

構造物の機能保持技術(タフネスコート)によるトンネル覆工の剥落防止効果

清水建設(株) フェロー会員 ○奥石 正己

鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄

三井化学産資(株) 正会員 井出 一直

1. はじめに

山岳トンネルでは、覆工の剥落を防止するために定期的に検査が行われている。また、予防策として各種の剥落防止対策工が開発されすでに採用されているが、耐久性や施工性に一部課題が残っている。著者らは、ポリウレタ樹脂によるトンネル覆工の剥落防止対策工法「タフネスコート」を研究開発中であり、今回、その性能を実験により確認したので報告する。

2. ポリウレタ樹脂の特徴と剥落防止対策工法への適用

ポリウレタ樹脂は、ポリイソシアネートとポリアミンとの化学反応によって形成されるウレタ結合が主体となった化合物であり、構造物の防水・防食等に多用されている材料である。スプレー施工が可能で施工性がよいこと、伸び性能が200%程度あること等から、今回、トンネル覆工の剥落防止工法として適用できると考え、模型実験により、耐荷力特性や曲げ圧縮破壊箇所での覆工への追従性能について評価を行った。

3. 実験方法

実験には大型トンネル覆工模型実験装置(図-1)を用いた。実験装置の縮尺は新幹線複線標準断面の1/5相当である。実験装置は、載荷用油圧ジャッキ、反力用油圧シリンダ、反力フレーム等で構成され、模型覆工の周囲に取り付けられた皿ばねにより覆工と地盤との相互作用を模擬することができる。表-1に実験装置の諸元を示す。

試験体の構造を図-2に示す。覆工は矢板工法による新幹線トンネル(巻厚70cm)を想定し、材料は無筋コンクリートとした。実験ケースはケース1(無筋)とケース2(樹脂被覆)の2ケースとした。

ケース2(樹脂被覆)は覆工の内面にポリウレタ樹脂を厚さ1.35mmで吹付けたもので、以下の手順で試験体を製作した。

- ①下地処理として覆工表面にディスクサンダーをかける。
 - ②プライマーをはけで塗布する。
 - ③専用のスプレー機械にて2液無溶剤型ポリウレタ樹脂を吹付ける。
- この際ポリウレタ樹脂の塗布厚は、針貫入式膜厚計で塗膜の厚さを計測しながら行なった。吹付け後の試験体を図-3に示す。

載荷実験は変位制御により、覆工天端を鉛直下向きに最大70mm変位させることにより行なった。この際、破壊状況、載荷重P、載荷点変位 δ 、ひび割れ位置、ひび割れ幅の計測を行った。

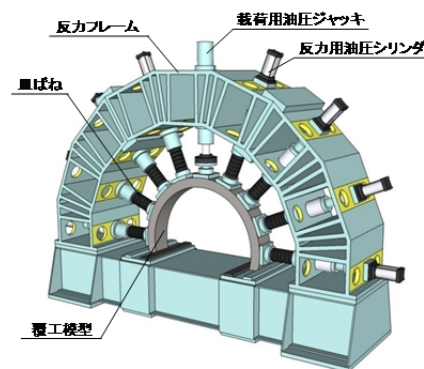


図-1 実験装置模式図

表-1 実験装置諸元

部材	項目	諸元
載荷用油圧ジャッキ	載荷重	500kN
	載荷圧	5.6MPa
	ストローク	250mm
反力用油圧シリンダ	内径	Φ125
	ストローク	200mm
皿ばね	寸法	外形200mm 内径102mm 厚さ12mm
	ばね定数	3,000kN/m
	地盤反力係数	16MN/m ³ (洪積層相当)

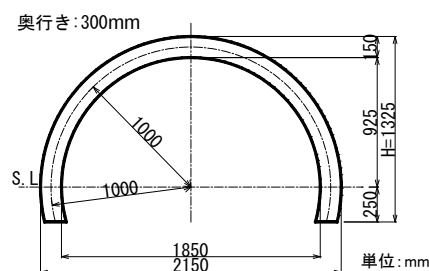


図-2 試験体の構造



図-3 吹付け後の試験体

キーワード 山岳トンネル, 覆工, 剥落防止対策, ポリウレタ樹脂, 模型実験

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設(株) 土木技術本部 技術開発部 TEL:03-3561-3886

4. 実験結果

図-4 に載荷板変位が $\delta=20, 40\text{mm}$ 時におけるひび割れ状況を示す。2 ケースとも $\delta=2\text{mm}$ 程度で曲げ引張りひび割れが天端内側および肩部外側に発生した後、 $\delta=16\text{mm}$ (ケース 1), $\delta=20\text{mm}$ (ケース 2) で左右肩部内側で曲げ圧縮破壊が発生する破壊形態であった。

図-5 に天端変位が進んだ後の曲げ圧縮破壊箇所の状況を示す。ケース 1 (無筋) では $\delta=40\text{mm}$ 時点で掌大の塊状剥落が発生しているのに対し、ケース 2 (樹脂被覆) では、 $\delta=70\text{mm}$ に到達しても、曲げ圧縮破壊箇所においては樹脂の表面に凹凸が見られるものの樹脂で被覆されていることにより覆工の剥落はなく、また樹脂自体の剥離や破断が発生することもなかった。

図-6 に各ケースの荷重 P と載荷板変位 δ の関係を示す。いずれのケースも、 $\delta=2\text{mm}$ 程度で引張りひびわれが発生して 3 ヒンジアーチ状態となった際に荷重が一旦低下した。その後地盤ばねにより支持されたアーチ構造であるため、 $\delta=16\text{mm}$ (ケース 1), $\delta=20\text{mm}$ (ケース 2) で天端に、 $\delta=23\text{mm}$ 前後(ケース 1, 2)で肩部に曲げ圧縮破壊が発生し、トンネルとしての剛性が低下したが、両ケースとも耐力を失うことはなかった。さらに変位を増加させると、ケース 1 (無筋) は $\delta=48\text{mm}$ で荷重が急激に低下した。これは、曲げ圧縮破壊箇所でコンクリートが剥落し断面欠損を生じたためと考えられる。ケース 2 (樹脂被覆) ではこのような荷重の急激な低下は観察されなかった。これは樹脂で被覆された試験体では剥落が生じないため、コンクリートには破壊が生じるものの荷重伝達が行われているためと考えられる。

5. まとめ

模型実験により、ポリウレタ樹脂を吹付けたトンネル覆工の剥落防止対策工の効果を確認した。その結果、①ポリウレタ樹脂塗布により曲げ圧縮破壊箇所で剥落が防止できること、②樹脂の剥離や破断が発生せず覆工への追従性能も高いことが判明した。また、副次的な効果として、曲げ圧縮破壊を生じた断面の断面欠損を防ぎ荷重の低下を防止することも確認された。今後、下地処理方法や湧水処理方法に着目し、実際のトンネルを用いて現地試験施工を実施し、実用化に向けた検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) スワールスプレーシステム(ポリウレタ樹脂防水防食材)スワール AR-100, 三井化学産資(株)技術資料
- 2) 岡野法之ほか: 大型覆工実験によるトンネル覆工の変形性能に関する実験的研究, 第 12 回岩の力学国内シンポジウム講演概要集, pp.909-914, 2008

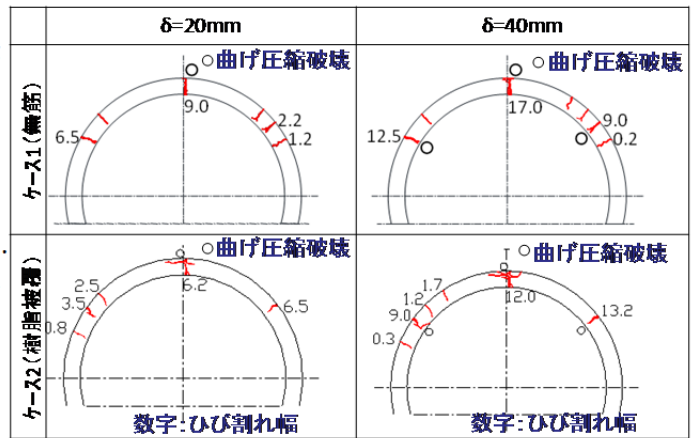
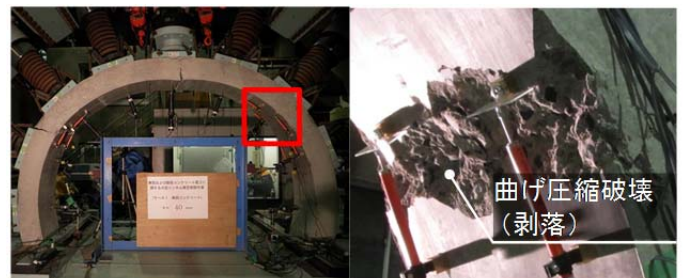
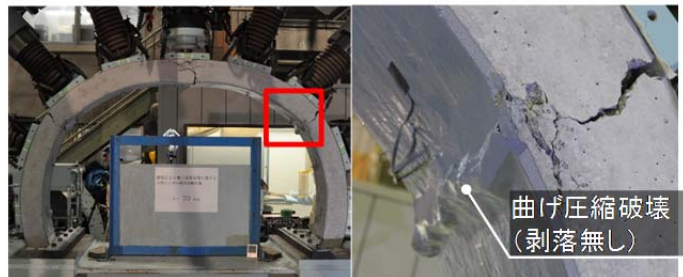


図-4 ひび割れ状況



ケース1(無筋) $\delta=40\text{mm}$



ケース2(樹脂被覆) $\delta=70\text{mm}$

図-5 破壊状況

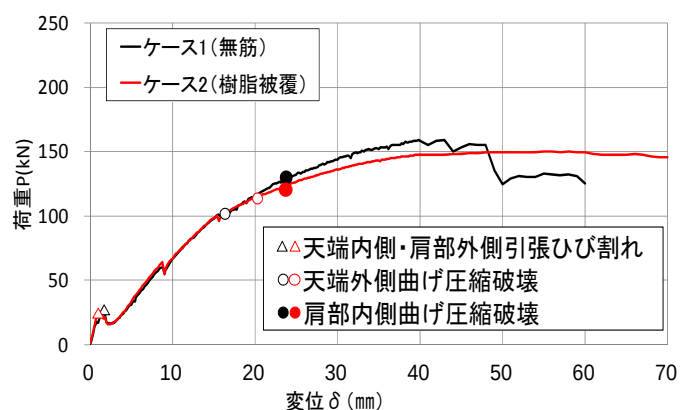


図-6 荷重～変位曲線