

### - 3 特殊空間における火災性状の解明と安全性評価手法の開発

Elucidation of fire properties by peculiar space and method of evaluating safety.

(研究期間 平成 13 年度)

防火研究グループ  
Dept. of Fire Engineering

増田 秀昭  
Hideaki Masuda

遊佐 秀逸  
Syuitu Yusa

河野 守  
Mamoru Kohno

大宮 喜文  
Yoshifumi Omiya

Synopsis- This report is a verification of fireproof performance of tunnel structural member based on the experiment. Concrete might explode in tunnel fire by the temperature's zooming. Therefore, the effectiveness of the prevention measures by the experiment and the fireproofing protection which investigated the mechanism of the explosion was verified. The experiment executed heating by the RABT-fire curve with an actual stress had been added.

**研究目的及び経過】** 我が国のトンネル火災対策は、東名高速道日本坂トンネルの車両火災事故以来、消火栓の設置、監視機器、避難路の設置等が策定されている。これらトンネル火災の問題点は、人命安全の他、長時間の高温加熱によるトンネル構造体への損傷、爆裂の発生等による長期修復工事に起因する経済的損失等である。また、高温加熱によるトンネル構造体強度の低下が重要検討課題であり、最悪の場合はトンネルの崩壊を招くことになる。海外では交通事故等によるタンクローリー等の火災時のへの対応が検討項目の一つとして認識されており、建物火災条件よりも厳しい加熱による試験方法も規定されている。当所では、これらの火災外力が極めて大きな特殊火災時の加熱条件を再現可能な試験設備を整備したことから、ヨーロッパ等で提案されている試験方法を参考として、トンネル火災加熱試験を実施し、耐火被覆工法の特性と今後の課題等について検討を行った。

**【研究内容】** 本実験は、ドイツで行われている RABT 特殊火災曲線（図 - 1 参照）の急激な加熱条件を用い、トンネル躯体 RC セグメントの爆裂メカニズムの究明を目的に行った。

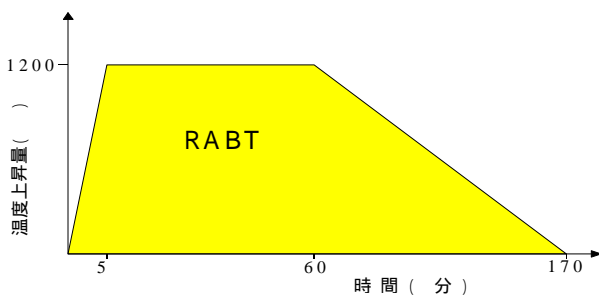


図 - 1 RABT 曲線

1) 小型実験供試体： 実仕様のセグメントの厚さを有し、幅 600×長さ 900×厚さ 550mm のものを供した。耐火被覆の検証実験には加熱面である底面に被覆材を施した。また、双方の一部のものに、実験の事前に長手方向

において実使用時の長期許容応力度を想定し、4本の PC 鋼棒による  $13 \text{ N/mm}^2$  の圧縮応力を導入している。試験体概要を図 - 2 に示す。

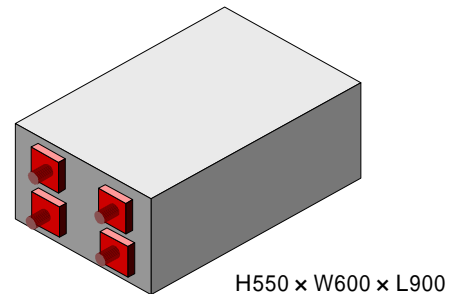


図 - 2 試験体

2) コンクリート： コンクリートの配合は、表 - 1 の通りで、セメント量の 50% を高炉スラグで置換している。また、骨材は、max20mm の硬質砂岩を用いた設計基準強度  $48 \text{ N/mm}^2$  (配合強度  $70 \text{ N/mm}^2$ ) の高強度コンクリートである。養生条件は、30・3 時間の蒸気養生の後、4 週間水中養生を行った。なお、爆裂メカニズムの検証実験用の乾燥状態を想定した供試体については、水中養生を 1 週間とし、その後、気乾養生を行った。

表 - 1 コンクリートの配合

Gmax (mm)	空気量 (%)	W / C (%)	s / a (%)	設計基準強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	
20	1.8	31.9	40.0	48	
単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )					
W	C	S	G	高炉スラグ	高性能減水剤
134	210	744	1149	210	4.2

3) 爆裂メカニズムの検証実験： RC セグメント単体の爆裂メカニズムを解明するために耐火被覆を施さない供試体を用い、表 - 2 に示すように圧縮応力の有無と含水状態をパラメータとして検討を行った。また、加熱部材の

温度履歴を計測するため、図 - 3 に示す位置に熱電対をコンクリート打設時に配している。

表 - 2 供試体一覧

試験体	圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	略号
応力あり - 湿潤	13	4	SM
応力なし - 湿潤	0	4	NM
応力あり - 気乾	13	3	SD

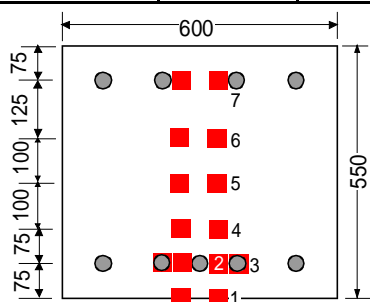


図 - 3 熱電対設置位置

4) 実験結果: 加熱時の温度履歴を以下、図 - 4 ~ 6 に示す。いずれの供試体も加熱開始から爆裂が発生した。加熱表面の部分のコンクリートが小片で弾き飛び、温度履歴からも解るとおり、かぶり厚の減少と入熱によって 10 分経過時から急激に鉄筋部分の温度が上昇した。観察では、大きな爆裂は比較的初期段階で発生し、配筋筋の位置で止まっている。鉄筋部の温度は、加熱終了後の 70 分で最高値を示している。また、いずれの供試体も鉄筋の強度低下の限界値とされる 300 を大きく上回る 600 ~ 800 を示し、セグメントの耐力低下が危惧される。

含水状態の比較では、図 - 4 と 5 に示されるとおり、湿潤状態の方が鉄筋温度の上昇勾配が大きく、且つ、最高温度も約 800 と気乾状態の約 620 を大きく上回り、観察では、爆裂深さも上回った。結晶水以外の絶えず湿潤状態の環境下でのトンネル躯体を考慮すると、火災時には、高強度コンクリートの含水量によって水蒸気圧大きくなり、爆裂現象が顕著となる傾向を示す。

応力の有無では、図 - 4 と 6 を比較すると、鉄筋部、深さ方向に 150mm 及び 350mm の位置での温度上昇共に応力を加えた仕様の方が大きい値を示した。

以上から明らかとなったことは、

- 1) 耐火被覆を施さない RC セグメントは、火災時に爆裂を生じる。
- 2) 爆裂は、配筋筋の位置まで達し、鉄筋の温度は最高値で約 600 ~ 800 に上昇し、トンネル躯体の耐力低下が危惧される。
- 3) 圧縮応力が作用した場合には、爆裂現象が顕著である。

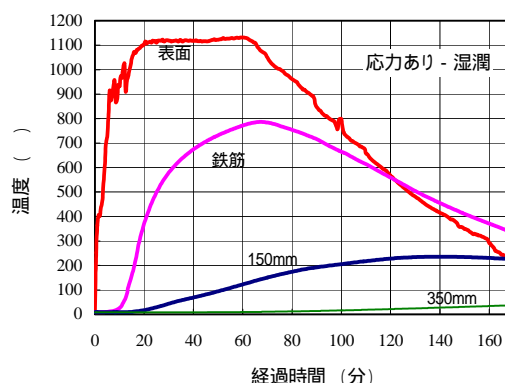


図 - 4 温度履歴 (応力あり - 湿潤)

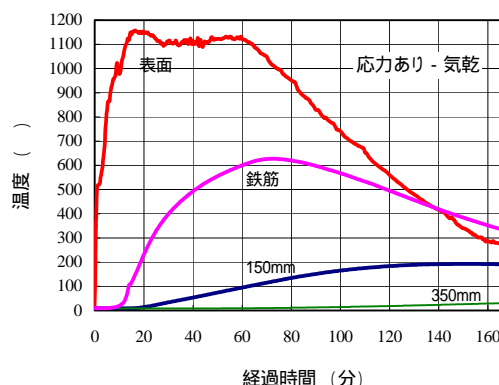


図 - 5 温度履歴 (応力あり - 気乾)

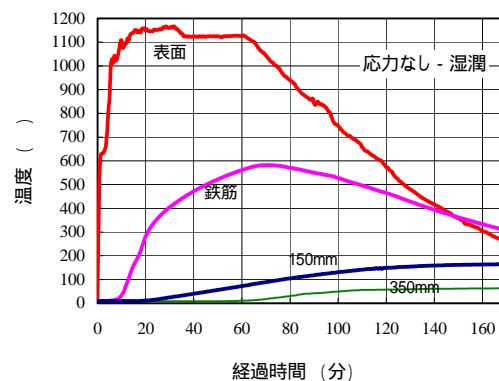


図 - 6 温度履歴 (応力なし - 湿潤)

**【研究結果】** 本年度は、トンネル構造躯体の R P C 高強度コンクリートの耐火実験を行い、爆裂現象の究明に関する基礎資料を収集したが、更に、次年度以降、爆裂現象を防止するための耐火被覆工法並びに耐火被覆材料の開発を行い、防災安全性評価手法を確立することとする。「参考資料」2002 年コンクリト工学年次論文 / RC セグメントの耐火性能に関する実験的検証:半野,田嶋,川田,谷上 / RC セグメントの高温時の特性:堀,大関,大塚,神田. EUROCOAD-4. EUREKA-PROJECT EU499.