

モルタル吹付けによるトンネル補強の性能評価

岩井 孝幸¹・森 康雄¹・緒方 明彦²・佐藤 孝一³

¹正会員 株式会社熊谷組 土木事業本部土木技術部リニューアルグループ (〒162-8557東京都新宿区津久戸町2-1)

²正会員 株式会社熊谷組 土木事業本部土木設計部地質・基礎グループ (〒162-8557東京都新宿区津久戸町2-1)

³株式会社熊谷組 技術研究所 建設技術研究部建設材料研究グループ (〒162-8557東京都新宿区津久戸町2-1)

キーワード： はく落防止, トンネル覆工, 押抜き試験, モルタル吹付け, FEM解析

1. はじめに

近年, 供用開始から数十年経過している鉄道トンネルにおいても覆工コンクリートの劣化が進行しており, コンクリートのはく落が懸念されている. 筆者らは, 供用中の鉄道トンネルの補強工事を想定し, 劣化した既設トンネル覆工コンクリートのはく落防止対策として, 覆工表面への部分的なモルタル吹付け工法 (吹付け厚: 3cm) の性能を確認するために室内実験・解析を行った.

2. 概要

急結性のポリマーセメントモルタルを吹き付けるはく落防止工法の施工性, 安全性, 耐久性について室内実験及び解析をもとに検討した.

a) 施工性の確認

一層あたりの限界吹付け厚さ, コテ仕上げ性能, リバウンド率, 施工速度等をもとに効率的なモルタル吹付けの可能性を比較検討した.

b) 安全性の確認

営業している鉄道トンネルにおける施工では, 列車通過に伴う振動, 風圧力により吹き付けたモルタルの剥がれ, 脱落など第三者への安全性を確保するために覆工コンクリートとモルタルの付着強度の経時変化を確認した.

c) 補強効果の確認

覆工コンクリートのはく落荷重に対する強度確認のために押抜き強度試験を実施した. この結果をもとに, トンネル (円弧状の構造物) におけるモルタル吹付けの耐荷力を三次元 FEM により解析した.

3. 施工性および安全性確認試験

(1) 試験概要

a) 使用材料および配合

吹付け材料は表-1 に示す 3 種類で試験した.

表-1 使用材料

材料	材料の仕様
A	モルタル : 補修用吹き付け材 (ポリマー: SBR 系ラテックス)
	急結材 : アルミン酸アルカリ系液体急結剤
	流動化剤 : メチロールメラミン系流動化剤
B	モルタル : ポリマーセメントモルタル
	急結材 : アルカリフリー液状急結剤
C	結合材 : 高アルカリ型の速硬型特殊セメント
	ポリマー : SBR 系ラテックス
	混和剤 : 遅延系凝結調整剤

b) 試験方法¹⁾

800^W×1000^L×80^Tmm の鉄筋コンクリート板にφ3.2mm の溶接金網を固定した後, 上向きにモルタルを吹き付けた. 押抜き試験は圧縮試験機の上に吹付け試験体を設置して, 予め設けておいたコア部分を載荷した.

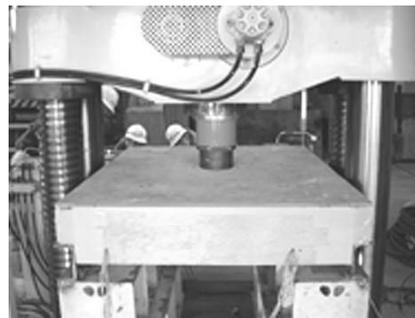


図-1 押し抜き試験状況

また, 地下鉄シールドトンネルにおいて電車通過時の振動と風圧力の変化を測定して, その計測値をもとに簡易的な振動実験等による吹付けモルタルの付着性に与える影響について検討した.

(2) 試験結果および考察

a) 材料試験

表-2 に材料試験結果を示す.

b) 簡易振動試験

電車通過時のトンネル内の負圧力の最大値は,

表-2 材料試験結果 (N/mm²)

		1hr	3hr	6hr	1day	3day	7day	28day	91day
ブルアウト／ 圧縮強度試験	A	0.31	0.75	1.5	13.1	—	32.0	44.4	—
	B	0.23	0.37	0.97	13.2	26.9	28.4	47.0	—
	C	0.0	0.2	0.5	38.3	50.8	52.8	80.7	—
付着強度試験	A				—	(0.06)	2.60	2.78	—
	B				—	(0.03)	2.10	2.22	2.49
	C				—	(0.02)	2.46	3.50	—

()内は推定付着強度：圧縮強度の1/12

-0.343kPa であり、最大加速度は 44.9Gal であった。

電車通過時のトンネル覆工に発生する負荷に相当する振動（約 600Gal）を棒状バイブレータによりモルタルを吹き付けたコンクリート板に作用させた。モルタルの付着強度試験結果を表-3 に示す。

モルタル吹付け 2 時間後の加振開始時にも、モルタルの肌落ちやひび割れなど表面上の変状はなく、時間の経過に伴う付着強度の低下も見られなかった。

表-3 付着強度試験結果 (N/mm²)

7日			28日		
付着強度	破壊形態	平均値	付着強度	破壊形態	平均値
1.76	K	1.35	0.81	K	1.29 (1.79)
1.40	K		0.78	K	
0.87	K		2.18	M	
		1.40	M		

K：基盤破壊
M：材料（モルタル）の引張破壊

c) 押し抜き試験

押し抜き試験結果を図-2 に示す。

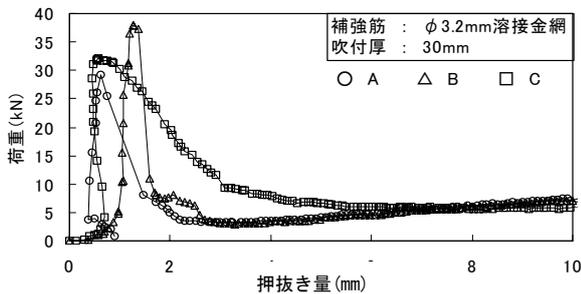


図-2 押し抜き試験結果

4. 補強効果の確認

モルタル吹付け工法の強度試験結果を踏まえ、トンネル覆工のはく落防止対策として適用した場合の安全性をFEM解析を用いて検証する。

(1) 検証方法

押し抜き試験用供試体は、構造が直線形状であるが、本工法の適用を想定するトンネル壁面は曲線となる場合が多い。ここでは、FEM解析を用いて、試験結果の検証と実構造物への適用を検証した。

(2) 解析モデルの検証と判定値の設定

押し抜き試験で用いられた試験体は、コンクリート製小型平板にモルタルを吹付けたものであったが、破壊に至る挙動は、コンクリート平板と吹付けモルタルの付着力が大きく、一体構造としてせん断破壊

した。したがって解析では、コンクリート平板と吹付けモルタルの間に境界要素は考慮しなかった。

(3) 解析結果の評価

解析結果を図-3 に示す。最も外側の破壊ひび割れと発生主応力の 0.75N/mm²（引張応力）のコンターラインがほぼ同じ位置である。実構造物への適用は、主応力（引張り応力）が 0.75N/mm² 以上発生した状態を限界状態と判断することとした。

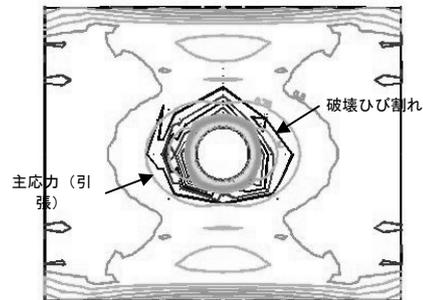


図-3 解析結果

(4) 実構造物への適用

実構造物への適用として、半径 4m、覆工厚 25cm のトンネルにモルタル吹付け(t=3cm)を行い、覆工が 50cm×50cm ではく落した場合を想定した。

解析結果を図-4 に示す。これによると、はく落周辺部における最大主応力は、吹付け面上側で 0.2N/mm²、下面で 0.26N/mm² で、限界応力と設定した 0.75 N/mm² に対し、約 1/3 となった。したがって、50cm×50cm のはく落荷重では吹付けモルタルは、破壊に至らないと考えられる。

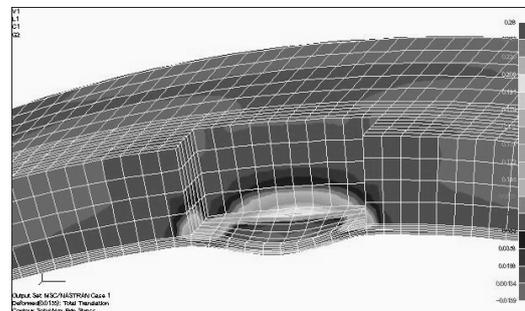


図-4 解析結果

5. まとめ

供用中の鉄道トンネル覆工のはく落防止を想定し、各種性能試験を実施し、材料Bが材料物性および施工性等の観点から最適な材料である。

モルタル吹付け 2～3 時間後の電車通過に伴う第三者に対する安全性が確保されることがわかった。

本工法は、コンクリートはく落が比較的小さい場合に有効であることが解析により検証できた。

参考文献

- 1) 吉川和行, 小島芳之, 六車崇司 : FRP によるトンネル覆工のはく落対策工への適用性評価 鉄道総研報告, RTRI REPORT, Vol. 16, No. 3, 2002. 3