

## 鋼繊維およびポリプロピレン繊維を使用した高流動セグメントの強度特性

日本コンクリート工業 正会員 ○菊 広樹，倉木 修二

日本シビックコンサルタント 正会員 斉藤 正幸，団 昭博，田家 学

### 1. はじめに

近年，道路トンネルの耐火対策の重要性が認識されており，従来の耐火被覆材のほかに耐火効果を有する有機繊維を躯体コンクリートに混入する方法が検討されている<sup>1)</sup>。

本報告は，第三紀層や大深度地下におけるシールドトンネルへの適用を前提として，高流動コンクリートに耐火性能を持たすためにポリプロピレン（PP）繊維を混入し，さらに，山岳トンネルの覆工で多用されている鋼繊維を鉄筋の代替として混入したセグメント（以下「高流動 SF-PP セグメント」という）を製作し，その単体曲げ試験を実施してセグメントが保有している力学性能を確認するとともに，設計耐力の算定について検討したものである。

### 2. 試験概要

(1) **使用材料**：セメントは普通ポルトランドセメント(C)，細骨材は葛生産石灰石砕砂(S)，粗骨材は田沼産玄武岩砕石(G)，混和材は高炉スラグ微粉末〔比表面積 4000cm<sup>2</sup>/g〕(AD)，鋼繊維は両端フック付き結束〔φ0.6mm×30mm〕(SF)，ポリプロピレン繊維はコンクリート補強用短繊維〔φ48μm×20mm〕(PP)，混和剤は高性能減水剤〔ポリカルボン酸系〕(CA)とした。

(2) **配合**：表 1 に高流動 SF-PP セグメントの配合を示す。

(3) **試験方法**：練混ぜは強制練りミキサを使用し，ベースコンクリートを 150 秒間練混ぜ後，SF および PP

繊維を投入後 60 秒間練混ぜた。実験に使用したセグメントの供試体は外径 7,100mm，桁高 300mm，幅 1,200mm で，型枠はセグメント背面側に発生する表面気泡を低減するために，裏面に織布を取り付けた有孔鋼板を蓋型枠として用いた<sup>2)</sup>。コンクリートの打設は，蓋型枠中央の開口部より無振動でコンクリートを流し込んだ。養生方法は，打設終了後最高温度 40℃で蒸気養生し，翌日脱型後 3 日間水中養生し，その後材齢 28 日まで気中養生した。実験項目は，供試体で圧縮強度および弾性係数（φ100×200mm），曲げ強度および曲げタフネス（150×150×530mm）を測定し，実セグメントで単体曲げ試験（図 1）およびコンクリートの充填性を確認するために，図 2 に示す箇所でコア供試体（φ100×120mm）を採取し，圧縮強度の確認を実施した。

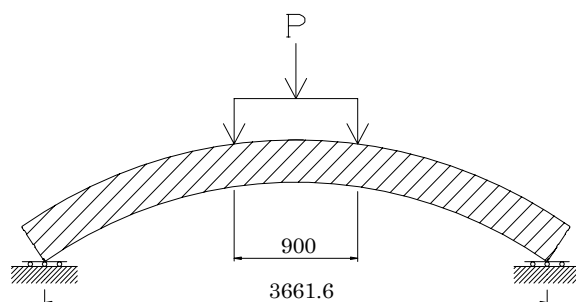


図 1 セグメント単体曲げ試験状況

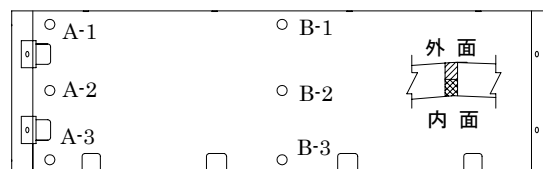


図 2 コア供試体採取位置

表 1 高流動 SF-PP セグメントの配合

| G <sub>max</sub><br>(mm) | スランプフロー<br>(mm) | 空気量<br>(%) | W/B<br>(%) | s/a<br>(%) | SF 混入<br>率(%) | CA 混入率<br>B× (%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |    |    |
|--------------------------|-----------------|------------|------------|------------|---------------|------------------|-------------------------|-----|-----|----|----|
|                          |                 |            |            |            |               |                  | W                       | C   | BF  | SF | PP |
| 13                       | 600±50          | 3.0±1.5    | 31.1       | 70.0       | 0.5           | 1.4              | 170                     | 273 | 273 | 40 | 1  |

\*1 設計基準強度：48N/mm<sup>2</sup>

連絡先：〒108-0075 東京都港区港南 1-8-27 Tel：03-5462-1055 Fax：03-5462-1040

キーワード：高流動コンクリート，鋼繊維，ポリプロピレン繊維，セグメント

### 3. 試験結果及び考察

(1) 供試体による強度試験結果：表2に管理供試体の試験結果を、表3にコア供試体の圧縮強度を示す。コア供試体の圧縮強度は、内面側と外面側、またA列とB列いずれもほぼ同一の値を示し、セグメント全体がほぼ均一の強度分布であることが確認できた。

表2 管理供試体強度

| 試験項目    | 試験結果<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------------|
| 圧縮強度    | 70.7                         |
| 弾性係数    | 41200                        |
| 曲げ強度    | 7.90                         |
| 曲げ靱性係数  | 5.09                         |
| 割裂引張強度※ | 4.50                         |

※)参考値

表3 コア供試体強度

| コア位置 | 圧縮強度※<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
|------|-------------------------------|
| 全 体  | 71.5                          |
| 内 面  | 71.1                          |
| 外 面  | 72.0                          |
| A 列  | 71.0                          |
| B 列  | 72.0                          |

※)長さ補正による修正値

(2) 単体曲げ試験結果：図3に、荷重－垂直変位結果を示す。

「鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアルトンネル編」（社団法人日本鉄鋼連盟）による算定値では初期ひび割れ荷重は63kN、終局耐力相当荷重は182kNに対して、試験では初期ひび割れ発生荷重が68kN、最大荷重が199kNとほぼ算定値と一致し、PP混入による強度特性への影響がないことを確認した。なお、本算定値はコンクリートの実強度で計算したものである。破壊に対する安全率（最大荷重／初期ひび割れ荷重）は2.93であった。また、スパン中央での垂直変位は初期ひび割れ時で0.76mm、最大荷重時で12.15mmであり、最大荷重到達後は鋼繊維補強コンクリート特有の挙動を示し、破壊に至っている。破断面では、鋼繊維が全断面に分布していることが確認できた。写真1に破断面状況を示す。

一方、コンクリートのひずみは、内、外面でそれぞれ14点、側面で6点計測した。測点数を多くしたのは、セグメント全体に生ずる平均ひずみを把握するためである。図4に、一例として、供試体内面の引張ひずみ計測結果を示す。各ひずみともほぼ同一の計測値を示しており、クラック発生まではセグメント全体が均一なひずみ分布になっていることがわかる。

### 4. まとめ

「高流動SF-PPセグメント」が保有する断面強度特性は、「鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアルトンネル編」による算定値とほぼ一致した。よって、本セグメントの設計は当マニュアルにのっとれば良いことが確認できた。PP繊維を混入することによる耐火性能の確認は、既に他の実証試験によってその有効性が確認されているため、今回は省略した。本セグメントは、基本的には硬質地盤で軸力が卓越する道路トンネル等への適用を前提としているが、今後、土質に着目した本セグメントの適用範囲について検討を進めていく所存である。

#### (参考文献)

- 1) 大塚ら：トンネルの耐火構造の現状技術と課題，土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集，2004
- 2) 花見ら：高流動コンクリートを用いたシールド工事用セグメントの品質，土木学会論文集，2000

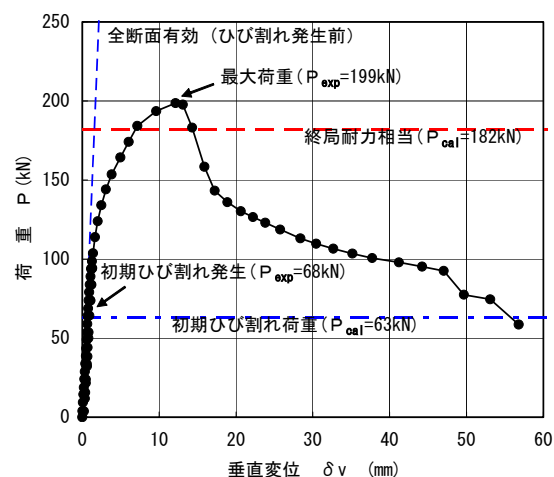


図3 垂直変位－荷重の関係

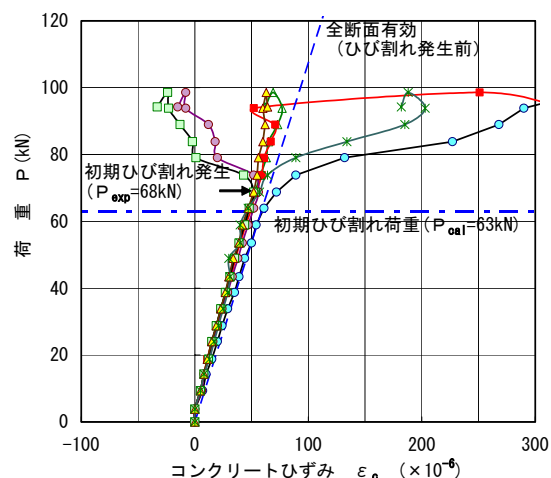


図4 コンクリートひずみ(内面側)－荷重の関係



写真1 破断面状況