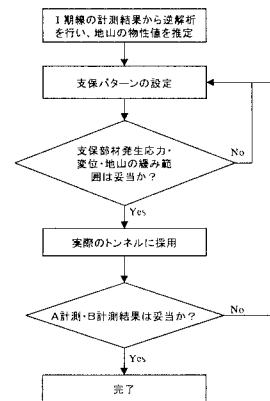


図-1 支保パターン選定フロー図

4. Ⅰ期線の逆解析

解析手法は対象地山が脆弱であることから、2次元FEMによる非線形弾性解析とした。また、地山の破壊基準は電中研方式を用いた。

逆解析は、図-2 に示すように岩盤の側圧係数 K_0 と変形係数 D_0 をパラメー

表-1 逆解析結果一覧表

Ⅰ期線計測結果 (実測)	逆解析 その1				逆解析 その2			
	変形係数 mm MPa	側圧係数	変位比 (解析)	採用した 側圧係数	側圧係数	変形係数 MPa	天端沈下 (解析) mm	上半内空 (解析) mm
天端沈下	-8.0	559	0.0	-0.858	0.394	559	-7.33	0.03
上半内空変位	0.0	559	0.4	0.012	0.394	500	-8.08	0.19
変位比	0.0	559	0.8	1.879	0.394	400	-9.83	0.60
								採用した 変形係数 MPa
								500

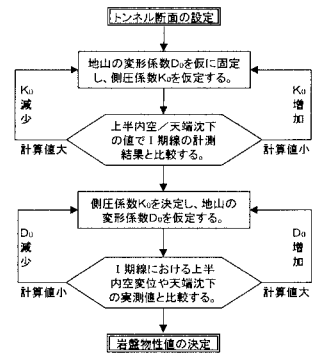


図-2 逆解析フロー図

キーワード : 山岳トンネル・NATM・マルチ支保パターン・逆解析・Ⅱ期線・支保の最適化

連絡先 : （株）間組 土木本部トンネル統括部 東京都港区北青山 2-5-8 03-3423-1801

タとして行う。Ⅰ期線計測結果における上半内空変位と天端沈下の比を再現するように側圧係数 K_0 を設定し、次に変位の実測値を再現するように変形係数 D_0 を設定する。Ⅰ期線の計測結果と、逆解析による設定物性値を表-1に示す。

5. Ⅱ期線の支保パターンの提案

Ⅱ期線のマルチパターンは、以下の考え方に沿って設定した。

- ① 湧水等により施工が困難になった場合を想定し、鋼製支保工（H-125）を上半に設置する。
- ② 標準パターンより少し良い地山を想定し、ロックボルトの間隔を長くする。

これらに現設計パターンを加えた3ケースに対して、逆解析によって決定した物性値を用いてモデル化し、順解析を実施した。得られた結果の中で、内空変位・天端沈下・各支保部材応力・地山の塑性領域を検討し、その設計パターンの適否を評価した。その結果を表-2に示す。

順解析の結果、設定したパターンはいずれも、変位・応力・塑性領域ともに問題ない値となっており、解析断面と同等の地山であれば適用可能であるとの評価が得られた。

表-2 順解析結果一覧表

TYPE	支保パターン					変位		応力		地山の塑性領域 m
	吹付け コンクリート cm	ロックボルト			鋼製 支保工	天端沈下 mm	上半 内空変位 mm	吹付け コンクリート 応力 MPa	ロックボルト 軸力 tonf	鋼製支 保工応 力 MPa
		長さ m	周方向 間隔 m	縦断方向 間隔 m						
Ⅰ期線 計測結果	10	3.0	1.5	1.2	H-125	-8.0	0.0	5.0	4.0	
逆解析 結果	10	3.0	1.5	1.2	H-125	-8.1	-0.5	4.9	4.0	151.5
順解析 現設計	10	3.0	1.2	1.0		-10.4	-1.2	7.4	4.5	0.7
順解析 設定①	10	3.0	1.2	1.0	H-125 (上半)	-9.7	-0.6	5.3	4.4	163.6
順解析 設定②	10	3.0	1.5	1.0		-10.4	-1.2	7.4	4.7	0.8

6. 実施工への適用

今回のパターン設定は、実際の施工において地山状況、施工状況、変位や支保部材応力などの計測結果等を考慮しながら標準パターンと設定パターン②を使い分けることを意図している。また、湧水等により施工が困難になった場合には、設定パターン①を採用し鋼製支保工を入れることにより、施工時の安全性を確保する（図-3）。

この他にも、同様にいろいろな場合を想定した支保パターンで解析を行い、変位や応力の予測値を得ることにより、多種多様な地山に対して対応可能範囲が広がると思われる。

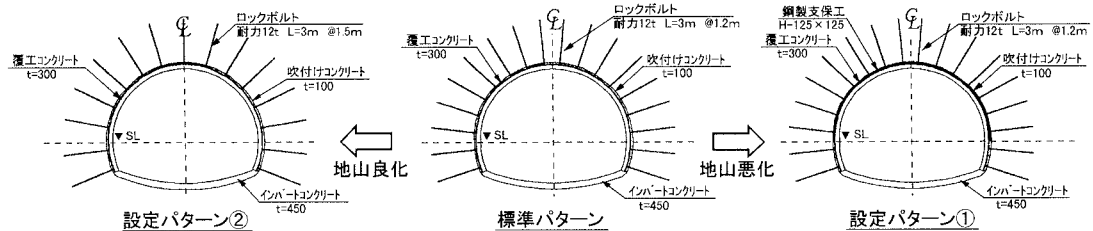


図-3 設定支保パターン図

7. まとめ

今回の、解析を用いたマルチ支保パターンの評価・適用は、地山に適切な支保パターンを設定することにより経済性・安全性を高めることが目的であり、特にⅡ期線のように地山のデータが豊富な場合に有効であると思われる。今後の課題としては以下のような点があげられる。

- ・鋼製支保工については、長期的な支保部材（構造上）としての評価の他に、吹付けやロックボルトが効果を発揮するまでの短期的な支保部材（安全上）としての評価が必要である。
- ・Ⅱ期線以外のトンネルにおいても、同様の方法により最適な支保パターンの選定が可能になると考えられるが、適切な地山の評価方法と速やかな逆解析技術の確立が必要である。