

レンガトンネルにおける表層剥落に関する対策工法の検討

J R東日本 正会員 根橋 和也
J R東日本 宮川 保教

1. はじめに

J R東日本八王子支社では、延長 14,675m のレンガトンネルの保守管理を行っている。その経年は 100 年を越え、レンガ覆工の表層剥離や目地モルタルの劣化が発生しており、その対策としてモルタル吹付による覆工被覆およびトリカルネットの取付等を施してきた（図1）。トンネルアーチ部での剥落事象は、運転保安に影響を与える事故につながるため、確実な対策を施していく必要がある。そこで、本研究では現状の剥離剥落対策として用いているトリカルネット工法に着目し、耐力・施工性・経済性の検討から、効率的かつ効果的な対策工法の確立に向けた取組を行った。

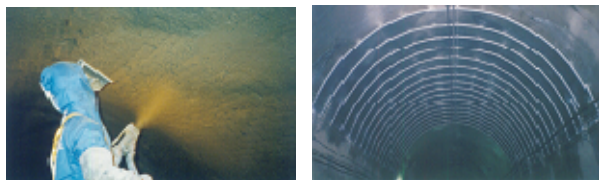


図1 モルタル吹付(左)及びトリカルネット(右)

2. レンガ覆工剥離剥落対策の現状

レンガトンネルにおける施工の特徴として、1) き電停止間合い（約 2 時間）の関係から、施工性がよい工法を用いざるをえない、2) レンガトンネルは狭小トンネル（特認済）であり、特にアーチ部に施工する対策工法が限定される、3) レンガ覆工表層の剥落原因が明確でないため、抜本的な対策を施せない、等が挙げられる。

これらを踏まえ、現状ではトリカルネット工法を剥離剥落対策工法として用いている。しかしながら、この工法は、レンガ覆工に対するネット施工時のアンカーの信頼性及び施工性の更なる改善に課題が残るものである。

現在、トリカルネット施工に使用しているアンカーは、樹脂硬化時間やアンカー施工時間等に課題がある。そこで、種々の試験を実施し、接着系アンカー耐力の施工性及び信頼性を検討することとした。

3. 接着系アンカーの設計引抜強度の算出

3-1 接着系金属拡張式アンカー

今回、試験に用いたアンカーは、金属拡張式アンカー(図

2)である。このアンカーは、施工直後の初期耐力を拡張アンカーの性能で、アンカーの設計耐力を樹脂で発現させるものである。

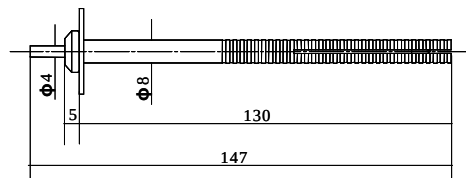


図2 金属拡張式アンカー（JP-813）概要図

3-2 レンガ母材に対する設計引抜強度の算出

レンガ母材に対する対策工の設計基準強度が存在しない。そこで、鉄道総研の研究結果より、レンガ母材に対するアンカーの設計強度を算出し、引抜試験結果の検証を行うこととした。

鉄道総研の研究より、目地強度に関わらず、レンガ母材に対するアンカー耐力は、1) 母材強度に支配、2) 対コンクリート用の設計式により評価可能、という知見が得られている。また、母材強度の試験（コア採取法&シュミット法）より、レンガの母材強度は $12 \sim 15 \text{ N/mm}^2$ であることが分かった。これらの結果を引用し、式1から、接着系アンカーの設計引抜強度を 11.8 kN と算出した。この結果を用い、引抜試験結果を検証する。

式1 注入型接着アンカー設計引抜耐力

「あと施工アンカー設計マニュアル」 J R東日本

$$\text{引抜耐力 } P = 0.44 \times \pi \times \phi \times (D + 5.5\phi) \times \sigma_c + 0.32 \times \pi \times D \times (\lambda_{ad} - 4\phi) \sigma_c^{2/3}$$

λ : 穿孔深さ(mm)、 ϕ : アンカー径(mm)

D : 削孔径(mm)、 σ_c : 母材強度(N/mm^2)

λ_{ad} : アンカーの設計定着長(mm)

4. 接着系金属拡張式アンカー引抜試験

中央線深沢トンネル（廃坑）を試験トンネルに選定し、接着系アンカーの引抜試験を行い、その結果に対して上述した設計引抜耐力を基に評価を行った。

4-1 試験概要

今回行った接着系アンカーの性能試験では、アンカーの引抜耐力に与える① 施工面の影響、② 充填樹脂の効果、③ 充填樹脂の養生時間による効果、を検証した。これらの

キーワード：レンガトンネル、トリカルネット工法、接着系アンカー

連絡先：〒192-0073 東京都八王子市寺町 61 J R東日本八王子土木技術センター TEL0426-21-1291

試験により検証できる要因を以下に示す。

① 施工面の影響

穿孔した切粉状態により、乾燥状態・湿潤状態・レンガ表層部の剥離が激しい湿潤劣化状態の3種に区分し、施工面が与える引抜耐力への影響を検証する。

② 充填樹脂の効果 (表1 参照)

土木分野において主に用いられてきたエポキシ樹脂及びアクリル樹脂に加え、エポキシアクリレート樹脂の3種を用い、充填樹脂による引抜耐力の違いを検証する。また、ウレタンメタクリルを主材とする中空母材用樹脂及び寒冷地仕様樹脂を用い、新型樹脂や施工時温度による樹脂管理について検証する。

表1 使用樹脂材料比較表 (メーカカタログより)

樹脂	湿潤面	使用温度範囲			樹脂硬化時間		
		-10℃	0℃	10℃	-10℃	0℃	10℃
エポキシ系	○	×	×	○	×	×	16h
アクリル系	○	○	○	○	2.5h	1h	0.5h
エポキシアクリレート系	○	×	○	○	×	4h	3h

○：使用可、×：使用不可

③ 充填樹脂の養生時間による効果

トリカルネット施工後、初列車通過までに十分な強度を発現する必要がある。そこで養生時間3時間後及び24時間後での引抜強度を比較した。

4-2 試験結果

① 金属拡張式アンカー単体の定着耐力

施工面による拡張式アンカー単体の引抜試験の結果を表2に示す。上述した拡張式アンカー設計耐力と比較すると、湿潤面及び湿潤劣化面において課題があることが分かる。

表2 拡張式アンカー単体引抜強度

施工面	乾燥面	湿潤面	湿潤劣化面	吹付面
引抜強度 (kN)	16.9	8.7	8.0	11.4

拡張式アンカー設計強度 11.8kN

② 樹脂併用時の定着耐力

拡張式アンカー単体で引抜耐力に課題のあった湿潤面及び湿潤劣化面に関し、樹脂併用時の養生時間・充填樹脂による引抜強度を示したものを表3に示す。なお、アンカー単体で十分な引抜強度を発現した乾燥面に関しては、樹脂併用時において、アンカー単体以上の引抜強度（養生時間24hで平均23.3kN）が確認された。

表3 拡張式アンカー樹脂併用引抜強度(kN)

施工面	養生時間 (h)	充填樹脂				
		エポキシ系	アクリル系	エポキシアクリレート系	中空母材用	寒冷地仕様
湿潤面	1.5	-	-	-	22.1	25.8
	3.0	9.4	14.4	21.9	-	-
	24.0	26.9	23.5	24.4	-	-
湿潤劣化面	1.5	-	-	-	16.4	22.3
	3.0	9.3	10.1	17.2	-	-
	24.0	13.2	10.1	24.3	-	-

4-3 まとめ

4-2 試験結果より、以下のことが考えられる。

- ・ 湿潤面及び湿潤劣化面に関し、エポキシ系樹脂では初期強度の発現が見られない。
- ・ 湿潤劣化面に関し、アクリル系樹脂では養生時間に関わらず、設計強度の発現が見られない。
- ・ エポキシアクリレート系、中空母材用、寒冷地仕様樹脂に関しては、設計耐力を十分に発現する。

この結果より、湿潤面及び湿潤劣化面では、エポキシアクリレート樹脂等を用いる必要があることが分かった。

5. 接着系拡張式アンカーの施工性、経済性比較

5-1 接着系拡張式アンカーに関する施工比較

従来用いていたアンカーとの施工性を比較すると、1m²当りの平均施工時間は、約34分から約23分へと減少しており、打ち込みによる初期強度の発現が期待できる拡張式アンカーの利点が確認できる。

5-2 充填樹脂に関する経済性比較

引抜試験に用いたアンカー+樹脂の単価を表4に示す。表3及び表4よりエポキシアクリレート樹脂の有効性が確認できた。一方、良好な試験結果の得られた中空母材用や寒冷地仕様の充填樹脂一式の単価は、やや割高なものとなっている。しかしながら、表1より施工温度0℃以下の条件下における使用樹脂として寒冷地仕様樹脂の必要性も考えられる。

他のトンネルにおける検査結果では、坑口から400m程度でトンネル内温度が一定になることが確認できている。この結果より、外気温に影響を受けにくい、坑口から400m以上離れた箇所でのトリカルネット施工時において、エポキシアクリレート樹脂使用が有効であると言える。

表4 拡張式アンカー+樹脂の1式当り単価 (円)

	エポキシ系	アクリル系	エポキシアクリレート系	中空母材用	寒冷地仕様
単価 (1式)	686	677	682	872	963

6. 結論および今後の課題

これらの試験結果を踏まえ、平成16年9月より、トリカルネットの施工は全て金属拡張式アンカーを使用している。また、乾燥レンガ面におけるトリカルネット施工において、現在用いられている接着系樹脂アンカーが十分な強度を発現することが確かめられた。一方で、湿潤面及び湿潤劣化面においては、温度・経済性の点から、樹脂の選択を再考していかなければならないことが分かった。

今後の課題として、湿潤吹付面等、実際の施工計画に適した施工面での試験を行い、有効かつ効率的なレンガトンネルに対する剥離剥落対策の確立を目指していくこととしたい。