

道路トンネルにおける変状対策工の変状発生メカニズムに関する一考察

国立研究開発法人土木研究所 正会員○森本 智，日下 敦，廣田 彰久

1. はじめに

トンネル覆工に変状が生じた場合、健全性の診断結果にもとづいて、トンネルの構造安定性や利用者の安全性を確保する観点から変状対策工が設置されるが、変状対策工を設置した後に、変状対策工自体が劣化・破損した事例が散見される。顕在化した変状に対しては、早期に認知し、変状現象や発生要因等を踏まえて、適切に健全性を診断し、措置の必要性を検討する必要がある。本報文では、変状対策工の変状事例について機能が低下するメカニズム毎に分類し、変状の発生要因について分析を実施した。

2. 変状対策工の変状実態の整理及び変状要因の分析の方法

変状対策工の変状実態の整理は、国管理の道路トンネルを対象として道路トンネル定期点検要領に基づいた定期点検の1巡目（平成26年度～平成30年度）の点検結果を用いて実施した。点検調査書の整理では変状対策工の対策区分の判定結果がⅡb～Ⅳとされたトンネルは600本以上、変状数は12,000箇所以上となった。

変状対策工の変状要因の分析対象は、上記の中から、表-1に示す条件を踏まえて抽出した。ただし、写真から状態が確認できないものは検討対象から除外した。変状要因の分析にあたっては、変状現象及び対策工の機能が低下するメカニズムに分類し、それぞれの分類に区分した変状箇所数を算出した。変状現象は外力対策工及びはく落対策工は「うき・はく離」・「鋼材腐食・劣化」・「固定不良」・「破損」の4種類、漏水対策工は「鋼材腐食」・「再漏水」・「固定不良」・「破損」の4種類に分類した。対策工の機能が低下するメカニズムは、表-2に示すように、対策工の機能が低下した状態を仮定し、「A 設計時想定以上の荷重等の作用等」・「B 補修補強材料の劣化」・「C 取付状態の不具合」の3種類に分類した。また、代表的な変状を抽出し、対策区分（Ⅱb・Ⅱa・Ⅲ）毎に発生部位・周辺状況等を考慮して、変状メカニズムに応じた変状要因を分析するとともに、必要となる措置の考え方の例を示した。

3. 変状対策工の変状実態の整理結果

2.に示した方法に基づいて変状事例を整理した結果、表-3に示すように388箇所の変状が確認された。外力対策工は44箇所、はく落対策工は111箇所、漏水対策工は233箇所となった。機能が低下するメカニズム毎に確認すると、A 設計時想定以上の荷重等の作用等によると考えられる変状は少なく、はく落対策工（金網・ネット工）の2箇所となった。B 補修補強材料の劣化によると考えられる変状は248箇所となり、A及びCと比較して多い結果となった。C 取付状態の不具合と考えられる変状は138箇所となった。これらの他に、車両が接触したことによると考えられる変状（破損）が81箇所あり、A～Cの分類には該当しないことから、「D 車両接触」として分類し、以降の分析の対象外とした。比較的多く確認されたB 補修補強材料の劣化によると考えられる変状に着目すると、防水パネル工の鋼材腐食が111箇所、繊維シート当て板工のうき・はく離が50箇所、導水樋工・溝切り工の再漏水が49箇所となった。

表-1 分析対象として抽出する条件

条件	変状要因の分析対象として抽出する際の条件
条件1	本対策として適用された変状対策工であること
条件2	一般に適用される変状対策工であること
条件3	対策区分の判定が監視Ⅱb・重点監視Ⅱa・早期対策Ⅲの変状

表-2 機能低下メカニズムの分類

メカニズムの分類	メカニズムを分類する際の状態
A 設計時想定以上の荷重等の作用等	外力対策、はく落対策において設計で想定した以上に荷重等が作用し、機能が低下する状態。また、漏水対策において設計で想定した以上に多量の漏水が発生し、導水または止水の機能が得られていない状態
B 補修補強材料の劣化	変状対策工に用いる材料が劣化・破損等によって、機能が低下する状態
C 取付状態の不具合	変状対策工に用いる材料は健全であるが、それを固定する取付金具等に不具合が生じ機能が低下する状態。但し、繊維シート系当て板工など接着剤が補修補強材料の一部である場合は、接着不良で補修補強材料がはく離していても、CでなくBとして取り扱う

表-3 変状対策工の変状箇所数

外力対策工 44箇所	A 設計時想定以上の荷重等の作用等		B 補修補強材料の劣化		C 取付状態の不具合		D 車両接触
	対策工の種類	うき・はく離	うき・はく離	鋼材腐食・劣化	固定不良	破損	
	鋼床・ネット工	-	14	-	-	-	-
	繊維シート系当て板工	-	5	3	11	-	-
	防水パネル工	-	-	6	2	3	-
はく落対策工 111箇所							
	対策工の種類	うき・はく離	うき・はく離	鋼材腐食・劣化	固定不良	破損	
	金網・ネット工	2	-	6	14	19	
	繊維シート系当て板工	-	-	4	2	8	
	防水パネル工	-	50	-	-	6	
漏水対策工 233箇所							
	対策工の種類	A 設計時想定以上の荷重等の作用等		B 補修補強材料の劣化		C 取付状態の不具合	
	鋼材腐食	-		再漏水		固定不良	
	導水樋工	-		30		5	
	溝切り工	-		19		-	
	防水パネル工	-		111		23	

キーワード 道路トンネル，覆工コンクリート，変状対策工，変状発生メカニズム

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6791

4. 変状対策工の変状要因の分析結果

3. で比較的多くの変状が確認された B 補修補強材料の劣化によると考えられる変状について、対策区分(Ⅱb・Ⅱa・Ⅲ)毎の変状要因の分析結果を図-1に示すとともに、変状事例(写真-1)と必要となる措置の考え方の例を示す。

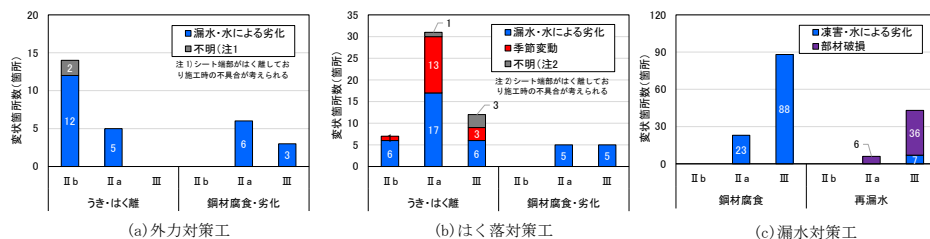


図-1 B 補修補強材の劣化によると考えられる変状対策工の変状要因の例



(a) 外力対策工
繊維シート補強工のうき



(b) はく落対策工
シート系当て板工のうき



(c) 漏水対策工
導水樋工の再漏水

写真-1 B 補修補強材の劣化によると考えられる変状対策工の変状事例

(1) 外力対策工

外力対策工の変状事例とし

て、繊維シート補強工・鋼板接着工の「うき・はく離」、鋼板接着工・鋼材補強工の「鋼材腐食・劣化」が一定数確認されている。うき・はく離は対策工の周辺に漏水または漏水跡が確認された変状が多く、水による劣化が要因と考えられる。例えば、繊維シート補強工にうきが確認された事例(写真-1の(a))では、漏水対策工に隣接した箇所にうきが確認されたことから、下地処理における止水対策が不十分でシート背面に漏水が進入したことが要因となりシートの付着力が低下したと考えられる。うきが確認された範囲はシート全体に対して部分的であるが、今後、拡大した場合は構造安定性が十分得られなくなるおそれがあるため、重点的な監視が必要と考えられる。また、鋼材腐食・劣化についても水による劣化が要因と考えられる変状が多い。

(2) はく落対策工

はく落対策工の変状事例として、繊維シート系当て板工の「うき・はく離」、金網・ネット工・パネル系当て板工の「鋼材腐食・劣化」が一定数確認されている。うき・はく離は対策工の周辺に漏水または漏水跡が確認された変状が多く、水による劣化が要因と考えられる。例えば、繊維シート系当て板工にはく離が確認された事例(写真-1の(b))では、はく離箇所に漏水跡が確認されたことから、下地処理における止水対策が不十分でシート背面に漏水が進入したことが要因となりシートの付着力が低下したと考えられる。はく離が確認された範囲はシート全体に対して一定の部分を含めており、はく落対策効果が低下しており、利用者被害のおそれがあるため対策が必要と考えられる。また、目地あるいはひび割れに沿った変状も多く、季節変動による目地等の伸縮が要因と考えられる。鋼材腐食・劣化についても水による劣化が要因と考えられる変状が多い。

(3) 漏水対策工

漏水対策工の変状事例として、防水パネル工の「鋼材腐食」、導水樋工・溝切り工の「再漏水」が一定数確認されている。鋼材腐食は鋼材に発錆が確認された変状が多く、防錆材の効果の低下・凍結防止剤に含まれる塩化物の浸透等も含めて水による劣化が要因と考えられる。また、再漏水は部材破損が要因となっている例が多い。例えば、導水樋工に再漏水が確認された事例(写真-1の(c))では、導水樋の破損あるいは止水材の劣化が要因として考えられる。漏水箇所は部分的であるが、漏水対策効果が低下しており、利用者の安全性を損なうおそれがあるため対策が必要と考えられる。

5. まとめ

本報告では、変状対策工の変状事例について機能が低下するメカニズム毎に分類し、変状の発生要因について分析を実施した。その結果、変状現象は様々であるものの、漏水が要因となり変状対策工の劣化を促進している事例が比較的多いことが明らかとなった。点検時に本報文中で提案した機能低下メカニズムに基づいて変状を分類しておくことで、診断時に措置の方針と関連づけることが可能となり、適切な診断・措置につながることを期待できる。今後は、変状発生過程も踏まえた判定上の留意点の考え方等について検討を進めていきたい。