

スチールファイバー製造装置の開発

九州職業能力開発大学校 廣 瀬 渉

Development of steel fiber fabrication device

Wataru HIROSE

要約 スチールファイバー（鋼繊維）は、土木・建築用コンクリートの延性の向上やひび割れを防止するために、コンクリートに混入される補強材であり、国内外を問わず多くの企業で製造・販売され実用化されている。従来のスチールファイバー製造装置の多くは、薄板材を剪断する方法や鋼線を縦送り圧延・切断する方法などが主流で、数多くの特許が出願されている。

本報告書は、従来のスチールファイバー製造法よりも高速な製造法である鋼線を用いた横送り・圧延法の製造装置を考案し、製造装置を試作した結果をまとめたものである。また、従来のスチールファイバーの実用化にあたって、コンクリート中に均一に分散することが困難であり、さまざまな手法が採用されてきたが、未だ十分に満足できるほど効率的な方法はない。そこで、最終の製造工程においてスチールファイバーが結束された状態で搬出されるという手法を考案し、均一分散効果を狙った製品および製造装置の開発を行った結果について述べる。

なお、本研究開発は、事業主団体である枝光会より、業界への新規参入のための共同開発の要請に基づき、F 研究（平成13年度事業主団体研究開発事業）および平成14年度企業人スクールとして取り組んだものである。

I はじめに

枝光会は安田工業（株）を核にした釘等、金属線製造業を業種とする 6 企業、総従業員735名からなる任意団体で、以前より現有の技術を利用したスチールファイバーの製品化を模索していた。

しかし、スチールファイバーは旧来より多方面の企業において製造・販売されており、新たに参入するには価格、製品形状、用途および作業性等、革新的な発想が求められ、開発に困難が伴うと予測された。

そこで本研究においては、図 2 に示すコンクリート中における均一分散型スチールファイバーの製造装置を開発するとともに、団体内における開発スタッフの人材育成に貢献することを目的とした。

II 従来のスチールファイバーおよび製法

従来、スチールファイバー製造法はさまざまの特許が出願されており、それらの製法特許は鋼材倶楽部スチールファイバー委員会¹⁾によると図 1 に示すように伸線切断法、薄板剪断法、厚板切削法、溶鋼抽出法などに大別される。



図1 スチールファイバの製造方法

これらの中で公開特許公報に均一分散型として記載されているスチールファイバーの 1 つは、図 3 に示すように伸線切断法の製造装置と、それによって製造された水溶性接着型スチールファイバーである。その公

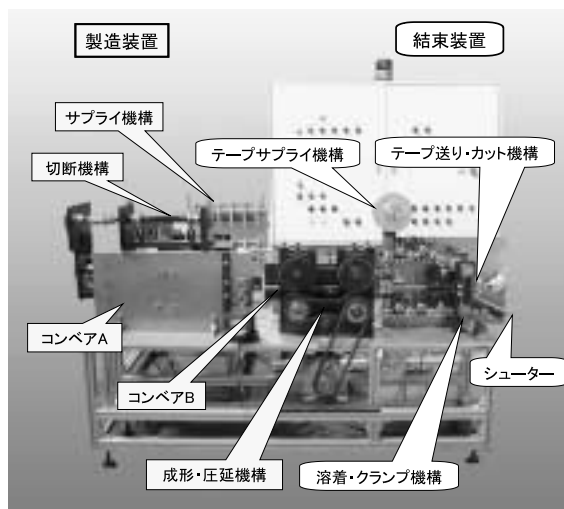


図2 本開発のスチールファイバ製造装置

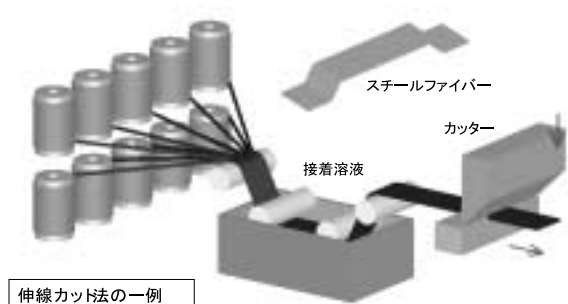


図3 特許に見る製造方法

開特許公報^{2) 3) 4) 5) 6) 7)}によると、工程としては伸線を数十本整列して縦送りし、水溶性接着剤で伸線を結合した後、成形およびカットする製造法で、特徴としては保管中および運搬中に容器内において生じるファイバー同士のもつれを防止し、またコンクリート中において接着剤が熔解することで、均一分散する特徴があるとされている。

なお、スチールファイバーはさまざまな凹凸や波状の形状をしており、この凹凸によってアンカー効果（コンクリートとの機械的結合力）を高め、ひび割れ時における引抜け特性を向上させる作用をもっている。ちなみに、ファイバーに作用する最大引張力とそのときの引き抜け変位については、コンクリートに対する付着長が長い程大きい。図3のスチールファイバーに示すフック型ではコンクリートへの付着長の影響は少なく、この両端のフック形状によるアンカー効果によるものとされる。⁸⁾

もう一つの均一分散型スチールファイバーは、縦送り伸線切断法の製造装置で伸線を波形成形および圧延

したもので、公開特許公報^{9) 10)}によると付着性と扁平化による断面二次モーメントの向上を図ると同時に、扁平の幅と厚み比が2以上、かつ幅長さのアスペクト比が50未満のスチールファイバーはファイバーボール（コンクリート中にファイバーが塊状に存在する状況）が発生せず、分散性が良好という実験結果が得られたとされる。

III 開発に当たっての構想

開発に当たって、枝光会より提示された開発の前提は次のとおりであった。

- ① 他社特許に抵触しない製品および製造技術の開発
- ② コンクリート中に均一分散するスチールファイバーの開発

これらの開発前提を充たす製造方法として、種々の検討を行った結果、図4に示す伸線切断法の一つである伸線横送り製造法および結束形状製品の提案を行った。

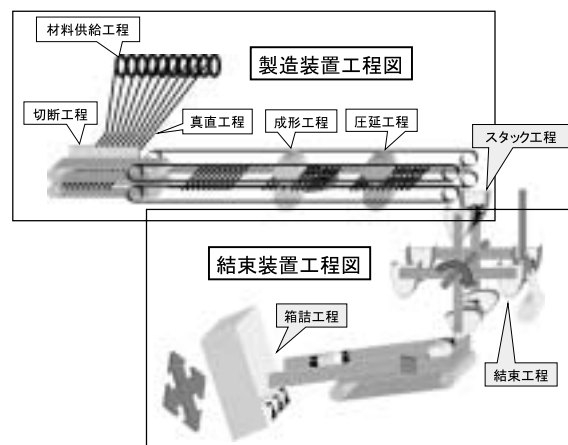


図4 構想提案

IV 製品および製造装置概要

1 スチールファイバー

ファイバーの性状は次のとおりである。

(1) 長さ

ブーム付きコンクリートポンプ車においても、用いることができるよう、全長を30mmの長さに設定した。

(2) 形状

波打ち形状は図5に示すように、2段折れ形状でA部の段部は応力集中を下げるためにR0.2以上とした。

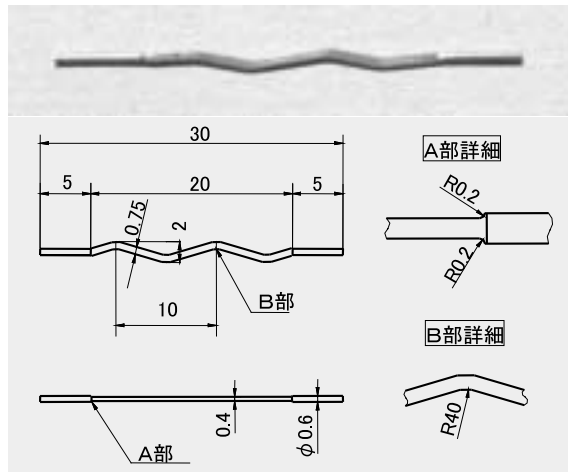


図5 スチールファイバ

(3) 材料

- ① 素材：軟鋼線材（JIS G3505）
SWRM6-φ5.5からφ0.6に冷間引抜き加工した鉄線を用いた。
- ② 引張り強さ：1000～1200N/mm²
- ③ 供給荷姿：500Nのキャリア入り(長さ:約22.5km)

2 製品

(1) 特徴

スチールファイバーを絡まった状態でミキサー中のコンクリートに投入すると、分散せず図6に示すファイバーボールを生じる。この状況は、本来の目的であるコンクリートの強度向上に役立たないばかりでなく、強度劣化をもたらすことになる。

この問題を解決するために、図3に示す従来の水溶性接着材を用いた整列結合型スチールファイバーと異なる方法として、図7に示すように水溶性テープでスチールファイバーを整列結束することにより、コンクリート中のファイバーボールの形成を防止する方法を考案した。

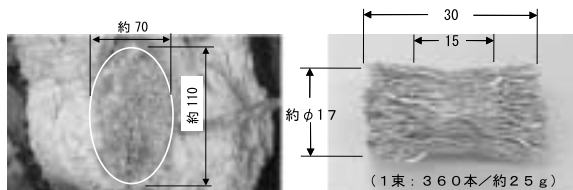


図6 ファイバーボール

図7 結束製品

これは、整列結束状態でコンクリート中に投入すると、ミキサーにより物理的に結束テープが切断され、砂利との混練作用によりスチールファイバーがそれぞれ分散すると思われる。また、水溶性テープはコンクリート中の水分により炭酸ガスと水に分解され、コン

クリートにテープとして残留しないこと、これらのことはコンクリートへの投入実験により確認されている。

(2) 形状

水溶性テープによりファイバーを結束した製品の外観を図7に示す。

(3) 結束テープ

用いたテープは水溶性PVAフィルムである。

- ① テープ型式：ソルブロン SA#17（㈱アイセロ化学）
- ② テープ幅、厚さ：15mm、17μm
- ③ 溶融時間：5～20秒（20℃）
- ④ 供給荷姿：直径約215mm、一卷約3000m
- ⑤ 水溶性PVAフィルムの特徴
 - ・水に溶解した場合、炭酸ガスと水に分解する。
 - またPVAを分解する微生物が存在する。
 - ・焼却しても有毒ガスが発生しない。
 - ・十分な強度と熱溶着性を有している。

(4) スチールファイバー本数

- ① 束本数：360本/束
- ② 束重量：25g/束

3 製造装置

今回開発した製造装置全景を図2に示す。

(1) 特徴

- ① 伸線送りを横送りとすることで、単位時間当たりの生産密度増加を狙った。また、次の結束工程に必要なスチールファイバーの自動整列を狙った。
- ② 伸線の供給本数を加減することで、生産調整が容易にできる。
- ③ 成形ロールを変更することで、アンカー効果を向上させたスチールファイバー形状に簡単に変更できる。

(2) 生産能力：約1000本/分（最大：約3000本/分）

(3) 主要機構部

図8にサプライおよび切断機構部図を、また図9にコンベアA・Bおよび成形・圧延機構部図を示す。

① サプライ機構

巻き線形状の素材を、真直装置によって伸線に矯正し、ピンチローラで30mmずつ切断機構に送り出す機能を有する。

- ・供給本数：10本（最大：30本）
- ・真直機構：縦、横矯正ロールによる直線機構
- ・送り機構：ロールによる断続送り（30mm/回）

② 切断機構

カムで駆動されるカッターが、0.5秒ごとに2

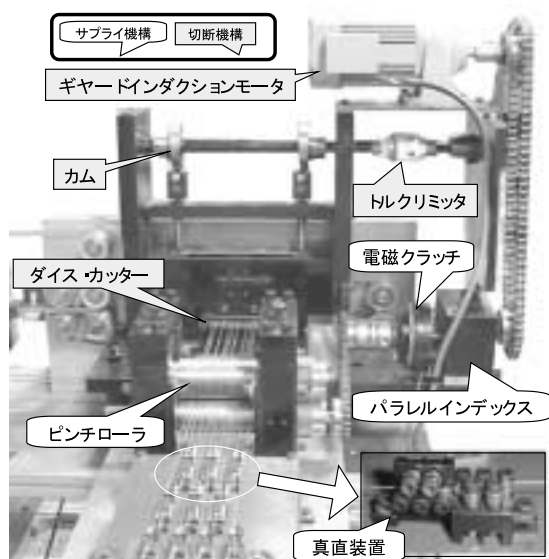


図8 サプライ・切断機構部

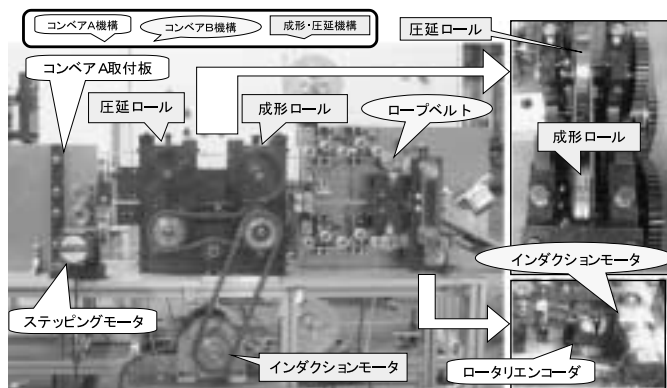


図9 コンベアA・B、成形・圧延機構部

mmのストロークで伸線を切断する機能を有する。

③ コンベア A 機構

停止中の上下タイミングベルト間に伸線を挿入・拘束し、カッターで切断する。その後、ベルトを0.3秒駆動し、コンベア B に線材を受け渡す機能を有する。ベルトはステッピングモータで間欠駆動される。

④ コンベア B 機構

φ4のロープベルトを上下・左右に2本づつ、併せて4本配置し、上下ベルト間に線材を両端で拘束・搬送する機能を有する。ベルトはインダクションモータで連続駆動される。

⑤ 成形・圧延機構

成形・圧延共、 $\phi 150$ の表面熱処理された
上下一対のロールからなり、インダクション
モータで連続駆動される。また、成形・圧延
ロール間には線材の向きを90度変更するた
めの姿勢変更板を設置している。

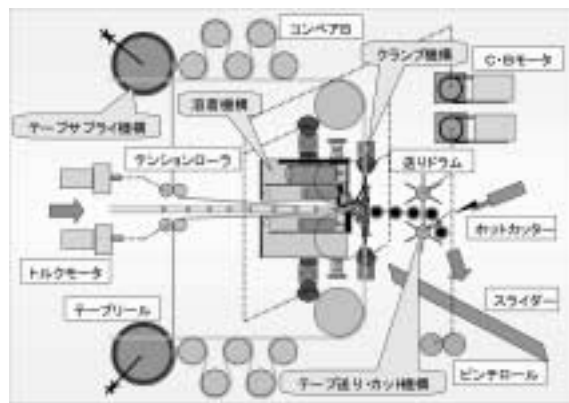


図10 結束装置概要図

4 結束裝置

図10に結束装置の構成概要図を示す。

(1) 特徴

- ① 自動整列されたスチールファイバーを上下の水溶性テープで挟み溶着することにより、芋づる式に短時間に連続して結束が行える。
- ② 溶着に超音波溶着機を用いているため、溶着部において溶解速度に悪影響を及ぼさない。

(2) 生産能力

- ① 生産能力：2束／分（最大：7束／分）

(3) 主要機構部

図11に主要な機構部構成図を示す。

① テープ供給機構

ブレーキ付きテーブリールに装着した水溶性テープに、トルクモータを用いて常時3Nの張力が掛かるように調整し、溶着・クランプ機構にテープを供給する機能を有する。

- ・テープ本数：2本
- ・テープ張力：3N

② 溶着・クランプ機構

クランプ爪にスチールファイバーを360本溜め、空気圧シリンダで駆動する送り爪でチールファイバーを押し込むことにより、スチールファイバー

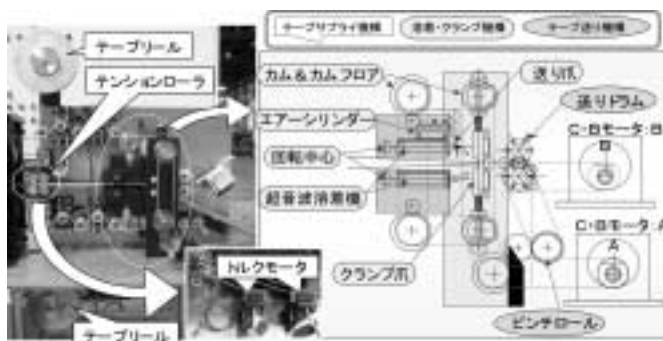


図11 テープサプライ、溶着・クランプ、テープ送り機構部

を噛み込むことなく超音波溶着機で水溶性テープを溶着させる機能を有する。

超音波溶着器 SAS-V型 (株)シロ産業

- ホーン幅：15mm
- 発信周波数：57kHz
- タイマー：0～5秒

③ テープ送り・切断機構

上下6分割ドラムによりテープを間欠駆動する。
テープの供給当初、ピンチローラで22mm（3+19mm）ずつテープを送り3束作成する。送りドラムに製品が掛かると、送りドラムで同様に22mmずつテープを送る。

また、1束作成するごとに空気圧シリンダに取り付けたホットカッターで1束ずつ切断する機能を有する。

5 制御装置

製造装置および結束装置のコントローラとして1台のPLCを用いており、インダクションモータ、ステッピングモータ等の制御を行っている。

(1) 製造装置の制御

図12に示すように、元線送り・切断、コンベアB、曲げ・圧延ロール用として3個のインダクションモータを使用しており、これらは比例制御装置に接続された2台のインバータで速度制御される。

また、コンベア A は 1 個のステッピングモータを用いている。これは、コンベア B のモータに接続されたロータリエンコーダをパルスジェネレータとして用いることで、コンベア B と同期した速度を得、さらにはカッターの下死点センサーとタイマーにより、0.3 秒間の間欠駆動させるためのものである。

(2) 結束装置の制御

図11に示すように、結束テープのテンション用とし

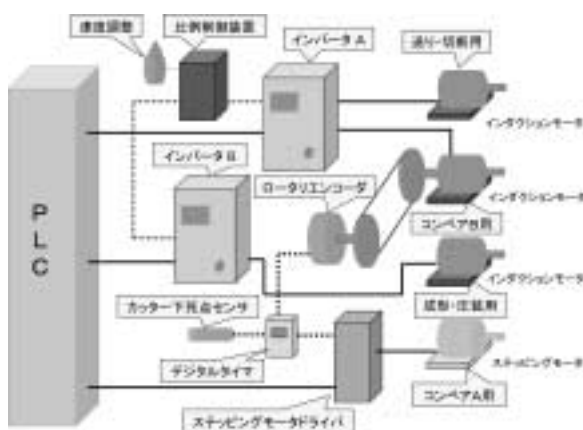


図12 製造装置のモータ速度制御

て、トルクモータを用いており、また溶着・クランプおよびテープ送り用としてC・Bモータ（クラッチ・ブレーキモータ）を用いている。なお、2個のC・Bモータは連動して回転速度調整が可能である。

6 安全装置

(1) サプライ機構

① 断線センサー

ガイドと真直ローラ間に微弱電流を通電しており、線材の断線時または線材供給終了時、アラーム表示とし装置が全停止する。

② 非常停止スイッチ

制御盤の他にサプライ機構部に2カ所非常停止スイッチを設置した。

③ 電磁クラッチ

線材を当初供給するとき、操作ボックス中のマニュアルスイッチを押すことにより電磁クラッチが切れ、ハンドルにより手動で線材を供給することができます。

④ 遠隔操作ボックス

電磁クラッチのON/OFFスイッチおよび送りローラ駆動モータの寸動スイッチを配置した。

(2) 切断およびコンベアB機構

① トルクリミッタ

切断機構部に異常が発生した場合、トルクリミッタにより動力が切断され、かつ製造装置を全停止する。

② ベルト切断センサー

コンベアB機構部のベルトアイドラーに設置されているベルト切断センサーによりベルトの切断を検出し、製造装置を全停止する。

V 現状と今後の課題

1 現 状

組み立て・調整の段階で、次に示す多くの問題点が発生しており、そのほとんどが対策済みであるが、一部積み残しの部分があり、現在その改善を実施している状況である。

(1) 製造装置

本製造装置では線材の供給本数を10本としており、プロットタイプとしてスチールファイバーの成型・圧延まで、一通りの工程の動作を確認できた。ただし、以下に示す問題が発生した。

① ベルト A に対する伸線挿入ミスの発生

ベルト A はタイミングベルトを使用しており、上下のベルト間にダイスを経た伸線が挿入される構造となっている。その挿入の際、ベルトとダイスの高さが微妙にずれたときベルトの端面に伸線が当たり、挿入ミスが発生したものと考える。したがって図13に示すように、ベルトの面取りと高さ調整窓を設置することで解決した。



図13 伸線挿入ミスの発生と対策

② 伸線切断後、ベルト B 上における線材の傾斜発生

図14に示すように、ベルト B 上で伸線の傾斜が発生した。この原因は、カットによる伸線切断後、カットと伸線が接触している状態でベルト A がスタートするためと思われる。したがってカッターの上昇後、ベルト A の始動を行うように、PLC のタイマ調整を行った。

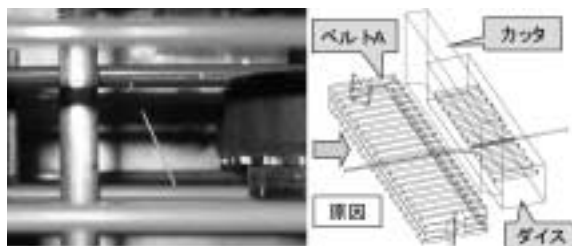


図14 伸線の傾斜発生と対策

(2) 結束装置

結束装置においては、テープ送り、溶着、スチールファイバーの360本スタック等、様々な問題が発生し、現在その対策を行っている最中である。

① テープの蛇行の発生

テープリールからテンションローラ、溶着機までの間において、上下のテープにズレが生じる。これはテープにある程度の硬さがあるとガイド等の考慮ができるが、テープが非常に薄く柔らかく、しかも湿気に影響されやすいため、ガイド以外の手段を考慮する必要があると思われる。現在その対策を考慮中である。

② 溶着不良の発生

テープ幅15mmの中に、溶着機を2台上下並列に配置しているが、溶着機の先端高さが不揃いのために1点当たりの溶着が発生する。ある程度の

高さのバラツキは溶着機に設置した押さえバネで修正できるように対策を行ったが、押し当て荷重の違いから溶着状態にバラツキが発生しており、根本的に対策を考え直す必要がある。

③ クランプ機構からスチールファイバーのこぼれ発生

図15に示すように、クランプ爪にスチールファイバーが360本溜まる構造となっているが、スチールファイバーの中央部を波状に圧延しているため中央部がかさばり、スチールファイバーが左右どちらかに傾斜し滑落するものと思われる。

対策としては、クランプ爪の両サイドおよび下部に壁を設置する必要があるが、干渉等、設計から見直す必要性があることから、現時点においては未設置の状況である。

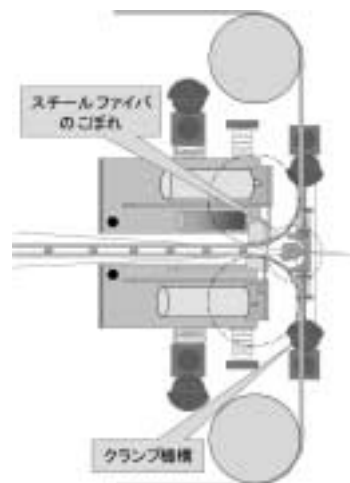


図15 スチールファイバーのこぼれ発生

2 今後の課題

前述したように多くの問題を抱えているが、プロットタイプとしての完成を目指してさらなる調整を図る必要があり、本格的な生産に入る前に、本装置を基本にしてラインタイプ1台を製作する予定である。その前提として次に示す項目について検討を行う必要がある。

(1) 確実動作の追求

製造および結束装置における未解決部分の検討

(2) 耐久性の追求

ベルト等耐久性を追求した部品選定の検討

(3) メンテナンス性向上の追求

ベルト交換等のメンテナンスを考慮した設計の検討

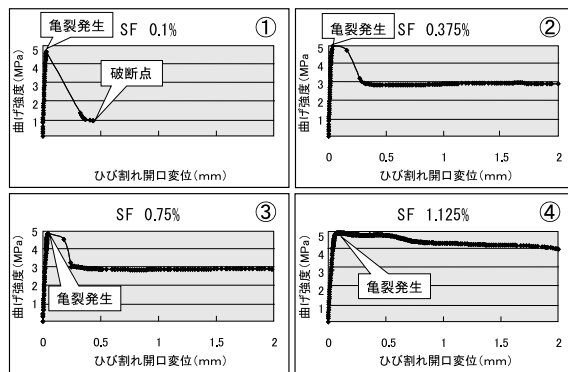
(4) コストパフォーマンスの追求

生産速度の追求および機構の簡素化等、設計の検討

VI スチールファイバーの評価

本装置で製造したスチールファイバーを用いて、土木学会JSCE-G552に基づいた「鋼繊維補強コンクリー

トの曲げ強度および曲げタフネス試験」を枝光会で実施したので、その結果を図16に示す。



現場調査(細骨材表面補正)

試験体名	鋼繊維混入率	単位水量	セメント	細骨材①	細骨材②	粗骨材①	粗骨材②	W/C	鋼繊維	混和剤
P	0.000	4.14	18.14	30.07	19.55	26.42	26.42	54	0.00	0.181
①	0.100	4.14	18.14	30.03	19.53	26.38	26.38	54	0.42	0.181
②	0.375	4.17	18.14	29.90	19.44	26.27	26.27	54	1.59	0.181
③	0.750	4.20	18.14	29.73	19.33	26.13	26.13	54	3.18	0.181
④	1.125	4.23	18.14	29.57	19.23	25.98	25.98	54	4.77	0.181

細骨材① → 海砂 細骨材② → 砕砂
粗骨材① → 粒径20~13 粗骨材② → 粒径13~5
試験体: □150mm×L530mm(支持スパン450mm)

図16 曲げ試験結果(安田工業株資料提供)

①図に示すように、スチールファイバーの混入率が0.1%においてはひび割れ直後破断に至るが、②、③、④の図においてはひび割れ発生後の曲げ強度が持続し、当初の目的であるコンクリートのひび割れ防止用としては、スチールファイバーの混入率0.375%前後で十分な効果が得られることが認められた。これは単純には比較できないものの、「コンクリート材料・工法ハンドブック¹¹⁾図4.4.10 鋼繊維混入率を変えた場合の荷重-たわみ曲線」の図中、混入率0.5%ひび割れ発生後の曲げ強度が3MPa前後であり、それと対比しても遜色のない結果が得られたと推察される。(ただし、荷重を曲げ応力 σ $b=P_{max} L/(bh^2)$ に換算し比較した。)

VII おわりに

本研究は企業訪問によって得られた企業ニーズから開発を行ったものである。経過としては、特許調査から組立調整まで2年間にわたり、毎週月曜日毎に枝光会ワーキンググループと技術検討を重ねてきた。その間企業人スクールを4講、構想説明会、設計説明会、報告会等の会議を5回、その他に校総合制作発表会、九州ポリテクビジョンにおける展示および発表等を行った。この過程の中、枝光会ワーキンググループスタッフの真摯な取り組み姿勢と開発技術の習得状況から、開発スタッフの人材育成という1つの目的は初年度の段階で達成できたと思われる。

また、製造装置としては本開発のプロットタイプを基に、平成15年度も引き続き企業人スクール対応でラインタイプを取り組むことになっており、現状においてラインタイプ製造装置に対する試作機としての役割は十分に果たしている。

最後に、スチールファイバーという成熟した業界に対し、新規参入する困難さの中で開発研究を行い、当初の目的を達成することができた。この開発研究によって団体の生産活動の一助になれたことは、枝光会は関係各位の多大なるご協力の賜物である。深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 社団法人 鋼材倶楽部 スチールファイバー委員会：スチールファイバーコンクリートの手引き [平成10年10月、第3版]
- 2) 発明者 ジョリス・モエンス、出願人 エヌ・ヴィ・ベカルト・エス・エイ 代表者 ジェイ・エム・ドブチ (ベルギー)：鑄造材の補強方法及び補強部材、特開昭50-48026、特許第1080441
- 3) 発明者 ジョリス・モエンス、出願人 エヌ・ヴィ・ベカルト・エス・エイ (ベルギー)：鑄造材の補強部材及びその製造方法、特開昭56-17121、特許第1336701
- 4) 発明者 大森義則、長沢 正、出願人 ブリジストン・ベカルト・スチール・コード株式会社：コンクリート補強用鋼繊維部材とその製造方法、特開平04-310553、特許第2752802
- 5) 発明者 大森義則、長沢 正、出願人 ブリジストン・ベカルト・スチール・コード株式会社：コンクリート補強用鋼繊維部材とその製造方法、特開平05-194001
- 6) 発明者 大森義則、大内 稔、出願人 ブリジストン・ベカルト・スチール・コード株式会社：コンクリート補強用鋼繊維部材とその製造方法、特開平05-262543、特許第3083903
- 7) 発明者 大森義則、長沢 正、出願人 ブリジストン・ベカルト・スチール・コード株式会社：コンクリート補強用鋼繊維、特開平05-262544
- 8) 椿龍哉、田中健二郎：鋼繊維の引抜け特性に及ぼす付着長の影響、コンクリート工学論文集、Vol.12, No.2, pp83-92, 2001
- 9) 発明者 伊藤 建司、泉水 朗宏、出願人 東京製鋼株式会社：コンクリート補強用鋼繊維、特開平06-294017、特許第 2627046

- 10) 発明者 中尾 謙治、三輪 雅樹、出願人 東京
製綱株式会社：コンクリート補強用鋼繊維の製造
方法、特開平08-243669、特許第 2748307
- 11) (株)建設産業調査会 コンクリート材料・工法ハ
ンドブック編集委員会：コンクリート材料・工法
ハンドブック [昭和61年11月, 第4刷]