

論文 繊維高含有コンクリート SIFCON の基礎性状に関する研究

新村 亮^{*1}・平井友紀^{*2}・青木 茂^{*3}・原田 暁^{*4}

要旨： SIFCON とは補強材として短繊維を型枠内に充填し、後からグラウトを注入して、繊維を高含有させたコンクリートである。本研究では SIFCON を既設 RC 構造物の耐震補強材として使用することを目的に、施工性、強度、拘束効果、鋼繊維腐食について実験的検討を行った。SIFCON は狭い空隙にも施工が可能であり、高い圧縮強度、曲げ強度を持つとともに、高い靱性を保持する。さらに、コンクリートを SIFCON で巻き立てることにより、拘束効果が期待できる。また、内部鋼繊維の腐食もほとんどないことが明らかとなった。

キーワード： 繊維補強、曲げ強度、靱性、拘束効果、グラウト、腐食

1. はじめに

SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete) とは、短繊維を型枠内に充填し、後からペースト、またはモルタルをグラウト注入しファイバーを高含有させたコンクリートである[1]。繊維を 10% 程度含有させることができるため、高曲げ強度、高靱性なコンクリートである。Lankard らは本工法を空港プレキャスト舗装や 2 次製品へ適用しており[1]、 Naaman らは高曲げを受けるフレーム部材への適用を検討している[2]。

本研究においては SIFCON を補強用材料として使用するための基礎性状を確認するため、

- ① グラウト充填性試験、
- ② 強度・靱性試験、
- ③ 拘束効果試験、
- ④ 鋼繊維の腐食試験

を実施し、

- ① グラウトの配合 (モルタル、ペースト)、
- ② 繊維の種類 (鋼/ビニロン、繊維長さ)、
- ③ 注入方法 (流し込み/低圧注入)

が SIFCON の充填性、強度特性等に及ぼす影響を検討した。

充填性の試験では透明型枠内への注入試験を行い、充填性の良好な配合を使用して圧縮強度、曲げ強度、拘束効果試験、鋼繊維腐食試験を行った。研究の実施フローを図-1 に示す。

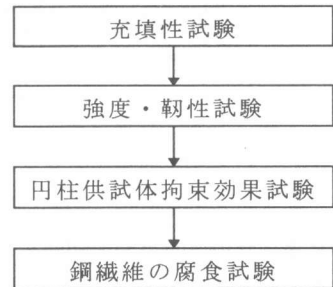


図-1 研究フロー

*1 ㈱大林組土木技術本部技術第五部、工修 (正会員)

*2 ㈱大林組土木技術本部技術第五部、工修 (正会員)

*3 ㈱大林組土木技術本部技術第五部課長、工博 (正会員)

*4 ㈱大林組土木技術本部技術第五部副部長、工修 (正会員)

2. 実験方法

2. 1 実験パラメータ

実験パラメータは表-1の通りとした。

2. 2 使用材料

使用材料を表-2に示す。

表-1 実験パラメータ

パラメーター	水準
繊維の種類	材質(鋼、ビニロン)、 繊維長さ
注入材の配合	ペースト/モルタル、 W/C、S/C
注入方法	流し込み、低圧圧入

表-2 使用材料

材料	主な性質
セメント	早強ボルトランドセメント(比重 3.14、比表面積 4490cm ² /g)
混和剤	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸塩系)
繊維	鋼繊維(長さ 25mm、50mm、φ=0.4mm、比重 7.85) ビニロン繊維(長さ 24mm、φ=0.4mm、比重 1.30)
珪砂	粒径 0.3mm 以下(比重 2.60)

2. 3 グラウトの製造方法

グラウトの製造方法を表-3に、グラウトの品質試験方法を表-4に示す。なお、混練にはグラウト用ハンドミキサを使用した。

表-3 グラウト製造方法

材料	製造方法
ペースト	水+セメント → 排出 120秒
モルタル	水+セメント → +珪砂 → 排出 30秒 90秒

表-4 グラウトの品質試験方法

試験項目	試験方法
流動性	木学会基準「プレパクトコンクリートに用いるモルタルの流動性試験方法(Pロートによる方法)」
単位容積重量・空気量	JIS A 1116「まだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験方法及び空気量の重量による試験方法(重量法)」

2. 4 充填性試験方法

図-2に示す1面透明アクリル樹脂型枠内に繊維を充填した後、グラウトを充填し、目視により充填性を確認した。さらに、供試体を長辺直角方向で切断し、目視により充填性を観察した。繊維の混入率は10%を目安としたが、それに満たない場合は型枠に振動を加えながら繊維を充填した。グラウト注入方法としては上部よりの流し込み、または下部からヘッド圧をかける低圧圧入(ヘッド高145cm)のいずれかとした。

2. 5 強度試験方法

充填性試験において、充填性が良好なペーストとモルタルを用いて、圧縮、曲げ試験を行った。圧縮試験にはφ100×h200mmの型枠を使用し、曲げ試験にはh100×b100×l400mmの型枠を使用した。型枠内に充填試験と同等の混入率となるように繊維を充填し、グラウト材を充填した。脱型後、標準水中養生し、材令7日で試験を行った。曲げ試験は土木学会規準「鋼繊維補

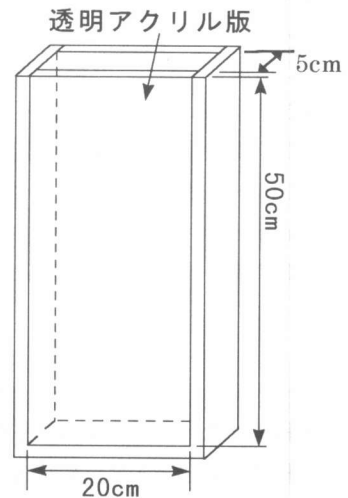


図-2 充填試験供試体

強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法」に従って行い、はり中央部の変位を測定した。なお、それぞれ供試体3本ずつで試験を行った。

2. 6 拘束効果試験方法

SIFCON の圧縮応力下での拘束効果を検討するため、SIFCON を巻立てた円柱供試体の圧縮強度試験を行った。

供試体形状は図-3に示す通りであり、 $\phi 15\text{cm} \times h 20\text{cm}$ の円柱型枠の中央に $\phi 10\text{cm} \times h 20\text{cm}$ 母材供試体を設置し、周囲の隙間に繊維を詰め、モルタルグラウトを流し込み、円柱供試体の外周を 2.5cm 厚の SIFCON で拘束した供試体を作製した。比較の為、繊維を詰めずにグラウト材のみを流し込んだ供試体も作成した。注入高さは母材の供試体よりも 5mm 低くなるようにし、注入部の底も予め 5mm 程度高くし、荷重が母材にのみに載荷される様にした。母材は設計基準強度 $24\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリートで、所定の寸法の円柱供試体を作成し、材令 16 日で SIFCON の巻立てを行った。供試体は脱型後標準水中養生し、材令 7 日で試験を行った。また、載荷中、両載荷版間の距離も測定した。

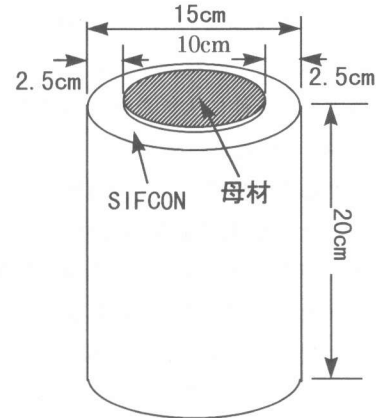


図-3 拘束効果試験供試体

2. 7 鋼繊維腐食試験方法

鋼繊維を使用し、充填性の良好な充填性試験供試体を6ヶ月間屋外曝露し、表面性状を観察した。また、裏、側面をエポキシコーティングした後、6ヶ月間 CO_2 促進養生し (20°C 、60%RH、 CO_2 濃度 5%)、表面性状を観察するとともに、切断面の鋼繊維腐食深さ、中性化深さを調べた。

3. 実験結果

3. 1 充填性試験結果

表-5に試験結果を、図-4に充填後の供試体切断面を示す。低圧注入法ではPロート流下時間がペーストでは25秒、モルタルでは16秒以下の場合には、充填状況は良好であった。この程

表-5 充填性試験結果

No.	グラウト材料	繊維種類	W/C (%)	S/C	混和剤添加率*	Pロート流下時間 (sec)	繊維混入率 (Vol. %)	充填法	充填性
1	ペースト	鋼 (I25mm)	45	-	0.5%	30.8	13.8	流し込み	不良
2	〃	〃	45	-	0.7%	13.4	13.8	〃	良好
3	〃	〃	45	-	〃	13.4	12.5	低圧注入	良好
4	〃	〃	40	-	〃	18.9	13.3	〃	良好
5	〃	〃	38	-	〃	25.1	13.1	〃	良好
6	モルタル	〃	45	1.0	1.2%	26.7	13.0	〃	不良
7	〃	〃	45	0.75	1.0%	18.8	13.1	〃	不良
8	〃	〃	45	0.5	〃	15.8	13.2	〃	良好
9	〃	〃	40	0.5	1.7%	19.8	13.0	〃	やや分離
10	〃	鋼 (I50mm)	45	0.5	〃	15.0	6.4	〃	良好
11	ペースト	ビニロン (I24mm)	40	-	0.7%	19.0	9.8	〃	良好
12	モルタル	〃	45	0.5	1.0%	15.0	9.9	〃	良好

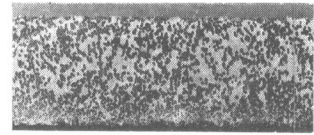
*混和剤添加率はセメント重量比

度の大きさの供試体ではグラウトの流動性が良い場合、注入方法による充填性の差は少なかった。

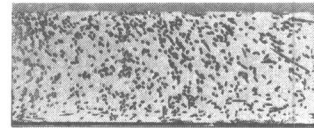
また、グラウト材の流動性のみでなく、材料分離抵抗性も充填性に対して重要な要因であるということが判った。また、本試験において鋼繊維とビニロン繊維の充填性に大きな違いは見られなかった。

3. 2 強度試験結果

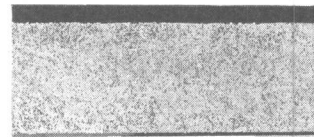
充填性試験において充填性が良好だった W/C:40% のペーストと W/C:45%、S/C:0.5 のモルタルを用いて供試体を作成した。また、この程度の流動性を有するグラウトであれば、注入方法による差異は少ないと判断されたため流し込み法で注入を行った。強度試験結果を表-6 に示す。表中の値は3個の供試体の平均である。長さ 25mm の鋼繊維を使用した SIFCON 供試体の圧縮強度は、注入材の圧縮強度に比べて 1.5~2 倍の値を示した。しかし、長さ 50mm の鋼繊維と長さ 24mm のビニロン繊維を使用した供試体の圧縮強度には、著しい効果は見られなかった。長さ 50mm の鋼繊維の場合、むしろ圧縮強度の低下を招いたが、これは繊維の長



鋼繊維 / 25mm (No.8)



鋼繊維 / 50mm (No.10)



ビニロン繊維 (No.12)

図-4 充填試験用供試体の断面

表-6 強度試験結果

No.	繊維種類 (長さ mm)	グラウト 材料	W/C (%)	S/C	混和剤 添加率 (%)	P-ポート流 下時間 (sec)	繊維 混入率 (Vol. %)	圧縮 強度 (N/mm ²)	曲げ 強度 (N/mm ²)	曲げ靱性 係数 (N/mm ²)
1	無	ペースト	40	-	0.7	18.2	-	73.9	8.8	0.26
2	鋼(125)	ペースト	40	-	0.7	18.2	13.0	103.0	24.6	21.7
3	無	モルタル	45	0.5	1.0	15.0	-	55.0	7.2	0.13
4	鋼(125)	モルタル	45	0.5	1.0	15.0	13.0	108.0	27.3	24.3
5	鋼(150)	モルタル	45	0.5	1.0	14.8	6.4	48.6	28.6	25.1
6	ビニロン(124)	モルタル	45	0.5	1.0	14.8	9.8	56.6	20.4	15.6

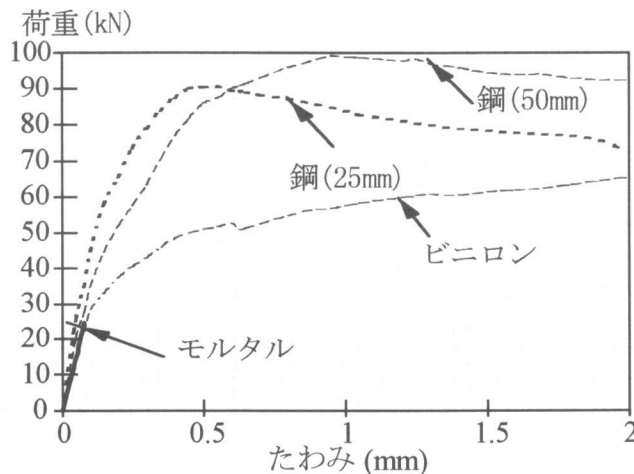


図-5 曲げ試験におけるたわみ-荷重曲線

さが長い場合、繊維の方向が、円柱供試体の軸方向に偏ってしまったためと考えられる。また、ビニロン繊維は剛性が低いため強度改善が見られなかったものと考えられる。SIFCON 供試体のはりの曲げ強度は $20\sim 27 \text{ N/mm}^2$ で、ビニロン繊維を使用した場合でもグラウト材強度に比べて3倍、鋼繊維を使用した場合は3～4倍程度に改善された。さらに、非常に高い曲げ靱性を示した。曲げ試験における荷重-たわみ曲線を図-5に示す。

3. 3 拘束効果試験結果

試験結果を表-7に、圧縮応力-鉛直変位関係を図-6に示す。表中の値は3個の供試体の平均である。SIFCON によって拘束されたコンクリート柱の圧縮強度は、拘束されていない供試体、繊維の混入していないグラウトで巻き立てた供試体の約2倍の強度となり、また、大きな靱性の改善効果も認められた。

表-7 拘束試験結果

繊維	W/C (%)	S/C	繊維含有量 (Vol. %)	圧縮強度 (N/mm ²)
母材				38.9
無し	45	-	-	39.7
鋼(125mm)	45	0.5	13.0	73.2

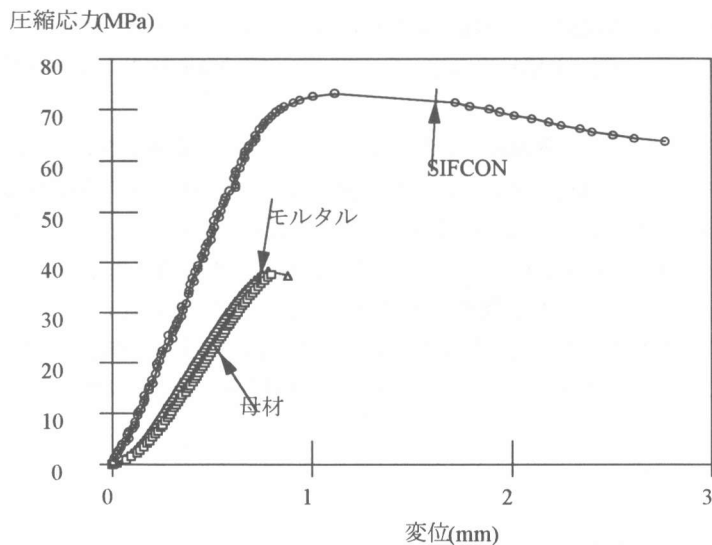


図-6 拘束効果試験の圧縮応力-鉛直変位関係

3. 4 鋼繊維腐食試験結果

充填性試験供試体 (W/C:45%、S/C:0.5 モルタル、W/C:40%ペースト) により鋼繊維腐食試験を行った。6ヶ月間屋外暴露後の供試体の表面性状を図-7に、6ヶ月間 CO₂ 促進養生後の中性化試験結果を図-8に示す。暴露供試体表面には点錆が認められたが、錆汁等が流れた跡は見られなかった。また、中性化促進供試体の切断面では、鋼材の腐食、グラウトの中性化はほとんど認められなかった。

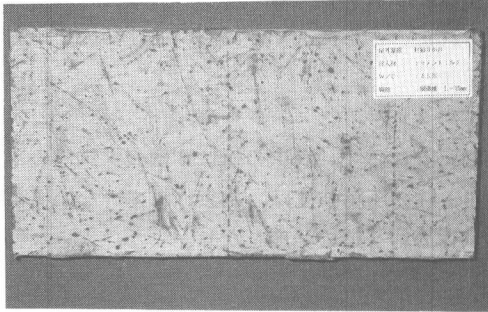


図-7 暴露供試体表面性状

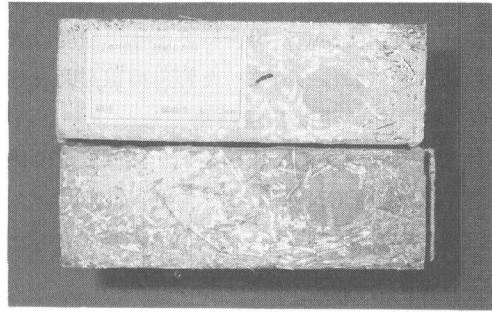


図-8 中性化促進試験供試体切断面（上）
と中性化試験結果（下）

4. まとめ

本研究により、繊維高含有コンクリート SIFCON が補強材として適切な力学的性状を保持していることが判った。本研究で明らかとなった SIFCON の性状は次の通りである。

- ・グラウト材として適当な流動性、分離抵抗性を持つペースト、または、モルタルを使用することにより、幅 5cm の空隙でも繊維混入率 10% 程度の SIFCON を施工することが可能と考えられる。
- ・型枠の大きさに適した長さの鋼繊維を使用することにより、圧縮強度を 2 倍程度に改善することができる。また、曲げ強度はビニロン繊維を使用した場合でも 3 倍、鋼繊維を使用した場合は 4 倍程度に改善される。さらに、曲げ靱性も大きく改善される。
- ・コンクリートを SIFCON で巻き立てることにより、拘束効果が期待できる
- ・SIFCON 中のグラウトの中性化、鋼繊維の腐食はほとんど認められない。

なお、SIFCON を補強材として実用化していくためには、さらに分離抵抗性、流動性、品質安定性等の優れたグラウトの開発、施工性の改善（空隙率改善、繊維の方向性）等が必要と考えられる。

参考文献

- [1]Lankard, D. R.: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON), Concrete International, Vol. 6 No. 12, pp.44-47 December 1984.
- [2]Naaman, A. E., et al.: SIFCON Connection for Seismic Resistant Frames, Concrete International, Vol.9 No.11, pp.34-39, November 1987.