

岐阜大学 正会員 ○六郷 忠哲
清水建設 正会員 内田 裕市
岐阜大学 正会員 小柳 洽

1. まぎき

鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度ならびに靱性の一層の向上をはかることや、鋼繊維の使用量の低減をはかることを目的として、マトリックスとなるコンクリートに高強度コンクリートを用いることを試みるとともに、高強度コンクリートの補強に適した鋼繊維の形状・寸法ならびに混入量について検討した。

2. 実験概要

高強度コンクリートに各種鋼繊維を1～6%混入した13シリーズの鋼繊維補強高強度コンクリート(A～M)に加え、これらと比較するための鋼繊維補強普通強度コンクリート(N)、高強度コンクリート(O)、普通コンクリート(P)の合計16シリーズのコンクリートを作成した。各シリーズの試験条件ならびに配合を表-1に示す。A～M、Oシリーズには高性能減水剤を使用し、Nシリーズには通常の減水剤を使用した。アスペクト比が60の通常の鋼繊維(B、N)のほかに、アスペクト比が40、43の鋼繊維(A～I)やアスペクト比が100の鋼繊維(K～M)を使用した。J～Nシリーズにおいては鋼繊維分散機を使用した。各種鋼繊維の混入率の上限は予備実験を行って定めた。K～Mシリーズに使用したアスペクト比が100の鋼繊維の場合、コンクリートの練り混ぜ時にファイバーボールが生じない混入率の上限は約1.5%であった。A～Iシリーズに使用したアスペクト比が小さい鋼繊維の場合、分散機を用いずに鋼繊維をコンクリート中へ投入したがファイバーボールはまったく生じなかった。しかし、混入率を増加させるにつれてセメントペースト分が不良し流動性が減少する傾向にあった。各シリーズとも圧縮裁荷試験には5個の円柱供試体を、曲げ裁荷試験には5個の角柱供試体(10×10×40cm)を用いた。曲げ裁荷試験においては、裁荷スパンを30cmとして3等分点に裁荷し、荷重と裁荷点下の変位(たわみ)との関係をX-Yレコーダーに記録した。

3. 結果と考察

使用した鋼繊維のアスペクト比が小さいA～Iシリーズ、ならびに大きいK～Mシリーズの曲げ供試体の荷重変位曲線(5個の平均)を、それぞれ図-1, 2に示す。比較のため通常の鋼繊維(アスペクト比:60)を使用したJシリーズならびにN, O, Pシリーズの荷重変位曲線を図-1, 2に示す。曲げ供試体の変位が2mmとなる点までの曲げタフ

表-1 試験条件とコンクリートの配合

シリーズ名	鋼繊維			混入率(%)	水灰比	細骨材率	単位量 (kg/m ³)					混和剤 (セメント%)	スパン (cm)
	寸法	アスペクト比	形状				水	セメント	細骨材	粗骨材	鋼繊維		
A	φ1.0×40	40	indent	1.0	0.28	0.49	177	639	769	789	79	3.0*	20
B	φ1.0×40	40	indent	2.0	0.28	0.50	177	639	769	763	157	3.0*	16
C	φ1.0×40	40	indent	4.0	0.28	0.53	184	658	769	678	314	4.0*	16
D	φ1.0×40	40	indent	6.0	0.28	0.56	189	674	766	593	469	5.0*	1
E	φ0.7×30	43	crimped	1.0	0.28	0.49	177	639	769	789	79	3.0*	16
F	φ0.7×30	43	crimped	2.0	0.28	0.50	177	639	769	763	157	3.0*	13
G	φ0.7×30	43	crimped	4.0	0.28	0.53	183	653	764	673	312	4.0*	2
H	φ1.0×40	40	straight	6.0	0.28	0.56	189	675	767	593	470	5.0*	0
I	φ0.5×20	40	crimped	5.0	0.28	0.55	187	668	769	636	393	5.5*	0
J	φ0.5×30	60	indent	2.0	0.28	0.50	177	639	767	763	159	3.0*	5
K	φ0.3×30	100	crimped	1.5	0.28	0.50	176	640	766	763	117	3.0*	1
L	φ0.5×50	100	crimped	1.5	0.28	0.50	176	640	766	763	117	3.0*	3
M	φ0.3×30 φ0.5×50	100 100	crimped crimped	0.75 0.75	0.28	0.50	176	640	766	763	116	3.0*	6
N	φ0.5×30	60	indent	2.0	0.50	0.51	210	420	824	820	160	0.25**	12
O	-	-	-	0	0.32	0.49	166	527	827	895	0	3.0*	13
P	-	-	-	0	0.52	0.51	182	344	892	885	0	-	12

*Pz. NL-4000, **Pz.No.5L

表-2 試験結果

シリーズ名	圧縮強度 σ_c kgf/cm ²	曲げ強度 σ_b kgf/cm ²	曲げタフネス T_b kgf·m	曲げ靱性係数 $\bar{\sigma}_b$ kgf/cm ²	$\bar{\sigma}_b/\sigma_b$
A	859	122	3.82	57.3	0.470
B	920	146	6.24	93.6	0.641
C	963	185	9.85	148	0.800
D	1017	253	13.2	198	0.783
E	866	123	3.90	58.5	0.476
F	917	165	7.31	110	0.667
G	1014	220	12.2	183	0.832
H	1015	219	11.0	165	0.753
I	1055	190	10.3	155	0.816
J	930	156	6.91	104	0.667
K	914	127	6.00	90.0	0.709
L	971	129	5.67	85.1	0.659
M	983	140	7.56	113	0.810
N	488	109	4.64	69.6	0.639
O	847	109	0.18	2.7	0.025
P	440	64	0.19	2.9	0.045

ネス(曲げ吸収エネルギー) T_b を図-1, 2に示す荷重変位曲線下の面積より定量化し、圧縮強度 σ_c ならびに曲げ強度 σ_b とともに表-2に示す。曲げ靱性を表す指標の1つとして、変位が2mmとなる点までの区間の平均曲げ荷重($=T_b/\delta$, $\delta=2\text{mm}$)より平均曲げ強度、すなわち曲げ靱性係数 $\bar{\sigma}_b$ を求め表-2に示す。

高強度コンクリートに鋼繊維を2%混入したB, F, Jシリーズでは、曲げ強度 σ_b も曲げ靱性係数 $\bar{\sigma}_b$ もともに同程度となった。したがって、高強度コンクリートに使用した鋼繊維としては、投入の容易なアスペクト比の小さい鋼繊維が適していると考えられる。

$\phi 0.7 \times 30\text{mm}$ の鋼繊維を4%混入したGシリーズや $1.0 \times 4.0\text{mm}$ の鋼繊維を6%混入したD, Hシリーズの曲げ強度は200 kgf/cm²以上となり、かつ曲げ靱性も大となった。これらの結果から、高い曲げ強度を有するコンクリートを得るには、マトリックスを高強度化しアスペクト比の小さい鋼繊維を少量に混入する方法が有効なことがわかる。高強度コンクリートに鋼繊維を1%混入したA, Eシリーズでは、通常の鋼繊維補強コンクリート(N)と同程度の曲げ強度ならびに曲げ靱性を得られたことから、マトリックスを高強度化することによって鋼繊維の使用量を低減させることが可能であると考える。

D~I, K, Lシリーズについては、載荷試験後に曲げ試験体の破断面(引張側, $5 \times 10\text{cm}$)に存在する鋼繊維の本数と、これらの鋼繊維の表面積(概略値)を測定し、表-3に示す。この表面積と曲げタフネスとの関係を図-3に示す。図-3からわかるように、抜けた鋼繊維の表面積が大きければ曲げタフネスも大となった。

4. まとめ

マトリックスを高強度化することにより、鋼繊維混入量の低減が可能で、アスペクト比の小さい鋼繊維を少量(4~6%)に使用することにより200 kgf/cm²以上の曲げ強度をもつ鋼繊維補強コンクリートが得られることを示した。

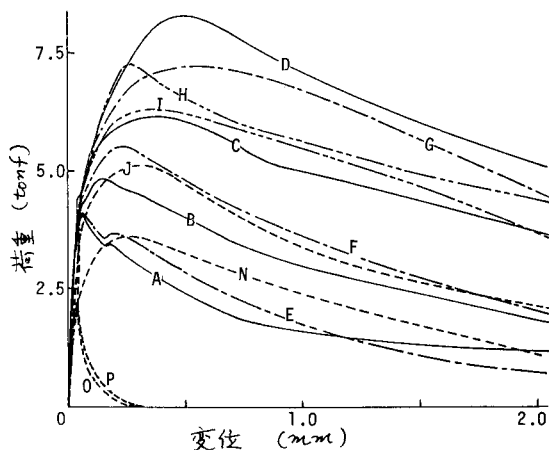


図-1 荷重変位曲線 (A ~ J, N ~ P)

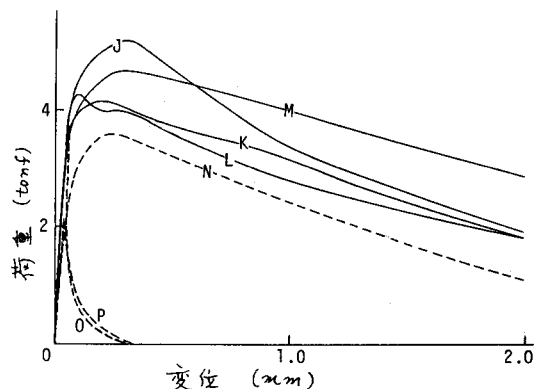


図-2 荷重変位曲線 (J ~ P)

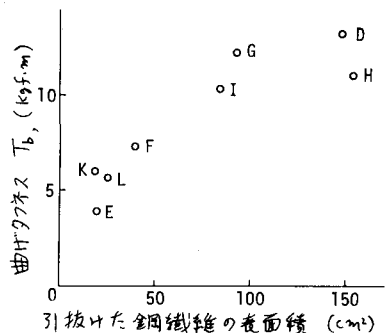


図-3 鋼繊維の表面積と曲げタフネス

表-3 鋼繊維の本数と表面積

シリーズ名	鋼 鉄 繊 維	
	本数	表面積 cm ²
D	229	148
E	70	19.8
F	139	39.6
G	257	93.0
H	236	154
I	394	84.3
K	173	18.5
L	151	25.7