

武生市 正 牧野隆治
 岐阜大学 正 六郷恵哲
 岐阜大学 正 小柳 洽

1. まえがき

コンクリートを鋼繊維で補強することにより曲げ強度や靱性が改善されるが、本研究では、鋼繊維補強コンクリートにさらに膨張材を混入した場合のひびわれ耐力などの破壊特性について検討した。また、鋼繊維補強コンクリートの破壊性状を鋼繊維の引抜けと破断の性状と関連させて検討した。

2. 実験概要

試験要因は、圧縮強度レベル (400, 1100 kgf/cm²)、鋼繊維の種別 (太い繊維と細い繊維)、鋼繊維の混入量 (0, 1, 2 vol%), さらに膨張材の混入量 (0, 60, 90 kg/m³) である。A~L の合計 12 シリーズのコンクリートの試験要因と配合を表-1 に示す。鋼繊維は鋼板せん断繊維であり、太い繊維 (寸法: 0.5×0.5×30mm) と細い繊維 (0.25×0.5×25mm) の 2 種類を使用した。膨張材は CSA 系である。

曲げ供試体 (10×10×40cm) と圧縮供試体 (φ10×20cm) を作成し、打設翌日から材令 7 日まで恒温室 (21±1℃) で水中養生し、その後試験材令 (4週) まで相対湿度約 70% の恒温室内で気中養生を行なった。曲げ供試体のひびみ変化をホイットモアひびみ計を用いて測定した。

曲げ載荷試験は、3 等分桌に載荷して行ない、荷重変位曲線を X-Y レコーダに記録した。載荷試験中の AE (Acoustic Emissions) を計測し、AE 発生数が増加し始める点をコンクリートマトリックスのひびわれ発生点とした。

3. 鋼繊維の破断と引抜け

各シリーズごとに、曲げ供試体の破断面における鋼繊維の分散状況が代表的な供試体を選び、破断面の鋼繊維の総数に対する破断した鋼繊維の割合を算出し、表-2 に示す。(a) 膨張材を混入した場合、(b) 圧縮強度レベルが高い場合、(c) 鋼繊維が細い場合、にそれぞれ、鋼繊維の破断の割合が大きく観察された。

混入量が等しい場合、細い鋼繊維の方が太い鋼繊維よりも表面積が大きく、鋼繊維とコンクリートとの付着力の総和が大きいため、細い鋼繊維を使用した場合、破断する割合が大となったと考えられる。同様に、膨張材を混入した場合に膨張圧によって鋼繊維とコンクリートとの付着力が大となるため、また、高強度コンクリート

表-1 試験要因と配合

シリーズ名	試験要因			セメントの種類	配合										スラング cm	空気量 %
	鋼繊維 寸法	膨張 混入率 %	膨張 材量 kg/m³		単位量 kg/m³					膨張材 kg/m³	減水剤 C*2 %					
					水 W*1	セメント C*2	細骨材 S	粗骨材 G	鋼繊維 F							
A-00N00	-	-	-	普通	50	60	183	367	1028	693	-	-	1.0*3	9.5	3.9	
B-00N60	-	-	60	"	50	60	183	366	1027	692	-	59	1.0*3	8.0	3.9	
C-S1N00	細	1	-	"	50	65	191	382	999	545	74	-	1.0*3	10.5	8.5	
D-S1N60	"	1	60	"	50	65	198	396	1036	565	77	59	1.0*3	6.5	5.0	
E-S2N00	"	2	-	"	50	70	216	432	1032	448	153	-	1.0*3	7.5	5.8	
F-S2N60	"	2	60	"	50	70	215	431	1029	447	152	59	1.0*3	9.5	5.9	
G-L2N00	太	2	-	"	50	70	216	432	1032	448	153	-	1.0*3	15.0	5.8	
H-L2N60	"	2	60	"	50	70	218	436	1041	452	154	59	1.0*3	14.0	4.9	
I-L2N90	"	2	90	"	50	70	212	424	1014	440	150	87	1.0*3	18.0	7.3	
J-00H00	-	-	-	早強	26	33	152	582	551	1131	-	-	2.6*4	2.5	1.8	
K-L2H00	太	2	-	"	29	65	187	637	981	529	156	-	3.0*4	10.0	0.9	
L-L2H90	"	2	90	"	29	65	187	636	980	528	155	90	3.0*4	9.5	0.8	

*¹ 減水剤を含む

*² 膨張材を含む

*³ Pz No. 5L

*⁴ Pz NL-4000

の方が普通強度コンクリートより付着力が大きいため、鋼繊維の破断の割合が高くなったと考えられる。

4. 強度特性

圧縮強度と曲げ強度、ならびに AE の検出により計測した曲げひびわれ発生荷重レベル（ひびわれ発生荷重 P_c と最大荷重 P_u の比 P_c/P_u ）を表-2 に示す。鋼繊維を 2 vol.% 混入したコンクリートでは、膨張材を使用することにより、圧縮強度も曲げ強度も増加した。特に、ひびわれ発生荷重レベルは 1/2 割程度増加した。

5. 曲げ供試体の荷重変位曲線

同一条件で試験した 5 組の曲げ供試体の荷重変位曲線を図-1 で平均して代表曲線を求め各シリーズごとに図-1 に示す。鋼繊維を 2 vol.% 混入したコンクリートでは、破断面における鋼繊維の破断割合が大きい場合（3 節の (a)~(c)）に、最大耐力までの変位が小さくなり、最大耐力後の荷重の低下の度合いが大きくなった。

鋼繊維とコンクリートマトリックスとの付着力が大きいため鋼繊維の破断割合が増加すると考えられる高強度コンクリートや膨張材を混入したコンクリートの場合に、最大耐力までの変位も増加させ最大耐力後の荷重の低下の度合いを小さくして破壊時のエネルギー吸収能力を改善するには、断面を増やしてアスペクト比を小さくした鋼繊維や引張強度の高い鋼繊維を使用して、鋼繊維の破断の割合を減少させる必要があると考えられる。

6. ひずみ量の経時変化

材令 1 日の脱型時に計測したひずみの値を原点として、曲げ供試体のひずみの経時変化を図-2 に示す。

膨張材混入にともなう膨張ひずみは鋼繊維により拘束された。この拘束効果は、鋼繊維の混入量が多い場合や鋼繊維が細い場合に大となるが、これは、鋼繊維の表面積が増え付着力の総和が増加したためと考えられる。

7. まとめ

鋼繊維補強コンクリートに適量の膨張材を混入することにより、ひびわれ発生耐力も 1/2 割増加させることができる。その場合の鋼繊維混入量は 1 vol.% より 2 vol.% の方がよく、膨張材量は、膨張ひずみ量が 1000×10^{-6} 程度になる量が望ましいと考えられる。

膨張材を混入した場合やコンクリートマトリックスの強度が高い場合には、鋼繊維の破断割合が増加した。こうしたコンクリートの破壊時のエネルギー吸収能力を増加させるには、引張強度の高い鋼繊維や断面を増やしてアスペクト比を小さくした鋼繊維を使用する必要があると考えられる。

表-2 試験結果

シリーズ名	鋼繊維の破断割合	曲げ強度 σ_b , kgf/cm ²	圧縮強度 σ_c , kgf/cm ²	ひびわれ発生荷重レベル P_c/P_u
A-00N00	-	44.6(2.7%)	455(3.7%)	0.98
B-00N60	-	40.0(2.7%)	389(3.6%)	0.98
C-S1N00	0.14	71.0(6.5%)	426(6.4%)	0.81
D-S1N60	0.36	57.9(5.3%)	443(2.1%)	0.81
E-S2N00	0.11	64.4(9.9%)	397(2.5%)	0.62
F-S2N60	0.22	67.2(10.4%)	457(2.5%)	0.85
G-L2N00	0.05	67.3(8.5%)	424(3.7%)	0.73
H-L2N60	0.07	68.9(17.8%)	429(4.0%)	0.82
I-L2N90	0.40	73.8(8.8%)	471(5.6%)	0.74
J-00H00	-	62.3(5.1%)	1123(3.6%)	0.90
K-L2H00	0.73	84.9(16.6%)	1165(3.3%)	0.75
L-L2H90	0.85	94.8(8.2%)	1222(3.8%)	0.82

() 内は変動係数を示す

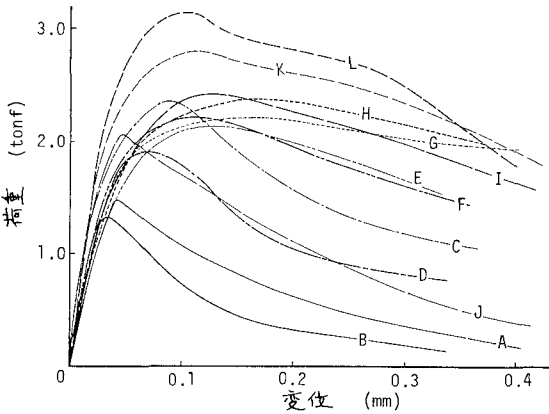


図-1 曲げ供試体の荷重変位曲線

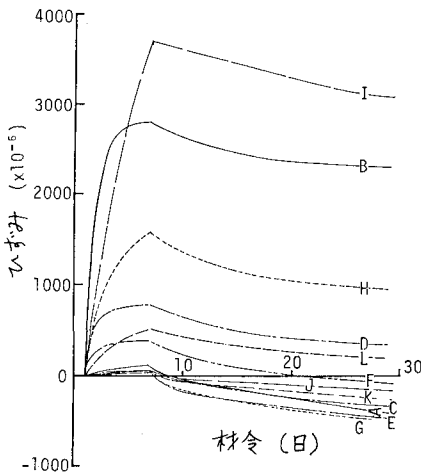


図-2 ひずみ量の経時変化