

耐火被覆材(DEFIMA1200)の開発とその耐火試験

大豊建設（株）
同 上

春田 耕平
長谷川 春生

大久保 健治
正会員 ○稲田 文展

1. はじめに 近年、大規模なトンネル火災事故が相次ぎ、自動車・列車などが通行する際の安全確保が重要視され、トンネル火災に対する検討が様々な視点から見直されている。本研究では特に耐火被覆材について検討しており、本報は、耐火被覆材(DEFIMA1200)の開発とその耐火試験結果を報告するものである。

2. 背景 トンネル内において火災が発生すると、閉鎖的な空間が災いし、大惨事になることがある。現在の火災対策として、消火栓や電光掲示板の設置、監視機器、避難路などが規定されているが、万一火災が発生した場合、トンネル内はその閉鎖性の高さから発生熱量の滞留、有害ガスの蔓延、消火活動の遅延によってその内部環境は、極めて厳しくなる。特に、シールドトンネルでは、熱によりセグメントが侵されると強度が低下し、周囲からの土水圧に耐えられず、崩壊する危険性がある。英仏海峡トンネル火災(1996. 11)では、内部温度が1000℃以上になったと推定され、その熱によりコンクリートが爆裂を起こしたことが報告されている。さらに、道路トンネルの場合には、燃料に引火するなどして、内部温度や延焼時間が拡大し構造体に重大な被害を及ぼす可能性が高い。



写真-1 耐火材断面

3. 目的 シールドトンネルのセグメントは、全ての外荷重を支えていることから、耐火対策が重要であり、トンネル覆工体の内面に設ける耐火材が有効である。これまでは二次巻きコンクリートがその役割を果たしてきたが、その所要厚は、トンネル掘削面積を大きくする要因にもなっていた。これに代わり、比較的薄い厚さで所要の耐火性能を発揮する耐火被覆材の開発を検討し、さらに、新設・既設のトンネルに係わらず耐火被覆材を設けることの出来る吹付施工方法も検討した。

4. 所要耐火性能 構造体であるコンクリートが加熱され高温になると圧縮強度や弾性係数が低下する。さらに、急激な温度上昇は、圧縮応力、含水量などの条件によっては爆裂が発生し、コンクリート内部が露出するため連鎖的に爆裂を起こして構造物の断面欠損を大きくする。爆裂の発生温度については、一該には言えないが、比較的高強度であるセグメントは、圧縮力作用下において約200～250℃で爆裂する実験結果が得られている。したがって、火災によるコンクリート構造物の被害を防止する為に、コンクリート表面における温度を200℃以下に抑えることのできる耐火被覆材が必要であると考えた。

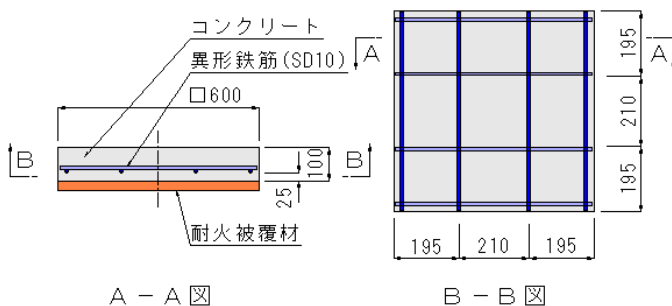


図-1 供試体①

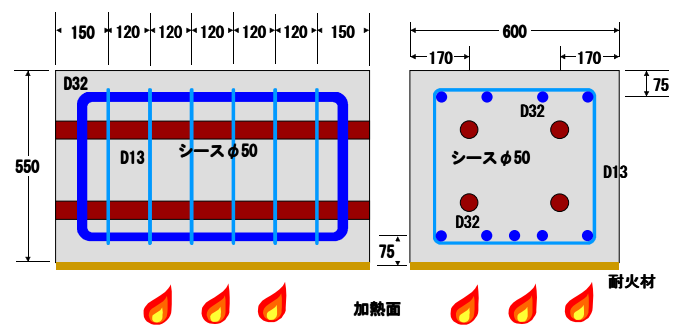


図-2 供試体②

キーワード：トンネル火災 耐火被覆材 コンクリートの爆裂 温度曲線 耐火試験

連絡先：大豊建設（株）技術開発部（〒104-8289 東京都中央区新川 1-24-4 TEL03-3297-7011 FAX03-3297-7065）

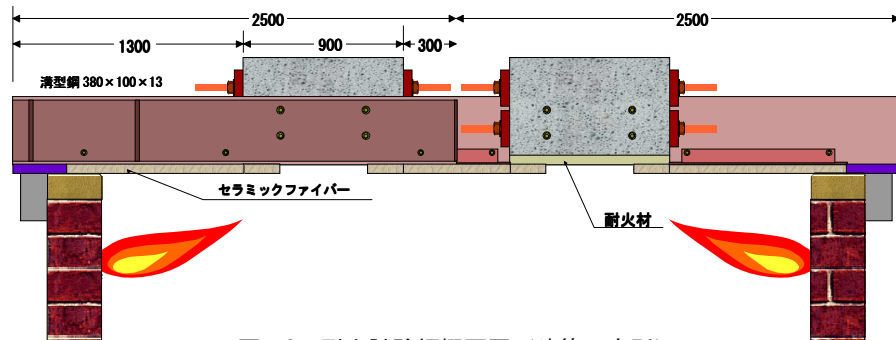


図-3 耐火試験炉概要図（建築研究所）

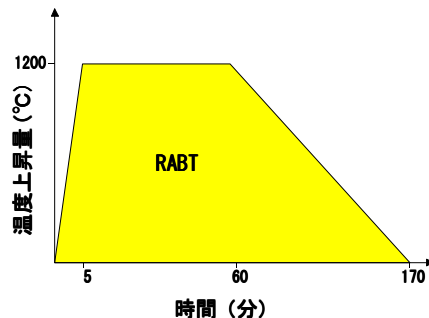


図-4 RABT 相当温度時間曲線

5. 耐火被覆材(DEFIMA1200) DEFIMA1200 は、セメントベースの耐火被覆材で、セメント、軽量骨材、ポリスチレン、微粉末、合成繊維、混和剤等を使用した軽量モルタル（写真-1）である。主にポリスチレンにより、被覆材内部に多数の空隙を持たせ、耐熱効果を発揮することを特徴とし、配合は施工性、強度、付着性能、比重、耐火性能より決定した。施工方法は、材料を特殊なミキシング機により混合し、湿潤状態でポンプ圧送して吹き付けを行った。

6. 試験概要 鉄筋コンクリートに耐火被覆材を吹き付けた供試体（図-1、2）を用いて、大豊建設伊奈試験所と独立行政法人建築研究所で耐火試験を行った。配合は2種類、吹付厚は、各試験ごとに3種類用意した。供試体②は荷重作用下のセグメントを想定し、圧縮応力で 13N/mm^2 の軸力を導入した。コンクリートの設計基準強度・試験場所・吹付厚を表-1に示す。耐火試験炉の温度管理には、危険物車両制限を前提としたドイツの道路トンネル耐火基準である RABT に相当する温度時間曲線（図-4）を用いた。温度はコンクリート表面温度（図-5）を熱電対により計測した。

7. 試験結果 吹付施工は、吹付ノズル形状を改良し、材料の圧送速度、圧縮空気の混合位置や吐出圧を調整することにより、良好な施工性と品質を満足できた。耐火試験では、図-6 が示すように吹付厚に比例した断熱効果が得られ、この結果より被覆材の厚さが約 50～55mm でコンクリート表面温度 200°C 以下を満足することが確認できた。軸力を導入した供試体②も、爆裂現象は生じず、コンクリート表面（写真-2 左）には、ヒビ、変色等も確認されなかった。また、耐火被覆材は熱により変色（写真-2 右）しているが、欠損や熱による風化は認められず、初期の厚みを維持しており、コンクリート面から剥がれ落ちることなく十分な付着を保持していた。耐火被覆材の一軸圧縮強度は平均 3.5N/mm^2 であった。

8. DEFIMA1200 の特徴 試験結果より以下の特徴が挙げられる。
 ①断熱性に優れている。②比重が 0.9t/m^3 程度と軽量である。③接着性が良くジベル等の補強材が不要である。④従来の耐火材やパネル等より材料費が安価で経済的である。⑤吹付・打設の両方の施工方法が可能である。

9. まとめ及び今後の課題 ポリスチレンを主体とする耐火被覆材（DEFIMA1200）の基本的な耐火性能、施工性の確認ができ、実用化に問題がないことが確認できた。今後、耐久性確認試験等を行う予定であり、施工方法や使用機械の改良等についても、実工事適用に向けて検討を進めている。

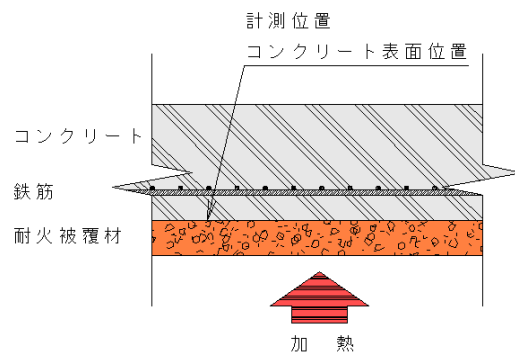


図-5 温度計測位置

表-1 耐火試験概要

配合	配合①	配合②
試験場所		
大豊建設 伊奈試験所	供試体① $f_{cd}=21\text{N/mm}^2$ 吹付厚 30, 45, 65	供試体① $f_{cd}=21\text{N/mm}^2$ 吹付厚 30, 45, 55
独立行政法人 建築研究所	供試体② 軸力導入 $f_{cd}=48\text{N/mm}^2$ 吹付厚 30, 45, 55	

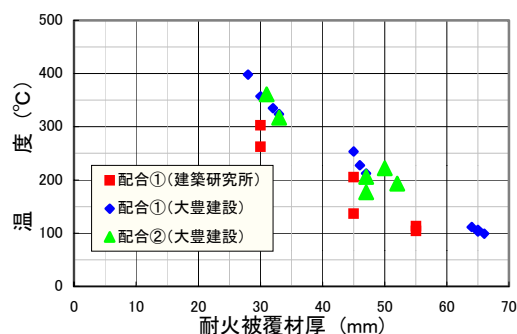


図-6 コンクリート表面位置最大温度



写真-2 耐火試験後状況