

正会員 ○原 忠勝 (日本大学)

正会員 北田勇輔 (日本大学)

1. 緒 言

曲げに比べてせん断力の影響の大きい領域での部材のうち、鉄筋コンクリート・コーベルの設計は G.Franz ら<sup>1)</sup>の研究に基づくもので、以後、我国に於ても、これらを指標とした設計法が用いられている。<sup>2)</sup>

これらは、<sup>1),2)</sup> コーベルの性状を単純化したトラスとするもので、その配筋法は光弾性の結果より、スターラップを  $A_v = (1/3 \sim 1/4) A_{st}$  の範囲で用いるものである。<sup>1),3)</sup> また、近年、A.H. Mattock はせん断摩擦理論<sup>4)</sup>を指標として、これら部材の設計方法を提案している。<sup>5),6)</sup>

配筋方法にこのような再検討が加えられたのは、鉄筋コンクリート・コーベルも破壊機構が複雑なせん断破壊が主な要因であるためと思われる。

一方、数多くの研究によって、<sup>7)</sup> コンクリートの欠陥と云われている引張、曲げ及び靱性等、種々の性質が改善されるとして、鋼繊維補強コンクリートが注目されている。これらがコンクリート構造物を安全且つ経済的に使用目的を達するための一手段として有用なものであるとすれば、強度、変形並びに耐久性等の諸条件を満足するものと思われる。よって、これら鉄筋コンクリート・コーベルに対する補強方法にも、ランダムに混入される鋼繊維が有用であると考え検討を行ってきた。<sup>8)</sup> その結果、鋼繊維がこの種の部材に対しても効果がある事が見い出された。

そこで、本報告に於ては、鋼繊維の種類を変え、鉄筋コンクリート・コーベルを単純トラス理論で設計<sup>1),3)</sup>した場合の鋼繊維による補強について、主鉄筋量  $A_{st}$  及び混入率  $V_f$  (vol. %) を変化させて実験を行い、通常のスターラップによる補強の場合と比較したものである。

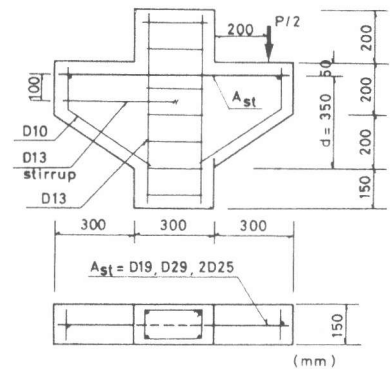


図-1. 試験体の概要

2. 実験概要

試験体は柱部材に対称なコーベルを有するものとし、形状・寸法は図-1に示す通りで、また、詳細は表-1に示す通りである。

主鉄筋量は SD 35 ( $\sigma_{sa} = 2000 \text{ kg/cm}^2$ )<sup>9)</sup> を用いる事とし、さらに設計荷重 25 ton として、次式<sup>1),3)</sup>により算定したものを指標とした。

$$T = \frac{S \cdot a}{0.85 d}, \quad A_{st} = \frac{T}{\sigma_{sa}} \dots \dots \dots (1)$$

式(1)による結果は  $P_t = 1.6\%$  で、CP110<sup>10)</sup>による範囲が  $0.004 \leq A_{st}/bd \leq 0.013$ 、である事から、本実験に於ける主鉄筋量は  $P_t = 0.5, 1.25$  及び  $2.0\%$  の三種とした。

水平スターラップは、 $P_t = 1.25\%$  のコーベルに於ける最少量の  $A_v = 1/4 = D13 \text{ mm}$  を水平スターラップを有する全ての試験体に用いた。また、せん断スパンを  $a = 20 \text{ cm}$  とし、 $a/d = 0.6$  の一定とした。

Test Corbel	d (cm)	a/d	$P_t$ (%)	$\sigma_{cc}^c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{ct}^c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
CO78-0.5-0-0	34.3	0.583	0.556	284.7	20.0
1.25-0-0-1	34.3	0.583	1.248	314.6	20.2
1.25-0-0-2	34.5	0.579	1.240	298.7	24.2
2.0 -0-0	35.7	0.560	1.890	335.8	20.2
CO78-0.5-0-0-S	34.8	0.575	0.549	304.7	20.4
1.25-0-0-S	35.8	0.558	1.195	299.3	21.9
2.0 -0-0-S	35.5	0.564	1.905	299.9	20.5
CO78-0.5-0.5	35.0	0.571	0.545	309.4	24.1
1.25-0.5	35.1	0.569	1.219	341.9	24.7
2.0 -0.5	35.1	0.571	1.926	344.4	25.0
CO78-0.5-1.0	35.8	0.559	0.534	333.6	33.6
1.25-1.0	35.1	0.570	1.221	328.2	30.0
2.0 -1.0	35.4	0.565	1.909	374.3	33.7
CO78-0.5-1.5	35.1	0.569	0.544	330.6	34.4
1.25-1.5	35.4	0.564	1.208	340.0	36.1
2.0 -1.5	35.4	0.564	1.903	310.5	34.0

$P_t = 0.5\%$  --  $\sigma_{sy} = 3528.8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E_s = 1.805 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$   
 $P_t = 1.25\%$  --  $\sigma_{sy} = 3683.1 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E_s = 1.917 \times 10^6$   
 $P_t = 2.0\%$  --  $\sigma_{sy} = 3832.6 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E_s = 2.006 \times 10^6$   
 Corbel Width ;  $b = 15 \text{ cm}$ , Shear Span ;  $a = 20 \text{ cm}$

表-1. 試験体の概要

鋼繊維は両端波形の  $0.5 \times 0.5 \times 30$  ( $l/d_f=60$ ) を用い、混入率を  $V_f=0, 0.5, 1.0, 1.5$  vol. % とした。

コンクリートの配合は、早強ポルトランドセメントを用い、次に示す条件とした。

単位セメント量	$C = 400 \text{ kg/m}^3$
水セメント比	$w/c = 60 \%$
細骨材率	$s/a = 70 \%$
粗骨材の最大寸法	$ms = 13 \text{ mm}$

よって、試験体は、水平スターラップの有無、主鉄筋量及び鋼繊維混入率を組合せた計16体について、材令、約60日で実験を行った。この時のコンクリート強度は表-1に示す通りである。

載荷重は1tonずつの漸次増加とした。ひびわれ観測にはルーペ及びクラックスケールを用い、鉄筋ひずみはコーベル境界部及び載荷点で測定した。また、試験体のたわみ、ひずみ及びひびわれ等の測定は常時1tonずつであるが、それ以外に、初期ひびわれ発生時、部材に於ける最大ひびわれ幅  $W_{max} = 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 \text{ mm}$  及び斜めひびわれ発生時である。

### 3. 実験結果及び考察

破壊は —  $P_t = 0.5 \%$ ,  $V_f = 1.5 \%$  の試験体 (写真-1 参照) のみ曲げ破壊で、それ以外は全て、斜めひびわれ発生によるせん断-圧縮破壊の様相であった。(写真-2)

ひびわれ発生は、柱とコーベル境界より生じ、この曲げひびわれが或る高さに達すると、一時この状態が続き、この後、載荷点と境界部下方を結ぶ線上に斜めひびわれが発生し、これが十分に発達したのち破壊に至った。

終局耐力 — 図-2 に終局耐力と鋼繊維混入率の関係を示す。図に示す如く、終局耐力は混入率に従って増加しており、CP110<sup>10)</sup> に定められている主鉄筋量の範囲に於ては極めて顕著な増加が見られた。

また、 $P_t = 1.25 \%$  の場合、式(1)による計算値より約0.3%しか低い鉄筋量にもかかわらず、耐力は水平スターラップを用いても設計耐力まで至らなかった。しかしながら、混入率を1.0 vol. % とすれば、設計荷重まで耐力を高める事が出来るように思われる。この場合、つり合い機構等を考慮に入れず、耐力のみについて述べれば、単純トラス理論<sup>1),2)</sup>で鉄筋コンクリート・コーベルを設計する場合、式(1)で求まる鉄筋量より、0.5%程度多く用い、さらに水平スターラップの配置も十分に行わなければならないように思われる。これは  $P_t = 2.0 \%$  の試験体の場合、水平スターラップの効果が殆んど見られなかったためである。

斜めひびわれ耐力 — 斜めひびわれ耐力は鋼繊維及び水平スター

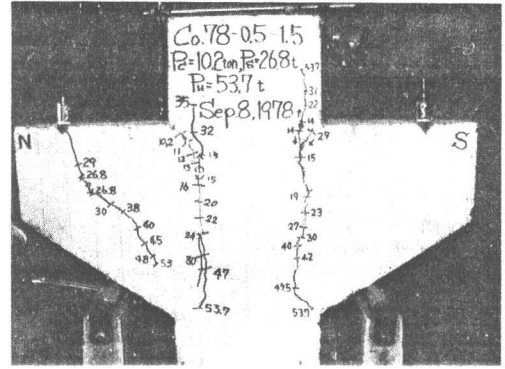


写真-1. 破壊の様相

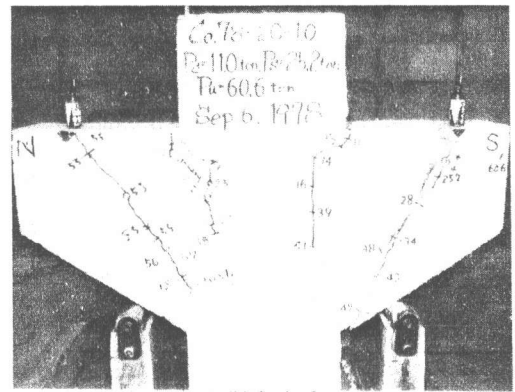


写真-2. 破壊の様相

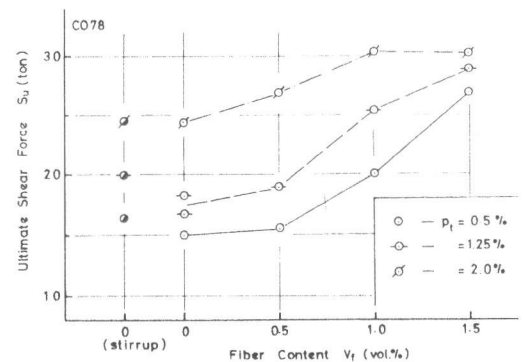


図-2. 終局耐力と鋼繊維混入率

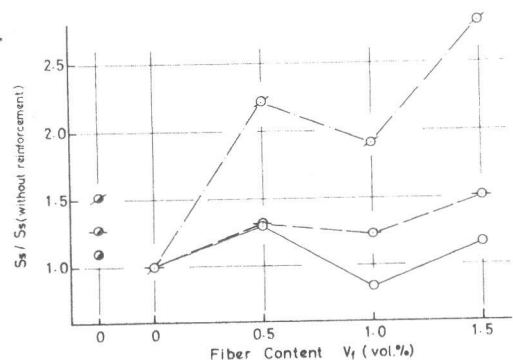


図-3. 斜めひびわれ耐力比と鋼繊維混入率

ラップの効果が比較的少ないように思われ、本実験に於ては図-3に示す如く、 $Pt = 2.0\%$ のものについてのみ顕著な傾向を示したが、これは補強なしの場合、 $Pt = 0.5, 1.25\%$ はともに斜めひびわれ荷重が  $Ss \approx 11$  tonであるのに対して、 $Ss = 6.6$  tonと低かったためと思われる。

主鉄筋ひずみ — 荷重による主鉄筋ひずみの変化は、鋼繊維の混入率に従って、同一荷重に対するひずみが少なくなる傾向が見られた。また、図-4に示す如く、荷重点及び境界部での主鉄筋ひずみは、通常のコーベルの場合、ほぼ、トラス<sup>1)</sup>又はアーチ<sup>11)</sup>的な変化を示すように思われる。

荷重点に於けるひずみの変化は、曲げひびわれの十分な発達及び斜めひびわれの発生によって、終局荷重近くになると境界部ひずみと殆んど同一となる。これは G.Franz らの結果<sup>1)</sup>にも示されている如く、コーベル上面に沿って、ほぼ均一な引張力が働いているためと思われる。

鋼繊維の補強効果 — 図-2に示す如く、鋼繊維を用いる事によって破壊耐力が増加するが、これらの補強効果に及ぼす因子として、材料的見地からは 1) 複合強化則、2) 繊維間隔説、等の強化則が挙げられるが、<sup>7)</sup> 部材についての明確な強化則は他の要因との関係からも、特にせん断破壊の場合、求める事は甚だ困難であるように思われる。しかし、南荘ら<sup>12)</sup>はディープビームに対して、せん断摩擦理論より  $\bar{V}_f \cdot l/d_f$  を用いて、極めて良い結果を得ている。よって、ここではこれらを指標として、実験値とこれらの計算結果を比較したものが図-5である。図に示す如く、コーベルの場合、ディープビームとは異なるのか、または、付着強度が異なるためか、実験値より多目に計算されるように思われる。さらに、鉄筋量が多くなると、混入率を増しても破壊耐力は増加していない。これら部材についての補強因子については実験の積み重ねと、検討が必要であると思われる。

既往の算定式との比較 — 鉄筋コンクリート・コーベルの如き、 $a/d$ の小さな領域での破壊耐力の算定式が種々提案され、著者らが先に行った実験結果<sup>8)</sup> ( $Pt = 1.224\%$ ,  $\sigma_{sy} = 3580 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_{cc} = 290 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_{ct} = 18 \text{ kg/cm}^2$ ) による計算結果は図-6に示す通りである。ここでの仮定断面及び材料強度による場合、Mast<sup>4)</sup>及びMattock<sup>13)</sup>によるせん断摩擦理論はかなり大きな耐力を示す。

本実験に於ける結果は、割裂モードによる算定式が良く合うように思われるが、主鉄筋量による変化を表示出来得ない。このように、各算定式は  $a/d \leq 1.0$  の領域に於ける耐力が同一な傾向を示さず、せん断破壊機構の解明が望まれる。

しかしながら、ここでは鋼繊維で補強した鉄筋コンクリート・コーベルの耐力を知る手掛り

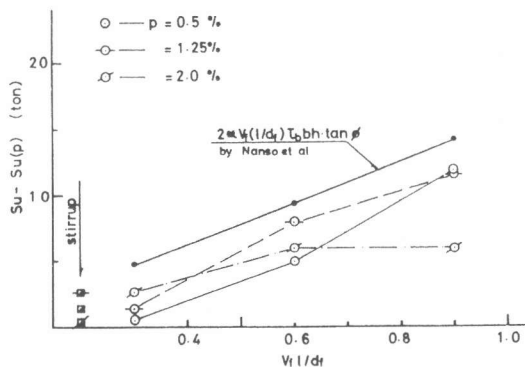


図-5. 鋼繊維による補強せん断力と  $V_f \cdot l/d_f$

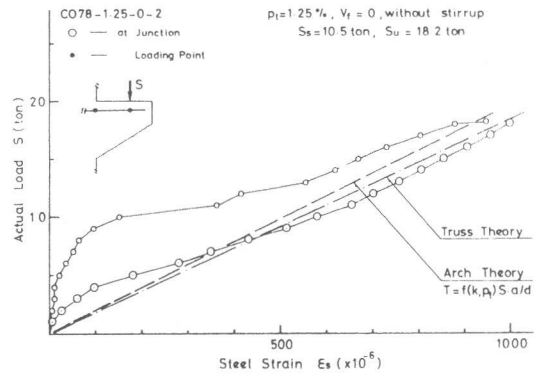


図-4. 作用せん断力と主鉄筋ひずみの関係

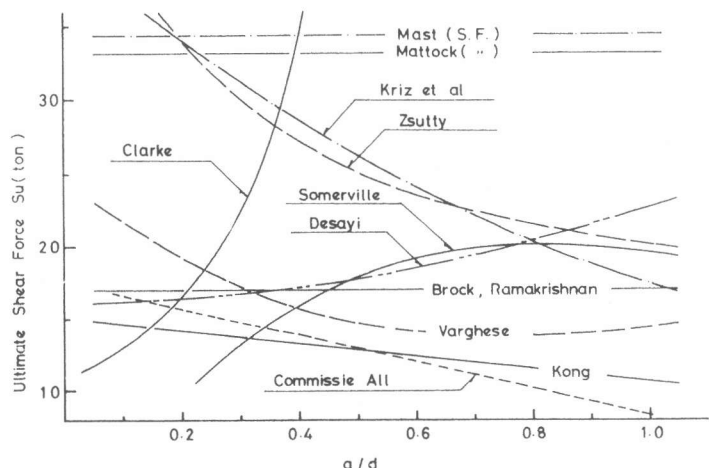


図-6. 既往の耐力算定式の比較

として、1) 割裂、2) 経験式、3) せん断摩擦、及び 4) ACI 318-77、による算定式を用い比較したのが表-2である。表-2に示す如く、算定式による適用範囲が限定されるように思われるが、本実験の範囲に於ては、Krizら<sup>14)</sup>による算定式が、鋼繊維の混入率の有無にかかわらず、比較的良い結果を示すように思われる。また、鋼繊維を用いない、通常のコーベルについてはACI 318-77<sup>15)</sup>が良いように思われる。

#### 4. ま と め

これより、鉄筋コンクリート・コーベルを鋼繊維で補強する場合について、主鉄筋量及び鋼繊維混入率を変化させて実験を行い、通常用いられている水平スターラップとの比較を行った結果、次の事が要約される。

- 1) 鋼繊維を混入する事により、これらコーベルの耐力が増加し、補強効果はCP110<sup>10)</sup>に示される主鉄筋量の範囲であれば、 $V_f = 0.6 \text{ vol.}\%$ 程度で、スターラップと同様の効果が得られる。しかし、斜めひびわれ荷重に対しては顕著な増加が見られない。
  - 2) 本実験の場合、鋼繊維による補強効果は主鉄筋量によって影響をうけたため、補強因子との間に明確な関係を求める事ができなかった。これらについては実験の積み重ねが必要であると思われる。
  - 3) 鉄筋コンクリート・コーベルについての各算定式は統一的な見解が得られていないが、破壊耐力算定式としてはACI 318-77<sup>5)</sup>が比較的良いように思われる。
  - 4) また、本実験のように、単純トラス理論<sup>1), 2), 3)</sup>でコーベルを設計する場合、計算で求められる主鉄筋量よりもさらに $P_t = 0.5\%$ 程度多く用い、さらにスターラップの配置にも十分に考慮する事が望まれる。
- よって、本文に於ては耐力性状のみについて述べたが、鋼繊維を用いた場合、ひびわれ抑制にも貢献するようである。<sup>8)</sup> 鋼繊維補強コンクリートはこの種の部材に対しても比較的有用であると考えられ、本実験の範囲内に於ては配筋法の簡略化にもつながると思われる。

末筆ながら、本実験の実施に当り、鋼繊維を提供頂いた、川崎製鐵(株)並びに鐘紡スチール(株)に深謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) G. Franz and H. Niedenhoff, C & CA, Pub. 61-114, 1964, 17 pp.
- 2) 土木学会：国鉄建造物標準解説，付属資料 24, Nov., 1974, pp. 439-451.
- 3) A. Mehmél et al, Der Bauingieur, 40 [6], 1965, pp. 224-231.
- 4) R. F. Mast, proc. of ASCE. 94 [ST6], 1968, pp. 1485-1504.
- 5) A. H. Mattock, PCI Jour. 21[3], 1976, pp. 2-26
- 6) J. G. MacGregor et al, ACI Jour., 74 [11], 1977, pp. 537-545.
- 7) 例えば、コンクリート工学, 15 [3], 1977.
- 8) 原, 北田, 第22回材研連. 1978, 9月.
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書.
- 10) BSI, CP 110, 1972.
- 11) 北田, 原, 第32回土木学会年講, 1977.
- 12) 南荘ら, 第33回土木学会年講, 1978.
- 13) A. H. Mattock, ACI Jour., 71 [8], 1974. p. 421.
- 14) Kriz et al, PCI Journal, 1965.
- 15) ACI 318-77, 1977.

表-2 既往の算定式との比較

Test Corbel	$S_u$ (Test)	$\frac{S_u}{S_{u1}}$	$\frac{S_u}{S_{u2}}$	$\frac{S_u}{S_{u3}}$	$\frac{S_u}{S_{u4}}$
CO78-0.5-0-0	15.00	0.796	0.820	1.061	1.043
1.25-0-0-1	16.65	0.874	0.661	0.496	0.831
1.25-0-0-2	18.20	0.798	0.736	0.550	0.926
2.0 -0-0	24.30	1.276	0.765	0.447	0.903
CO78-0.5-0-S	16.30	0.848	0.846	1.099	0.967
1.25-0-S	19.9	0.964	0.798	0.601	0.899
2.0 -0-S	24.50	1.268	0.822	0.450	0.906
CO78-0.5-0.5	15.50	0.682	0.793	1.096	1.010
1.25-0.5	18.85	0.809	0.698	0.570	0.882
2.0 -0.5	26.85	1.140	0.852	0.493	0.999
CO78-0.5-1.0	20.00	0.632	0.945	1.409	1.224
1.25-1.0	25.35	0.896	0.959	0.765	1.211
2.0 -1.0	30.3	0.954	0.912	0.557	1.074
CO78-0.5-1.5	26.85	0.828	1.324	1.989	1.687
1.25-1.5	28.90	0.849	1.063	0.874	1.345
2.0 -1.5	30.20	0.942	0.996	0.555	1.173

Notes;

- $S_{u1}$  : Brock, Ramakrishnan
- $S_{u2}$  : Empirical by Kriz et al
- $S_{u3}$  : Shear Friction by Mast
- $S_{u4}$  : ACI 318-77