

トンネル内装となるシート工の付着性の評価

鈴木俊雄¹・大橋将太²・道上剛幸³・林承燦⁴・木村定雄⁵

¹正会員 中日本高速道路株式会社 (〒914-0838 敦賀市新井川 17 号宇稲荷藪)
E-mail: t.suzuki.an@c-nexco.co.jp

²学生会員 金沢工業大学 大学院 環境土木工学専攻 (〒924-0838 白山市八束穂 3-1)
E-mail: b6901660@planet.kanazawa-it.ac.jp

³正会員 株式会社ケー・エフ・シー 技術部 技術研究所 (〒347-0838 埼玉県加須市大桑 1-19)
E-mail: michigami.takayuki@kfc-net.co.jp

⁴正会員 株式会社 デーロスジャパン (〒921-8005 石川県金沢市間明町 2-70)
E-mail: sclim@deros-japan.co.jp

⁵正会員 金沢工業大学教授 工学部 環境土木工学科 (〒924-0838 白山市八束穂 3-1)
E-mail: s.kimura@neptune.kanazawa-it.ac.jp

道路トンネルでは、通行車両の視環境の確保や視線誘導および照明効果の向上を目的として内装工が設置されている。従来、この内装工はタイル直張り工やパネル浮かし張り工が適用されてきた。設置されている内装工をみると、タイルの割れやはく離、または浮かし張り工の胴縁の腐食などの変状がみられる。

そこで、筆者らはタイルを主材とする内装工に代わるものとしてシート材を用いた内装シート工の適用を考えた。

本稿はシート工の適用にあたり、シート工の基本性能の一つである付着性を引きはがし粘着性としてとらえ、その基本特性とこれを把握するための試験法を提案するものである。

Key Words: tunnel interior system, deterioration of tunnel lining, interior seat, rsistance of peeling-off

1. はじめに

道路トンネルでは、通行車両の視環境の確保や視線誘導および照明効果の向上を目的として覆工コンクリートの側壁下部に内装工が設置されている。すなわち、内装工を施すことによって、トンネル壁面の輝度を保持し、前方車両の視認性や走行の快適性を確保している。さらに、内装工には、構造上の強度はもとより、耐火性、耐蝕性、耐候性および耐久性が求められる¹⁾。この内装工にはタイルを主材とする直張り工や浮かし張り工が適用されている。ここで、経年したトンネルの点検結果をみると、タイルの割れ、はく離、または浮かし張り工の胴縁の腐食などの変状が散見され、それらはトンネル変状の多くを占める。

そこで、筆者らはタイルを主材とする内装工に代わるものとしてシート材を用いた内装工（以下、シート工と称す）の適用を考えた。本稿はシート工の適用にあたり、採用実績のないシート工の基本性能の一つである付着性を引きはがし粘着性としてとらえ、その基本特性とこれを把握するための試験法を提案するものである。

2. 内装工の変状例

現在、設置されている内装工の変状例を写真-1に示す²⁾。タイル直張り工では、覆工のひび割れに沿ったタイルの破損、接着不良および接着材の経年劣化に伴うタイルのはく離・はく落がある。パネル浮かし張り工では、漏水による取付金具の腐食とそれに伴う内装板の脱落、さらに、清掃荷重による枠の変形などの変状がある。中でも、タイル直張り工の変状は、トンネル本体工である覆工に生じるひび割れとの関係性が強い。とくに、タイルのどの位置に覆工ひび割れが生じるかによって、タイルの破損状況は異なり、また、接着不良によっても接着抵抗性は低下する³⁾。



写真-1 内装工の変状例

3. シート工の引きはがし粘着試験法の考え方

(1) シート工の構成と引きはがし粘着性

a) シート工の構成

シートを主材とするシート工は図-1に示す層構成となっている。図中、コンクリートは覆工コンクリートをモデル化したものであり、その表面からプライマー層、粘着剤層およびシート層の重層構造となっている。シート層と粘着剤層は事前に一体成形される層である。一般に、このようなシートは、粘着シートや粘着テープとして取り扱われており、これを粘着シートと呼ぶことにする。

b) 引きはがし粘着性

シート層と粘着剤層が一体成形される粘着シートの引きはがし粘着試験法は、JIS Z 0237に規定されている。しかしながら、この規定はSUS304鋼板を母材とする規格であることから、直接これを母材がコンクリートとなる場合に適用することはできない。

そこで、この試験法を参考にして、コンクリートが母材となる粘着シートの引きはがし粘着性を把握するための試験法を検討した。すなわち、対象となる母材コンクリートの表面処理、プライマー層の形成およびシート材の選定と貼付からなるシート工の粘着性を評価するための試験法について吟味した。以下にはその詳細を示す。なお、本稿で示す試験法は原則として室内における引きはがし試験を対象としている。

(2) 引きはがし粘着性の試験法

a) コンクリートの表面処理

覆工コンクリートをモデル化したコンクリート平板(300×300×60mm)は、JISA 5371を用いることを基本とした。コンクリート平板の表面はサンドペーパー(#80)のディスクサンダーを用いて、凹凸が約0.5mmとなるように研磨した。その後、表面を水洗いし、気中養生(温度 23°C±2°C、湿度 65%±10%)で48時間の自然乾燥を施した。また、高周波容量式水分計によって表面水分率を測定した。本試験では1つのコンクリート平板あたり、5か所で測定し、その平均表面水分率は5±2%であった。

b) プライマー層の形成

本試験では、二液混合エポキシ樹脂(主剤:硬化剤=2:1)をプライマーとして用いた。その塗布量は75g/m²とし、刷毛塗りの一層とした。その後48時間の気中養生を施した。

c) 粘着シートの選定と貼付

本試験で用いた粘着シートは、ほぼ透明なポリエステル系であり、その片面には粘着剤が一体成形されている。粘着剤はアクリル樹脂系である。シートおよび

粘着剤の厚みは、それぞれ0.05mmおよび0.3mmである。

粘着シートのコンクリート平板への貼付は、プライマー処理後48時間とした。写真-2は粘着シートの貼付状況の例を示したものである。

粘着シートの幅は24mmとし⁴⁾、引きはがし区間長は150mm、把持長は100mmとした。なお、把持長は引きはがし試験時の把持長さである。

粘着シートの貼付は圧着ローラー(質量2000g)を用いて、2往復(転圧速度10±0.5mm/sec)の転圧処理を施した⁴⁾。

d) 引きはがし試験

粘着シートを貼付した後、7日間の気中養生を施して、引きはがし試験を実施した。写真-3は引きはがし試験の状況を示したものである。粘着シートの貼付面と引きはがし方向の角度をはがし角度とし、はがし角度90°および180°の両ケースで引きはがした。また、引き上げ速度(変位制御)は5mm/secで一定とし、引きはがし長さ150mmまで引きはがした。

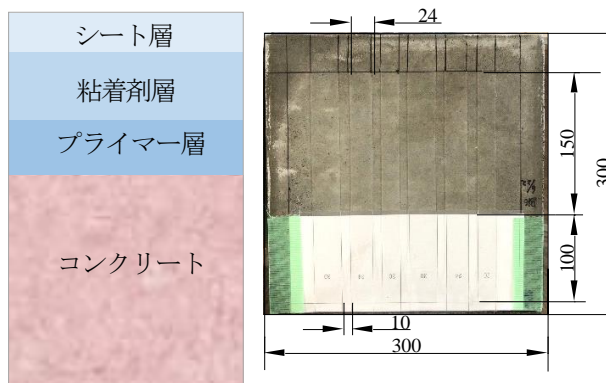
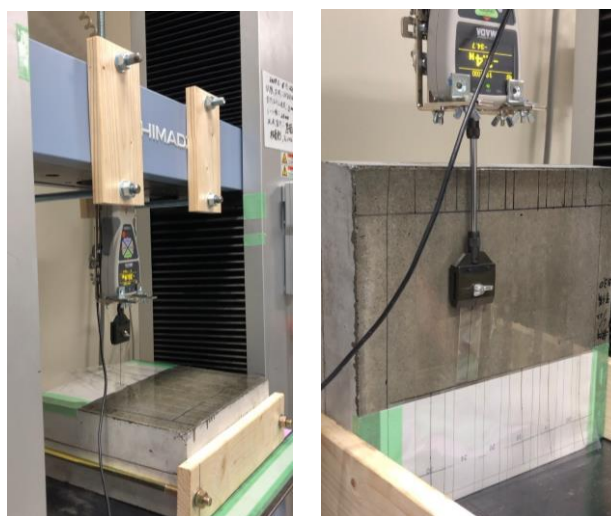


図-1 シート工の層構成 写真-2 粘着シートの貼付状況の例



a) 90°の場合

b) 180°の場合

写真-3 引きはがし試験の状況

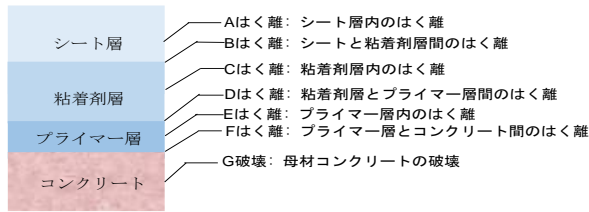


図-2 はく離形式の種類

4. 引きはがし粘着性の評価法

(1) はく離形式の定義

シート工の層構成とはく離形式の種類を図-2に示す。はく離形式は4つの各層の層内はく離および3つの各層間のはく離に分類することができる。シート層内のはく離(Aはく離)、シート層と粘着剤層間のはく離(Bはく離)、粘着剤層内のはく離(Cはく離)、粘着剤層とプライマー層間のはく離(Dはく離)、プライマー層内のはく離(Eはく離)、コンクリートとプライマー層間のはく離(Fはく離)および母材コンクリートの破壊(G破壊)である。

(2) はく離形式と引きはがし粘着力の評価

a) 引きはがし荷重と引きはがし長さの関係

粘着シートの引きはがし荷重と引きはがし長さの関係を図-3および図-4に示す。引きはがし試験では、引きはがし長さ150mmまではがし、引きはがし粘着力を評価した。90°の場合、最大荷重は引きはがし長さ15mmまでに生じ、その後の荷重は約5割低下し、ある程度一定の値を保持した。180°の場合、最大荷重は引きはがし長さ20mmまでに生じ、90°と同様に、約5割の荷重低下が生じ、ある程度一定の値を保持した。

JIS Z 0237によると、引きはがし粘着力は引きはがし長さ50mmの荷重値とすることとしている。一方、母材がSUS304ではなく、コンクリートである場合、貼り付け面積が広いこと、引きはがし中にはく離形式が異なる可能性があることなどを考えると、引きはがし粘着力の評価は、引きはがし長さの条件やはく離形式を考慮して定める必要がある。

図-3および図-4中には、引きはがし時間もあわせて示している。引きはがし長さと同じ引きはがし時間を見ると、180°の場合、90°の場合に比べて同じ引きはがし量を得るのに2倍の時間を要している。これは90°の場合は引きはがし中、コンクリート板が水平方向にスライドするため、引きはがし長さと引き上げ量(変位制御)が一致するが、180°の場合はコンクリート板が固定されているため、粘着シートの伸びにかかわらず、所定の引きはがし長さを得るためには2倍の引き

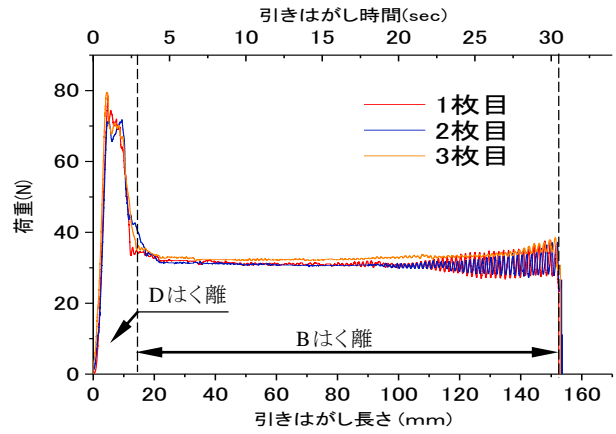


図-3 引きはがし荷重と引きはがし長さの関係 (90°の場合)

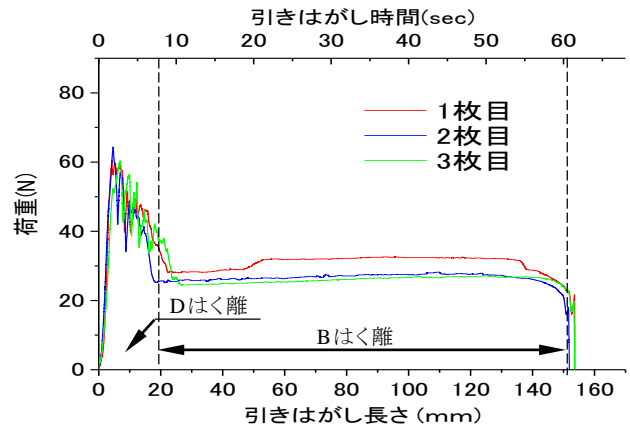


図-4 引きはがし荷重と引きはがし長さの関係 (180°の場合)

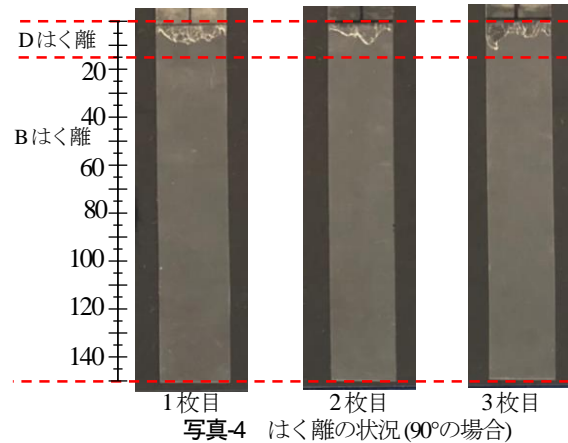


写真-4 はく離の状況 (90°の場合)

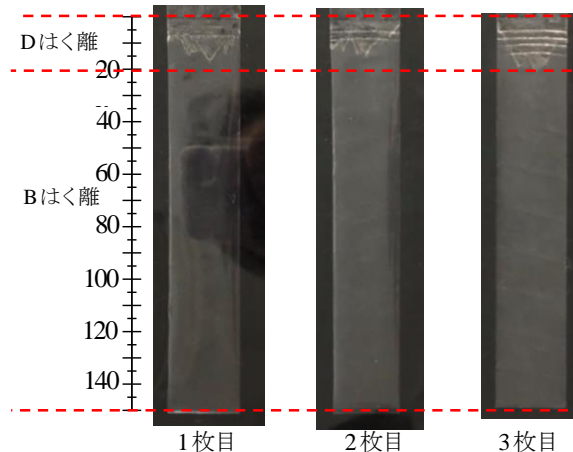


写真-5 はく離の状況 (180°の場合)

上げ量が必要になるためである。したがって、180°の場合、引きはがし速度は2.5mm/secとなる。

b) はく離形式と引きはがし粘着力の評価

粘着シートのはく離状況を写真-4および写真-5に示す。これらは、引きはがし試験後の粘着シートの状況であり、これを観察することによって粘着シートのはく離形式を確認することができる。これらより、はがし角度の違いに関わらず、最大荷重となる引きはがし長さの区間ではDはく離が主となり、その後、Bはく離となっている。すなわち、150mmの引きはがし長さを試験対象長とすると、この長さの間で異なる性状が把握できる。ここで、引きはがし区間ごとの荷重を考察する。表-1は引きはがし区間ごとの荷重を示したものである。表中、平均最大荷重、平均荷重および平均標準偏差は3枚の粘着シートの平均値を示している。なお、各引きはがし区間ごとの荷重および引きはがし長さの測定数は、90°の場合で400点/mm、180°の場合で800点/mmである。平均最大荷重を見ると90°の場合の方が180°の場合に比べて大きな値を示している。これは、はがし角度の違いとともに、引きはがし速度の影響も受けていると考えられる。すなわち、JIS Z 0237に規定される引き上げ速度は5mm/secであり、90°の場合はそれが引きはがし速度となるが、180°の場合の引きはがし速度は2.5mm/secとなり、その影響も加味されている。

なお、引き上げ速度が10mm/secとした場合の試験も実施したが、引きはがし荷重が不安定となることを確認している。これより、JIS Z 0237の規定では引き上げ速度を5mm/secとしているものと推察される。

平均最大荷重は90°の場合が180°の比べて約1.2倍大きくなっている。また、最大荷重が発生する0~25mmの引きはがし区間では、両者ともに平均標準偏差が大きい。このことは粘着剤層とプライマー層間のはく離(Dはく離)では、引きはがしが断続的に進行するためと考えられる。

一方、引きはがし区間が25~50mm、50~100mmの区間ではシート層と粘着剤層間のはく離(Bはく離)が主体をなし、これが連続的に進行しており、荷重の変動も小さい。また、100~150mmの引きはがし区間では、粘着シートが引張により伸張することで平均標準偏差が若干大きくなる傾向がある。このため、この区間では粘着シートの引張剛性の大きさが荷重の変動に影響を及ぼすことが推察される。

以上より、本試験の結果から、はがし角度の違いにかかわらず、粘着シートの基本的な粘着力は25mm~100mmの引きはがし区間によって安定した値を得ることが確認できる。

表-1 引きはがし区間ごとの荷重

	平均最大荷重(N)	引きはがし区間							
		0-25mm		25-50mm		50-100mm		100-150mm	
		平均荷重(N)	平均標準偏差(N)	平均荷重(N)	平均標準偏差(N)	平均荷重(N)	平均標準偏差(N)	平均荷重(N)	平均標準偏差(N)
90°	76.7	42.9	18.7	31.8	0.4	31.4	0.2	32.1	1.9
180°	61.6	37.9	15.6	26.5	0.3	28.3	0.4	27.6	2.5

5. おわりに

本稿では粘着シートを用いたシート工の引きはがし粘着力の評価法について検討した。得られた主な結論を示すと以下のとおりである。

- ① 粘着シートの引きはがし粘着力を評価するための試験法は、母材がコンクリートである場合、JIS Z 0237をそのまま適用することは適切ではなく、母材とシート工の特性を十分に考慮する必要がある。とくに、引きはがし長は50mm以上とする必要がある。
- ② 引きはがし粘着力を評価するにあたっては、粘着シートの特性、プライマーの処理など、一連のシート工の影響を受けて、はく離形式が多様となる。したがって、はく離形式を加味して粘着力を評価する必要がある。

今後、異なる粘着シートを用いたり、現場条件を考慮した引きはがし試験を実施し、引きはがし粘着力の適正な評価法について検討する所存である。

参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社：NEXCO 設計要領第三集（トンネル編）、(3)トンネル内装工、pp.1-3、2014.7.
- 2) 国土交通省、トンネル内装板に関する検討会、北陸地方整備局北陸技術事務所第一回検討会資料、<http://www.hr.mlit.go.jp/hokugi/file/mijika/kentousiryou.pdf>, p.17, 2019.8.6
- 3) 鈴木、古屋、林、木村：覆工コンクリートに生じるひび割れが直張りタイルに及ぼす影響、土木学会地下空間シンポジウム 論文・報告集、Vol.24, A2-2, 2019. 1.
- 4) JIS Z 0237：粘着テープ・粘着シートの試験法、pp.7-12, 2009.

(2019. 8. 9受付)

EVALUATION OF RESISTANCE TO PEELING-OFF INTERIOR SHEET INSTALLED IN ROAD TUNNEL

Toshio SUZUKI, Shota OHASHI, Takayuki MICHIGAMI,
Lim SEUNG-CHAN and Sadao KIMURA

In road tunnels, interior panels are installed to maintain a good visual environment for vehicles passing through them. Some interior panels have tiles attached directly, and others have panels installed with anchor bolts. Many interior panels have fallen out of tiles and deteriorated panels after the tunnel has been in service.

The authors considered the application of interiors using sheets as an alternative to existing interior panels made mainly of tiles.

This paper describes a method for evaluating the resistance to peeling-off, which is one of the basic performances of interior seats.