

[86] 繰返し水平荷重を受ける鉄筋コンクリート柱における鋼繊維の補強効果

正会員 原 道 也 (東海大学工学部)

正会員 永 坂 具 也 (東海大学工学部)

正会員 ○杉 山 誠 (日本技研コンサルタント)

1 序

筆者らの既往の研究¹⁾によれば、鉄筋コンクリート部材に鋼繊維を混入することによって、ひびわれに対する抵抗性やエネルギー吸収能力を向上できることが確認されている。

本研究では、鉄筋コンクリート柱において、鋼繊維の混入による帯筋に対する代替的利用の可能性を探るために以下の2点に着目して模型試験体により繰返し水平加力実験を行った。

1) 帯筋比 $P_w = 0.2\%$ の帯筋を有する柱において、鋼繊維混入量による補強効果の差異を検討する。

2) 帯筋のみで補強した場合と帯筋比 $P_w = 0.2\%$ の帯筋と鋼繊維を併用した場合の補強効果について、鋼としての体積率を同一として比較検討する。

2 実験概要

実験に用いた各試験体の補強方法の違いを表1に示す。HPRC19は、定軸力を15tとして、曲げ破壊が先行するように鉄筋コンクリート構造計算規準により、帯筋量を定めた基本模型である。ただし、帯筋比は上限の1.2を超えたものになっている。帯筋比 $P_w = 0.2\%$ の帯筋と鋼繊維を併用するものを、図1に示す。なお、HPRC19とSFRC19, HPRC10とSFRC10は、鋼としての体積率が、それぞれ等しい。

表 1 試験体の帯筋及び鋼繊維に関する諸量

	HPRC19	SFRC19	SFRC15	SFRC10	HPRC10
帯 筋	6φ@20 $P_w=1.39\%$	6φ@140 $P_w=0.20\%$	6φ@140 $P_w=0.20\%$	6φ@140 $P_w=0.20\%$	6φ@35 $P_w=0.81\%$
鋼繊維混入量	0.00%	1.94%	1.50%	1.00%	0.00%
全体積に対する体積率	帯 筋	2.23%	0.32%	0.32%	1.30%
	鋼繊維	0.00%	1.91%	1.48%	0.00%
	計	2.23%	2.23%	1.80%	1.30%

表 2 調合表 (kg/m³)

	W	C	S	G	SF
HPRC	274	391	978	587	0
SFRC19	267	376	940	564	152
SFRC15	265	378	945	567	118
SFRC10	266	380	950	570	79

コンクリートの調合を、表2に、使用した鉄筋の力学的特性を、表3に示す。なお、鋼繊維は、0.25×0.5×25mmのクリンプ状のものを使用した。

載荷装置を図2に、水平荷重の載荷過程を図3に示す。

表1に示した試験体の各々について、定軸力として15t(F_{c16})、30t(F_{c13})の2つの場合を用意し、合計10種類の試験体について、各種2体以上の実験を行なった。

この繰返し水平加力実験において、柱頭、柱脚の相対水平変位、材端部

表 3 鉄筋の力学的特性

	A (cm ²)	σ_y (kg/cm ²)	σ_{max} (kg/cm ²)	$E_s \times 10^6$ (kg/cm ²)
D13	1.25	37.8	55.1	2.11
6φ	0.24	35.1	44.3	2.07

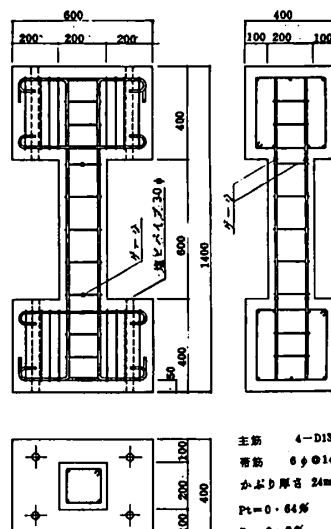


図 1 鋼繊維混入用柱試験体概略

主筋 4-D13
帯筋 6φ@140
かぶり厚さ 24mm
 $P_t=0.64\%$
 $P_w=0.2\%$
スラスパン比1.83
 $h/D=3.0$

の主筋及び帯筋の歪の測定のほか、ひびわれの観測を行なった。

3 実験結果

コンクリート強度及び試験体の諸耐力、破壊モードを、軸力条件が15tのものについて、表4に、軸力条件が30Tのものについて、表5に示す。ただし、表中の記号、 σ_c , σ_t , Q_{cb} , Q_{cs} , Q_{max} , D_{qmax} は、それぞれ、コンクリートの圧縮強度、コンクリートの引張強度、初曲げひびわれ荷重、初せん断ひびわれ荷重、最大荷重、最大荷重時の変位である。また、破壊モードについては、RC柱に対する福沢の分類⁹を、参考にしておこなった。

HPRC19-62とSFRC19-62の、変位振幅が3mm, 6mm, 9mm, 15mm, 及び終局の時のひびわれ図を、図4, 図5に示す。

4 考察

4-1 コンクリート強度

試験体に使用した鋼繊維補強コンクリート及び普通コンクリートにおいて、鋼繊維補強コンクリートの方が、圧縮強度については、約10%、引張強度については、約20%の強度の上昇がみられた。

しかし、鋼繊維混入量と各強度の関係や、圧縮強度と引張強度との関係は明らかにしなかった。

4-2 諸耐力

初ひびわれ荷重において、曲げひびわれについては、鋼繊維の混入による効果を見出すほどの差はなかった。これに対して、せん断ひびわれについては、鋼繊維の混入量が增大するにつれて、その発生荷重が上昇している。軸力が15tの場合、平均値において、SFRC19は、HPRC19の約2.5倍、SFRC10は、HPRC10の約1.3倍になっている。また、軸力が30tの場合でも、極端に補強量が少いSFRC10を除いて、SFRCの方がHPRCより高くなっており、このことから、鋼繊維を併用の方が、せん断ひびわれに対する抵抗性のあることが認められた。

最大荷重については、せん断ひびわれに対する効果ほどではないものの、平均値において、軸力

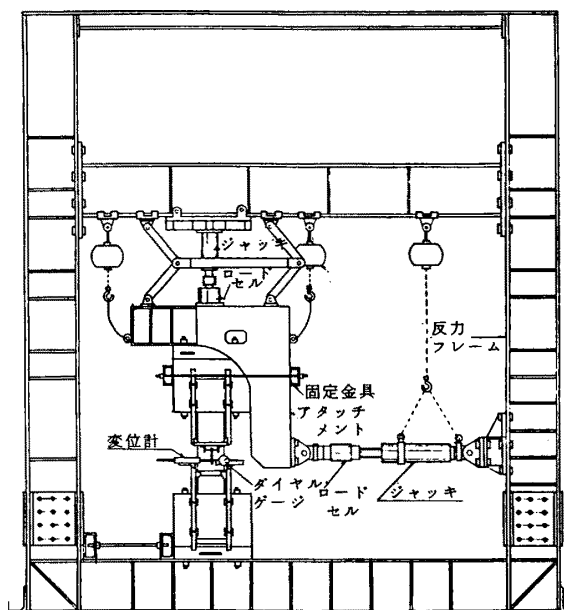


図2 載荷装置

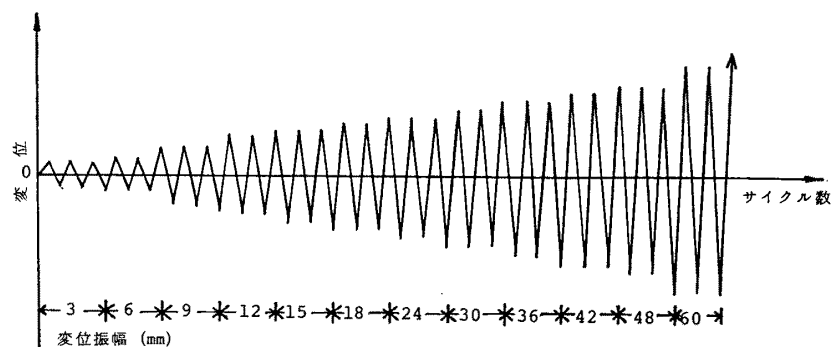


図3 水平荷重の載荷過程

表4 実験結果 (軸力15t)

	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	Q_{cb} (t)	Q_{cs} (t)	Q_{max} (t)	D_{Qmax} (mm)	破壊モード
HPRC 19-61	235	17.2	2.50	2.50	9.67	15.1	付着割裂破壊
HPRC 19-62	233	18.2	2.00	4.00	9.51	12.0	付着割裂破壊
SFRC 19-61	236	23.4	2.50	7.99	9.23	9.0	せん断引張破壊
SFRC 19-62	245	20.0	1.50	8.00	9.97	6.0	せん断引張破壊
SFRC 19-63	241	18.5	3.50	8.00	9.87	6.0	せん断引張破壊
SFRC 15-61	216	21.4	3.60	8.94	9.79	12.0	曲げ破壊
SFRC 15-62	263	20.8	2.50	7.00	9.58	9.0	せん断破壊
SFRC 10-61	222	22.5	3.50	8.00	9.18	5.2	せん断引張破壊
SFRC 10-62	240	19.5	2.50	5.00	9.92	15.0	せん断引張破壊
SFRC 10-63	220	20.9	2.50	6.00	9.58	5.9	せん断破壊
HPRC 10-62	246	17.6	1.00	2.00	9.45	6.1	せん断はく落破壊
HPRC 10-63	228	20.2	2.50	7.84	9.17	5.5	せん断はく落破壊

が15tの場合、SFRC19が最大に、軸力が30tの場合、SERC15が最大になっている。

また、両条件とも、SFRC19及びSFRC15が、HPRC19よりも高い値となっている。

鋼繊維の体積混入率を帯筋比に置き換えて考えた場合、HPRC19よりSFRC15の方が、帯筋比が大きいことになる。このことと、実験結果をあわせて考えると、強度的には、鋼繊維の体積混入率を帯筋比に置き換えて帯筋と同様に補強量を考えても、十分であると考えられる。

4-3 ひびわれ及び破壊

ひびわれについては、SFRCの方が、HPRCよりも、ひびわれ長さが短かく、ひびわれ幅も終局時近くまで小さく抑えられている。また、HPRCでは、コンクリートのはく落が生じているのに対して、SFRCでは、終局時においても生じない。

最大荷重は、ほとんどの試験体が大きなせん断ひびわれが発生することが契機となって定まる。その後、HPRCでは、せん断ひびわれが、付着割裂ひびわれを伴ない大きな耐力低下を起こしている。これに対して、SFRCでは、大きな付着割裂ひびわれが発生せず、せん断ひびわれの拡大によって徐々に耐力低下をする。また、鋼繊維混入量の少ない柱では、対角線上のせん断ひびわれの発生によって、突然に軸力の耐力を失う場合もある。

4-4 復元力特性

代表的荷重一変位曲線を図6～図12に示す。各荷重一変位曲線を比較すると、SFRCでは、耐力低下す前までは、鋼繊維混入量にかかわらず、ループ形状はほぼ同一となっており、混入量の差は、変形能力の差として現われ、混入量が増大するにつれて、変形能力が増大している。

HPRCとSFRCを比較すると、HPRC19とSFRC19、HPRC10とSFRC10では、SFRCが、大変形領域において、ループがしほりこみの少ない紡錘型をしているのに対して、HPRCは、ループが逆S字型をしている。この傾向は、補強量の少ない場合や、軸力が大きい場合になると、顕著になっている。また、同一変位振幅における、繰返しによる耐力低下もHPRCよりSFRCの方が少ない。このことから、鋼の体積率を等しくした場合、エネルギー吸収能力の面でSFRCの方が優れていることがわかる。しかし、諸耐力で述べたように、鋼繊維の体積混入率を帯筋比に置き換えて考えた場合、最大耐力に至るまでは、HPRCもSFRCも変わらないが、最大耐力以後の変形能力について、SFRCの方が劣っている。

表 5 実験結果 (軸力30t)

	α (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	Q _{cb} (t)	Q _{CS} (t)	Q _{max} (t)	D _{Qmax} (mm)	破壊モード
HPRC 19-31	187	15.4	4.00	8.00	11.64	6.0	付着割裂破壊
HPRC 19-32	214	18.1	3.50	7.00	11.73	6.0	付着割裂破壊
SFRC 19-31	255	22.5	5.00	10.80	12.80	8.2	せん断引張破壊
SFRC 19-32	242	23.7	4.00	10.00	12.94	5.9	せん断引張破壊
SFRC 15-31	247	21.2	7.05	9.00	13.99	6.0	せん断引張破壊
SFRC 15-32	263	23.4	5.00	7.00	13.28	6.0	せん断引張破壊
SFRC 10-32	233	25.5	5.00	7.00	12.60	5.9	せん断引張破壊
SFRC 10-33	247	20.0	4.50	5.00	13.31	6.1	せん断引張破壊
HPRC 10-31	209	22.2	5.50	10.00	12.45	5.0	せん断はく落破壊
HPRC 10-32	231	18.3	4.50	6.00	9.97	5.9	せん断はく落破壊

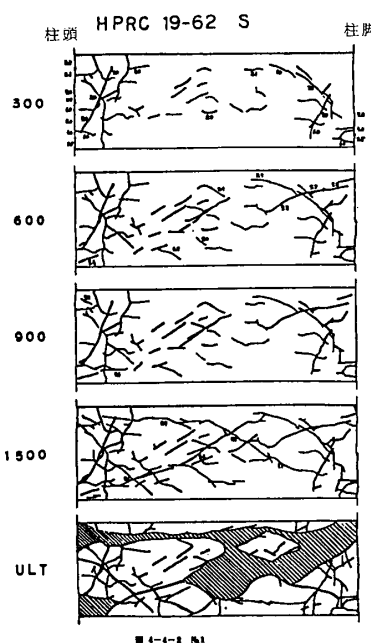


図 4 ひびわれ図

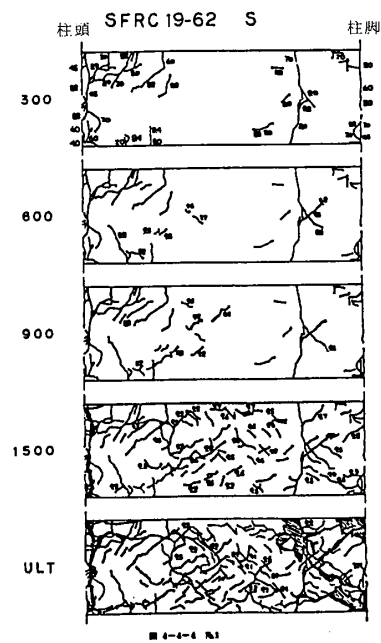


図 5 ひびわれ図

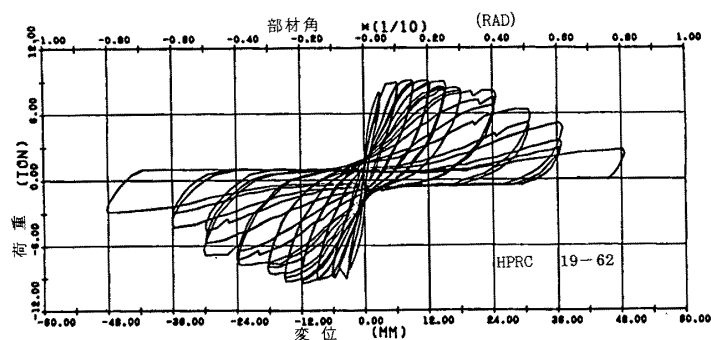


図 6 荷重-変位曲線

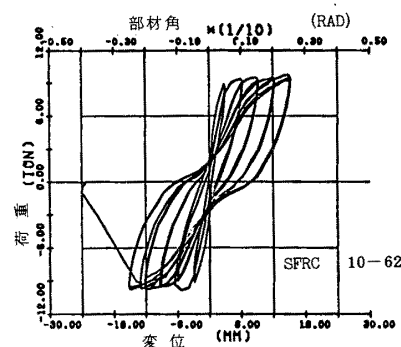


図 9 荷重-変位曲線

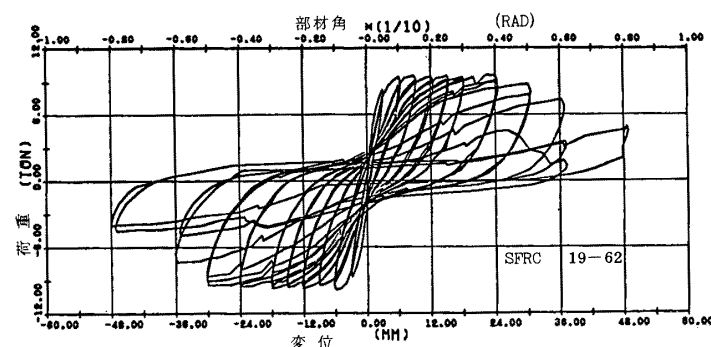


図 7 荷重-変位曲線

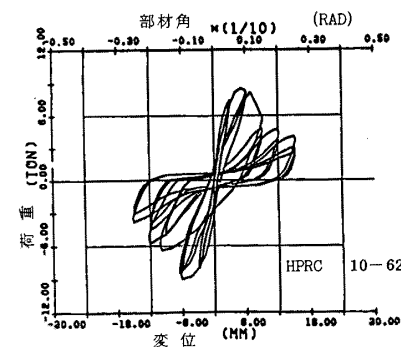


図 10 荷重-変位曲線

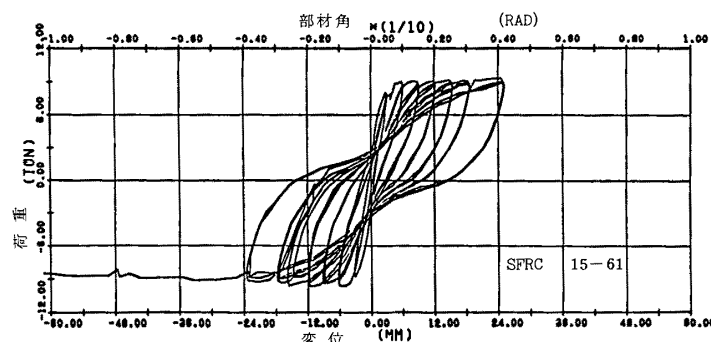


図 8 荷重-変位曲線

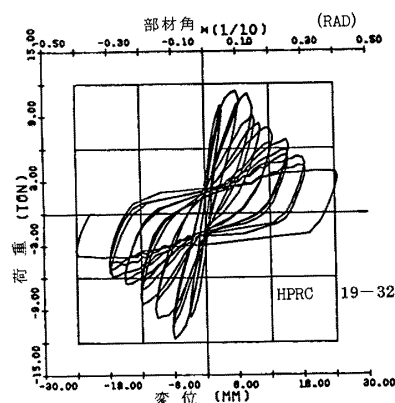


図 11 荷重-変位曲線

5 結び

帯筋比 $P_w = 0.2\%$ の帯筋と鋼繊維を併用する方法は、鋼繊維の体積率に等しい帯筋比を加えられた柱程度の耐力があり、また、鋼の体積率を等しくした場合、変形能力やエネルギー吸収能力の面で、優れた性状が得られることがわかった。このように、鋼繊維を鉄筋コンクリート柱に利用するにあたって、使用する鋼は、従来の鉄筋コンクリートに比べて大幅な削減はできず、すべての帯筋を鋼繊維に置き換えることもできないが、帯筋が密になってしまう柱において、帯筋の一部を鋼繊維によって代替利用しても、十分であるといえる。

なお、今後は、鋼繊維と帯筋を併用する場合の、耐力や変形能力についての評価方法を確立する必要がある。

- 参考文献 原 道也^他；RC長柱における鋼繊維補強効果に関する実験的研究 建築学会 梗概集 1979
 原 道也^他；繰返し水平荷重を受ける鉄筋コンクリート柱における鋼繊維補強効果 同 1980
 福沢六郎^他；鉄筋コンクリート柱の破壊モードと復元力特性について 戸田建設研究報告7

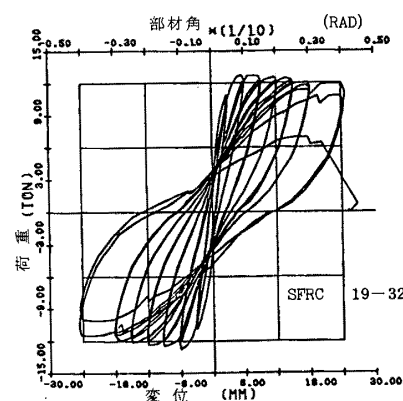


図 12 荷重-変位曲線