

## [4] 造殻混練 (Sand Enveloped with Cement) 方式による 鋼繊維補強コンクリートの性状

正会員 辻 正 哲 (東京理科大学理工学部)  
 正会員 ○山 本 康 弘 (大成建設技術研究所)  
 正会員 早 川 光 敬 (大成建設技術研究所)  
 湯田坂 益 利 (大成建設土木部)

### 1. まえがき

本報告はモルタルと鋼繊維の付着特性, 及び鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形特性等の性状に, 造殻混練(以下SECと称す)方式の練り混ぜが与える影響を調べたものである。ここでいうSEC方式とは表面水を調整した骨材を用い, キャピラリー状態のセメントペーストと練り混ぜる過程を有する練り混ぜ方法である。

鋼繊維補強コンクリートの曲げ荷重-変形性状は, 鋼繊維とコンクリートの付着性状と密接な関係がある。鋼繊維が異型加工等でその付着性状が改善され, モルタルとの付着試験による引張荷重-すべり曲線の仕事量が大きくなると, その鋼繊維を用いたコンクリートの靱性が向上することがわかっている。<sup>1)</sup>

一方, SECコンクリートを用いた構造体では, その補強筋との付着性状が, 同じ調合の従来コンクリートを用いた場合と比較して優れているという結果が得られている。これはSEC方式で練り混ぜることにより, コンクリートの分離, 特にブリージングが減少し, 補強筋周辺に弱点が生じにくいためと考えられている。同じことが鋼繊維の周辺で生じているとすれば, SECコンクリートを用いることは鋼繊維とモルタルの付着性状, ひいては鋼繊維コンクリートの靱性向上に有利になるはずである。また鋼繊維の表面を洗浄処理, 発錆させたもの, またはゴムラテックスを付着させる等の処理をした場合, 鋼繊維補強モルタルの曲げ強度に, それぞれ相応の影響を与えるという報告もある。<sup>2)</sup> 鋼繊維コンクリートをSEC方式で練り混ぜる場合, 骨材と同様に, 鋼繊維を水セメント比の低い段階から投入してやることにより, 水セメント比の小さいセメントペーストが鋼繊維表面に付着し, 表面処理として付着性状の改善の効果をもたらすことも考えられる。

ここではモルタルを用いて鋼繊維の付着試験を行い, SEC方式の練り混ぜが付着性状に有利であることを確かめ, さらに鋼繊維コンクリートの実験により, これが靱性の向上に寄与していることを明らかにした。

### 2. モルタルによる付着試験

#### 2.1 概 要

本実験に用いた鋼繊維は線材を伸線後, 異形加工を施した伸線ファイバーで ( $\phi = 0.5 \text{ mm}$ ,  $l = 30 \text{ mm}$ ), セメントは普通ポルトランドセメント, 細骨材は川砂(比重 2.60, F.M.=2.80)である。また混和剤はリグニンスルホン酸塩系A.E.減水剤をセメント重量の0.25%使用した。

供試体はモルタルの直接引張試験に用いられるブリケット供試体の型枠を用いた。最小断面部分において厚さ0.7mmのプラスチック板により2分し, 鋼繊維は板に1.5cm間隔で正方形を構成するように設けられた4個の穴を横切って引張応力方向に配置する。繊維の付着試験部分の長さは15mmとし, 他方は別の鋼繊維を接続して補強し, 試験部分で引抜けるようにした。用いた鋼繊維と供試体の形状を右図に示す。

試験に用いたモルタルの練り混ぜは容量30ℓのモルタルミキサーを使用し, 従来法のものとは全材料投入の後, 90秒間練り混ぜて作製し, SECモルタルは砂と1次水を30秒間練り混ぜた後, セメントを投入して120秒間, さらに



図-1 鋼繊維の形状

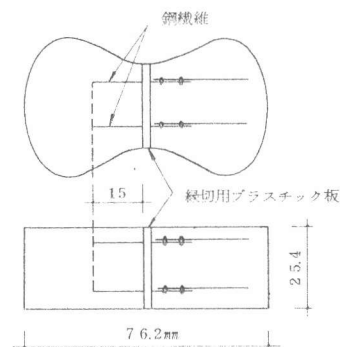


図-2 供試体の形状

に2次水と混和剤を投入して90秒間練り混ぜて作製した。1次水は砂の表面水と合わせて、セメント重量の30%になるよう調整した。用いたモルタルの調合および性状を表-1に示す。

繊維の表面処理として、水セメント比が2.4%のセメントペーストを練り混ぜ、これに鋼繊維をつきさして表面にペースト分を付着させ、静かに引き抜いたものをそのまま型枠中にセットし、すぐに所定のモルタルを打設する方法と、何も処理をせず、そのままセットして作製したものの2種を比較した。前者の処理方法はSEC方式で練り混ぜる時に、水セメント比が低い段階から繊維を投入した場合の状態を考えて行ったものである。これにモルタルの種類2種(従来法とSEC法)をかけあわせて、合計4種類の供試体の試験を材令1週で行った。

### 2.2 結果と検討

付着試験は変形制御型の試験器を用いて、1分間に1mmの速度で供試体を引張り、その時の荷重を測定した。各供試体の繊維1本あたりの引張荷重と繊維の抜け出し(すべり)量の関係の代表例を図-3に示す。この結果ではSECモルタルを用いた方が、従来法のものを用いるよりも高い値を示すこと、また鋼繊維の表面に2.4%のセメントペーストを付着させる処理をしたものの方が無処理のものより付着強度が高いこととなっている。SECモルタルを用いることによる効果は、その付着強度の増加率で約20%であるが、鋼繊維の表面を処理することによる効果は増加率が約100%となっており、鋼繊維を2.4%のセメントペーストで処理することが、モルタルと鋼繊維の付着性状を改善するのに、きわめて効果的であることがわかった。

### 3. コンクリートの試験

#### 3.1 概要

本実験に用いた材料は2章のモルタルによる付着試験におけるものと同じものである。なお粗骨材としては最大寸法15mmの碎石(比重2.63, F.M.=6.27)を用いた。

鋼繊維の混入量は体積比で1%とした。コンクリートの計画調合を表-2に示す。練り混ぜは以下の4種類の方法について行った。①従来法(ブレーン):鋼繊維を含まないコンクリートを従来法によって練り混ぜた。全材料を投入した後、120秒間練り混ぜた。②従来法:鋼繊維を除く全材料を投入後120秒間練り混ぜ、ミキサーを運転のまま、鋼繊維がかたまりとならないように投入し、投入終了後さらに60秒間練り混ぜる。③SEC法I:細粗骨材と1次水を30秒間混ぜた後、セメントを投入して120秒間、さらに2次水と混和剤を投入して90秒間練り混ぜて、SECのブレーンコンクリートを作製した後、鋼繊維を投入し、60秒間練り混ぜる。

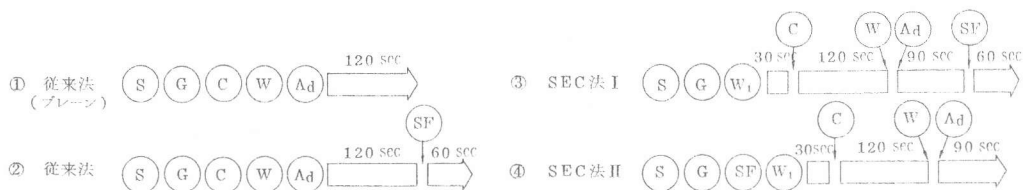


図-4 練り混ぜ方法

表-1 モルタルの調合及び性状

種類	S/C	W/C	混和剤 多/C	温度 で	テーブル フロー mm	単位容積 重量 kg/m <sup>3</sup>	ブリー ジング 率 %	比強度 材令1週 kg/cm <sup>2</sup>
従来法	2.53	5.0	0.25	18.5	2.06	2.116	1.3	3.96
SEC法				20.0	2.12	2.170	0.8	4.24

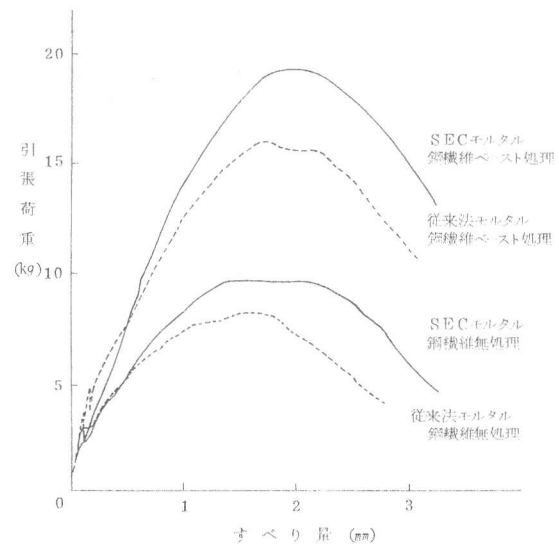


図-3 鋼繊維-モルタルの付着試験

④ SEC法Ⅱ：鋼繊維をSECコンクリートにおける骨材と同じように扱って練り混ぜる。すなわち、細粗骨材と鋼繊維と1次水を30秒間練り混ぜた後、セメントを投入し120秒間、さらに2次水と混和剤を投入して90秒間練り混ぜる。

③④の両法ともに、1次水は骨材の表面水とあわせてセメント重量の30%になるように調整した。練り混ぜにはパン型の強制練りミキサ（容量50ℓ）を用いて行い、練り混ぜ量は42ℓとした。練り混ぜ方法を整理して図-4に示す。

試験は練り上り直後にスランブ、空気量、単位容積重量、温度の測定を行った。供試体は圧縮試験用は $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 、曲げ試験用は $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の型枠内に試料を1層で詰め、外部から棒状パイプレーターを用いて締め固めた。圧縮強度は材令1週と4週に応力-歪曲線とともに測定した。また曲げ強度はスパン30cmの3等分載荷の曲げ試験を同じく材令1週と4週で行い、中央部のたわみと荷重の関係を記録した。

### 3.2 結果と検討

試験の結果をまとめて表-3に示す。練り上り直後の、練り混ぜ方法の差異による鋼繊維の分散程度は目視によれば、皆同等に良好と認められる状態であった。

#### (1) 圧縮強度

材令1週における圧縮応力-歪曲線の代表例を図-5に示す。最大応力は①プレーン、②従来法、③SEC法Ⅰ、④SEC法Ⅱの順に高くなっている。②従来法と③SEC法Ⅰとの差はベースのコンクリートの圧縮強度差に由来するものと考えられるが、③SEC法Ⅰと④SEC法Ⅱで差が認められるということは、鋼繊維と水セメント比の小さいセメントペーストの接触による付着強度の上昇が影響しているものと思われる。最大応力後のさがるは、プレーンを除いていずれの練り混ぜ法とも、同じような傾向を示した。

表-2 コンクリートの計画調合

鋼繊維量 %	W/C %	S/a %	日標スランブ cm	セメント kg/m <sup>3</sup>	水 kg/m <sup>3</sup>	細骨材 kg/m <sup>3</sup>	粗骨材 kg/m <sup>3</sup>	鋼繊維 kg/m <sup>3</sup>	混和剤 kg/m <sup>3</sup>
0	5.0	5.5	---	404	202	885	733	0	1.01
1			10	400	200	876	726	7.9	1.00

表-3 コンクリートの性状

鋼繊維量	種類	温度 ℃	スランブ cm	空気量 %	単位容積重量 kg/ℓ	圧縮強度kg/cm <sup>2</sup>		曲げ強度kg/cm <sup>2</sup>	
						1週	4週	1週	4週
なし	従来法-プレーン	15	21.0	3.2	2.27	298	445	49.8	48.4
1%	従来法	14.5	11.2	4.3	2.30	306	448	54.1	75.2
	SEC法Ⅰ	15.5	10.8	1.9	2.36	329	478	62.1	79.3
	SEC法Ⅱ	16	10.7	2.1	2.36	356	500	69.9	93.5

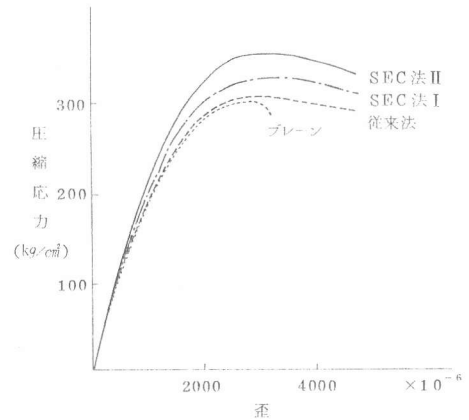


図-5 圧縮応力-歪曲線（材令1週）

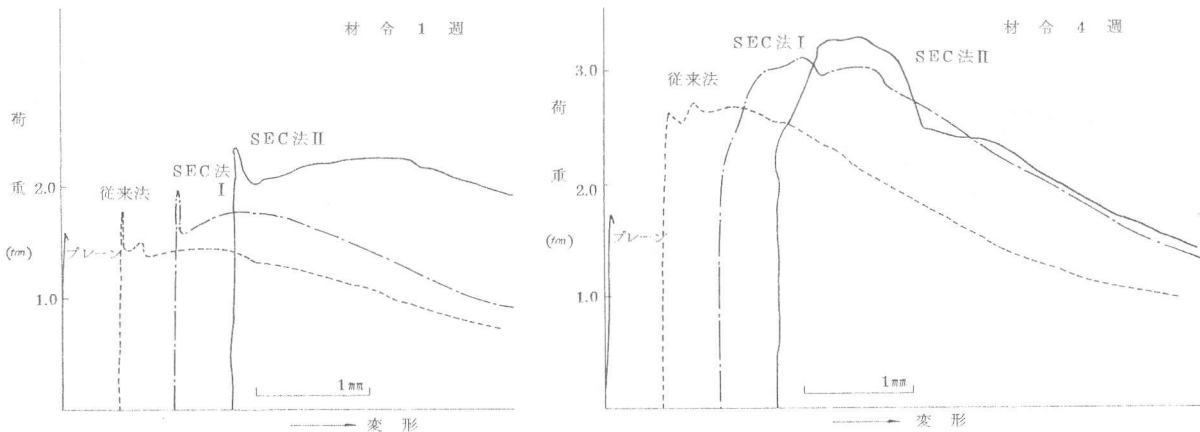


図-6 曲げ荷重-変形曲線

## (2) 曲げ強度

曲げ荷重—変形曲線の代表例を図—6に示す。材令1週，4週ともに，その最大荷重は①ブレーション，②従来法，③SEC法I，④SEC法IIの順に高くなっている。材令1週による試験の結果では，最大荷重の後，ブレーション以外は若干の荷重低下で安定した後，変形が進んでいる。中でも③④のSEC法によるものは荷重が再び上昇する傾向を見せている。材令4週の試験では②従来法，③SEC法I，④SEC法IIによるものは，ひびわれが入り，荷重—変形曲線が傾きはじめる荷重は大差ないが，ひびわれ発生以後の性状に差が見られる。すなわち，従来法によるものはひびわれ後，安定した荷重を保って1mm近く変形した後，漸次荷重が低下している。これに対してSEC法によるものはI，IIともひびわれ後，変形は進行しながらも荷重は増加を続け，変形1mm程度で最大値を示して以後，荷重が低下するという形となっている。曲げ試験の変形が1mmということは，ひびわれ巾が2mm弱の時に相当するといわれ<sup>1)</sup>，これは又鋼繊維とモルタルの付着強度が最大値を示すすべり量が2mm程度であることと対応している。

ブレーションコンクリートに対する強度の比を右図に示す。鋼繊維補強の機構上，強度比は圧縮より曲げで大きな値を示しているが，練り混ぜ方法による傾向は同一である。鋼繊維とモルタルの付着性状が，マトリックスとして従来法のモルタルを用いるよりも，SECモルタルを用いる方が高い付着強度を示すこと，また鋼繊維をあらかじめ水セメント比の小さいセメントペーストと接触させることによりさらに高い付着強度を示すことと，この傾向はよく一致している。しかし表面処理により2倍に付着強度が高くなるという数字程，SEC法IIの曲げ強度に伸びがあるわけではないようである。

## (3) 曲げタフネス

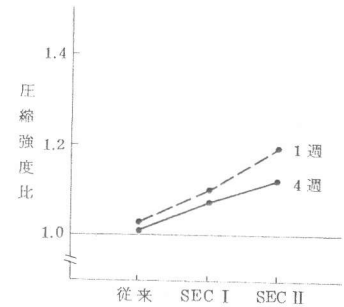
材令4週時の曲げタフネスを，荷重—変形曲線でたわみが2mmとなる部分までの曲線下の面積で表わし，右図に示す。練り混ぜ方法による曲げタフネスは，圧縮強度，曲げ強度での関係と同じく，付着試験による引張荷重—すべり曲線の仕事量が大きい状態を使った場合に，靱性の大きい鋼繊維コンクリートが得られる事が確かめられた。

## 4. まとめ

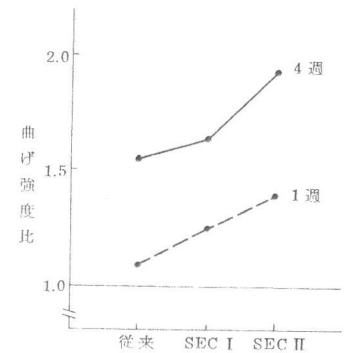
鋼繊維とモルタルの付着試験により，SECモルタルを用いる方が従来法のものより高い値を示すことがわかった。また鋼繊維を水セメント比24%のペーストに接触させる処理を行うと高い付着強度を示すことがあきらかになった。この場合，付着性状の改善効果は後者のペーストによる表面処理の方が大であった。鋼繊維コンクリートにSEC練り混ぜを適用する際，前者の効果のみをねらったSECコンクリートに鋼繊維を投入するSEC法Iと，後者の効果をもねらう空練り段階から鋼繊維を投入するSEC法IIについて試験を行ったところ，圧縮強度，曲げ強度，曲げタフネスとも，従来法，SEC法I，SEC法IIの順に値が高くなり，付着試験の結果とよく一致することがわかった。

本研究には東京大学の小林一輔教授の御指導をいただきました。またリブコンエンジニアリング(株)および(株)神戸製鋼所の協力を得ました。ここに謝意を表します。

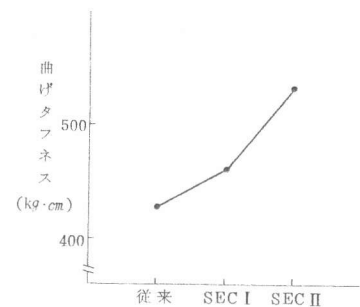
〔参考文献〕 1) 趙・小林・西村「鋼繊維の付着特性と鋼繊維補強コンクリートの曲げ性状との関係」生産研究33-1, 1981-1, P.22-25 2) 早川・伊東「A New Concrete Mixing Method for Improving Bond Mechanism」Proceeding of the International Conference on Bond in Concrete, 1982-6, P.282-288 3) 西・大塩・曾根「鋼繊維補強コンクリート(その1)」小野田研究報告30-1-99, 1978, P.20-38



図—7 ブレーションコンクリートに対する圧縮強度比



図—8 ブレーションコンクリートに対する曲げ強度比



図—9 曲げタフネス(材令4週)