

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

西日本旅客鉄道（株）正会員 ○近藤政弘 佐藤裕明

細口光博 深田隆弘

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートのコールドジョイント（以下、C Jという）の補修工法の一つに樹脂等の注入が考えられる。注入によるひび割れ補修は多数実績があり、最近ではエフロ層があるひび割れ補修¹⁾も報告されているものの、C J内はレイタンス層および漏水部の堆積物等が介在した状態であり、このような状態への注入効果はわかっていない。そこで、C Jへの注入の基礎データを得るため、C J部への注入材の充填状況、C J部の改良強度（引張強度）の把握を目的に、山陽新幹線トンネルにおいて試験注入を実施したので以下のとおり報告する。

表1. コールドジョイントの区分

コールドジョイント	表面開口量の大きさ
Type 1	開口量>0.2 mm
Type 2	開口量≤0.2 mm

2. 樹脂注入の概要

(1) 注入箇所

C Jの特性のうち「表面の開口量」および「漏水の有無」が注入工法、注入材料の選定に関連深いと考えられる。しかし、漏水があるC Jは少ないことから、今回は漏水がないC Jについて、表面開口量の大きさ別に2 TypeのC Jを対象に注入を実施することとした（表1）。なお、注入箇所は打音検査の結果濁音が生じた範囲に沿ったC Jとした。

(2) 注入材料

注入材料の差異をみるため複数の材料を用いた。注入材料の一般性状を表2に示す。実績の多いエポキシ樹脂と近年使用され始めたアクリル樹脂²⁾を用いたが、Type 1については、エポキシ樹脂は疎水性（水をはじく性能）が強いものと弱いものを、また、樹脂との比較のため無機系のポリマーセメントも実施した。

表2. 各種注入材の一般性状

対象C J	Type 1				Type 2	
	アクリル樹脂	エポキシ樹脂A	エポキシ樹脂B	ポリマーセメント	アクリル樹脂	エポキシ樹脂
粘度 (mPa・s)	500	130	500	ポルトフロー 12~15	500	650
可使用時間 (20℃)	90分	45分	100分	—	24分	55分
現地温度 (℃)	26	24	24	25	14	16
注入圧力 (MPa)	~1.5	~1.5	~1.5	0.1	8	2
備考	2液主剤型	主剤/硬化剤	主剤/硬化剤	練混ぜ調合	2液主剤型	主剤/硬化剤
	疎水性	疎水性	弱疎水性	—	疎水性	疎水性

3. 注入結果と考察

C Jがコア中心へ入るようにC J面に平行にコアを採取し、外観観察により注入材の充填状況を調査した。また、注入後のC J部引張強度を確認するため、割裂試験（JIS A 1113）、直接引張強度試験¹⁾を実施した。

(1) 注入材の充填状況

- Type 1：アクリル樹脂注入箇所から採取したコアを示す（写真1）。覆工表面側では開口量が多いものの地山側では密着状態であり、隙間が確認される箇所へは充填されていた。ポリマーセメント以外、他の注入材の充填状況は良好であった。



写真1. アクリル樹脂注入コア（C J Type 1）

キーワード) コールドジョイント、トンネル覆工、樹脂注入

連絡先) 〒530-8341 大阪市北区芝田2丁目4番24号 TEL 06-6376-6473, FAX 06-6375-8915

- ・ Type 2 : エポキシ樹脂注入箇所から採取したコアを示す(写真2)。覆工表面は開口微小(0.1mm)であったものの、地山側までのC J層の変化をみると最大0.8mm幅であった。これらのC J層への充填状況も良好であった。



写真2. エポキシ樹脂注入コア (C J Type 2)

(2) 引張強度 (図1)

供試体寸法は $\phi 100 \times 100$ (一部 $\phi 100 \times 50$) とし、直接引張試験、割裂試験とも2体ずつ実施した。

- ・ Type 1 : アクリル樹脂、エポキシ樹脂Aはレイタンス層へもある程度含浸しており、概ね 1.5 N/mm^2 以上の引張強度が確認された。C J部の引張強度を確認した例³⁾は少なく評価が難しいが、圧縮強度 16 N/mm^2 (設計基準強度) のコンクリートであることを考えると、改善効果は十分であると思われる。試験後のC J面を観察すると殆どの供試体で湿潤状態であった。エポキシ樹脂Bは水に弱いもの(疎水性弱)であったため、比較的に低い引張強度しか得られなかったと推定される。
- ・ Type 2 : アクリル樹脂、エポキシ樹脂ともに 2.0 N/mm^2 以上の引張強度が得られた。開口量が小さいC Jであった結果レイタンス層がType 1よりも薄く、より大きな強度が得られたと思われる。

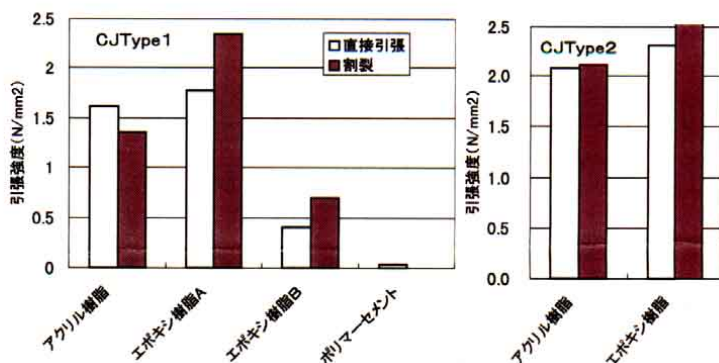


図1. 引張強度試験の結果



写真3. 中性化深さ分布 (C J 沿い分布)

(3) 中性化試験 : C J 特性の把握の一つとして、Type 2 のエポキシ樹脂注入のコアを用いて中性化試験を行った。中性化は覆工表面から25~30mm、さらにC J沿いに深さ100mm程度まで生じていた(写真3)。また、断面方向でみると表面から80mm入った断面ではC J沿いに3~4mm幅で生じており、C J上側の方がやや進んでいた。C Jの存在により内部にまで二酸化炭素が供給されていたことがわかる。



写真4. 中性化深さ (C J 断面方向)

4. おわりに 今回の試験注入では、表面開口量の状態に係わらずアクリル樹脂、エポキシ樹脂(水に強いもの)ともレイタンス層に充填され、C J部の引張強度改善が確認された。しかしながら、トンネルにおけるC Jの状況は千差万別であるので、今後の適用に関しては、覆工コンクリート内部の状態を十分調査した上で、適切な注入材料、工法の選定を行う必要があると考える。今後は、漏水があるC Jへの注入や今回注入箇所において列車風圧・振動、温度変化、漏水等に対する耐久性を確認する予定である。最後に、試験注入について御助言を頂きました電気化学工業(株)、コニシ(株)、ショーボンド建設(株)、東亜合成(株)、三信建設工業(株)の方々には深く謝意を表します。

【参考文献】1) 緒方、木曾、上田、吉田：コンクリートのひび割れ補修に関する現況、ハイウェイ技術 No. 11, 1998年10月、2) 森本、安東、松田：土木構造物補修材としてのアクリル樹脂の特性研究、土木学会第54会年次講演会, H11. 9 3) 柳澤、藤井、毛見ら：高流度コンクリートのコールドジョイントに関する基礎的実験研究、日本建築学会大会学術講演, 1994