

模擬トンネルを用いたコンクリートの耐火性能評価 -模擬トンネルの作製及びトンネル内・供試体内温度の測定-

学生氏名 岡田 稔

指導教員 栗原 哲彦

1.はじめに

近年、トンネル火災によってコンクリートは甚大な被害を生じたという報告がなされている¹⁾。そのため、トンネル火災によるコンクリート劣化のメカニズムの解明が必要となる。そこで、本研究では、火災による劣化を把握するためにトンネル火災を想定した模型実験を行う。本稿では本実験システムを用いた際の火災曲線及び供試体内温度変化について検討を行った。

2. 模擬トンネルの作製

2.1 径深を適用したトンネルの縮小化

本研究では径深 D_r ²⁾ (式(1)参照)を代表寸法とし、実トンネルの代表寸法 D_{rA} と模擬トンネルの代表寸法 D_{rM} のスケール比 D_{rM}/D_{rA} によって実トンネル断面を縮小することで模擬トンネルを作製した。

$$D_r = \frac{HW}{2(H+W)} \quad (1)$$

ここで、 D_r :径深(m) H :高さ(m) W :幅(m)

次に、実トンネル断面の縮小に伴った火源の縮小を行った。火災による熱エネルギーは炎の高さ×燃焼面積によって表すことができる。ここで、炎の高さ H_f は式(2)で表すことができ、これらの構成要素のうち重力加速度・空気密度は一定であるとみなすことができる。また、燃焼温度・風速・熱源エネルギーは実トンネル・模擬トンネルの双方において同値であると考えた。これにより、炎の高さは一定となるため燃焼面積をトンネル断面と同スケールで縮小することで熱エネルギーを縮小できるものと考えられる。

$$H_f \propto T \cdot g \cdot v \cdot T_T \cdot \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

ここで、 T : 燃焼温度 $T_A/T_M = 1.0$
 g : 重力加速度 $g = \text{一定}$
 v : 風速 $v_A/v_M = 1.0$
 T_T : 熱源エネルギー $T_{TA}/T_{TM} = 1.0$
 ρ : 空気密度 $\rho = \text{一定}$

2.2 模擬トンネルの設計

今回、断面モデルには円形断面の模擬トンネルは作製が困難なため矩形断面を用いた。そこで矩形断面で

は代表的な断面比(3:5)の東京港第2 航路海底トンネル¹⁾の片側車線(断面寸法:6.55m×9.2m, 図1参照)を用いた。また、実トンネル断面と同じ断面比(約3:5)を用いて作製した模擬トンネルの断面寸法は 65mm×100mmとした。これより、式(1)によって算出した実トンネルの代表寸法は $D_{rA}=1.91(\text{m})$ となり、模擬トンネルの代表寸法は $D_{rM}=0.0197(\text{m})$ となる。ゆえに、 D_r スケール比は 1/100 となり、本研究で作製した模擬トンネルは実トンネルを 1/100 に縮小したモデルであると言える。また、このときトンネル内の風速を一定と定義したため模擬トンネルの長さ方向については考慮しない。

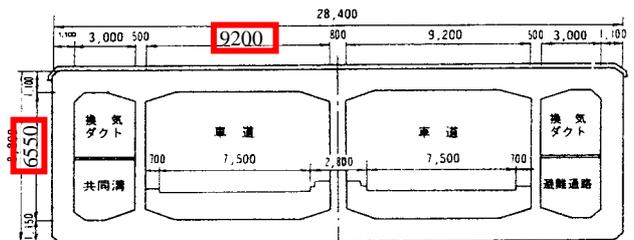


図1 東京港第2 航路海底トンネル断面図

火源の熱エネルギーは実現現象での可燃物積載車両火災³⁾の2~3倍を想定した80MWとした。これは、実トンネルでは36m²の燃焼面積に相当する³⁾。これをトンネル断面と同様に 1/100 スケールで縮小し、30mm×120mmの燃焼面積とした。ここで、火源の燃料にはガソリンと同等の熱量を持ち揮発性が低い⁴⁾ため、比較的安全性に優れている灯油を用いた。また、模擬トンネル内での炎の不完全燃焼を防ぎ、温度上昇を促進するためにファンによる送風(風速:2.0~3.0m/sec)を行った。図2に作製した模擬トンネルを示す。

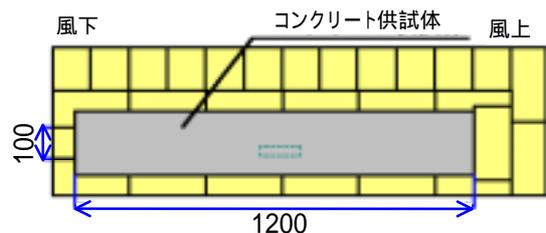


図2 模擬トンネル上面図

ここで、作製した模擬トンネルの火災温度 時間曲線(以下、火災曲線)とメモリアルトンネル火災実験³⁾の火

災曲線を比較する。図3より本研究における火災曲線は実大トンネルの火災曲線と近い値を得ることができた。

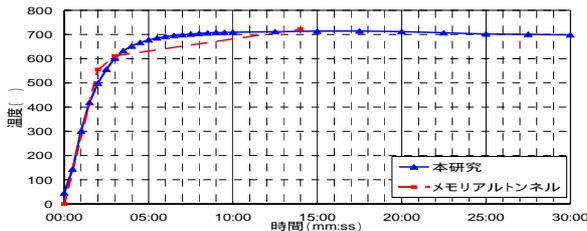


図3 メモリアルトンネルと本実験の比較

3. 耐火実験概要

3.1 供試体の作製

今回、W/C=30・40・50%のコンクリート(以下 CON-30・CON-40・CON-50 とする)及びW/C=50%の鋼繊維補強コンクリート(以下 SFRC-50とする)を作製し、28日間の水中養生とした。各シリーズの配合を表1に示す。

表1 配合表

シリーズ名	W/C %	単位量 (kg/m ³)							
		W	C	S	G	Ad1 ^{*1}	Ad2 ^{*2}	Ad3 ^{*3}	Fb ^{*4}
CON-30	30	172	588	639	927		4.33		
CON-40	40	187	468	705	924		4.68		
CON-50	50	169	353	789	972	0.88		0.04	
SFRC-50	50	193	353	789	972	1.32		0.05	118

*1: AE減水剤, *2: 高性能AE減水剤, *3: 補助AE剤, *4: 鋼繊維

3.2 温度測定方法

トンネル内温度は、図4に示すようにK型シース熱電対をトンネル内の各地点に配置し、測定を行った。なお、熱電対の高さは模擬トンネル上面から10mm下とした。供試体内温度は、図5に示すようにK型熱電対を供試体内の各地点に埋込み、測定を行った。供試体の厚さ方向の温度変化を把握するために供試体下面に限りなく近づけた点(以下0mmとする)とそこから10、20、40mmの高さに4点ずつ設置し、温度変化を計測した。また、トンネル内熱電対と供試体内熱電対の各点の設置番号を図4・5中に示す。火皿のある長手方向の列を火皿側、反対の列を奥側とする。

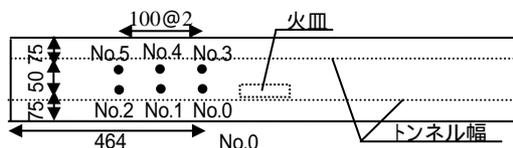


図4 トンネル内熱電対設置位置

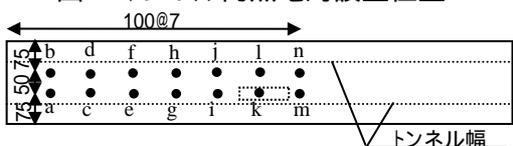


図5 供試体内熱電対設置位置

4. 実験結果及び考察

4.1 トンネル内温度測定結果

トンネル内の火災曲線は各シリーズにおいて同程度と

なった。そこで一例として図6にCON-30を示す。No.0は加熱開始から急激に温度が上昇し、加熱5分で最高温度の約700に達した。その他の点での最高温度はNo.1で約600、No.2で約450、No.3で約200、No.4で約400、No.5では約300となった。No.3の最高温度が低い理由は送風によって炎が風下側に押されてしまったため熱が伝わらなかったと考えられる。

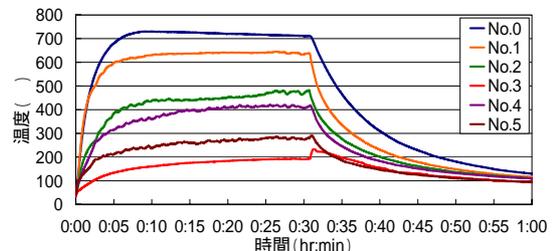


図6 模擬トンネル内温度 時間曲線(CON-30)

4.2 供試体内部温度の測定結果

加熱開始30分における火皿側・奥側断面のコンクリート内温度分布の一例を図7に示す。温度分布は模擬トンネル風下側から400mmの高さ0mmの点を中心に放射円状に広がっていて高さ0mmと40mmにおける温度差は大きい。これは、熱の移動が高温部から低温部へと徐々に進むためであると考えられる。

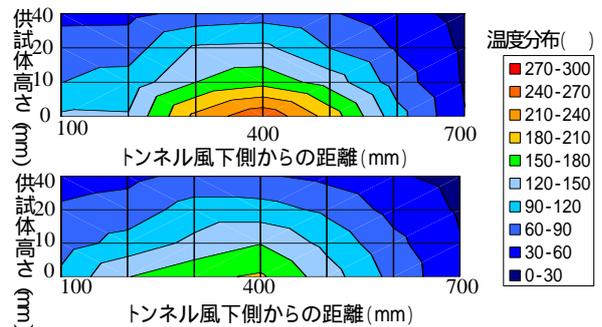


図7 CON-30 温度分布(上:火皿側,下:奥側)

5. まとめ

本研究では実トンネルの断面を径深により縮小した模擬トンネル及び火皿、送風システムなどの実験システムを作製した。作製した模擬トンネルにおいて耐火実験を行った結果、本実験の火災曲線はメモリアルトンネル火災実験の火災曲線と近い形状をとった。また、加熱開始から30分のコンクリート内温度分布は熱の移動が徐々に進むため、また、上面が外気により冷やされるために供試体下面から0mmと40mmにおける温度差は大きいことが明らかになった。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物の火災安全性研究委員会報告書, 2002.6, p.1. p.171
- 2) 日野幹雄: 明解水理学, 1983, p.46
- 3) Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program Test Report, Bechtel/Parsons Brinckerhoff, November 1995
- 4) 小林清志 荒木信幸 牧野敦: 燃焼工学, pp.5-20, 1988.8.31