

# 鋼繊維で補強された レジモルタルに関する研究

山 本 英 一

## Studies on the Resin Mortar Reinforced with Steel Fiber

Eiichi YAMAMOTO

This paper deals with an experimental research on the nature of the resin mortar reinforced with steel fiber and observes its characteristics by analyzing it before and after it hardens.

This also aims at measuring how effective the steel fiber mixed with resin mortar is.

In other words, this paper deals with how the ratio of resin and steel fiber affects its hardens from various angles.

### I 緒 言

わが国におけるレジンコンクリート、レジンモルタルの使用実績は10数年になり、建設産業界のみならず他の産業界においても有効な素材として認められている。其の結合材の大部分は、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂であるが、成型又は施工上に幾つかの問題点を残している。勿論これらの樹脂は、材として優れた物理的性状をみるが、樹脂の粘度の高さからくる成型時での困難さ、又は低温域（ $-10^{\circ}\text{C}$ 以下）における硬化性に難点をみるので、今一步汎用性に欠けるきらいがある。そこで、近年斯様な問題点を解消するために開発されたのが、アクリル系樹脂である。

このアクリル系樹脂の主成分はグリセロールメタクリレート、スチレンであるが、この樹脂の大きな特徴は、 $-20^{\circ}\text{C}$ の低温域でも充分に硬化し得るという利点。及び、樹脂の粘性が前述のポリウレタン系樹脂に比較して、きわめて低いという点にある。この2点だけでも成型時の作業性を改善出来るわけである。

又、強度に関しても、従来のエポキシ樹脂等と比較しても、何ら遜色がないことが明らかにされている。表一1はアクリル系樹脂と、エポキシ樹脂及びポリウレタン樹脂を結合材とした、コンクリート、モルタルの硬化時における物理的性質を示したものである。

本研究は、表一1において明らかなアクリル系樹脂の優れた物性に着目し、更に高い強度をも

表一 硬化特性

		単 位	結 合 機			
			アクリル		エポキシ	ポリウレタン
			コンクリート	モルタル	コンクリート	コンクリート
強 度	圧縮	kg/cm <sup>2</sup>	800~1,000	600~800	800~1,200	650~720
	曲げ	kg/cm <sup>2</sup>	180~210	160~300	170~300	200
	付着	kg/cm <sup>2</sup>	58	80	44	57
弾性係数		×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	2.5	1.3~1.8	1.5~3.5	1.0~2.0
比 重		g/cm <sup>3</sup>	2.35	2.0	2.1~2.3	2.0~2.1
吸 水 率		wt %	0.3	0.3	0.2	0.3

つ材の、成形上の諸条件についての実験的研究を報告するものである。特に、マトリックスの強度を支配する要因の一つである骨材に、短い鋼繊維を使用し、この鋼繊維のもつ特性を最大限に生かして、マトリックスの強度を拡大せしめ、それに伴う物理的性状について検討を加え追求するものである。即ち、アクリル系樹脂を結合材としたレジンモルタルをマトリックスとし、これに鋼繊維を混入させ、混練りから成型の過程における硬化前の物性、及び硬化後の各試験での挙動と試験結果を考察するものである。又、鋼繊維混入の効果を量的に把握することを目的とし、かつ、定量化し得る範囲とその適応性について検討するものである。

## II 実験概要

### II-1 使用材料

結合材：アクリル系樹脂液

粘度 20.5 (25°C CP)

主成分 グリセロールメタクリレート、スチレン

骨 材：混合砂

鋼繊維：フラットタイプ L=25mm

d=0.5mm

アスペクト比50

硬化剤：ベンゾイルパーオキシサイド

エチルケトンパーオキシサイド

メチル

### II-2 供試体

供試体は、主として圧縮、曲げ、引張用であるが、その他に接着力用のもの3シリーズ製作した。

圧縮用 } 4 cm × 4 cm × 16 cm 6 シリーズ  
曲げ用 }

引張用：ブリケット形 5 シリーズ

### II-3 配 合

配合は成型時における施工性を考慮して、次のような配合とした。

標準配合：樹脂液 17%(wt)

骨 材 83%(wt)

鋼繊維混入時配合

緒言に於いて述べたごとく、鋼繊維を骨材の一部として扱うことから、骨材率を標準配合時での83%を基準に、鋼繊維混入率に応じて、 $\pm 2\%$ を増減させた。

### II-4 実験方法

#### a) 主な実験装置と実験機器

100頓 万能試験装置，恒温恒湿装置，データー分析収録装置，電気歪計測装置，温度計測装置

10リットル 強制攪式ミキサー

#### b) 混練りと養生

供試体の混練りから成型に関するプロセスは、図-1 に従い、室温25℃，セットされた恒温恒湿室にて、24時間の養生を行った。尚，硬化剤は樹脂液に対して2%を使用した。

図-2 は気温と硬化剤の使用量との関係を図示したものである。

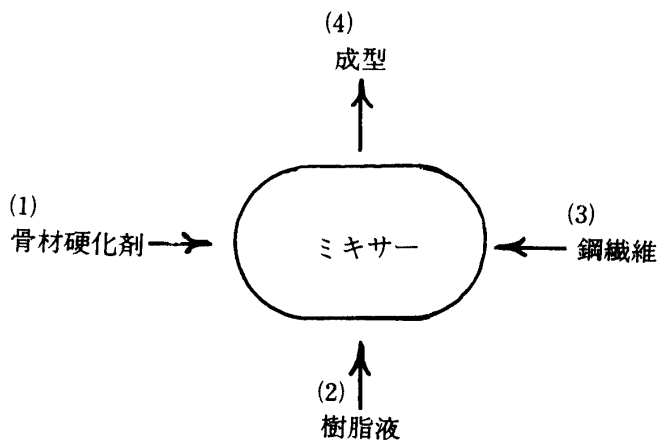


図-1

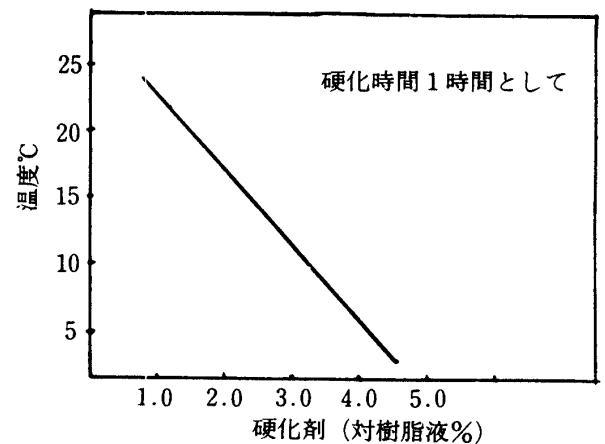


図-2 温度と硬化剤との関係 (\* 2)

#### c) 各実験

フロー試験：施工時の作業性の良否を検討する。

圧縮試験：圧縮荷重下での挙動を考察し，かつ，鋼繊維混入の効果を量的に把握する。

曲げ試験：鋼繊維の混入に依って得られる曲げ靱性の領域が，どの程度拡大するかを追求し，又，弾性時の曲げ強度の進展について検討する。

引張試験：純引張応力を受けた場合，応力面と交差する鋼繊維が十分に効力を果たし得るか

否かを追求し、繊維長と供試体の形状との関係について検討する。

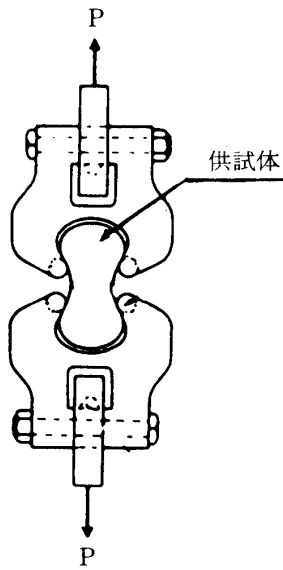


図-11

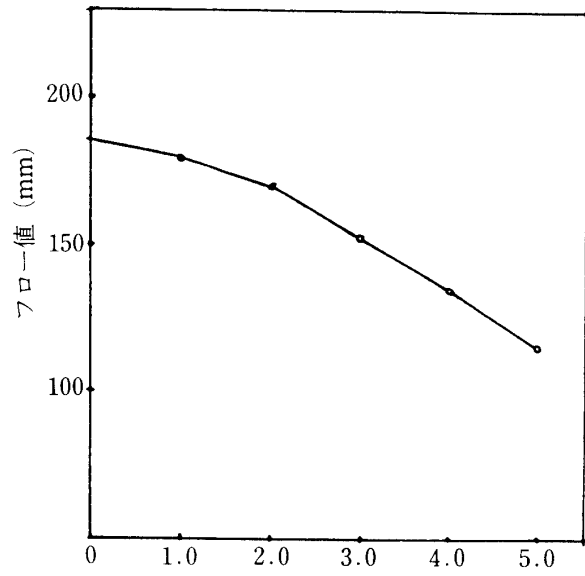


図-3 鋼繊維混入率とフロー値との関係

### III 実験結果

#### III-1 フロー値

鋼繊維混入率とフロー値との関係を

表-2, 図-3に示した。

表-2

混入率%	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
フロー値 mm	185	180	170	150	135	115

#### III-2 圧縮、曲げ試験及び引張試験

表-3に圧縮、曲げ及び引張試験による各結果を示す。鋼繊維混入率と圧縮強度との関係を図-4に、曲げ強度との関係を図-5にそれぞれ示し、又、圧縮試験、曲げ試験での破壊過程における変形歪みエネルギー比を図-6, 図-7に示す。図-8, 図-9は、残存強度比を表した。図-10は鋼繊維混入率と引張強度との関係である。

表-3 試験結果

混入率 %	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	曲げ強度 kg/cm <sup>2</sup>	引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	弾性係数 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	残存強度比		エネルギー比	
					圧縮	曲げ	圧縮	曲げ
0	588	166	56.4	1.95			1.0	1.0
1.0	680	176	58.8	2.10	0.78	0.67	1.2	1.2
2.0	770	220	71.6	2.50	0.85	0.72	2.4	2.3
3.0	875	296	100.2	3.20	0.87	0.77	3.5	6.0
4.0	930	351	130.1	3.00	0.90	0.83	4.0	7.2
5.0	990	434	135.2	2.15	0.88	0.90	4.8	9.0

## IV 考 察

### IV-1 混練り

使用する樹脂液の粘度は低いといっても、水を使用するセメント系のペーストとは粘性の質も異なるので、セメント系モルタルに於ける混練りの概念をベースにおくわけにはいかないようである。特に、強制攪拌式ミキサーの使用により、連行される空気量も多くなるので長時間の混練りは避けるべきと考えられる。

ただし、強制攪拌式ミキサーによって、高率の鋼繊維混入のミキシングが可能となった。従来の傾胴型ミキサーの場合、 $L=25\text{mm}$ 、 $d=0.5$ 、アスペクト比50程度の繊維ならば、2.0%の混入率が限度であったものが、強制攪拌式ミキサーの場合、10%の混入率でもミキシングが可能という、優れた攪拌性を有している。しかも、比重の違いは殆ど支障を来さないし、ファイバーボールも生じない。

### IV-2 コンシステンシー

図-3、写真-1においても明らかなように、鋼繊維の混入率の増加に伴って、コンシステンシーも悪化し、5%に至っては殆どフローせず、樹脂液のみがテーブル面にしみでる状態となる。従って、高率の混入に於ける良好なコンシステンシーは期待出来ないので、アスペクト比を小さい値にするか、又は樹脂液の粘度の大なるものを使用しなければ、単に配合のみを変化させただけでは、良好なコンシステンシーは得られないものと考えられる。

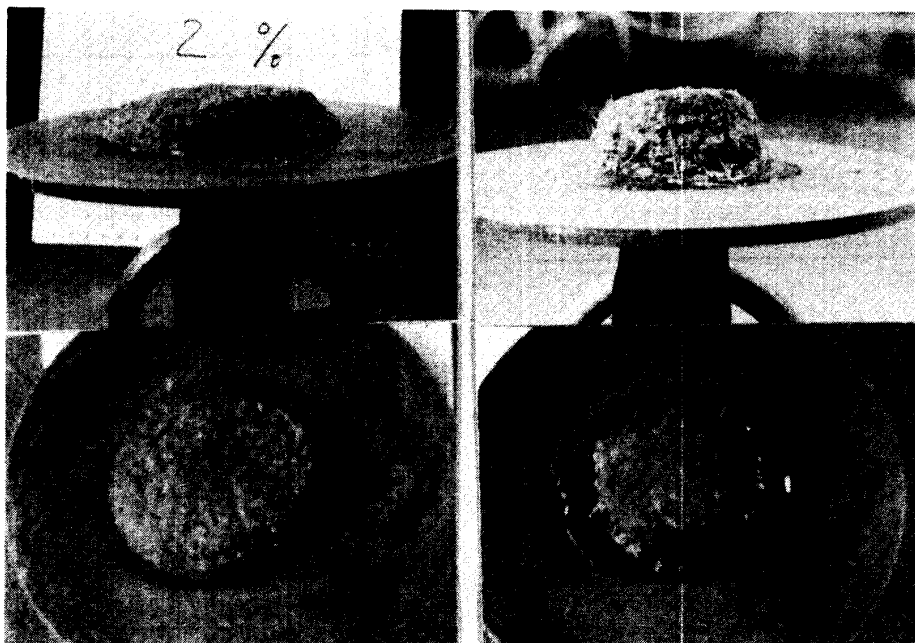


写真-1

#### IV-3 成型について

コンシステンシーとの関係から、当然4%以上の供試体の場合は成型しにくくなり、振動打設の必要が生じた。振動による樹脂液のはみ出し、漏れの問題もあるので長時間の打震は避けなければならなかった。従って、高率の成型に於ける、供試体のバラつきは或る程度覚悟しなければならなかった。

#### IV-4 圧縮強さ

圧縮強度は予測した如く(図-4)鋼繊維の増加に従い、ほぼ直線的に増加の傾向をみるが、3%~5%に於いて幾分減少気味となる。又、図-6の如く圧縮荷重下における変形歪みエネルギーも同様な挙動を示し、3%にて腰折れ状態となる。従って、3%がこの場合分岐点であるよ

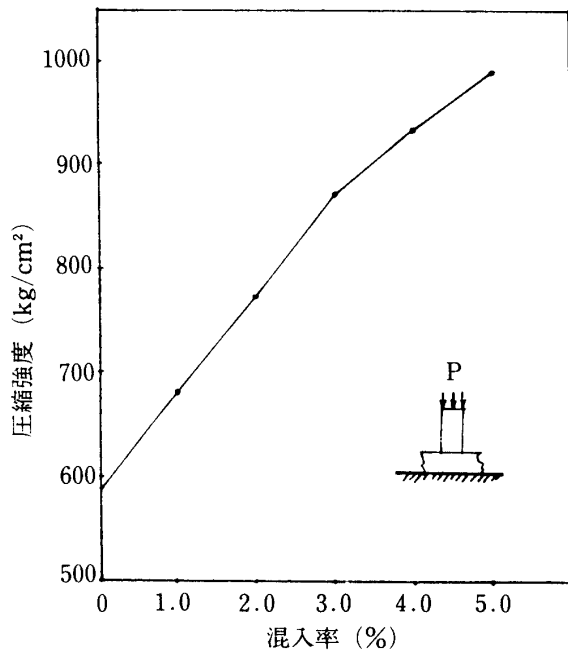


図-4 鋼繊維混入率と圧縮強度との関係

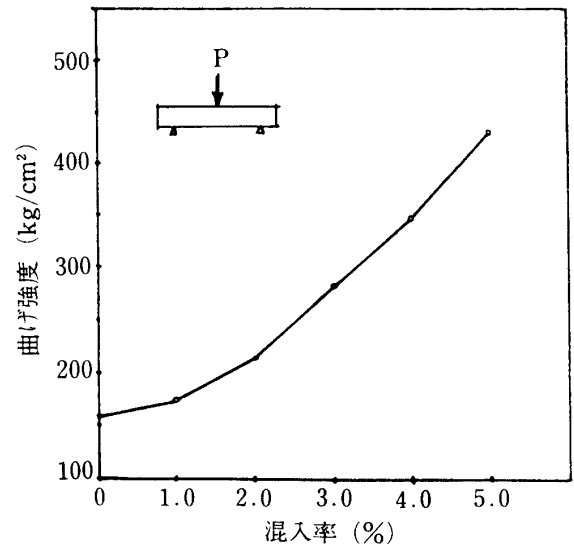


図-5 鋼繊維混入率と曲げ強度との関係

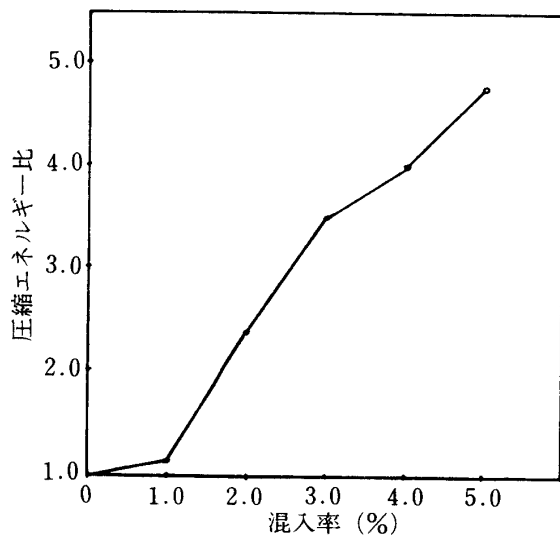


図-6 鋼繊維混入率と圧縮エネルギー比

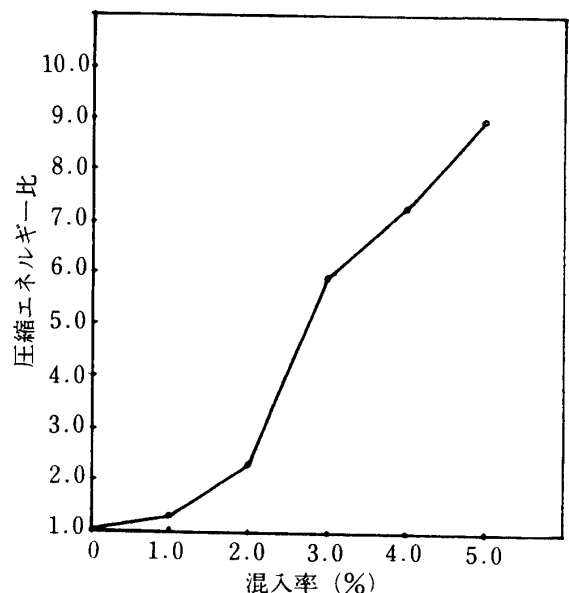


図-7 鋼繊維混入率と曲げエネルギー比

うだ。

#### IV-5 曲げ強さ

曲げ試験における挙動は、圧縮時と若干異なった動きを示し、鋼繊維混入率2%より直線的な増加の傾向をみせている。しかし、変化歪みエネルギー比に於いては、圧縮とほぼ同様な動きではあるが、エネルギー量は圧縮のエネルギー比と比較して2倍近い値を示している。このことは、成型時での締め固めによって、繊維の配向が3次的にならず、幾分2次的な状態になった為に起因するものと考えられる。即ち、鋼繊維の強制に近い平面的配向が、材の曲げ抵抗の伸張に役立っているものと推測される。

#### IV-6 引張強さ

引張強度は、図-10に於いて明らかなように、混入率4%までは図-3の曲げ試験の結果に似た挙動を示している。混入率5%となると極端に横軸へ倒れ、余り伸びは見られなくなる。このことは、供試体の大きさと繊維の長さに関係があり、この場合25mmの繊維長は、この供試体に適さないようである。しかし、混入率4%迄は有効に働いており、補強しないものに比較して、2倍の伸びを示している。

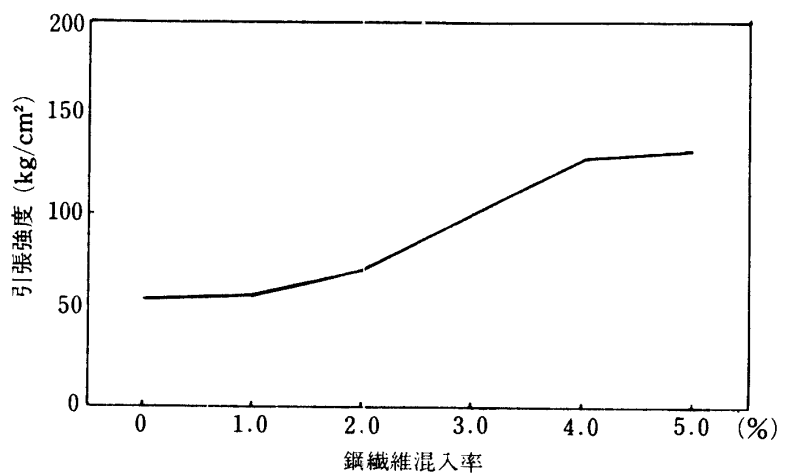
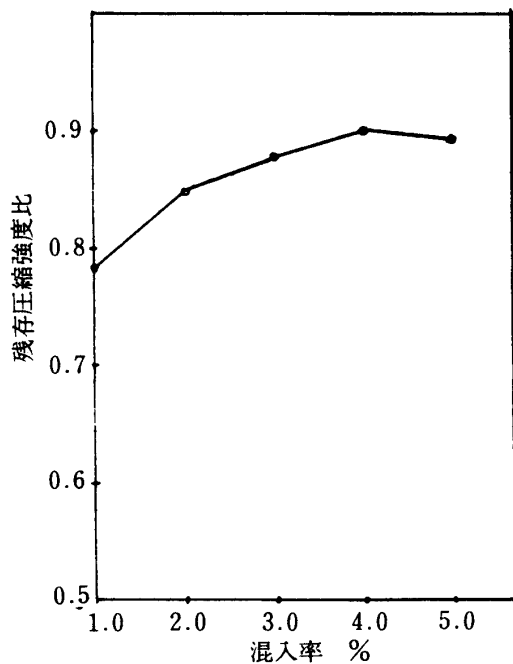


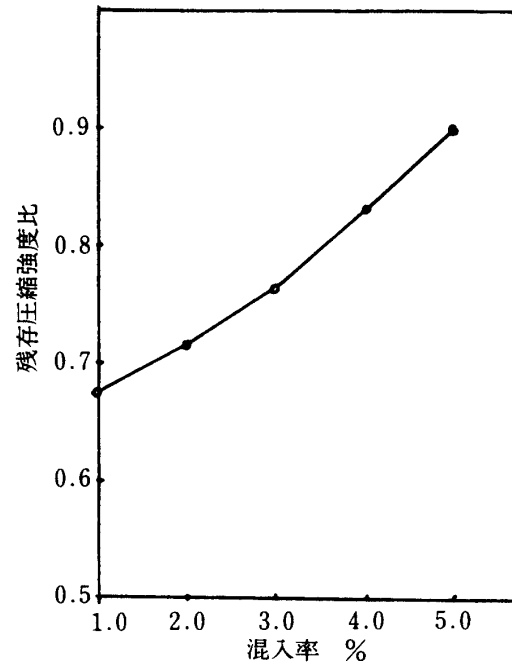
図-10 引張強度と鋼繊維混入率の関係

#### IV-7 残存強度比

図-8、図-9に於いて明らかなように、圧縮、曲げ両者の挙動に相当の相違点がみられる。即ち、曲げにおいては、直線的に伸びる傾向をみるが、圧縮の残存強度比の場合は、顕著な伸びはみられず、4%を限度として下降し始める。このことは明らかに、高混入率によって生ずる繊維間の交錯が、曲げに対する抵抗性を大ならしめるのに役立っている。しかし、これが逆に圧縮に必要な密実性を低下させる要因となり、強度及び強度比の伸展を阻害しているものと考えられる。



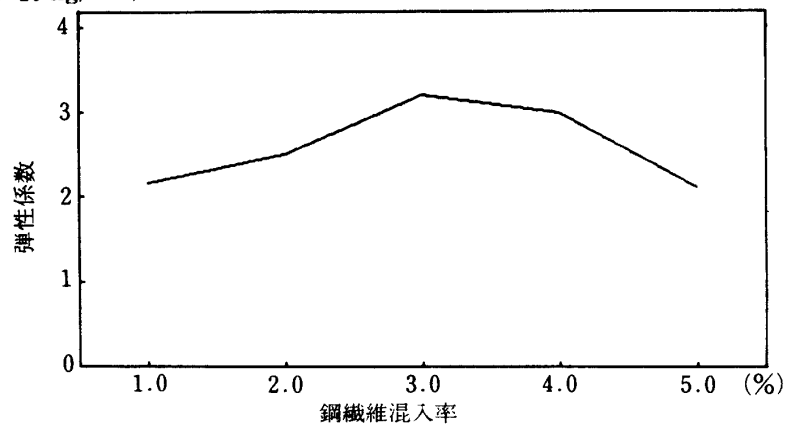
図一8 鋼繊維混入率と残存圧縮強度比との関係



図一9 鋼繊維混入率と残存曲げ強度比との関係

#### IV-8 弾性係数

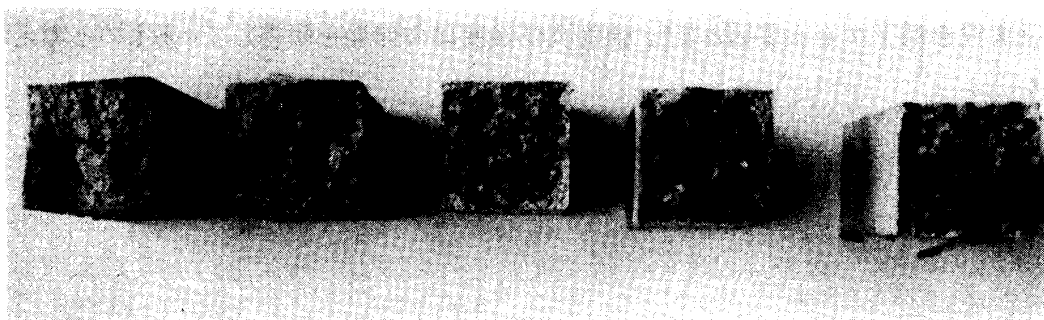
弾性係数は、表一3、図一12で明らかなように、鋼繊維混入率3%を分岐点としており、混入率を増加しても効果はあがらず、 $(\times 10^4 \text{ kg/cm}^2)$  逆に密実性を損なう要因ともなっている。より硬度の大なる材を求めるならば、アスペクト比を小さくし、混入率を増加させる以外に方法はないであろう。この場合混入率3%~4%が妥当と考えられる。



図一12 弾性係数と鋼繊維混入率との関係

#### IV-9 繊維の配向性

写真一2は、曲げ試験によって破壊された破断面を撮影したものであるが、混入率の増加に従い、割合均等な配向が見られる。このことは、強制攪拌式ミキサーの優れた攪拌性によるものと推測される。



写真一2

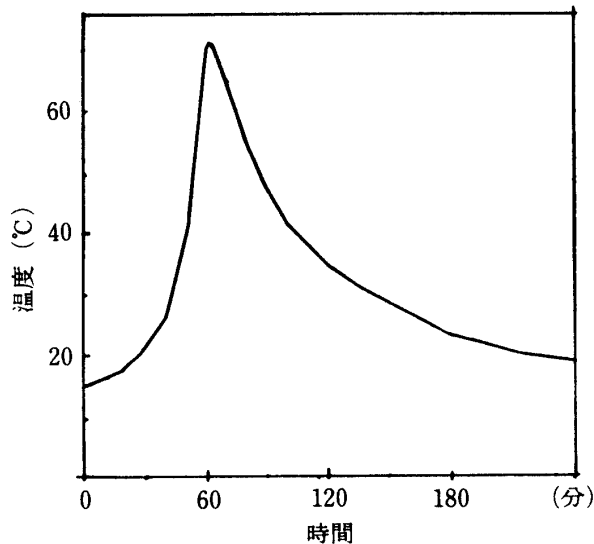


## IV-10 硬化時の温度と歪み

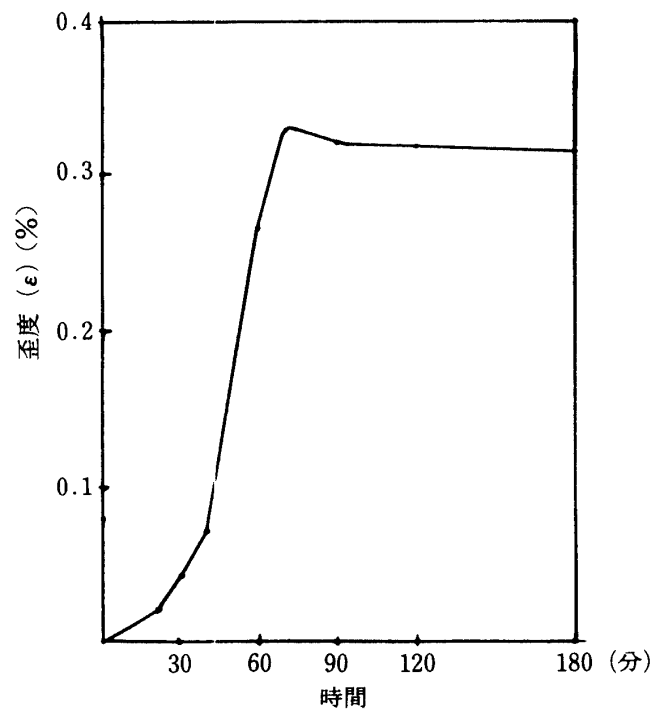
硬化時における供試体の温度は、硬化剤の使用量及び混練り時の気温によって多少異なるようであるが、本報告では樹脂液に対して2%の硬化剤を使用した。測定は、10cm×高さ20cmのシリンドーを使用し、中心部に熱伝対及び埋め込み型歪みゲージを配して行った。

図一13は、硬化時間と硬化温度との関係を、図一14は、硬化時間と歪みとの関係を示したものである。両図から明らかなように、温度は打設5分後より上昇し始め、約60分程度で上限に達し、その後は急激な下降線を辿り、約4時間を要して常温にもどった。歪みも同様に、打設後の温度上昇に伴って増加し、これも又約70分程度で最高に達し、以後はやや減少するも殆ど変化なく、横軸と平行状態になった。このことは硬化終了を意味するものであるが、換言すれば、強度の発現に混練り後70分～80分を必要とすることを意味しているのである。

又、硬化温度の上昇による歪みは0.3%とかなりの歪量が生じ、多量に打設する場合の問題点の一つとなろう。今後は硬化剤の使用量の如何、もしくは、発熱性の小さい硬化剤の使用より、この問題を検討すべきと考えるものである。



図一13 硬化温度と硬化時間との関係



図一14 硬化時間と歪みとの関係

## V ま と め

以上の諸点から、概ね次ぎのような事が言える。即ち、供試験の形状及びサイズに適した鋼繊維の混入は、明らかにレジモルタルの強度と靱性拡大につながり、極めて優れた特性をみることが出来、一応の成果があったわけである。しかし、今回の実験では供試体と繊維長とが合致し

ない部分もあり、特に高混入率の場合、アスペクト比50で繊維長25mmは適さないようであった。3%以上の混入率を求め、かつ圧縮強度の拡大を考えるならば、繊維長10mm程度とするのが妥当であろう。

一方、粘性の高い樹脂液の使用も、高混入率の供試体の成型に適合するものと推測されるので、更に実験考察を加えるものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 平野 徹, 勝世敬一, 長野伸泰, 丸山敏彦: ビニルタイプモノマー組成液の常温硬化性とポリマーコンクリートへの応用。北海道工業試験報告 NO 279.
- 2) 大浜嘉彦: 「ポリマーコンクリートの製造法と性質, 用途及び開発動向」ポリマーダイジェスト, Vol. 35, NO 2.
- 3) 繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準: 日本コンクリート工学協会
- 4) 山本英一: 鋼繊維補強ポリマーモルタルの特性 (1986). 日本建築学会北陸支部研究報告書.