

トンネル火災を想定した加熱実験と熱伝導解析による断面温度分布への含水率の影響評価

大成建設技術センター 正会員 水野 敬三
 大成建設土木本部 正会員 西田与志雄
 成和コンサルタント 宮田 禎男

1. はじめに

道路トンネルの通行規制緩和やシールドトンネル施工方法の合理化、欧州における大規模なトンネル火災の多発等を背景に我国でもトンネルの耐火性能確保が強く要望されるようになり、加熱実験が行われるようになってきた。本発表ではトンネル火災を想定した加熱条件として採用されつつあるRABT曲線による鉄筋コンクリート試験体の加熱実験を行った。その実験結果から算定したコンクリートの熱拡散率を用いた差分法による非定常熱伝導解析を行い、コンクリートの含水率が断面温度分布に及ぼす影響を評価した。

2. 加熱実験

表 1, 表 2 にコンクリートの使用材料と配合を示す。試験体は縦 3800mm × 横 3700mm × 厚さ 300mm の鉄筋コンクリート板としコンクリートには爆裂抑止のために有機繊維を 1kg/m³ 混入した。コンクリートの実験時の圧縮強度は 35.6N/mm²、含水率は 4.3wt% であった。試験体は加熱面 (3000mm × 3200mm) にコンクリートが露出した状態で耐火試験炉 (写真 1) に設置した。実験では炉内温度 4 点、試験体内部温度は 2 箇所深さ方向に 10 点の合計 24 点を測定した。図 1 に炉内温度・試験体内部温度 (南側) と時間の関係を示す。炉内温度は加熱開始から 5 分 20 秒で平均 1200 に到達、150 分迄は RABT 曲線に沿って変化し、170 分では 137 まで下がった。また、試験体内部で RABT の構造体許容温度である 300 に到達した深さは南側で 66mm、北側で 61mm と推定された。

3. 熱拡散率の算定

1 方向のみに熱流がある場合の非定常熱伝導方程式は (1) 式のように表される。

$$\rho \cdot c \frac{dT}{dt} = \lambda \frac{d^2T}{dx^2} \quad \dots (1)$$

ここに、 T : 温度(K) t : 時間(s) x : 位置(m) :
 密度(kg/m³) c : 比熱(J/kg/K) : 熱伝導率(W/K/m)

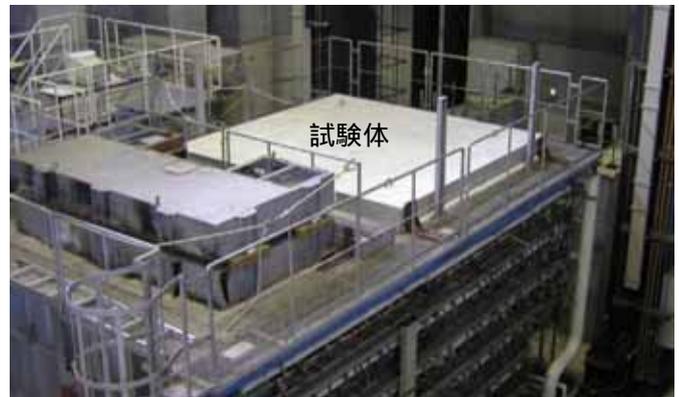


写真 1 耐火試験炉

表 1 コンクリートの使用材料

材 料	種 類
セメント	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
細骨材	君津産山砂、秩父産石灰砕砂
粗骨材	大月産安山岩碎石、上磯産石灰砕石
混和剤	A E 減水剤 (ポゾリス No.70)
有機繊維	ポリプロピレン (径 48 μm、長さ 10mm)

表 2 コンクリート配合

W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
		水 W	セメント C	細骨材		粗骨材		混和剤 No.70	有機繊維 PP
				君津	秩父	大月	上磯		
57.4	48.0	186	324	593	258	626	275	0.81	1.0

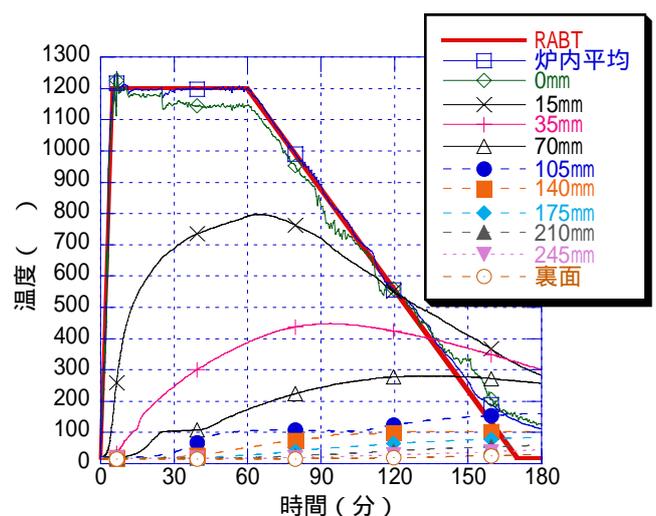


図 1 炉内・試験体内部(南側)温度と時間の関係

キーワード トンネル火災, 加熱実験, コンクリート, 熱拡散率, 熱伝導解析, 含水率

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7212

これをクラック-ニコルソン差分法により時間を離散化すると(2)式ようになる.この(2)式を用いて断面温度分布データから熱拡散率(= / c)を算定した.

$$\lambda = \frac{2 \cdot (x_{i+1} - x_{i-1}) \frac{T_{i,j+1} - T_{i,j}}{\Delta t}}{\left(\frac{T_{i-1,j} - T_{i,j}}{x_i - x_{i-1}} - \frac{T_{i,j} - T_{i+1,j}}{x_{i+1} - x_i} + \frac{T_{i-1,j+1} - T_{i,j+1}}{x_i - x_{i-1}} - \frac{T_{i,j+1} - T_{i+1,j+1}}{x_{i+1} - x_i} \right)} \dots (2)$$

ここに、添え字 *i* は空間、*j* は時間を表す.

図2に熱拡散率と温度の関係(算定結果)と熱伝導解析に用いた熱拡散率を示す.図中のプロットは、例えば :N35mm は北側の断面温度分布データのうち、加熱面から 15mm、35mm、70mm の3点のデータを用いて算定した値を算定した時刻の 35mm 位置における温度に対してプロットした.

4. 熱伝導解析による含水率の影響評価

図3に加熱開始60分の温度分布、図4に最高到達温度分布の実験値と解析値の比較を示す.解析では試験体を加熱面から5mm、10mm×29、5mmの31メッシュに分割した一次元の解析モデルを作成し、コンクリート要素の含水率を0%、4%、8%の3水準とした.加熱側の雰囲気温度はRABT曲線とし170分以降は20一定、また裏面側は20一定とした.計算は加熱開始から240分まで行った.加熱開始60分の断面温度分布の比較では含水率4%の解析値と実験値が比較的良く一致し、実験値が含水率0%の解析値を上回ることはなかった.最高到達温度の比較でも同様の傾向となった.解析ではコンクリートの最高到達温度が300となる深さは含水率8%で55mm、4%で62mm、0%で73mmとなった.これはコンクリート中の水分が加熱時に蒸発潜熱を奪うため、含水率が高い程、試験体温度は上昇しにくくなったと考えられる.

5. まとめ

加熱実験結果から算定した熱拡散率を用いて熱伝導解析を行い、断面温度分布に対する含水率の影響を評価した.その結果、コンクリートの含水率が高い程、躯体の温度は上昇しにくく、300に到達する躯体深さは含水率0%と含水率8%では18mm異なることが解析から予測された.トンネルの耐火性能を加熱実験から判断、あるいは設計するには、爆裂対策と共に実トンネルの含水率を考慮することが重要であると思われる.

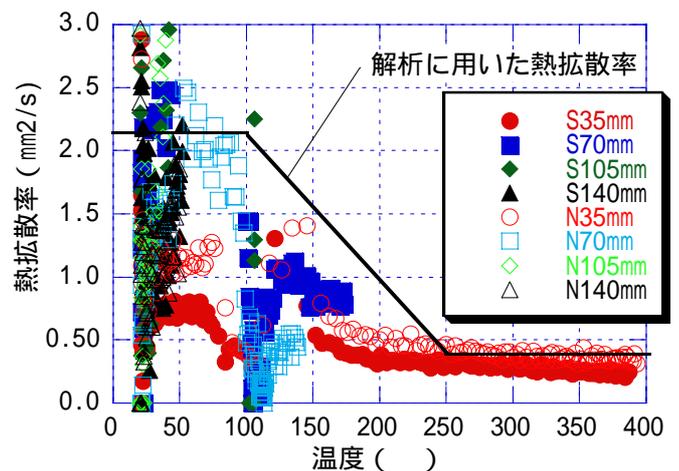


図2 熱拡散率と温度の関係

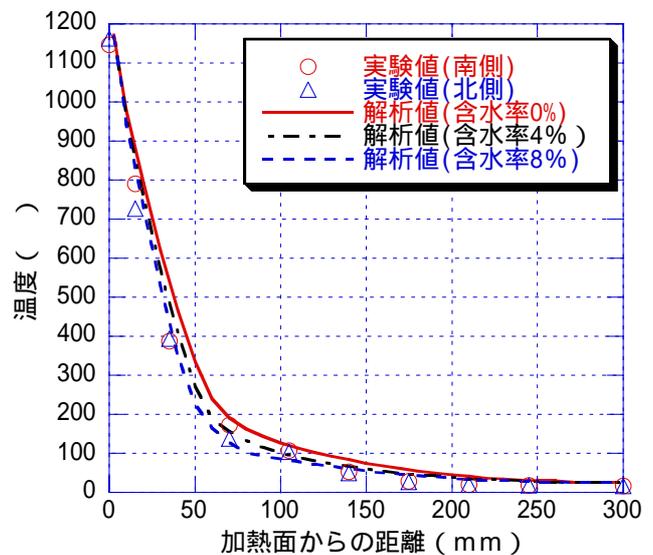


図3 実験値と解析値の比較(加熱開始60分)

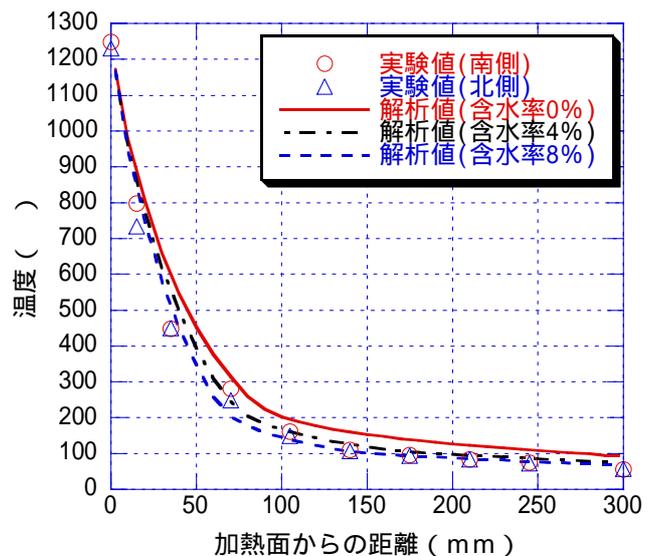


図4 実験値と解析値の比較(最高到達温度)