

V-261

リング形状の鋼繊維を使用したスチールファイバーコンクリートの研究

新日本製鐵(株) 正会員 葛 拓造

新日本製鐵(株) 正会員 三宅 正人

新日本製鐵(株) 正会員 沖本 真之

1. はじめに

長さ数十ミリの鋼製の短繊維をコンクリート中に混入する鋼繊維補強コンクリート(スチールファイバーコンクリート)は、プレーンコンクリートと比較して1) 引張強度、曲げ強度が高い、2) セン断強度が高い、3) 靱性が大きい、4) ひびわれ分散性がある(ひびわれが、発生・進展しにくい)等の特徴を有する。これまでの鋼繊維は、直線状の鋼繊維にインデントやフック等を設け、引き抜け抵抗力を高めることにより曲げ強度や靱性を向上させた。しかし、曲げ強度、靱性をさらに高める為に鋼繊維の混入率を増加すると、ワカバリアーが悪くなり使用できなくなったり、混入量に対する所定の性能を発揮できなくなる場合が多い。

本報告では、コンクリートの曲げ強度・靱性を飛躍的に増加できる新しいスチールファイバーの開発を目的として、リング形状にした鋼繊維をコンクリート中に混入し、鋼繊維が引き抜けることなくその鋼材の高い引張強度とのび性能を十分に発揮するリングファイバーコンクリートに着目して行った実験について報告する。

2. 実験概要

実験では、ほぼ同一配合のベースコンクリートに対して、リングファイバーの寸法及びその混入率をパラメータとして混練を行い、施工性、曲げ強度試験(7日)、圧縮強度試験(7日)、及び、試験体の破面の観察を行った。試験をケースを表-4に示す。

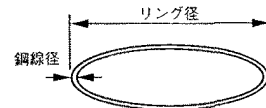


図-1 リングファイバー

2-1. 鋼繊維種類

実験に使用した鋼繊維は、直径0.9mmの鋼線を2重に巻いた二重リング(Type1)、0.33, 0.4mmの薄板を打ち抜いて製作した円形閉合リング(Type2, 3)、及び、鋼繊維の強度を高めることを目的としてピアノ線をハンダ付けにより円形閉合したリング(Type4)の4種類のリングファイバーと、比較用として2種類の市販の鋼繊維を用いた。

使用した鋼繊維の概略を表-1、図-1に示す。

表-1 使用した鋼繊維の種類

種類	形状	寸法(mm)		断面積 (mm ²)	重量 (g/個)	鋼繊維材質 (N/mm ²)			製造方法
		外径 or長さ	厚さ・幅 or長さ			材質	YP	TS	
Type1	二重リング	32.0	φ0.9	0.64	0.98	—	—	—	ラップまま
Type2	一重リング	38.0	0.40x0.40	0.16	0.145	SPCC(未焼)	841	850	薄板打ち抜
Type3	一重リング	38.0	0.33x0.33	0.109	—	SPCC(未焼)	766	803	薄板打ち抜
Type4	一重リング	37.0	φ0.45	0.159	0.15	SWPA(ピアノ線)	—	2265	簡易溶接
比較1	三日月両端フック	32.0	0.50x2.6	1.3	0.2	SM490	313以上	490以上	厚板切削
比較2	両端フック付	30.0	0.55x0.55	0.3	0.05	SWM-B	—	—	鋼線切断

表-2 使用材料

材料	仕様等
セメント	普通ポルトランドセメント $\rho=3.16$
細骨材	君津産 山砂 $\rho=2.57$ F.M=2.61 $q=2.16$
粗骨材	葛生産硬質砂岩砕石 $\rho=2.70$ F.M=6.37 $q=0.78$
混和剤	AE減水剤・空気量調整剤

2-2. 使用材料及び配合

コンクリートの配合は、ベースコンクリートの目標スランプを15-20cm、W/Cを55%とした。使用材料及び配合を表-2、3に示す。

2-3. 試験方法

試験では、強制2軸ミキサーでベースコンクリートを混練し、スランプ、空気量を確認した後、ベースコンクリートを可傾式ミキサーに移して、所定量の鋼繊維を投入した後、さらに2分間混練した。曲げ強度試験の載荷方法は、土木学会の鋼繊維補強コンクリート設計指針¹⁾に準じ、曲げ試験体の形状は、Type1、Type4、及び比較材1、2は10x10x40試験体、Type2、Type3は15x15x53試験体を使用した。

3. 試験結果

表-3 ベースコンクリートの配合

Gmax (mm)	ベーススランプ (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)
15	15-20	4.5	55.0	60.0

単位量 (kg/cm ²)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 AE減水剤
200	364	987	691	1.0

鋼繊維混入前後でのスラフ・空気量の変化、曲げ試験結果及び圧縮強度試験結果を表-4に示す。

3-1. フレッシュコンクリートの性状

薄板を打ち抜いて製作した矩形断面の鋼繊維を使用した Type2、Type3 はスラフ厚が大きく、Type2 は 0.7% 程度、Type3

では 0.5% 以上混入すると締固めが困難な場合があった。これはリグの直径が大きい為、リグが相互に干渉し骨組みが形成された為である。今後、リグの直径を粗骨材最大径程度に小さくする等によりファイバーの分散を図り、リグ相互の干渉を低減してリグ・リグを改善する必要があることが明らかになった。

3-2. 曲げ強度試験結果

曲げ試験状況及び曲げ試験後の試験体の破面観察から、比較1、比較2では、試験体引張側の鋼繊維のフックが直線状に曲げ戻されることにより徐々に引き抜けて荷重が低下した。一方、Type1(二重リグ)では、ひびわれがリグに沿って進展し、外周部からリグが引き抜け、鋼繊維の破断は生じなかった。Type2、Type3 及び Type4 では、最大荷重付近から鋼繊維の破断音が観察され、試験後の破面観察からひびわれがリグ内を貫通しており、鋼繊維が降伏後、破断して荷重が徐々に低下した。ベースコンクリートに対する、曲げ強度増加率(鋼繊維補強コンクリート強度/ベースコンクリート強度)を図-2に示す。混入率 0.5% 付近での曲げ強度増加率は、Type2→Type3→Type4 の順番で高くなり、混入率 0.7%、0.87% 付近での Type2、Type4 の曲げ強度増加率は比較材 1、2 を上回る値を示し、リグファイバーコンクリートの曲げ強度補強効果が確認できた。Type4、比較1、比較2の混入率 0.87%、1.0%、1.5% の曲げ試験の荷重-たわみ曲線を図-3に示す。混入率 0.87% である Type4 は比較2の混入率 1.5% に近い変形性能を有し、リグファイバーコンクリートは高い変形性能を有する事が明らかになった。

4. まとめ

本実験により、リグファイバーコンクリートは高い曲げ強度及び変形性能の向上効果を有することが明らかになった。今後、さらに曲げ強度、変形性能及びリグ・リグの向上を目指し、リグの材質、寸法、形状の最適化を行っていく。

謝辞 リグファイバーの試作にあたり御協力いただいた、日鐵建材工業の町田氏、越智氏に対し謝意を表します。

参考文献 1) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針（案）、P58-61、1983.3

表-4 試験結果一覧

タイプ	混入率	スラフ				空気量				曲げ強度			圧縮強度		
		ベース	混入後	ロス	ベース	混入後	ロス	ベース	混入後	増加率	ベース	混入後	増加率	ベース	混入後
Type1	2.00	21.5	3.5	8.0	4.5	3.5	1.0	43.4	51.4	1.18	279	275	-1.4		
Type2	0.30	15.0	9.0	6.0	3.8	2.8	1.0	38.6	39.7	1.03	244	275	12.7		
	0.50	16.5	0.0	16.5	5.0	4.0	1.0	38.6	41.4	1.07	244	354	45.1		
	0.70	18.0	0.0	18.0	5.5	4.3	1.2	38.6	48.9	1.27	244	311	27.5		
Type3	0.30	19.0	7.0	12.0	5.3	4.8	0.5	38.6	39.7	1.03	244	283	16.0		
	0.50	18.0	5.0	12.0	5.5	4.5	1.0	38.6	43.1	1.12	244	298	22.1		
	0.87	-	-	-	-	-	-	39.3	45.5	1.16	248	-	-		
Type4	0.87	-	-	-	-	-	-	46.0	67.8	1.47	276	-	-		
	0.50	18.0	11.0	7.0	4.6	5.0	-0.4	40.1	43.2	1.08	270	268	-0.7		
	1.00	21.0	11.0	10.0	3.6	4.5	-0.9	40.1	48.0	1.20	270	264	-2.2		
比較1	1.50	22.0	10.0	12.0	3.6	4.5	-0.9	40.1	51.2	1.28	270	255	-5.6		
	0.87	18.0	9.0	9.0	5.7	5.5	0.2	43.9	47.8	1.09	289	288	-0.3		
	1.50	23.0	9.0	14.0	3.2	4.0	-0.8	40.1	66.9	1.67	270	261	-3.3		

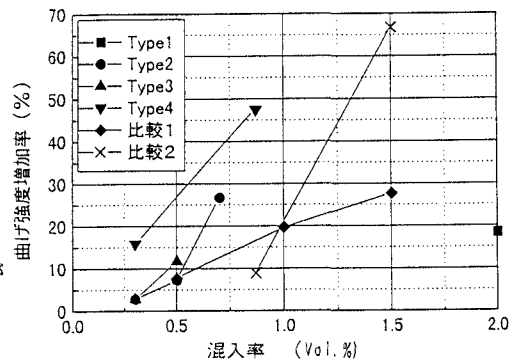


図-2 混入率と曲げ強度増加率の関係

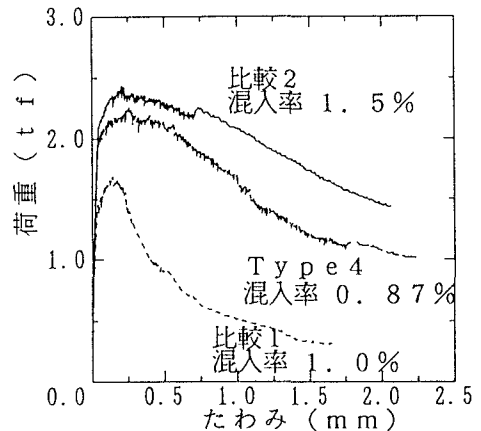


図-3 荷重-たわみ関係