

## シールドセグメントの火災時挙動に関する解析的検討

首都高速道路公団	正会員	田嶋 仁志
首都高速道路公団	正会員	岸田 政彦
日本シビックコンサルタント	正会員	神田 亨
清水建設（株）	非会員	森田 武

## 1. はじめに

二次覆工を省略したシールドトンネルの火災を想定し、RABT加熱(60分)を受けた場合のRCセグメントの変形挙動を把握することを目的として、弾塑性熱応力変形解析を行った。なお、本報は、シールドトンネルのクラウン付近およびスプリングライン付近の応力状態を想定したRCセグメントの解析結果と実験結果とを比較したものである。

## 2. 解析手法

解析は、部材温度の熱伝導解析、およびその結果を利用した弾塑性熱応力変形解析で構成される。熱伝導解析は、差分法<sup>1)</sup>により行い、コンクリートおよび鉄筋の熱物性は温度依存性を考慮したEUROCODE4モデル<sup>3)</sup>を参考にして決定した。弾塑性熱応力変形解析はファイバーモデルを用いた時間積分直接剛性法による繰返し計算<sup>2)</sup>により行い、コンクリートの力学特性は遷移クリープひずみを考慮したモデル<sup>4)</sup>、鉄筋の力学特性はEUROCODE4モデルを適用した。解析では、部材断面を微小要素に分割し、部材温度の時刻変動は段階的なものとし、区分された時間内では各要素の温度は変化しないものと仮定した。

## 3. 解析内容

解析ケース一覧を表-1に、解析モデルを図-1に示す。クラウン付近(正曲げ)を想定した解析は、耐火材を被覆したRCセグメント(FP-P)およびファイバーコンクリートを使用したセグメント(FC-P)について行い、スプリングライン付近(負曲げ)を想定した解析は、ファイバーコンクリートを使用したセグメント(FC-N)および無被覆のRCセグメント(OC-N)について行った。解析モデルはW:1200mm×L:1650mm×H:450mmの版状<sup>5)</sup>とし、荷重条件は実際のシールドトンネルを参考にして決定した。FP-P、FC-PおよびFC-Nでは爆裂は生じないものとし、OC-Nについては、加熱開始後4分から12分間に爆裂を生じて、かぶりコンクリートが段階的に失われ、最終的には表層から45mmのコンクリートが欠損するものとした。なお、爆裂深さについては実験により得られた爆裂深さの平均値を用いた。

表-1 解析ケース一覧

解析名	耐火工	対象部位(荷重条件)	爆裂
FP-P	セラミックファイバー( $t=15\text{mm}$ )	クラウン付近(正曲げ)	無し
FC-P	ポリプロピレンファイバー		
FC-N	ポリプロピレンファイバー	スプリングライン付近(負曲げ)	無し
OC-N	なし		

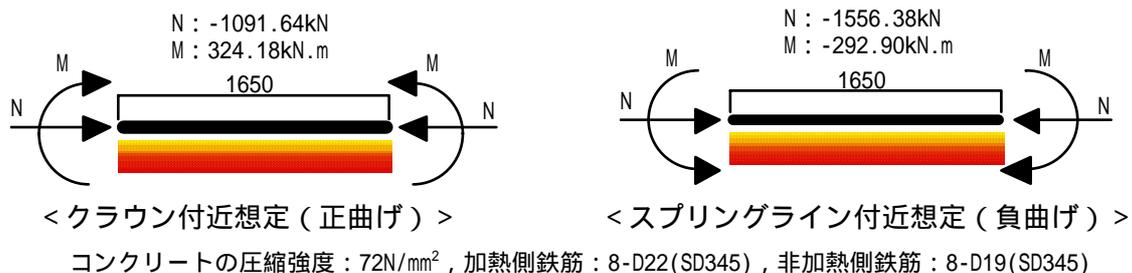


図-1 解析モデル

キーワード 耐火, シールドトンネル, ファイバーコンクリート, 耐火パネル, RABT加熱, 爆裂  
 連絡先 〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 首都高速道路公団 工務部 Tel.03-3539-9464

#### 4. 解析結果

セグメントの内部温度および中央部鉛直変位の経時変化に関する解析結果を実験結果<sup>5)</sup>と併せて図-2に示す。内部温度の経時変化は計算結果と測定結果がほぼ一致し、加熱面側の主鉄筋付近におけるコンクリート（70mm）の最高温度は、FP-Pで約100℃、FC-PとFC-Nで約300℃、OC-Nで約550℃となった。中央部の鉛直変位は、正曲げでは、加熱開始後120～180分間に最大となり、加熱によって生じた変位は冷却が進むにつれて減少した。一方、負曲げでは、加熱開始直後に下に凸となるが、その後は上に凸の変位が増加した。加熱後の残留鉛直変位の大きさは、FP-P < FC-P < FC-N < OC-Nとなった。正曲げについては、加熱開始後から計算値と測定値が概ね一致した。負曲げについては、解析の中で背面側コンクリートにひび割れが発生した後（FC-Nで280分、OC-Nで140分）、計算値と測定値が概ね一致した。

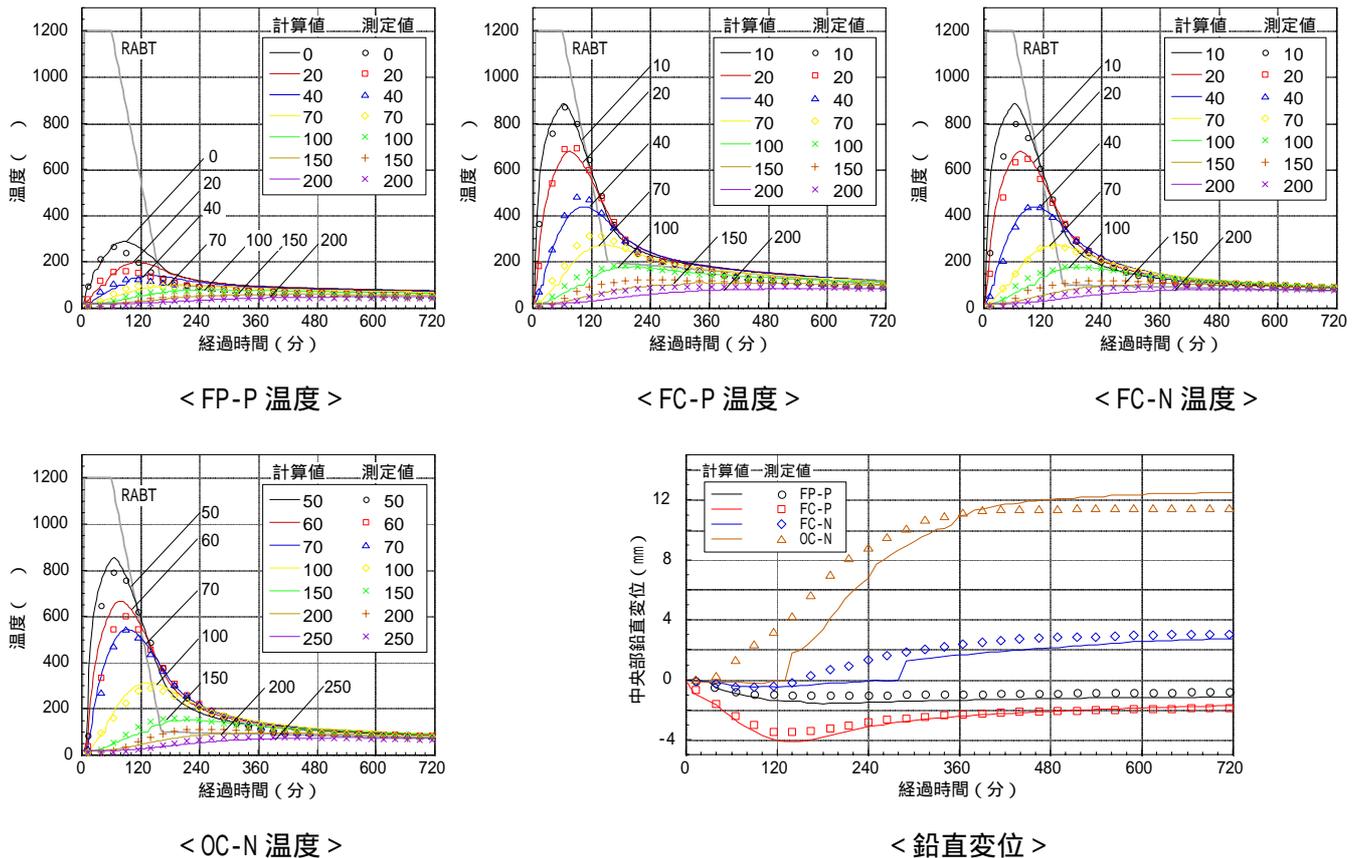


図-2 解析結果と実験結果<sup>5)</sup>の比較

#### 5. おわりに

耐火材を被覆したRCセグメント（正曲げ）、ファイバーコンクリートを使用したセグメント（正曲げ、負曲げ）および無被覆のRCセグメント（負曲げ）について熱伝導解析および弾塑性熱応力変形解析を実施した。負曲げにおけるひび割れのモデル化に課題があるが、温度性状および変形挙動は実験結果と概ね一致した。今後は、本報と同じ解析手法を用いてトンネル覆工全体を対象とした解析を行う。

#### 参考文献

- 1) 若松孝旺：火災時における建物部材の内部温度算定に関する研究，日本建築学会論文報告集，第109，111号，1965
- 2) EUROCODE4 Design of Composite Steel and Concrete Structures Part 1.2： Structural Fire Design，CEN/TC250/SC4，N39，prENV 1994-1-2， Second Draft， 1992
- 3) 上杉英樹，小池浩：「高層鉄骨架構の熱応力解析（その1）」，日本建築学会構造系論文報告集381号，1987.11
- 4) MORITA,T, SCHNEIDER,U. and FRANSSEN,J.-M.： Influence of Stress History Function in the Schneider-concrete-model under Fire Attack， FIRE SAFETY SCIENCE - PROCEEDINGS OF THE FIFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM, pp. 1057 - 1068, 1997
- 5) 田嶋仁志，岸田政彦，神田亨：設計断面力を作用させたシールドセグメントの耐火実験，土木学会第59回年次学術講演会