

樹脂注入によるトンネル覆工ひび割れ補修に関する一考察

東海旅客鉄道（株） 正会員 丹間 泰郎 山内 公介  
 正会員 中西 巧 杉本 友伸  
 電気化学工業株 安東 敏弘

1. はじめに

トンネル覆工に発生しているひび割れが平成11年以降問題視されており、補修工法の一つとしてコールドジョイント等の比較的狭いひび割れへの樹脂注入が報告されている<sup>1)</sup>。一般的に無筋コンクリートのトンネル覆工の場合はひび割れが発生しても安全な構造体であるとされているが、近年コンクリート片の剥落対策も含め、覆工コンクリートの一体性を確保することを目的として樹脂注入によるひび割れ補修を実施している。

トンネル覆工のひび割れの中にはひび割れ幅の比較的広いものもあるが、この場合の樹脂注入の効果は明らかでは無い。本報告では比較的ひび割れ幅の広いモデル試験体を作製し、強度試験および注入性試験により樹脂注入の効果について検討したので以下の通り報告する。

2. 強度試験

2.1 試験体

表1に示す方法で作製したコンクリートまたはモルタルを使用して、図1(a)～(d)に示した形状の強度試験の試験体を作製した。試験体は樹脂注入面のサンドブラスト処理を行った後、一定厚み(1, 3, 5 mm)のスペーサーを介してアルミ粘着テープで固定し、スペーサーを取り外した後に所定量の注入材を注入した。注入材の効果養生は20 × 1週間とし、養生後に強度試験を実施した。

表1 試験体に使用したコンクリートおよびモルタルの作製方法

強度試験名	試験体に使用したコンクリートおよびモルタルの作製方法
圧縮ずり剪断強度	JIS A 5307 「コンクリート境界ブロック」に準ずる。圧縮強度40N/mm <sup>2</sup> 、曲げ強度6.5N/mm <sup>2</sup>
曲げ強度	同上
押し抜き剪断強度	JIS A 5305 「鉄筋コンクリートU型」の1種、呼び名300の蓋。曲げ強さ荷重10 kN
引張強度	JIS R 5201の9.4(供試体の作り方)による。曲げ強さ8 N/mm <sup>2</sup> 。

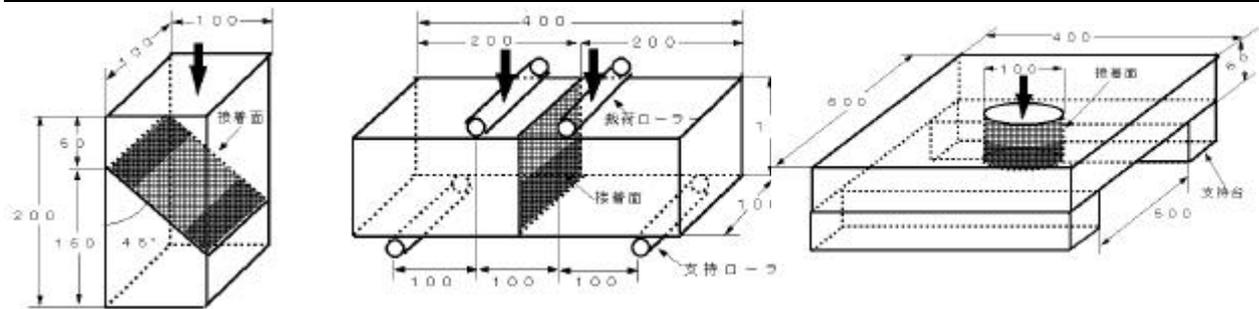


図1 (a) 圧縮ずり剪断試験体

図1 (b) 曲げ試験体

図1 (c) 押し抜き剪断試験体

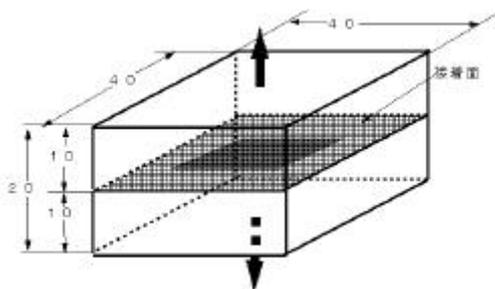


図1 (d) 引張試験体

2.2 注入材

従来、注入材としてはエポキシ樹脂が一般的に用いられてきたが、近年、短時間施工性、安全性を考慮して、アクリル樹脂が広く用いられ始めた<sup>2)3)4)</sup>。本実験では、表2に示す2液主剤型アクリル樹脂注入材を使用した。

注入材層の厚み1 mmおよび5 mmの試験体に関しては注入材の充填率100%とし、注入材の厚み3 mmの試験体に関しては充填率50%および100%のものを作製した。

表2 注入材の性状および特性

項目	性状および特性
主成分	変性アクリレート
粘度(20)	600 (mPa·s)
可使用時間(20)	30 (min)
硬化時間(20)	40 (min)
硬化収縮率	2.8 (%)
引張り強さ	29 (N/mm <sup>2</sup> )
圧縮強さ	84 (N/mm <sup>2</sup> )
曲げ強さ	43 (N/mm <sup>2</sup> )

キーワード) トンネル覆工、ひび割れ、樹脂注入

連絡先) 東京都中央区日本橋3丁目1番17号 TEL 03-3278-5910, FAX 03-3278-5975

2.3 試験および結果

表3に強度試験の荷重速度および試験結果を示す。

注入材層の厚み1～5mmの範囲では何れの試験でもコンクリートの材料破壊であり、アクリル樹脂注入によりコンクリートが一体化されていることから、充填率50%でもコンクリート剥落防止対策としては十分な効果があることが分かる。

また、注入材の充填率に応じた最大荷重を示すことから、構造体としての一体化を計る為には、ひび割れにはできるだけ高い充填率で樹脂を注入する必要がある。

表3 強度試験の条件および結果

強度試験名	注入材層厚み (mm)	充填率 (%)	荷重速度 (mm/min)	最大荷重 (N)	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	破壊状態
圧縮ずり剪断強度	1	100	1	38000	>26.4	圧縮によるコンクリート材破
	3	100	1	40400	>28.1	"
	5	100	1	38000	>26.4	"
曲げ強度	3	50	1	15030	>20.9	"
	1	100	1.5	2199	6.6	コンクリート材破
	3	100	1.5	2059	6.2	"
	5	100	1.5	2332	7.0	"
押し抜き剪断強度	3	50	1.5	524	1.6	"
	1	100	5	749	>0.40	曲げによるコンクリート材破
	3	100	5	649	>0.34	曲げによるコンクリート材破
	5	100	5	645	>0.34	曲げによるコンクリート材破
引張強度	3	50	5	734	>0.78	曲げによるコンクリート材破
	1	100	5	1097	6.9	コンクリート材破
	3	100	5	957	6.0	"
	5	100	5	911	5.7	"
	3	50	5	416	5.2	"

3. 注入性試験

3.1 試験体

注入性試験の試験体は図2に示す様に、10mm厚の透明アクリル板をスペーサー（1, 3, 5mm）を介して、表面を6号珪砂入り樹脂モルタルで粗度を上げた25mm厚の合板に固着して作製した。注入口兼空気抜き口の設置間隔は覆工厚みを想定したアクリル板の奥行き（=500mm）と同一とし、周囲はシール材でシールした。

3.2 注入材

注入材は強度試験で使用したものと同一、表2に示した低粘度の2液主剤型アクリル樹脂注入材を用いた。

3.3 試験および結果

トンネル覆工の長手方向ひび割れは覆工面に直角に入る場合が多い。したがって、覆工のアーチ部のひび割れは水平面に対してある角度を持った状態となる。本試験では注入性試験の試験体を図3に示すように水平面に対して角度（°）傾けて設置し、注入性試験を行った。

注入は先端に圧力ゲージを取り付けた手動式ポンプを用いて端部の注入口から行い、隣接する注入口から注入材が流出し始めたら注入口を閉じ、順次隣の注入口に移って注入していく。注入口の注入圧力、到達点（注入口から注入された樹脂の先端までの距離を覆工厚500mmで除した値）、充填率（注入された樹脂が重力で流下した後の注入口からの距離を覆工厚で除した値）を測定した。

表4に注入性試験の条件および試験結果を示す。ひび割れ幅1～3mm、角度30～45°の範囲では、ひび割れ幅および角度が大きいほど、充填率は小さくなるが、充填率は70%は確保可能であった。

4. おわりに

今回の強度試験ではアクリル樹脂注入により比較的幅の広いひび割れでもコンクリートが一体化できることが確認された。また、水平面に対して角度を持ち、且つひび割れ幅の大きなひび割れへの低粘度樹脂注入では、注入材の流下により充填率が低下することが確認された。今後は液たれを防止したチクソトロピー性あるいは構造粘性を持った注入材での施工を検討したい。

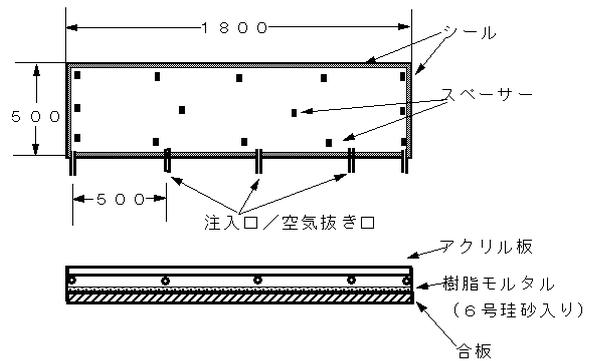


図2 注入性試験の試験体

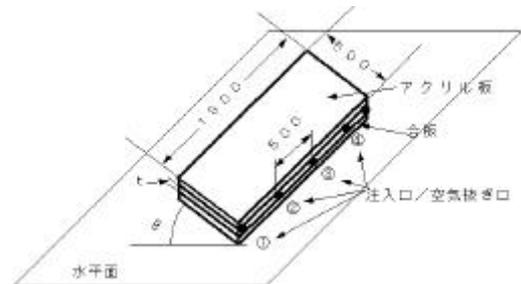


表4 注入性試験の条件および試験結果

ひび割れ幅 (mm)	角度 (°)	注入圧力 (MPa)	到達点 (%)	充填率 (%)
1	30	0.1	100	95
3	30	0.1	90	80
3	45	0.1	80	70

【参考文献】1) 近藤ら：樹脂注入によるトンネルのコールドジョイント補修に関する一考察、土木学会第55回年次学術講演会、H12.9、  
 2) 松田：アクリル樹脂の特性と構造物の補修事例について SED、1998.11、3) 茂木ら：アクリル樹脂による橋りょう支承部のあおり補修、土木学会東北支部技術研究発表会、H13.3、4) 庄子ら：玉川ダム堤体剝離等の補修について、土木学会東北支部技術研究発表会、H13.3