

長時間車両火災によるトンネル構造部材の損傷に関する耐火試験

(株) エーアンドエーマテリアル 正会員 ○伊澤 政弘
早稲田大学 フェロー会員 清宮 理

1. はじめに 二次覆工を省略したシールドトンネルや沈埋トンネルでは車両火災が発生した場合、鉄筋コンクリート部材や鋼・コンクリート部材の被害が甚大となることが想定されるために、安全性には特に配慮する必要がある。トンネルの耐火対策としては、主に吹付け系耐火材やパネル系耐火材が挙げられるが、近年、施工期間の短縮やコスト削減の観点から、コンクリートにポリプロピレン繊維（以下、PP 繊維）を混入させた爆裂抑制型セグメントが提案されている。本研究では過去の車両火災事例をもとに車両火災の燃焼時間を考慮して 1100℃×4 時間加熱による耐火試験を行い、コンクリート板が受ける損傷について比較検討を行い耐火対策の有効性について検討を行った。

2. 実験方法 試験体は、コンクリート板の種類、PP 繊維混入の有無および耐火被覆板の有無の違いによる耐火性能を検討するため、5 種類の試験体により耐火試験を行った。試験体の種類を表-1 に示す。

コンクリート板の寸法は、幅600mm×長さ1300mm×厚さ300mmとした。PP繊維は17dtex、長さ20mmで混入量は質量比で0.2%とした。耐火被覆板は、けい酸カルシウム系で厚さ27mm、密度0.95 g/cm³とした。

表-1 試験体の種類

		耐火被覆板なし	耐火被覆板あり	コンクリート設計強度
①	普通コンクリート (普通コン)	1 体	1 体	24N/mm ²
②	高強度コンクリート (P.P繊維混入)	1 体	—	60N/mm ²
③	鋼・コンクリート合成構造	—	2 体	30N/mm ²

耐火試験は水平加熱炉の上端に試験体を水平に設置し、加熱は無載荷による下方からの 1100℃×4 時間加熱を実施した。耐火試験の加熱曲線を図-1 に示す。

試験体の温度測定は、加熱側コンクリート板の表面から内側 20 mm、50 mm、100 mmの位置に熱電対

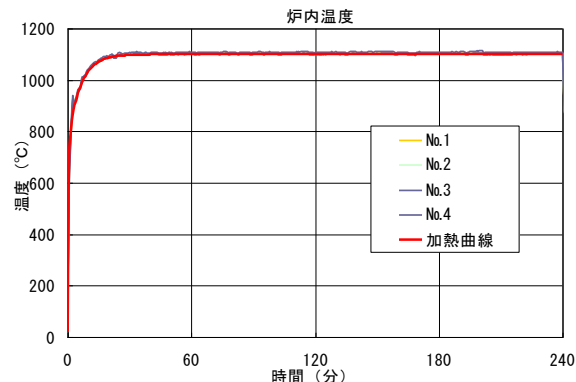


図-1 加熱曲線

を埋設し、内部温度を測定した。さらに、耐火被覆板ありの試験体については、コンクリート板と耐火被覆板の層間に取付けた熱電対により、コンクリート板の表面温度を測定した。

加熱後、試験体の損傷について観察を行い、直径 100 mmのコンクリートコアを採取し、中性化深さおよび超音波を用いて弾性波速度を測定した。

3. 実験結果および考察 図-2 に普通コンクリート (普通コン) による耐火被覆板なしの試験体内部の温度履歴を示す。部材内の最高温度は 50 mm位置 677℃、100 mm位置 320℃で共に試験開始から約 4 時間時が最高温度であった。加熱終了後は温度が低下しているものの 12 時間経過しても 200℃を若干下回る状況であった。一方、普通コンに耐火被覆板を覆うことで加熱側コンクリート表面の最高温度は 200℃以下に抑えられる事が出来た。普通コンによる耐火被覆板ありの試験体内部の温度履歴を図-3 に示す。

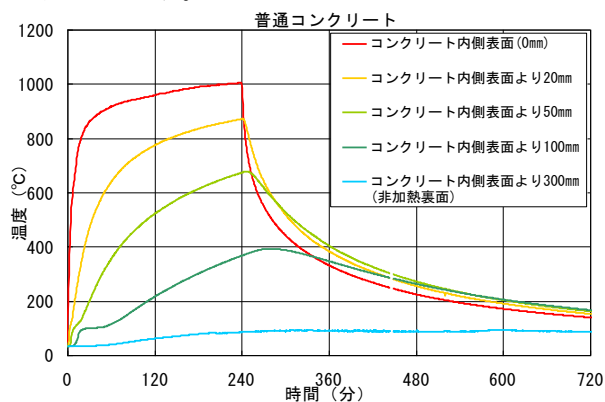


図-2 耐火被覆板なしの部材内の温度分布

キーワード 耐火試験, トンネル, 車両火災, 安全性, 耐火対策

連絡先 〒230-8511 横浜市鶴見区鶴見中央 2-5-5 (株)エーアンドエーマテリアル TEL:045-503-5771
〒169-8555 新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学社会環境工学科 TEL:03-5286-3852

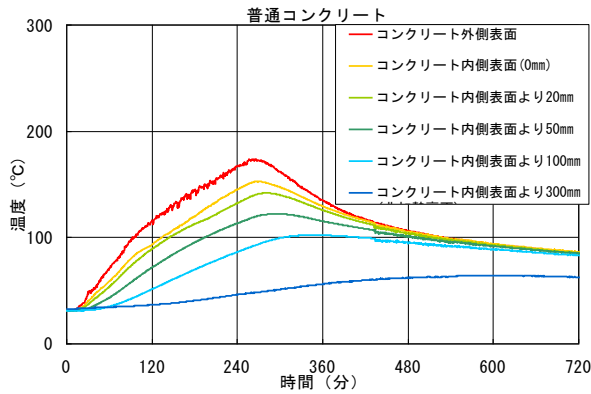


図-3 温度測定結果

耐火被覆板なしの高強度コンクリート (PP コン) の試験体について、加熱表面から 50mm 位置の最高温度は 548℃、100mm 位置の最高温度は 338℃であった。この位置に混在している PP 繊維は既に融解し、一部は燃焼しているものと推測される。試験体取出し後の PP コン加熱表面の状況については、ひび割れや爆裂は認められなかった。しかし時間の経過に伴い写真-1 に示すように加熱表面のコンクリートが浮き上がり一部に損傷が生じた。これは加熱終了後に加熱側表面の温度降下による収縮時の圧縮応力により損傷個所が表面側に押出され浮き上がりが生じたものと推測される。写真-2 に耐火被覆板なし普通コンの加熱表面の状況を示す。試験体取出し後、加熱表面は赤褐色に変色し表面にひび割れは生じていなかった。しかし時間の経過に伴い表面に多数の微細なひび割れが生じた。



写真-1 PP コンの加熱後の状況



写真-2 普通コンの加熱後の状況

弾性波速度測定結果を図-4 に示す。採取したコンクリートコアに対して、超音波法 (ASTMC597 による) による弾性波速度試験を行った。このときの測定位置は、加熱面から深さ 100mm までは 5mm 間隔とし、深さ 100mm 以降については 10mm 間隔とした。1 断面で直角二方向の測定を行い平均した値をその位置での弾性波速度とした。弾性波速度は、加熱面に近づくに従い、弾性波速度が低下する傾向を示し、受熱量による強度低下の影響が認められた。耐火被覆板なしの普通コンと PP コンでは、ひび割れ等によりコアの採取が困難なほど損傷が大きく、弾性波速度が低下していることから、コンクリートの深くまで損傷していたものと推定される。一方、耐火被覆板ありは強度の低下が小さかった。

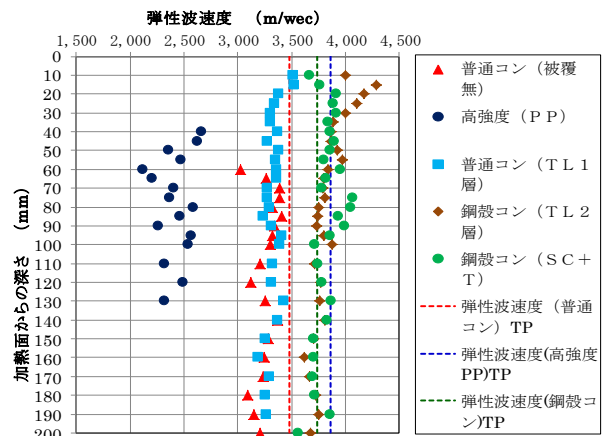


図-4 弾性波速度測定結果

4. まとめ 長時間の車両火災を想定した加熱試験の結果から、以下のことが明らかになった。

(1) けい酸カルシウム系耐火被覆板について

普通コンクリート耐火被覆板なしの試験体内部温度は 50 mm 位置で最高温度 677℃、100 mm 位置で最高温度 320℃であった。一方、普通コンクリート耐火被覆板ありの試験体は、加熱側コンクリート表面の最高温度が 200℃にも満たない結果であり弾性波速度の低下が少ないことから、けい酸カルシウム系耐火被覆板の有効性が認められた。

(2) PP 繊維混入高強度コンクリートについて

PP 繊維混入高強度コンクリートに混入している PP 繊維は耐火試験の温度履歴から 10 数 cm の深さまで融解しているものと推測され、爆裂が抑制出来たものと考えられる。しかし受熱量によるコンクリートの損傷も弾性波速度の結果から認められた。

参考文献) 清宮理, 安本辰也, 本田陵二, 篠田佳男: トンネル内車両火災によるコンクリートの火害と劣化診断, コンクリート工学年次論文集, 2013. 6, Vol. 35, No. 1, pp. 1129-1134