

## 鋼纖維補強吹付けコンクリートの曲げじん性評価

飛島建設技術研究所

正会員 岩城圭介

飛島建設名古屋支店

小川統史

日本道路公団名古屋建設局

大嶋健二

日本道路公団名古屋建設局

上山 満

1.はじめに

鋼纖維補強吹付けコンクリート（以下、吹付け SFRC）は、高い曲げ、引張、せん断強度を有し、じん性が大きく変形に追従可能であるため、NATM 工法において膨張性地山などの大変形が予想される地山や分岐部・拡幅部など構造的に不安定になりやすい箇所で、安全性の向上を目的に適用されている。

本報は、トンネル現場において吹付け SFRC の鋼纖維のはね返り、鋼纖維の配向性、曲げタフネスについて実験を行い、打込みによる SFRC（以下、打込み SFRC）との比較により、吹付け SFRC の曲げじん性について考察したものである。

2.実験概要

現場実験では、吹付け SFRC の鋼纖維のはね返り、鋼纖維の配向性、曲げタフネスについて検討した。また、室内実験では、3段階の圧縮強度レベルにおける曲げタフネスを把握し、強度発現に伴う曲げじん性の変化を得た。

検討配合、使用材料をそれぞれ表-1、表-2 に示す。

2.1 吹付け SFRC のはね返り率、鋼纖維のはね返り率

吹付け SFRC のはね返り（以下、はね返り）率、鋼纖維のはね返り率は、トンネル分岐部において約 4m<sup>3</sup> の一次吹付け実施後、上半部の約 120° の範囲にて、2m<sup>3</sup> を対象に測定した。はね返り率は、吹付けた SFRC 重量に対するはね返り重量の比であり、下半盤に敷いたシートで捕集したはね返りの重量を測定し、算出した。鋼纖維のはね返り率は、吹付ける前の SFRC 中の鋼纖維重量に対するはね返り中の鋼纖維重量の比であり、はね返りの約 1/4 から鋼纖維を取り出し鋼纖維重量を測定し、算出した。

2.2 鋼纖維の配向性

鋼纖維の配向性の確認のため、曲げ試験を終えた吹付け SFRC 供試体の X 線撮影を行った。撮影方向は、図-1 に示す吹付け側面方向と吹付け正面方向からの 2 面とした。

2.3 圧縮強度および曲げタフネス

試験方法を表-3 に示す。現場実験では、吹付け SFRC を対象に、同一配合にて 2 回の曲げタフネス試験を実施した。以下、2 回の試験を S-1, S-2 とする。試験材齢は 28 日とし、支保構造の背面からの荷重を考慮して、試験における載荷は、図-1 のように行った。

室内実験では、圧縮強度レベルで 10, 30, 50N/mm<sup>2</sup> を目標とし、試験材齢は 1, 3, 14 日とした。

**キーワード：**吹付けコンクリート、鋼纖維補強、はね返り、配向性、曲げじん性

〒 270-02222 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬 5472 飛島建設技術研究所 TEL: 0471-98-7559 FAX: 0471-98-7586

表-1 検討配合

区分	粗骨材 最大寸法 (mm)	目標 セメント (cm)	目標 空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				鋼纖維 混入率 (vol%)	急結剤 添加率 (%)*	
						セメント	水	骨材	粗骨材			
現場実験	10	18	2	45	70.0	467	210	1146	498	2.80	0.75	9.0
室内実験	15	18	2	45	60.7 61.0	450	203	982	660 653	5.40	0.75 1.00	-

\* : 急結剤添加率は、セメント重量に対する百分率である。

表-2 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比重 3.15
細骨材 (現場実験)	庄川産川砂 比重 2.58 粗粒率 2.77
粗骨材 (現場実験)	庄川産川砂利 比重 2.62 粗粒率 5.72 最大寸法 10mm
細骨材 (室内実験)	富川産川砂 比重 2.58 粗粒率 2.87
粗骨材 (室内実験)	八王子産 6 号砕石 比重 2.68 粗粒率 6.06 最大寸法 15mm
高性能減水剤	ポリカルボン酸系高分子化合物
鋼纖維	繊維長 30mm 公称径 0.6mm 両端ダブルワック付き 比重 7.85 ヤング率 210kN/mm <sup>2</sup> 引張強度 1302N/mm <sup>2</sup>
急結剤 (現場実験)	カルシウムアミニート系

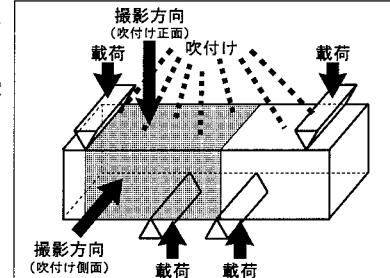


図-1 吹付け供試体の各種試験方法

表-3 圧縮強度および曲げタフネス試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	1) JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」による、供試体の作り方は JSCE-F553(吹付け), JSCE-F552(打込み)による 2) 材齢 1 日まで水中養生、以降標準水中養生 3) 試験材齢 28 日 (現場実験) 試験材齢 1, 3, 14 日 (室内実験) 4) 供試体寸法、数量 φ 10×20cm, N=3
曲げ強度 および 曲げひびき	1) 土木学会規準 JSCE-G552「鋼纖維補強コンクリートの曲げ強度および曲げひびき試験」による、供試体の作り方は JSCE-F553(吹付け), JSCE-F552(打込み)による 2) 養生条件、試験材齢は圧縮強度試験と同様 3) 供試体寸法、数量 10×10×40cm, N=3

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 はね返り率、鋼纖維のはね返り率

はね返り率、鋼纖維のはね返り率の測定結果を表-4に示す。鋼纖維のはね返り率は、はね返り率の2倍程度であり、吹付け SFRCにおいて鋼纖維の損失が大きい結果であった。

吹付け SFRC の纖維混入率は、0.64%と計算され、ベースコンクリートの混入率に比べ 0.1%程度低い結果であった。

#### 3.2 鋼纖維の配向性

写真-1 の吹付け側面から撮影した X 線写真のように鋼纖維は、吹付け面と平行な面に配向する傾向であった。また、吹付け正面からの撮影では、鋼纖維はランダムに分布した。よって、鋼纖維の配向は、吹付け面と平行な面での 2 次元ランダムに配向しており、既往の報告<sup>1)</sup>と一致した。

#### 3.3 荷重ーたわみ曲線

同一纖維混入率 0.75%の打込み、吹付け SFRC の曲げタフネス試験における荷重ーたわみ曲線を図-2に示す。打込みと吹付けでは、ひび割れ発生後の耐力低下に差異を生じ、打込み SFRC が最大荷重と同程度の荷重を保持したのに対し、吹付け SFRC では S-1, S-2 ともひび割れ発生後の明確な耐力低下が認められた。これは、前述した鋼纖維のはね返りによる纖維混入率の低下に起因すると思われる。

#### 3.4 圧縮強度と曲げじん性係数の関係

圧縮強度と曲げじん性係数の関係を図-3に示す。図中の直線は、打込み SFRC-0.75%と打込み SFRC-1.0%の線形近似である。

打込み SFRC の曲げじん性係数は、圧縮強度の発現に伴い直線的に増加する傾向が認められた。また、纖維混入率 1.0%では 0.75%に比べ相対的に高い曲げじん性係数が得られた。

吹付け SFRC では、2回の試験が同一材齢での試験にも関わらず、S-1 は S-2 に比べ圧縮強度、曲げじん性係数とも低く、試験結果にバラツキを生じた。バラツキの原因としては、吹付け施工による品質変動等が考えられる。また、吹付け SFRC の材齢 28 日の圧縮強度は、打込み SFRC の材齢 3 日の圧縮強度と同程度であった。これは、急結剤添加による強度増進の阻害に起因すると考えられる。しかし、圧縮強度と曲げじん性係数の関係では、吹付け SFRC-0.75%の2回の試験結果は、概ね打込み SFRC-0.75%と打込み SFRC-1.0%の近似直線間に位置し、同一纖維混入率の打込み SFRC に比べの同等以上の曲げタフネスが得られた。これは、前述した鋼纖維の2次元ランダム配向が曲げタフネス改善に寄与したことによると考えられる。

### 4.まとめ

- 室内実験と現場実験を通して吹付け SFRC の曲げじん性について検討した。得られた知見を以下に示す。
- 1) 鋼纖維のはね返りによる纖維混入率の低下にも関わらず、吹付け SFRC の圧縮強度と曲げじん性係数の関係は打込み SFRC と同等以上であり、吹付け SFRC の鋼纖維 2 次元ランダム配向の有効性が確認された。
  - 2) 鋼纖維のはね返り率は、吹付けコンクリートのはね返り率の2倍程度であり、吹付け SFRC の曲げじん性の評価に当たっては、纖維混入率の低下を考慮する必要がある。

【参考文献】1) 小林一輔：纖維補強コンクリート－特性と応用－、オーム社 1981

表-4 はね返り率、鋼纖維のはね返り率測定結果

区分	はね返り率 (%)	鋼纖維 はね返り率 (%)	鋼纖維 混入率 (%)
ベース	—	—	0.75
吹付け	13.2	27.9	0.64

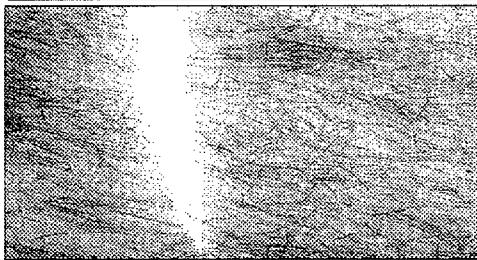


写真-1 吹付け側面 X 線写真（写真上が吹付け面側）

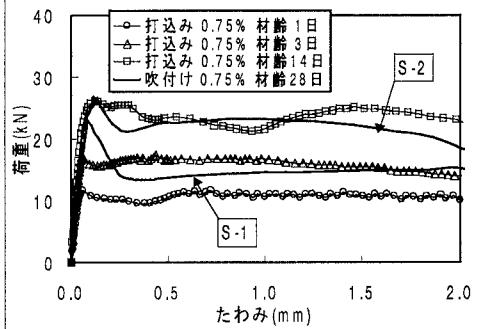


図-2 荷重ーたわみ曲線

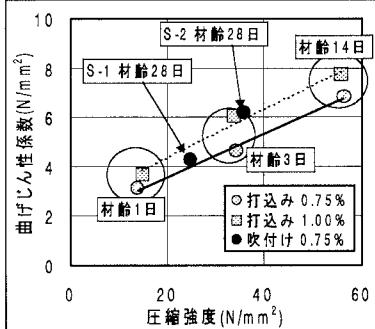


図-3 圧縮強度と曲げじん性係数の関係