

鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に関する研究(1)

Study on Drying Shrinkage of Steel Fiber Reinforced Concrete (1)

小林 一輔*・魚本 健人*・峰松 敏和**

Kazusuke KOBAYASHI, Taketo UOMOTO and Toshikazu MINEMATSU

1. は し が き

鋼繊維補強コンクリートにおいては、鋼繊維がコンクリートマトリックスの変形を拘束する効果があり、そのために鋼繊維を混入したコンクリートの乾燥収縮量は、普通コンクリートに比べて低減する。一方、鋼繊維補強コンクリートの場合には、一般に粗骨材の最大寸法を小さくする必要があり、さらに、鋼繊維の形状ならびに表面積効果によって単位水量は相当に増大するので、上記の効果が期待できるかどうか疑わしいという見方もある。

本文は、この点を明らかにすることを主な目的として、繊維混入率及び粗骨材最大寸法が鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に与える影響を調べたものである。

また、鋼繊維補強コンクリートは一般に単位水量が大きくなるので、そのコンクリートマトリックスの乾燥収縮は大きくなることが予想されるが、これを減少させるための実用的な手段として高性能減水剤または膨張材の適用が考えられる。

そこで、ここでは鋼繊維補強コンクリートに膨張材を添加したコンクリートの乾燥収縮性状についても、実験的に検討を行なったのでその結果を併せて報告する。

2. 実験の概要

2・1 実験Ⅰ 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮と繊維混入率および粗骨材の最大寸法の影響

水セメント比50%、細骨材率60%とし、粗骨材最大寸法を5, 15, 25 mmと変化させ、繊維混入率をそれぞれ0, 1, 2% / volとした9種類について検討した。その配合を表・1に示す。

使用した鋼繊維は、冷延鋼板をせん断して製造したもので、寸法は0.5×0.5×30mm(アスペクト比60)のものである。

粗骨材は、表乾比重2.62、吸水量0.94%の碎石で、細骨材は、表乾比重2.68、吸水量1.99%、F. M. 2.76の川砂を用い、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。

2・2 実験Ⅱ 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮と膨張材混和率の影響

水セメント比53%、細骨材率60%、粗骨材最大寸法を10mmとし、膨張材混和率(CSA/C+CSA)0%の時、繊維混入率を0, 1, 2% / vol、膨張材混和率6%および11%の時、繊維混入率をそれぞれ0, 1% / volとした7種類について実験検討を行なった。その配合を実験Ⅰと同様に表・1に示す。

表・1 コンクリートの配合表

番号	粗骨材最大寸法(mm)	膨張材混和率(%)	単 位 量 (kg/m ³)					繊維混入率(%/vol)	基準コンクリートのスランブ(cm)
			水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材		
実 験 Ⅰ	5	—	245	490	—	1570	—	0, 1, 2	12±1
	15	—	195	390	—	1072	729	0, 1, 2	12±1
	25	—	195	390	—	1072	729	0, 1, 2	12±1
実 験 Ⅱ	10	0	225	425	0	1006	694	0, 1, 2	19±1
	10	6	225	399	26	1006	694	0, 1	19±1
	10	11	225	378	47	1006	694	0, 1	19±1

様に表・1に示す。

使用材料は、鋼繊維およびセメントは実験Ⅰと同じとし、膨張材は、カルシウムサルホアルミネートを主成分とした膨張材(CSA)を用い、粗骨材は、表乾比重2.71、吸水量0.63%の碎石、細骨材は、表乾比重2.62、吸水量2.13%、F. M. 3.00の川砂を使用した。

2・3 コンクリートの練り混ぜおよび測定方法

練り混ぜに用いたミキサは、

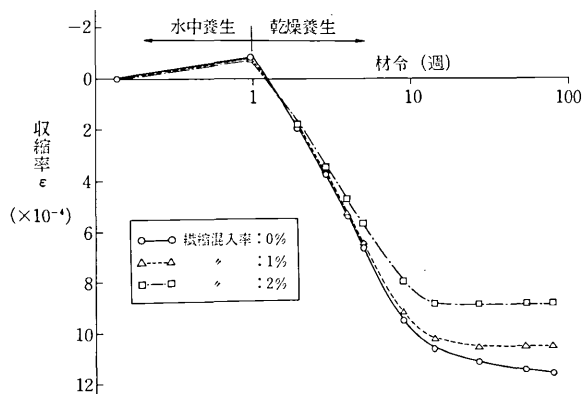
* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 日本大学大学院生産工学研究科

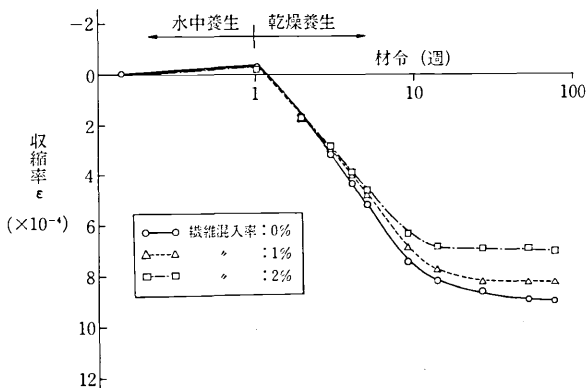
強制攪拌式ミキサで、練り混ぜ順序は、1) 粗骨材と細骨材、3) 混和水、4) 鋼繊維とし、鋼繊維の混入には遠心力を利用した分散機を用いた。また全体の練り混ぜ時間は、普通コンクリートの場合が3分、鋼繊維補強コンクリートおよび膨張コンクリートの場合が4分、膨張

材を添加した鋼繊維補強コンクリートの場合を5分とした。

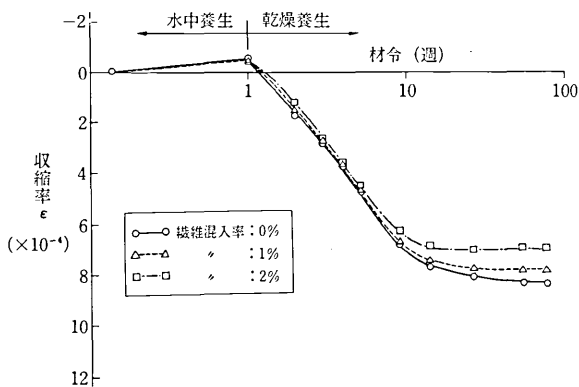
次に養生方法は、実験 I については、打込み後1日で脱型し、材令1週まで水中養生とし、その後、恒温恒湿(気温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $50 \pm 5\% \text{ R.H.}$) 養生とした。また、実



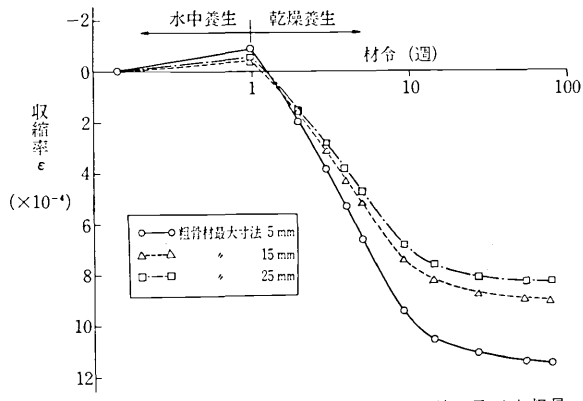
図・1・1 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮 (粗骨材最大寸法：5 mm)



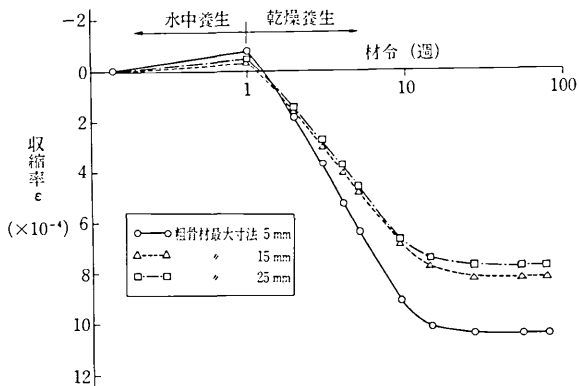
図・1・2 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮 (粗骨材最大寸法：15 mm)



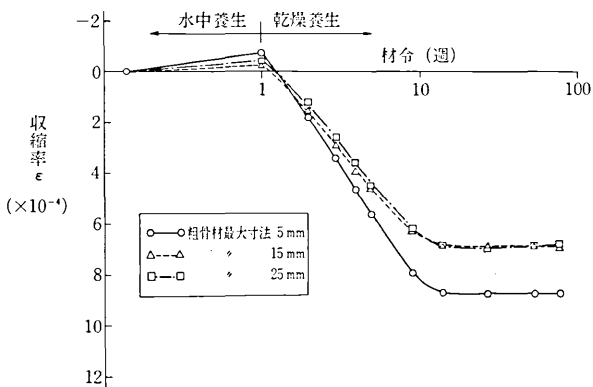
図・1・3 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮 (粗骨材最大寸法：25 mm)



図・2・1 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材最大寸法の影響 (繊維混入率：0%)



図・2・2 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材最大寸法の影響 (繊維混入率：1%)



図・2・3 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材最大寸法の影響 (繊維混入率：2%)

験Ⅱについては、打込み後1日で脱型し、気温 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、95% R.H.中で、濡布で覆い湿空養生を1週間行ない、その後は、実験Ⅰと同様とした。

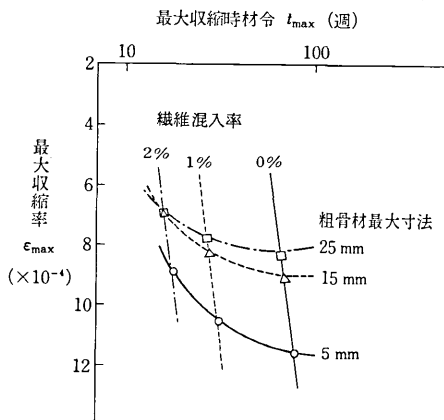
長さ変化率は、実験Ⅰについては、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 供試体を用い、コンパレーター法により測定した。実験Ⅱについては、 $8 \times 8 \times 40\text{cm}$ 供試体を用い、コンタクトゲージ法により測定した。また、コンタクトゲージ法による測定では、コンクリート内部の収縮の影響も考慮できるようにコンタクトボールをセットした木ねじ（表面から内部への定着深さ：15mm）をコンクリート中に埋め込んだ。

3. 鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状とこれに及ぼす繊維混入率および粗骨材の最大寸法の影響

図・1は、鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮と材令との関係を示したものである。この図より、鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮は、粗骨材最大寸法のいかんを問わず繊維混入率が多くなるほど小さくなることがわかる。また、粗骨材最大寸法の小さいものほど、鋼繊維による収縮率の低減が明確にあらわれていることがわかる。

次に、図・2より、鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材最大寸法の影響をみると、普通コンクリートと同様に粗骨材最大寸法の大きいものほど収縮率が小さいことが示されている。その主な原因としては、粗骨材最大寸法が大きいほど同じコンシステンシーのコンクリートでは、セメントペースト量が少ないためと考えられるがセメントペースト量の同じ粗骨材最大寸法 15mm と 25mm を比較すると、繊維混入率が増加するにつれて収縮率の差は認められなくなっている。

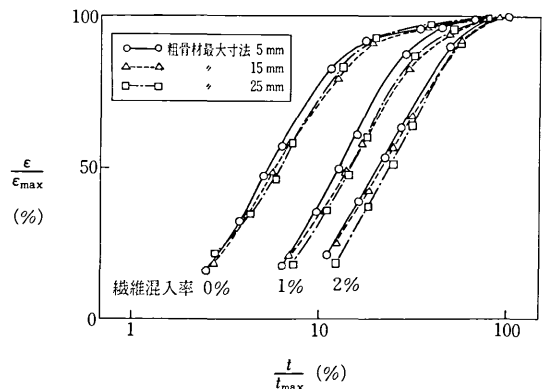
図・3は、各々のコンクリートの最大収縮率と最大収縮時の材令の関係を示したものである。この図より、繊維混入率の大きいものほど、また、粗骨材最大寸法の大



図・3 最大収縮率と最大収縮時材令の関係

きいものほど、最大収縮率は小さくなり、また、最大収縮時の材令も短くなること、特に、鋼繊維の混入が最大収縮時の材令の短縮に及ぼす影響が顕著であること、などがわかる。すなわち、鋼繊維補強コンクリートの場合、最大収縮率はセメントペースト量および粗骨材最大寸法に依存し、これに達するまでの材令は繊維混入率によって支配されると言える。

次に、各々のコンクリートの収縮率とその時の材令を図・3より求められた最大収縮率および最大収縮時材令で割った値($\epsilon/\epsilon_{max}, t/t_{max}$)を示すと図・4となる。この図より、普通コンクリートと鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状の差を明確にみる事ができる。



図・4 最大収縮量を基準とする鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状

すなわち、この図のようにまとめると、コンクリートの乾燥収縮性状は、今回の実験の範囲内では、粗骨材最大寸法にほとんど関係なく、繊維混入率のみによって把握することができる。たとえば、乾燥収縮が全収縮率の1/2となる材令の最大収縮時の材令に対する比率(t/t_{max})は、普通コンクリートでは、6%であるが、繊維混入率1%で約14%、2%で約22%となっている。

4. 膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状

膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状を調べた実験結果を材令14週程度まで示すと図・5のような傾向となった。この図からも明らかなように鋼繊維補強コンクリートは膨張に対しても十分な拘束効果が見られる。

しかし、この図では収縮性状の比較が困難である。そこで、図・6のように湿空養生完了時の最大膨張率を原点とするみかけの収縮率で乾燥収縮性状を比較する。

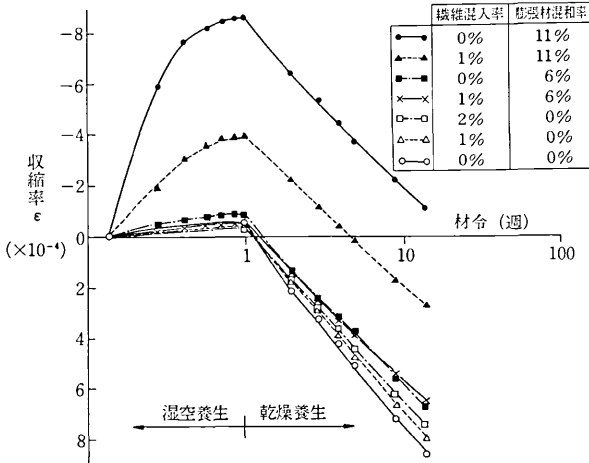
図・6より、普通コンクリート中に膨張材を添加した膨張コンクリートの乾燥収縮率は、鋼繊維補強コンクリ

ートより若干減少することがみられる。しかしながら、膨張材の混和率を6%、11%と変化させても、乾燥収縮率の変化はほとんどみられないようである。

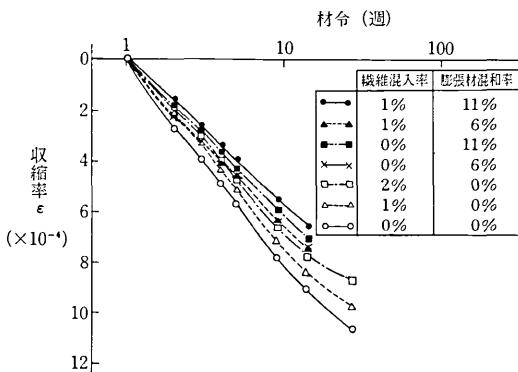
鋼繊維補強コンクリート（繊維混入率：1%）中に膨張材を添加した場合の鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮性状は、鋼繊維補強のない膨張コンクリートより収縮率が小さく、膨張材混和率の大きいものほどより小さい収縮率となっている。

次に、これらの乾燥収縮性状の変化をより明確に示すために、それぞれの収縮率を普通コンクリートの収縮率に対する割合を図・7に示す。

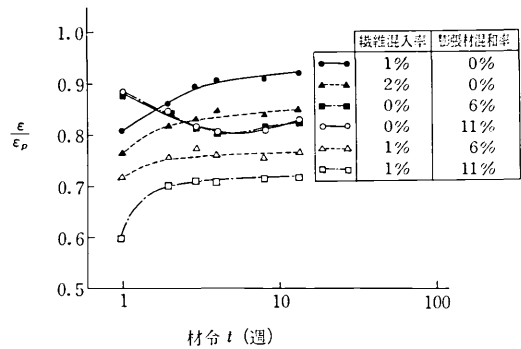
この図より、鋼繊維補強コンクリートでは初期の乾燥収縮を拘束する効果が大きく、膨張コンクリートでは初期の乾燥収縮を拘束する効果は小さいが、材令4週程度以後は、いずれもほぼ一定の拘束効果を示している。また、



図・5 膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮



図・6 膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートのみかけの乾燥収縮



図・7 普通コンクリートの乾燥収縮に対する鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮の割合

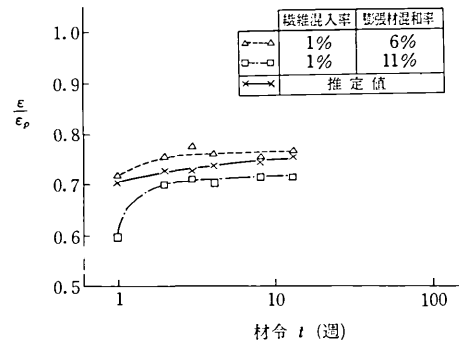
膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートが乾燥収縮に非常に有効に働いていることがわかる。

そこで、各々の拘束効果が独立であると考えて、膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートの普通コンクリートに対する収縮率の割合 ($\mu_f \cdot \mu_c$) を推定してみる。

すなわち、鋼繊維補強コンクリートと膨張コンクリートの普通コンクリートに対する収縮率の割合をそれぞれ $\mu_f \cdot \mu_c$ とし、ここで

$$\mu_f \cdot \mu_c = \mu_f \cdot \mu_c$$

とすると、その結果は図・8のようになり、実測値と近い値となっている。



図・8 膨張材を添加した鋼繊維補強コンクリートの乾燥収縮の割合の実測値と推定値

このことから、今回の実験範囲では、鋼繊維および膨張材はコンクリートの乾燥収縮に対して相殺することなくそれぞれ有効に働いており、鋼繊維補強コンクリートに膨張材を添加することは、コンクリートの乾燥収縮を減らす有効な方法であると考えられる。

(1978年5月1日受理)