

[60] 鉄筋コンクリート長方形スラブの補強方法に関する実験的研究

正会員 ○ 横 谷 栄 次 (関東学院大学工学部)
町 田 勝 一 (関東学院大学大学院)

1. まえがき

一般に鉄筋コンクリートスラブの配筋方法は、メッシュ法とペント法に分けられる。本研究は、配筋法の違いによる耐力に及ぼす影響を調べると共に、両者の鉄筋量を減らし、それに見合う鋼纖維で補強したものと、かつ、スラブ本体の体積率で1パーセント増分の鋼纖維で補強したスラブの等分布載荷実験を行い、終局耐力及び亀裂に関して、それらの補強方法の影響を調べた。¹⁾ 鋼纖維補強に関しては、過去に実験を行い鋼纖維量を鉄筋に置き替える鉄筋等価値によって、鋼纖維の補強効果の確認がなされている。ここで本実験に用いた鉄筋は、高強度鉄筋で、これは鋼纖維で補強するに当って、鉄筋量を減らし鉄筋間隔を大きくする事によって、その鉄筋間に鋼纖維を分散配向させ鋼纖維の補強効果を調べる目的で実験を行った。また、高強度鉄筋を用いた場合、撓み及び亀裂幅が大きく、それらを防ぐ為には鋼纖維が有効であるという事からも、本実験において高強度鉄筋を用いた理由のひとつである。その補強効果の判定方法として、荷重-中央点撓み、亀裂長さ、スラブ引張側中央部の亀裂幅、中央部短辺方向引張鉄筋歪等で比較検討を行った。また、個々のスラブに関しては、Johansenの降伏線理論(Yield Line Theory)による値を算出し、実験値との比較検討も含せて行った。尚、普通鉄筋を用いた場合、終局耐力がどの程度の値を示すか参考資料とする為に、ペント配筋のRCスラブ1体について、普通鉄筋を用いて実験を行い付記した。

2. 実験概要

2-1 試験体

試験体は、図1に示す様な有効スラブ $1500 \times 1000 \text{ mm}$ 、板厚 50 mm で、周辺固定支持状態にする為に、支持台との締め付け部分を全周に渡って 250 mm 張り出し、メッシュ及びペント配筋したスラブである。配筋は、RCスラブでは 5 cm ピッチ、鋼纖維で補強したSFRCSラブは 7.5 cm ピッチとした。鋼纖維量は、 5 cm から 7.5 cm ピッチにする事によって減少した鉄筋量分(圧縮鉄筋も含む)を、スラブ本体の体積率に換算し混入した。一般に鋼纖維の混入量は、体積率で1.5パーセント前後が最も効果があると考えられている。従って、本実験でも不足分に1パーセント増加させた鋼纖維を混入したスラブについても実験を行った。(表1参照)

調合は、砂-セメント比 $S/C = 2.0$ 、

水-セメント比 $S/W = 6.0$ 多とし、細骨材は最大粒径 2.5 mm の川砂を使用した。鉄筋は10番組($3.3 \varnothing$)鋼纖維は長さ 30 mm 、径 0.5 mm のストレート・タイプを用いた。

2-2 実験方法及び装置

実験方法は、試験体を図2に示す様に支持台と上枠ゴムで締め付け固定支持状態とした。

荷重は試験体と反力板間の加圧用ゴム袋にコンプレッサーから空気を送り込み、その空気圧により等分布荷重を加

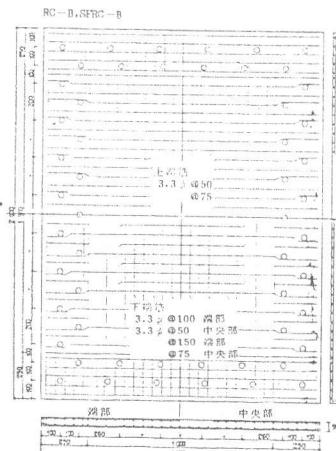


図1-a 配筋図

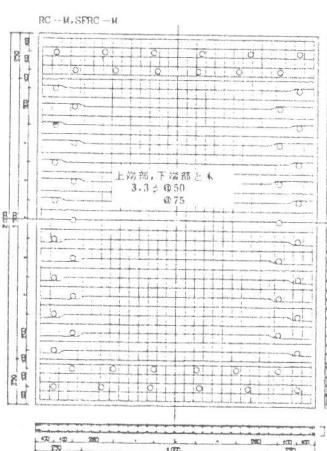


図1-b 配筋図

える。測定方法はスラブの短辺、長辺の1/4線上の計9個の変位計を取り付け、各点の撓みを測定すると同時に、中央点撓みに関しては、X-Yレコーダーで荷重-撓み図を記録した。歪に関しては、下端鉄筋中央部及び上端鉄筋端部、コンクリートゲージは、スラブ中央部の上下面に貼付し測定を行った。また亀裂幅は、スラブ引張側中央部に入った初亀裂を、各荷重毎にバー型クラックスケールによって測定した。亀裂長さに関しては、実験後亀裂図からカーブメーターで測定した。

3. 結果及び考察

図3は、各試験体の荷重-中央点撓み曲線である。この結果を見ると終局荷重に関しては、RC-MとSFRC-M'、またRC-BとSFRC-B'がほぼ同じ値を示している。一方、SFRC-M、SFRC-B共に、RC-M、RC-Bの値をかなり下回っている。即ち、鉄筋量を2/3に減じた事による鉄筋不足分の纖維量では、その鉄筋に相当する耐力を得る事は不可能であり、少なくともそれより1パーセント増加させた鋼纖維で補強をする事によって、ほぼ同程度の終局耐力が得られ、鉄筋不足分を補う補強効果が生じる事が判る。また、剛性に関しては、メッシュ、ペンド配筋共に鋼纖維を補強した方が、弾性範囲では上回っている。即ち、初期剛性が高くなっている。これは纖維が入る事によって、引張側コンクリートの剛性が高まった結果であり、亀裂幅が小さい場合には、纖維が充分に引張に対し抵抗するが、塑性域に入り亀裂幅が大きくなると、纖維の引抜き強度が低下し、その抵抗性は徐々に小さくなり、最終的には鉄筋にかなり依存する事になる。

次に、配筋の違いによる終局耐力に関しては、図からも判る様にメッシュ配筋の方が、RC、SFRC共に良い結果が得られ、平均値でRC-M/RC-Bは1.15、SF

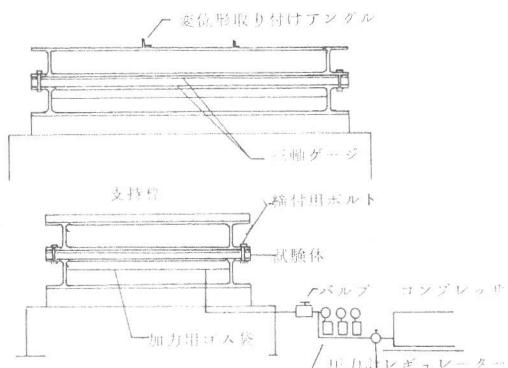


図2 試験装置図

表1 試験体概要

試験体	スラブ寸法	平均板厚	ファイバー(体積量)	
			配筋図	—
RC-B*		51.23	配筋図	—
RC-B		50.50	1-a	—
RC-M		54.32	配筋図	—
RC-M		51.89	1-b	—
SFRC-B	1500×	49.62	配筋図	—
SFRC-B	1000	49.40	1-a	0.37%
SFRC-M		50.89	配筋図	—
SFRC-M		54.61	1-b	0.45%
SFRC-B'		50.28	配筋図	—
SFRC-B'		51.43	1-a	1.37%
SFRC-M'		51.30	配筋図	—
SFRC-M'		52.50	1-b	1.45%

表2 相対タフネス一覧

試験体	RC-B	RC-M	SFRC-B	SFRC-M	SFRC-B'
RC-B	1.0	—	—	—	—
RC-M	1.10	1.0	—	—	—
SFRC-B	0.87	0.79	1.0	—	—
SFRC-M	0.94	0.86	1.08	1.0	—
SFRC-B'	1.07	0.97	1.22	1.13	1.0
SFRC-M'	1.20	1.10	1.38	1.28	1.13

表3 結果一覧

試験体	コンクリート		鉄筋		初亀裂時		最大たわみ (mm)	終局荷重		P _t /P _{exp}
	圧縮強度 (kg/cm ²)	割裂強度 (kg/cm ²)	降伏強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	荷重 (kg/cm ²)	たわみ (mm)		実験値P _{exp} (kg/cm ²)	理論値P _t (kg/cm ²)	
RC-B*	386.50	31.07	2394	2984	0.24	1.8	46.2	1.12	1.65 (1.95)	1.47
RC-B	293.64	25.70			0.26	1.4	50.2	1.50	1.57	1.05
RC-M	336.50	31.07			0.38	1.6	44.4	1.70	1.68	0.99
RC-M	293.64	25.70			0.30	1.4	53.4	1.76	1.62	0.92
SFRC-B	345.15	32.01			0.34	1.8	54.0	1.18	0.80	0.68
SFRC-B	345.15	32.01			0.36	2.2	49.4	1.17	0.80	0.73
SFRC-M	403.76	33.54			0.38	1.6	50.4	1.20	0.88	0.73
SFRC-M	403.76	33.54			0.42	1.5	50.6	1.28	0.93	0.73
SFRC-B'	376.01	48.27			0.44	2.0	52.0	1.44	1.20	0.83
SFRC-B'	321.21	50.93			0.38	1.6	45.0	1.45	1.17	0.81
SFRC-M'	454.36	50.46			0.46	1.6	53.6	1.71	1.30	0.76
SFRC-M'	295.58	51.81			0.40	1.8	56.6	1.50	1.30	0.87

$R C - M / S F R C - B$ は 1.06, $S F R C - M' / S F R C - B'$ は 1.11 で、これは一口に言えば鉄筋量の違いと言えるが、本来鉄筋コンクリートに関しては、圧縮鉄筋は曲げに対する影響ないとしているが、今回の実験結果から、圧縮鉄筋が終局耐力に 1 割前後の影響を与えると推察できる。尚、本実験で用いた鉄筋が高強度であった事にも起因していると思われる。剛性に関してても、メッシュ法がペンド配筋に比べ大きい事が判る。

図 4 は、荷重一亀裂幅であり、この図を見ると初期剛性はメッシュ、ペンド配筋共に、 $S F R C$ が大きくなっている。これは、鋼纖維の亀裂拘束力が大きい事を示している。また、この図は図 3 とはほぼ同様な傾向を示しており、この事から荷重と中央点撓み及び亀裂幅が、一義的な関係にある事が判る。 $R C - M$ と $S F R C - M'$ 及び $R C - B$ と $S F R C - B'$ において、亀裂幅が 3 ~ 4 mm 近傍で $S F R C$ の値が $R C$ に比べ大きくなっているが、これは前にも述べた様に、亀裂幅が大きくなり鋼纖維の引抜き強度が低下し、鉄筋に亀裂拘束効果が依存している事を示している。

図 5 は、荷重一亀裂長さであり、この図を見ると前者 2 つのグラフとは異っており、 $R C$ メッシュ、ペンド配筋共に亀裂長さに対する亀裂拘束力が、 $S F R C$ に比べ大きい。これは、鋼纖維の亀裂拘束効果が、図 4 で明らかになった様に、亀裂幅に対しては有効であるが、亀裂長さに対しては拘束力が然程ない事が判る。換言すれば、鋼纖維は亀裂幅を拘束したエネルギーを、細かい亀裂に分散伝達させると考えられる。

図 6 は、荷重一短辺方向下端中央鉄筋歪図であり、ペンド配筋の場合は、図 3, 4 同様の傾向になっている。これは、亀裂幅が小さい場合、鋼纖維の拘束力が大きく、鉄筋への負担が小さい事を示しており、亀裂幅が大きくなるにつれ、纖維の拘束力が低下すると共に、鉄筋への応力の伝達が大きくなるものと考えられる。メッシュ配筋の場合は、 $R C$ においては 5 cm ピッチで鉄筋の拘束力が大きく、7.5 cm ピッチにした場合、鉄筋への負担を鋼纖維で充分に補ないきれなかった為ではないかと思われる。

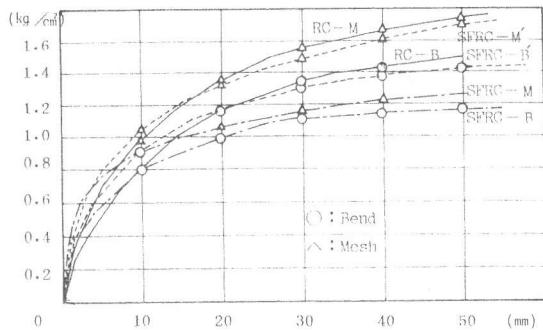


図3 荷重一たわみ図

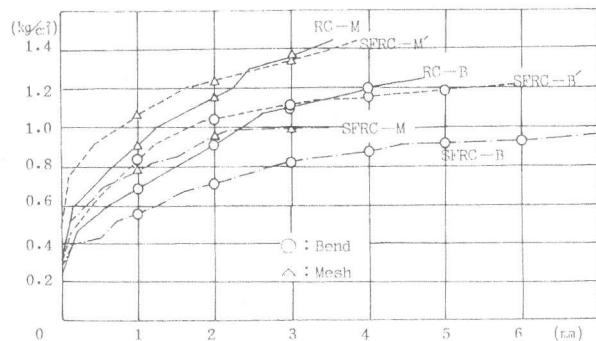


図4 荷重一亀裂幅

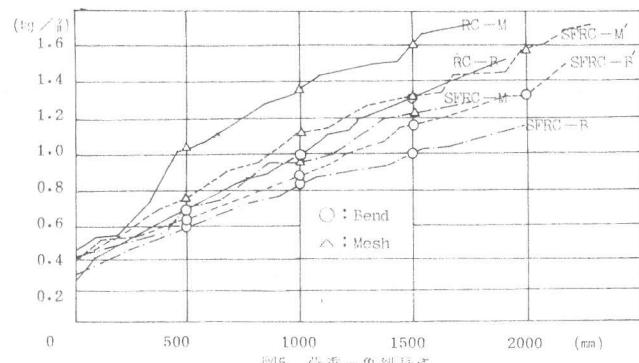


図5 荷重一亀裂長さ

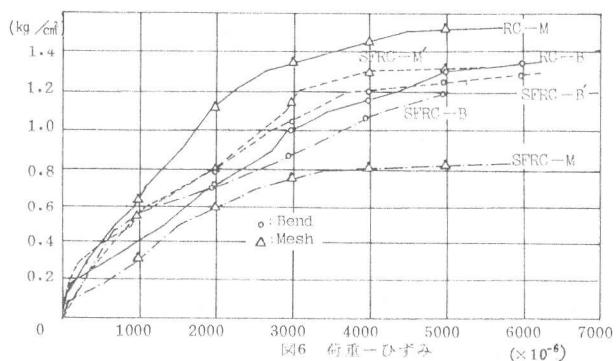


図6 荷重一ひずみ

次に、相対タフネスについては表2に示した。この結果を見ると、RCに関しては、メッシュがペンド配筋の1.10と終局耐力の1.15とほぼ同じ値である。RC-Bに対してSFRC-Bは0.87、SFRC-B¹は1.07であり、鉄筋不足分の鋼纖維の補強効果はほとんど見られないが、それに1パーセントの鋼纖維を増加する事によって、補強効果が増大する事が判る。尚、終局耐力はSFRC-B¹よりRC-Bの方が大きいが纖維を混入した事によって、韌性が向上する事を示している。この事はメッシュ配筋に関しても、同様の事が言える。

終局耐力の理論と実験値の比較については、表3に示した。この理論値は、Johansenの降伏線理論により算出した。ここで、纖維コンクリートの終局モーメントは次式²⁾で与えられる。

$$M_u = \left[PtF_y + (h - ku) \left[\sigma_{mu} (1 - Vf) + 0.14 \eta e \tau f \frac{df}{df} Vf \right] \right] J$$

$$h = h/d, \quad J = j/d, \quad ku = \frac{F_y P_t (1 - \gamma)}{0.85 k_f c_0 + \sigma f}, \quad \eta e = 1 - 0.14 Vf,$$

$$\tau f = 40 \text{ kg/cm}^2, \quad \sigma_{mu} = \frac{\eta b \tau f l f \pi d f / 2}{\pi d f^2 / 4} = \frac{2 \eta b \tau f l f}{d f}, \quad \eta b = 1.0,$$

上式を用いた理論値と実験値を比較すると、いずれも理論値が20~40%近く小さくなっている。一方RCに関しては、理論値と実験値がほぼ等しい値を示している。この事から、纖維コンクリートの場合、終局モーメントを求めるに当って、纖維による抵抗モーメントの評価が小さかったのではないかと考える。

尚、RC-B^{*}についても理論値を算出したが、この値も実験値の35%近く小さい。これは普通鉄筋を用い、周辺固定支持状態という事で、アーチ効果が生じた為と考え、Parkによるアーチ効果を考慮した値を計算した結果、逆に47%大きくなった。これは周辺が完全固定ではなく、水平拘束度が小さかった為と思われる。一方、高強度鉄筋を用いたRCにおいては、鉄筋が強い為にアーチ効果が生じないで、降伏線理論値とほぼ一致したと考えられる。

最後に、SFRC-B、B¹に関して、コンクリートが降伏した後、鉄筋のみで破壊に至るフル・テンションの状態が、X-Yレコーダーに記録された。従ってParkによるフル・テンションの理論式³⁾で破壊荷重を算出した結果、SFRC-Bは1.05、SFRC-B¹は1.32で実験値が1.12及び1.38(kg/cm²)とかなり良く一致した。

4.まとめ

高強度鉄筋を用いたRCスラブにおいて、メッシュ配筋したスラブはペンド配筋よりも、終局耐力が1.15倍であった。また、鋼纖維を鉄筋の不足分に1%増加させる事により、初期剛性が向上し、亀裂幅の拘束効果も生じ、同等の終局耐力及びそれ以上のタフネスを得た。

最後に、現在普通鉄筋を用いて同様の実験を行っており、今後高強度鉄筋及び普通鉄筋のコンクリートスラブに及ぼす、鋼纖維の影響を比較検討するつもりである。

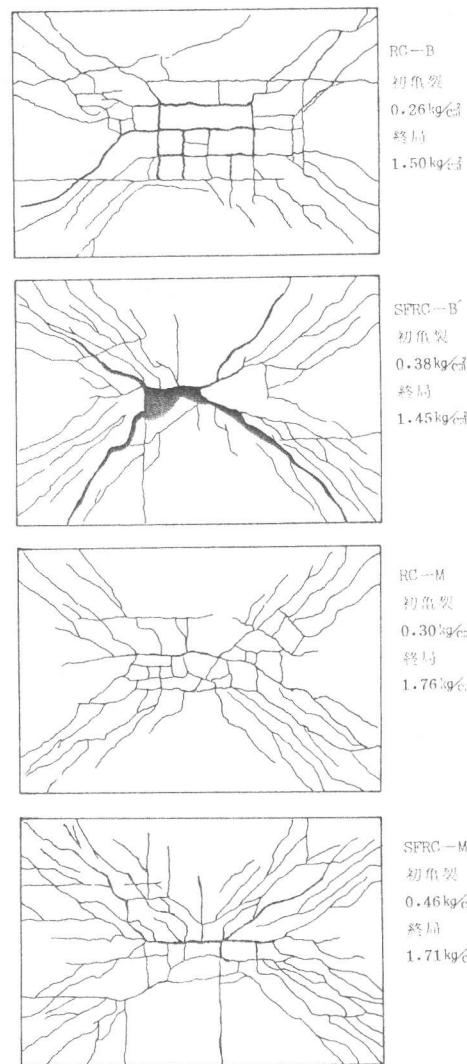


図7 亀裂図

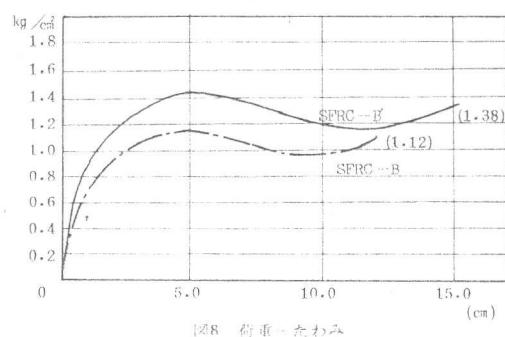


図8 荷重-たわみ

参考文献

- 1) 柳谷栄次他 "鋼纖維補強コンクリートスラブの終局耐力に関する研究" 日本建築学会関東支部研究報告集Vol.49, S.53年
- 2) 柳谷栄次他 "鋼纖維補強鉄コンクリートスラブの終局荷重に関する研究" 日本建築学会関東支部研究報告集Vol.50, S.54年
- 3) R.PARK, "Reinforced Concrete Slab" Wiley-Interscience.