

V-50

コンクリートの火害に関する研究

東北学院大学 学生会員○小山秀和
東北学院大学 正会員 石川雅美

1. はじめに

日本におけるトンネルの火災事例としては、東名高速・日本坂トンネル（1979年）、奈良・大阪県境・水越トンネル（2000年）などの例が挙げられる。これらの火災事例におけるコンクリートの表面温度はそれぞれ、日本坂トンネルで $600^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、水越トンネルで 500°C 程度であったとされているが、いずれの場合にも火害に対する構造物の安全性が問題視されるまでには至らなかった。しかしながら、1996年のユーロトンネルおよび1999年のモンブラントンネルの火災例では、トラックが積載していた通常の積荷の燃焼によってコンクリートの温度が 1200°C にまで達し、一部のコンクリートが爆裂を起こすなど、構造物が重大な損傷を受けることが明らかとなった。これを契機として、わが国においても積極的な火害対策の検討が始められることとなった。

火害の対策として、現在最も有効と考えられているのはトンネル壁面を耐火材で被覆する方法である。しかしながら、トンネル内には案内板などの設備を取り付けるための埋設金物が耐火被覆材を貫通してコンクリート中に定着されるため、火災時にはこれが熱橋となってコンクリートに損傷を与える影響が懸念される。谷辺ら²⁾はこの影響を調べるため、耐火被覆材とトンネルコンクリートを模擬した試験体を作成し、耐火実験を行った。本研究は、谷辺らの実験に対して、有限要素法による数値解析により、試験体内部の温度分布をより詳細に検討することを試みたものである。

2. 谷辺らの実験概要

谷辺らのモデル試験体は図-1および図-2に示すように、5種類のインサートあるいは後打ちアンカーの材質を5種類に変化させて実験を行った。試験体のコンクリート表面には耐火被覆材を取り付け、耐火材表面から20mm離れた位置に設備取付金物を長ボルトで固定している。この試験体を炉に入れて、図-3に示すRABT曲線（5分で 1200°C まで昇温、55分間 1200°C を保持、110分で常温まで降下）に従って加熱した。実験の結果から、埋設金物が熱橋となりコンクリート温度を上昇されることを確認している。実験の詳細は文献²⁾を参照されたい。

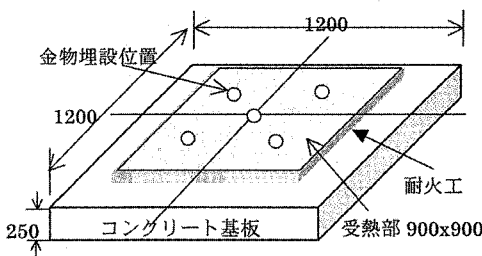


図-1 試験体概要

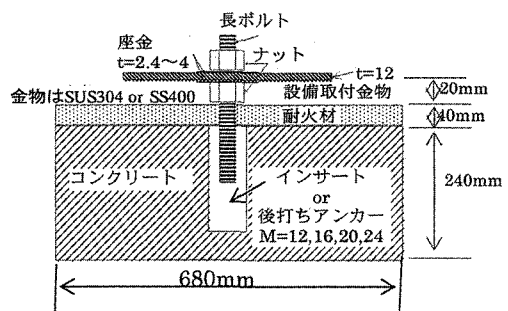


図-2 試験体断面図

3. 数値解析による検討

図-2に示す試験体の断面図を2次元軸対象問題としてモデル化して、有限要素法による非定常・非線形熱伝導解析を実施した。解析にはADINA-Tを使用した。図-4に解析モデルを示す。実際の試験体では、加熱面と反対側となる裏面にはコンクリート面が露出した状態ではあるが、解析ではこの裏面の境界条件を反映させる方法として、断熱材を取り付けている。表-1に解析に用いた熱定数を示す。なお、コンクリートの熱伝導率 λ_c と比熱 C_c は温度に依存して変化するため、次式に従うこととした。解析の境界条件を図-4中に示す。

$$\lambda_c = 2 - 0.24T/120 + 0.012(T/120)^2 \quad (20 \leq T \leq 1200) \quad \text{式(1)}$$

$$C_c = 900 + 80T/120 - 4(T/120)^2 \quad (20 \leq T \leq 1200) \quad \text{式(2)}$$

また、鋼材の熱伝導率も温度依存であり Eurocode4³⁾の値を用いた。

表-1 各種材料の熱定数

	耐火材	断熱材	鋼材	コンクリート
熱伝導率(W/mk)	0.19	0.2	温度依存	温度依存
比熱(kJ/m ² k)	679.0	1000.0	4710.0	温度依存

解析では、外気温が RABT 曲線に従い変化し、熱伝達によって金物表面と耐火被覆材表面が受熱するように設定した。

図-5 は、加熱後 60 分の設備取付金物($t=12, L/2=170\text{mm}$)の温度分布である。実験と比較して解析値は最大で 200℃程度低いとなっている。解析では輻射熱の影響を考慮していないことが、両者の違いの一因と考えられる。図-6 は耐火被覆材裏面と接するコンクリート温度履歴であるが、こちらは解析結果が実験値よりも 200℃程高い値となっている。図-7 は 1 時間後の温度分布である。

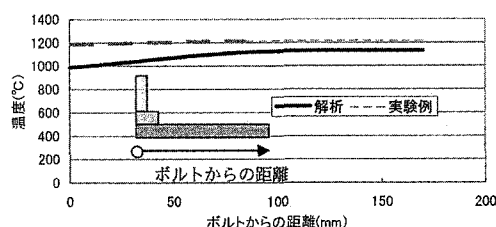


図-5 設備取付金物の温度分布(加熱後60分)

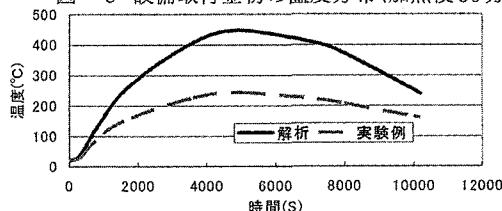


図-6 設備取付金物の温度分布

4. まとめ

耐火被覆を施したトンネルコンクリートにおいて、被覆を貫通する埋設金物が熱橋となってコンクリートを加熱する影響について解析的な検討を行った。その結果、数値解析によっても明らかに埋設金物が熱橋となっている現象を確認した。ただし、解析によるコンクリート温度は実験値と比べて 70℃から 200℃程度高い値であった。これについてはコンクリートの熱定数の温度依存性について再度検討する必要があると思われるものの、熱の伝導傾向などは実験とほぼ同様であることから、数値解析によってもコンクリートの熱挙動をほぼ捉えることができたものと考えられる。

参考文献 1)コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集、コンクリート技術シリーズ 63、土木学会、2004、
2) 谷辺徹、中村秀美ほか：耐火試験による埋設金物に関する実験的検証、土木学会年次学術講演会講演概要集、2004.1 3) Eurocode4: Design of composite steel and concrete structures Part1.2 Structural fire design(Final Draft prENV1994-1:2)

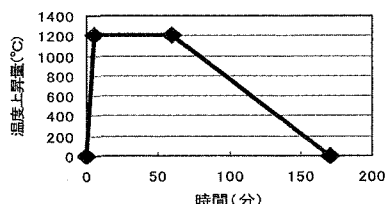


図-3 RABT 曲線

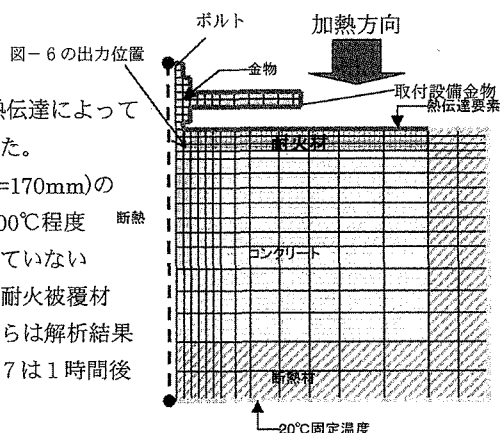


図-4 解析モデル

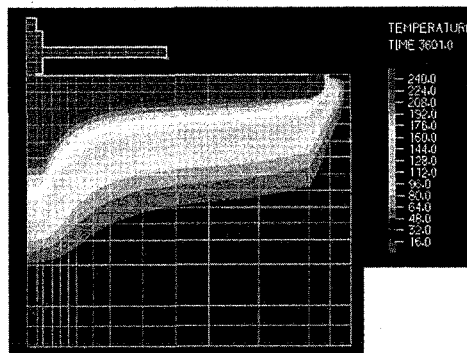


図-7 加熱後1時間後の温度分布