

# 模擬トンネルを用いたコンクリートの耐火性能評価 受熱温度の変化に伴う熱変形の検討

学生氏名 佐野 俊平  
指導教員 栗原 哲彦

## 1.はじめに

トンネル火災は、火災発生初期からの急激な温度上昇と、高い最高温度を有するという特徴がある。このような温度履歴を受けたコンクリートは、熱によって変形（膨張や収縮の総称とする）する<sup>1)</sup>ことが知られている。熱変形はトンネルの構造材料であるコンクリートの劣化の要因<sup>2)</sup>と考えられるため、その挙動を把握することは劣化のメカニズムを知ることにつながる。そこで本研究ではひずみゲージを用いコンクリートの熱変形を検討した。

## 2.ひずみゲージによる測定方法

コンクリートの加熱による劣化のメカニズムを把握するためには、加熱面の熱変形挙動を把握することが必要である。しかし、実際に加熱面の熱変形挙動を測定することは困難であるため、上面の変形を測定することで供試体全体の変形を把握しようとした。図1のように供試体上面にひずみゲージを貼付し、それぞれの位置におけるひずみの変化量（トンネル長手方向）を測定した。ここで、ひずみゲージは火皿側（以下、列とする）、奥側（以下、列とする）に分け、各ゲージをトンネル風下出口からの距離（mm）で示した。なお、引張りひずみを正、圧縮ひずみを負とした。また、測定に使用した供試体はW/C=40%のコンクリート（以下CON-40とする）、W/C=50%の鋼繊維補強コンクリート（以下SFRC-50とする）の2種類とした。

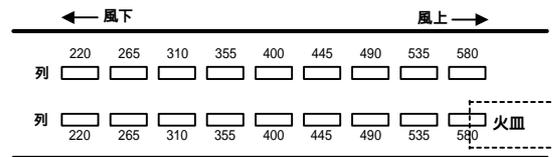


図1 ひずみゲージ設置概要

図1のように供試体上面にひずみゲージを貼付し、それぞれの位置におけるひずみの変化量（トンネル長手方向）を測定した。ここで、ひずみゲージは火皿側（以下、列とする）、奥側（以下、列とする）に分け、各ゲージをトンネル風下出口からの距離（mm）で示した。なお、引張りひずみを正、圧縮ひずみを負とした。また、測定に使用した供試体はW/C=40%のコンクリート（以下CON-40とする）、W/C=50%の鋼繊維補強コンクリート（以下SFRC-50とする）の2種類とした。

## 3.ひずみゲージによる測定結果

CON-40, SFRC-50のひずみ測定結果（列）及び、火災曲線を図2に示した。同図は横軸に加熱開始からの経過時間を示し、縦軸にひずみ変化及び温度を示した。

図2a)よりCON-40では、加熱開始5分～10分程度までは圧縮ひずみが増大した。この理由としては、耐火試験開始直後から供試体下面は急激に加熱され膨張するが、上面には温度が伝わっていなかったために、あまり膨張していないものと考えられる。よって、図3a)に示すように供試体がたわみ、上面で圧縮力が生じたものと推測する。また、加熱面（下面）の膨張によって、上面に圧縮力が働くことは既往の研究からも報告されている<sup>2)</sup>（図4参照）

5分以降は圧縮への大きな変化は見られなかった。この理由としては、供試体全体に熱が伝わり、下面だけでなく上面付近も膨張し、図3b)に示すように上面の圧縮力が小さくなったことが要因と推測される。

また、加熱開始5分のひずみは全加熱期間内（加熱開始0分～30分を示す）の最大圧縮ひずみに対して、約80%の変化をしていることが確認された。このことから5分の短時間で供試体が大きく変形していると考えられる。

図2b)よりSFRC-50ではCON-40と異なり加熱開始5分以降も圧縮ひずみの増大が確認された。全加熱期間において

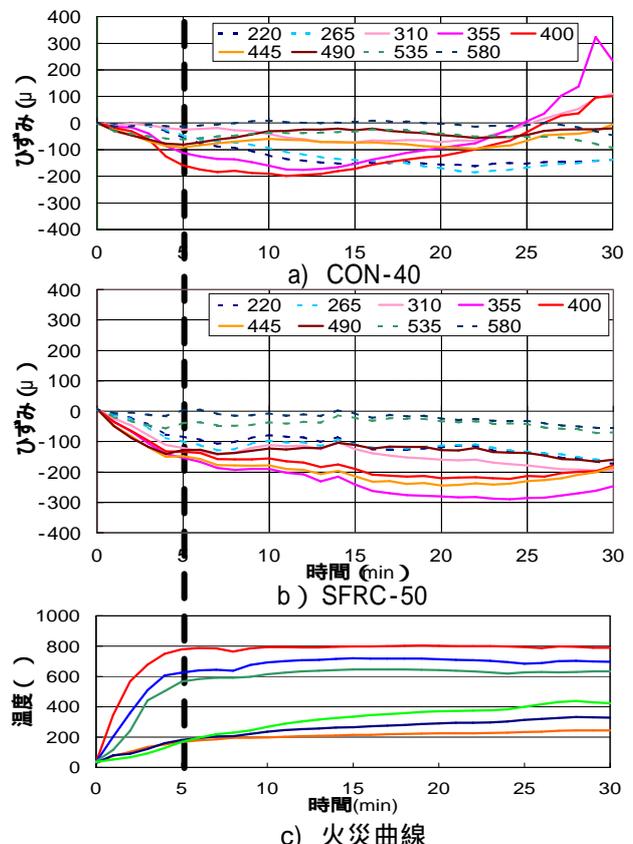


図2 時間-ひずみ及び火災曲線

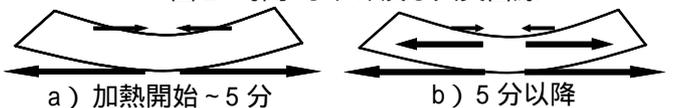


図3 供試体変形イメージ図

圧縮ひずみが増え続けた理由としては、SFRC に混入されている鋼繊維がコンクリートとともに膨張したことで、下面の膨張が増大したことにより、同期間中供試体下面では常に引張力が働いていたことが要因と考えられる。また、加熱期間の圧縮ひずみが CON-40 より先、SFRC-50 の方が大きいことも、上述したように鋼繊維の影響によるものと推測した。

いずれの供試体にも図 2 に示すように、加熱期間 5 分程度まで圧縮ひずみを示す傾向が確認され、それらの傾向と火災曲線に見られる急激な温度上昇がほぼ一致した。このことから加熱期間の急激な温度上昇とコンクリートの熱変形は相関性があるといえる。

図 5 に各時間のひずみ変化量と内部温度の関係を示す。同図は横軸にトンネル風下出口からの距離をとり、縦軸にひずみ及び温度を示す。同図より両供試体を通して内部受熱温度が高い 310mm ~ 490mm の位置で大きなひずみ変化量が見られた (CON-40 400mm, SFRC-50 355mm でそれぞれ 180  $\mu$ , 280  $\mu$  の最大圧縮ひずみ)。逆に受熱温度の低い 535mm, 580mm の位置では大きいひずみ変化量は見られなかった (両供試体を通じて最大で 94  $\mu$  程度の圧縮ひずみ)。

#### 4.まとめ

本研究ではひずみゲージを用いて耐火試験を行い、コンクリートの熱変形についての検討を行った。その結果から得られた知見を以下に示す。

- ・上面に圧縮ひずみが確認された理由としては、加熱の影響によって供試体下面が膨張し、引張力が発生したためであると推測した。
- ・SFRC において、大きな圧縮ひずみが確認された理由としては、鋼繊維が下面の引張力を増大させたことと考えられる。
- ・本研究で再現した急激な温度上昇と熱変形には強い相関性が確認された。
- ・高い内部温度の位置では大きいひずみ変化が確認され、低い温度の位置では小さいひずみ変化が確認された。

#### 5.今後の課題

今回用いたひずみゲージ及び、ひずみゲージを貼付した接着剤の耐熱性はそれぞれ 150, 100 であるが上面温度の測定結果より上面は 100 に達しないことが確認され、測定自体は行うことができたと考えられる。しかし、厳密に言うと、ゲージ部分が 1 でも上昇することで抵抗が変化するため、ひずみが増えると考えられる。今後は温度影響によるひずみの誤差を修正する必要があると言える。

#### 参考文献】

- 1) 社団法人 日本建築学会 防火委員会火災診断修小委員会 材料 構造耐火性小委員会 :火災とコンクリート pp14 15,2001
- 2) 社団法人 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, pp281 286, pp63 75,2004
- 3) 株式会社 共和電業 :共和 電子計測器 総合カタログ, pp433-444

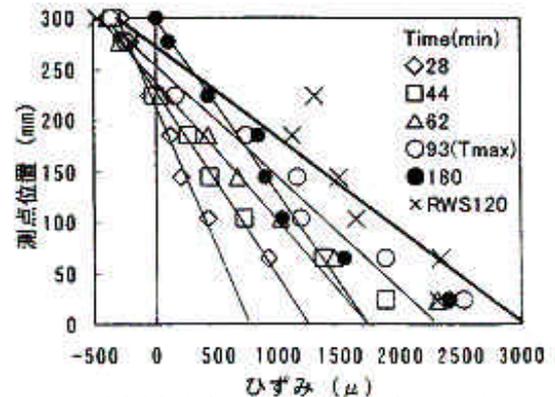


図 4 耐火試験中のスラブ断面内のひずみ<sup>2)</sup>

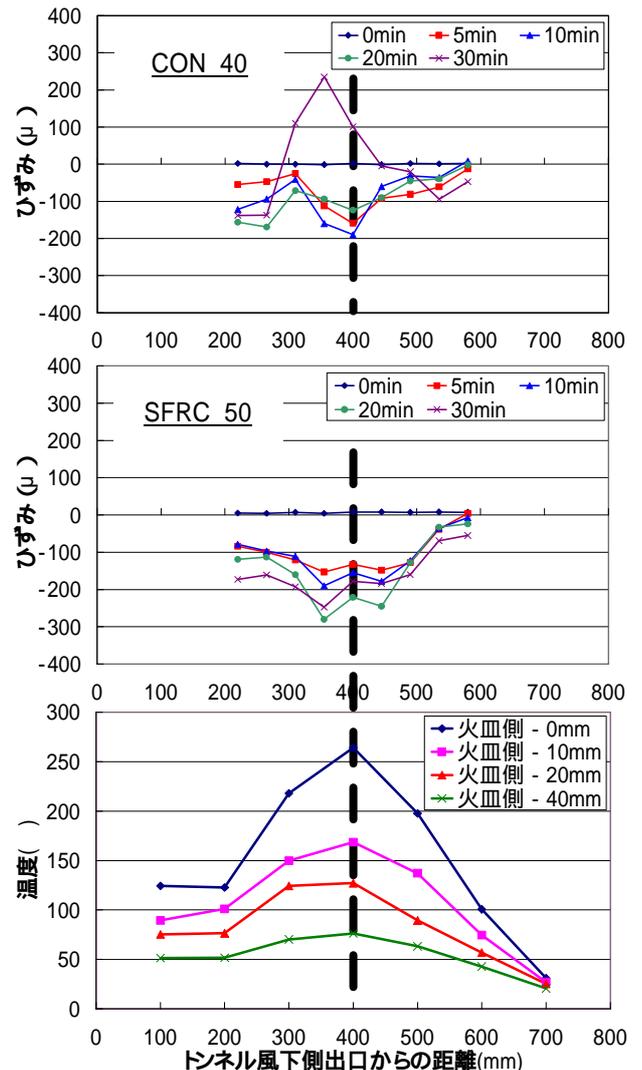


図 5 内部温度 ひずみ変化量関係