

[194] 鉄筋のダウエル作用における非線形挙動について

正会員 ○古内 仁 (北海道大学工学部)
 正会員 角田 与史雄 (北海道大学工学部)

1. まえがき

鉄筋は細い棒状体であるため、鉄筋コンクリート部材の設計においては、専らその軸方向の引張力または圧縮力のみを受けるものとして取り扱われている。しかし、部材の引張部のコンクリートにひびわれが生じた後、そのひびわれをはさむ両縁のコンクリートが鉄筋の軸方向と一致しない方向に相対的変位を起こそうとすれば、その鉄筋には軸方向力のみでなく、せん断力も作用する。そのような働きは鉄筋のダウエル作用(ダボ作用)と呼ばれ、部材の変形機構にとって複雑な影響を与えるとともに、部材の耐力に対してもある程度の寄与をすることが知られている。

本研究では、さきの報告¹⁾で示したダウエル作用の変形モデルを破壊時点まで拡張し、またそのモデルの係数や特性値などについて検討を行った。

2. 実験概要

本研究において用いた供試体は、図-1に示すようにKrefeld²⁾らに準じた供試体を用いた。この供試体は、はりの中央部にせん断ひびわれを想定した人工ひびわれを作製し、その上端に載荷(P_1)をすることにより人工ひびわれ面においてダウエル力(鉄筋一本当たりをDとする)を発生させ、供試体上面中央に載荷(P_2)をすることによりさらに大きな鉄筋の引張力を発生させることができる。変数としたパラメータは、断面幅、鉄筋径および鉄筋の底面かぶり厚とし、鉄筋の上下面のひずみ、人工ひびわれ断面のコンクリートのひずみおよびダウエル変位を測定した。なお、人工ひびわれは骨材の摩擦を取り除くため、1mm厚のプラスチック板2枚の間にグリースを塗布し形成した。

使用した鉄筋は、横フシ型異形棒鋼SD35のD10、D16、D22である。コンクリートは、早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を用い、水セメント比は51%、目標強度は300kg/cm²である。供試体は、打設後1日で脱型し湿布養生を行い、材令7日で実験を実施した。

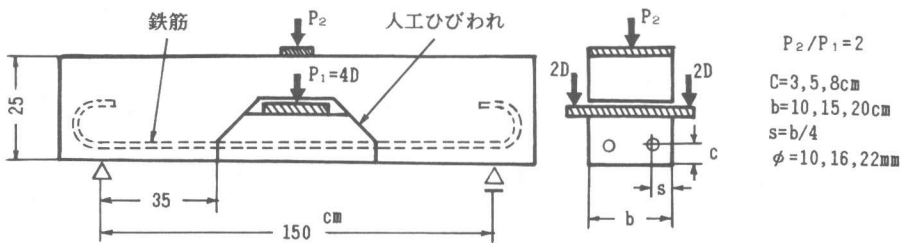


図-1 供試体の形状および寸法

3. 実験結果および考察

3.1 ダウエル作用のモデル化

さきの研究¹⁾では、鉄筋のダウエル作用による変形形状に対し次のようなモデルを導入した。まず、ダウエル力の小さな範囲では弾性床上ばりのモデルとする。すなわち、バネ定数 K_1 のバネに吊された仮想ばりを仮定し、その断面は図-2のように鉄筋とそのごく近傍のコンクリートのみを考慮した直径 $\lambda\phi$ ($\lambda \geq 1$)の合成断面とする。しかし、ダウエル力がある程度以上大きくなるとダウエルひびわれの発生による非線形性を考慮するため、図-3に示すようにダウエル力の増加に伴う剛性および

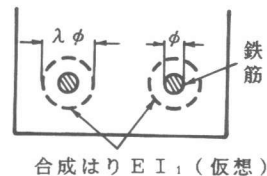


図-2 合成はりの断面

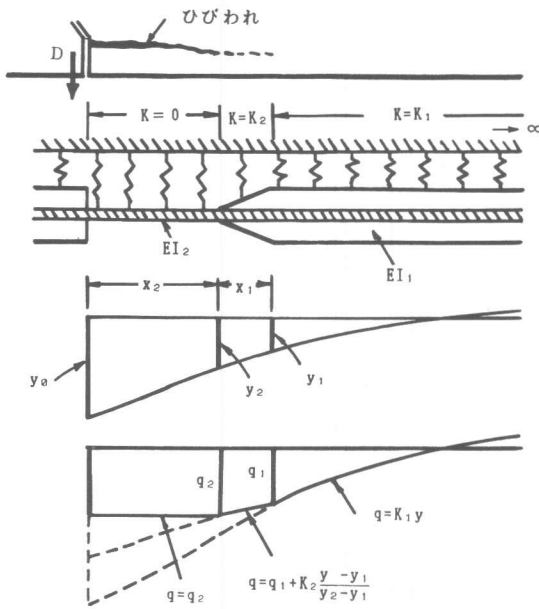


図-3 ダウエル作用の非線形モデル

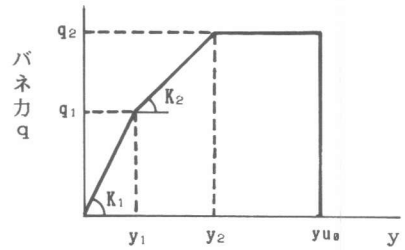


図-4 yとqの関係(仮定)

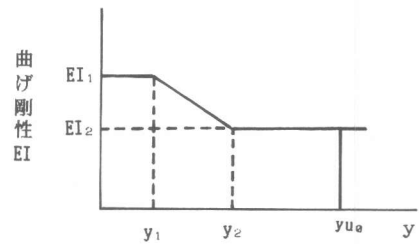


図-5 yとEIの関係(仮定)

バネ定数の低減を行い、上記の弾性床土ばりモデルを非線形モデルに修正する。そこでは、特性値 y_1 、 y_2 を設定し、仮想ばりのたわみ y が y_1 を越えれば K および EI を y の増加に伴って減少させ、さらに y が y_2 を越えればバネの力 q は一定とし、かつ EI は鉄筋のみの曲げ剛性 EI_2 とするものである。ここで x_1 および x_2 は図にみられるように非線形領域すなわち仮想ひびわれ長さを示す。

また、破壊時のダウエル力載荷点のたわみを y_{00} とする。以上の y と q および y と EI の関係は図-4 と図-5 に示すとおりである。

3.2 係数および特性値の検討

次に、弾性モデルによって算出された各種の係数および特性値に及ぼす影響因子について検討を行った。

(1) λ の検討：ダウエル力に抵抗する合成ばりの断面すなわち λ の値は、おおよそ 1.3~2.2 の範囲に分散したが、図-6(a) および (b) に示すように、鉄筋径、断面幅、かぶり厚の影響についての一定の法則性はみられなかった。この結果、 λ の値は大きな近似ではあるが一定とみなすことができるものと考え、以下ではその平均値の 1.6 を用いる。

(2) K_1 の検討：図-7 は、バネ定数 K_1 について断面幅の影響を示したものである。人工ひびわれ面から鉄筋の曲率の反曲点の位置までを x_0 とすると、 K_1 の値は x_0 の 4 乗に比例するため、 x_0 の微小な動きに大きく左右される。 K_1 はこの曲率分布から求められたため、大きなばらつきが見られるが断面幅

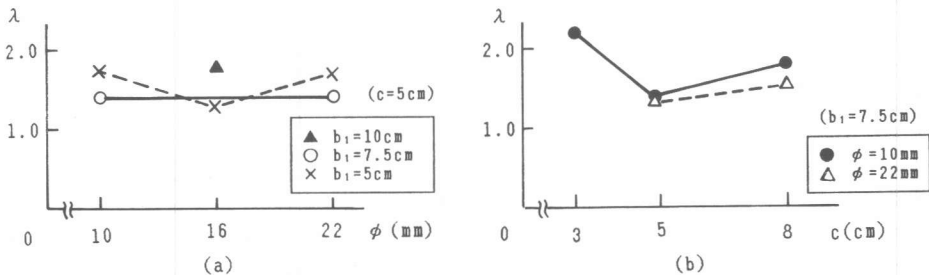


図-6 λ の計算値

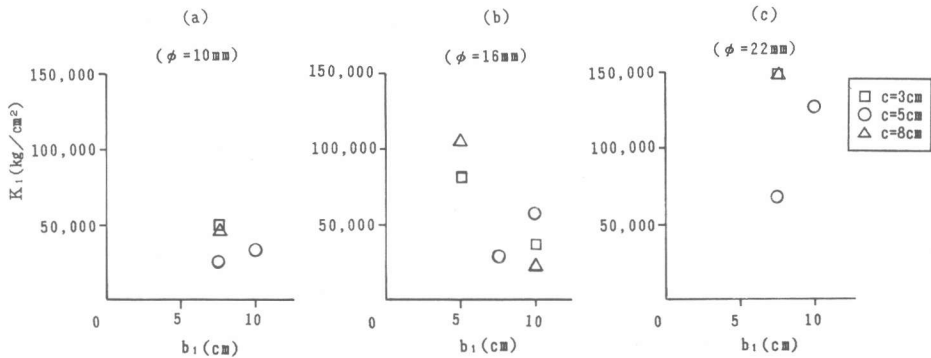


図-7 断面幅の影響

が影響を与えるということを見ることはできない。また、かぶり厚についても断面幅と同様にその影響を見ることはできなかった。しかし、この図を鉄筋径ごとに相対的にみると、鉄筋径が大きくなるにつれて全体的に \$K_1\$ の値が大きくなっていることがわかる。このことから \$K_1\$ と鉄筋径は、比例よりやや強い関係にあることが認められる。

(3) \$K_2\$ の検討: \$K_2\$ は計算結果から、\$y_2\$ の値には直接影響を与えるが、ダウエル作用の全体的な変形性状を表すには \$K_1\$ の \$1/2\$ としても差し支えないことがわかった。

(4) \$y_1\$ および \$y_2\$ の検討: 特性値 \$y_1\$ と \$y_2\$ は、ほぼ同様の傾向を示すためいっしょに検討を行った。図-8(a) は、断面幅の影響を示したものである。\$b_1\$ は鉄筋1本当たりの断面幅である。この図によれば、やや比例に近い関係を示している。同様に図-8(b) はかぶり厚 \$c\$ の影響を示したものであるが、比例するような大きな関係はないがやはりかぶり厚の増加によって多少大きくなる傾向がある。また、図-8(c) は鉄筋径の影響を示したものであるが、鉄筋径の大きさに対してほぼ反比例していることがわかる。これは、弾性領域で求めたバネ定数 \$K_1\$ が鉄筋径の増加によって大きくなっているためと考えられる。

(4) \$y_{00}\$ の検討: 図-9(a) は、断面幅の影響を示したものであるが断面幅の増加に伴ってやや大きくなる傾向にある。図-9(b) はかぶり厚の影響を示したものであるが、かぶり厚に対して比例関係以上の大きな影響がみられる。しかし、図-9(c) に示すように鉄筋径の影響は、\$y_1\$、\$y_2\$ と異なってその影響をみることはできなかった。

3.3 係数および特性値の推定

以上に得られた結果より、\$K_1\$、\$y_1\$、\$y_2\$ についてそれぞれ影響する因子を取り入れて回帰解析を行った。それらの結果を下に示す。

$$K_1 = 10000(2.1\phi^{2+2.7}) \quad \dots 1)$$

$$\frac{y_1}{\phi} = 0.0000371 \cdot \phi^{-1.1} \cdot \left(\frac{c}{\phi}\right)^{0.61} \frac{b_1}{\phi} \quad \dots 2)$$

$$\frac{y_2}{\phi} = 0.000125 \cdot \phi^{-0.85} \cdot \left(\frac{c}{\phi}\right)^{0.29} \frac{b_1}{\phi} \quad \dots 3)$$

ここに、\$\phi\$ (cm): 鉄筋径、\$c\$ (cm): かぶり厚、\$b_1\$ (cm): 鉄筋一本あたりの断面幅を表す。

なお、\$y_{00}\$ についてはデータのばらつきが大きいので、今回は回帰解析を見合わせた。

4. まとめ

得られた結果をまとめると次のとおりである。

- 1) ダウエル作用の変形は、弾性床上げりとそれを非線形に修正したモデルであらわすことができる。
- 2) 荷重の小さな段階では、弾性床上げりのモデルを用い、その仮想ばりの断面は鉄筋の直径の約1.6倍の範囲のコンクリートと鉄筋からなる円形断面とすることができる。また、それを支えるバネの定数は、鉄筋径が大きいほど大きい値となる。

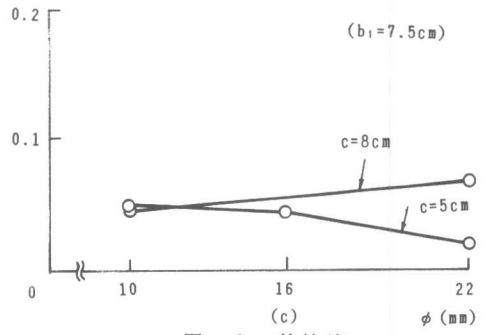
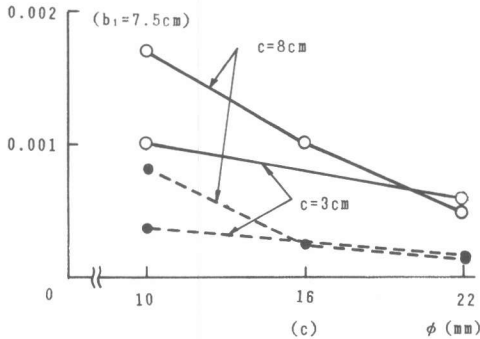
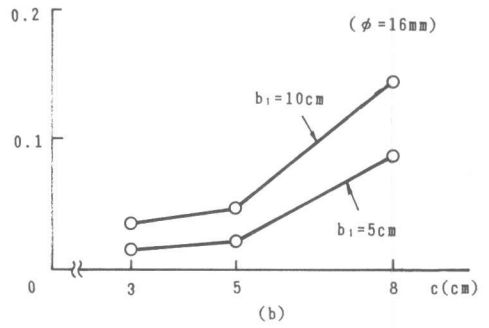
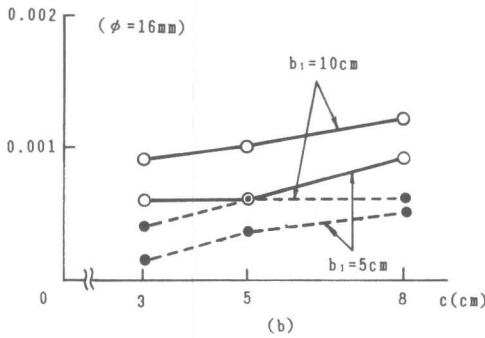
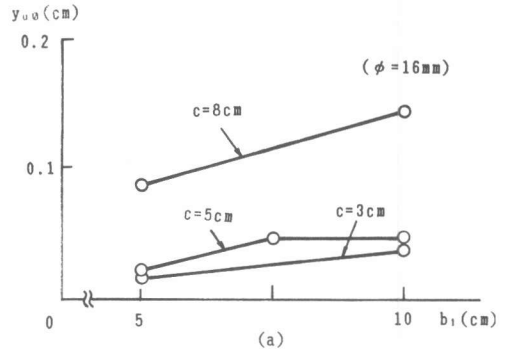
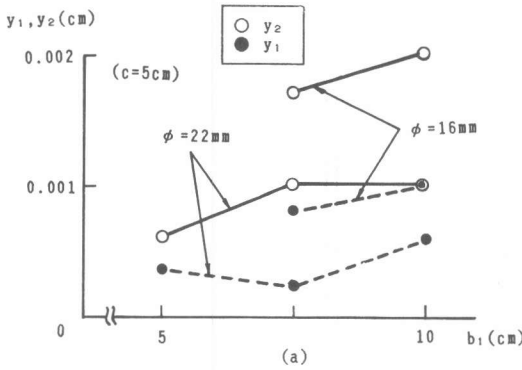


図-8 特性値 y_1 および y_2

図-9 特性値 y_{uo}

3) ひびわれ発生後は、非線形性をあらわすため弾性床上りモデルに特性値 y_1 、 y_2 を設け、仮想断面の曲げ剛性 $E I$ およびバネ定数 K の低減を行った。その際の特値 y_1 および y_2 の値は断面幅およびかぶり厚が大きいほど大きく、また鉄筋径が大きいほど小さい値をとる。しかし、本研究で行った実験では変数の範囲が不十分であり、断面幅がある程度大きくなったところに上限値があると思われる。この点については再度検討の必要がある。

4) 破壊時のたわみ y_{uo} は、断面幅およびかぶり厚が大きいほど大きい値をとる。

謝辞：本研究は、北海道大学工学部の木村 勉技官および卒論生藤野俊彦、若山 浩、遠藤勝典、山下修各氏の多大な助力をえた。ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 古内、角田：鉄筋のダウエル作用による変形性状について、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、1985
- 2) Krefeld, W.J., Thurston, C.W., Journal of American Concrete Institute, Mar. 1966