

山岳トンネルにおける施工時データと補強対策の必要性に関する考察

東京都立大学 ○棗 拓史 石井 祥旭 砂金 伸治

東日本高速道路(株) 三上 尚人 田邊 修平

1. はじめに

近年、供用中の山岳トンネルにおいて、完成後長期の時間経過後に盤ぶくれが顕在化し、後施工のインバートによる補強対策を求められる事例が増加している。それには通行規制を実施し底盤部の掘削を行う必要があることに加え、時間と作業空間が限られた中で施工することが求められ、施工性・経済性の面で多くの課題があると考えられる。そのため、構造としての耐荷力を保持しつつ工期短縮が可能な合理的なインバート構造の提案が考えられるが、その耐荷力の評価の手法とともに具体的な構造を選定するための考え方が乏しく、結果的に従来の経験的に定められたインバート構造を採用することが多い。

表-1 切羽観察表

土 主 寸	14m	説 合 判	横 山 区 分 有 限 公 司	DR
形 式	a, b, c, d, e		パターニングの判定	Tb
特 殊 部	曲圧・保圧・渡動圧・土主切小		成 績 評 価 表	
切羽面との距離	)m=量算値(注:谷の下へ10%)			

本研究では合理的な補強対策の選定に資する閾値を導出することを目的とし、施工時の切羽観察や変位計測結果のデータおよび発生する変状に関する分析を実施するとともに、有限要素法による二次元弾性解析を行い、実際の山岳トンネルにおける変状の発生状況と地山物性の関連性を明らかにすることを試みた。

2. 施工時データと変状発生に関連性の分析

本研究では、実際に後施工のインバートによる補強対策が検討されている東日本にある 2 車線断面の高速道路トンネル(以下、S トンネルとする)を対象とし、施工時のデータと発生している変状に関する分析を行った。

2.1 分析手法

表-1 の切羽観察表をもとに、断面ごとの重み付き評価点を算出した。さらにその結果を A 計測結果と対比させ、図-1 に示すように変位量と評価点の相関図を作成するとともに、供用中の S トンネルにおける変状の発生状況を表示し、支保パターンごとにその傾向を分析した。

2.2 分析結果

図-1 より評価点が低くなる、すなわち地山が不良になるにつれて、大きな変位を生じる断面が増加することがわかる。一方で、一部の地山等級においては重み付き評価点が比較的高めで支保パターンが CII であっても、覆工コンクリートの不規則なひび割れといった変状の発生が報告されている事例も散見されていた。このような構造上の問題となり得るひび割れが発生している区間は、主に支保パターンが DII から CII へ変更された境界付近において多くみられた。この区間における地質は砂質泥岩から凝灰角礫岩に変化し、重み付き評価点からも地山が良好となっている傾向が見られるため、施工時の現場では支保パターンを DII から CII へと変更する判断がされたと推測されるが、結果的に変状が生じたと考えられる。今後は変状の発生に対する切羽観察の指標の具体的な変化と断面の変位計測データ、並びに支保の剛性との関連性について、検討をさらに進めていく必要がある。

表-1 切羽觀察表

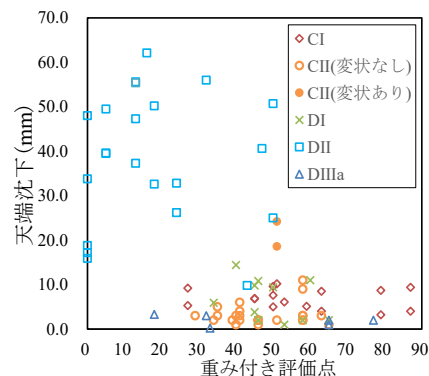
[illegible]

図-1 変位の発生傾向

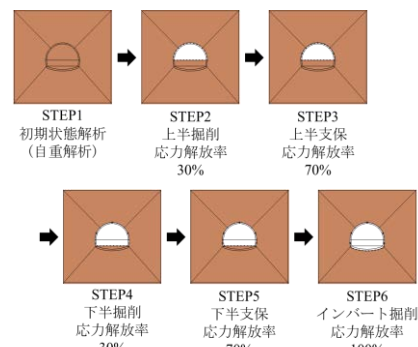


図-2 解析ステップ

キーワード 山岳トンネル, インバート, 盤ぶくれ, 数値解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL：042-677-1111(代表)

3. 変状発生と地山物性の関連性に関する分析

3.1 数値解析およびモデル化

本研究では、有限要素法による施工段階を考慮した解析を実施した。図-2に示すような解析ステップを設け、Sトンネルにおける上半先進ベンチカット方式 NATM を再現した。側圧係数 K 、弾性係数 E 、ポアソン比 ν を変数としたパラメトリックスタディを行い、A計測(天端沈下、内空変位)とB計測(吹付けコンクリート応力測定)の実際の結果に近づけた際の変数を、その断面の地山物性(解析値)と仮定した。用いた解析モデルを図-3に、物性値を表-2に示す。解析は基礎的な知見を得るために地山を弾性体と仮定して行った。また、掘削断面はSトンネルの標準断面図を参考とした。解析ケースは分析した結果を基に、支保パターンがDII、CIIの断面を対象とし、表-3に示すように天端沈下・内空変位が最大・最小となっている断面および変位量の平均値をとった平均断面、並びにB計測実施断面を選定した。

3.2 分析手法

3.1で述べた解析モデルを用いて、SトンネルにおけるDII断面、CII断面のうち、A計測結果が存在する計49断面に着目し、その中で代表的な12ケースを設定し解析を行った。また、変位計測の分析結果と地山物性の解析値、さらにSトンネルにおける変状展開図をもとに変状の発生状況を照合し、構造上の問題となり得る、不規則或いは密集しているひび割れが発生している区間について分析を行った。

3.3 解析および分析結果

解析結果を表-4に示す。ケース11、ケース12については応力と変位量のそれぞれに合わせたパラスタの結果を示している。得られた物性値については、おおよそ地山等級相当か、それよりやや高めの弾性係数が得られた。その理由として、解析を弾性にて実施したために、土被りや生じた変位の大小関係によって、得られる物性値が極端な値となる断面が存在したことがあると考えられるものの、変位と弾性係数の傾向としては概ね合致すると考えられる。

また、支保パターンがDIIからCIIに変更された区間の中には、掘削に伴う天端沈下量や内空変位量が、その他のCII断面と比較して10倍程度以上大きい断面が存在し、解析上でも弾性係数が著しく低下していることが確認された。また、切羽観察表の圧縮強度や風化変質に関する指標が地山不良側となっている断面が存在し、そのような断面において供用後に変状が多く発生している傾向が見られた。

4. 結論および今後の課題

本検討で分析対象としたSトンネルにおいて、施工時に地山が比較的良好と判断された区間であっても、掘削に伴う変位が大きい断面や特定の観察指標が地山不良となっている断面において、供用後に構造上の問題となり得る変状が発生する傾向にあることが確認された。今後の課題として、解析的な検討において弾塑性解析等の異なるモデル化を用いた場合の検討や、観察指標と変形に関するデータに対してより詳細に着目し、分析を進めることが有効であると考えられる。加えて、変状の発生の原因との関連性の分析に加え、別トンネルにおける分析など、対象を増やした上で同様の傾向が得られるかについて検討を行う必要があり、これらを踏まえて簡易なインバートを含めた合理的な補強対策の選定に資する閾値の提案を行う必要がある。

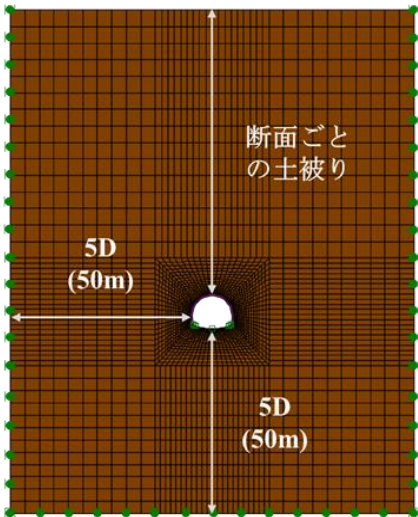


図-3 解析モデル

表-2 地山物性値

	支保パターン	
	CII	DII
ヤング率E(N/mm ²)	変数	変数
ポアソン比ν	変数	変数
単位体積重量γ(×10 ⁻³ N/mm ³)	2.3	2.1
粘着力C(N/mm ²)	1.0	0.2
内部摩擦角φ(°)	40	30
引張強度T(N/mm ²)	0.20	0.04

表-3 解析ケース

ケースNo.	支保パターン	断面内容	土被り(m)	計測値	
				天端沈下量(mm)	内空変位量(mm)
1	DII	天端.max	129.8	62.1	83.0
2		天端.min	193.3	9.8	33.7
3		内空.max	188.3	37.3	115.6
4		内空.min	77.7	18.8	28.1
5		DII.ave	137.4	38.4	74.4
6	CII	天端.max	193.9	24.2	34.4
7		天端.min	123.0	1.0	1.0
8		内空.max	193.5	18.6	44.9
9		内空.min	123.0	1.0	1.0
10		CII.ave	157.2	4.5	5.0
11	DII	B計測①	77.7	18.8	28.1
12		B計測②	125.2	50.2	83.1

表-4 解析結果

ケースNo.	支保パターン	土被り(m)	解析値		
			K	E(N/mm ²)	ν
1	DII	129.8	2.2	700	0.49
2		193.3	5.0	6000	0.49
3		188.3	5.0	1500	0.49
4		77.7	2.2	1100	0.49
5		137.4	3.0	1000	0.49
6	CII	193.9	1.6	2000	0.30
7		123.0	2.0	40000	0.30
8		193.5	4.2	3600	0.30
9		123.0	2.0	40000	0.30
10		157.2	2.4	14000	0.30
11(応)	DII	77.7	1.8	400	0.49
11(変)			2.2	1100	0.49
12(応)		125.2	1.5	600	0.49
12(変)			2.5	600	0.49