

# 鋼繊維補強コンクリートを用いた実物大セグメントの構造解析

大成建設(株) 土木設計部 正会員 ○川島 広志, 正会員 服部 佳文  
大成建設(株) 土木技術研究所 正会員 村田 裕志, 正会員 三桶 達夫

## 1. はじめに

山岳トンネルの2次覆工において、ひび割れや剥落防止のため、コンクリートに鋼繊維を混入し、鉄筋と鋼繊維で補強したコンクリート(以降、RSF)が広く使用されている。このRSFのセグメントへの適用を試み、実物大実験<sup>1)</sup>を行った。本論文では、この実験を対象に行った3次元非線形有限要素解析について報告する。

RSFの有限要素解析においては、引張軟化曲線とひび割れ間隔に相当する長さ(以降、等価検長)の設定が大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、これらをパラメータとした解析を行い、引張軟化曲線と等価検長について検討を行った。

## 2. 実験概要

図-1～図-3に実験概要、試験体の寸法と配筋の状況を示す。試験体は径12m相当の大口径トンネルを想定したアーチ形状試験体とした。RSFセグメントの断面は幅:2000mm×厚さ:350mmとし、主鉄筋は最小鉄筋量として、圧縮側、引張側それぞれSD345-D16を12本配置した(引張鉄筋比0.46%)。また鋼繊維補強効果を考慮して配力鉄筋は省略した。鋼繊維混入量は0.4 vol.%とした。等曲げ区間は曲げ破壊が先行するように1200mmとした。

## 3. 解析概要

### 3.1. 解析条件

DIANA9.1を用いて3次元非線形有限要素解析を行った。図-4に解析モデルを示す。解析は試験体の対称性を考慮して1/4モデルにて行った。コンクリート要素と載荷板には8節点ソリッド要素、鉄筋には埋込鉄筋要素を適用した。

解析ケースを表-1に、表-2に解析に用いた使用材料特性を示す。RSFの引張軟化曲線に関しては、JCI-S-002-2003<sup>2)</sup>による破壊エネルギー試験から得られたものと土木学会の「鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案)」<sup>3)</sup>(以降、RSF指針)に示されているものの2ケースにおいて解析を行い、比較検討を行った。解

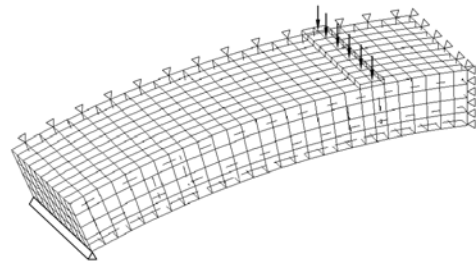


図-4 解析モデル(1/4モデル)

表-1 解析ケース

|      | 引張軟化曲線                               | 等価検長                       |
|------|--------------------------------------|----------------------------|
| ケース1 | RSF指針を参考に<br>設定したもの                  | 平均要素幅：85mm                 |
| ケース2 |                                      |                            |
| ケース3 | JCI-S-002-2003による<br>破壊エネルギー<br>試験結果 | 実物大実験による<br>平均ひび割れ間隔：183mm |

表-2 使用材料特性

|        | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| コンクリート | 57.9                         | —                            | 4.44                         | 31.6                           |
| 鉄筋     | —                            | 377.0                        | —                            | 183                            |

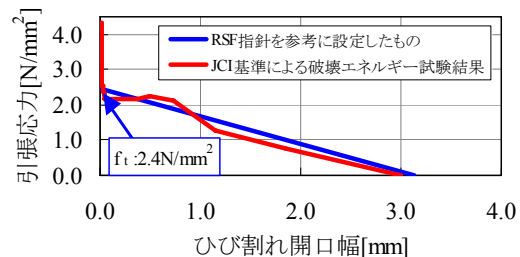


図-5 RSFの引張軟化曲線

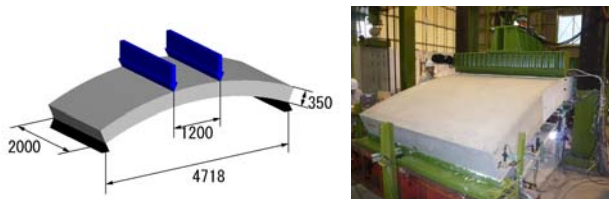


図-1 RSF 実験概要

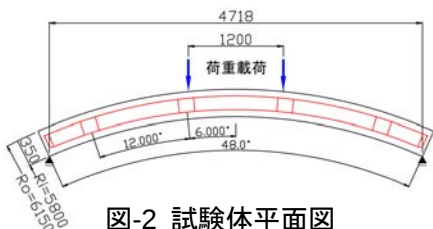


図-2 試験体平面図

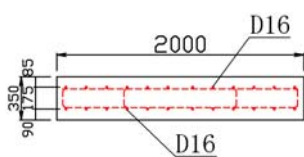


図-3 試験体断面図

キーワード 鋼繊維補強コンクリート 3次元非線形有限要素解析 引張軟化曲線 等価検長 セグメント

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 本社土木設計部陸上第二設計室 TEL:03-5381-5417

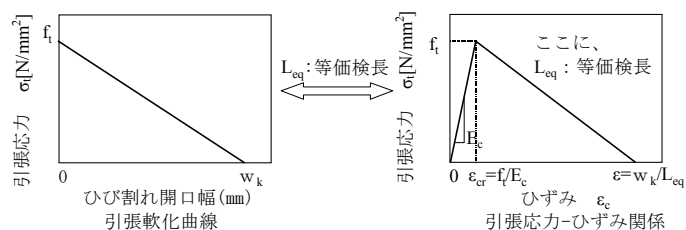


図-6 引張軟化曲線と引張応力-ひずみ曲線

析に用いた引張軟化曲線を図-5 に示す。

解析に用いる RSF の引張応力-ひずみ曲線は引張軟化曲線と等価検長を用いて設定した。設定手法の概念を図-6 に示す。

等価検長に関しては、実物大実験にて発生したひび割れの平均間隔と 3 次元有限要素解析における平均要素幅の 2 ケースにて解析を行い、比較検討を行った。

コンクリートの圧縮モデルに関しては Thorenfeldt モデルを使用した。鉄筋にはバイリニアモデルを使用した。

### 3.2. 解析結果

図-7 に実験の荷重-試験体中央たわみ関係とそれぞれの解析結果を示す。ケース 1 とケース 2 を比較すると、引張軟化曲線の違いによって、最大荷重が異なることが分かる。またケース 2 とケース 3 を比較すると、等価検長を変えることでも最大荷重が異なることが分かる。

実験結果を最も模擬できた解析ケースはケース 3 となる。この結果より JCI-S-002-2003 に準じて得られた引張軟化曲線と実物大実験によって得られた平均ひび割れ間隔を用いることで実挙動の傾向を掴むことが出来ることを確認した。

### 3.3. 事前解析手法の検討

JCI-S-002-2003 に準じて得られた引張軟化曲線と実物大実験の平均ひび割れ間隔を用いることで、実挙動を概ね模擬できることは確認できた。そこで次に事前に RSF セグメントの挙動予測の検討を行った。表-3 に事前解析に用いた使用材料特性を示す。コンクリートの圧縮強度は設計基準強度とした。解析に用いた引張軟化曲線を図-8 に示す。引張軟化曲線の設定は RSF 指針を参考に設定し、等価検長は土木学会の「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」<sup>4)</sup>を参考に、 $L_{eq}=102\text{mm}$  と設定した。

これらの値を用いて解析を行った結果を図-9 に示す。この結果より事前に実挙動を精度よく模擬するためには、引張軟化曲線と等価検長の適切な設定手法を今後も検討していく必要があることが分かる。

### 4. 結論

RSF セグメントにおいて、JCI-S-002-2003 に準じた要素

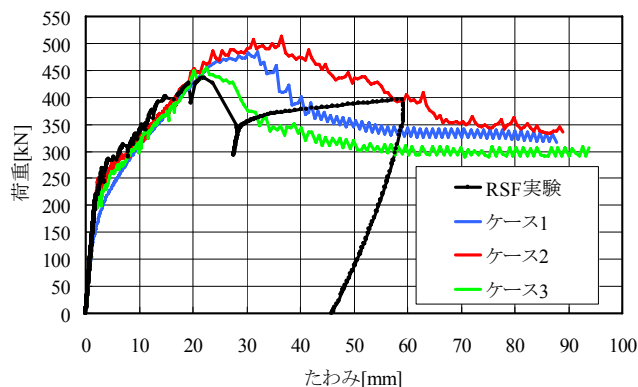


図-7 解析結果

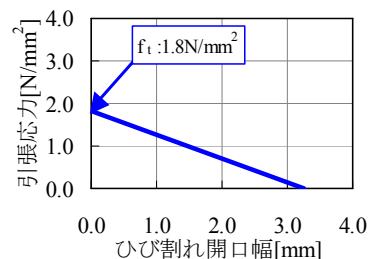


図-8 RSF の引張軟化曲線(事前解析)

表-3 使用材料特性(事前解析)

|        | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| コンクリート | 54                           | -                            | 3.29                         | 34                             |
| 鉄筋     | -                            | 345.0                        | -                            | 200                            |

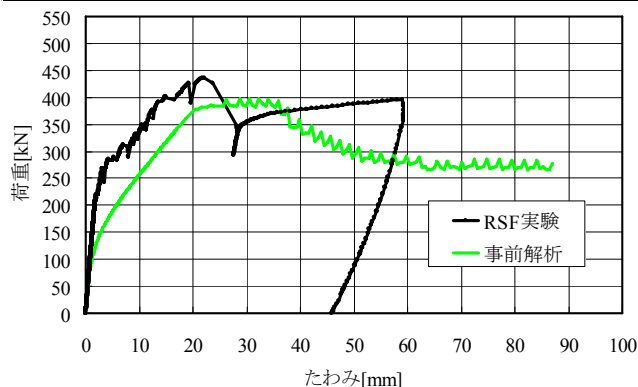


図-9 事前解析結果

実験より得られた引張軟化曲線と実物大実験での平均ひび割れ間隔を用いた 3 次元非線形有限要素解析を行うことで、実験をよく模擬できることが確認出来た。しかし事前解析においては更なる検討を要する。

**謝辞：**東京工業大学大学院の二羽淳一郎教授には、載荷実験評価の際にご指導を頂きました。ここに記して深謝致します。

### 参考文献

- 1) 三桶達夫, 堀口賢一, 西田与志雄, 丸屋剛: 鋼繊維補強コンクリートを用いた実大セグメントの構造実験, 第 63 回年次学術講演会論文集出稿中, 2008.9
- 2) コンクリート工学, Vol.44, No.12, pp.10-15, 2006.12 ([http://www.jci-web.jp/jci\\_standard/img/r3JCI-S-002-2003.pdf](http://www.jci-web.jp/jci_standard/img/r3JCI-S-002-2003.pdf))
- 3) コンクリートライブラリー97 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案), 土木学会, 1999
- 4) コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 土木学会, 2004