

地震時の覆工コンクリート剥落に関する模型実験による検討

鉄道・運輸機構
鉄道総研

正会員
正会員

○千代啓三
板谷創平

吉森佑介
嶋本敬介

1. はじめに

山岳トンネルの覆工コンクリートは、変位収束後に打設するため、荷重は作用しないものと仮定しているが、背面地山が断層破碎帯等の場合、地震時にトンネルに荷重が作用し覆工が剥落する懸念がある。平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震により、上越新幹線妙見トンネル等で覆工コンクリート天端部の厚さが生じ覆工コンクリートが剥落したり。

地震時の覆工コンクリート剥落防止対策の1つとして、繊維補強コンクリートの採用が挙げられるが、地震時の覆工剥落をどの程度抑制できるかについて十分整理されているとは言い難い。そこで、本研究では地震時を想定した覆工の繰り返し載荷実験を実施し、地震作用に対する繊維補強コンクリートの剥落抑制効果を確認する。

2. 模型実験の概要

繊維補強の有無による剥落発生状況の違いを把握するため、図1に示す大型トンネル覆工模型実験装置²⁾により覆工模型の載荷実験を実施した。

実験は表1に示す2ケース実施した。いずれも無筋コンクリートの覆工であり、ケース1は補強をしないプレーンコンクリート、ケース2は繊維補強コンクリートとした。繊維補強には、新幹線トンネルにおいて施工実績のある非鋼繊維（材料：ポリプロピレン、混入率：0.3vol%）を用いた。トンネル模型の覆工厚は150mmとしている。本実験では新幹線トンネルの1/5の縮尺を想定しているため、実大換算すると750mmと一般的な新幹線トンネルの覆工厚300mmに比べると大きくなっている。これは厚いコンクリートの方が一般に剥落が発生しやすく、繊維補強による覆工の剥落抑制効果が評価しやすいと考えたためである。

載荷実験は地震時を模擬した載荷パターンとして、載荷と除荷を繰り返し、繰り返し載荷のケースは表2に示す2通りとした。繰り返し載荷は実験装置の仕様上、静的に載荷と除荷を繰り返すものとし、載荷板押込量を基準に制御した。ここで、天端部の荷重を完全に抜いてしまうと、脆性的に天端のコンクリートが破壊する可能性があったことから、除荷にも20kN程度の載荷重が残留している。ケース2ではケース1での実績を踏まえ、より押込量の大きい領域まで載荷を行った。

3. 模型実験の結果

(1) 載荷重と押込量との関係

各ケースにおける繰り返し載荷による荷重と載荷板押込量の関係を図3に示す。ケース1では、押込量35mmまでの載荷、除荷後に2

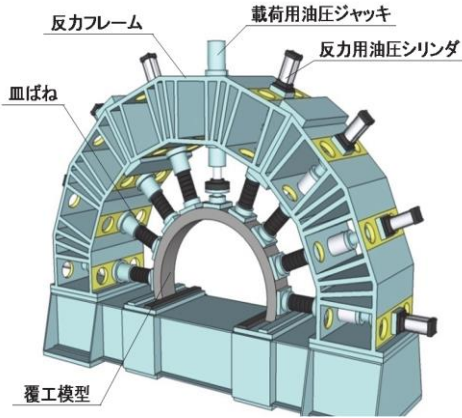


図1 模型実験装置の概要

表1 実験ケース

試験ケース	1	2
設計基準強度	$\sigma_{CK}=24\text{N/mm}^2$	
補強の有無	無	繊維補強 材料：ポリプロピレン 公称断面積：0.385mm ² 長さ：48.0mm 混入率：0.3vol%
測定項目	載荷荷重, 剥落片重量	

表2 実験の繰り返し載荷回数

押込量	繰り返し回数	
	ケース1	ケース2
20mm	3回	3回
25mm	3回	3回
30mm	3回	3回
35mm	3回	3回
40mm	3回	3回
45mm	1回	3回
50mm	1回	1回
60mm	—	1回

キーワード 山岳トンネル, 覆工コンクリート, 繊維補強, 模型実験

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1 (独) 鉄道・運輸機構 TEL 045-222-9083

回目到達した段階で荷重が低下し、これ以降、押込量を増加させても荷重が増加することはなかった。

一方、ケース 2 では載荷、除荷を繰り返しても荷重は大きく低下することはない、繰り返し載荷を実施する前の押込量 20mm の荷重から押込量 60mm に達するまでほぼ横ばいであることが確認された。

各ケースの実験終了後の覆工左肩部の状況を図 4、図 5 に示す。ケース 1 では繰り返し載荷の進展にともない覆工が剥落し、荷重が低下したが、ケース 2 では、クラックは生じたが、断面欠損が小さく、荷重の低下がほぼなかった。非鋼繊維コンクリートは、クラックを生じても欠損を抑制することにより、耐荷性能を維持できることが確認できた。

(2) 剥落片重量

繰り返し載荷の過程で発生した覆工肩部からの剥落片の累計重量を図 6 に示す。なお、実験では実トンネルで問題となる覆工内面からの剥落片重量を測定した。

ケース 1 では、押込量が 35mm に到達した 2 回目(図 6 中の 35mm 到達②、以下同様)に左肩部から 0.12kg 程度の比較的大きな剥落が確認された。これは、ケース 1 の載荷荷重が低下した載荷ステップと一致する。ケース 1 ではその後の繰り返し載荷で断続的に剥落が発生し、最終的には左右合計で約 1.9kg の剥落片が確認された。一方、ケース 2 では、押込量が 30mm に到達した 2 回目に右肩部からの剥落が初めて確認されたが、その後の載荷と除荷の繰り返しに対しても、僅かな量の剥落片が確認されるのみであった。最終的には左右合計で約 0.1kg の剥落片が確認された。

今回実施した新幹線トンネルの 1/5 スケール模型実験では、30mm 程度の押込量で剥落が生じた。重力加速度の影響や骨材寸法の観点から単純に相似則を適用はできないが、実際のトンネルでは目安として変位量 150mm 程度で剥落が生じ始めると考えられる。一方で、繊維補強コンクリートを適用することで、押込量 40mm (変位量 200mm 程度) で、無補強の約 1/25 の剥落量となり、地震時の走行安全性確保に大きく寄与することが示唆された。

4. まとめ

本実験により繊維補強コンクリートは通常の無筋コンクリートと比較し、地震を想定した繰り返し載荷に対して剥落防止効果があるだけでなく、剥落による断面欠損が少なく、結果的に大変形下における耐荷力が向上することも確認された。今後は開業後の走行安全性の観点から繊維補強コンクリートを適用する必要がある地山条件等についても検討を進めていきたい。

参考文献: 1) 田口ら: 新潟県中越地震における上越新幹線妙見・滝谷トンネルの復旧, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.65-66, 2005.9
2) 嶋本ら: トンネル覆工の剥落対策としてのポリウレタ樹脂吹付けの模型実験と試験施工, 土木学会論文集 73-3, 2017

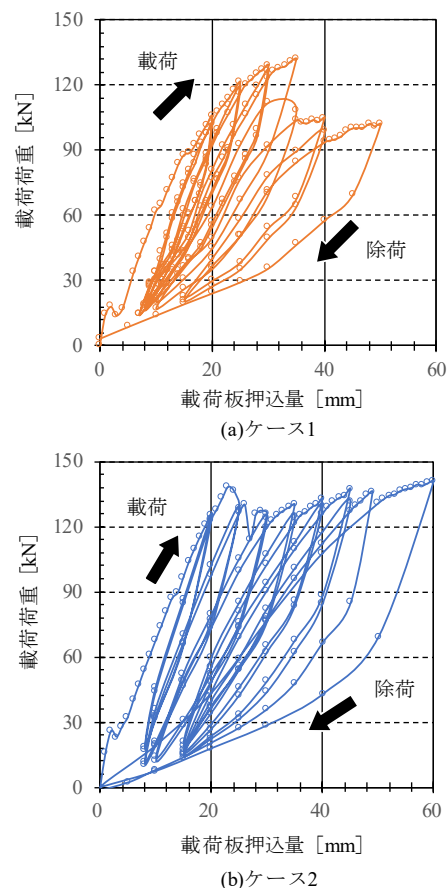


図 3 荷重－変位曲線



図 4 実験終了時の左肩部(ケース 1)

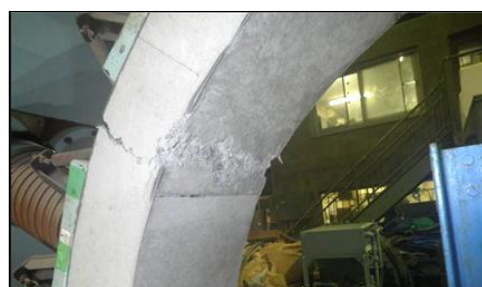


図 5 実験終了時の左肩部(ケース 2)

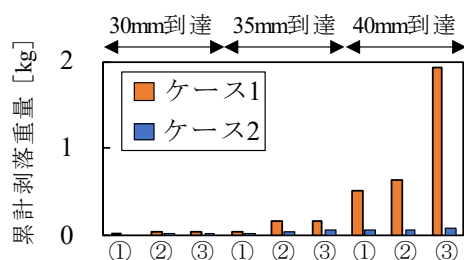


図 6 各載荷段階における剥落片重量