

設計断面力を作用させたシールドセグメントの耐火実験

首都高速道路公団
首都高速道路公団
日本シビックコンサルタント

正会員
正会員
正会員

田嶋 仁志
○岸田 政彦
神田 亨

1. はじめに

首都高速のシールドトンネルはコスト削減の観点から二次覆工省略という構造的な特徴を有している。しかしながらこの構造は、火災時にセグメントが直接熱を受けることになり、トンネル構造物本体に影響を与えることが懸念される。このため筆者らは、二次覆工を省略したシールドトンネルの耐火性能に着目し、種々の検討を行ってきた。¹⁾ 現状では、RCセグメントの耐火性能がコンクリートの爆裂によって大きく左右されることや爆裂性状にはコンクリートの応力状態が影響を与えることなどが明らかとなっている。トンネル覆工の応力状態は図-1 に示すように部位によって異なり、クラウン付近では正曲げ、スプリングライン付近では負曲げ状態となる。ここでは、セグメントにトンネル断面各部位の設計断面力を作用させた状態で加熱を行い、特にセグメントの変形挙動に着目した耐火実験結果について報告する。

2. 実験概要

時間温度曲線には図-2 に示すRABT曲線を採用した。図-3 に試験体の諸元と載荷方法を示す。試験体の厚さは対象とする実トンネルのセグメントに等しくとっている。載荷方法は、PC鋼棒で軸力を、押し引き両動ジャッキで正負曲げを作用させている。実験中はジャッキ荷重を制御することで曲げモーメントを一定にしているが、PC鋼棒の軸力は制御していない。このため加熱時には試験体の膨張にともないPC鋼棒による緊張力は若干増大することになる。火災時のトンネル覆工においても熱変形は拘束され軸力は増大することになるため、この実験条件は実現象を反映しているものと考えている。試験体の配合と種別を表-1～2 に示す。

普通コンクリートと爆裂の抑制効果が確認されているポリプロピレンファイバー（以下PPファイバー）を1kg/m³添加した試験体を各2体製作した。いずれも圧縮強度が実測で72N/mm²に達する高強度コンクリートである。普通コンクリートの試験体には耐火工として厚さ15mmのセラミックファイバーを被覆したものと無被覆のものを用意した。

表-1 配合

	水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材	減水剤	PP繊維
普通	136	200	200	814	1095	2.6	
PP	147	216	216	789	1046	2.81	1

スランプ=1.5±1.5cm 水結合材比=34% 最大寸法=20mm

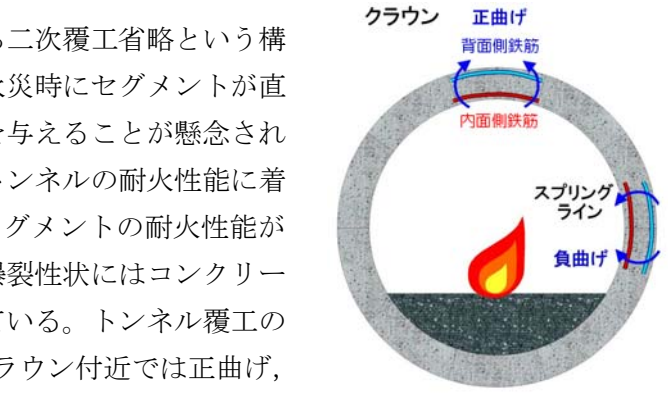


図-1 覆工の断面力

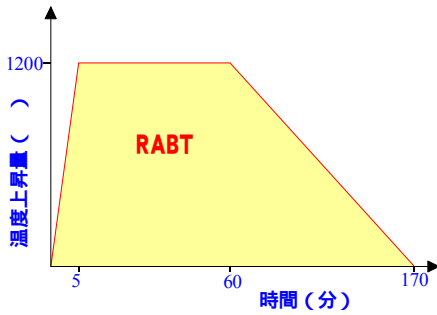


図-2 時間温度曲線

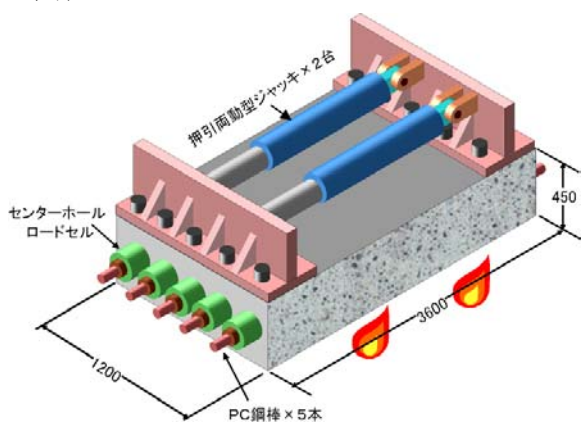


図-3 試験体諸元および載荷方法

表-2 試験体種別

試験体名	FP-P	FC-P	FC-N	OC-N
対象部位	クラウン		スプリングライン	
曲げ	正曲げ	324kN・m	負曲げ	-293kN・m
軸力	圧縮	1092 kN	圧縮	1556 kN
耐火工	耐火材 15mm	PP 1kg	PP 1kg	なし

キーワード 耐火，セグメント，設計断面力，ポリプロピレンファイバー，RABT 曲線

連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関 1-4-1 首都高速道路公団工務部設計技術課，Tel.03-3539-9464

また、高温時の鉄筋の挙動を確認する目的で、溶接型の高温歪ゲージを加熱面側の主筋に取り付けている。

3. 実験結果

試験体の残留変位についても把握するために、測定はR A B T曲線終了後も連続して行っている。図-4～7に、試験開始後 12 時間にわたる、コンクリート表面温度、加熱面側の主筋温度と中央部の歪、均等加熱スパン 1650mm における試験体中央部の鉛直変位の履歴を示す。

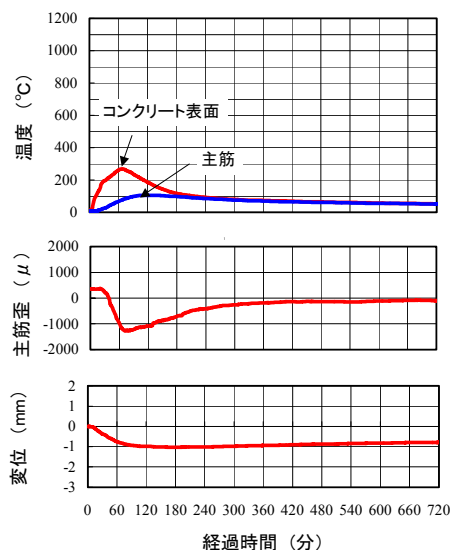


図-4 耐火材・正曲げ (FP-P)

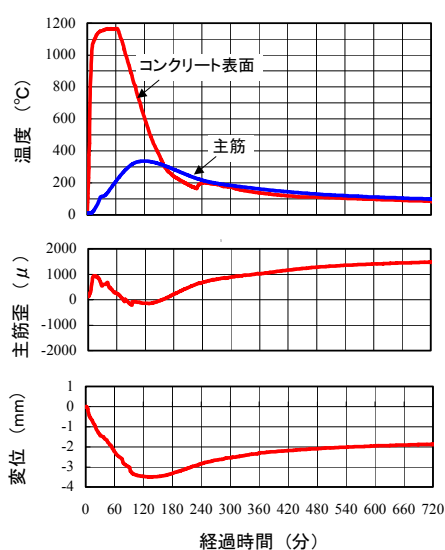


図-5 PP・正曲げ (FC-P)

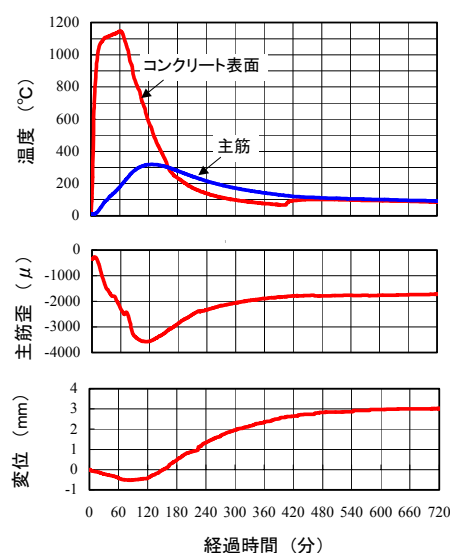


図-6 PP・負曲げ (FC-N)

正曲げの試験体では、耐火被覆のあるものはコンクリート表面、主筋温度とも低く抑えられており、変形も非常に小さい。PPの正曲げの試験体では、爆裂がほとんど生じなかったこともあり、コンクリート表面温度が 1200℃付近まで達しているにもかかわらず、かぶりコンクリートにより主筋温度は 350℃以下に保たれている。PP・負曲げの試験体では、同様に爆裂が発生せず主筋温度は低く抑えられているが、主筋は一時的に 3000μ 以上の圧縮歪を生じている。総じてPPを添加した試験体では、耐火被覆の効果には及ばないものの残留変位も 3mm程度に抑えられている。

これらに比べ、無被覆・負曲げの試験体では激しい爆裂を生じ主筋温度が 1200℃まで上昇したため、主筋歪の測定は不可能であった。また残留変位も 12mmと大きくなった。しかしながら、この場合も設計断面力を保持できており、トンネルの崩壊には至らないことが確認できた。

4. おわりに

トンネル各部位の設計断面力を作用させた実験により、セグメントの火災時の挙動をより正確に把握することができた。これらのデータをもとに、地盤反力等を考慮した覆工全体をモデル化した熱応力解析を実施し、火災時のトンネルの安全性を総合的に検証していきたいと考えている。

末筆ながら、本研究を実施するに当たり貴重な助言をいただいた、千葉大学工学部・上杉英樹教授、ベターリビング筑波建築試験センター・遊佐秀逸上級試験研究員、建築研究所・増田秀昭主任研究員に深甚なる謝意を表する次第です。

参考文献

- 1) 半野, 川田, 谷上, 田嶋 : RCセグメントの耐火性能に関する実験的検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002

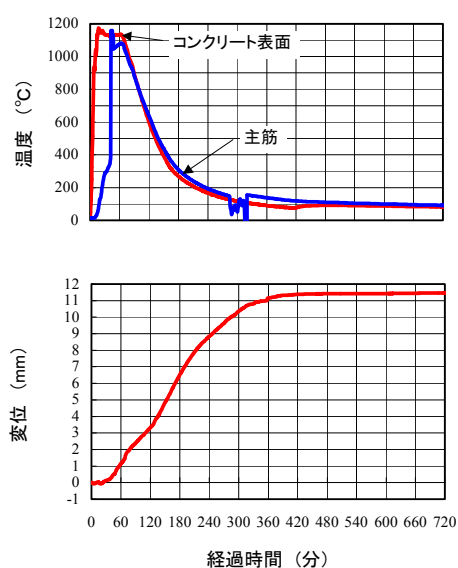


図-7 無被覆・負曲げ (OC-N)