

東京大学 (受託研究員) 正員 原田 修 輔
東京大学 (大学院) 学員 二 羽 淳一郎

1. まえがき.

コンクリート構造部材にせん断補強材として鋼繊維を利用する事に関する研究は少なく、その補強効果については、十分に把握されていない。しかし、一般的に、鋼繊維補強コンクリートの材料特性、すなわち、せん断強度、引張強度、及びタフネスが高いという特性から、鋼繊維のせん断補強効果は次の様に見える。つまり、

i). 引張耐力面におけるせん断伝達力が高い。 ii). 主鉄筋に沿った割裂破壊を防ぎ、*dowel action* の効果を大きくする。 iii). 圧縮部への引張力の進展を防ぐ。 の三つの効果である。

本研究は、上述の鋼繊維のせん断補強効果に影響すると考えられる要因を变化させた数種の梁を作成し、これらの破壊形式、破壊耐力を検討し、せん断耐力の定量化を試みたものである。

2. 実験概要

本実験では、鋼繊維でせん断補強した鉄筋コンクリート梁のせん断耐力に影響を及ぼすと考えられる要因として、有効高さ (d)、せん断スパン有効高さ比 (a/d)、鉄筋比 (p)、コンクリート強度 (f_c)、鋼繊維添加率 (V_f)、鋼繊維の種類、を考えた。表-1に、供試体の諸元を示す。なお、 $a/d = 1.5$ の供試体の引張鉄筋は、定着長を確保するため折上りしてある。載荷試験方法は、図-1に示すような方法にて行い、各載荷ステップにて、変位の測定及び、引張力の追跡を行った。

3. 実験結果及び考察

各供試体の破壊耐力及び破壊モードは、表-1の中に示す通りである。

鋼繊維のせん断補強効果を定量化するためには、腹部を補強しない場合のせん断耐力を求めることが必要とな

ってくる。腹部を補強しない鉄筋

コンクリート梁に対して、 a/d が

より小さい場合、また精度の高

い耐力算定式は得られていないが、

a/d が、3以上とすると精度の良い

耐力算定式が得られている。し

たがって、本研究では、 a/d が 3

以上の範囲に対して、以下に示す式

を用いて、検討する事とした。

$$a/d \geq 3.0$$

$$T = 0.94 f_c^{1/4} (0.75 + 1/a) (\beta_d + \beta_p + 1) \dots (1)$$

$$\beta_p = \sqrt{100p} - 1 \leq 0.732$$

$$\beta_d = (100/d)^{0.25} - 1$$

図-1
供試体
の形状

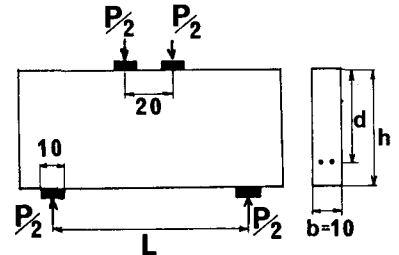


表-1. 供試体の諸元および破壊耐力

No.	a/d	h	d	p	fy	fc'	L	SF	Vf	Pu	Mode
T1	3.5	15	11.5	1.73	4171	390	100.5	K	0.75	4.5	FT
T2	3.5	25	21.5	3.60	3902	390	170.5	K	0.75	10.1	SS
T3	1.5	15	11.5	3.46	4171	387	54.5	S	0.75	19.9	FT
T4	1.5	25	21.5	1.85	4171	387	84.5	S	0.75	21.3	AT
T5	1.5	15	11.5	1.73	4171	410	54.5	K	1.50	11.3	FT
T6	1.5	25	21.5	3.60	3902	410	84.5	K	1.50	32.0	SS
T7	3.5	15	11.5	3.46	4171	401	100.5	S	1.50	8.3	FT
T8	3.5	25	21.5	1.85	4171	401	170.5	S	1.50	9.5	FT
T9	3.5	15	11.5	1.73	4171	528	100.5	K	0.75	4.8	FT
T10	3.5	25	21.5	3.60	3902	528	170.5	K	0.75	11.5	SS
T11	1.5	15	11.5	3.46	4171	557	54.5	S	0.75	21.0	FT
T12	1.5	25	21.5	1.85	4171	557	84.5	S	0.75	22.8	AT
T13	1.5	15	11.5	1.73	4171	579	54.5	K	1.50	12.9	FT
T14	1.5	25	21.5	3.60	3902	579	84.5	K	1.50	39.5	FT
T15	3.5	15	11.5	3.46	4171	581	100.5	S	1.50	8.2	FT
T16	3.5	25	21.5	1.85	4171	581	170.5	S	1.50	9.7	FT
B1	1.5	15	11.5	3.46	4171	222	54.5	S	0.75	14.0	FC
B2	1.5	25	21.5	1.85	4171	222	84.5	S	0.75	18.3	AT
B3	3.5	15	11.5	3.46	4171	245	100.5	S	1.50	5.7	SS
B4	3.5	25	21.5	1.85	4171	245	170.5	S	1.50	6.3	SS
B5	3.5	15	11.5	1.73	4171	245	100.5	K	0.75	4.9	FT
B6	1.5	15	11.5	3.46	4171	246	54.5	S	0.75	15.8	AC
B7	1.5	25	21.5	1.85	4171	246	84.5	S	0.75	18.0	SS
B8	1.5	15	11.5	1.73	4171	266	54.5	K	1.50	11.1	FT
B9	1.5	25	21.5	3.60	3902	266	84.5	K	1.50	26.1	AT
B10	3.5	15	11.5	3.46	4171	283	100.5	S	1.50	5.8	SS
B11	3.5	25	21.5	1.85	4171	283	170.5	S	1.50	6.7	SS

今回の実験において、 $a/d = 3.5$ の場合、せん断破壊の形式は、いず

unit:h,d,L[cm],p,Vf[%],fy,fc'[kg/cm²],Pu[t],SF:Type of Steel Fiber,FT:Flexural Tension,FC:Flexural Compression,SS:Shear Slip,AT:Arch Tension,AC:Arch Compression

れの場合も、斜めせん断ひびが、供試体上縁に達し、供試体が上下にずれる様な斜め引張破壊であった。また、鋼繊維によるせん断補強効果は、 V_f が高い程、 d が小さい程、高くなる傾向が窺われた。

腹部の補強のない鉄筋コンクリート梁の場合、 a/d が3以上になると、鉄筋の定着部の破壊が、せん断耐力の支配的要因となるとは少なく、ほとんどの場合が斜め引張破壊である。したがって、 a/d が3以上の梁における鋼繊維のせん断補強効果は、ひびわれ面に存在する鋼繊維によって、ひびわれ面におけるせん断伝達が大きくなる効果と圧縮部へひびわれが進展することを防ぐ効果が大きいと考えられる。

(1)式の中で、 βd は主として、ひびわれ内面でのせん断伝達の効果を表わすという、物理的意味を持っていると考えられる。したがって、鋼繊維でせん断補強した鉄筋コンクリートの場合、鋼繊維がひびわれを拘束する効果により、ひびわれ内面でのせん断伝達が増加すると考えられるので、 βd の項に鋼繊維添加量 V_f の函数からなる補正項を導入し、みかけ上 d を低減させて、 βd の値を増加させることにより、鋼繊維のせん断補強効果を表現することとした。

以上の仮定より、鋼繊維補強コンクリートを用いた鉄筋コンクリート梁のせん断耐力の推定式として、(1)式の βd を次のように修正した。

$$a/d \geq 3 \text{ に対して、 } \beta d = (\alpha \times 100/d)^{0.25} - 1 \quad \text{ここで、 } \alpha: \begin{array}{l} V_f < 0.2\% \text{ のとき } \alpha = 1 \\ V_f \geq 0.2\% \text{ のとき } \alpha = 1 + 7(V_f - 0.2)/(1 + V_f) \end{array}$$

この補正項を導入した式を、本実験の結果、及び既往の研究結果に適用し、推定せん断耐力の精度を検討したものが、図-2である。この場合の変動係数は、9.0%であり、上記の補正は鋼繊維の効果と比較的精度よく表現しているものと思われる。

4. あとがき

本実験の結果、鋼繊維でせん断補強した鉄筋コンクリート梁のせん断耐力を推定する式が得られたが、鋼繊維コンクリートの場合、不確定要素が多く、推定値のバラツキは大きくなった。本文のせん断耐力推定式は、鋼繊維のせん断補強効果を、鋼繊維容積のみで評価しようとするものであり、鋼繊維の寸法、形状等が、せん断補強効果に与える影響は考慮していない。そこで、今後の方針としては、これら鋼繊維の形状、寸法等の影響を顕著に代表すると考えられる鋼繊維コンクリートの曲げ強度を、算定式中に取り入れることを目的としている。

(謝辞)

本研究において、終始、御指導を賜りました、東京大学、岡村 南博士、東京大学、小林一輔 博士、並びに東京都立大学、山崎 淳 博士、実験に協力していただいた東京大学コンクリート研究室の皆様へ、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) Okamura, H.; Higai, T.: Proposed Design Equation for shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement. Proc. of JSCE, 1980, 8
- 2) 藤野、小林、魚本、「鋼繊維補強コンクリートを用いたRC梁のせん断特性に関する基礎的研究」JSCE, 第3回年報論文集
- 3) 北原、原、「鋼繊維補強コンクリート梁の破壊耐力について」Fiber concrete シンポジウム 1978
- 4) 白川、小山、「鋼繊維コンクリート梁のせん断破壊挙動について」
- 5) G. Batson, E. Jenkins, R. Spratney, "Steel fibers as shear reinforcement in beams" ACI Journal, 1972, 10

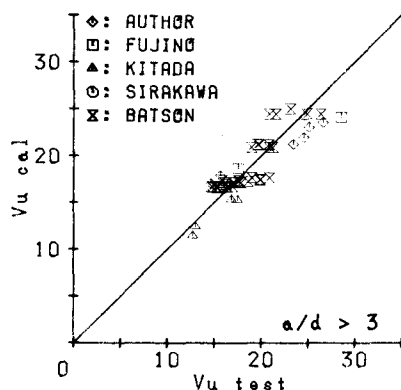


図-2 推定値と実験値の比較