

車両火災でのトンネル構造体の安全性に関する熱応力解析

早稲田大学 学生会員 ○古川 佑介
 早稲田大学 フェロー 清宮 理
 早稲田大学 正会員 中井 章裕

1. はじめに 近年可燃物を大量に積載する大型輸送車両や危険物を満載した大型タンクローリー車両などの通行量の急増が著しい。これらがトンネル内部で火災を発生させれば構造体への損傷度合いと人命に関わる影響は極めて甚大である。重要なトンネルでは避難通路の確保などの安全対策とともに車両火災からトンネル本体を守るため耐火板などの防火工を取り付ける事例が増加している。しかしながら、トンネルにおける加熱時の安全性は十分に検討解明されていないが現状である。そこで、耐火板を取り付けた沈埋トンネルを対象に火災時での構造体の安全性について熱伝導解析と熱応力解析を解析して検討した。

2. 解析概要 関西地区に建設されたトンネル沈埋函を解析モデルとして使用し、有限要素法プログラム SOLVIA により火災時での各部材の温度分布を熱伝導解析で計算する。設計火災曲線は RABT 曲線である。得られた温度分布をもとに熱応力解析を行う。得られた部材内の応力度分布より各部材の断面毎の断面力（軸力、曲げモーメント、せん断力）を求める。この断面力を受けたときの各断面のコンクリートおよび鉄筋に作用する応力度を計算し、コンクリートおよび鉄筋の許容曲げ圧縮応力度、許容せん断応力度と比較する。また、許容応力度を越える部材に関しては終局、降伏、ひび割れ曲げモーメントとの比較による破壊に対する安全性を照査する。

2.1 解析モデル 解析モデルの概要を図-1に示す。鉄筋コンクリート製の沈埋函と設定し幅 35.2m、高さ 8.65m で部材厚は上床板で 1.15m、隔壁で 0.6m である。常時荷重として函体上面および側面に土圧と水圧、函体下面に地盤反力、函体上面および下面に水圧、函体自重を作用させる。また、地震、常時における温度、不同沈下などは考慮してない。要素は平面ひずみ要素で総要素数は 1104 である。

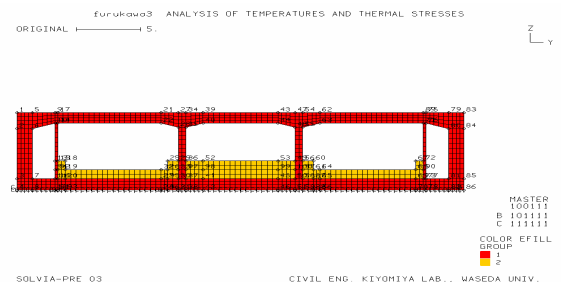


図-1 解析モデルの概要

2.2 部材内の温度分布 今回の解析ではトンネル右側の車道部における火災を想定する。内側には耐火板を取り付けた状態で、車両火災によるコンクリート内部の温度を設定する。

3. 計算結果 3.1 温度分布と応力度分布 図-2にコンクリート部材内部の温度分布曲線を示す。図から分かるようにコンクリート表面の温度は 250~350 度に達するが内部には温度進展があまり見られない。火災終了後にも内部温度は上昇し深部に熱が伝達していく。内部温度は一般的に言われている火災時のコンクリートの許容温度以内である。解析では火災発生から 60 分後、240 分後、360 分後の場合について検討する。火災発生から 60 分後では部材の内側表面温度上昇を 250℃とし、内側表面から約 0.3mの位置が 0℃となるように線形に温度を設定した。同様に 240 分後では内側表面温度上昇を 150℃、内側表面から約 0.6mの位置が 0℃と、360 分後では内側表面温度上昇を 100℃、外側表面温度が 0℃となるよう設定した。

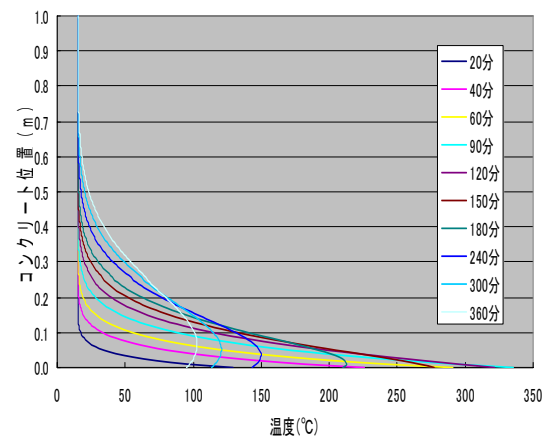


図-2 コンクリート内部の温度分布曲線

キーワード 熱応力, トンネル, 車両火災, 有限要素法, 安全性

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工研究科清宮研究室 TEL 03-5286-3852

3.2 曲げに対する検討結果 右側上床版の応力分布を右側隔壁の応力分布を図-3と図-4にそれぞれ示す。火災面に接している部分では圧縮応力度がコンクリート表面付近に生じ圧縮強度以上の応力度となっている。裏面側には引張応力度が生じひび割れが生じる応力度が計算されている。トンネル右側の上床版と隔壁でコンクリートおよび鉄筋に計算された応力度が許容応力度を越えている。曲げモーメントと終局、降伏、ひび割れ曲げモーメントとの比較をする。ここでは特に許容値を大きく上回った、火災から60分後の場合の右側の上床版および隔壁のモーメント比較図を図-5、図-6に示す。

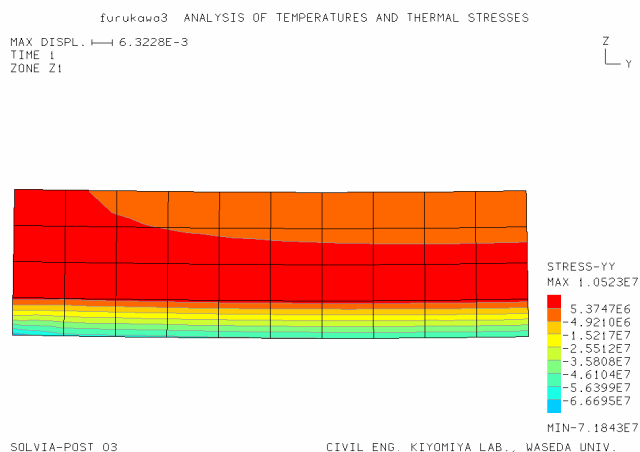


図-3 右側上床版の応力分布図

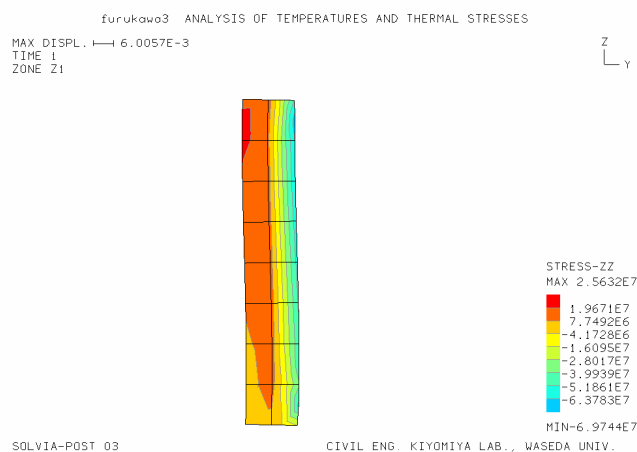


図-4 右側隔壁の応力分布図

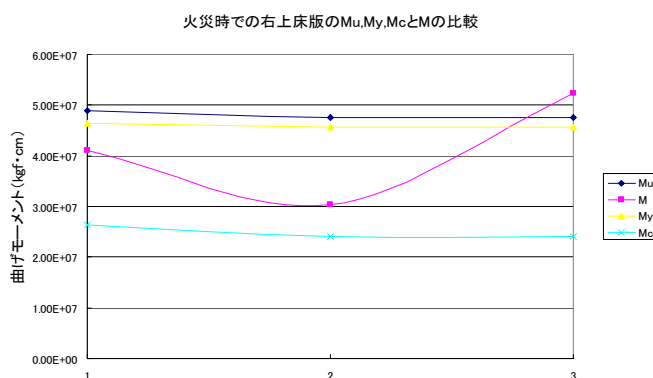


図-5 右側上床版のモーメント比較図

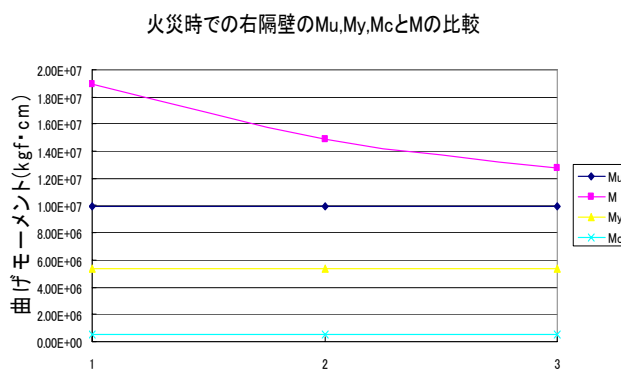


図-6 右側隔壁のモーメント比較図

図-5, 図-6より, 上床版, 隔壁とも終局曲げモーメントを超える曲げモーメントを受けている箇所がある。部材の一部に破壊が生じる計算結果となった。ただコンクリートの圧縮破壊の範囲はコンクリート表面に限定され構造部材の崩壊には至らないと判断された。

3.3 せん断に対する検討結果 解析の結果, 全ての場合において各部材でのせん断応力度は許容応力度を下回った。よって, せん断に対しては安全性を満たしていると考えられる。

4. 結論 本研究では, 耐火板を取り付けた鉄筋コンクリート製のトンネルの熱応力解析を火災発生からの経過時間を1, 4, 6時間の3段階について検討した。この結果火災により構造部材は損傷を受けることが計算された。しかしトンネル全体としては破壊することがなく, 崩壊などの危険性はないと判断された。従来の耐火設計では構造の構成部材が許容温度以内になるように耐火工を配置することを念頭に置いていた。今回の検討結果から各材料の許容温度以内でも, コンクリート部材内の温度の分布により火災が終了した後でも部材に損傷を与える可能性があることを示している。トンネル耐火の設計では, 構造体としての安全性も今後照査する必要があると考えている。

参考文献 土木学会: 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、平成16年10月