

有機繊維混入コンクリートを用いた爆裂抑制型セグメントの適用

ー 東海北陸自動車道 飛驒トンネル工事 ー

中日本高速道路株式会社

正会員 森山 守

大成建設(株)

正会員 小林 伸次

フェロー会員 領家 邦泰

正会員 ○小原 伸高

正会員 堀口 賢一

1. はじめに

東海北陸自動車道飛驒トンネル(延長 10.7km)は高速化施工を目的に世界最大級の2車線全断面TBM(外径 12.84m)で本坑主要区間の掘削を行った。TBM区間の覆工構造は、一次支保としての鉄筋コンクリート製ライナー(以下RCライナー)(厚さ 250mm) + 無筋コンクリートによる二次覆工(厚さ 300mm)である。しかし、TBM貫通点付近の約 200m区間は、TBM解体後の工程短縮を目的に、二次覆工の機能を持たせたRCライナー(厚さ 300mm)を用いることにより二次覆工を省略した(シールド工法におけるセグメントを飛驒トンネルではライナーと呼んでいる)。二次覆工の機能のうちの耐火性については、コンクリートに有機短繊維(ポリプロピレン繊維)を混入させることで火災時の爆裂抑制を図ることとし、爆裂抑制型RCライナーを国内で初めて適用した。本報告はこの耐火対策の概要を報告する。

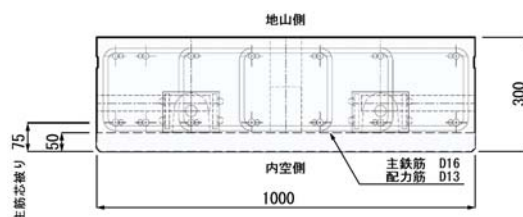


図-1 爆裂抑制型 RC ライナー断面図

2. 耐火構造の選定

一般に都市部の道路シールドトンネルで使用されるセグメントは、トンネルの立地条件から火災事故がトンネル内および地表部に重大な影響を及ぼす可能性があるため、耐火構造が要求されると考えられる。しかし、飛驒トンネルはこれとは異なり、岩盤中のいわゆる山岳工法トンネルであることを考えれば、地山によるトンネル構造の自立性(構造安定性)が期待でき、火災時も爆裂による覆工の大きな損傷がない限りは、トンネル断面はある程度保持され、トンネルの崩壊には至りにくいものと考えられる。従って、国内の道路シールドトンネルで実績のある、セグメントの内面に耐火被覆を設置する耐火構造¹⁾と同等の性能までは必要ないものと考えられ、有機繊維混入コンクリートによる爆裂抑制型RCライナーを用いることにより二次覆工と同等の耐火性を確保できると考えた。火災時の要求性能は、トンネル内での大規模火災を想定して、火災想定時間温度曲線をRABT曲線(60分加熱)としたときに、覆工コンクリートに爆裂が生じないこととした。

3. 耐火性能の確認試験

有機繊維混入(ここではポリプロピレン短繊維を使用した)により爆裂を抑制するために必要な混入量を確認するために、RCライナーと同配合のコンクリート試験体(800mm×800mm×300mm)を用いたRABT曲線による加熱を行う耐火実験を行った。また、継手部のボルトボックス充填モルタルの耐火性能や継手部の止水材(水膨張ゴムシール材)が火災時に熱劣化しないことを確認するために、継手部を模擬した試験体も製作し、同時に耐火実験を行った。加熱後の試験体を写真-1に示す。また、実施した耐火試験体の一覧を表-1に、コンクリート配合を表-2に示す。

実験結果より、今回選定したポリプロピレン短繊維の場合はコンクリートに1.5kg/m³混入することで爆裂を抑制できることが確認された。また、ボルトボックス充填モルタルも有機繊維を混入させることで爆裂が抑制されること、目開き2mmであれば、火災時のシール材の温度は一般に許容温度とされる100℃以下となることも確認された。



写真-1 加熱後試験体(一般部①)

キーワード：TBM、RCライナー、耐火、有機繊維、爆裂抑制、RABT曲線、耐火実験

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設(株) 土木設計部 TEL 03-5381-5417

表-1 耐火試験体一覧

試験体名	概要	ボルトボックスの充填材	目的	観察・測定	導入軸力	シール材(目開き)	コンクリート圧縮強度	含水率	試験結果
一般部①	PP 混入 (1.5kgf/m ³)	—	設定した有機繊維混入量が爆裂抑制のために適当であることを確認する。	①コンクリートに爆裂が生じないことを確認する。	17N/mm ²	—	63.0N/mm ²	3.60wt%	爆裂なし
一般部②	PP 混入 (1.2kgf/m ³)	—	有機繊維の混入量が局所的に20%減となった場合の挙動を把握する。	②部材深さ方向の温度分布を測定し、残存耐力算定の基礎データとする。		—			爆裂なし
継手部①	PP 混入 (1.5kgf/m ³)	充填材①	火災がボルトボックスに及ぼす影響を把握する。	①ボルトボックスの充填モルタルが火災により著しい欠損せず継手機能を防護することを確認する。	—	有り(0mm)	61.5N/mm ²	3.57wt%	爆裂なし
継手部②		充填材②		②火災時の継手金物の温度履歴を確認する(参考)。	—	有り(0mm)			充填材が一部崩落
継手部③		充填材③			—	有り(0mm)			爆裂なし
シール①		—	火災後の止水機能の補修計画立案の基礎データとする。	①継手に目開きが生じた状態で火災時のシール材位置の温度履歴を確認する。	—	有り(2mm)			シール材位置温度100℃以下

表-2 コンクリートの示方配合

設計基準強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	W/C (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 SP	有機繊維
45	20	16 ± 2.5	2.5 以下	36.5	52.0	177	485	878	826	4.85	1.5 or 1.2

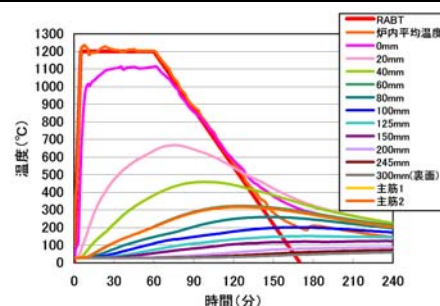


図-2 試験体内部温度と時間の関係(一般部①)

5. 火災時の RC ライナーの構造安定性

火災時にはコンクリートや鉄筋が高温になることにより耐力が低下する。ここでは RC ライナーの火災時の構造安定性を以下の考え方により評価した²⁾³⁾。①受熱温度が 500℃以下のコンクリートの圧縮強度は、強度を設計基準強度の 2/3 とする。②受熱温度が 500℃を超えるコンクリートの圧縮強度は、強度を零とし、断面計算に考慮しない。③受熱温度が 500℃を超える部分を熱劣化深さと定義し、残存曲げ耐力は熱劣化深さがかぶり厚さに達した時点で常温の半分とする。

耐火実験における試験体内部の温度分布を図-2 に示す。これによれば火災時の最高温度が 500℃に達するのは内面側から約 40mm の深さである。従って、火害を受けた後に補修することをふまえて鉄筋のかぶりを決定し、火災時の構造安定性を確保するため、火災時終局耐力が常時許容応力度相当の NM カーブを上回るように RC ライナーを設計した(図-3、図-4)。

6. 有機繊維混入コンクリートの製造管理

RC ライナーの製造管理は、繊維混入量のばらつきがないことに着目して、初期の製造実績をもとに洗い試験による品質管理方法を策定した。

7. おわりに

二次覆工省略型の道路トンネルでは耐火工が必要となるが、良好な地山中のトンネルの場合は、地山の安定性を期待することができるため、有機繊維混入コンクリートを用いた爆裂抑制対策も耐火工の選択肢として考えられる。本工事の検討にあたりご指導いただいた飛驒トンネル施工技術検討委員会の委員各位に厚く御礼申し上げるとともに、本報告が今後の類似計画の参考になれば幸いである。

参考文献 1) 西岡ほか：道路シールドトンネルにおける耐火工の施工計画および施工実績、土木学会第 61 回年次学術講演会

2) (社)土木学会：コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集、pp.76-78、2004.10

3) 国土交通省住宅局建築指導課：2001 年版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説、pp.205-208、1997.9

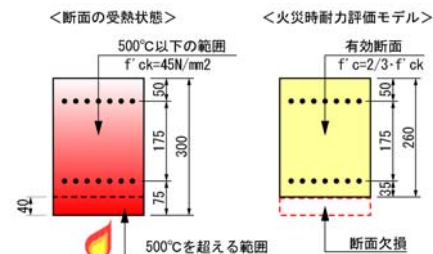


図-3 火災時の耐力評価モデル

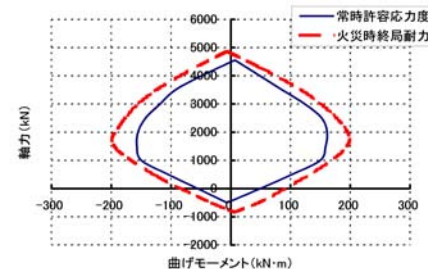


図-4 火災時想定残存耐力のMNカーブ