

# ゴム系素材を活用したトンネル補修工法の開発

滝澤 彰宏<sup>1</sup>・水野 光一朗<sup>2</sup>・田中 宏幸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター (〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町二丁目 479 番地)  
E-mail: aki-takizawa@jreast.co.jp

<sup>2</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター

<sup>3</sup>非会員 ダイキン工業株式会社 化学事業部

鉄道トンネル覆工面の打継目は施工による不具合を生じやすく、剥落物が発生しやすい構造上の弱点箇所である。JR 東日本では変状が発生している打継目に対して、当て板工法などの剥落対策工を実施してきた。当て板工法は、当て板（鋼板、FRP 板、メッシュ材等）をアンカーで覆工面に固定して、当て板で支持し、落下を防止する工法である。

鉄道トンネルの補修工事は、夜間の短い間合いでの施工が条件となるが、従来の当て板工法ではアンカーを上向きに覆工面へ設置する作業に時間を要していた。今回、耐久性の高いフッ素ゴム系の材料を接着剤で固定することで、施工性を向上させた剥落対策工の開発について報告する。

**Key Words:** Railroad, tunnel, repair, rubber

## 1. はじめに

鉄道トンネル覆工面の打継目は、施工による不具合を生じやすく、コンクリート剥落物が発生しやすい構造上の弱点箇所である。JR 東日本ではひび割れ等の変状が発生している打継目等に対して、当て板工法などの剥落対策工を実施してきた。当て板工法は当て板（鋼板、FRP、メッシュ材等）をアンカーで覆工面に固定して当て板で支持し、落下物を防止する工法である（図-1）<sup>1)</sup>（図-2）。なお、鉛直打継目のように伸縮がある箇所は長孔で対応している。



図-2 当て板工法の施工例

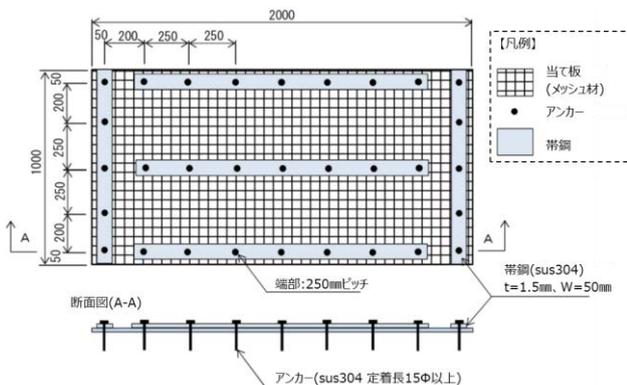


図-1 当て板工法標準図（メッシュ材）<sup>1)</sup>

## 2. 課題と開発目的

当て板工法は、アンカーにて当て板を機械的に固定する工法のため、鉄道トンネル覆工面の湿潤状況や施工時の気温等の環境条件制約に優位な工法である。しかし、軌道モーターカーの作業構台や仮設組立足場上の狭隘な場所で、曲率のある覆工面に対して上向きにアンカーを打設して鋼材等を設置する作業は労力を要し、作業時間が必要な工法である。鉄道トンネル内の作業は、夜間の短い作業時間内に完了させる必要があるため、作業時間が

短く、作業工程に制約がある場所では施工性が低下し、高価となる工法である。作業時間が短い場所でも必要な性能を備えつつ、施工性が良く、安価となる工法が求められていた。

今回、これらのニーズに対応するため、材料、構造、性能等を検討して、新しい鉄道トンネル覆工面の剥落対策工法の開発を特にコンクリート剥落が発生しやすい鉛直打継目部への適用検討を中心に報告する。

### 3. 補修材選定と固定方法の検討

#### (1) 補修材選定

鉄道トンネル内に設置する補修材は、劣化の都度簡単に取り換えることが困難なため、耐久性の高い材料が求められる。また、落下物を支持する強度と鉛直打継目の伸縮追随性も必要である。近年、ゴム系素材も改良および加工技術が研究され、耐久性の高いゴム系素材が開発されている。今回、ゴムの中でも耐久性が極めて高い、フッ素系ゴム<sup>2)</sup>を選定し、補強布(アラミド)をフッ素系ゴムで包み一体化したゴムシートを開発した。このゴムシートは基本寸法が厚さ1.5mm、幅1mで長さは任意に変更可能である。切断および削孔などの加工が、工場および現場で可能である。

#### (2) 固定方法の検討

当て板工法はアンカーの削孔に労力を要することから、固定方法をアンカーから接着剤へ変更することとした。そのために、フッ素系ゴムとコンクリート面との接着力を確保できるエポキシ系接着剤を開発した。アンカーピンは補助として設置することとした。以下、開発工法をゴムシート工法と記す(図-3)。

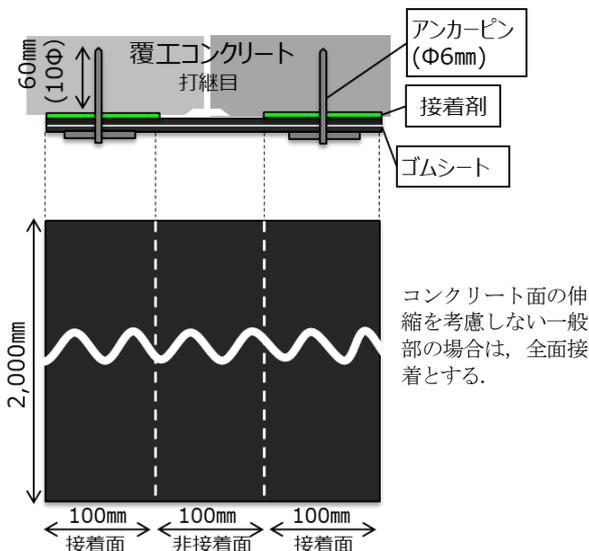


図-3 ゴムシート工法概念図(鉛直打継目施工の例)

### 4. 性能確認方法と基準値(室内試験)

#### (1) 補修材性能の検証(室内試験)

##### a) 接着力試験

JR東日本にて制定している土木工事標準仕様書<sup>1)</sup>シート工法の接着力試験に準じて実施した。性能基準値は施工1時間後に0.026N/mm<sup>2</sup>以上、1週間後に1.58N/mm<sup>2</sup>以上とした。1時間後の性能基準値は高速走行する車両が上下線で同時にすれ違った際の負圧に安全率を乗じて定めた。1週間後の性能基準値は仕様書付属書の判定基準例から、無筋コンクリート(18N)の引張強度として定めた。試験は養生温度を10~35°Cの4種類で実施し、施工時の覆工表面水分量も5%未満~10%で変化させて試験を行った。コンクリート表面水分量と状態は表-1のとおりである。

表-1 コンクリート表面水分量と状態

水分量	コンクリート面の状態
4~5%	乾燥状態。長期間水掛りのない状態
6%	1時的な少量の水掛り面。シート工法の施工上限水分量
8%	結露水をよく拭き取った面
10%	結露面、漏水面

##### b) ひび割れ追随性試験

コンクリート覆工面の鉛直打継目に施工する場合、鉛直打継目の伸縮に追随する必要がある。鉛直打継目部(100mm)を想定したひび割れ追随性試験にて検証することにした(図-4)(図-5)。必要な伸縮量(性能基準値)はコンクリートの温度変化を30°C(-10~20°C)と仮定し、コンクリートの熱膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ より、1スパン(10m)の片側で3mmの伸縮と想定(両側で6mm)して10mmと定めた。伸縮は季節変動から50回(50年)を10mm/分の低速で繰返し行い、ゴムシートの変形量変化およびゴムシートの変状有無を確認した。

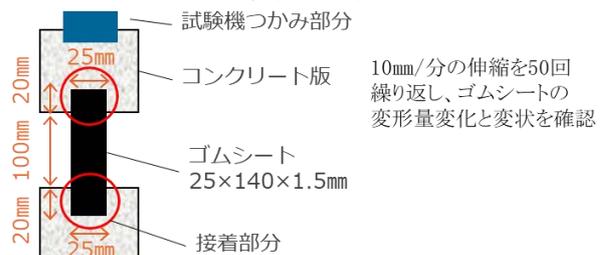


図-4 ひび割れ追随性試験概要図

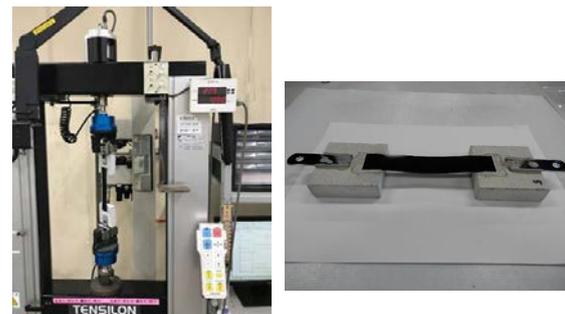


図-5 ひび割れ追随性試験機と試験体

c) 押抜き試験

土木工事標準仕様書コンクリート剥落修繕工の押抜き荷重試験に準じて実施した。性能基準値は1.5kN以上とした。養生温度は接着力試験と同様に10～35℃の4種類で実施し、施工時の覆工表面水分量は10%で試験を行った。

d) 耐久性試験

ゴム系素材は一般的にオゾンにより、劣化することが知られている<sup>3)</sup>。今回、オゾンによる劣化促進試験（JIS K6259）による耐久性試験を行った。長期耐久性を目指し、50年以上を性能基準値とした。

e) 不燃性・難燃性試験

JIS K6911に基づき、試験を実施した。性能基準値は不燃性以上とした。

(2) 補修材性能の検証結果

検証結果を表-2に示す。各項目とも性能基準値を満たす結果となった。

エポキシ系接着剤を用いているため、養生温度が10℃以上との制約があるが、コンクリート覆工表面水分量が10%程度でも利用可能であることが確認できた。表-3に工法適用条件を示す。

表-2 材料性能試験結果一覧表

No	試験項目	試験方法	養生温度	コンクリート表面水分量	性能基準値	結果	判定	
1	接着力試験	JR東日本 土木工事 標準仕様書	10℃	5%以下	1時間後 0.026N/mm <sup>2</sup> 以上	0.2	○	
				6～8%		0.2	○	
				10%		0.2	○	
				5%以下		0.2	○	
				10%		0.2	○	
				10%		0.2	○	
			15℃	5%以下	7日後 1.58N/mm <sup>2</sup> 以上	3.4	○	
				6～8%		2.7	○	
				10%		2.5	○	
				5%以下		2.8	○	
				10%		2.6	○	
				10%		2.8	○	
			23℃	5%以下	2.6	○		
				10%	2.6	○		
				5%以下	3.1	○		
				6～8%	2.9	○		
35℃	6～8%	2.9	○					
	10%	2.9	○					
2	ひび割れ 追従性試験	実寸法に近い試験体で10mmの伸縮を50回	23℃	10%	—	劣化なし	劣化なし	○
3	押抜き試験	JR東日本 土木工事 標準仕様書	10℃	10%	—	2.6	○	
			15℃			2.3	○	
			23℃			4.2	○	
			35℃			4.1	○	
4	耐久性試験 (オゾン)	JIS K6259				50年以上	185年	○
5	不燃性・ 難燃性試験	JIS K6911				不燃性以上	不燃	○

表-3 工法適用条件整理表

適用項目	当て板工法	ゴムシート工法
施工箇所	打継目	○ △ 高速走行列車通過時の負圧による疲労耐久性を検証中
	一般部	○
施工環境	湿潤面（漏水）	○ 表面水分量10%以下で施工可能
	気温	△ 10～35℃

5. 施工性の確認（現地試験）

(1) 施工箇所と条件等

当て板工法とゴムシート工法を同じ上向きの施工条件で比較を行うため、JR東日本管内の廃地下道にて現地試験を実施した。現地試験はそれぞれ幅300mm長さ2,000mmとした（図-6）（図-7）（図-8）。

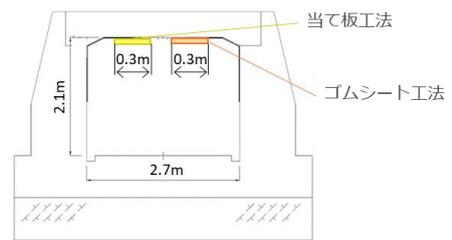


図-6 施工箇所断面図

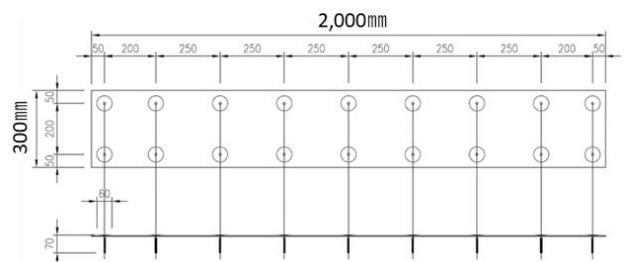


図-7 ゴムシート工法標準図

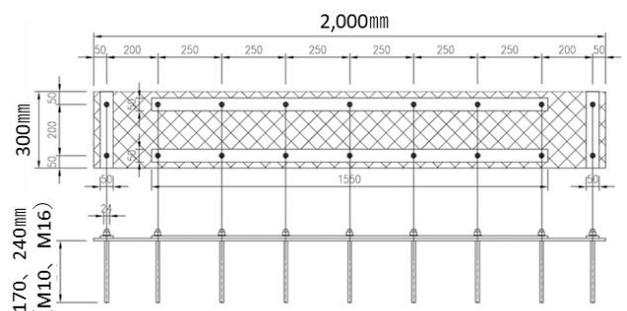


図-8 当て板工法標準図（メッシュ材）

### (2) ゴムシート工法の施工手順

ゴムシート工法の施工手順は、①素地調整、②接着剤塗布、③ゴムシート貼付け、④アンカーピン設置用の削孔、⑤アンカーピン打設となる（図-9）。



図-9 ゴムシート工法施工手順

### (3) 施工時間の比較

当て板工法とゴムシート工法における各作業の施工時間の比較を図-10に示す。特にアンカー削孔径の小型化および削孔延長の縮小により、施工時間が短縮された。

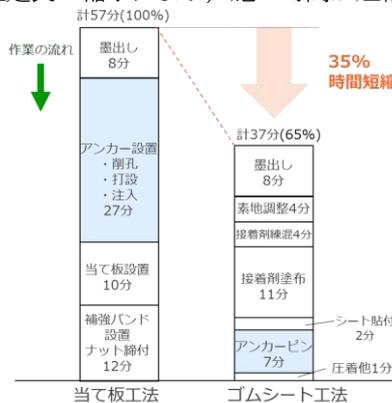


図-10 施工時間の比較

### (4) 工事費の比較

当て板工法とゴムシート工法の工事費の比較を図-11に示す。材料費は当て板工法より、少し安価な程度だが、作業時間が短縮されることから、特に軌道モーターカーと足場台車による連続施工が可能な場合は、25%程度コストダウンが見込まれることがわかった。仮設の組立足場の場合は、作業箇所ごとに組立運搬撤去を繰り返す時間を要するため、作業時間の短縮効果は15%程度と見込んでいる（図-11）。

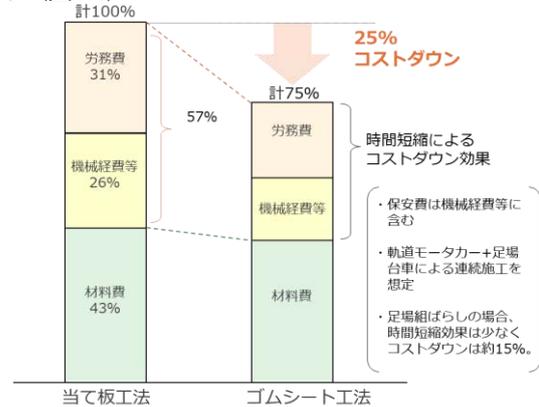


図-11 工事費の比較

## 6. まとめ

ゴムシート工法は低温時の施工が困難ではあるが、湿潤面にも適応可能で施工性に優れた工法である。今後、高速走行区間の継目部における列車通過時の負圧による疲労耐久性を確認する予定だが、一般部の全面接着箇所や高速走行区間外には適用可能な工法と考えている。

### 参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道株式会社：土木工事標準仕様書，pp. P20-6-7, 2020.
- 2) 大久保弘史：ゴム材料の環境劣化と対策，日本ゴム協会誌，pp.58-64, 第58巻，第12号，1985.
- 3) 高野吉孝：加硫ゴムのオゾン劣化概論，日本ゴム協会誌，pp.36-48, 第40巻，第4号，1967.

## DEVELOPMENT OF TUNNEL REPAIR METHOD USING RUBBER MATERIAL

Akihiro TAKIZAWA, Koichiro MIZUNO and Hiroyuki TANAKA

The joint of the tunnel lining is the structural weak point where defects are likely to occur due to construction. JR East conducts countermeasures against falling of concrete lining at joint such as the plate method. The plate method is applied to the tunnel lining fixed with anchors against falling. The repair work of the railway tunnel is required within a short period of time after and before train operation. The plate method requires time to be conducted, because we take time to place anchors upward on tunnel lining. Therefore, JR East was required to develop the new technique against falling of concrete. In this report, we describe the development of countermeasure using high durable fluoroelastomer material, and achievement of improvement of workability, reduction of work duration, and reduction of size of anchors applied to the new technique.