

## トンネル覆工コンクリートに施工する繊維シート接着工の長期耐久性に関する研究

(株) 高速道路総合技術研究所 正会員 ○小林 大助, 正会員 中野 清人, 正会員 山崎 哲也

## 1. はじめに

トンネル覆工コンクリート（以下「覆工」という）に発生した、ひび割れや浮き、はく離などの変状によって、コンクリート片のはく落防止対策としての繊維シート系当て板工やトンネル構造の耐荷力向上を目的とした繊維シート補強工など炭素繊維シートに代表される繊維シート接着工（以下「シート工」という）の施工が増加している。しかしながら、補修・補強後にシート工自体の浮き、はく離などの変状も多く確認されているが原因が明らかになっておらず、変状原因の特定および長期耐久性の確保を目的に、現地調査や室内試験を実施し得られた知見を報告する。

## 2. 現地調査

現地調査は、シート工施工後 18 年経過した A トンネル (NATM)、17 年経過した B トンネル (NATM) および 4 年経過した C トンネル (矢板工法) (以下「A, B, C」という) を現地調査箇所として選定し、外観調査としての近接目視や覆工とシート工の付着試験などを実施した。

## 2. 1 近接目視結果

A および B のシート工は比較的健全であったが、矢板工法で湧水が多い C のシート工は変状が多数確認された。写真-1~2 に C の変状事例を示す。写真-1 は、トンネル構造の耐荷力向上を目的に施工した炭素繊維シートの浮きであるが、エフロレッセンスや漏水跡の状況から要因は漏水等によって覆工と炭素繊維シート間の付着力が低下したことが考えられる。写真-2 はアーチ・側壁接続部 (セメ部) のはく落対策として施工したポリエステルメッシュシートの割れや漏水であり、アーチと側壁の温度伸縮量の違いやセメ部からの湧水が要因と思われる。このような変状から補強効果やはく落防止性能の低下が懸念されるが、近接目視の結果から、いずれの変状もシート工施工前の漏水等に対する下地処理が不十分であったことが要因と考えられ、トンネル構造の違いによる漏水の有無が A, B および C の変状発生数にも起因しているものと推察される。

## 2. 2 付着試験結果

付着試験は「JSC-E 545-2018」に準拠して現地施工済みのアーチおよび側壁付近の変状が無いシート工で実施した (写真-3)。施工後 18 年経過した A の付着試験結果を図-1 に示す。当該トンネルはシート工施工後の付着試験を経年的に実施しており、炭素繊維シート、アラミド繊維シートおよび光硬化型シートともに 18 年経過後も付着強度 1.5N/mm<sup>2</sup>以上であった。また、施工後 17 年経過の B においても同様に付着試験を実施したが、こちらも付着強度 1.5N/mm<sup>2</sup>以上で基準を満足した。



写真-1 シート工の浮き (赤枠部)

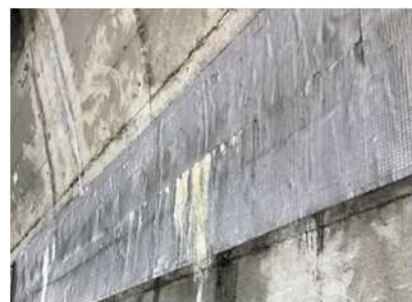


写真-2 シート工の割れ, 漏水



写真-3 付着試験の状況

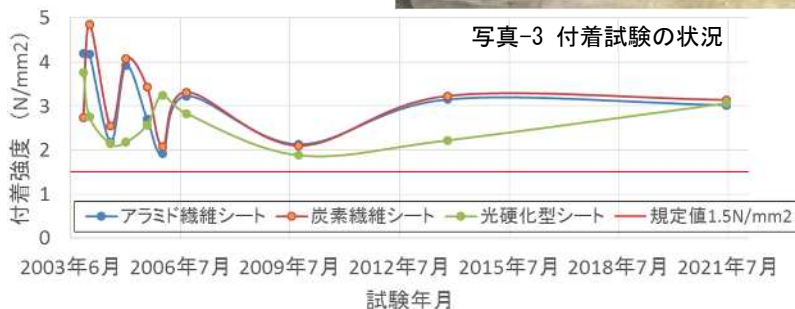


図-1 A トンネル 付着強度の経年変化

キーワード はく落対策, 内面補強, 炭素繊維シート

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 (株) 高速道路総合技術研究所 TEL 042-791-1629

### 3. 室内試験

室内試験は、主にはく落防止性能の長期耐久性に関して影響を把握することを目的に付着試験と押し抜き試験を実施した。供試体作成条件と試験方法を表-1に示す。施工環境の影響を確認するため1) 母材の含水率上昇, 2) 母材の強度不足, 3) プライマー有無の条件を設定した。また, 化学物質抵抗性の確認を目的に1) 酸性水地域, 2) 坑内排気ガス, 3) アルカリ水地域やコンクリートなどの影響を想定し材料硬化後に各水溶液に浸漬させた。その他, シート工劣化影響の確認として材料硬化後に屋外暴露1年相当の紫外線照射により強制的に材料劣化させることとし, トップコートが劣化した状況を想定して, トップコート有無でシート工劣化の程度が異なる供試体を作成した。シート工劣化影響は, 押し抜き試験も併せて実施し, 試験は「NEXCO 試験法 734-2011」に準拠した(写真-4)。

室内試験の結果, 付着試験ではいずれのケースも付着強度の低下が確認されなかったが, 母材の含水率が高い場合での施工では, プライマーの白濁やムラが発生した(写真-5)。この現象は付着強度に影響を与えなかったものの, 含水率が高い条件では十分にプライマーの膜が形成されていないことから品質は正常ではないと考えられ, 実際の施工現場では高含水率と成りえる漏水や結露などに留意が必要である。また, 化学物質抵抗性については, 50日間程度の水溶液浸漬では付着強度に与える影響がないことを確認できた。シート工劣化についても付着強度の低下は確認できなかったが, 押し抜き試験ではトップコート無しの場合で荷重-変位曲線の傾きが約60%低下することや, はく落防止性能の1つの指標である, 単位はく離強さ(最大荷重/はく離周長(写真-6))がトップコート有りに比べ約70%低下する材料が確認され, シート工劣化影響によって材料特性が変化したものと考えられる(図-2)。

表-1 供試体作成条件と試験方法

項目	シート接着時の条件				試験条件			試験方法	試験する材料	
	温度	湿度	表面状態	ケレン	トップコート	通水	浸漬			紫外線照射
材料の施工環境試験	20℃前後	60%前後	健全	実施	あり	-	-	-	付着強度試験	炭素繊維シート
			表面含水率基準値以上							
			母材の強度不足							
			プライマーなし							
材料硬化後の化学物質抵抗性試験	20℃前後	60%前後	健全	実施	あり	あり	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (50日)	-	付着強度試験	アラミド繊維シート 光硬化型シート
						なし	HNO <sub>3</sub> (50日)		付着強度試験	
						あり	Ca(OH) <sub>2</sub> (50日)		付着強度試験	
材料硬化後のシート劣化影響確認試験	20℃前後	60%前後	健全	実施	なし	-	-	押し抜き試験 付着強度試験 押し抜き試験 付着強度試験		
					あり	-	-	屋外暴露1年間相当		



写真-4 押し抜き試験の状況



写真-5 プライマー塗布後の白濁やムラの状況  
左が正常 右が高含水率下での施工

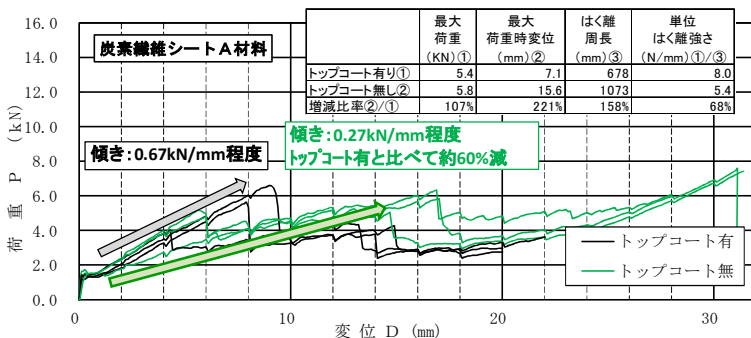


図-2 炭素繊維シートの押し抜き試験結果



写真-6 押し抜き試験後の状況  
赤黒のマーキングがはく離周長

### 4. まとめ

1) 近接目視の結果, シート工変状の主な要因は水の影響と考えられ, 施工前の漏水等に対する下地処理の重要性が伺える。2) 一方, 施工後18年経過したシート工に付着強度の低下が見られなかったことから, 漏水等の外的要因がなければ概ね20年程度は付着強度が保たれることを確認した。3) 室内試験では, 付着強度の低下は確認できなかったが, 母材の含水率が高い場合の施工ではプライマーの異常が生じ, ここでも水の影響に対する品質管理の重要性が確認された。4) シート工劣化影響も付着強度の低下は見られなかったものの, 押し抜き試験ではトップコート有無による劣化程度の違いによって試験結果の挙動が異なり, 押し抜き荷重を受けた際の変位量やはく離範囲が大きくなる材料があり, シート劣化影響が確認された。この結果から, 材料によっては, 長期耐久性の確保のためにシート工を保護するトップコートを適正状態に維持する必要があると考えられる。5) また, 上述の結果から, はく落防止性能の評価は付着強度だけでは不十分であり, 押し抜き試験での評価が必要であることが示唆される。