

[125] 鉄筋コンクリートコーベルのせん断強度と鋼繊維による補強について

正会員 ○原 忠 勝 (日本大学)
正会員 北 田 勇 輔 (日本大学)

1. はじめに

ディープビームやコーベル(又はブラケット)はせん断力の影響が大きいために、一般の梁理論として扱う事の出来ない要因、例えば応力分布の非線形、一方では、破壊がせん断破壊先行型となり易くなるなど、解析上不利な条件が加わり、これらの問題を複雑にしていると云われている¹⁾。

本文に於ては、これら曲げモーメントに比べてせん断力の影響の大きい領域($a/d \leq 1.0$)での鉄筋コンクリート部材としてコーベルを取り上げ、既往の研究結果をとりまとめて耐力機構に対する若干の考察を加え、これより主鉄筋の応力変化に着目し簡単な仮説を設け、鉄筋コンクリートコーベルの終局せん断強度を算定し、これらの結果と比較した。

また、この種の部材に対するせん断補強材としての鋼繊維の利用について、鋼繊維混入率及び a/d を変化させた試験体について実験を行い、先に著者らが行った実験結果^{2), 3)}と併せてせん断補強材としての補強効果則について検討を行った。

2. 鉄筋コンクリートコーベルに関する研究の概要

既往の結果より見た鉄筋コンクリートコーベルの終局せん断強度の概略は、図-1に示す如く、 a/d の増加に伴って減少し、ほぼ一定耐力に近づく傾向を示している。また、耐力機構はコンクリート強度及び鉄筋量が同一であっても、部材形状によって異なっている。これは図中 P.Desayi¹⁰⁾の結果より明らかで、梁部材の場合、この領域に於ては a/d に関係なくほぼ一定値である。

これらコーベルの性状については光弾性試験を併用した G.Franzらの報告⁴⁾があり、これらをタイ材としての引張力、載荷点から柱部材との境界部下方へ向うストラット力及びせん断力によって受け持たれるとし、単純化したトラス理論を提案している。

その他、これらは(1)割裂モードによる場合^{5)~11)}(2)せん断摩擦理論^{12), 13)}(3)経験式¹⁴⁾などに大別される。これら各研究者による算定式の比較は図-2に示す通りで、計算に用いた数値は著者らが行った実験結果²⁾を引用したものである。この仮定断面及び材料強度による場合、Mast¹²⁾及びMattock¹³⁾によるせん断摩擦理論はかなり大きく耐力を推定する事になる。

また、これらの中にはディープビームの算定式も用いているが、図に示す如く、各算定式は $a/d \leq 1.0$ の狭い領域にもかかわらず同一な傾向を示していない。

これより、各算定式が適用される領域は限定されるように思われ、この点では経験式による Kriz らの提案¹⁴⁾

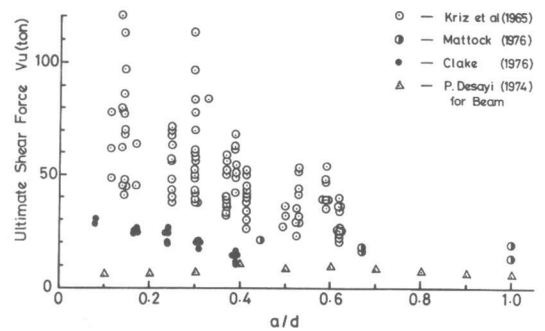


図-1 終局せん断強度と a/d に関する既往の結果

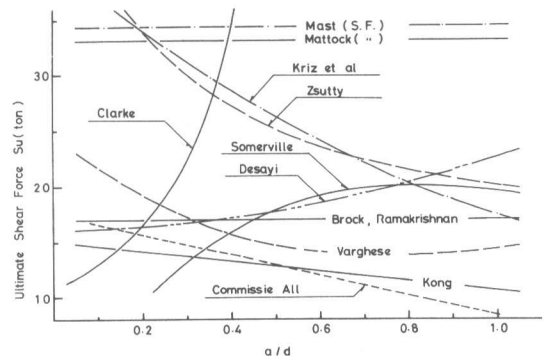


図-2 既往の算定式の比較

$\rho_{st} = 1.224\%$ ($\sigma_{sy} = 3580 \text{ kg/cm}^2$)
 $\sigma_{cc} = 290 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{ct} = 18 \text{ kg/cm}^2$
 $b = 15 \text{ cm}$, $d = 35 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$

が比較的实验結果を満足しているように考えられる。

3. 実験概要

実験に用いた試験体は柱部材に対称に台形のコーベルを有するもので、図-3に示す通りである。ここでは a/d による影響を検討するために a/d を、0.6, 0.4, 0.2の三種とし、鋼繊維には平形(0.3×0.3×30mm, $l/d_f = 60$)のものを用いた。鋼繊維補強との比較に用いた水平スターラップの量は、これ迄の $A_v = (1/3 \sim 1/4) A_{st}$ の範囲では顕著な効果が見受けられなかった³⁾ので、ここではACI 318-77に基づき $A_v \approx 0.5 A_{st}$ とした。

このうち、コンクリートの各種強度は表-1に示す通りである。

4. 実験結果及び考察

初期ひびわれは柱部材とコーベル境界部より発生するが、比較的長さの短いもので、補強方法及び混入率の影響は見受けられなかった。また、斜めひびわれ発生時のせん断力は、図-4に示す如く、 a/d が小さい場合、斜めひびわれに対する鋼繊維の補強効果を期待するには混入率を多くする必要があるように思われる。これは a/d が小さい場合、せん断力の影響がより大きいために純せん断的な挙動を示すと思われ、付着長さ及び定着長さの十分とれるスターラップの方がその力を発揮するものと考えられる。

さらに、終局せん断強度も同様な傾向を示したが、図-5に示す如く、耐力的にはスターラップ補強の場合に近いものとなった。しかし $a/d = 0.6$ の場合、水平スターラップ量を増しても設計耐力 $S = 15$ tonまで至っておらず、鋼繊維による補強の方がせん断補強材としての効果を期待出来るように思われる。

4-1. 鉄筋コンクリートコーベルのせん断強度

荷重下に於ける試験体の挙動は、まず、柱部材との境界部より曲げひびわれの発生を見、次いで、ストラット上に斜めひびわれが発生し、これが十分発達したのち破壊に至った。よって、これらコーベルの終局せん断強度は割裂モードによる場合^{3)~11)}に区分出来るように思われるが、耐力は主鉄筋量³⁾及び a/d (図-1, 5参照)によって顕著な影響を受けるので、割裂理論が適用される領域は限定されるように思われる。

これはコーベルの場合、写真-1, 2, 3に示す如く、曲げひびわれが常に定められた位置から発生するようになり、コーベル部の回転が a/d 及び主鉄筋量によりストラット力に影響を及ぼすためと考えられる。

よって、ここでは他のつり合い機構を考慮する事とした。これは主鉄筋応力の変化が、ほぼトラス又はアーチ的な性状を示す事から、主鉄筋をアーチのタイ材とし、斜めひびわれの発生するストラットをアーチの斜材として、せん断補強筋のないコーベルの終局せん断強度を求めた。

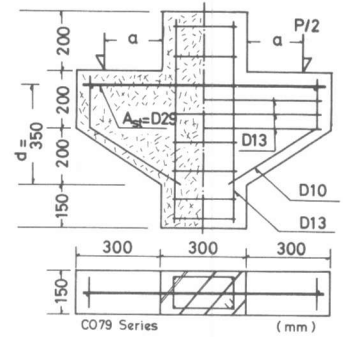


図-3 試験体の形状・寸法

表-1 コンクリートの各種強度の結果

Test Corbel C079 Series	d (cm)	a/d	$\sigma_{cc,2}$ kg/cm ²	$\sigma_{ct,2}$ kg/cm ²	$d\sigma_{ct,2}$ kg/cm ²	$\sigma_{cb,2}$ kg/cm ²
0.6 - 0 - 0	35.5	0.592	288.54	20.723	24.096	36.623
0.4 - 0 - 0	34.5	0.405	288.67	21.341	24.530	39.988
0.2 - 0 - 0	34.4	0.204	279.18	22.631	23.428	44.946
0.6 - 0 - S	34.1	0.617	282.31	21.188	24.033	34.518
0.4 - 0 - S	34.1	0.411	293.46	21.213	23.105	35.583
0.2 - 0 - S	34.7	0.202	277.74	20.828	21.932	33.226
0.6 - 0.5-0	34.6	0.606	309.81	26.143	26.081	38.915
0.4 - 0.5-0	34.0	0.411	335.018	27.998	45.889	26.123
0.2 - 0.5-0	34.7	0.202	325.01	27.949	26.568	44.465
0.6 - 1.0-0	33.6	0.624	338.59	30.587	25.673	45.706
0.4 - 1.0-01	35.2	0.398	339.11	26.875	26.541	44.440
1.0-02	34.2	0.409	320.19	29.118	24.740	47.278
0.2 - 1.0-0	34.5	0.203	251.423	27.709	27.348	51.316
0.6 - 1.5-0	34.1	0.615	319.38	38.134	29.029	68.954
0.4 - 1.5-0	34.1	0.411	313.04	35.574	29.203	61.351
0.2 - 1.5-0	33.8	0.207	294.26	34.610	29.072	56.096

notes: Shear Span $a = 21cm(a/d=0.6)$, $14cm(a/d=0.4)$, $7cm(a/d=0.2)$
Corbel Width $b = 13$ cm.

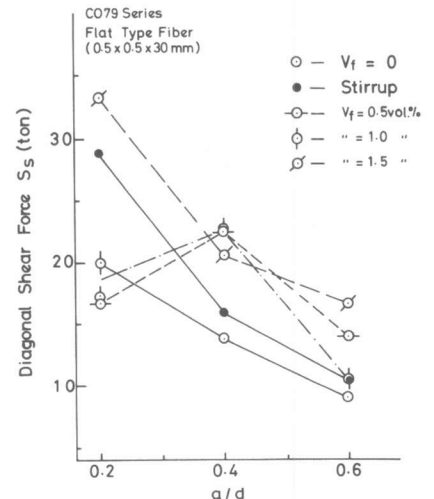


図-4 斜めひびわれ強度と a/d

図-6に示す如く、傾斜角を φ 、リブ幅を L_{rib} としたアーチを考える。図より、リブ幅は次式で表わされる。

$$L_{rib} = x \cos \varphi, \quad (1)$$

ここに、
$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{d-x/2}{a} \right) \quad (2)$$

これより、アーチの軸力に対する一般式は次式で表わされるから、

$$F_{rib} = S' \sin \varphi + H \frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (3)$$

$\alpha = 0$ とし、リブに働く圧縮応力はコンクリートの終局圧縮強度 σ_{cu} まで抵抗出来るものとし、 $\sigma_{cu} = K_3 \sigma_{cc}$ と

単純化すれば、
$$(4)$$

式(3)、(4)より終局せん断強度 S_u は次式で与えられる。

$$S_u = \frac{K_3 k \sigma_{cc} b d}{K_a} \left[\frac{1}{1 + (a/K_a d)^2} \cdot \frac{a}{d} \right] \quad (5)$$

ここに、 $k = x/d$, $K_a = (1 - k/2)$

式(5)はアーチリブの深さ係数 k を与える事によって求められるが、ここでは近似的に神山¹⁵⁾の仮定の如く、 $k = 0.2 \sim 0.3 \approx 0.25$ として実験値との比較を行った。

これらの結果は表-2に示す如くで、 $a/d = 0.6, 0.4$ の範囲では比較的良く一致すると思われるが、 $a/d = 0.2$ の場合、実験値が約3倍で、本式は過少に算定する事になる。これは k の値を一定値としたために a/d が小さくなるに従ってリブ幅が小さく計算される事と耐力機構が異なるためと思われる。

4-2 せん断補強材の補強効果

鉄筋コンクリートコーベルに於ける水平スターラップの性状について検討するために、コーベル境界部及び載荷点におけるスターラップのひずみ変化を測定した。各荷重時に於けるひずみの分布は、図-7に示すように、初期ひびわれ発生時に於てはほぼ直線分布を示した。しかし、斜めひびわれ発生時に於ては、主鉄筋のひずみが最大とならず、境界部及び載荷点下共に水平スターラップのひずみ値が最大値を示した。これはストラット上に発生する斜めひびわれ

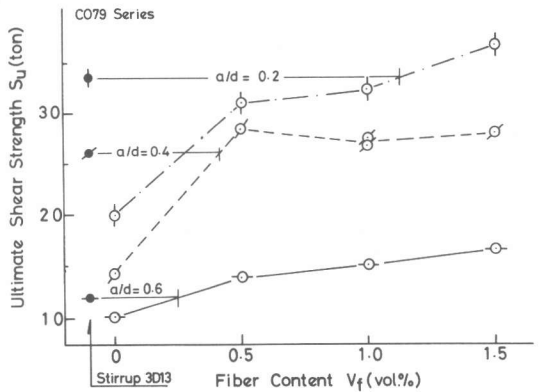


図-5 終局せん断強度と a/d

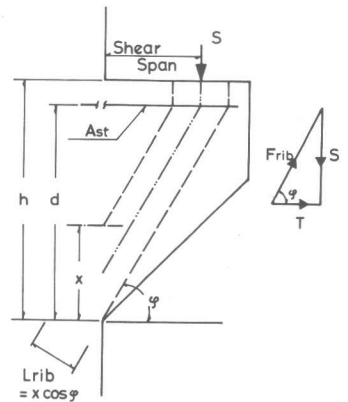


図-6 コーベルのつり合いモデル

表-2 実験値と計算値の比較

Test Corbel	S_u (exp)	S_u (cal)	$\frac{exp.}{cal.}$	
Co78-0-1	17.00	14.30	1.189	
	16.30	14.57	1.119	
Co78-0.5-0	15.00	14.34	1.046	
	1.25-01	16.65	15.87	1.049
	02	18.20	15.12	1.204
	2.0-0	24.30	17.35	1.401
Co79-0.6-0	10.10	15.15	0.666	
	0.4-0	14.35	12.10	1.186
	0.2-0	19.90	6.70	2.972

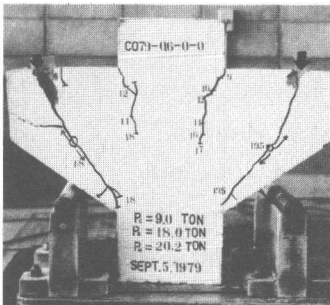


写真-1 破壊の様相
 $V_f = 0$ $a/d = 0.6$

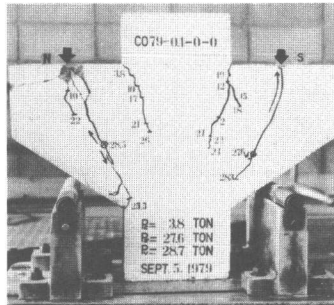


写真-2 破壊の様相
 $V_f = 0$ $a/d = 0.4$

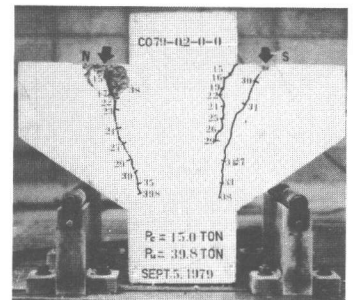


写真-3 破壊の様相
 $V_f = 0$ $a/d = 0.2$

の性状と関係があるように思われる。これより、この斜めひびわれの開口型式が中央が一番大きく、端部に閉じるような傾向を示している事から、円柱供試体の割裂試験結果と類似した補強性状を示すものと思われ、ここでは、図-8に示す如く、複合材料混合則¹⁶⁾により表示を行った。これらは a/d にもよるが、ほぼ直線的な関係で表示される。

5. まとめ

以上の結果より次の事が要約される。

- 1) 鉄筋コンクリートコーベルのせん断強度は a/d が同じでも、梁部材と異なった性状を示す。梁部材に於ては $a/d \leq 1.0$ の領域でほぼ割裂モードで表示しても良いように思われるが、コーベルの場合、 a/d 及び主鉄筋量などにより耐力機構が変わるように思われる。
- 2) アーチモデルによるせん断強度の計算値は、本実験の場合、 $a/d = 0.6$ 付近では比較的良好な結果が得られたが、アーチ機構が $a/d \leq 1.0$ の領域全てについて成立するとは云えず、さらに境界条件を考慮すべきである。
- 3) せん断補強材としての鋼繊維の補強効果は、概して水平スターラップより良い結果が得られた。これらの補強則は複合材料混合則¹⁶⁾で表示されるように思われ、図-9に示す如く、南荘¹⁷⁾によるディープビームの場合にも適用されるように思われる。

これよりコーベルのせん断強度は単一なモデルからは求める事は出来ず、特に $a/d < 0.3$ の領域での耐力機構をさらに検討すべきであると思われる。また、これらの補強方法として、鋼繊維の方が良いようであるが、スターラップを用いる場合の配置については、今後さらに検討が必要であるように思われる。

参考文献

- 1) ACI-ASCE Committee 426, proc. of ASCE, Vol.99, No. ST6, June, 1973, pp.1091-1187
- 2) T.Hara et al., 22nd Japan Cong. of Mat. Res., 1979, pp.368-372
- 3) T.Hara et al., Trans. of the JCI, 1979, pp.247-253
- 4) G.Franz and H.Niedenhoff, C & CA, Pub.61-114, 1964, 17pp.
- 5) G.Brock, Jour. of ACI, Vol.51, No.1, Jan., 1960, pp.619-637
- 6) V.Ramakrishnan et al., Jour. of ACI, Vol.65, No.2, 1968, pp.87-98
- 7) N.V.Arunachalam, Jour. of ACI, Vol.67, 1971, pp.476-480
- 8) P.C.Varghese et al., Indian Con. Jour., March, 1966, pp.104-108
- 9) F.K.Kong et al., The Str. Eng., Vol.50, No.10, 1972, pp.405-409

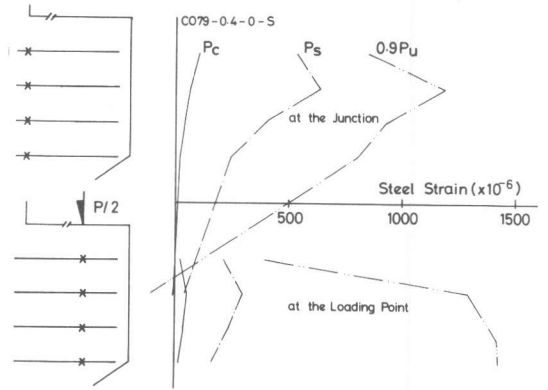


図-7 主鉄筋及びスターラップのひずみ分布

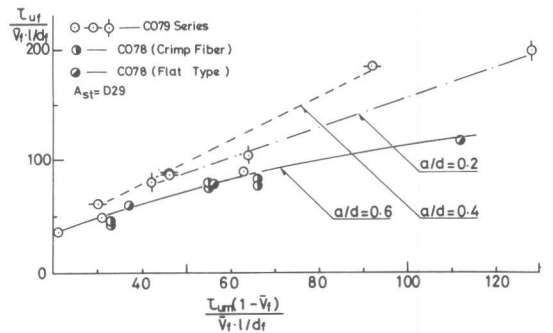


図-8 複合材料混合則による鋼繊維の補強効果 (コーベル部材)

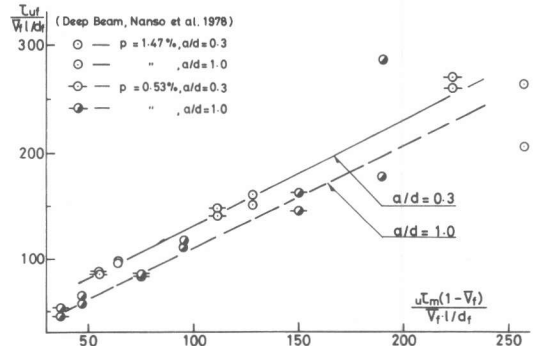


図-9 ディープビーム¹⁷⁾に於ける鋼繊維の補強効果 (複合材料混合則による表示)

- 10) P.Desayi, Mag. of Con. Res., Vol.28, No.86, 1974, pp.29-38
- 11) J.L. Clarke, C & CA, Pub.42.513, 1976, 11pp.
- 12) Mast, proc. of ASCE, (94) ST6, pp.1485-1504
- 13) A.H.Mattock, Jour. of ACI, (71)8, 1974, pp.420-423
- 14) L.B.Kriz et al., Jour. of PCI, (10)1, 1965, pp.16-61
- 15) 神山 一, コンクリートジャーナル, Vol.6, No.8, 1968
- 16) R.N.Swamy et al., ACI, SP-44, 1974, pp.1-28
- 17) 南荘ら, 土木学会第33回年講, 第V部, 1978