

加熱範囲の違いが火災加熱を受けるトンネル構造物の変形挙動に及ぼす影響に関する研究

大成建設(株) 正会員 ○河村 圭亮, 正会員 福浦 尚之, 正会員 服部 佳文

1. はじめに

火災加熱を受けるコンクリート構造物の変形挙動を評価するため、著者らはこれまでに3次元有限要素法を用いた熱伝導解析および熱応力解析の一方向連成解析による耐火解析手法を構築してきた¹⁾。耐火解析の実構造物への適用として、既往の研究では、トンネル全体系を対象とした解析を実施した例がある^{1),2)}。しかし、火災加熱を受ける範囲の変形挙動が他の範囲へ及ぼす影響については検討されていない。そこで、本研究では構築した手法を用いて火災加熱に伴うトンネル構造物の変形が円周方向および軸方向に及ぼす影響について解析的に検討した。

2. 解析概要

本研究では図-1に示す外径12m、覆工厚さ0.4mのトンネルを想定して、表-1に示す3ケースで解析を行った。Case-Aは、軸方向(奥行き方向)には1要素(0.5m)でモデル化し、加熱範囲を内空側全面とした。Case-Bは円周方向への影響について検討するケースとして、軸方向1要素のモデルに対して、加熱範囲をクラウンから45°までの範囲とした。本ケースの加熱範囲は、既往のトンネル火災を対象とした熱流体解析³⁾で、クラウン付近の温度が他の部位よりも高くなる結果が得られていることを参考にして設定した。Case-Cは軸方向への影響について検討するケースとして、軸方向の長さを外径Dに対して1Dとなる12mでモデル化し、加熱範囲を円周方向には全面、軸方向には中央の6m区間とした。解析モデルは、Case-A,Bは水平方向の対称性を考慮した1/2モデルとし、Case-Cはさらに軸方向の対称性も考慮した1/4モデルとした。なお、いずれのケースも軸方向の端部は拘束した。

熱的境界条件は、内空側の雰囲気温度として加熱開始から5~60分は1200℃一定で、170分で常温に戻るRABT曲線に従う加熱を、各ケースの加熱範囲に与えた。加熱範囲外については内空側の雰囲気温度を20℃で一定とした。また、地山側の雰囲気温度はいずれのケースも20℃で一定とした。加熱温度条件については、厳密には、熱流体解析³⁾によって温度分布および履歴を算定すると、より正確な条件となる。しかし、本検討では基本的な変形挙動について把握することを目的とするため、熱的境界条件については簡易に設定した。

コンクリートの圧縮強度は54N/mm²とした。鉄筋については、円周方向には内外ともに芯かぶり90mmの位置にD19を200mmピッチで、軸方向には配力筋としてD16を200mmピッチで配置した。また、構造物は周辺地盤を模擬した、圧縮に変位した時のみ作用する地盤バネによって支持されるものとし、地盤反力係数はk=50,000kN/m³とした。

長期荷重として、図-1に示す土水圧を想定した外力およびコンクリートの自重を導入した後、熱応力解析を実施し、加熱開始から6時間後で計算を終了した。

3. 火災加熱に伴う変形挙動がトンネル円周方向に及ぼす影響

Case-A,Bについて、最外縁の円周方向ひずみ分布を図-2に、スプリングライン(以下、S.L.)での断面内の円周方向応力分布を図-3にそれぞれ示す。なお、本論文での応力およびひずみはいずれも引張を正とする。

Case-Aでは、図-2(a)より加熱開始から6時間後では外側に約300μの引張ひずみが生じ、円周方向にはほぼ一様な分布となった。また、図-3(a)より外力作用下で温度上昇に伴って加熱面付近の材料強度が低下すると、中立

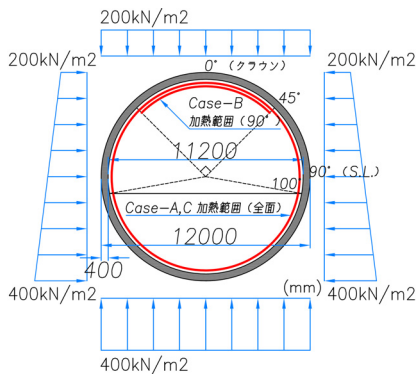


図-1 想定したトンネル概要と外力条件および加熱範囲

表-1 解析ケース一覧

ケース	解析モデル	加熱範囲
Case-A	軸方向0.5m (1要素)	円周方向：全面
Case-B	軸方向0.5m (1要素)	円周方向：クラウンから45°までの範囲
Case-C	軸方向12m (=1D)	円周方向：全面 軸方向：中央6m (=1/2D)

キーワード 火災, 熱伝導解析, 熱応力解析, トンネル

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7230

軸が裏面側へ移動し、偏心モーメントが生じることや、厚さ方向や異種材料間で熱膨張ひずみ量に差が生じることにより、内部で圧縮応力が増加した。ただし、加熱面付近の応力は強度低下により小さくなった。一方、外側では断面内の釣り合いを保つため応力が引張側へ移行する分布となった。

Case-B では、図-2(b)より加熱範囲では Case-A と同様に加熱開始から 6 時間後では外側に約 300μ の引張ひずみが生じ、円周方向にはほぼ様な分布となった。加熱範囲外では約 100μ の圧縮ひずみが生じたが、これは長期荷重载荷によるものであり、加熱時のひずみ変化はほとんどない。また、図-3(b)より加熱範囲外では温度変化が小さいため、長期荷重载荷時の応力分布からほとんど変化していない。なお、別途、床版より上の部分を加熱範囲と考えて、クラウンから 100° までを加熱範囲とした解析を実施したが、結果は Case-B と同様の傾向であった。

4. 火災加熱に伴う変形挙動がトンネル軸方向に及ぼす影響

Case-C について、加熱開始から 6 時間後における円周方向および軸方向ひずみ分布のコンター図を図-4 に、S.L. 最外縁のひずみ分布を図-5 にそれぞれ示す。

円周方向のひずみは、加熱範囲中央部では加熱開始から 6 時間後では外側に約 300μ の引張ひずみが生じており、Case-A と同様の結果が得られた。加熱に伴うひずみ増分は中心から離れるほど小さくなる分布を示している。なお、本解析条件では温度差が非常に大きくなる加熱範囲内外の境界付近でもひずみが急変することはなかった。よって、厳密に算定した温度分布を与えた場合には、よりなだらかな分布になることが考えられる。

軸方向のひずみは、加熱範囲では熱膨張ひずみの影響により外側で約 150μ の引張ひずみが生じ、それに伴って加熱範囲外で約 150μ の圧縮ひずみが生じた。断面内では内側（加熱面）に近づくほど値は小さくなるが、同様に加熱範囲では引張、加熱範囲外では圧縮ひずみが生じる分布となった。

5. まとめ

火災加熱に伴うトンネル構造物の変形が他の範囲に及ぼす

影響について解析的に検討した。その結果、円周方向への影響については、加熱範囲外では加熱に伴う応力やひずみの変化がほとんどないことが示された。軸方向への影響については、円周方向ひずみは加熱範囲内外でひずみ量は異なるが同様の傾向を示し、軸方向ひずみは異なる傾向を示すことを明らかにした。また、いずれの方向についても、加熱範囲内で生じるひずみの変化によって、加熱範囲外で大きなひずみの変化が生じることはないことが示された。

参考文献

1)河村圭亮 他：火災加熱を受けるコンクリートの変形挙動に関する解析的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1187-1192，2011. 2)田嶋仁志 他：火災高温時におけるシールドトンネル RC 覆工断面の変形挙動解析，土木学会論文集 E，Vol.62，No.3，pp.606-618，2006. 3)溝渕利明 他：火災時の閉空間におけるコンクリートの表面温度に関する一考察，土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集，V-494，pp.985-986，2004.

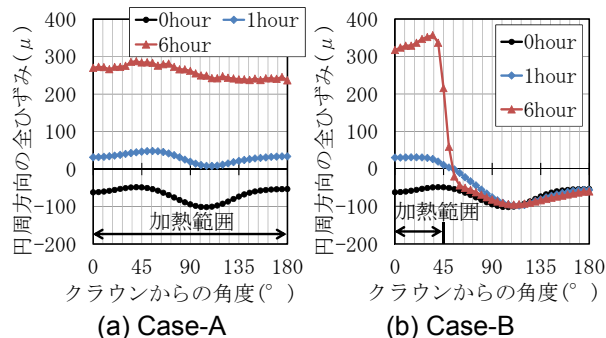


図-2 最外縁の円周方向ひずみ分布

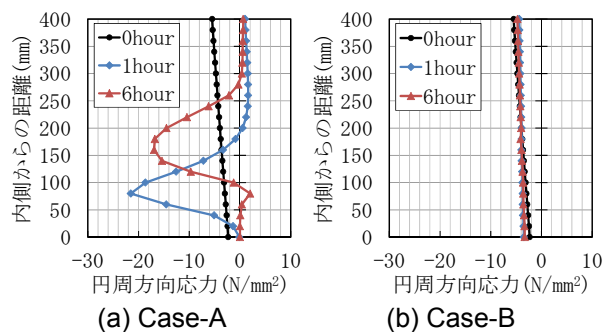
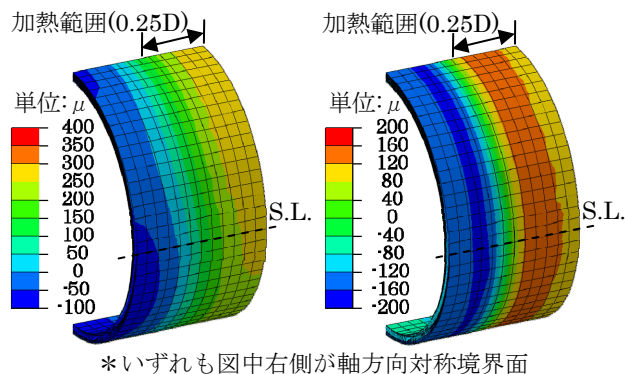


図-3 S.L.断面内の円周方向応力分布



*いずれも図中右側が軸方向対称境界面

(a) 円周方向 (b) 軸方向

図-4 全ひずみ分布 (Case-C, 加熱開始から 6hour)

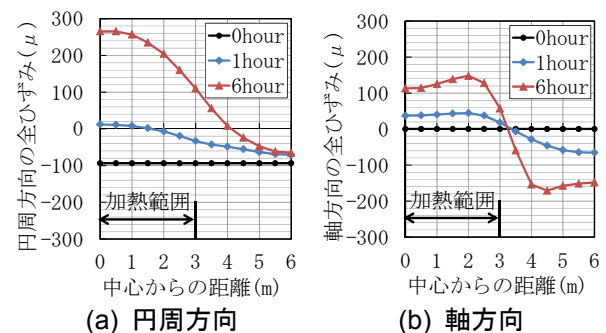


図-5 S.L.最外縁のひずみ分布 (Case-C)