

論文 ポリオレフィン系補強繊維を用いたコンクリートの乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性に関する研究

綾野 克紀*¹・阪田 憲次*²・矢吹 増男*³・細田 常正*⁴

要旨：本研究は、海水中でも錆びることのないポリオレフィン系補強繊維を混入することによるコンクリートの乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性の改善効果について検討を行ったものである。とくに、ポリオレフィン系補強繊維の寸法、形状およびコンクリートとの親水性を高めるために施された表面処理方法及び影響について検討を行った。その結果、乾燥収縮ひび割れに対して最も効果のある繊維の太さおよび形状の存在すること、また、親水性を高めるために繊維に施される表面処理方法は、スランプに対しては大きな影響を及ぼすが、乾燥収縮ひび割れに対する影響は小さいことが明らかとなった。

キーワード：ポリオレフィン系繊維、乾燥収縮ひび割れ、形状寸法、親水表面処理、スランプ

1. はじめに

ポリオレフィン系補強繊維は、塩水に対しても錆びることがないため、とくに融氷剤の散布等によって塩害の恐れのある箇所では既に多くの使用実績があり、この種の繊維を用いたコンクリートに関する研究^{1)・2)}も多く行われている。ポリオレフィン系補強繊維は、鋼繊維と比較して、その密度が 0.92 g/cm³ と軽い特徴や弾力性があり変形しやすいために施工において安全であるという特徴を持っている。また、凹凸状の表面処理や目的に応じた形状および寸法に比較的自由に加工できる特徴がある。

本研究は、ポリオレフィン系補強繊維を混入したコンクリートの乾燥収縮ひずみ、クリープおよび乾燥収縮ひび割れに及ぼす繊維の寸法、形状および繊維表面の加工処理方法及び影響について検討を行ったものである。その結果、ポリオレフィン系補強繊維を混入したコンクリートと混入していないものでは、拘束型枠によって測定したひび割れ幅に明らかな差が見られ、ひび割れ

幅の制御に関して繊維の効果が表れていることが分かった。さらに、乾燥収縮ひび割れに関しては最も効果のある繊維の太さおよび形状のあることが分かった。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

実験に用いたコンクリートの配合を Table1 および Table2 に示す。乾燥収縮ひずみによるひび割れを発生しやすくするために、一般に用いられるコンクリートに比べ、単位水量の多い配合を用いた。Table1 に示す配合 Mix-H に用いたセメントは高炉セメントB種（ブレン値：3,200cm²/g、密度：3.03g/cm³）で、細骨材には海砂（密度：2.56 g/cm³、吸水率：1.95、F.M.：2.45）を、粗骨材には碎石（密度：2.73 g/cm³、吸水率：0.588、F.M.：6.75）を用いた。Table2 に示す配合 Mix-L に用いたセメントは普通ポルトランドセメント（ブレン値：3,200cm²/g、密度：3.15 g/cm³）で、細骨材には川砂（密度：2.60 g/cm³、吸水

*1 岡山大学助教授 環境理工学部環境デザイン工学科, 工博 (正会員)

*2 岡山大学教授 環境理工学部環境デザイン工学科, 工博 (正会員)

*3 萩原工業(株)ハギライン事業部ハギライン商品開発グループグループリーダー

*4 萩原工業(株)ハギライン事業部

Table1 Mix proportion of concrete (Mix-H)

Fiber (%)	Gmax (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight per volume (kg/m ³)				
					W	C	S	G	Fiber
0.0	20.0	2.0	60.0	42.0	200	333	721	1,062	0
0.5							715	1,054	4.6
1.0							710	1,046	9.1
1.5							704	1,038	13.7

Table2 Mix proportion of concrete (Mix-L)

Fiber type	Gmax (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit weight per volume (kg/m ³)					
					W	C	S	G	Fiber	Superplasticizer
Plain	20.0	4.5	66.7	42.0	180	270	753	1,091	0	2.0
Poly-propylene							742	1,076	9.1	
Steel fiber									78.5	

率：1.49，F.M.：2.75)を，粗骨材には碎石（密度：2.73 g/cm³，吸水率：0.588，F.M.：6.75)を用いた。また，Mix-Lにはポリカルボン酸系のAE高性能減水剤を用いた。Mix-HおよびMix-Lのいずれにおいても繊維は骨材の一部と置換している。

繊維には鋼繊維とポリオレフィン系繊維を用いた。本実験に用いた鋼繊維の直径および長さは、それぞれ、0.8mmおよび30mmで、密度は7.85g/cm³である。

ポリオレフィン系繊維には、棒状（以降Rod）、はしご状に凹凸の入ったもの（以降Mid Ladder）および波形（以降Wave）のものを用いた。これらの繊維の形状をFig.1に示す。ポリオレフィン系繊維には、親水性を高める目的で、ポリオキシアルキレン脂肪酸エステル系非イオン活性剤（以降Ester-P）、ソルビタン脂肪酸エステル系非イオン活性剤（以降Ester-S）およびアミド型非イオン活性剤（以降Amide）で表面処理を行った長さ30mmと48mmのものを使用した。

2.2 実験条件

乾燥収縮試験およびクリープ試験には、10×10×40cmの角柱供試体を用いた。供試体は、水中養生を行った後、表面処理を施した面とその裏面を除く2面にそれぞれ2対の真鍮ポイントゲージ（φ8×5mm）を貼り付けた。ひずみの測定は、最小目盛り1/1,000mmのホイットモア式ひずみ

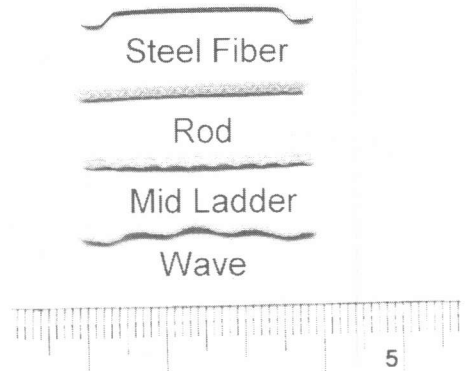


Fig.1 Shape and size of each fiber

計（検長25cm）を用いた。乾燥収縮試験に用いた供試体の水中養生期間は1日および14日間である。

クリープ測定用供試体には、初載荷時の圧縮強度の25%の応力を導入した。供試体に載荷した一定持続応力は、圧縮強度試験から求めた弾性ひずみを供試体に生じさせることにより、所定の応力が導入されたとした。クリープひずみは、クリープ試験によって得られた実験値から乾燥収縮ひずみを差し引くことによって求めた。また、コンクリートの乾燥収縮、クリープおよびPC鋼棒のリラクゼーション等による減退を補うために、初期載荷後2、3、4、5、9、30および72日目に再導入を行った。なお、クリープひずみ測定用供試体への持続応力の導入には、PC鋼棒（φ16mm）を用いた。クリープ試験に用いた供試体の

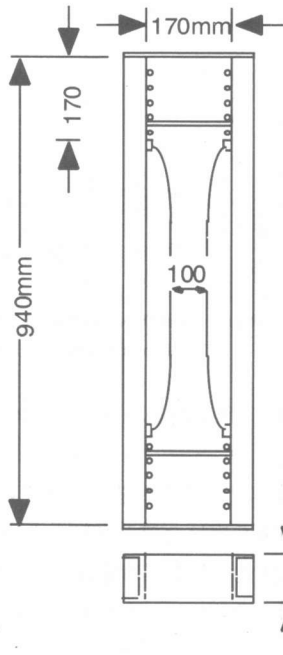


Fig.2 Specimen for cracking test

水中養生期間は2日間および14日間である。クリープ試験用供試体には、水中養生終了と同時に初載荷を行った。

乾燥収縮ひずみひび割れの測定には、Fig.2に示す940mm×250mm×100mmの拘束型枠を用いた。拘束板にはゲージ長5mmの箔ゲージを貼り付け、拘束板のひずみの変化により、ひび割れ発生時を確認した。ひび割れの観測には、最小目盛り0.02mmで計測可能なマイクロSCOPEを用いた。乾燥収縮ひずみひび割れ測定用供試体は、打設後24時間で乾燥を開始した。乾燥収縮ひび割れ試験に用いたコンクリートの繊維混入量は体積比で1.0%である。

クリープ試験、乾燥収縮試験および乾燥収縮ひび割れ試験に用いたいずれの供試体も、温度20℃、湿度60%に保たれた恒温恒湿度室内において測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 スランプおよび圧縮強度

Fig.3は、ポリオレフィン系繊維の形状がコン

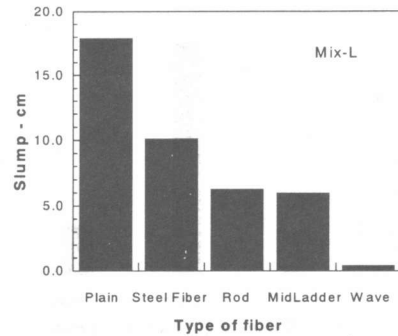


Fig.3 Effect of fiber shape on concrete slump

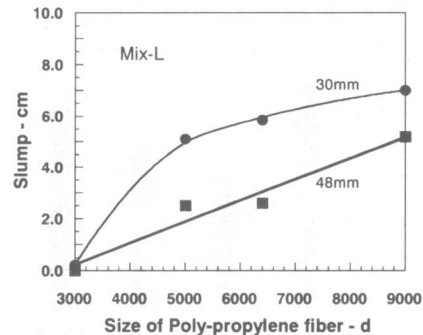


Fig.4 Effect of fiber size on concrete slump

クリートのスランプに及ぼす影響を調べたものである。コンクリートの配合はTable2に示したMix-Lで、繊維を混入しない場合にはスランプが17.6cmとなる配合である。また、ポリオレフィン系繊維には、ポリオキシアルキレン脂肪酸エステル(Ester-P)で表面処理を行ったものを用いている。この図より明らかなように、棒状の形状に近いRodタイプとMid Ladderタイプの場合は繊維表面の凹凸の違いに関係なく、ほぼスランプの大きさが同じ程度である。これに対し、繊維自体を曲げくねらせたWaveタイプでは、棒状に加工したものよりもスランプの低下が大きくなっていることが分かる。

Fig.4は、ポリオキシアルキレン脂肪酸エステルで表面処理を行ったRodタイプのポリオレフィン系繊維の寸法がコンクリートのスランプに及ぼす影響を調べた結果である。図の横軸に示す

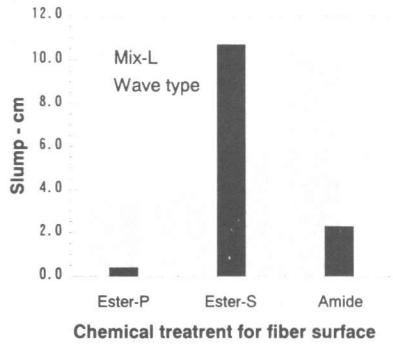


Fig.5 Chemical treatment effect for fiber on slump

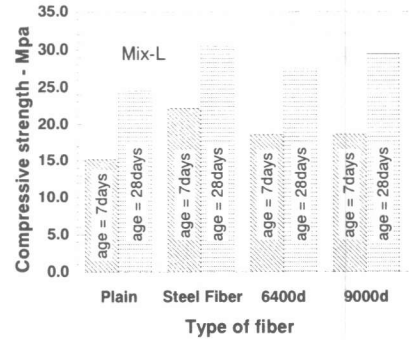


Fig.7 Effect of fiber type on concrete strength

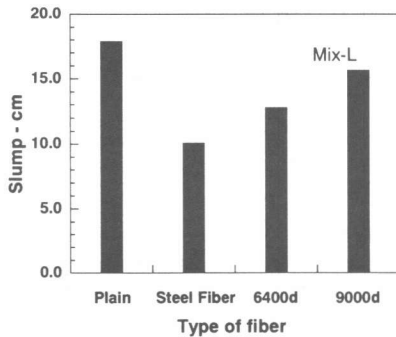


Fig.6 Improvement of fiber on concrete slump

デニール (d) は繊維の太さを表す単位で、太い繊維ほどこの値が大きくなる。万国式では 450m の糸が 0.05g のときに 1 デニールとなる。この図から、長い繊維よりも短い繊維ほど、また、細い繊維よりも太い繊維ほどコンクリートのスランプが大きくなることが分かる。

Fig.5 は、繊維の親水性を高める目的で施された表面処理がコンクリートのスランプに及ぼす影響を調べたものである。この図に示される結果は Wave タイプのものより求められたものである。また、繊維の長さは 30mm で太さは 6,400 デニールである。ソルビタン脂肪酸エステル系非イオン活性剤 (Ester-S) を用いて親水処理を行った繊維が最もスランプが大きく、表面処理に用いる薬剤がコンクリートのスランプに与える影響が極めて大きいことが分かる。

Fig.6 は、Ester-S 処理をしたポリオレフィン系繊維と鋼繊維を用いたコンクリートのスランプを比較した結果である。鋼繊維の太さは 6,400 デニールのポリオレフィン系繊維とほぼ同じである。この図より、Ester-S で処理を行い繊維径を太くすることで、鋼繊維を用いた場合に匹敵するスランプが得られることが分かる。

Fig.7 は、Fig.6 に示したコンクリートの圧縮強度を比較したものである。鋼繊維を混入したコンクリートの圧縮強度に比較すれば、ポリオレフィン系繊維の影響は小さいが、繊維を混入していないものに比べると若干強度が高くなる傾向のあることが分かる。

3.2 乾燥収縮ひずみおよびクリープ

Fig.8 は、ポリオレフィン系繊維の混入量および形状が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響を調べた結果である。図中の○、◇、□および△は、それぞれ、繊維混入率が 0.0%、0.5%、1.0%および 1.5%のコンクリートより測定された結果であることを示している。この図より、ポリオレフィン系繊維の混入量および繊維の形状が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響は小さいことが分かる。

また、Fig.9 および Fig.10 は、それぞれ、繊維の種類が乾燥収縮ひずみおよびクリープに及ぼす影響を調べたものである。ポリオレフィン系繊維および鋼繊維を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみおよびクリープは、繊維を混入していないコンクリートと比べ、その大きさに差がないこ

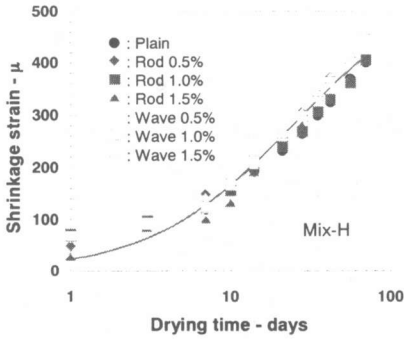


Fig.8 Effect of fiber content on drying shrinkage

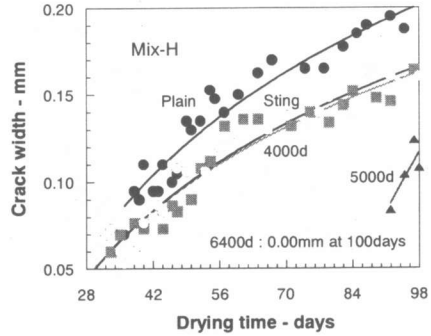


Fig.11 Effect of fiber size on cracking by drying

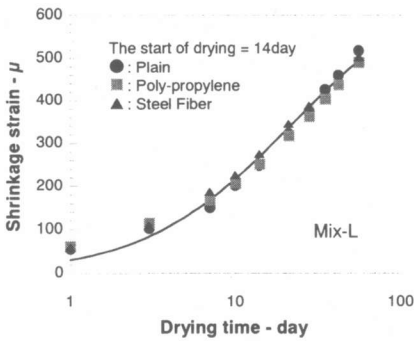


Fig.9 Effect of fiber type on drying shrinkage

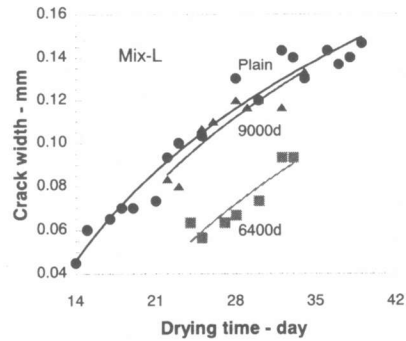


Fig.12 Effect of fiber size on cracking by drying

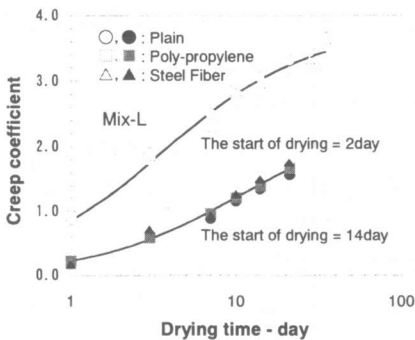


Fig.10 Effect of fiber type on creep

とが分かる。すなわち、骨材の一部と置き換えられた繊維が乾燥収縮ひずみおよびクリープに及ぼす影響は極めて小さいことがいえる。

3.3 乾燥収縮ひび割れ

Fig.11 および Fig.12 は、ポリオレフィン系繊維の太さが乾燥収縮ひび割れに及ぼす影響を調

べた結果である。なお、Fig.11 中の○は100デニール以下の糸状に加工した繊維を用いた結果である。28日圧縮強度が約30MPaとなるMix-Hを用いた場合には、繊維が太くなるにつれ乾燥収縮ひび割れの発生日が遅くなり、6,400デニールのものでは乾燥開始後100日が経っても乾燥収縮によるひび割れは観察されていない。一方、28日圧縮強度が約25MPaとなるMix-Lを用いた場合には、6,400デニールよりも太い9,000デニールを用いた場合の方が先にひび割れが発生している。さらに、9,000デニールのものでは、ひび割れ幅の進展が繊維を混入していないものと同様であり、繊維混入による効果が全く表れていないことが分かる。すなわち、乾燥収縮ひび割れに関しては最も効果のある繊維の太さのことが分かる。

Fig.13 および Fig.14 は、繊維の形状が乾燥収

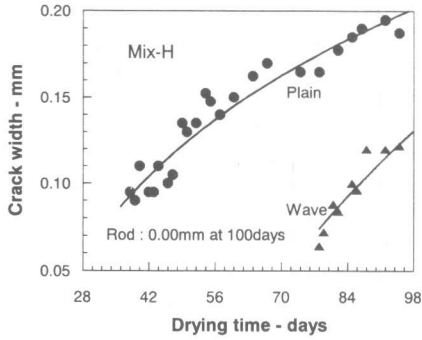


Fig.13 Effect of fiber shape on cracking by drying

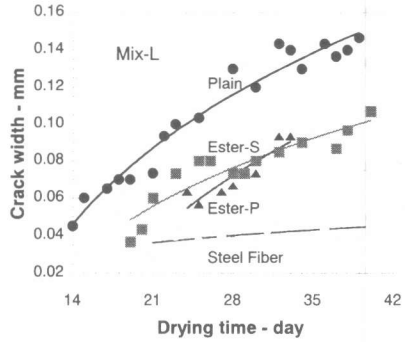


Fig.15 Chemical treatment effect on cracking

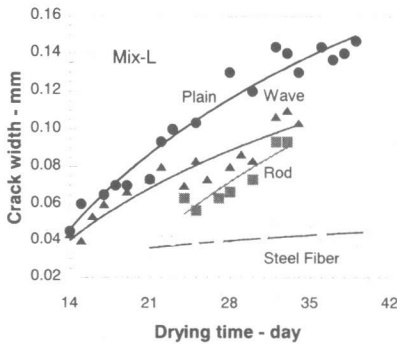


Fig.14 Effect of fiber type on cracking by drying

縮ひび割れに及ぼす影響を Mix-H および Mix-L を用いて調べた結果である。ただし、繊維には 6,400 デニールのものを用いている。Mix-H を用いた場合、Wave タイプのものが乾燥開始後 70 日でひび割れが発生しているのに対し、Rod タイプのものでは乾燥開始後 100 日が経っても乾燥収縮によるひび割れは観察されていない。また、Mix-L の場合には、Rod タイプのものであっても早期に乾燥ひび割れが発生しており、ポリオレフィン系繊維を用いた場合には、繊維の形状とともにコンクリート強度によってもその効果に差が顕著に表れることが分かる。これらの図から、ポリオレフィン系繊維を用いることでコンクリートに発生する乾燥収縮ひび割れが小さくなることが確認できる。しかし、その効果は、ポリオレフィン系繊維よりも弾性係数の大きな鋼繊維に比べると大きいとはいえない。

Fig. 15 は、Ester-S と Ester-P の親水処理を行ったポリオレフィン系繊維を用いたコンクリートの乾燥収縮ひび割れを比較した結果である。この図から明らかのように、親水処理に用いた薬剤が乾燥収縮ひび割れに及ぼす影響は、極めて小さいことが分かる。

4. まとめ

ポリオレフィン系繊維によるコンクリートの乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性の効果について検討を行い、以下のことを明らかにした。

- ①乾燥収縮ひび割れに対しては、繊維の親水性を高めるための表面処理よりも、繊維の太さと形状の及ぼす影響の方が大きい。
- ②コンクリートの圧縮強度、乾燥収縮ひずみおよびクリープに繊維の寸法、形状および表面処理方法が及ぼす影響は小さい。
- ③スランブに対しては、繊維の親水性を高めるために施される表面処理の及ぼす影響が大きい。

参考文献

- 1) 浜田敏裕, 日笠純一, 末森寿志, 平居孝之: コンクリートのビニロン短繊維補強に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.271-276, 1999
- 2) 金南旭, 佐伯昇, 堀口敬: 若材齢におけるハイブリッド繊維補強コンクリートのひび割れと強度特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.259-264, 1999