

[128] 鉄筋のダウエル作用による変形性状について

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

鉄筋のダウエル作用(ダボ作用)は、コンクリート構造物の耐荷挙動を極めて複雑にしている要因の一つである。本研究は、鉄筋にダウエル作用が起ったときの鉄筋および鉄筋周囲のコンクリートの変形など、その力学的性質を実験によって調べたものである。

2. 実験概要

本研究において行った実験は、次の2種類からなる。実験1では、ひずみの測定を容易にするためのモデル供試体を用いた。すなわち、図-1に示すようにコンクリート角柱の両端附近に各1本の鉄筋を横方向に入れ、その突出部の付け根に直接ダウエル力を載荷し、ダウエル変位と供試体各部のひずみを測定した。実験2では、図-2に示すように Krefeldら¹⁾に準じた供試体を用いたが、ひびわれ部分の上部のみでなく、はりの上面にも載荷する点が異なり、 P_1/P_2 を変えることによって鉄筋の引張力とダウエル力の比を任意に変えることができる。この実験では鉄筋の上下面のひずみと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、人工ひびわれの幅は約2mmである。

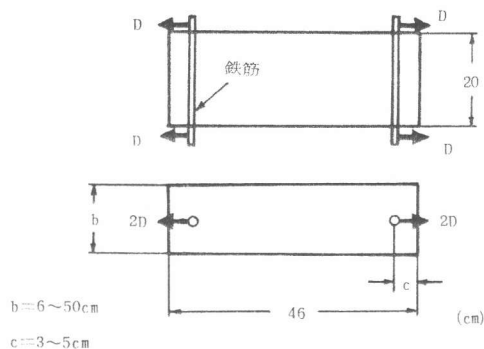


図-1 実験 1

使用した鉄筋は、横フシ形異形棒鋼 SD35のD16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、実験1の水セメント比は53%、実験2は52%である。また、試験日目標強度は 300 kg/cm^2 である。供試体は、打設後7日で脱型し湿布養生を行い、実験1は材令7日、実験2は9日で実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊状況

図-3は、実験2における破壊状況である。この実験

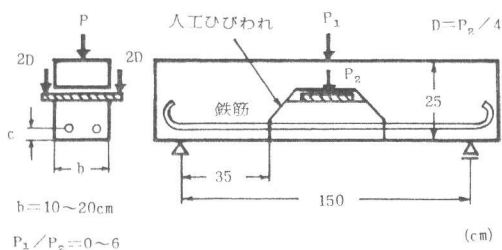


図-2 実験 2

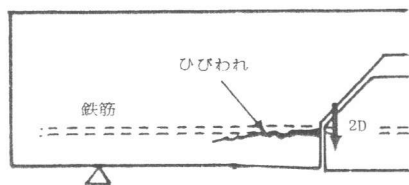


図-3 実験2の破壊状況(側面)

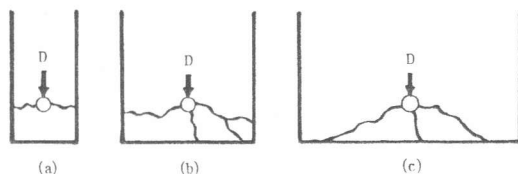


図-4 実験1の破壊状況(断面)

では鉄筋にダウエル力が作用するとその作用位置から鉄筋に沿ってひびわれが進展し、かぶりのはく落が起る。

図-4は、実験1で観測された断面内の破壊状況を示したもので、側面かぶり/底面かぶりの比が小さい場合は側面割裂型、大きい場合はV型割裂型の破壊が起った。

3.2 ひずみ分布

図-5は、実験1における側面かぶりの小さな供試体についてコンクリート表面の鉛直方向ひずみの分布を測定したものである。ひずみの絶対値が小さいので定量的な評価は困難であるが、ダウエル力の載荷端附近では引張ひずみが生じているのに対し、内部では必ずしも引張ひずみが生ずるとは限らず、ひずみ分布は波打つ傾向が見られる。このような性状は一般に弾性床上ばりに類似している。

図-6は、実験2における人工ひびわれ断面のコンクリートのひずみ分布を示したものである。これによれば、鉄筋附近のコンクリートに引張ひずみが集中して生じており、鉄筋からある程度以上離れた位置ではほとんど引張応力が作用していないことがわかる。また、コンクリートの引張ひずみ能力は、一般に 200×10^{-6} 前後であることを考慮すれば、ダウエル力の増加につれて微細なひびわれが鉄筋附近から発生進展し、ダウエル力に抵抗するコンクリートの位置が徐々に外側に移動していく状況が読みとれる。

3.3 ひびわれ発生

図-7は、断面幅の違う供試体についてひびわれ発生荷重と破壊荷重を比較したものである。

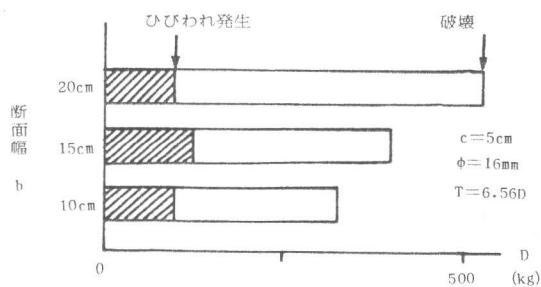


図-7 断面幅の影響

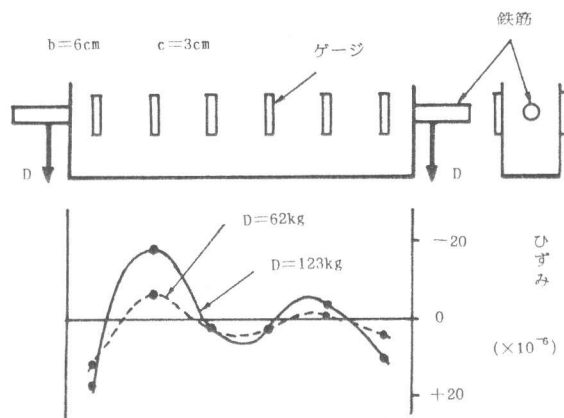


図-5 ひずみ分布の測定結果
(側面) .. 実験1

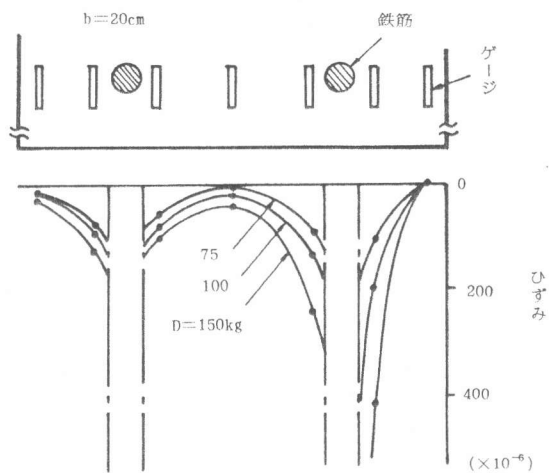


図-6 ひずみ分布の測定結果
(ひびわれ断面) .. 実験2

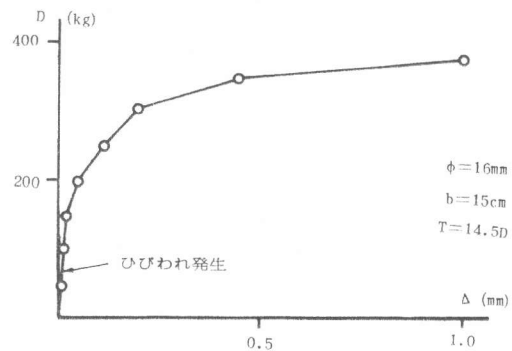


図-8 ダウエル変位

ただし、ひびわれ発生荷重は人工ひびわれ断面のコンクリートの引張ひずみが、 200×10^{-6} を越えたときと仮定した。この図によれば、断面幅が異なってもひびわれ発生荷重はほぼ同程度であることがわかる。それに対して断面幅が大きくなればひびわれ後の耐力は大きくなっている。

3.4 ダウエル変位

図一八は、実験2におけるダウエル変位を示したものである。この図にみられるようにかなり早期にひびわれが発生しているが、ひびわれ発生後しばらくはその影響はそれ程目立ったものではない。しかし、ダウエル荷重が大きくなるにつれて非線形性が強まり、破壊前にはかなり大きなダウエル変位を示している。

3.5 鉄筋の曲率

図一九は、実験2における鉄筋のひずみから求めた曲率を示したものである。この図にみられるように曲率は波打った形となっている。また、ダウエル荷重の小さい段階では反曲点位置はほぼ一定で、曲率の大きさがダウエル荷重にはほぼ比例し、弾性的な性質を示している。これに対して、ダウエル荷重がある程度以上大きくなれば、曲率はダウエル荷重に比例せず大きくなり、非線形性が現れる。さらに荷重が大きくなれば、反曲点が徐々に外側に移動し、曲率が急速に大きくなることがわかる。

3.6 ダウエル作用のモデル化

古くに Jones²⁾ がダウエル破壊耐力の推定モデルとして、はりの引張鉄筋と底面かぶりコンクリートからなる仮想上のはり弹性床土上ばりで見なした。上述のひずみ、変位などの測定結果から、弾性床土上ばりのモデルの有効性が見られるが、それはダウエル力の小さな範囲に限られ、かつ仮想ばりのとり方にも問題があるようである。そこで、ここでは実験2におけるダウエル力の低い範囲に対して図一十に示すモデルを考え、仮想ばりの断面として、鉄筋の曲げ変形に対する鉄筋周囲のコンクリートの共同作用を考慮するため、図一十一に示すような直径 $\lambda\phi$ ($\lambda \geq 1$) の合成ばりをとるものとした。その結果、 λ は 1.2~2.5、仮想上のバネ定数 K は $(2 \sim 16) \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の広い範囲に分散したが、定性的にはダウエル作用による変形状をほぼ表わすことができた。

次に、ダウエル力が大きな範囲では、非線形モデルの導入が必要である。ここでは、それを上記の弾性床土上ばりモデルの修正によって表わすことを試みた。鉄筋の曲率分布の測定結果などからバネ定数 K の低下と仮想ばりの断面積の低下の両者によって考慮すればよいことが示された。図一十二および図一十三は、それらの仮定を示したもので仮想ばりのたわみ y がある限界値 y_1 を越えれば

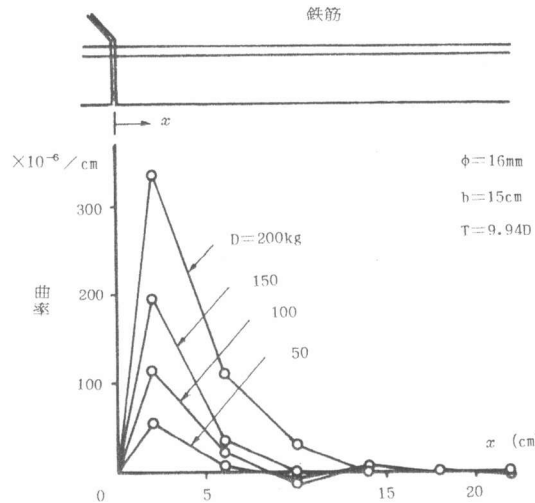


図-9 鉄筋の曲率

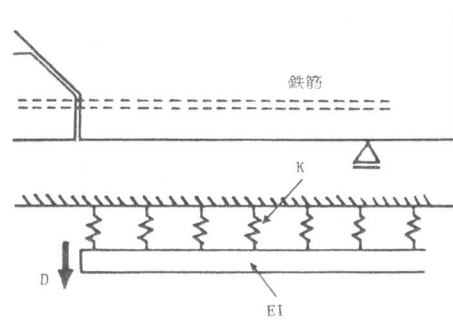


図-10 弾性床土上ばりモデル

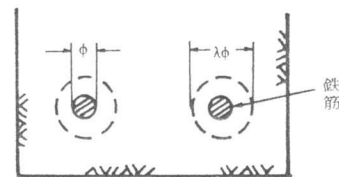


図-11 仮想ばりの断面

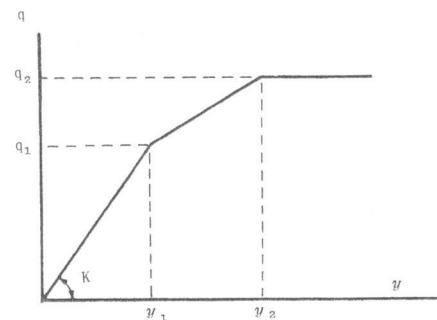


図-12 y と q の関係 (仮定)

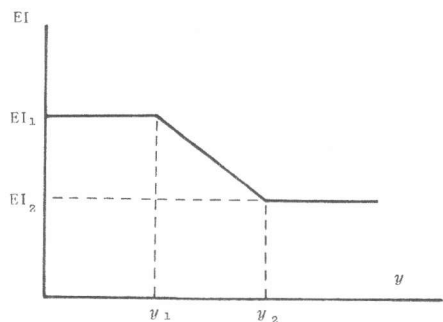


図-13 y とEIの関係(仮定)

K および仮想ばりの曲げ剛性 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。

図-14は、上記のモデルによる鉄筋の曲率分布の計算値を実験値と比較した一例を示したもので、(a)は鉄筋全長にわたり弾性域にある場合、(b)は人工ひびわれ位置に近い範囲で y が y_1 を越えている場合、および(c)は同じく y が y_2 を越えている場合に相当している。この例に見られるように、上記のモデルは鉄筋のダウエル作用のかなり広い範囲を表現できるようなのである。しかし、モデル中にある種々の特性値の大きさおよび各種因子の影響、並びに破壊条件については今後さらに検討が必要である。

4. まとめ

以上に得られた主な結果をまとめれば、次のとおりである。

(1) 鉄筋のダウエル力に抵抗するコンクリートの有効断面は、鉄筋のごく近傍に限られる。

(2) 断面幅が異ってもダウエルひびわれ発生荷重はほとんど変わらないが、終局耐力は断面幅が大きいほど大きくなる。

(3) ダウエル作用による変形は、ダウエル力が小さい範囲ではほぼ弾性的であるが、ひびわれ発生後は非線形性を示し、特に破壊直前には強い非線形性を示す。

(4) 上記の変形性状は、弾性床上ばりと、それを非線形に修正した力学モデルによってほととえることが可能である。

謝辞：本研究は、北海道大学工学部の木村 勉技官の多大な助力を受けた。また、藤野俊彦および若山 祐の両君の助力を得た。ここに合わせて感謝申し上げる。

文献

- 1) Krefeld, W. J., Thurston, G. W., Journal of American Concrete Institute, Mar. 1966
- 2) Jones, R: The Ultimate Strength of Reinforced Concrete Beams in Shear, Magazine of Concrete Research, Aug. 1956

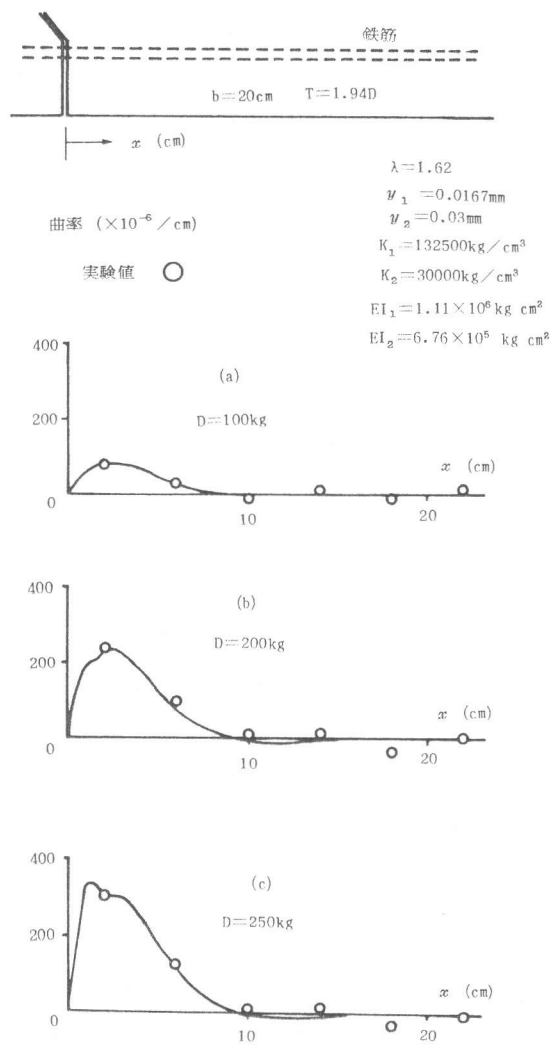


図-14 曲率(鉄筋)の計算値と実験値