

漏水シート工法の在来線トンネルへの適用性検証

○西日本旅客鉄道（株） 正会員 野町和平

1. 緒論

(1) はじめに

鉄道トンネル内で発生する漏水は、放置すると安全安定輸送を脅かす事象（例えばレール折損）の原因となるので適切な対処が必要である。当社の山陰線にあるレンガトンネル（以下、当該トンネルと呼ぶ）において、標準的な漏水樋工法では建築限界までの余裕量（以下、内空余裕量と呼ぶ）が不足するために施工が困難であり、漏水対処に苦慮していた。

そこで本研究では、当該トンネルへの設置を目的として、「漏水シート工法（以下、本工法と呼ぶ）」の適用性を検証したので報告する。

(2) 本工法について

本工法の構造は、ポリエチレン製のシートを抑え金具、パッキン材及びアンカーボルトによりトンネル覆工に固定するものである。本工法は、道路トンネルで一般的に使用されているが、鉄道トンネルでの使用実績は少なく、適用性を検証した事例はほとんど報告されていない。本工法に必要な内空余裕量は30mmで、標準的な工法に必要な60mm程度より小さいことから、内空余裕量が少ないトンネルにおいて本工法の適用が期待される。

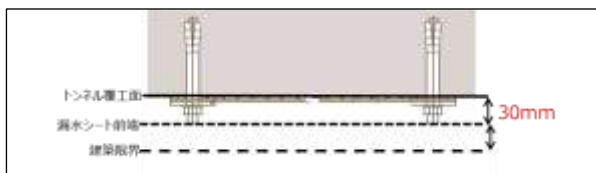


図.1 本工法の断面図



図.2 本工法の全景

(3) 本工法に要求される性能

本工法は、鉄道トンネルへの適用性について検証した報告がほとんどないことから、本研究では、本工法の要求性能を施工性、耐久性及び耐風性等とし、これらの要求性能の検証結果をもって、当該トンネルへの適用性を評価することとした。

2. 要求性能の検証内容及び結果

(1) 施工性の検証

覆工表面に凹凸がある箇所において、覆工に追従して問題なく施工できる性能が必要である。検証方法として、廃線トンネル（レンガ覆工）のアーチ部に本工法を施工し、内空余裕量への影響を測定した。この結果、標準的な設置間隔（覆工断面方向4m×線路方向1m）では覆工の凹凸に追従できずシートにたるみが生じることがわかった。このたるみを測定したところ、施工前と比較して施工後で最大44mm内空余裕量を縮小していることがわかり、対策が必要となった。そこで、本工法にフラッターを増設（線路方向0.5mの位置）することで、このたるみを解消することとした。結果として、内空余裕量の縮小量は、冒頭で示した30mm（アンカーボルト突出量）に収まることわかった。

(2) 耐久性の検証

トンネル内での列車風や乾湿等の作用を繰り返し受けても材料劣化が生じない性能が必要となる。検証方法として、設置を目的とするトンネルでの風圧に対する検証と鉄道トンネルでの先行事例箇所の経過観察を行った。

前者は、施工箇所数2箇所、設置面積を各2m×1mとした。対象とする在来線トンネルは、列車運転速度が100km/h程度、列車本数が74本/日である。検証必要期間は、本工法の施工想定箇所の2年間分（省令による定期検査の周期と同等）の列車本数が約19万本であることから、2万本の列車を受けるために最低9か月とした。

後者は、施工から18年が経過した本工法の施工箇所（施工面積760m²）に対して目視確認を行った。

以上の結果、本工法を構成するシート、抑え金具、パッキン材及びアンカーボルトのいずれにも変状は認められず健全な状態であった。

(3) 耐風性の検証

トンネル内で列車風等の繰り返し作用を受けた際にたわみにより内空余裕量を縮小しない性能が必要となる。本工法は、材料の特性上非常にたわみやすいため、この性能を満足することが特に重要である。検証方法として、在来線のトンネルで実際に発生する風速を測定し、その風速を圧力換算した後、室内試験にてこの圧力を載荷させた状態でシートのたわみ量を測定した。

a) 在来線トンネルでの列車通過時の風速測定

対象とするトンネルは、在来線の2つの単線トンネル

とした。列車通過時のトンネル内風速の測定方法は、風杯方式の風速計をトンネル内に設置し測定した。図.3は列車通過前後のトンネル内風速測定結果を示したものである。合計8本の列車通過時に測定した結果、トンネル内の風速は自然風及び列車からの影響を受けており、その最大値は12m/s程度であることがわかった（既往研究から理論的に算出した風速は35m/s程度）¹⁾。

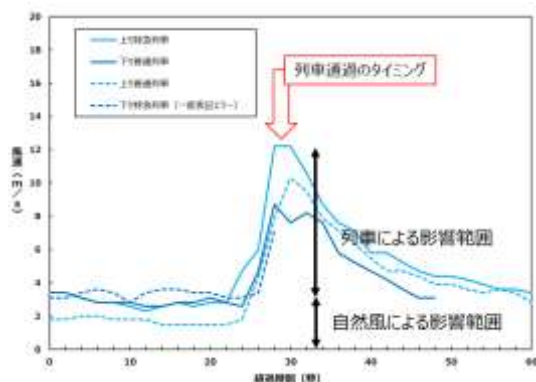


図.3 在来線トンネル内風速測定結果

b) 測定風速から圧力への換算

室内試験で載荷する圧力は、以下の式により算出した。

①風速 V_z = 列車による風 15m/s × 安全率 2 + 最大自然風 (列車運転規制値) 25m/s = 55m/s

②風圧 = $0.5 \times \rho \times V_z^2 = 0.5 \times 1.25 \times 55^2 = 1,890\text{N/m}^2 = 1,900\text{N/m}^2$

③室内試験の載荷圧 = $1,900\text{N/m}^2 = 1,900\text{Pa} = 1.9\text{kPa} \approx 2.0\text{kPa}$

c) 載荷圧試験の実施

載荷圧試験は、本工法で使用するシート (0.5m×0.5m) を架台に密着してセットし、下から圧縮空気を送り込み、シートのたわみ量を変位計で測定した。この測定結果は、図.4に示す通りである。

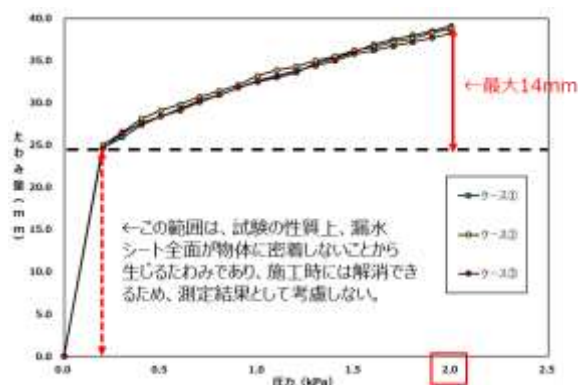


図.4 載荷圧試験によるたわみ量と圧力の関係

載荷圧試験は、同じ材料を用いて繰り返し3回行った。この結果、想定されるたわみ量は、最大で14mmであった。この14mmとシートの厚み4mmを加算した値18mmは、アンカーボルト突出量30mm以下となった。

(4) 耐熱性の検証

本工法が外部からの熱影響により変形しても内空余裕量を縮小させることがない性能が必要となる。検証方法として、トンネル内で気動車が停車した場面を想定し、車両の排気口直上に本工法を設置し (図.5)、経時的なたわみ量を測定した。

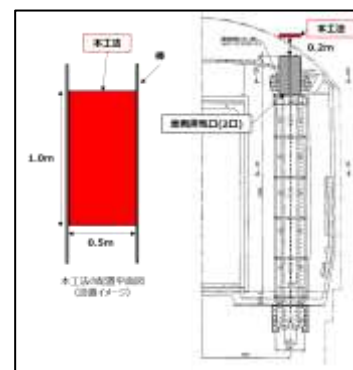


図.5 キハ189系車両断面図 (本工法の設置状況)

使用した気動車は、キハ189系であり、アイドル留置した状態で測定を行った。本工法と排気口の離隔距離は、建築限界と車両限界の最小差 (0.2m) に設定した。参考値として、本工法のシート表面の温度を、赤外線カメラ及び放射温度計を使用して測定した。

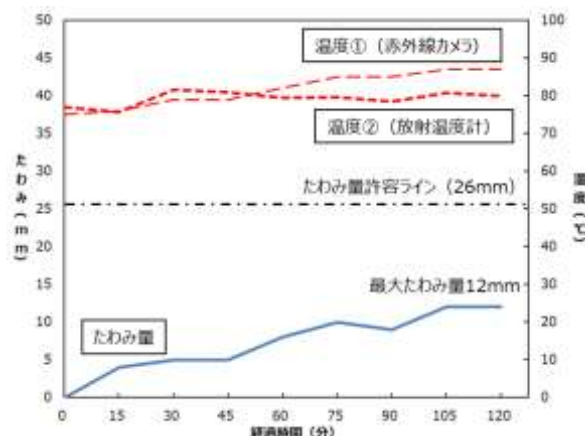


図.6 気動車排気熱によるたわみ量の推移

検証結果は、図.6に示す通りである。図に示すように、120分後の本工法のたわみ量は12mmであった。この12mmにシートの厚みを加算した値16mmは、アンカーボルト突出量30mm以下となるため、漏水シートは、排気熱の影響を受けた場合でも内空余裕量に影響せず、耐熱性を満足することが分かった。また、漏水シートは、排気熱除去後、元の状態 (たわみ量0mm) に戻った。

3. まとめ

本工法は、内空余裕量が小さい当該トンネルにおいて適用できることがわかった。設置後は継続的な確認を実施することを考えている。

謝辞：(株) ケー・エフ・シー様には載荷圧試験の実施等で大変お世話になりました。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岡野法之他：列車風によるトンネル付帯構造物への影響に関する研究，鉄道総研指定課題，2013

以上