

[127] 形鋼を用いたコーベルの耐力性状に関する実験的研究

正会員 ○原 忠 勝（日本大学 工学部）

正会員 北 田 勇 輔（日本大学理工学部）

1. 緒 言

各種の鉄筋コンクリート部材のうち、橋脚柱頭部、橋台、およびプレキャスト部材の接合部など、に見られるコーベル（或いはブレケット）は、スパンの短い片持ち梁である。スパンが短いため、曲げモーメントよりもせん断力の影響を受け、破壊は斜めひびわれの発生を伴ったせん断破壊を生ずることが多い。従って、相対的に小さな構造物にもかかわらず、せん断破壊を避けるには比較的多くのせん断補強筋を必要とし、その結果、配筋が複雑になり易く、施工上も合理的な配筋法の検討が望まれる分野である。近年、施工上の合理化と韌性を高めるために、鉄筋の代りに形鋼を用いる試みがなされている。このうち、池田らは¹⁾、施工上の合理化ばかりでなく、せん断力やネジリカに対する韌性を高めるために、形鋼をプレーシング材によってトラス状構造とした形鋼鉄筋併用コンクリート構造について検討を行っている。この結果、 $40 \times 40 \times 3\text{ mm}$ の山形鋼を用い、橋脚供試体とはり供試体の結果から、比較的良好な補強効果が得られたことを報告している。また、Mattock と Gaafar²⁾は、H鋼をブレケット部材として、これらの性状について検討し、設計法を提案している。

これより、本研究においても、配筋法の簡略化と架設時に用いた形鋼をそのまま使用することを目的とし、コーベル部材への適用について、形鋼を鉄筋の代りに用いた比較的小型のコーベル試験体を作製し、せん断スパンと有効高さの比(a/d)および載荷板の幅(W_b)を実験条件として載荷試験を行い、実験的に検討したものである。

2. 実験方法

実験に用いた試験体は、断面が $30 \times 15\text{ cm}$ の柱部材に対称に台形のコーベルを有するもので、図-1に示す通りである。コーベルは、柱部材との境界部の高さを $h = 25\text{ cm}$ （有効高さ $d = 20\text{ cm}$ ）とし、鉄筋の代りに山形鋼（ $20 \times 20 \times 3\text{ mm}$ 、公称断面積 1.127 cm^2 ）をコーベルの形状に配置した。山形鋼の接合にはボルト（M5、 20 mm 、せん断強さ 2.07 kg/mm ）を用い、締付けトルクを $50\text{ kg}\cdot\text{cm}$ とした。これより、引張鋼材量 A_{st} には、CP-110のコーベルの主筋量の範囲の中間値を目安とし、 $P_w = A_{st}v/bd = 0.75\%$ の一定とした。実験条件は、 a/d および載荷板の幅とし、次の通りである。

(1) せん断スパンと有効高さの比：

$$a/d = 0.3, 0.5, 0.7 \quad (3 \text{種類})$$

(2) 載荷板の幅：

$$W_b = 5.0, 7.5, 10.0\text{ cm} \quad (3 \text{種類})$$

試験体は、これらの条件を組合せた計9体で、材令約20日で載荷試験を行った。コンクリートは、早強セメントを用いたレデーミクストコンクリートで、粗骨材の最大寸法を 20 mm 、スランプ $S_L = 15\text{ cm}$ とした。

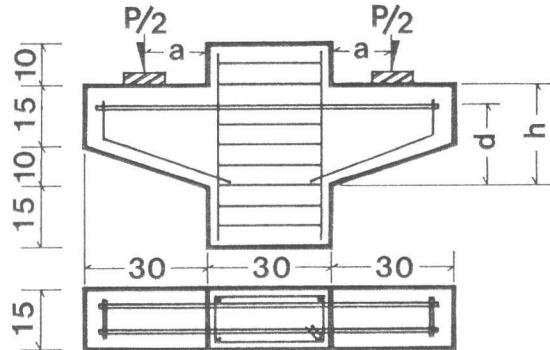


図-1 試験体の形状・寸法 (cm)

表-1 試験体の実測寸法

Test Beam	a/d (-)	h (cm)	d (cm)	b (cm)	P_w (%)
SRC 81-0.7-10.0	0.729	24.4	19.2	15.2	0.7723
	7.5	24.5	19.8	15.4	0.7392
	5.0	24.6	19.4	15.1	0.7694
SRC 81-0.5-10.0	0.532	23.9	18.8	15.1	0.7940
	7.5	23.3	18.4	15.3	0.8007
	5.0	23.2	18.1	15.1	0.8247
SRC 81-0.3-10.0	0.312	24.5	19.2	15.0	0.7826
	7.5	24.8	19.3	15.2	0.7683
	5.0	22.4	17.3	15.2	0.8572

notes: Concrete: $f'_c = 214.5\text{ kg/cm}^2$, $f_t = 19.2\text{ kg/cm}^2$
L Shape Steel: $f_y = 45.3\text{ kg/mm}^2$, $f_{st} = 53.8\text{ kg/mm}^2$ (SMA 50-A)

3. 実験結果および考察

試験体の実測寸法を表-1に、また、本実験より得られた斜めひびわれ発生荷重と終局荷重を図-2に棒グラフによって示した。図に示すように、斜めひびわれおよび終局荷重とともに、 a/d が大きくなるのに従って、耐力が減少する一般的傾向が見られた。また、 $a/d = 0.3$ と 0.5 の試験体では、載荷板の幅が大きくなるのに従って、終局耐力は大きくなる結果が得られた。

(1) ひびわれおよび破壊性状

図-3に、試験体のひびわれ様相のうち、載荷板の幅 $W_b = 7.5\text{ cm}$ のものを示した。初期ひびわれは、柱部材とコーベルの境界の隅角部より発生し、ひびわれ発生曲げモーメントは、 a/d および W_b に関係なく、 $M_{cr} \approx 0.8\text{ t}\cdot\text{m}$ であった。このひびわれは、柱筋に沿って、コーベルの高さの約3分の2付近まで進展した後、一旦、この伸長が止まった時に載荷点とコーベル下方を結ぶ線の中間付近より斜めひびわれの発生を見た。この斜めひびわれの発生を比較的詳細に観察してみると、 $a/d = 0.7$ の試験体では、載荷板の内側に向うひびわれであり、他の試験体($a/d = 0.3, 0.5$)では、ほぼ載荷板の中央に向って進展している。終局的な破壊は、 $a/d = 0.7$ の場合、載荷点側の斜めひびわれ幅が大きくなり、 $W_b = 10\text{ cm}$ ではせん断によるズレを伴い、一方、図-3(c)に示すように、 $W_b = 5, 7.5\text{ cm}$ ではコーベルが回転するようにして耐力が失われていった。また、 a/d が小さい場合、図-3(a, b)に示すように、斜めひびわれの開口はほぼ一定で、載荷重の増加に伴って開口が大きくなり、急激に耐力を失った。

形鋼を用いたコーベルの結果は、著者らが先に行なった鉄筋コンクリートコーベルの実験結果³⁾と大差はないように思われる。

(2) たわみおよび主鉄筋のひずみ

図-4に、コーベル試験体の中央におけるたわみの測定結果を示す。図に示すように、コーベルの場合、たわみはほぼ直線的に増加しており、急激な変化は斜めひびわれの発生によって生じている。また、図-4(a)には、ほぼ同一な断面、および鉄筋量($P_w = 0.84\%$)を持つ鉄筋コンクリートコーベルの結果³⁾も併記した。図に示すように、形鋼を用いた場合でも、鉄筋を用いた場合と同様な傾向を示している。

一方、 $a/d = 0.7$ の場合、図-4(b)に示すように、斜めひびわれ発生後の耐力は余り増加せず、細長い柱部材の曲げ破壊に似た荷重-たわみ関係が得られた。しかし、終局耐力は、曲げ破壊耐力には至っておらず、本実験の場合、若

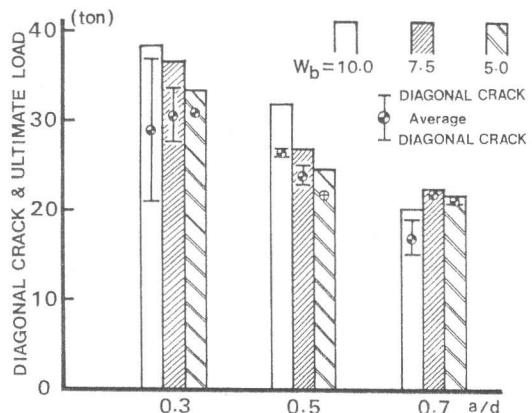
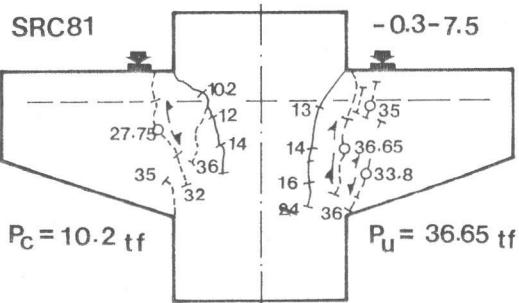
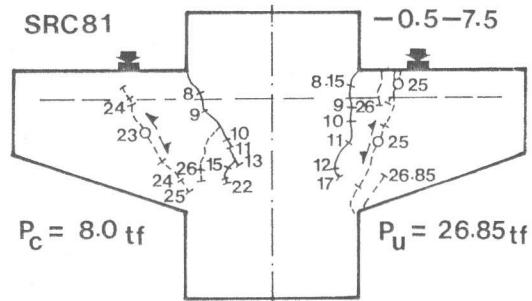


図-2 斜めひびわれと終局荷重の結果



(a) $a/d = 0.3, W_b = 7.5\text{ cm}$



低い耐力を示し、曲げ破壊耐力の約85~94%であった。ちなみに、 $a/d = 0.5$ の場合が約80%で、 $a/d = 0.3$ についてのは約65%であった。

また、形鋼のひずみは、全ての試験体において終局時にはほぼ降伏ひずみに達している。しかし、 $a/d = 0.3, 0.5$ の試験体については、降伏ひずみに達すると同時に破壊に至っている。これら形鋼のひずみ性状は、 a/d が大きい場合、図-5(a)に示すように、ほぼアーチまたはトラスのタイ材の挙動を示した。一方、図-5(b)に示すように、 $a/d = 0.3, 0.5$ の場合、終局荷重付近ではタイ材より大きいひずみの値を示している。これは、 a/d が小さいために、せん断力による付加的なひずみの影響がアーチ的挙動を上回ったものと思われる。

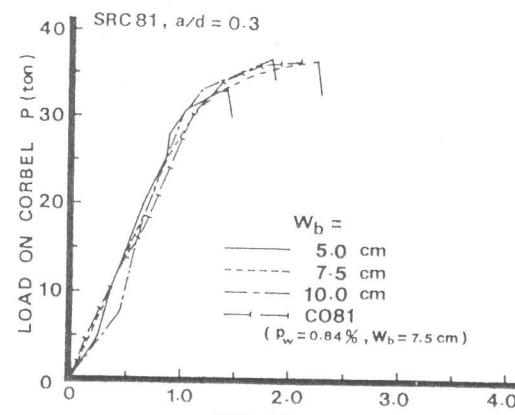
本実験の場合、たわみとひずみ性状について、載荷板の幅による明確な相違は見受けられないが、 a/d による影響には比較的顕著なものがあるようと考えられる。

(3) 終局耐力

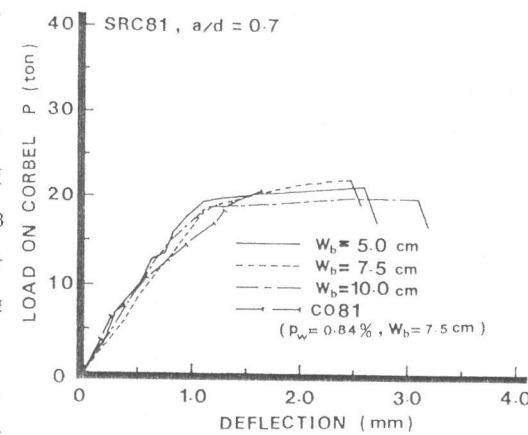
本実験における終局耐力は、図-2に示すように、 $a/d = 0.7$ の場合、曲げモーメントの影響が大きいためか、載荷板の幅による耐力変化の傾向は見受けられなくなる。 $a/d = 0.3$ および 0.5 の場合、載荷板の幅が大きくなるのに従って、耐荷能力が増加する。これは、斜めひびわれ発生後の耐荷機構がアーチまたはトラス的な耐荷機構となるため、載荷幅によってストラットの部材面積が大きくなり、耐荷能力が増すとも考えられる。しかし、ひびわれ様相および形鋼のひずみ性状に示されるように、 a/d が小さい場合、せん断力の影響が大きいためか、アーチまたはトラス的な耐荷機構を想定することには矛盾があるようと思われる。

ここでは、これら形鋼を鉄筋の代りに用いたコーベルの耐荷機構および終局耐力について検討するために、既往の研究者によるコーベルの破壊機構モデルを用いて考察を行った。これらは、曲げによる回転とストラットの破壊を想定し、塑性力学の手法を用いたJensenの場合⁴⁾、FEMによる数値実験手法を用い、ストラットの破壊を考えた二羽らの場合⁵⁾、およびアーチのつり合いに対して境界条件を用いた著者らの場合⁶⁾である。実験値とこれらの計算結果を表-2に示す。

Jensenの場合⁴⁾、計算値に対する実験値の比(Exp/cal)は、平均値が0.93で、変動係数(SD)は7.3%であった。また、著者らの場合⁶⁾、 $a/d = 0.3$ がアーチモデルの領域で、 $a/d = 0.5, 0.7$ はせん断モデルの領域となり、平均値は1.04で、SD=8.9%であった。本実験の場合、Jensenによるせん断-ヒン



(a) $a/d = 0.3$



(b) $a/d = 0.7$

図-4 荷重-たわみ関係

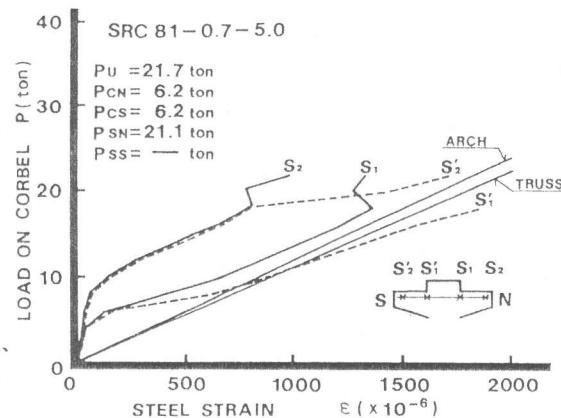


図-5 (a) 荷重と山形鋼のひずみの関係

$a/d = 0.7, W_b = 5.0 \text{ cm}$

シによるストラットの破壊を想定した算定式の整合性が良い結果を示した。また、コーベルの場合、隅角部が存在するために、斜めひびわれ発生後に強制的なつり合いの場を作り、ストラットの大きさは載荷板の幅に余り影響されなくなるようと考えられる。このため、鋼材に生ずる引張力が、図-5(b)に示すように、タイ材としての挙動を示さなくなってしまい、二羽らの結果に示されるように、ストラットはアーチリブ的な耐荷機構を示すものと考えられる。これより、コーベルに対して、鉄筋の代りに形鋼を用いても、一般の鉄筋コンクリートコーベルの破壊耐力の考え方を適用できるように思われる。

4. 結 び

配筋法の簡略化と架設時に用いた形鋼をそのまま使用することを目的とし、比較的小型のコーベル試験体の耐力性状について実験的に検討を行った。これらの結果より次のことが要約される。

- (1) ひびわれ様相、配壊性状、たわみ、および形鋼のひずみ性状については、鉄筋コンクリートコーベルの場合とはほぼ同様の傾向が得られた。また、これらの性状に対しては、載荷板の幅より a/d の影響が大きい。
- (2) 一方、破壊耐力は a/d ばかりでなく載荷板の幅によって異なり、 $a/d = 0.3, 0.5$ の場合、載荷板の幅が大きくなるのに従って大きい結果が得られた。 $a/d = 0.7$ の場合、載荷板の幅に関係なく、ほぼ同様な耐力を示した。
- (3) しかし、全ての試験体は斜めひびわれの発生を伴ったせん断破壊を生じ、これら破壊耐力は、一般鉄筋コンクリートコーベルの破壊耐力に対する考え方を適用しても良いようと思われる。

以上、形鋼を鉄筋の代りに用いたコーベルについて、その耐力性状より、本実験の範囲においては、適用性に対する知見が得られたように思われる。しかし、本実験は小型の試験体による結果であり、実施に際しては、今後検討すべき事項があるようと思われる。

参 考 文 献

- 1) 池田尚治、他三名：形鋼鉄筋併用コンクリート構造の実験的研究、第3回JCI講演論文集、pp.313-316、1981年6月。
- 2) Mattock, A.H. and Gaafar, G.H.: Strength of Embedded Steel Sections as Brackets, ACI Jour., proc.V.79 No.2 1982.
- 3) 原・北田： a/d の小さい鉄筋コンクリート片持部材のせん断破壊に関する実験検討、第5回JCI, pp. 353-356, 1983年6月。
- 4) Jensen, B.C.: Reinforced Concrete Corbels—Some Exact Solutions, IABSE Collo., Final Report, pp. 293-300, 1979.
- 5) 二羽・前田・岡村：ディープビーム的RC部材の設計方法に関する提案、第5回JCI, pp. 357-360, 1983年6月。
- 6) 原忠勝、日本コンクリート工学協会、第2回RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム、1983年10月。

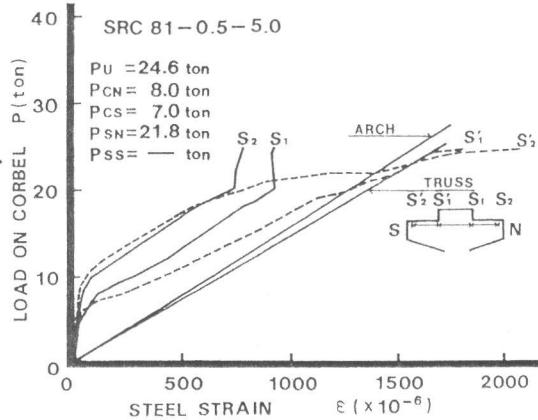


図-5 (b) 荷重と山形鋼のひずみの関係

$$a/d = 0.5, W_b = 5.0 \text{ cm}$$

表-2 実験結果と計算結果の比較

Test Beam	P _u (ton)	Jensen (exp/cal)	Niwa (exp/cal)	Hara (exp/cal)
SRC 81-0.7-10.0	20.1	0.838	0.451	0.943(S)
	7.5	20.3	0.919	0.581
	5.0	21.7	0.899	0.714
SRC 81-0.5-10.0	31.9	1.089	0.646	1.280(S)
	7.5	26.9	0.935	0.645
	5.0	24.6	0.865	0.744
SRC 81-0.3-10.0	38.0	0.984	0.709	1.044(A)
	7.5	36.7	0.934	0.803
	5.0	33.2	0.925	0.929