

V-12 鋼 鉄 補 強 コンクリートの基礎的性状

北海道工業大学

／

／

／

正員 犬塚 雅生

正員 堀口 敬

学生員 ○ 清水 孝治

学生員 信太 滋夫

1. まえがき

コンクリートの力学的性質を改善する意味で鋼鉄繊維を混入した、いわゆる鋼鉄繊維補強コンクリート（以下S.F.R.C.と略す）の研究が近年活発に行なわれている。一般にコンクリートの引張強度、曲げ強度、じん性、ひび割れ抵抗性、衝撃抵抗性等の改善を目的として鋼鉄繊維混入が考えられ実用化が進められているのが現状である。本報告は鋼鉄繊維混入によるコンクリートの諸性質の改善の中でも極めて顕著な成果を示す曲げ強度に関する諸因子の有差性を鋼鉄繊維混入率等を含め検討する事に主眼をおいている。

2. 実験方法

1) Iシリーズ

本実験は実験計画法に基づき、表-1の様に4要因3水準を取り上げ直交表127（表-2）を組み解析を行った。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、粗骨材は最大粒径15mmのものを用いた。鋼鉄繊維は住友ISファイバー（アスペクト比60）を用いた。

コンクリートの練りまぜは手練りで行い、ファイバーボールが出来ないように鋼鉄繊維を手でほぐしながら、コンクリート中に均等に分散するように混合した。供試体は7.5×7.5×40cmの3連角柱型枠を用いた。締固めは2層に分け、パイププレート振動機を用い振動締固めを行ったのち、こて仕上げを行なった。

打込み後、供試体は材令1日で脱型し材令28日まで水中養生（水温20℃

±2℃）し、曲げ試験は図-3のように3等分点荷重法とした。

方向性の各水準については、図-1のようにした。又3種類の方向性を、決定するために図-2のようにトタン板で仕切りを行なった。又供試体破断面における鋼鉄繊維本数が強度に多大の影響を持つと考えられたので破断面の下面の曲げ引張りに有効と思われる鋼鉄繊維本数を数えた。その本数と強度の関連性、及びその他の因子との関連性を分散分析により検討することにする。曲げ強度に関しても同様である。

因 子	水 準		
	1	2	3
F. 鋼鉄繊維混入率	0%	1%	2%
D. 方向性	乱雑	方向性1	方向性2
C. 水セメント比	59.4%	54.3%	50%
S. 細骨材比	40%	60%	80%

表-1 各因子と水準



図-1 方向性

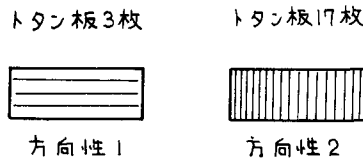


図-2 仕切りを入れた型枠図

No	F	D	C	S
1			1	1
2	1	1	2	2
3			3	3
4			1	1
5	1	2	2	2
6			3	3
7			1	1
8	1	3	2	2
9			3	3
10			1	1
11	2	1	2	2
12			3	3
13			1	1
14	2	2	2	2
15			3	3
16			1	1
17	2	3	2	2
18			3	3
19			1	1
20	3	1	2	2
21			3	3
22			1	1
23	3	2	2	2
24			3	3
25			1	1
26	3	3	2	2
27			3	3

表-2 L27 直交表

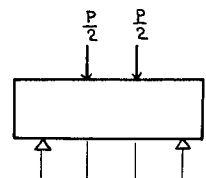


図-3 曲げ試験方法

2) II シリーズ

II シリーズで、得られた結果より各因子及び水準を整理し、II シリーズと同様な方法で実験を行ったものが表-3 で示す II シリーズの実験計画である。方向性に関しては方向性2 は強度を極端に低下させる事が、明らかとなったので(図1-3 参照)、II シリーズでは各因子のバランスを考慮して乱雑と方向性1 との2 水準について実験する事にした。又水セメント比、細骨材比については有意ではなかったので、今回は粗骨材の最大粒径(以下G と略す)を10 mm と20 mm の2 水準とし、新しく鋼繊維種類(表ではSF と略す)として表-4 に示すような、4 水準を取り上げた。鋼繊維混入量は1 % と2 % について行い、水セメント比50 %、細骨材比60 % と一定にして実験を行なった。

細骨材及び、粗骨材はII シリーズと同様に表面乾燥飽水状態で行った。

3) III シリーズ

本実験はSFRC の破壊じん性を調

べるため、破壊力学上で一つのパラ

メータとなる限界応力拡大係数KC

を求めることに主眼を、おいた。

実験方法はL32 直交表により表-5

のように割り付けを行った。

その他の測定値としては同配合の供

試体による割裂試験の引張強度、シ

ュミットハンマによる反発係数を測

定した。

曲げ供試体は7.5 × 7.5 × 40 cm の3 隅角柱型枠を用い、切

欠きとして鋼鉄製3 隅角柱を埋込み脱型時に取り去った。切欠

きは、先端角2 種類、高さ2 種類の計4 種類とした(写真-

1 参照) 割裂用供試体は、直径10 cm、高さ20 cm の円柱供

試体を用いシュミットハン

マーによる核破壊試験を行

なった後、割裂試験を行な

った。

供試体は打込み後材令

1 日で脱型し材令4 9

日で試験を行なった。

環境条件については冷

凍庫養生は脱型後1 3

日間水中養生し、冷凍

庫養生(12 時間0℃12

時間-20℃)を2 3 日

間行ない、1 2 日間気

中養生した。

SF	寸法(mm)	アスペクト比
1	0.5 × 0.5 × 30	60
2	0.5 × 0.5 × 20	40
3	0.3 × 0.3 × 20	66.6
4	0.3 × 0.3 × 20	100

表-4 鋼繊維種類

K:クラック角度	H:クラックの高さ
1 - 60°	1 - 2.25 cm
2 - 30°	2 - 1.50 cm

S:細骨材比	G:最大粒径	E:環境条件
1 - 60%	1 - 10 mm	1 - 冷凍庫
2 - 80%	2 - 20 mm	2 - 水中

SF:鋼繊維種類	F:鋼繊維混入量
1 - 0.5 × 0.5 × 30	1 - 0%
2 - 0.5 × 0.5 × 20	2 - 1%
3 - 0.3 × 0.3 × 20	3 - 1.5%
4 - 0.3 × 0.3 × 30	4 - 2%

各因子と水準の関係

NO	SF	D	F	G
1				
2		1	1	2
3			2	1
4	1			2
5			1	2
6		2		1
7			2	1
8				2
9				1
10			1	2
11		1		2
12			2	1
13	2			1
14		2		2
15			1	2
16			2	1
17				2
18		1		1
19			2	2
20	3			1
21			1	2
22		2		1
23			2	2
24				1
25				2
26		1		1
27			2	2
28				1
29		2		2
30			1	1
31			2	2
32				1

表-3 L32 直交表

表-5 L32 直交表

NO	SF	D	S	F	E	K	H
1							
2	1	1	1	1	1	1	2
3							
4	4	1	2	2	1	1	2
5							
6	3	2	2	1	2	1	2
7							
8	4	2	2	1	2	2	2
9							
10	2	1	2	2	2	1	2
11							
12	2	1	2	3	1	1	2
13							
14	2	1	2	4	1	1	2
15							
16	4	2	1	4	1	1	2
17							
18	1	2	2	3	2	2	2
19							
20	3	1	1	4	2	2	2
21							
22	3	2	2	2	1	2	2
23							
24	3	1	1	3	1	1	2
25							
26	2	2	1	1	2	2	2
27							
28	1	2	2	4	1	2	2
29							
30	1	2	1	2	2	2	2
31							
32	4	2	1	3	2	2	2

水中養生のものは、脱
型後、42日間水中養生
し7日間気中養生した
曲げ試験方法及び実験
手順はⅠシリーズ、Ⅱ
シリーズと同様である。

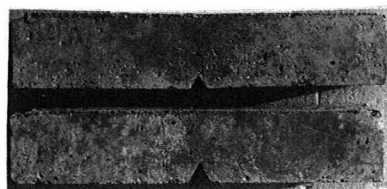


写真 - 1

3. 実験結果

(3-1) Ⅰシリーズの結果

各実験番号の供試体よりそれぞれ3本ずつ制作し曲
げ試験を行って得られた曲げ強度及び鋼繊維の本
数をデータとして分散分析を行うと表1-1及び
表1-2の如くなる。表中の*印はF検定におい
て1%危険有意水準を満足したものを**印、5
%危険有意水準のものを*印で示している。

表1-1では鋼繊維量及び方向性の因子が1%危険
率有意水準を満足しその寄与率はそれぞれ29.0
%, 42.5%となった。また表1-2では鋼繊維量
及び方向性の因子が1%危険率有意水準を満足し
その寄与率はそれぞれ63.05%, 18.62%とな
った。

(3-2) Ⅱシリーズの結果

Ⅰシリーズと同様に分散分析を行った結果表2
-1及び表2-2が得られた。表2-1では鋼繊維
の種類及び鋼繊維混入量の因子が1%危険率有
意水準を満足し、寄与率はそれぞれ12.3%,
29.14%となり方向性は5%危険率有意水準を満
足し寄与率は29.14%となった。最大粒径Gにつ
いては有意ではなかった。表2-2では、鋼繊維
の種類及び鋼繊維混入量の因子が1%危険率有意
水準を満足しその寄与率はそれぞれ29.68%,
40.27%となった。また方向性は5%危険有意
水準を満足しその寄与率は4.87%であった。

(3-3) Ⅲシリーズの結果

KC, 曲げ強度及び、引張強度をデータとして
分散分析を行い、表3-1, 表3-2, 表3-3
を得た。表3-1では鋼繊維混入量が1%危険有
意水準を満足しその寄与率は69.5%, 最大粒径
及び環境条件がそれぞれ5%危険有意水準を満足
し、その寄与率は6.85%, 4.98%となった。
又、表3-2では鋼繊維混入量及び切欠きの深さ

要因	平方和 S^2	自由度	平均平方和	F'	寄与率
F	6001.5	2	3001	30.94**	28.96
D	8702.5	2	4351	44.86**	42.46
C	370.5	2	185	1.91	0.89
D×F	3420.5	4	855	8.81*	15.13
e	1545.5	16	97		12.54

表1-1 分散分析表 (曲げ強度)

要因	平方和 S^2	自由度	平均平方和	F'	寄与率
F	20920.7	2	10460	121.62**	63.05
D	6300.2	2	3150	36.63**	18.62
D×F	4146.4	4	1037	12.06**	11.55
e	1543.4	18	86		6.78

表1-2 分散分析表 (鋼繊維本数)

種類	平方和 S^2	自由度	平均平方和	F'	寄与率
SF	7005.8	3	2335.3	12.30**	34.26
D	1310.8	1	1310.8	6.90*	5.97
F	5533.5	1	5533.5	29.14**	28.44
e	4936.5	26	189.9		31.33

表2-1 分散分析表 (曲げ強度)

種類	平方和 S^2	自由度	平均平方和	F'	寄与率
SF	11600	3	3866.7	13.6	29.68
D	2048	1	2048.0	7.2	4.87
F	14864	1	14864.0	52.2	40.27
G	576	1	576.0	2.0	0.80
e	7117	25	284.7		24.38

表2-2 分散分析表 (鋼繊維本数)

種類	平方和 S^2	自由度	平均平方和	F'	寄与率
SF	5250	3	1750	1.64	1.24
F	118336	3	39445	37.07**	69.50
G	7292	1	7292	6.85*	3.76
E	5294	1	5294	4.98*	2.55
H	3943	1	3943	3.71	1.74
K	3200	1	3200	3.01	1.29
e	22349	21	1064		19.92

表3-1 分散分析 (限界応力)

が1%層陰有意水準を満足し寄与率はそれぞれ33.44%, 20.14%となった。表3-2では鋼繊維混入量及び細層材比の各因子が1%層陰有意水準を満足しその寄与率はそれぞれ35.6%, 13.06%となった。

種類	平方和S ²	自由度	平均平方和	F'	寄与率
SF	286	3	95	1.09	0.19
F	8726	3	2905	33.44	64.41
G	148	1	148	1.70	0.46
E	308	1	308	3.54	1.68
K	1752	1	1752	20.14	12.67
e	1922	22	87		20.59

表 3-2 分散分析表 (曲げ強度)

種類	平方和S ²	自由度	平均平方和	F'	寄与率
SF	78	3	26	1.73	1.64
F	1603	3	534	35.6	77.32
S	196	1	196	13.06	8.98
E	34	1	34	2.27	0.94
e	104	7	15		11.12

表 3-3 分散分析表 (割裂)

4. 考 察

(4-1) I シリーズの考察

分散分析の結果から主効果グラフを図4-1～図4-2に示した。

① 混入量

図4-1では直線性を示している。又、図4-3から混入量を増すごとに強が高くなる事が分かる。鋼繊維混入量が1%～2%で急激に強度が増し、0%～1%の混入による強度の上昇量の約2.5倍の値を示した。

② 方向性

図4-4より、乱雑と方向性1が有意であり、方向性2では急激に強度が減少した。又、乱雑では方向性2の約2倍、方向性1では方向性2の約2.5倍の強度を示した。本実験では乱雑よりも方向性1が高い強度を示した。

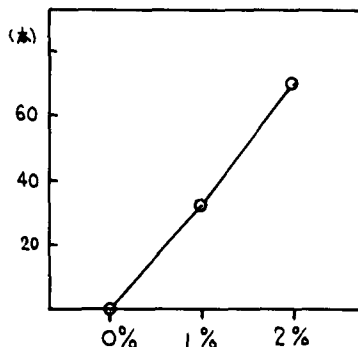


図4-1 鋼繊維本数と鋼繊維量の関係

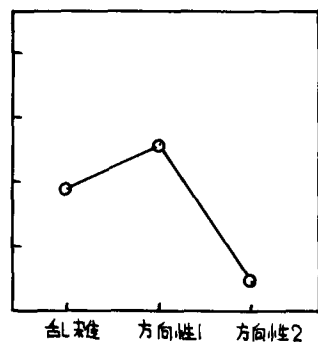


図4-2 鋼繊維本数と方向性の関係

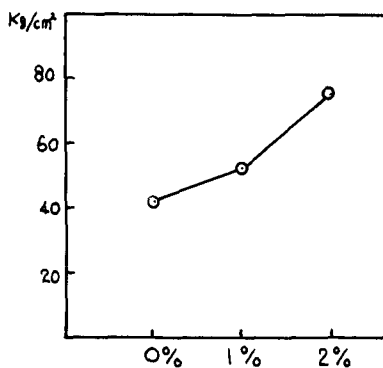


図4-3 強度と鋼繊維混入量の関係

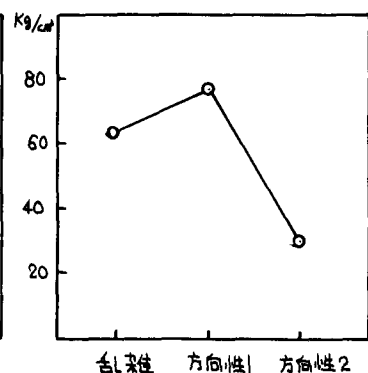


図4-4 強度と方向性の関係

(4-2) IIシリーズの考察

分散分析の結果から主効果グラフを図2-1～図2-6に示した。

○鋼繊維の種類

図2-1に示されるように、SF2(アスペクト比40)ガー番強度が低かった。

又、鋼繊維本数との関係については表2-4に示されるように、SF2ガー番本数が少ない。

○方向性

Iシリーズと同様に乱雑より方向性1の強度が高く鋼繊維の本数も乱雑より方向性1の本数が多い。

(図2-2, 図2-5参照)

○鋼繊維混入量

図2-3に示されるように鋼繊維混入量2%ど1%混入のものの約1.4倍の強度を示している。

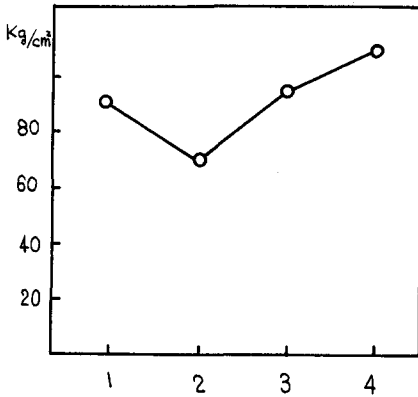


図2-1 鋼繊維種類と強度

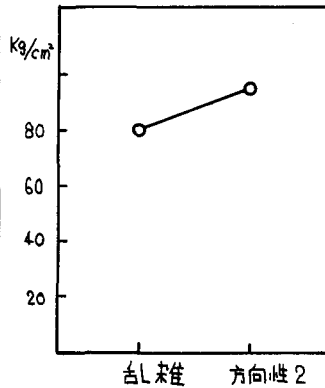


図2-2 方向性と強度

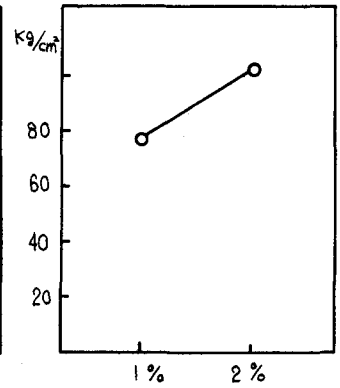


図2-3 混入量と強度

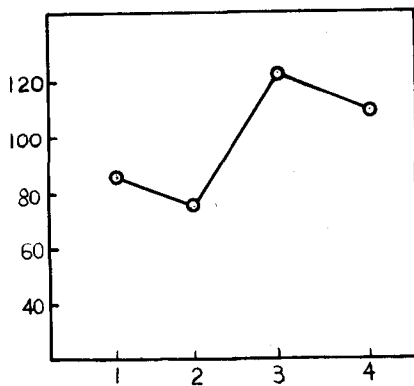


図2-4 鋼繊維種類と本数

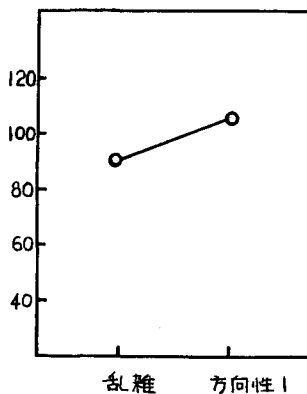


図2-5 方向性と本数

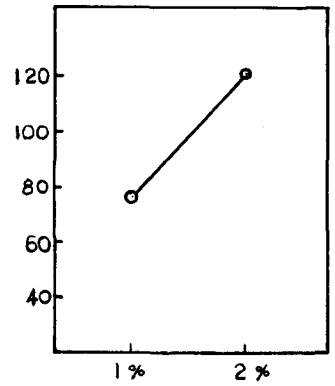


図2-6 混入量と本数

4-3) IIIシリーズの考察

分散分析の結果から主効果グラフを図3-1～図3-2に示した。

図3-1では、鋼繊維混入量と限界応力拡大係数に直線性がみられ、混入量を増すごとにKcが増える。

Kcは、混入量以外に、最大粒径、環境条件に関連があった。(図3-2, 図3-3参照)

図3-4に示すように鋼繊維混入量がIシリーズ, IIシリーズと同様に強度に強く影響している。又、図3-5に示すように切欠きの深さが強度に影響している。切欠きの先端角は今回の水準の範囲では有意とならなかつた。

引張強度では、鋼繊維混入量と強度に直線性がみられる。(図3-6)、又図3-7では細骨材比が増すごとに引張強度が低下する。

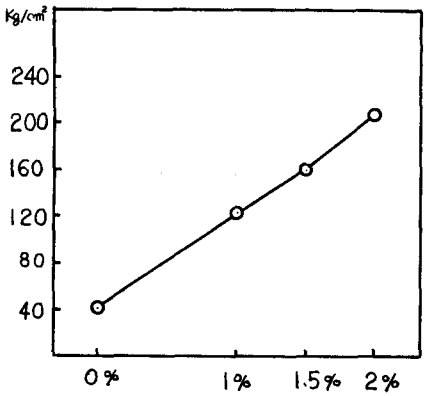


図3-1 鋼繊維混入量とKC

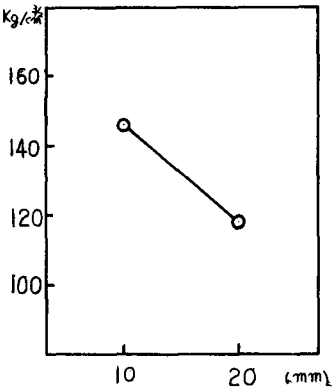


図3-2 最大粒径とKC

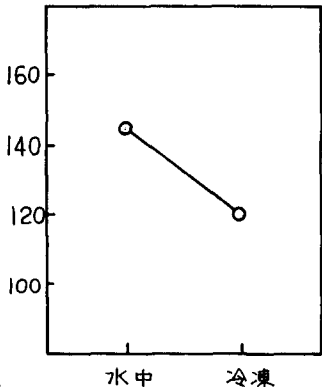


図3-3 環境条件とKC

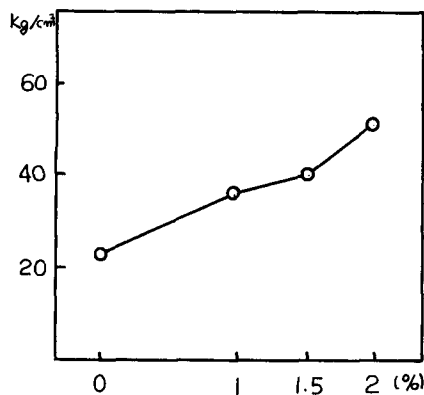


図3-4 混入量と強度

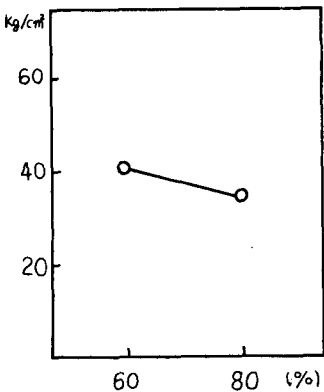


図3-7 細骨材比と強度

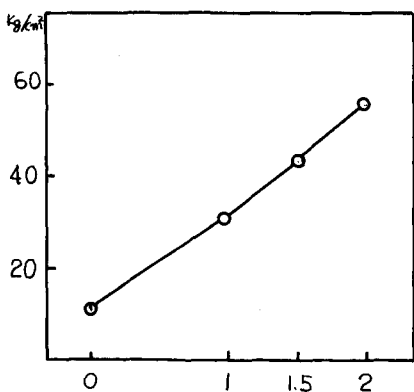


図3-5 混入量と強度

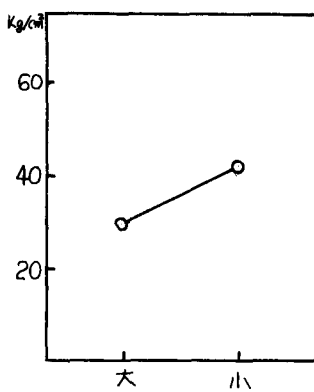


図3-6 切欠きと応力