

鹿島建設技術研究所

正員 中原 康

中里 吉明

〇須藤 英明

I. ま え が き

鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を有効に利用できる工法として吹付け工法が挙げられる。筆者らはこれまで、急結剤の混入が可能な湿式吹付け機を用いることにより、所要の性能を発揮できるSFRCが得られることを確認している¹⁾。しかし湿式吹付け機を用いる場合、乾式に比較して圧送距離が短い、粗骨材の混入が困難、機械設備が大規模などの問題点がある。これらのことから、今回、乾式吹付け機の利用の可能性を鋼繊維の形状寸法との関連のもとに検討した。

II. 実験方法

実験は、表-1の因子と水準に示すように、吹付け機として吐出能力の比較的大きい最新型の乾式3種類ならびに湿式1種類を使用し、また鋼繊維として断面 $0.25 \sim 0.5 \times 0.5 \text{ mm}$ 、長さ $12.5 \sim 32 \text{ mm}$ の異形およびフラットファイバー(試作品)を $0 \sim 2 \%$ 混入した合計約30ケースの配合について、幅 4 m 、高さ 3 m 、長さ 5 m の模擬トンネル、および $70 \times 50 \times 15 \text{ cm}$ のパネル型かくに約 $0.5 \sim 1 \text{ m}^3$ の吹付けを行い、施工性を観察するとともに、物性試験用供試体を作製した。

III. 実験結果および結果の検討

一連の実験の結果、湿式吹付け機Kに関しては、これまでに把握している施工実績および試験結果と基本的には大きな差異はなく、長さの長い(32 mm)鋼繊維を混入した場合でも吹付けが可能であり、圧送上の問題点も特に認められなかった。したがってここでは乾式吹付け機を用いて得られた結果を中心に報告する。

1. 吹付け機の圧送状況について

吹付け機の機種による相違は特に見られず、実用的な混入率と考えられる 1% では長さ 32 mm の鋼繊維についても特に問題なく吹付けが可能であった。しかし混入率 2% の場合、 1% に比べ吹付け機の負荷(空気圧)が幾分増大し、脈動を生じて安定した圧送が困難であった。

機種によっては、長時間連続的な施工を行った場合、材料が配管内に徐々に残積して吐出量の低下を招くことがあるが、後述のように吐出量は鋼繊維の付着率に影響を与えるため、機種の選定は重要な問題である。

2. 鋼繊維の付着率について

吹付けたコンクリート内の鋼繊維の付着率(実混入率)は、全般的にはこれまでの湿式吹付け機Kによる結果と同様に練りまぜ時の $8 \sim 9$ 割となったが、図-1に示すように、吹付け機の吐出量が低下すると付着率にも減少が認められた。この付着率の減少は $0.25 \times 0.5 \times 25 \text{ mm}$ の異形ファイバーによる場合であり、他の形状寸法に

表-1 実験因子と水準

使用吹付け機	(湿式) K, (乾式) A, R, M
鋼繊維の形状寸法	異形, フラット
断面(mm×mm)	$0.25 \times 0.5, 0.5 \times 0.5$
長さ(mm)	12.5, 20, 25, 32
水セメント比(%)	60 (乾式は目標値)
スランプまたは単位セメント量(kg/m)	(湿式)目標スランプ $8 \sim 12$, (乾式)単位セメント量400, 450
細骨材率(%)	80, 100
鋼繊維混入率(%vol)	0, 1, 2

注) 急結剤 湿式 専用急結剤「パウダー」添加率3%(対セメント量)
乾式 シングニットD1
圧送距離 約60m

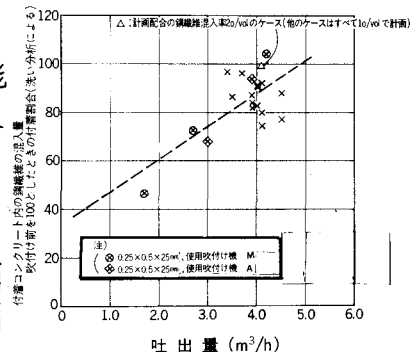


図-1 吹付けコンクリートの吐出量と鋼繊維の付着率との関係

いてはさらに検討すべき点もあるが、筆者らの以前の乾式吹付け実験で付着率が練りまぜ時の2割程度しか得られなかったときの吐出量が実質1~1.5%前後であったことと傾向的には良く一致している。これは練りまぜ時の8~9割の鋼繊維の付着を見込む上での吹付け機の吐出量は約3.5~4%以上が好ましいことを示している。

なお、鋼繊維の形状寸法による付着率の変化については、図-2に示すように、吹付け機の吐出量が約4%の場合、今回は特に認められなかった。しかし吐出量の大小が鋼繊維の形状寸法の相違による付着率の変化に及ぼす影響の程度については、今後の検討が必要と思われる。

3. 鋼繊維の配向状態について

付着した鋼繊維は、これまでの結果と同様、吹付け方向に配向するものに比べて平面方向（吹付け方向に直角な方向）に配向するものが多かったが、後者における繊維密度は3次元ランダム配向の場合の理論値とあまり大きな差は見られなかった。

4. 曲げ強度および曲げ変形特性について

曲げ応力~たわみ曲線の例を図-3に示す。今回の実験ではマトリクス自体の曲げ強度は約35~40 kg/cm²であり、鋼繊維の計画混入率1%の場合、曲げ強度は5~10 kg/cm²程度向上したが、鋼繊維の形状寸法の相違による差異は特に認められなかった。

変形特性については、図-4に示すように、鋼繊維の実混入率と長さの積を指標とした場合、Toughness Index (T.I.) との相関が認められ、鋼繊維の長さは長いほうが、また形状は異形としたほうがT.I.は増加するが、鋼繊維の断面寸法にはあまり影響されないなどの傾向が見られた。

実施工においては、実用的な鋼繊維の混入率は練りまぜ時で1~1.5%が限度と思われ、この範囲での曲げ強度の向上はマトリクス強度に多少の相違があっても今回と大差ないと推定される。したがって鋼繊維の混入効果の点では変形特性の改善が重要と思われ、施工上許容が可能な範囲でできるだけ長さの長い鋼繊維を用いるのが望ましい。

5. 圧縮強度および圧縮変形特性について

圧縮強度は約170~270 kg/cm²であり、これまでと同様、剛性試験における変形特性には載荷方向による異方性が見られた。しかし鋼繊維の形状寸法による差異は特に認められなかった。

6. せん断強度およびせん断変形特性について

図-5に示す2面せん断試験では、変形特性を改善する上で曲げ試験と同様、鋼繊維の長さの長いほうが有利であった。

IV. むすび

以上の結果から乾式でのSFRC吹付け実用化の目安を得た。

しかしSFRCの物性には施工機械の性能や鋼繊維の形状寸法が複雑に影響することを示しており、実際の工事への適用にあたっては、使用予定の吹付け機を用いた事前の実験検討が必要であることを示唆している。

(参考文献) 1) 中原 肥, 鋼繊維補強コンクリートの吹付け工法への応用実験(その1),(その2), 土木学会第31回年議 第V部, 昭和51年10月

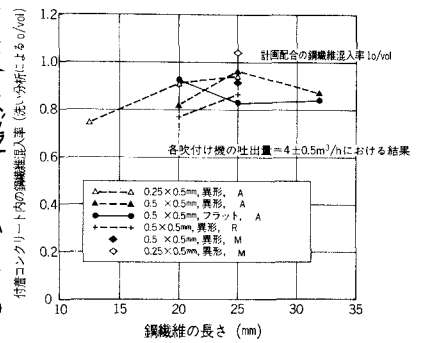


図-2 鋼繊維の長さとの関係

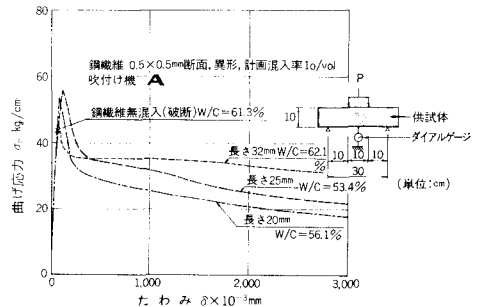


図-3 曲げ応力~たわみ曲線の1例

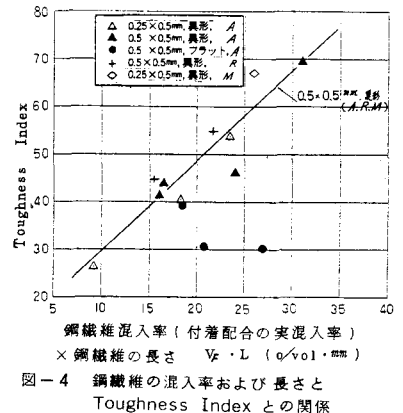


図-4 鋼繊維の混入率および長さとの関係

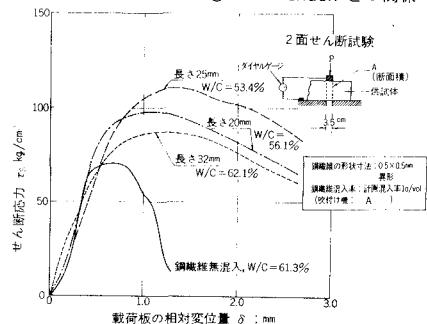


図-5 せん断応力~上下載荷板相対変位量の関係 (2面せん断試験法による) の1例