

ボスポラス海峡横断鉄道トンネルにて適用した耐火被覆について

大成建設株式会社	正会員	○大塚 勇
大成建設株式会社	正会員	土屋 正彦
大成建設株式会社	正会員	稲積 教彦
大成建設株式会社	非会員	中濱 慎司
大成建設株式会社	非会員	道越 真太郎

1. はじめに

トルコ・イスタンブールのボスポラス海峡横断鉄道トンネルは、アジアとヨーロッパを結ぶ延長約 14km のトンネルであり、慢性的な交通渋滞を解消するために建設された。ボスポラス海峡下には沈埋工法を採用し、それ以外のトンネル部はシールド工法により掘削した。駅舎部は開削工法、山岳工法により掘削された。このトンネルは旅客列車だけでなく貨物列車も通し、アジアとヨーロッパ間の物流をさらに活性化させる役割も担っている。貨物列車がトンネル内を通過するため、火災時の検討においては貨物列車火災を考慮した。

2. 耐火に対する要求事項

火災が起きて、ライニングに損傷が生じた場合、Catastrophic Flooding（致命的出水）が起きてはいけないと施主からの要求事項で規定されている。そこで、ライニングの背面の地質に着目して耐火被覆を実施する範囲を設定した。地盤とトンネルをモデル化した数値解析を通じてライニングの周辺に岩盤が厚さ 1.5m 以上ある場合には、万が一、ライニングが損傷しても岩盤が自立して致命的出水は起きないという結果を得た。よって、岩盤被りが 1.5m 未満の場合は、耐火被覆を実施してライニングを保護した。海底面直下についても耐火被覆を実施した。

貨物列車の発熱速度として 100MW を想定し、RWS カーブ、HC カーブで規定される暴露温度に対して、以下の規準を満足することが施主からの要求事項である。

- ① コンクリートの表面温度は、380°を超えてはならない。コンクリートの爆裂を生じないこと。
- ② 鉄筋、鋼製セグメントなどの鋼材表面温度は、250°を超えてはならない。

3. 耐火試験

上記の要求事項を満足するために、トンネルでの実績や施工性、経済性を考慮し、耐火材はフェンドライト MII を採用した。耐火材の必要な厚さを決めるために、加熱炉で実物大実験を行った。実験は、第三者機関のオランダの公共施設で実施した。

コンクリートの設計基準強度は、シールドの RC セグメントが 50MPa であり、沈埋函や駅舎部の躯体コンクリートは 40MPa で、強度、配合が異なる。そこで、実験は各配合にて行った。また、コンクリートに作用する設計最大圧縮応力度を作用させて実験した。図 1 に RC セグメントの耐火試験の模式図を示す。コンクリートの表面、鉄筋に温度計を取り付けて、試験時の温度変化を計測した。

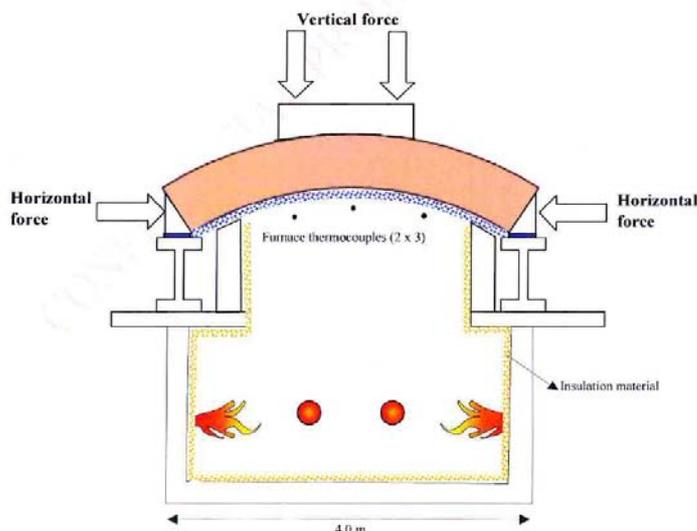


図 1 RC セグメントの耐火試験模式図

キーワード 耐火被覆, トンネル, 100MW 火災, RWS カーブ, HC カーブ

連絡先 〒160-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 (新宿センタービル) 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5296

4. 試験結果

耐火材の厚さを変えて実験を行った。その結果、コンクリートが爆裂せずに、要求事項を満足する厚さは以下ようになった。試験で得られた厚さを最低厚として現場では管理した。

- 設計基準強度 50MPa (シールドトンネルの RC セグメント) : 最低 42 mm
- 設計基準強度 40MPa (沈埋函、駅舎部の躯体 コンクリート) : 最低 33 mm

5. 耐火材の適用範囲

耐火材の適用範囲は、図2および図3に示すように、トンネル内では構造部材となるコンクリートに炎が直接接触する箇所とした。また、駅部については、トンネル内よりも空間が広い。施主の要求事項に火災時に換気の効果を検討して良いとあるため、駅部の三次元モデルを作成し、CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析により、トンネル換気ファンによる換気の効果を検討した流体解析を実施して、耐火被覆の適用範囲を設定した。

図4に駅部の三次元解析モデルを示す。解析の結果、コンクリートの表面温度が 380° を超える領域に厚さ 33mm の耐火被覆を実施した。

6. 耐火材の施工

耐火被覆を実施する前に、金網を設置し、コンクリートと耐火材の付着強度を増すために、コーティング剤をコンクリート表面に塗布した。その後、フェンドライト MII を吹付けた。写真1に現場での吹付け状況を示す。トラック上の台車に足場を設けて、手吹きで施工した。

設計施工数量は、約 6 千 m³ であった。他の工事と錯綜する中、工期短縮のため同時に複数班で施工を行い、約 1 年間で耐火材の工事を完了した。

7. おわりに

施主の要求事項を満足するために、実験、解析を駆使して耐火材の仕様を決定した。今回報告した海外での耐火材適用の事例が、他の類似する工事の参考になれば幸いである。

このプロジェクトは、2013年10月29日に無事開通を迎えることができた。たくさんの方々に、多大なご指導を頂いた。最後に、この場を借りて謝意を表します。

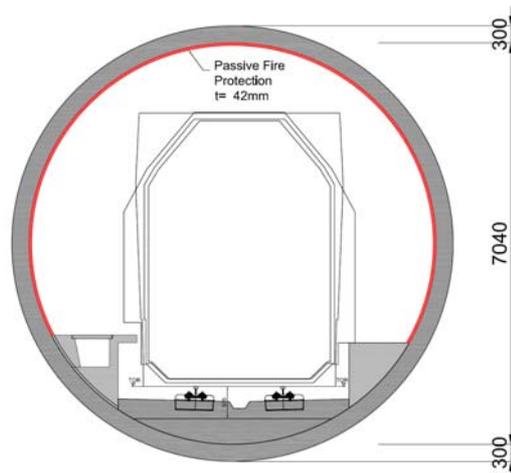


図2 シールドトンネル内の耐火被覆適用範囲

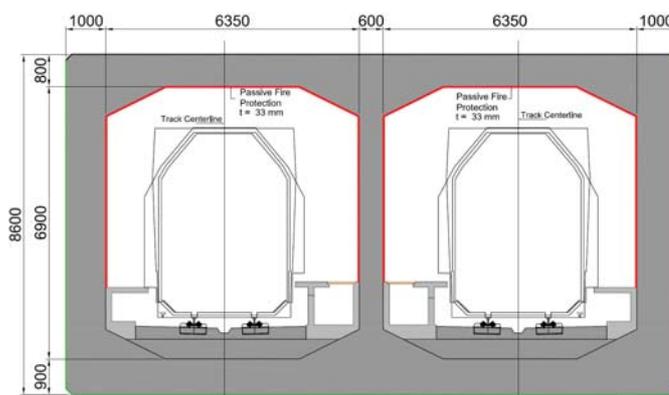


図3 沈埋トンネル内の耐火被覆適用範囲

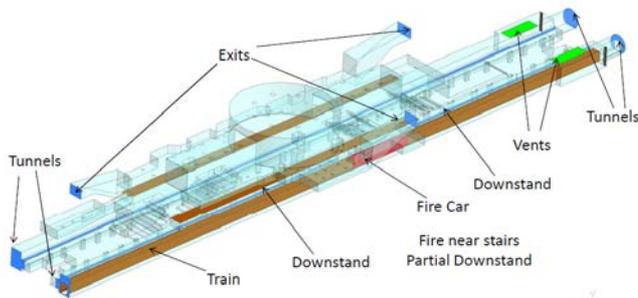


図4 CFD 解析モデル図



写真1 耐火材吹付け状況