

[72] 鋼纖維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート床版に関する基礎的研究

正会員 ○ 魚本 健人 (東京大学生産技術研究所)
 正会員 西村 次男 (東京大学生産技術研究所)
 亀井 和郎 (神戸製鋼所鉄鋼生産本部)

1. はしがき

鋼纖維補強コンクリートの諸特性に関しては既に多くの研究がなされているが、それらの諸特性を利用した構造物の研究に関してはまだ検討すべきことが多いのが現状である。現在、鋼纖維補強コンクリートが構造材として最も多く利用されているものは、地下構造物やトンネルのライニング材であるが、これらは主として無筋コンクリートの代替品として用いられている。しかし、鋼纖維補強コンクリートは鉄筋コンクリート又はプレストレストコンクリートとしても利用可能であり、このような利用方法に多くのメリットがあればその利用範囲は大きく広がるものと考えられる。

鋼纖維補強コンクリートを構造材として利用する方法としては、その引張特性やせん断特性を生かす方法のみならず、その非性に着目する方法があるが、鉄筋コンクリート部材としての最も一般的な利用方法の1つとして曲げ部材への適用が考えられる。そこで、本研究では市販の鋼纖維の寸法が $2.0 \sim 4.0 \text{ mm}$ であることを考慮して、鋼纖維が2次元方向に配向しやすく、その利点が発揮され易いなるべく部材厚さの小さい鉄筋コンクリート床版への利用を目的とした検討を行った。なお、曲げ機構を調べる目的で鉄筋コンクリート梁の検討も行った。

2. 実験概要

実験に使用した鋼纖維は $\phi 0.5 \times 3.0 \text{ mm}$ の異形カットワイヤーで、セメントは全て普通ポルトランドセメントである。骨材は、粗骨材として最大寸法 15 mm の秩父両神産の碎石(比重2.70, 吸水率0.63%, F.M. 6.50)を、細骨材として大井川産の川砂(比重2.62, 吸水率2.24%, F.M. 3.03)を用いた。鉄筋は、D-6及びD-10の2種類とし、その応力-ひずみ曲線は図-1に示す通りである。

コンクリートの配合は、表-1に示すように水セメント比50%で、鋼纖維混入率(V_f)を $0 \sim 2\%$ まで変化させた。載荷試験時(材令6週~7週)におけるコンクリート強度をあわせて表-1に示す。

実験に用いた供試体は、図-2及び図-3に示す鉄筋コンクリート梁及び鉄筋コンクリート版で、梁に関してはその高さを 5 cm ($d = 4.5 \text{ cm}$)とし、

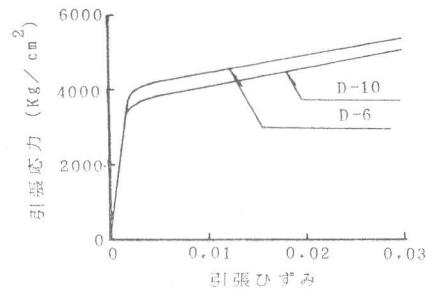


図-1 実験に使用した鉄筋の

応力-ひずみ曲線(D-6

及びD-10)

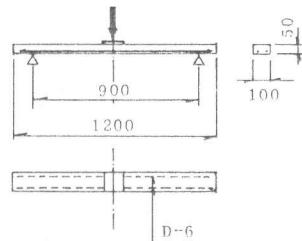


図-2 鉄筋コンクリート梁

表-1 コンクリートの配合表

W/C (%)	S/a (%)	V_f (%)	単位量 (kg/m³)					スラブ (cm)	引 張 強 度 (kg/cm²)	曲 げ 強 度 (kg/cm²)
			水	セメント	細骨材	粗骨材	鋼纖維			
5.0	4.8	0	195	390	863	960	0	15.0	536	51.5
5.0	4.9	0.5	206	412	851	909	3925	10.0	560	53.7
5.0	5.9	1.0	218	436	987	704	78.5	10.0	581	76.5
5.0	7.8	2.0	244	488	1197	347	157.0	11.0	544	104

版に関してはその高さを 5 cm ($d = 4.5\text{ cm}$) 及び 10 cm ($d = 9\text{ cm}$) とした。鉄筋比は梁で 1.13% 、版で 0.79% である。荷重は梁及び版のいずれの場合にも $10 \times 10\text{ cm}$ の載荷板をかいして、一点集中載荷とした。スパンはいずれの場合も 90 cm で、厚さ 5 cm の版は 4 辺単純支持の場合と 2 辺単純支持の 2 種類を、厚さ 10 cm の版は 2 辺単純支持の場合のみについて実験を行った。載荷は静的載荷とし、最大耐力が得られるまで載荷した。

3. 実験結果

3.1. 鉄筋コンクリート梁の性状

鋼纖維混入率が異なった場合に鉄筋コンクリート梁のひびわれ荷重、鉄筋降伏荷重 ($\epsilon_s = 2.000\mu$) 及び最大荷重がどう変化するかを図-4に示す。また、荷重-たわみ曲線及び荷重-鉄筋ひずみ曲線を図-5及び図-6に示す。

図-4より明らかのように、梁の鋼纖維混入率が増大するにつれ、ひびわれ荷重、鉄筋降伏荷重及び最大荷重のいずれもが増加しているが、その増加量はいずれの場合にもほぼ同程度である。また、図-5及び図-6より明らかのように、鋼纖維混入率の高いものほど鉄筋降伏までの剛性が大きく、ひびわれ発生後も鉄筋の荷重分担力は小さい。

これらの結果から、鋼纖維補強コンクリートを用いた場合には梁に生じる引張力をある程度コンクリートが分担しており、鉄筋降伏後もその分担力は急激には減少しないものと考えられる。

3.2. 鉄筋コンクリート床版の性状

鉄筋コンクリート版の場合、その性状は支点条件によって異なっている。このことは写真-1～写真-4に示した版底面のひびわれ状態からも明らかである。

2辺支持の条件で載荷した場合の荷重-たわみ曲線を図-7に示す。図-7及びひびわれ状態図からも明らかのように、2辺支持の条件で載荷した場合、鋼纖維混入率の大きなものほど梁としての性状に近いものとなっている。また、鉄筋降伏後、鋼纖維を混入していない普通コンクリートの場合には、版厚 5 cm のものは載荷部分が押しぬけて破壊した。しかし、鋼纖維補強コンクリートではそのような破壊は生ぜず、変形が進んで荷重が上らなくなってしまった。

4辺支持の条件で載荷した場合の荷重-たわみ曲線を図-8に示す。図-8及びひびわれ状態図からも明らかのように、鋼纖維

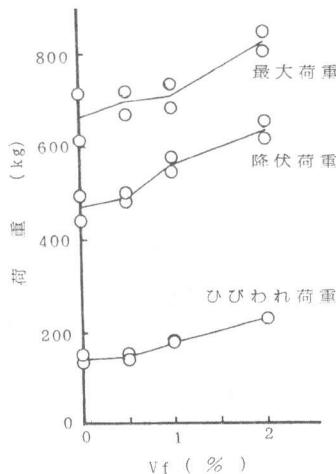


図-4 鉄筋コンクリート梁の耐力比較

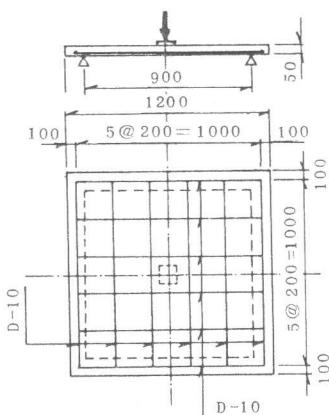


図-3 (a) 鉄筋コンクリート床版
(一方向版及び二方向版、厚さ 5 cm)

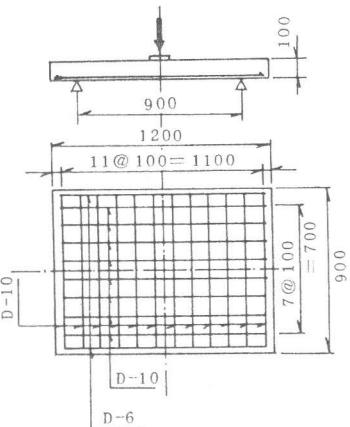


図-3 (b) 鉄筋コンクリート床版

(一方向版、厚さ 10 cm)

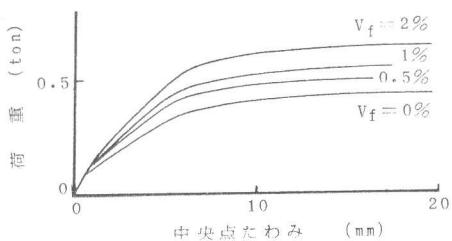


図-5 鉄筋コンクリート梁の荷重-たわみ曲線(中央点)

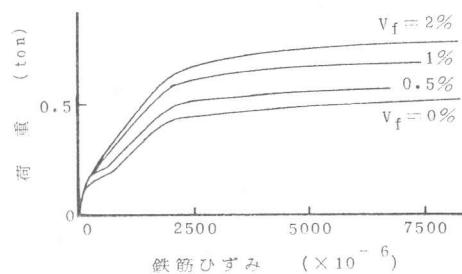


図-6 鉄筋コンクリート梁の荷重-鉄筋ひずみ曲線(中央点)

混入の有無にかかわらず、放射状のひびわれが発生し、2方向版としての性状が認められる。また、鉄筋降伏後、いずれの供試体の場合にも載荷部分の押しつぶし又は、めり込みが生じた。図-9は4邊支持の場合におけるひびわれ荷重、鉄筋降伏荷重、最大荷重等と鋼纖維量との関係を示したもので、図-4に示した梁の場合と同様、鋼纖維混入率の高いものほど高い荷重を示している。

4. 鋼纖維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力機構に関する検討

上述の梁及び版の実験結果について、鋼纖維補強コンクリートの両引き試験²⁾から得られた応力-変形曲線を用いて検討を行った。

両引き試験で得られた応力-変形曲線をモデル化したものが図-10である。このモデルでは鋼纖維混入率の大きいものほど引張耐力は高く、最大耐力に達した後耐力は減少し一定値となるが、その一定となる耐力は鋼纖維混入率の大きいものほど高い。なお、最大耐力到達後その耐力の減少する割合は実験結果を考慮して一定とした。

一方、鋼纖維補強コンクリートの圧縮応力下における応力-変形曲線に関しては³⁾10×20cm供試体から得られた実験値を用い、Popovicsの式⁴⁾にてあてはめると、圧縮歪み ϵ として次式となる

$$\sigma = 550 \cdot (\epsilon / 0.003) \cdot n / \{n - 1 + (\epsilon / 0.003)^n\} \quad (n=2.5)$$

この式では最大耐力以後の鋼纖維補強コンクリートの性状と必ずしも一致しないが、最大耐力到達までの性状は十分近似できているものと考えられる。(図-11参照)

これらの鋼纖維補強コンクリートの圧縮及び引張応力下の応力-変形曲線と、図-1に示した鉄筋の応力-変形曲線を直線近似させたものとを用いて上述の梁及び版の検討を行った。

図-12は鋼纖維混入率を変化させた場合の3.1に述べた鉄筋コンクリート梁の荷重-鉄筋ひずみの計算値である。なお、図に示



写真-1 1方向版 ($V_f=0\%$, $H=5\text{cm}$)



写真-2 1方向版 ($V_f=2\%$, $H=5\text{cm}$)

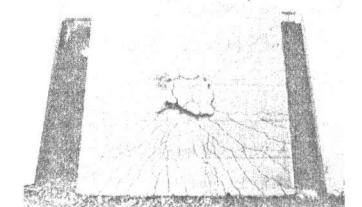


写真-3 2方向版 ($V_f=0\%$, $H=5\text{cm}$)



写真-4 2方向版 ($V_f=2\%$, $H=5\text{cm}$)

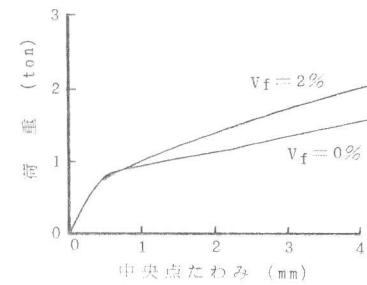


図-7 一方向版中央たわみ曲線 (5cm)

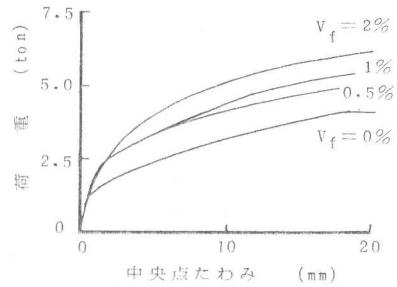


図-8 二方向版中央たわみ曲線

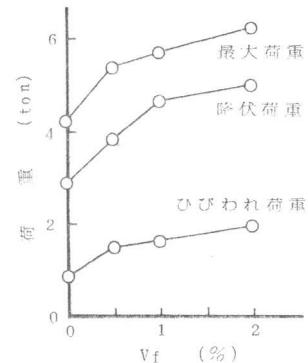


図-9 二方向版の耐力比較 (厚さ5cm)

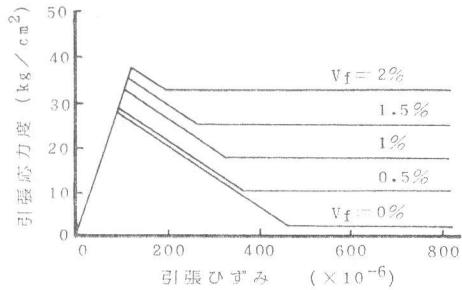


図-10 引張応力-変形モデル

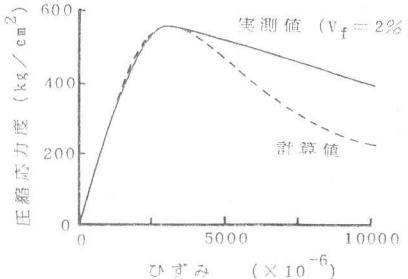


図-11 圧縮応力-ひずみ曲線の1例

した計算値の仮定条件は図中に示した通りで、また参考のために従来のRC理論による計算値を破線で示した。この図を図-6と比較すると明らかかなように、ひびわれ発生後の鉄筋の荷重分担割合と鋼纖維混入率の関係や、鉄筋降伏後の性状はほぼこの計算モデルで説明できるものと思われる。即ち、鋼纖維補強コンクリートでは、引張強度到達後の残留耐力が普通コンクリートに比べ高いためひび割れ発生後も梁の引張力はある程度分担でき、その結果鉄筋コンクリート梁の耐力も増大する。

このモデルの妥当性を調べるために、鉄筋降伏時の鉄筋コンクリート梁及び版の荷重と計算値とを比較したものを表-2に示す。鉄筋コンクリート梁に関しては、 $1/20\text{ mm}$ 精度のノギスを用いて測定した実寸法を用いて計算したため、同じ条件の2本の供試体の計算値でも異なったものとなった。床版については実寸法の測定が不可能であったため、設計値を用いて計算を行った。一方向版はいずれも梁と考えた場合の値であるが、二方向版は鉄筋降伏時の抵抗モーメントを求め、3.2に示したひびわれ性状を考慮し降伏線理論を用いて計算したものである。(集中荷重と仮定した)

表-2から明らかかなように、鉄筋コンクリート梁に関しては多少のバラツキはあるもののほぼ実験値に近い値が求められており本モデルは基本的には妥当なものであると考えられる。一方向版に関しては、さらに有効幅に関する検討等が必要であると思われる。二方向版に関しては本実験の範囲では実験値とも良い一致を示したことから、本モデルを用い降伏線理論による解析を行う方法は他の場合でも1つの目安になるものと思われる。

5. 結論

鋼纖維補強コンクリートを用いた部材高さの小さい鉄筋コンクリート梁及び版に関する検討の結果次のことが明らかとなった。

- (1) 鋼纖維補強コンクリートを用いると鉄筋コンクリート梁及び版の曲げ剛性は大きく、ひびわれ発生荷重、鉄筋降伏荷重及び最大荷重のいずれも鋼纖維混入率の大きいものほど高く、押ししぬきせん断に対しても効果がある。
- (2) 本研究で用いた鋼纖維補強コンクリートのモデルは、鉄筋コンクリートの場合にも十分適用できるものと考えられる。しかし、使用する纖維種類、部材断面等が本研究で取り上げたものと異なる場合には纖維の配向等を考慮に入れたモデルでの検討を行う必要がある。

6. あとがき

本研究は、東京大学 小林一輔教授の御指導のもとに行われたものであり、本研究費の一部は昭和57年度文部省科学研修費補助金一般研究A(代表:小林一輔)によったものであることを付記する。

参考文献

- 1) 例えば 小林一輔: 繊維補強コンクリート特性と応用一, オーム社, 1981
- 2) 小林, 趙: 鋼纖維補強コンクリートのひびわれ拘束性能の試験方法, 土木学会論文報告集No.300, 1980.8
- 3) 古越, 魚木, 西村: 鋼纖維補強コンクリートを用いた梁の曲げ性状に関する基礎的研究, 第5回JCIA年会, 1983
- 4) S.Popovics:A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curve of Concrete, C. & C.R. Vol.3, No.5, 1973

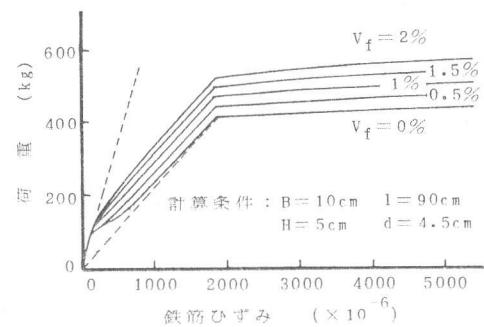


図-12 鉄筋コンクリート梁の計算値

表-2 実験値と計算値の比較

種類	V_f	(σ_p) Perack	(σ_p) Pyield	(σ_p) Pmax	(σ_p) Pycal	$\frac{Pyield}{Pycal}$
梁	0	150	503	722	408	1.24
	0	130	430	602	461	0.93
	0.5	140	483	728	460	1.05
	0.5	148	490	660	429	1.13
	1	170	574	735	462	1.24
	1	180	543	680	508	1.07
	2	225	613	804	589	1.04
	2	230	650	844	620	1.05
一 方 5 向 cm 版	0	735	2135	2820**	2302	0.93
	2	800	2950	3820	3348	0.88
	0	2650	7580	11400	9662	0.78
	2	3090	9650	14560	13770	0.70
二 方 向 版	0	910	2920	4225**	3530	0.83
	0.5	1503	3850	5400**	3741	1.03
	1	1660	4640	5700	4400	1.05
	2	1970	4980	6257	5165	0.96

* 供試体の実寸法を用いて計算した。** 押ししぬけが生じた。