

大断面トンネルの軽減支保構造に関する検討

Study of tunnel support reduction for large scale tunnel

関茂和¹・伊藤哲男²・城間博通³
Shigekazu Seki, Tetsuo Ito, Hiromichi Shiroma

¹正会員 日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

E-mail: shigekazu.seki@jhnet.go.jp

²正会員 日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室主任 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

³正会員 日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室室長 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

In order to construct expressways efficiently and reduce the construction cost, we adopted the high standard tunnel support member on the New Tomei, Meishin expressways. JH(Japan Highway Public Corporation) categorized tunnel support into 4 patterns(B, C I, C II and D I). However, for the purpose of reducing construction cost and selecting tunnel support patterns flexibility, we subdivided the tunnel support patterns and carried out the test construction. In this research, we study the standardization of tunnel support reduction pattern on this basis of the test construction results and the analysis including reverse analysis, a discontinuous analysis and the other various analysis using tunnel support stress data and the other measurement results.

Key Words : tunnel, large scale tunnel, tunnel support, tunnel support reduction pattern

1. はじめに

現在供用中の東名・名神高速道路は、昭和44年の全線開通以来関東・中京・関西を結ぶ基幹的国土軸として、我が国の産業・経済の発展に多大な貢献を果たしてきた。しかしながら、沿線地域での人口および産業の集中による交通量の増大、老朽化や車両の大型化などによる維持補修工事の定常化などにより、高速道路の本来の機能である高速性と定常性が十分確保されていない状況にある。このような状況を鑑み、第二東名・名神高速道路は、現在の東名・名神高速道路と一体となって、また防災機能の面からも三大都市圏の連携を強化し、全国的ネットワーク形成の根幹となるべき重要な役割を果たす道路として計画された。第二東名・名神高速道路のトンネルは、将来においても十分なゆとりを有し、高速走行可能な道路として、片側3車線と全路肩を確保した内空断面積180㎡(内空幅19m)の大断面トンネルである。現在、建設中のトンネルは、施行命令を受けているものでは、本坑の上下線別で142本(183km)である。また、この中で、TBM導坑を事前に施工し、のちに本坑を拡幅するTBM導坑先進拡幅掘削工法¹⁾を採用するものは、32本(75km)である。これらの内、平成16年4月時点の掘削進捗は、本坑

で65本に着手し40.8%、TBM導坑では21本に着手し70.2%となっている。

第二東名・名神高速道路の大断面トンネルに適用するJH設計要領¹⁾は、平成13年1月に制定され、清水第三トンネルや静岡第二トンネル等の試験施工結果から安全で合理的と判断された「標準支保パターン」が示されている。しかし現段階では、地山等級(B, C I, C II, D I)に応じた4つの支保パターンが掘削工法別に示されており、(2車線断面のトンネルにおいては6パターンあることから)地山に必要な支保量に対し、余裕のある設計となるケースが考えられ、その改善のため標準支保パターンの細分化が求められる。また、同要領には、設計の修正の考え方(支保の増減方向の指標)が示されるものの、それらをより合理的に運用するための標準支保パターンとして示すまでには至っていない。

そこで、地山状況に応じた合理的、経済的な支保パターンを選択できるように、新しく標準支保パターンを追加する必要があると考え、支保の軽減化案について提案するとともに、確認のため現地トンネルでの試験施工を実施した。

本報文では、第二東名・名神トンネルの支保の軽減検討について、その経緯と現地で行われた試験施工の結果および評価を報告するものである。

JH設計要領¹⁾に示されている標準支保パターンは、表1のとおりである。トンネルの一般部の掘削工法は、TBM導坑先進拡幅掘削工法と上半先進掘削工法の2工法が基本とされ、それぞれに4つの標準支保パターンが設定されている。各支保部材は、従来2車線で使用している支保部材に対して、耐力や強度を高めた材料を用い、支保工の軽量化や薄肉化を図っている。

3. 支保軽減の考え方

支保の軽減化を検討するうえで、第二東名・名神トンネルが、2車線トンネルの支保軽減の検討時²⁾と異なる点は、「大断面」かつ「扁平」であることから、更なる安全面での注意が必要であるとともに、施工実績数が圧倒的に少ないという点である。そのため、2車線トンネルでの検討時のように、実績データを分析することにより支保軽減の案を提示する手法は、現実的ではない。そこで、①「手探りではなく、2車線トンネルでの検討過程や結果を参考とする」、また、前述のように②「新技術の導入による新しい規格の支保材料を採用したことから、現地での従来規格のものとの併用は、段取替えの観点でなるべく避ける（第二東名・名神トンネルの支保材料規格以外のものは使用しない）」こと

表1 第二東名・名神トンネルの標準支保パターン

[illegible]

ロックボルトの充てん材は早強モルタルを採用する
 ロックボルトの290kNは、計測結果より170kNにすることができ
 突付けコンクリートの軸圧縮強度：10N/mm²（材齢1日） 36N/mm²（材齢28日）
 SFSC：繊維混入率0.75%を基にした4点曲げ靱性仕様線以上
 HH-154（高強度鋼管（圧支保））：SS540の仕様値に引張強さ590N/mm²以上にし、
 破断伸び（伸伸び）19%以上

表2 第二東名・名神トンネルの支保の軽減方法

	支保の軽減化の案	軽減化しない項目
吹付けコンクリート	・厚さの減(5cmずつ)	・設計圧縮強度の減
ロックボルト	・周方向ピッチを広げる ・短尺のものを採用する	・降伏点耐力の減(一部採用) ・打設範囲を狭める
鋼アーチ支保工	・下平を削除する	・従来規格鋼の採用 ・SFSCへの変更
一掘進長	・延進	

を基本とすると、第二東名・名神トンネルの支保の増減は、ある程度その幅が限られることとなり、表2に示すとおりとなる。なお、ここでは幅のある地山等級の中で、標準支保パターンが余裕のある設計となるケースを改善するという目的から、支保の増強ではなく、軽減ということに限定して実施することとした。

4. 支保軽減案と試験施工

各標準支保パターンに表2に示した軽減方法を適用し設定した支保の軽減案を表3に示す。表3に示す軽減案については、FEMを用いた数値解析手法により、支保の軽減の可能性について、確認するとともに、概算のコスト縮減額も算出し、支保の軽減による安全性、施工性および経済性を整理した。その上で、現地の地山条件などから、着色部の支保の試験施工を実施した。

5. 試驗施工結果

試験施工の結果については、トンネル変形と各々のトンネル周辺地山の弾性限界ひずみとの比較や各支保部材の耐力との比較による管理レベルの比較評価と、各支保部材の単位断面あたりの応力負担割合を示す支保負担率の2項目に着目し、評価を行なった。

(1) 管理レベルによる評価

表4は、3トンネルで行った表3の5つの軽減支保

表3 掘削工法、標準支保パターン別の支保軽減及び試験施工 TN

[illegible]

パターンの試験施工計測結果を示す。試験施工結果では、一部局所的な応力発生や変形も見られたが、ほとんどの実施事例において管理レベルⅡ以下の値であり、トンネルの安定性を損うような変位量、応力等の発生は無く、問題の無い結果が得られた。

表5に試験施工データの代表例として、浜松トンネルにおける標準支保パターンと軽減支保パターンTBM④（ロックボルトの低耐力・短尺化）との変位量の比較を示す。なお、標準区間と支保軽減区間の「JH新切羽観察手法³⁾」による切羽評価点はほぼ同等であ

り、同等の地山条件であった。この結果を見ると、変位計測では天端沈下量、内空変位量ともに小さく、支保を軽減しても変位量はほぼ同等であった。また、支保部材に発生した応力は、ロックボルトの一部に局所的に大きな値はあるものの、吹付けコンクリート、ロックボルトともに管理レベルⅠ以下と小さく、支保部材の耐力に対して問題ないということがわかる。

(2) 支保負担率による評価

今回の試験施工においては、各支保部材の機能は

表4 試験施工計測結果

工法	支保パターン	軽減支保パターン	T.N名	比較支保	岩石名	土盛り	切羽評価点	計測工A (管理レベル)										計測工B (管理レベル)									
								天端沈下 (mm)					上半水平内空変位 (mm)					吹付けコンクリート (N/mm ²)					ロックボルト (kN)				
								1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
I B M 導坑先進掘削工法	C I	TBM④ ロックボルトの低耐力・短尺化 6m(290kN)→4m(170kN)	標準	砂岩	51m	69点	2車線全国平均約26点 既貫通区間平均約56点	7.4~11.3					2.1~8.8					0.1~2.4					2.7~19.8				
								11.3					7.2					0.7~1.0					2.9~3.9				
								レベルⅡ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下				
								標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度				
								2.5~6.6					1.5~6.0					0.5~2.8					-12.7~10.3				
								0.1~3.4					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下				
	D I	TBM④ 上半ロックボルトの短尺化 6m(290kN)→4m(170kN)	標準	花崗岩	235m	64点	17m切羽塑性化を伴う確認された破損部での施工	2.8~3.6					2.8~3.6					0.1~0.6					-18.2~67.1				
								2.3~3.1					2.3~3.1					0.3~0.4					-22.3~105.0				
								レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下				
								標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度				
								2.5~5.6					1.5~6.0					0.5~2.8					-12.7~10.3				
								0.7~2.1					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下				
C II	TBM④ 上半ロックボルトの短尺化 6m(290kN)→4m(170kN)	標準	砂岩	51m	69点	2車線全国平均約44~53点 既貫通区間平均約45~49点	7.4~11.3					2.1~8.8					0.1~2.4					2.7~19.8					
							11.3					7.2					0.7~1.0					2.9~3.9					
							レベルⅡ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					
							標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					
							2.5~6.6					1.5~6.0					0.5~2.8					-12.7~10.3					
							0.1~3.4					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					
D II	TBM④ 上半ロックボルトの短尺化 6m(290kN)→4m(170kN)	標準	花崗岩	235m	64点	17m切羽塑性化を伴う確認された破損部での施工	2.8~3.6					2.8~3.6					0.1~0.6					-18.2~67.1					
							2.3~3.1					2.3~3.1					0.3~0.4					-22.3~105.0					
							レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					
							標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					標準部と同程度					
							2.5~5.6					1.5~6.0					0.5~2.8					-12.7~10.3					
							0.7~2.1					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					レベルⅠ以下					

各々異なるため一概に比較はできないが、評価の目安として、計測工から得られたデータをもとに支保部材である吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工が受けている荷重を作用内圧（支保が地山に対し与えている圧力）として仮定し、それぞれの支保部材について支保負担率を算出し、標準支保パターンと軽減支保パターンおよび標準支保パターンの支保部材に設計耐力・強度と同等の応力が作用した場合を「支保耐荷力」とし3者を比較した（図1）。支保負担率の算定にあたっては、各支保部材の受ける一掘進長あたりの平均軸力を算出し、全体を100とし、各支保部材の支保負担率を算出するものである。各支保部材の内圧の算出方法は、

- ・吹付けコンクリート＝吹付けコンクリートの平均軸力／（周長×掘進長）
- ・ロックボルト＝ロックボルトの平均軸力／（ロックボルト打設間隔×掘進長）
- ・鋼アーチ支保工＝鋼アーチ支保工の平均軸力／（周長×掘進長）

とし、あくまでトンネル内空方向への応力が作用した場合の反作用を内圧として便宜的に一掘進長あたりに換算して行うため、吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の引張値、およびロックボルトの圧縮値は無視した。

試験施工区間では切羽状況が標準支保区間と軽減支保区間で大きく異なっているケースがあるため、比較はあくまで切羽状況が同様なもの（切羽評価点

が同等程度）とした。鈴鹿トンネル下り線の標準C Iパターンと軽減支保パターンTBM③およびTBM④の支保負担率の比較を行うと、下記の点が明確となった。

- ①標準支保パターンと軽減支保パターンTBM③との比較では、軽減支保としてロックボルトの周方向ピッチを1.5mから2.0mに変更したが、支保負担率は標準支保パターンとほぼ同程度である。したがって、ロックボルトの周方向ピッチを0.5m程度に変更しても、支保負担率は大きく変わらない。また、支保耐荷力と比較を行っても、支保負担率に大きな差はない。
- ②標準支保パターンと軽減支保パターンTBM④との比較では、ロックボルトを6m（290KN）から4m（170KN）に短尺・低耐力化すると、ロックボルトの支保負担率が増加しているが、耐力的には問題がない。
- ③今回の試験施工で言えることは、吹付けコンクリートの支保負担率が大きく、全体支保に対し依存性が大きい。これは他の支保部材に対し地山を支持している面積が大きい支保負担率が大きいと考えられる。

6. 評価・検証

大断面トンネルの軽減支保パターンの評価は、2車

表6 FEM逆解析によるひずみ領域の推定

支保部材の内圧(単位:kN)				
	吹付けコンクリート	鋼アーチ支保工	ロックボルト	合計
STA-524+81.5 標準C I	22.32	0.00	1.21	23.53
STA-524+51.5 TBM③	5.86	0.00	0.52	6.38
STA-523+85.5 TBM④	2.88	0.00	1.66	4.54
支保耐荷力	775.00	0.00	47.50	822.50

支保部材の負担率(単位:%)				
	吹付けコンクリート	鋼アーチ支保工	ロックボルト	合計
STA-524+81.5 標準C I	94.86	0.00	5.14	100
STA-524+51.5 TBM③	91.85	0.00	8.15	100
STA-523+85.5 TBM④	63.44	0.00	36.56	100
支保耐荷力	94.22	0.00	5.78	100

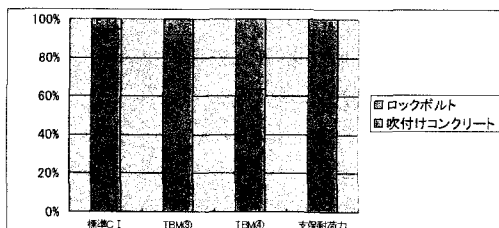


図1 支保負担率（鈴鹿トンネル下り線C I）

掘削工法	支保パターン	軽減支保パターン	TN名	比較支保	地山弾性係数 (N/mm ²)	逆解析結果 境界ひずみ log ₁₀ ε = -0.25logE-1.22	ひずみ分布
TBM 標準 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削	C I	TBM④	標準	標準	1,600	0.0095	0.003以上3m
	D I	TBM④	標準	標準	2,000	0.0102	0.007以上2.5m
上 半 掘 削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削 掘削	C II	標準	掘削	標準	1,140	0.0104	0.003以上6m

※ひずみ分布: ○以上△mmは、○以上のひずみ領域がトンネル壁面から△mmの範囲に分布を意味する

線トンネルと比較して施工実績が少ないこと、また、断面寸法および断面形状が異なるため、2車線トンネルと同様の評価²⁾を行うことは困難である。そこで、①支保軽減による地山内部のひずみ分布をFEM逆解析により推定し、地山の安定性評価と、②亀裂挙動の卓越するCⅠ、CⅡ級地山における不連続面の影響による支保軽減後の岩塊の安定性評価の2項目にて、軽減支保パターンの妥当性および安全性について評価を行う。

(1) FEM逆解析によるトンネル周辺地山のひずみの推定に関する評価

試験施工の内空変位計測結果からFEM逆解析によりトンネル周辺地山のひずみを推定し、標準支保パターンと軽減支保パターンでの比較を行い、さらに推定したひずみと桜井ら⁴⁾により提案された限界ひずみ(弾性限界点の時のひずみ)の値と比較した。その結果、下記の点が明確となった(表6)。

- ①CⅠおよびCⅡでは、標準と軽減支保パターンによる差異はみられず、各パターンとも地山のひずみは小さく、また、限界ひずみと比べてもかなり小さい。
- ②DⅠでは、標準・軽減支保パターンともCⅠおよびCⅡと比べて地山のひずみは大きい、表6をみるとDⅠ標準支保パターンにおいてロックボルトの打設範囲内のひずみは、限界ひずみの1/2程度

と小さいことがわかる。また、表4から軽減支保パターンは標準支保パターンと比較して、切羽評価点も低く地山状態が悪いものと考えられ、結果的にひずみ領域が大きくなったものと推測される。以下に標準支保パターンと差異の見られなかったCⅠと差異の見られたDⅠのひずみ領域図を示す(図2、図3)。

(2) 不連続解析を用いた岩塊崩落に対する評価

軽減支保パターンの妥当性および安定性について不連続面を考慮した解析手法により、岩塊崩落に対する安全性の指標を算出し評価を行う。ここでは、不連続面の進行的な破壊によって形成される岩塊の崩落を対象とし不連続面を考慮した二次元掘削解析によりトンネルの安全性を評価することとした。

今回の検討は、二次元の個別要素法(DEM)による評価を行うこととする。

本解析の目的は、トンネル壁面に出現するブロック状の岩塊がどのような条件で崩落するかを把握し、設置される支保がどれだけの安全性を有しているかを定量的に評価することである。ここでは、岩塊の崩落は、不連続面が自重により破壊し、その挙動が支保を破壊させることにより生じるものとし、不連続面および支保がせん断破壊もしくは引張破壊を起こした時点で、岩塊が崩落するとする。図4に示すように岩盤を弾性体で表し、不連続面はクーロンの破壊基準で破壊する

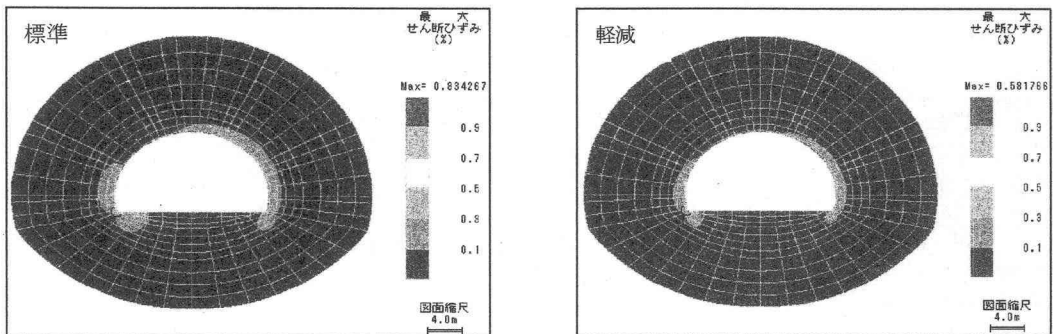


図2 標準CⅠと軽減支保パターン(TBM④)の逆解析での周辺地山ひずみの比較(浜松トンネル)

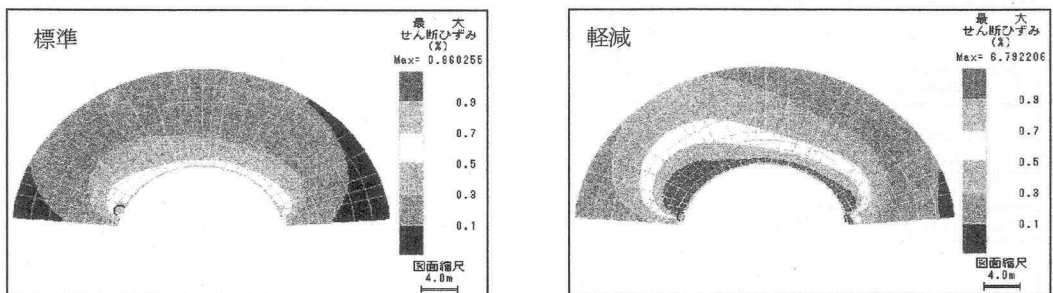


図3 標準DⅠと軽減支保パターン(TBM⑧)の逆解析での周辺地山ひずみの比較(鈴鹿トンネル)

弾塑性として取り扱うこととした。

a) 地山のモデル化

地山のモデル化にあたっては、中硬質岩や硬岩の大規模な崩落を対象としているため、岩塊を弾性体で簡易に表現し不連続面の破壊を強調したものとしている。岩塊の形状・大きさについては、一般的には調査・観察により推定すべきであるが、本検討では、崩落のしやすい岩塊形状の検討および過去の崩壊事例の検討を行った結果、最も崩落しやすい形状として、底辺と高さの比が、1:1の形状を設定した(図5)。

b) 支保のモデル化

支保のモデル化については、各支保部材を以下の方針で行うものとした。

○ロックボルトモデル

ロックボルトのモデルは、不連続面の補強を簡易にできるバネモデルとし、「垂直バネ」と「せん断バネ」として取り扱う。破壊の定義は、ロックボルトが貫いている不連続面がせん断破壊または引張破壊を起こした時点で、ロックボルトが破壊するとした。

○吹付けコンクリートモデル

吹付けコンクリートのモデルは、弾性体の梁要素としてモデル化する。破壊の定義については、「岩塊の押し出しによる局所的な荷重が作用した場合、荷重域直下が周辺部よりも落込むことによって生じる押し抜きせん断破壊」と「吹付けコンクリートが梁のように作用し、岩塊の押し出し荷重に対して、軸力と曲げで抵抗

し破壊に至る曲げ引張破壊、曲げ圧縮破壊」とした。

○鋼アーチ支保工モデル

鋼アーチ支保工については、事前解析の結果、効果が小さかった(全体支保の約6%)ため、鋼アーチ支保工についてはモデル化を行わない。

c) トンネルの岩塊崩落に対する支保の安全性の検討

図6に解析手順のフローチャートを示す。この掘削は切羽到達時までの解析であり、内空変位と切羽離れとの関係を考慮して切羽到達時の掘削解放率を40%として解析する。掘削解放率とは、ある時点(例えば、上半切羽到達時点)での掘削解放力(地山が有していた初期応力が、トンネル掘削により解放された力)を全掘削解放力で除した割合をいう。掘削解放率は、現実的には土被り荷重相当の100%までしか作用しないが、本検討では100%以上の掘削解放率を掘削面の節点に作用させ、岩塊および支保が破壊するまで掘削解放率を上げて解析を行う。ここでは岩塊の安定性を評価するため、岩塊および支保が破壊したときの解放率を「破壊解放率」と定義した。破壊解放率が小さいほど、岩塊は不安定であり、100%未満の場合は、岩塊が崩落する判定となる。破壊解放率は、岩塊崩落に対する安全性の指標である。通常は、ロックボルトと吹付けコンクリートの両方を支保部材として考慮し、両方の支保が破壊するまで解析するが、今回はロックボルトと吹付けコンクリートの破壊の照査をそれぞれ行い、図7に示すように2通りの解析を行う。

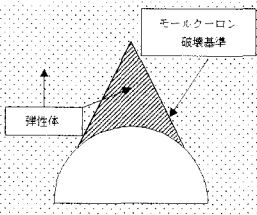


図4 岩塊モデル

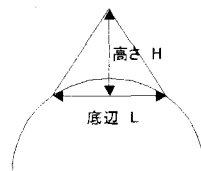


図5 岩塊の形状

	底辺 m	高さ m
B級地山	8	8
C級地山	5	5
D級地山	2	2

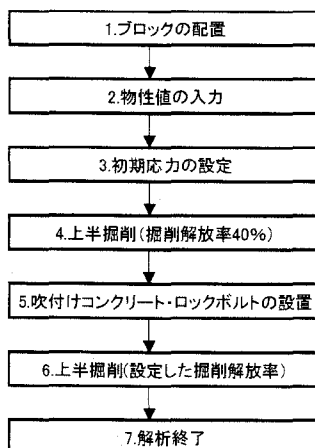


図6 解析フローチャート

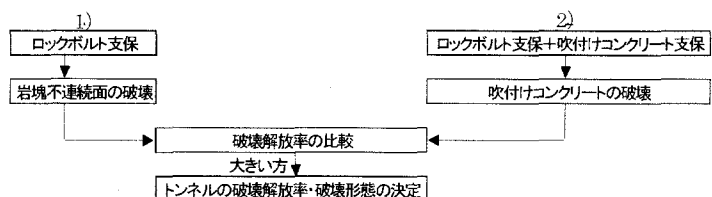


図7 トンネル破壊判定のフローチャート

- 1) 吹付けコンクリートが早期に破壊した場合を想定し、ロックボルトのみを考慮して解析を行う。
 - 2) ロックボルトが早期に破壊した場合を想定し、吹付けコンクリートのみを考慮して解析を行う。
- 両者の支保条件で解析を行い、破壊解放率を比較

し、大きい方の破壊解放率を全体の破壊解放率とするものである。

上記の条件により、今回試験施工を行った軽減支保パターンについて解析し、評価を行った。

不連続面の摩擦角を 20° 、 30° と設定した際の破壊解放率の解析結果を表 7 に示す。岩塊の位置は、破壊

表 7 破壊解放率

支保パターン	位置 (°)	無支保 (%)	ロックボルト 支保 (%)	吹付けコンクリートの破壊 (%)	破壊解放率 (%)
標準B	40	74	75	108	108
TBM①	50	73	76	103	103
TBM②	50	73	76	123	123
TBM③	50	73	76	123	123
TBM④	50	73	76	123	123
標準C I	50	73	76	124	124
TBM⑥	50	73	77	123	123
TBM⑦	50	73	77	123	123
標準C II	50	73	79	125	125

支保パターン	位置 (°)	無支保 (%)	ロックボルト 支保 (%)	吹付けコンクリートの破壊 (%)	破壊解放率 (%)
標準B	40	107	108	121	121
TBM①	50	112	116	118	118
TBM②	50	112	116	141	141
TBM③	50	112	115	141	141
TBM④	50	112	115	141	141
標準C I	50	112	116	141	141
TBM⑥	50	112	117	140	140
TBM⑦	50	112	117	140	140
標準C II	50	112	119	140	140

上表: 摩擦角 20° 、下表: 摩擦角 30°

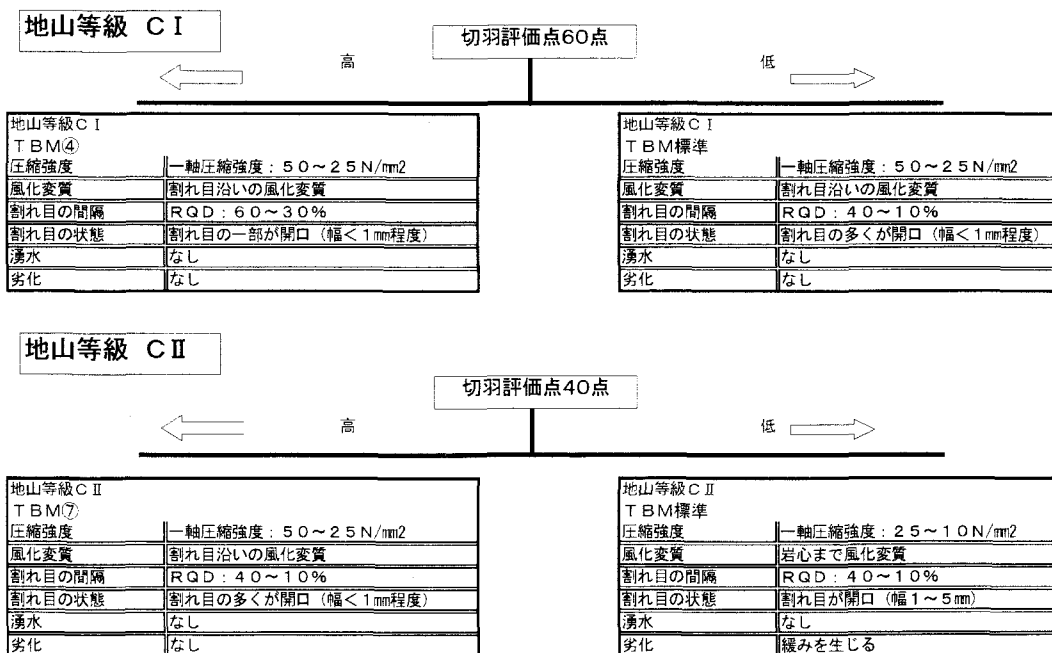


図 8 新支保パターンの適用条件

解放率が最小となる位置で、最も厳しい場合を示している。表中の無支保は無支保状態時に岩塊が崩落する解放率を示し、ロックボルト支保はロックボルトのみの支保を行った場合の岩塊が崩落する解放率を示している。また、吹付けコンクリートの破壊はロックボルト支保と吹付けコンクリート支保を設置したときの吹付けコンクリートが破壊する解放率を示している。全てのケースで吹付けコンクリートの破壊で破壊解放率が決まっている。

標準支保パターンと軽減支保パターンを比較すると、吹付けコンクリートが薄いTBM①を除いては、ロックボルトの仕様は異なるが、ほとんど差異のない結果となっている。また、この解析結果では、ロックボルトの低耐力・短尺化による影響が少ないことがわかる。

7. まとめ

第二東名・名神高速道路の大断面トンネルにおける支保の軽減について、現地トンネルでの試験施工を行い、計測結果の評価、解析的検討から、以下の知見を得ることができた。

- ①地山等級CⅠ、CⅡでは標準支保パターンとロックボルトを短尺化・低耐力化した軽減支保パターンの天端沈下量と内空変位量は、両者を比較しても大差がない。
- ②今回の試験施工において、6mのロックボルトの周方向ピッチの拡大(2.0mまで)とロックボルトの低耐力・短尺化(4m:170KN)のいずれも地山および支保構造は安定しており、支保軽減の可能性はある。
- ③評価・検討の目安として計測結果から算出した支保負担率の検討から、吹付けコンクリートの支保としての負担率が大きいため、薄肉化を行う際に

は、注意が必要である。

- ④不連続解析を用いた岩塊崩落の検討では、標準支保パターンと軽減支保パターンの破壊解放率を比較しても1～2%の差しか見られず、大差がない。

このように現地での試験施工結果および解析検討を行った結果、一部を除いて軽減支保パターンの適用の可能性が見出せた。それらを踏まえ、新支保パターン(図9)を提案する。適用条件としては、今回限られた地山条件での施工結果であることから、試験施工と同等以上の地山条件(切羽評価点での評価)であれば施工が可能であると考え、当該軽減支保パターンの切羽観察項目を分析評価し図8を提案する。新パターンの適用は、地山等級CⅠでは、切羽評価点が60点以上で、RQDが60～30%程度であり、割れ目の開口が少ない場合とし、地山等級CⅡでは、切羽評価点が40点以上で、RQDが40～10%程度であり、割れ目の多くが開いている場合に適用可能となる。今回の提案では、施工実績が少なく施工上多くの不確定要素が考えられるため、事前に地山状況を把握可能なTBM導坑先進掘削工法での適用とする。適用にあたっては、TBM導坑や切羽観察により充分地山状態を把握し適用するものとする。

8. 参考文献

- 1) 日本道路公団：設計要領第三集第9編トンネル(1)トンネル本体工建設編(第二東名・名神高速道路),2000.
- 2) 中野,中田,三谷：トンネル支保のマルチ化に関する研究,日本道路公団試験研究所報告.vol33,pp.102-113,1996.
- 3) 赤木,三谷,城間：新しい切羽評価点法の適用に関する検討,日本道路公団試験研究所報告.vol36,pp.86-103,1999.
- 4) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法,土木学会論文報告集.第317号,pp.93-99,1982.
- 5) 日本道路公団：トンネルの標準設計に関する研究報告書—数値解析と施工実績の分析—,試験所技術資料.第350号,1986.

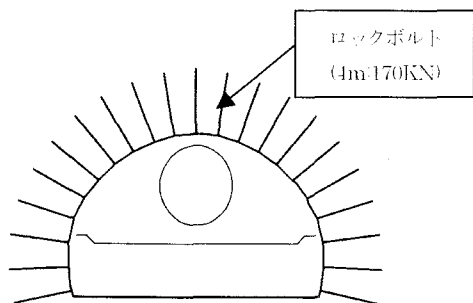


図9 新支保パターン(CⅠ, CⅡ)
(上半ロックボルトの短尺化・低耐力化)
290KN⇒170KN