

トンネル内装シートの開発

加古昌之*¹

概 要

東日本旅客鉄道株式会社では、東日本大震災により被災した気仙沼線・大船渡線を復旧するに当たり、暫定措置として BRT（バス高速輸送システム）化をはかることとなった。早期に BRT 化をはかるため、被災の激しい鉄路は一般道を使用し、被災が軽微な鉄路はバス専用道とし整備する計画とした。

計画されているバス専用道にはトンネルがあり、ここをバスが運行するための課題として、列車走行では問題視されなかったトンネル壁面の視認性向上が必要となった。

通常は、道路トンネルの場合、視認性向上対策として、内装版や光輝性の塗装などを施すことが多い。しかし今回、BRT 化を施工するに当たり、構築より数十年経過し漏水箇所が多いこと、早期施工を迫られていることなどにより、一般的な内装版や塗装では対処が困難なことから新しい対策方法が求められた。

キーワード：BRT 化，トンネル内装工，視認性向上，漏水対策，早期施工

DEVELOPMENT OF TUNNEL WALL REFLECTION SHEET

Masayuki KAKO *¹

As part of its efforts to restore transportation services on the Kesennuma and Ofunato lines, which were damaged in the Great East Japan Earthquake, the East Japan Railway Company (JR East) decided to adopt a BRT (Bus Rapid Transit) system as a provisional means. In order to introduce the BRT system as swiftly as possible, plans were made so that for sections of railway that were severely damaged, BRT service will be operated on general roads running in parallel with them, and for the railway section suffering less damage, the service on the bus roads converted from such railways.

The planned designated bus roads include tunnels, and it became necessary to improve the visibility of the tunnel walls, a task that was not considered an issue in train travel operations, but had to be cleared in order to enable bus traffic through the tunnels.

In the majority of cases, visibility of walls in road tunnels is generally achieved by applying cladding panels or photoluminescent paint. In this project for introduction of a BRT system, however, several decades had passed since the construction of the tunnels and there were numerous water leaks. Furthermore, construction had to be implemented rapidly. Due to these factors, it was difficult to improve tunnel wall visibility through standard methods such as application of ordinary cladding panels or paint, so it became necessary to develop a new method.

Keywords: BRT system, Tunnel cladding work, Improvement of visibility, Leak prevention, Rapid construction work

*1 Manager, Civil Engineering Planning Department, Civil Engineering Division

トンネル内装シートの開発

加古昌之*¹

1. はじめに

東日本旅客鉄道株式会社では、東日本大震災により被災した気仙沼線・大船渡線を復旧するに当たり、暫定措置として BRT（バス高速輸送システム）化をはかることとなった。早期に BRT 化をはかるため、被災の激しい鉄路は一般道を使用し、被災が軽微な鉄路はバス専用道とし整備する計画とした。

計画されているバス専用道にはトンネルがあり、ここをバスが運行するための課題として、列車走行では問題視されなかったトンネル壁面の視認性向上が必要となった。

通常、道路トンネルの場合、視認性向上対策として、内装版や光輝性の塗装などを施すことが多い。しかし今回、BRT 化を施工するに当たり、構築より数十年経過して漏水箇所が多いため塗装までの事前作業が多くなること、トンネル区間の施工延長が 7.5km と長距離ながら早期施工を迫られていることなどにより、一般的な内装版や塗装では工程への対処が困難なことから新しい対策方法が求められた。

2. トンネル内視認性向上材の要求性能

上記課題を解決するため、素材から開発する必要があると考え、発注者が要求する性能を確認したところ以下の通りであった。

- ・不燃性・有毒ガスが出ないこと
- ・初期反射率 $\geq 60\%$
- ・漏水（排水）処理が可能
- ・耐候性（トンネル坑口部）
- ・調達期限が 2 ヶ月程度

また、施工方法についても早期施工と、東北地方の職人不足を考慮し、特殊技能が必要でなく、簡易な工法であることが求められた。

これらのことを考慮し、シート状の素材をア

ンカーで固定する施工方法が効果的であると考えた。また調達期限を考慮し素材は既存の生産ラインを持ったものを改良することとした。

3. 素材の改良

そこで、材料開発ならびに試験施工まで終了した SC プレート（難燃性ポリプロピレン中空板を用いたはく落防止材）の素材が最も有効であると考え、これを改良することとした。しかし SC プレートは、ポリプロピレン中空板でエンボス状に加工された中間体と、これを両面から挟み込む 2 枚の平板からなっており、色相もグレーであるため、SC プレートでは反射率および、排水性能、トンネル不陸への追従性については性能を満足できない。よってこれらの性能を満足する材質に改良することが必要となった。

3. 1 不燃性・有毒ガスが出ないこと

本シートの基本材料となる SC プレートは、NEXCO3 社の試験法 731 自己消化性・延焼性試験、およびガス有害性（財団法人日本建築総合試験所制定「耐防火性能試験・評価業務方法書」4.10 不燃性能試験・評価方法）の基準に適合している。

なお、本シートと SC プレートとは全く同じ構成ではないが、樹脂量が 1250g/m^2 から 750g/m^2 に減少していること、難燃剤の混合率が変わらないことを勘案し、SC プレートのガス有害性試験結果を準用することとした。

一方、SC プレートで実施した、NEXCO の延焼性試験方法は、はく落対策としての観点よりトンネル肩部を想定し、炎と供試体の角度は 45° である。しかし、視認性対策としてのシートはトンネル垂直面に設置されるため、炎と供試体の角度を 0° と 90° に変更して簡易

* 1 土木本部 土木企画部 技術企画グループ グループリーダー

的に延焼性試験を実施した（表-1、写真-1）。

表-1 延焼試験データ

試験体 SSC-5-705WH-FR	着火点	燃焼時間 (秒)	消炎 時間 (秒)	試験体延焼範囲	
				左右方向 (mm)	上下方向 (mm)
下端より300mm 90°で着火	1	75	0	160	120
	2	60	0	160	180
下端より0° で着火	3	136	0	230	200
	4	140	0	220	350
	5	240	0	320	550
	6	70	0	110	100



写真-1 延焼状況

3.2 初期反射率 60%以上

ポリプロピレン樹脂は着色が容易であることから初期反射率 60%以上を確保するため、反射率の高い白色化を図った。ただし、難燃剤などの添加物も加わることで、反射率確認のため標準白石を用いた相対反射率を分光光度計で測定した。

その結果、可視光線領域では平均 70%以上を示し、規格値 60%以上の反射率であることが確認された（図-1）。

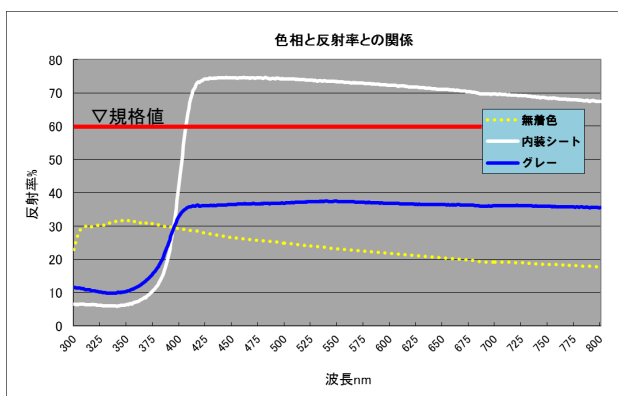


図-1 反射率測定結果

また色相としては CIELAB 表示で $L^*88.52$, $a^*-0.84$, $b^*-0.83$ となりほぼ白色といえる結果となった。これらの試験データより初期反射率は満足のいく材質であることが確認できた。

3.3 漏水(排水)処理が可能

本シートの形状は、ポリプロピレン中空板の一部を除去したものである。本来のポリプロピレン中空板は千鳥状に配置されたエンボス状の中間体を両面から平板で挟み込む構造となっている。この平板1枚を除去し、エンボス状の中間体を覆工面に配置することで、通水可能な空間を確保でき、かつ平板側をトンネル内方に配置して、本シート内面で排水を行う構造となっている（写真-2）。

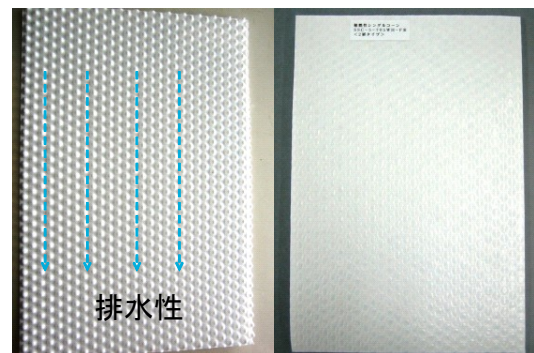


写真-2 内装シート裏面と表面形状

3.4 耐候性(トンネル坑口部)

本シートはポリプロピレンが主材であるため、長期暴露による紫外線劣化を引き起こす。そのため、紫外線の影響があるトンネル坑口部分では、紫外線透過率の低い耐候性塗料を塗布することとした。

しかし、ポリプロピレン樹脂は濡れ性が悪く、通常では塗装剤が塗布できない。この対策として、シート成型時平板部に、コロナ処理を行い、濡れ性の向上を図った。

表-2 付着性確認

	コロナ処理無し	コロナ処理有り	
		40dyn/cm	46dyn/cm
写真			
拡散反射率	76.23%	77.46%	
テープ試験			
	NG	合格	合格

コロナ処理した塗布面には、透明で紫外線遮蔽率の高い、ハルスハイコートクリアを用いることとした。付着性確認はセロハンテープの引きはがし方法により行った（表-2）。

3.5 調達期限ほか

製造ラインは既製のものを利用できるように、2ヶ月で製造可能であった。また、運送効率等を考慮し、荷姿は30mロールとした。幅は施工高さ2.5mの半分の1.25mとした。

4. 強度試験

本シートの強度特性とアンカーピッチとの関係を確認するため、強度試験を実施した。

シートを取り付ける、アンカーピッチについては、バス走行による風の巻き込みにより、シートが破断しないようにする必要がある。このため、シートの硬度や施工性を考慮し、図-2に示すピッチを想定し、シートの引き抜き試験を実施した。引き抜き試験体は、1000×777mmに縁端距離30mmを四方に加えた1060×837mmのシートを用いた。

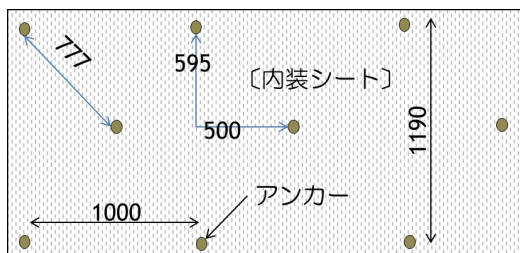


図-2 アンカー配置図

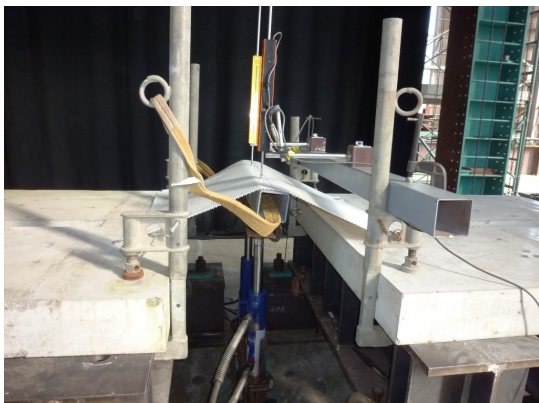


写真-3 シート引き抜き試験状況

引き抜き試験は、シート中央部に長さ100mmの角鋼管を押し当てこれを下方からジャッキで押し上げ（写真-3）、シートが破断するまで載荷した。供試体は3体としその平均値で評価した。表-3に引き抜き試験の結果として荷重値と変位量を示す。

表-3 引き抜き試験結果

試験体No	最大荷重 (kN)	変位量 (mm)	載荷速度
1	0.6	175.4	10mm/分
2	0.53	163.98	25mm/分
3	0.57	170.54	25mm/分
平均値	0.57	169.97	

シートにかかる風荷重は以下の式で求めた。

$$PD=1/2 \cdot \rho / g \cdot v^2 CD \cdot A \quad (1)$$

ρ : 気流密度

g : 重力加速度

v : 風速

CD : 抗力係数

A : 気流直交面の投影面積

以上のうち、 $\rho / g = 1.225 \text{ N} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^4$ 。BRTバスの最大速度は60km/h (17m/s)であることから、 $v = 17 \text{ m/s}$ 。CDは最大の状況を想定し、CD=2.0とする。

これにより単位面積あたりの風圧は

$$PD = 1/2 \cdot 1.225 \times 17^2 \times 2.0 = 354 \text{ N/m}^2$$

となる。

また、実測値データとして、トンネル断面形状に違いはあるが、車両走行によるトンネル内の風圧を測定したデータとして文献1)がある。ここでは、トンネル出口に設置した吸音板が受ける風荷重を実測しており、列車が通過する直前の正圧と、通過後の負圧の最大値は1800Paであったが、他の実験データなども考慮し、3000Paとしている。

風圧は速度の二乗に比例することから、新幹線通過速度を210km/hとすると、バス速度

60km/h の場合は、

$$PD=3000\text{N/m}^2 \times (60/210)^2 = 245 \text{ N/m}^2$$

と算定されることになる。

これらを比較すると、計算式の風荷重の方が大きなことから、要求性能としては、計算式の数値を用いることとする。

今回の実験で得られた最大荷重の平均値は 0.57kN、試験体面積が 0.777m² のため

$$P=0.57\text{kN} \div 0.777\text{m}^2 = 733\text{N/m}^2$$

となり、計算値が 354N/m² であることからシートは要求性能の 2 倍程度の風荷重に対し安全であることを確認した。

また、アンカー 1 本にかかる荷重は、

$$0.57\text{kN}/4 \text{ 本} = 0.143\text{kN}(143\text{N})/\text{本}$$

$$(354\text{N/m}^2)/(143\text{N}/\text{本}) = 2.47 \text{ 本/m}^2$$

より 10m² あたり 25 本以上打設すればよい。

5. 施工性試験

素材の性状確認と強度特性データを考慮し、現地にて施工性確認を行った（写真-4）。



写真-4 アンカー形状とシート貼付状況

本シートのトンネル壁面への取付け方法は、φ6mm×L70mm コンクリート用 P レス(ねじ込み式)アンカーとφ40の座金を用いる方法とした。これは BRT そのものが仮設路線との前提であるため、軌道に復旧時シートも撤去が容易となるように考慮したものである。

施工性試験により判明した点として

- ①覆工の不陸が大きいののでしわの発生は否めず、極力柔軟性を出すようシートを改良。
- ②1 ロール 30m では覆工面の不陸により、しわが多発するため、10m で提供。

③現地ではロールで提供されたものを平積みにして、製品自体のしわ取りを行う。

④アンカーピッチは当初案より狭い 50cm ピッチでも打設したが、よりしわが増え、施工性が悪くなることから、当初案のアンカーピッチで実施することとした。

6. まとめ

要求性能を満足する材料を期間内に開発し、施工性試験により施工性も良好であることが確認できたため、採用の運びとなった。

本開発により、BRT トンネル視認性向上に要した価格は当初の 2/3 にコスト低減でき、工期も 1/2～1/3 程度の結果を得ることができた。これは、長年の SC プレート等の開発が基礎となっていたことがあげられる。本シートは現在約 7.5km にわたり採用され、供用を開始している。

また視認性の効果については、バス運転手にヒアリングしたところ好評であった。

以下に内装シートの敷設状況と BRT バスから見たシートの視認性状況を示す（写真-5、写真-6）。



写真-5 内装シート敷設状況



写真-6 BRT バスからの視認性

謝辞

本シートの開発にあたっては、共同開発者の宇部エクシモ(株)岩井氏、現地および発注者との調整にあたって頂いた当社、東北支店 BRT 推進部ほか各関係者の支援を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 緒方正剛ほか：新幹線トンネル出口騒音の低減に関する研究，(独)交通安全環境研究所，平成 16 年度研究発表