

[89] 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

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. ま え が き

a/d の小さい鉄筋コンクリート部材のうち、スパンの短い片持部材は、橋台、橋脚、擁壁、及びプレキャスト部材のはりと柱の結合部、などに見られる構造型式である。これらは、曲げモーメントに比較してせん断力の影響が大きく、内部のつり合いも細長いはり部材と異なる事からディープビームの領域¹⁾として扱われている。ディープビームはスパン l に比べてけた高 h の大きい、一般には l/H が 2.0 以下の部材を云い、非線形の応力分布²⁾となる事が知られており、Airyの応力関数などを用いる方法によって設計³⁾がなされている。しかし、鉄筋コンクリートの場合、ディープビームの領域ではほとんどが斜めひびわれの発生を伴うせん断破壊であり、^{4),5)}破壊機構は載荷点と支点を結ぶ斜めのストラットの耐荷能力とタイ材としての鉄筋の挙動に左右されるように思われる。よって、ディープビームの領域に於ては応力分布の非線形性を考慮するより、せん断耐荷機構を考慮した設計法の方が有用であると考えられる。

そこで本研究に於ては、ディープビームの領域に於ける鉄筋コンクリート片持部材について、せん断破壊性状及び耐荷機構についての基礎資料を得る事を目的として、実験を行い検討した。

2. 実 験 方 法

ディープビームの領域で実験を行うには、a/dばかりでなく、部材支間とけた高の比についても考慮すべきで、本実験では l/H を約 2.0、a/d は 1.0 以下とした。また、片持部材として、図-1 に示すように、コーベル及び柱部材頭部をとり除いたフーチング形状 (又は変断面面ディープビーム⁴⁾) をとり上げた。これは隅角部の有無によって部材名称及び設計方法が異なっている事によるものである。

これより、せん断破壊性状及び耐荷機構に影響を及ぼすと考えられる実験条件として、a/d (又は a/h)、主鉄筋量、及び載荷板の幅をとり上げ、次のように変化させた。

1) せん断スパンと有効高さの比:

$$a/d = 0.3 (a=6\text{cm}), 0.5 (a=10\text{cm}), 0.7 (a=14\text{cm})$$

2) 主鉄筋量: ACI318-77、及び CP-110 に於けるコーベルの主鉄筋量の範囲を用いた。

$$P_{st} = A_{st}/bd = 0.42\% (A_{st}=D13, \sigma_{sy}=33.25\text{Kg/cm}^2)$$

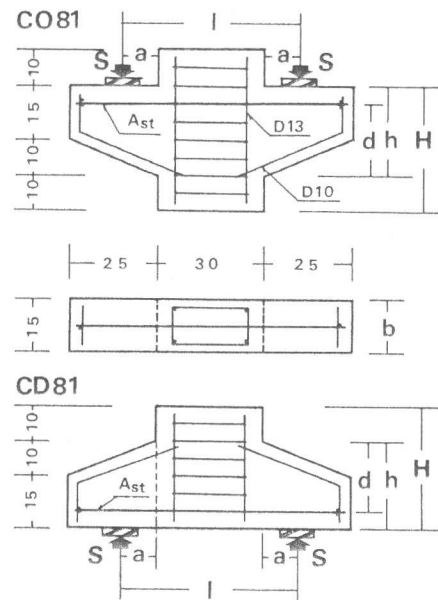
$$\# = 0.84\% (A_{st}=2D13, \sigma_{sy}=33.25\text{Kg/cm}^2)$$

$$\# = 1.32\% (A_{st}=2D16, \sigma_{sy}=38.48\text{Kg/cm}^2)$$

3) 載荷板の幅: 主鉄筋量と同様、ACI318-77 及び CP-110 の規定に基づき、支圧破壊を生じない幅以上とした。

$$Wb = 7.5, 10.0\text{cm}$$

試験体は、これらの諸条件を組み合わせた計 36 体とし、レデミクストコンクリート (早強セメント、 $m_s=25\text{mm}$, $s_l=15\text{cm}$, $\sigma_{ck}=220\text{Kg/cm}^2$) を用いて打設し、材令約 90 日で載荷試験を行った。



$h=25.0\text{cm}$, $d=20.0\text{cm}$

コンクリートの圧縮強度:

1) コーベル試験体 (CO81 Series)

$$\sigma_{cc} = 24.05\text{ Kg/cm}^2$$

2) フーチング試験体 (CD81 Series)

$$\sigma_{cc} = 22.76\text{ Kg/cm}^2$$

図-1 試験体の寸法諸元

3. 実験結果及び考察

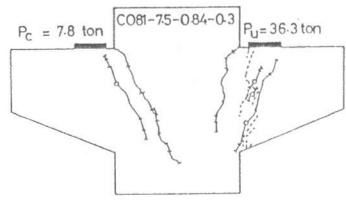
ひびわれ——コーベル及びフーチング試験体の破壊後のひびわれ様相を、各々、図-2及び5に示した。図-2に示すように、コーベル試験体(CO81シリーズ)の場合、主鉄筋位置付近まで約45°の傾きで隅角部よりひびわれが発生した。このひびわれはその後、鉛直方向に進展し、アーチ状のリブが形成されたように見えた時に、進展が止まった。また図-5に示すように、フーチング試験体(CD81シリーズ)の場合、柱部材の延長線上から若干スパン中央に寄った位置より、部材軸にほぼ直角なひびわれが発生した。

曲げひびわれが十分発達した後には鉄筋量が少なく($P_{st}=0.42\%$)、 a/d が大きい($a/d=0.7$)試験体ではヒンジが形成されたように片持部分の回転が見られた。

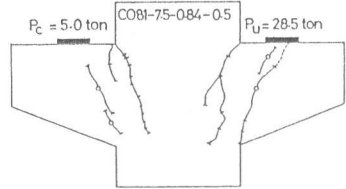
斜めひびわれが発生せずに、ストラットの曲げ—圧縮破壊の様相を呈したのは、コーベルの場合、 $P_{st}=0.42\%$ 、 $a/d=0.7$ 、 $W_b=7.5\text{ cm}$ の試験体で、他は全て載荷点とコーベル下方を結ぶ斜めの線上で斜めひびわれが発生した。また、フーチングの場合、 $P_{st}=0.42\%$ 、 $a/d=0.3$ 、 $W_b=1.0\text{ cm}$ の試験体が斜めひびわれの発生をせず、柱部材圧縮側で圧縮破壊した。これはフーチング試験体の場合、コーベルのように隅角部がないため、載荷板の幅が大きく、鉄筋量が少ないと、曲げひびわれの発生によって形成されるストラットの幅が斜めひびわれの発生を阻止するのに十分な大きさになったためと考えられる。

主ひずみの変化——試験体に於ける応力の流れを見るために、コーベル試験体については載荷点付近とコーベル下方に、コンクリートゲージを60°の等角ロゼットとし、フーチング試験体については、試験体各部に同様な等角ロゼットを配し、ひびわれ進展に伴う主ひずみの変化を記録した。

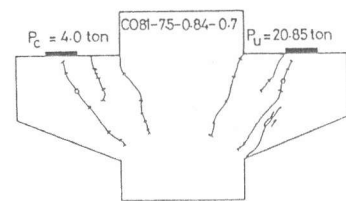
このうち、コーベル試験体については鉄筋比 $P_{st}=0.84\%$ のシリーズの a/d が0.3及び0.7($W_b=7.5\text{ cm}$)で、斜めひびわれ発生直前の荷重レベルの主ひずみの変化を図-3に示した。また、図-6にはコーベル試験体と同一な鉄筋比($P_{st}=0.84\%$)で、載荷板の幅が1.0 cmの結果を示した。



(a) $a/d=0.3$, $P_{st}=0.84\%$

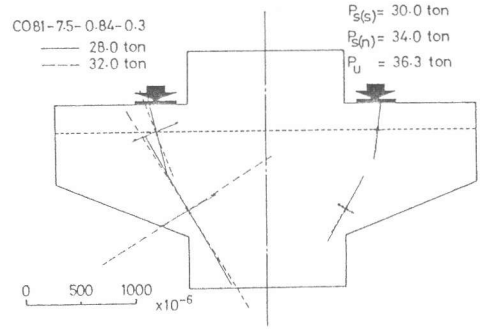


(b) $a/d=0.5$, $P_{st}=0.84\%$

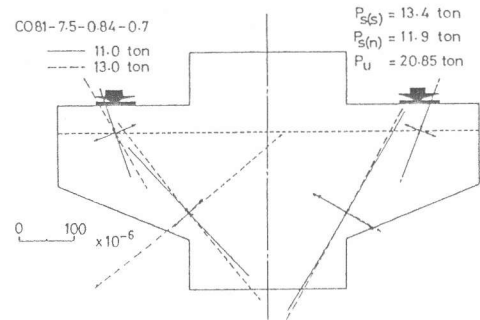


(c) $a/d=0.7$, $P_{st}=0.84\%$

図-2 ひびわれ様相図 (コーベル試験体)

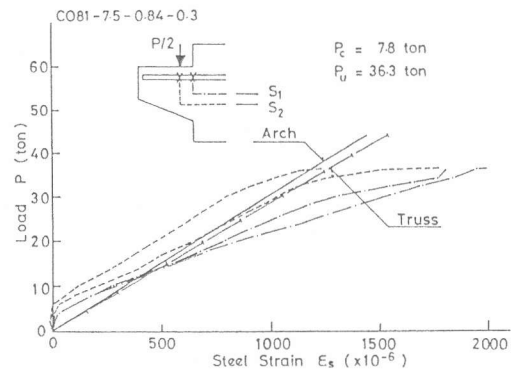


(a) $a/d=0.3$, $P_{st}=0.84\%$, $W_b=7.5\text{ cm}$

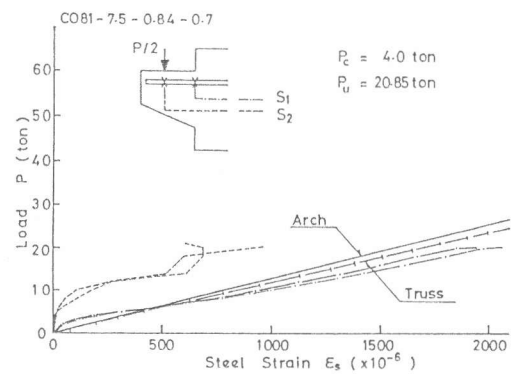


(b) $a/d=0.7$, $P_{st}=0.84\%$, $W_b=7.5\text{ cm}$

図-3 ロゼットゲージによる主ひずみの変化



(a) $a/d=0.3$, $P_{st}=0.84\%$, $W_b=7.5\text{ cm}$



(b) $a/d=0.7$, $P_{st}=0.84\%$, $W_b=7.5\text{ cm}$

図-4 荷重と主鉄筋ひずみの測定結果

コーベル試験体の場合、初期ひびわれ発生荷重付近に於ては、載荷点位置での主ひずみは垂直で、コーベル下方に於てはストラットの傾きに似た主ひずみの傾きであった。主ひずみの大きさは、載荷点に比べ、コーベル下方の方が大きい結果が得られた。斜めひびわれ発生荷重付近に於ては、載荷点とコーベル下方を結ぶストラットの形成を感じさせるような主ひずみの変化(図-3参照)となった。

フーチング試験体に於ける主ひずみの変化は、コーベルに比べ、 a/d による違いが比較的明確であった。 a/d が小さい($a/d=0.3$)場合、図-6(a)に示すように、支点付近で鉛直で、上方に行くに従ってスパン中央に傾いていく傾向を示した。

a/d が大きくなると($a/d=0.7$)、試験体各部に於ける主ひずみは、ほぼ直線的な流れとなり、ストラットには比較的大きな圧縮力が生じているものと思われる。

主鉄筋のひずみの性状——ひびわれの進展に伴うつり合い機構の変化について検討するために主鉄筋のひずみ変化に着目した。主鉄筋ひずみは、載荷点の中央及び柱部材と片持部の境界の二ヶ所で測定を行った(図-4.7参照)。

実験結果との比較には、ひびわれ発生後に於けるコーベル又はフーチング部材がトラス又はアーチのつり合いに変化するものとした。アーチの場合、2ヒンジのタイドアーチとし、またトラスについてはG. Franz¹⁾らの考え方を用いた。主鉄筋のひずみ変化は、コーベル及びフーチング試験体共に、鉄筋量が少ない場合($Pst=0.42\%$)、 a/d の大小にかかわらず、ほぼアーチ又はトラスのタイ材としての挙動を示した。 $Pst=0.84\%$ 及び 1.32% では、 a/d が小さい場合、曲げひびわれの進展が止まる $P=2.0\text{ ton}$ 付近ではタイ材の挙動を示したが、終局荷重付近に於てはタイ材としての引張ひずみよりも大きく、主鉄筋は降伏応力度に近い引張力を受け破壊に至った。これに対し、 a/d が大きい場合、載荷点直下のひずみは小さいが、境界部に於ける主鉄筋ひずみの変化はタイ材としての挙動を示し、フーチング試験体の方がさらに傾向が強いように思われる。

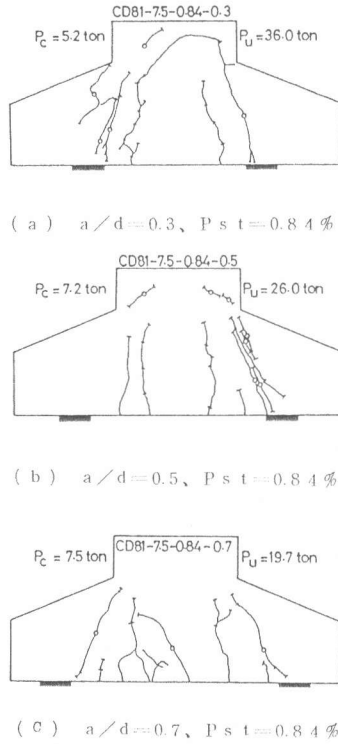


図-5 ひびわれ様相図 (フーチング試験体)

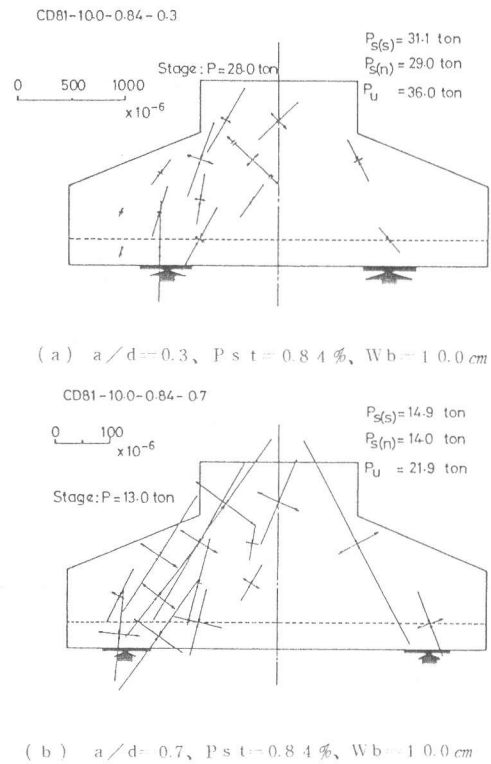
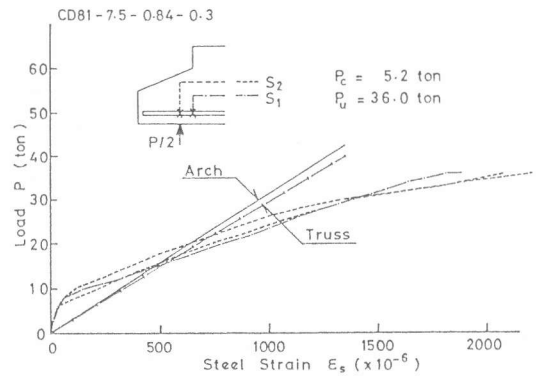
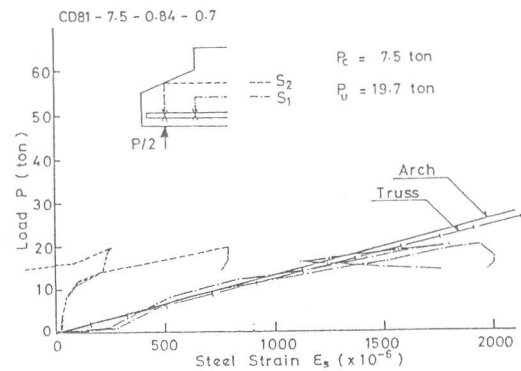


図-6 ロゼットゲージによる主ひずみの変化



(a) $a/d=0.3$, $Pst=0.84\%$, $Wb=7.5\text{ cm}$



(b) $a/d=0.7$, $Pst=0.84\%$, $Wb=7.5\text{ cm}$

図-7 荷重と主鉄筋ひずみの測定結果

耐力——図-8に斜めひびわれ発生荷重と a/d の結果を、図-9に終局せん断力と a/d の結果を示した。

斜めひびわれは載荷点からコーベル下方を結ぶ線上(コーベル試験体)、又は支点と上方の柱部材を結ぶ斜めの線上(フーチング試験体)の中間より発生し、斜め上下方向に進展した。

コーベル試験体の場合、載荷板の幅の大きさの影響が斜めひびわれ発生に影響しており、 $a/d=0.3$ の場合この傾向が顕著であった。しかし、フーチング試験体の場合には余り明確な違いは見られないように思われる。

終局耐力については、図-9に示すように、コーベル試験体の場合、鉄筋量の影響が顕著であった。鉄筋量が多い場合($P_{st}=1.32\%$)、コーベルとフーチング試験体では終局耐力が異なり、コーベル試験体の方が耐力の大きい結果が得られた。コーベルの場合、隅角部が存在する事によって、柱部材とコーベル境界部付近が純せん断を受けるような破壊となるためと考えられる。変位計による斜めひびわれ面での変位の方向は、 $a/d=0.3$ で約 $20^\circ\sim 60^\circ$ 、 $a/d=0.5$ で約 $50^\circ\sim 70^\circ$ 、 $a/d=0.7$ では約 $60^\circ\sim 90^\circ$ であった。

a/d が大きくなるのに従って斜めひびわれ面ではズレ変形が少なくなり、耐荷機構はアーチリブに働く力に変化し、ひびわれ間の目開きの方が多くなったものと考えられる。

4. 結 び

本実験結果より、 a/d の小さな片持部材のせん断破壊、及び耐荷機構について、次の事が要約される。

- 1) コーベル及びフーチング形状によらず、初期ひびわれ発生後のつり合い機構は、タイ材を持つアーチ又はトラス的な性状を示す。特にこの傾向は、鉄筋量が少ない場合や、 a/d が大きくなるに従って著しい。
- 2) 終局時に於ける耐荷能力は、アーチ又はトラスの斜材として形成されるコンクリートストラットの強度に左右されるように思われる。しかし、コーベルのように隅角部がある場合、 a/d が小さいと、コーベル下方に於て強制的なせん断を受けるような挙動を示す。
- 3) a/d の小さい片持部材の場合、耐荷機構は同一でなく、主鉄筋量及び a/d の組合せによって、ストラットのせん断、せん断ヒンジの形成による回転、及びタイ材の降伏、などに大別されるように思われる。

参考文献 1) ACI-ASCE Task Committee, Proc. of ASCE, Vol. 99, ST6, June 1973, pp. 1091-1187.

2) Chow, L. et al., Trans. of ASCE, No. 11, 1952, pp. 686-708. 3) 例えば、土木学会 国鉄建造物設計標準解説 1974 (S49年)

4) 池田, コンクリート工学, VOL. 14, No. 4, 1976, pp. 1-10, 5) Niwa, J. et al., IABSE Collo., Final Report, 1981, pp. 625-638.

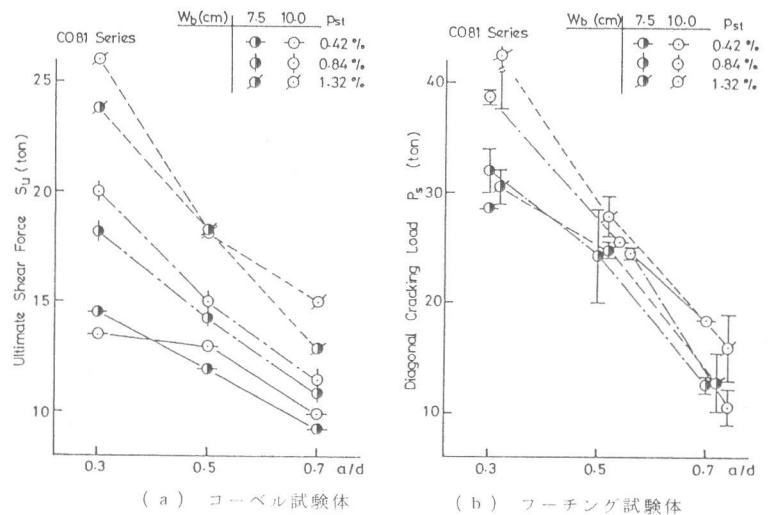


図-8 斜めひびわれ発生荷重 a/d

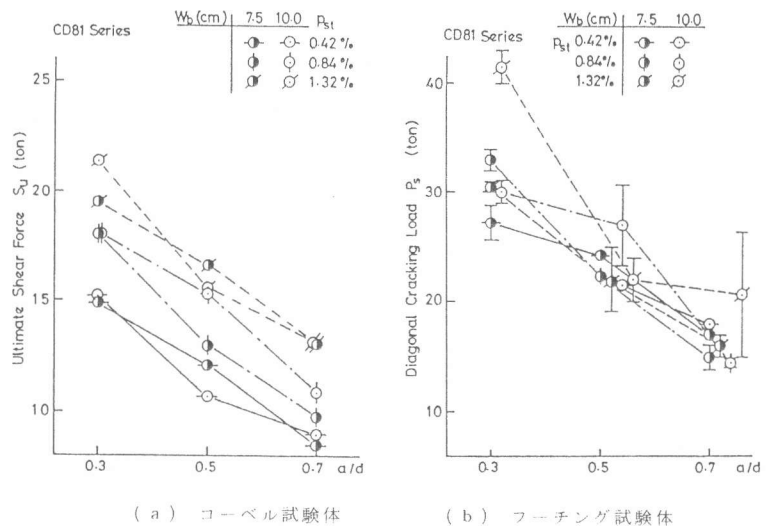


図-9 終局せん断力と a/d