

東京都土木技術研究所

正員 〇 兵 戸 薫
" 関 口 幹 夫

1. まえかき

近年、鋼繊維補強コンクリート（以下SFRCと記す）が研究開発され、舗装等へ実用化もされている。このSFRCを道路橋床版のように大きな活荷重を直接受ける薄肉部材に適用すれば、その力学的諸特性から、剛性が大きく、疲労等に対する耐久性のすぐれたRC構造物になると考えられる。しかし、SFRCをRC構造物に適用した場合の報告は少なく、鋼繊維の混入効果は明らかにされていない。そこで、本報文は鋼繊維混入率を変えたRC単純桁の曲げ試験を行い、曲げ・ひびわれ性状等から鋼繊維混入効果について報告する。

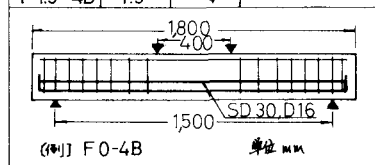
表-1

2. 実験概要

鋼繊維はせん断異形ファイバー（ $0.25 \times 0.50 \times 25 \text{ mm}$ ）を使用し、混入率は容積比で0%（F0）、0.5%（F0.5）、1.0%（F1.0）、1.5%（F1.5）の4種類とした。配合はW/CとWを一定とし、スランパが $8 \pm 2 \text{ cm}$ となるように高性能減水剤の添加量とS/aを変化させ、表-1のように決定した。試験桁の種類と形状寸法を表-2に示す。SFRCの混合は、ファイバボールも生ぜず鋼繊維は一様に分散されていた。載荷方法は、スパン150cmの単純支持とし、載荷スパン40cmの中央2点集中載荷とした。載荷は3サイクルの静的載荷とし、1, 2サイクルはひびわれ幅0.2mmを上限荷重とした。規定項目は、ひびわれ発生荷重（初期および目視）、たわみ、ひびわれ幅、ひびわれ進行状況（微視的および目視）等である。

表-2

桁名称	鋼繊維混入率%	主鉄筋本数	断面諸元
F 0-2B	0	2	
F 0.5-2B	0.5	2	
F 1.0-2B	1.0	2	
F 1.5-2B	1.5	2	
F 0-4B	0	4	
F 0.5-4B	0.5	4	
F 1.0-4B	1.0	4	
F 1.5-4B	1.5	4	



3. 結果

〔たわみ〕……1サイクル載荷時の桁中央のたわみを図-1に示す。F0-2Bは鉄筋比が1.2%と比較的小さな値であるため、ひびわれ発生以後のたわみ量の増加割合が大きい。しかし、鋼繊維混入率（ P_f ）の増加に伴い、その割合は低減され、F1.0-2BはF0-4Bと同等となる。したがって、 P_f の増加はあたかも鉄筋比を増加したことと同じ効果をもつ。このように、SFRC桁でたわみ低減効果がみられるのは、ひびわれ以後の曲げ剛性（EI）が大きく、Iが大きいことを示している。

ここで試験桁のひびわれ区間を桁中央から50cmとしたときの、断面足損部と単位荷重によるたわみとの関係を図-2に示す。ここに、2サイクル載荷時のたわみ曲線から得た単位たわみ量をプロットすると、0.2mmのひびわれを生じた後でも、 P_f の増加に伴い断面足損部は減少する。このことから、ひびわれ後

図-2

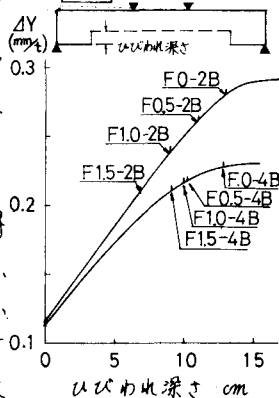
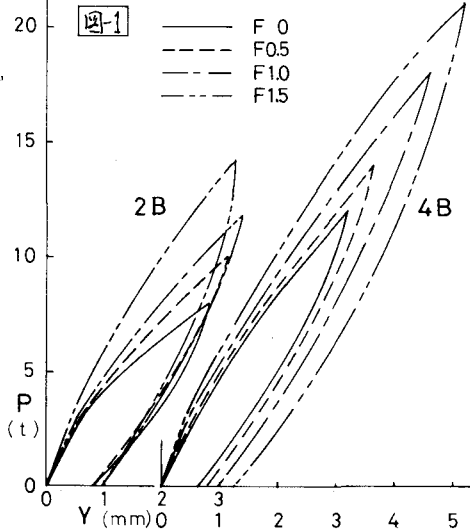


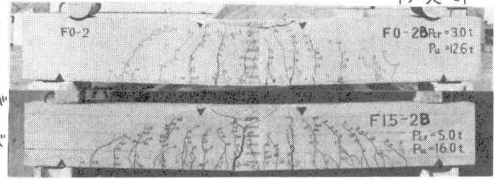
図-1



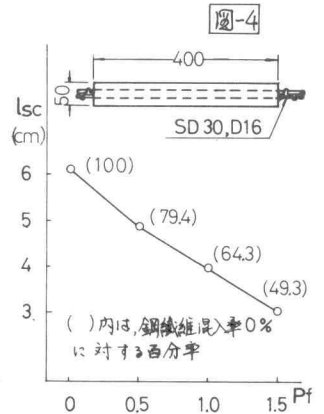
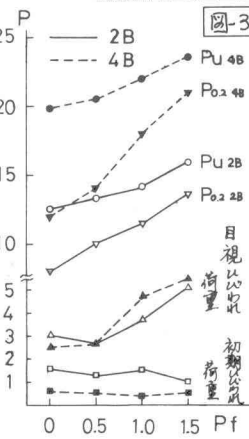
でも引張部分のコンクリートは鋼繊維によって連結され、有効断面が増加するものと考えられる。

写真-1

【ひびわれ】……図-3に示すように、超音波伝播速度の変化でとらえた初期ひびわれ荷重は、 P_f にかかわらず一定値を示す。しかし、目視ひびわれ荷重は P_f の増加によって増大する。したがって、鋼繊維は曲げひびわれを拘束する効果は小さいが、ひびわれ幅の増加を拘束する効果を有する。このひびわれ拘束効果によって、0.2mmのひびわれに達する荷重($P_{0.2}$)と終局荷重(P_u)との比も、 P_f の増加とともに大きくなる。特に、F1.5-4Bでは、 $P_{0.2}/P_u$ が90%にも達する。また、ひびわれ本数も写真-1に示すように増加し、ひびわれの進展速度も遅くなる。



【両引き試験】……ひびわれ分散効果を定量的に把握するために、SFRCの両引き試験を行った。図-4に試験結果を示す。定常ひびわれ状態に達したときの平均ひびわれ間隔(l_{sc})は P_f の増加に伴い直線的に減少する。 l_{sc} は一般に $l_{sc} = \frac{A_c \cdot \sigma_{ct}}{C \cdot u \cdot \tau_{max}}$ (1) で表わされる。ところがSFRCのひびわれ断面では、鋼繊維によってコンクリート間には P_f にみあった引張応力(σ_{ft})が作用すると考えられ、(1)式を $l_{sc} = \frac{A_c}{C \cdot u \cdot \tau_{max}} (\sigma_{ctf} - \sigma_{ft})$ とおく (σ_{ctf} : SFRCの引張強度)。ここで、 $\sigma_{ft} = \alpha \sigma_{ctf}$, $\sigma_{ctf} = \beta \sigma_{ct}$ と変換し、 $l_{sc} = C' \beta (1 - \alpha)$ と表わす ($C' = A_c \sigma_{ct} / C u \tau_{max}$ は定数と考える)。ここに実験定数を代入し解析した結果を表-3に示す。ここに示した $\alpha \beta \sigma_{ct}$ ($= \sigma_{ft}$) は、1cm²あたりの鋼繊維引抜き力とほぼ同じで、解析結果の妥当性を裏付けている。



【終局荷重】……すべての荷は曲げ破壊した。終局荷重(P_u)は図-3に示すように、 P_f の増加に従って増大し、その増加量は2Bも4Bもほぼ同量であり、 P_u の鋼繊維混入効果はその混入率によって決定される。このことから、終局モーメントの算定式は、従来の M_u 算定式に、鋼繊維の引抜き抵抗力を付加することで解析できる。終局状態でのひびわれと応力を図-5のように仮定し、 M_u 算定式と

配合 種別	実験定数 l_{sc}	実験定数 β	解析結果 α	解析結果 $\alpha \beta \sigma_{ct}$	1cm ² あたりの 鋼繊維引抜き力	1cm ² あたりの 鋼繊維引抜き力
F0	6.13	1.00	0.	0.	0.	0.
F0.5	4.87	1.03	0.228	6.4	1.47	9.3
F1.0	3.94	1.16	0.446	14.1	2.95	18.6
F1.5	3.02	1.49	0.669	27.2	4.42	27.8

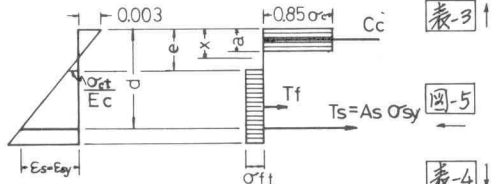


表-3 ↑

図-3に示すように、 P_f の増加に従って増大し、その増加量は2Bも4Bもほぼ同量であり、 P_u の鋼繊維混入効果はその混入率によって決定される。

このことから、終局モーメントの算定式は、従来の M_u 算定式に、鋼

桁名称	P_f	σ_{ct}	σ_{ctf}	x	$h-e$	$M_u \text{ calc}$	$P_u \text{ calc}$	$P_u \text{ test}$	test/calc
F0-2B	0	430	27.3	3.71	—	303,700	10.96	12.6	1.15
F0.5-2B	0.5	393	28.1	4.65	20.18	334,500	12.07	13.3	1.10
F1.0-2B	1.0	450	31.7	4.94	19.87	370,900	13.40	14.2	1.06
F1.5-2B	1.5	488	40.6	5.32	19.39	405,400	14.65	16.0	1.09
F0-4B	0	430	27.3	7.41	—	505,500	18.29	19.8	1.08
F0.5-4B	0.5	393	28.1	8.42	16.26	521,800	18.88	20.5	1.09
F1.0-4B	1.0	450	31.7	8.31	16.36	560,200	20.28	22.1	1.09
F1.5-4B	1.5	488	40.6	8.46	16.08	593,300	21.48	23.6	1.10
単位	%	kg/cm ²	kg/cm ²	cm	cm	kg-cm	t	t	—

表-4 ↓

鋼繊維の引抜き抵抗力を付加することで解析できる。終局状態でのひびわれと応力を図-5のように仮定し、 M_u 算定式と $M_u = A_s \sigma_{sy} (d - \frac{a}{2}) + \sigma_{ft} b (h - e) (\frac{h + e - a}{2})$ (2) において、 a と x の関係式 $0.85 \sigma_c \cdot a \cdot b = A_s \sigma_{sy} + \sigma_{ft} b (h - e)$ に e と x , a と x の関係式を代入して、 e と a を求め、(2)式によって M_u を算定した。結果を表-4に示す。これによると、(2)式の右辺第2項は鋼繊維による M_u の増加量をよく表わしており、実用的には(2)式で M_u を推定できる。

4. あとがき

SFRCをRC構造物の曲げ部材に適用した場合、最も顕著な効果はひびわれ分散効果である。この効果によって、たわみを減じ、剛性が大きく、ひびわれに対する安全度も向上し、耐久性的構造物とすることができる。また、今後の検討課題として、耐疲労性能や耐震断性能等を検討する必要がある。なお、本実験に多大な尽力をいただいた、須山氏ならびに井口 山崎両君に感謝の意を表します。