

# 起泡剤を用いた鋼繊維補強コンクリートの 混練改善方法に関する実験的研究

## EXPERIMENTAL STUDY ON IMPROVEMENT METHOD FOR MIXING OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE BY FORMING AGENT

山田 和夫  
Kazuo YAMADA

*ABSTRACT* The purpose of this study is to establish the mixing procedure of steel fiber reinforced concrete that can be mixed uniformly by a ordinary concrete mixer, even if the volume fraction of steel fiber with more than 2 % is designed. The mixing procedure examined in the experiment is as follows:

1) The observed volume fraction of steel fiber at mixing is reduced by entraining the air in a base concrete under usage of the forming agent

2) The air content in a steel fiber reinforced concrete is reduced by using the erasing agent at the final step of mixing.

It was found from the experiment that the limiting volume fraction of steel fiber increases according to the addition quantity of forming agent, because the slump of steel fiber reinforced concrete with same mix proportion increases remarkably by adding the forming agent. Consequently, the mixing ability of steel fiber reinforced concrete can be improved by using forming and erasing agents.

### 1. はじめに

繊維補強コンクリートの力学特性は、一般に繊維混入率を増大させることによって改善できるが、鋼繊維の場合、繊維混入率の上限は、実用的には容積比で2%程度とされている。これは、繊維混入率をこれ以上大きくすると、ミキサーでの混練が困難となり、ワーカビリティなどの所要の性能を得ることができなくなるからである[1]。そのため、本研究では、鋼繊維混入率を2%以上に設定した場合であっても、鋼繊維補強コンクリートの均質な混練を通常のミキサーで容易にできる方法を確立することを目的として一連の検討を行った。すなわち、本研究

では、

- ①鋼繊維補強コンクリートの混練性能を向上させるために、起泡剤を使用してベースコンクリート中に空気を混入させることによって混練時の鋼繊維混入率を見掛け上減少させる、
- ②空気量の増大に伴う硬化鋼繊維補強コンクリートの性能低下を回復させるために、打設直前に消泡剤を使用して空気量を所定量に減少させる、

なる一連の混練方法の有用性を調べるための基礎的研究として、まずフレッシュおよび硬化鋼繊維補強コンクリートの諸性質に及ぼす起泡剤量、消泡剤量、鋼繊維混入量、混練時間、ミキサーの種類などの影

表-1 実験要因の組合せ表

		混練時間 (分)					ミキサー種類				起泡剤量 (%)				消泡剤量 (%)				
		1	5	10	15	20	可傾	強1	強2	オム	無	5	10	15	20	無	1	5	10
鋼 織 維 混 入 量	0		●				●				●	●		●	●		●		
	0.5		●				●					●							●
	1.0		●				●				●	●		●	●				●
	1.5		●				●					●							●
	2.0		●				●				●	●		●	●				●
	限界		●				●				●	●		●	●				●
(%)	1.0*	●	◎	●	●	●	◎	●	●	●		●	◎	●			●	◎	●
	2.0*	●	◎	●	●	●	◎	●	●	●		●	◎	●			●	◎	●

[注]可傾：可傾式ミキサー、強1：パン型強制練りミキサー、強2：2軸強制練りミキサー、オム：オムニミキサー、起泡剤量および消泡剤量：規定空気量にするのに必要な量、\*印行中にある◎印：他の要因が変動する(●印)時のその要因の固定値を示す。

響について実験的に検討を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験の概要

本研究では、表-1に示す組合せ表に従って実験を実施し、鋼繊維補強コンクリートの混練性能および硬化コンクリートの力学特性に及ぼす起泡剤および消泡剤の影響を調べた。すなわち、本実験では、鋼繊維の体積混入率 (Vf: 0、0.5、1.0、1.5、2.0% および限界量(スランプ値が 0cm となる場合)の 6種類(ただし、これらは空気量を 4% と仮定した場合の数値であるが、以下では簡単のためにこれらの数値を単に鋼繊維体積混入率と呼ぶことにする))、鋼繊維混入後の混練時間 (Tm: 1、5、10、15 および 20 分間の 5種類)、ミキサーの種類 (Mt: 可傾式(容量 100 l)、パン型強制練り(容量 10 l)、2軸強制練り(容量 100 l)およびオムニ(容量 10 l)ミキサーの 4種類)、起泡剤の混入量 (Wb: 無混入、ベースコンクリートの空気量が 5、10、15 および 20% となるような量の 5種類(なお、以下ではこれらの数値を単に起泡剤混入量と呼ぶことにする))、並びに消泡剤の混入量 (Wa: 無混入、ベースコンクリートの空気量が 1、5 および 10% となるような量の 4種類(なお、以下ではこれらの数値を単に消泡剤混入量と呼ぶことにする)) を実験要因として取り上げた。

### 2.2 試験体の製作および養生方法

#### (1) 使用材料

本実験では、使用材料として普通ポルトランドセメント、天竜川産の川砂(最大寸法 = 5mm、表乾比重 = 2.60)、天竜川の川砂利(最大寸法 = 15mm、表乾比重 = 2.65)、起泡剤(エアー・セットA)、消泡剤(AFK-2)および両端せん断型フック付きスチールファイバー(断面: 0.5mm 角、長さ: 30mm)を使用した。ベースコンクリートの調合は、水セメント比(W/C)を 55%、起泡剤混入量を 20% とした状態でのスランプが 20cm となるように設定して試し練りによって決定した。本実験で用いたベースコンクリートの調合表を表-2に示す。

#### (2) 混練方法

鋼繊維補強コンクリートの製作に際しては、まずセメント、水、細骨材、粗骨材および起泡剤の所定量をミキサー内に同時投入後、一定時間混練してベースコンクリートを製作し、この状態でのフレッシュコンクリートの特性を調べた。次に、鋼繊維を混入して所定時間混練した後、消泡剤混入前の状態で

表-2 ベースコンクリートの調合表

W/C (%)	標準調合 (kg/m <sup>3</sup> )			
	水	セメント	細骨材	粗骨材
60	200	333	694	1106

[注] W/C: 水セメント比。

のフレッシュコンクリートの特性を調べた。その後、消泡剤を混入して一定時間混練し、最終段階におけるフレッシュコンクリートの特性を調べた。なお、ベースコンクリートの混練時間は、起泡剤の効果がミキサーの種類および起泡剤量によって相違したため、試し練りの結果を踏まえて可傾式ミキサーの場合が起泡剤量に応じて1～5分間、パン型強制練りミキサーの場合が14分間、2軸強制練りおよびオムニミキサーの場合が3分間とした。また、消泡剤混入後の混練時間は、いずれの場合も3分間とした。

### (3) 試験体の製作および養生方法

本実験では、硬化鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度、圧縮強度および曲げ変形特性を調べるために、10x10x40cmの横打ち角柱試験体を用いた。打設に際しては、フレッシュコンクリートの各種特性を調べた後に材料を2層に分けて型枠内に投入し、棒状バイブレータを用いて十分に締固めを行った。試験体は、打設後1日目に脱型し、その後試験材令(4週)まで標準水中養生を行った。試験体は、同一要因毎に3個製作した。なお、硬化鋼繊維補強コンクリートの試験は、いずれの場合も湿試験とした。

## 2.3 測定項目および測定方法

### (1) フレッシュコンクリート

混練時の特性を調べるために、鋼繊維混入直前、鋼繊維を混入して所定時間混練した後、並びに消泡剤を混入して一定時間混練した後に空気を量(圧力法および重量法の2種類)、スランプおよびフロー値を測定した。なお、空気量およびスランプ試験は、それぞれJIS A1128(ただし、重量法の場合はJIS A1116)およびJIS A1101の規定に準じて実施した。

### (2) 硬化コンクリート

材令4週の時点における比重、曲げ載荷時の荷重-変位関係、曲げ強度および圧縮強度の測定を行った。硬化コンクリートの試験は、まず試験体の寸法および重量を測定した後、JIS A1106の規定に準じて曲げ載荷を行い、荷重-変位関係および曲げ強度の測定を行った。また、曲げ試験終了後、試験体切片の一方をJIS R5201の規定に準じて圧縮載荷を行い、圧縮強度の測定を行った。ただし、曲げ載荷に際しては、加力点を一方がピンで他方がローラーとなるように、支持点を2点ともローラーとなるように設定し、最大曲げ耐力以降の中央たわみ速度を曲

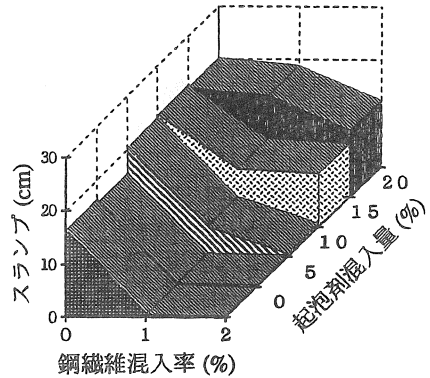


図-1 スランプに及ぼす起泡剤の影響 ( $W_a=0\%$ )

げスパンに対して1/1500/min.となるように載荷した[2]。なお、荷重および変位(中央たわみ)データは、動ひずみ計およびX-Yレコーダを用いて自記記録した。

## 3. 実験結果とその考察

### 3.1 フレッシュコンクリートの特性

図-1は、消泡剤を混入していない場合の鋼繊維補強コンクリートの実測スランプと鋼繊維体積混入率( $V_f$ )および起泡剤混入量( $W_b$ )との関係を示したものである。図によれば、 $W_b$ 値が5%以下の場合には、鋼繊維補強コンクリートのスランプに及ぼす起泡剤混入の効果は殆ど認められないが、 $V_f$ 値が1%の場合には $W_b=10\%$ 以上、 $V_f$ 値が2%の場合には $W_b=15\%$ 以上になると、鋼繊維補強コンクリートのスランプは著しく増大しており、起泡剤を混入することによって鋼繊維補強コンクリートの混練性能が改善されることがわかる。また、図-2(a)および(b)は、起泡剤混入量( $W_b$ )がそれぞれ10%および20%で、消泡剤混入量( $W_a$ )が5%の場合の鋼繊維補強コンクリートの実測スランプとスランプ測定時期および鋼繊維体積混入率( $V_f$ )との関係を示したものであるが、消泡剤を混入することによって、スランプは起泡剤を混入していない場合と同程度まで低下している。なお、鋼繊維体積混入率( $V_f$ )の限界値は、本実験の範囲では、起泡剤を混入しない( $W_b=0\%$ )場合が $V_f=2\%$ 、 $W_b=10\%$ の場合が $V_f=3\%$ 、 $W_b=20\%$ の場合が $V_f=5.5\%$ であった。

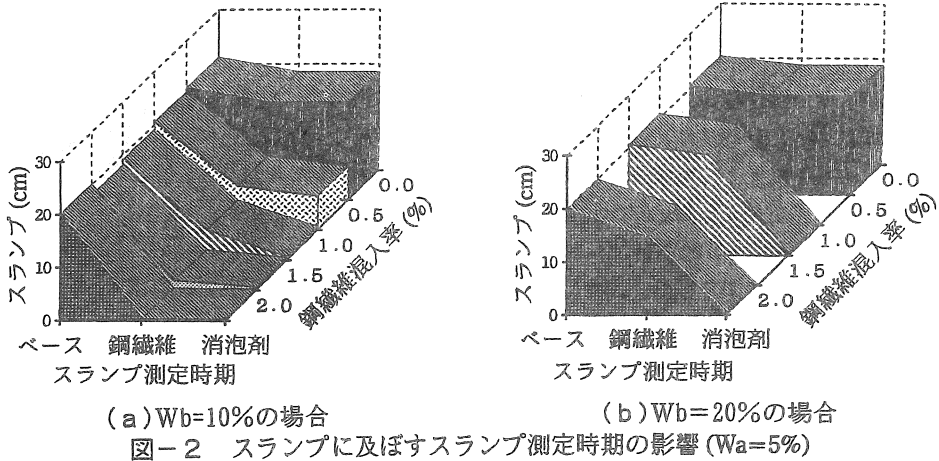
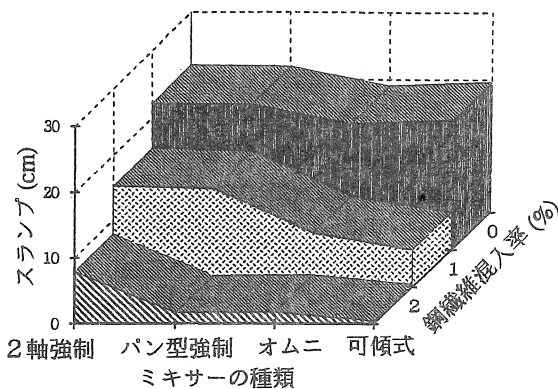


図-3は、消泡剤混入前の時点で実測した鋼繊維補強コンクリートのスランプに及ぼす使用ミキサーの影響を示したものである。図によれば、鋼繊維補強コンクリートの実測スランプは、一般的に可傾式、オムニ、パン型強制練りおよび2軸強制練りミキサーの順に次第に増大しており、鋼繊維補強コンクリートの混練性能が使用ミキサーによってかなり相違する[3]ことを示している。このことは、鋼繊維補強コンクリートの混練性能を向上させるための最適起泡剤混入量がミキサーの種類によって変化することを意味しており、今後更に詳細に検討を加える必要がある。

なお、本実験の範囲では、鋼繊維補強コンクリートの実測スランプに及ぼす混練時間の影響は殆ど認められなかった。



### 3.2 硬化コンクリートの特性

#### (1) 強度特性

図-4は、起泡剤混入量 ( $W_b$ ) を 10% とした場合の鋼繊維補強コンクリートの曲げおよび圧縮強度に及ぼす起泡剤および消泡剤の影響を鋼繊維体積混入率 ( $V_f$ ) 別に示したものである。図によれば、鋼繊維体積混入率 ( $V_f$ ) が 0、1 および 2% の鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度は、起泡剤の混入によってそれぞれ 18%、11% および 8% 低下し、 $V_f$  値が小さいほど起泡剤の影響が顕著となっているが、圧縮強度の低下率は、それぞれ 17%、24% および 25% となっており、起泡剤の影響は曲げ強度の場合とは逆に  $V_f$  値が大きいほど著しくなっている。これは、圧縮強度よりも曲げ強度の方が一般的に鋼繊維混入による強度増大が著しい[4]ため、空気などの欠陥の影響を受けにくいためのと思われる。また、起泡された鋼繊維補強コンクリートに消泡剤 ( $W_a$ ) を混入して空気量を減少させる (ベースコンクリートの空気量で 5%) と、曲げおよび圧縮強度は、起泡剤を混入していない場合 ( $W_b=0\%$ ) 程度まで回復しているのがわかる。例えば、 $V_f=0、1$  および 2% 試験体の  $W_b=0\%$  に対する強度回復率は、曲げ強度がそれぞれ 97%、106% および 109%、圧縮強度がそれぞれ 89%、88% および 87% であり、一般的に曲げ強度の方が強度回復率が大きくなる傾向を示している。なお、紙数の関係で図には示していないが、 $W_b=20\%$  の場合には、鋼繊維混入の影響よりも空気量の影響の方が勝ったためか、 $V_f=0、1$  および 2% に対する強度低下率は、曲げ強度の場合がそれぞれ 36%、42% および 34%、圧縮強度の場

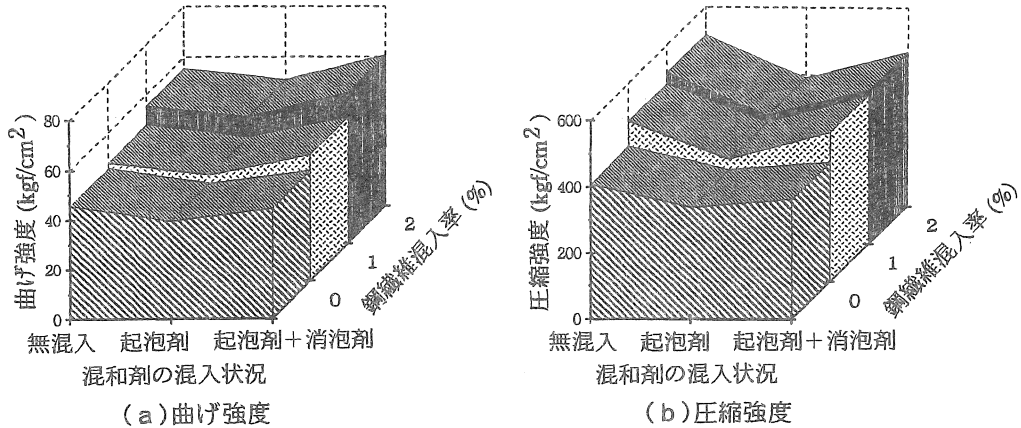


図-4 強度に及ぼす起泡剤・消泡剤の影響 (Wb=10%、Wa=5%)

合がそれぞれ 66%、77% および 66% となり、強度に及ぼす起泡剤の効果が鋼繊維体積混入率によって相違するという Wb=10% の場合のような現象は認められなかった。

図-5 (a) および (b) は、それぞれ起泡剤混入量 (Wb) が 10% で、消泡剤混入量 (Wa) が 5% の鋼繊維補強コンクリートの曲げおよび圧縮強度に及ぼすミキサー種類の影響を鋼繊維体積混入率 (Vf) 別に示したものである。これらの図によれば、曲げおよび圧縮強度ともに 2 軸強制練りミキサーを用いた場合の強度が最も大きく、オムニ、パン型強制練りおよび可傾式ミキサーという順に強度が次第に低下していく傾向を示している。また、鋼繊維補強コンクリート強度に及ぼす使用ミキサーの影響は、一般的に鋼繊維混入量が多いほど著しくなっている。例えば、2 軸強制練りミキサーを使用した場合の強度は、可傾式ミキサーを使用した場合と比較して Vf=1% の場合が曲げ強度で 106%、圧縮強度で 105% となっているのに対して、Vf=2% の場合が曲げ強度で 133%、圧縮強度で 111% となっている。

なお、鋼繊維補強コンクリート強度に及ぼす混練時間の影響は、鋼繊維混入量が多いものほど、また曲げ強度よりも圧縮強度の方が著しく、一般的に混練時間が長くなるほど強度が大きくなることがわかった。

(2) 変形特性

図-6 は、起泡剤混入量 (Wb) を 10%

に設定した場合の曲げ試験体によって得られた荷重 (P) - 変位 ( $\delta$ ) 関係を鋼繊維体積混入率 (Vf) および消泡剤混入量 (Wa) 別に示したものである。なお、これらの図中には起泡剤を混入していない場

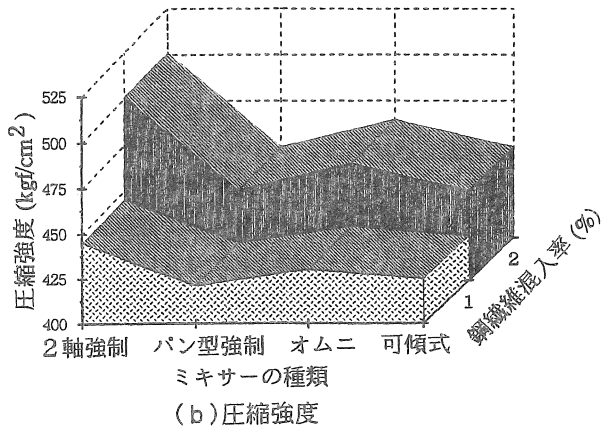
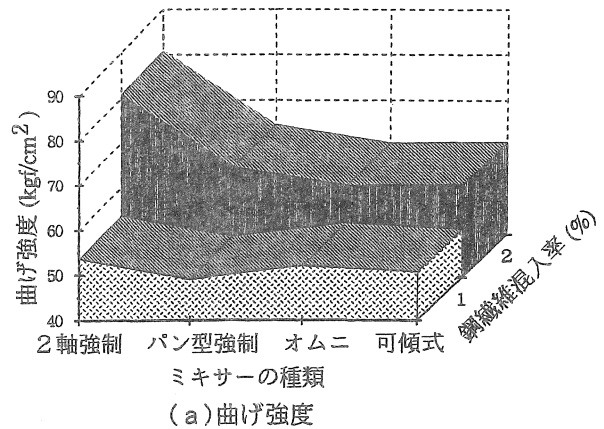


図-5 強度に及ぼすミキサーの影響 (Wb=10%、Wa=5%)

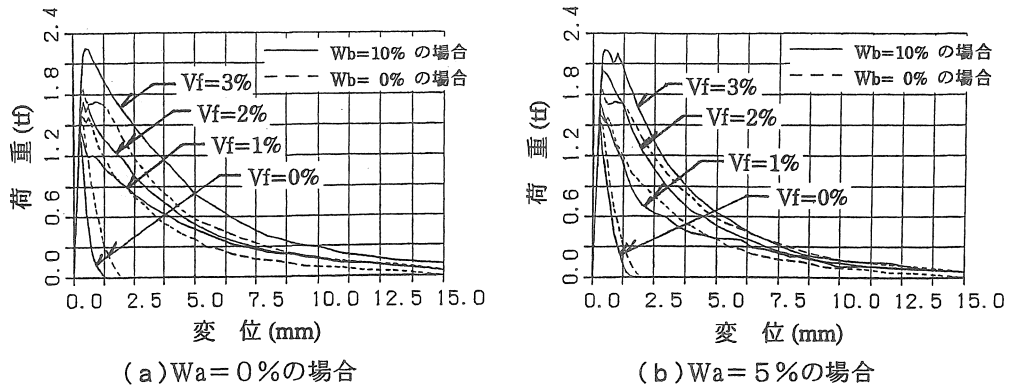


図-6 荷重-変位関係に及ぼす鋼繊維の影響 (Wb=10%)

合 (Wb=0%) の結果も併示してある。この図によれば、最大耐力が起泡剤の混入によって Wb=0% の場合と比較して若干低下しているためか、最大耐力以降の P- $\delta$  関係は、図 (a) から明らかなように Wb=0% の場合と比べてかなり延性的な形状を示しているが、消泡剤を混入して空気量を減少させる (ベースコンクリートの空気量で 5%) と、図 (b) に示すように最大耐力は Wb=0% の場合と同等かまたはそれ以上に回復するため、全体的な P- $\delta$  関係も Wb=0% の場合相当の形状となっている。特に、起泡剤を混入していない場合 (Wb=0%) の限界鋼繊維体積混入率 (Vf) が 2% であったのに対して、起泡剤混入量 (Wb) を 10% とすることによって限界 Vf 値が 3% まで向上し、かつ消泡剤の混入によって最大耐力および全体的な P- $\delta$  特性を著しく改善できるということは、起泡剤および消泡剤を用いた一連の鋼繊維補強コンクリートの混練方法の有用性を示唆しているものと考えられる。なお、Wb=20% とした場合には、消泡剤による最大耐力および P- $\delta$  関係の改善効果は、Wb=10% とした場合ほどには認められなかった。これは、本実験では消泡剤混入量をベースコンクリートの空気量に基づいて決定しているため、Wb=20% の場合、消泡剤の混入による鋼繊維補強コンクリートの空気量が設定通りに減少していなかったためではないかと思われる。この点については、消泡剤混入量を鋼繊維補強コンクリートの空気量で決定するなどの対策を講じることによってある程度解消できるものと考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、鋼繊維補強コンクリートの混練性能および硬化後の各種力学特性を向上させることを目的として、起泡剤および消泡剤を用いた一連の混練方法の可能性について実験的に検討を行った。本研究によって得られた結果を要約すると、およそ次のようにまとめられる。

- 1) 起泡剤の混入によって、同一調合の鋼繊維補強コンクリートのスランプが著しく増大するため、限界鋼繊維混入量を起泡剤混入量に応じて増大させることができるとともに、鋼繊維補強コンクリートの混練性能も著しく改善できる。
- 2) 鋼繊維補強コンクリートの強度および全体的な P- $\delta$  特性は、起泡剤の混入に伴う空気量の増大によって低下するが、起泡剤を混入した混練の最終段階で消泡剤を混入して空気量を減少させることによって、起泡剤無混入の鋼繊維補強コンクリートの場合と同等かもしくはそれ以上にまで各特性を回復させることが可能である。
- 3) 鋼繊維補強コンクリートの混練性能および硬化後の各種力学特性は、使用ミキサーおよび混練時間によってもかなり相違するため、最適の起泡剤混入量および消泡剤混入量を決定するためには、これらの影響についても十分に検討しておく必要がある。

#### 【謝辞】

実験およびデータ整理に際してご助力を得た、愛知工業大学大学院生の渡部 憲君、愛知工業大学学生の中田臣一君および中村敏幸君、並びに起泡剤および消泡剤を提供して頂いた竹本油脂(株)の下野氏に対して謝意を表します。なお、本研究は、東急建

設(株)との共同研究として行ったものであり、研究の実施に際してご助言を頂きました東急建設(株)技術研究所・建築研究部建築構造研究室室長の山本俊彦氏に対して謝意を表します。また、本研究費の一部は、東急建設(株)の奨学寄附金によったことを付記し、謝意を表する。

#### 【引用文献】

- 1) 魚本健人：短繊維補強コンクリート、コンクリート工学、Vol.31、No.3、pp.83-87、1993.3
- 2) 繊維補強コンクリート研究小委員会：繊維補強コンクリートに関する試験方法の JCI 規準案、コンクリート工学、Vol.20、No.10、pp.4-7、1982.10
- 3) 魚本健人・西村次男：練り混ぜがコンクリートの品質に及ぼす影響、セメント技術年報、第41巻、pp.189-192、1987
- 4) 小林一輔：鋼繊維補強コンクリート -特性と応用-、オーム社、1981

(受理 平成6年3月20日)