

V—14 鉄筋のダウエル作用の力学的モデルに関する研究

北海道大学 正員 古内 仁
北海道大学 正員 角田与史雄
北海道大学 正員 能町 純雄

1. まえがき

鉄筋のダウエル作用は、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を実験によって詳細に調べ、さきの報告¹⁾で述べたダウエル作用の力学的モデルの拡張を試みた。

2. 実験方法

本研究において行った実験は、次の3種類からなる。実験1は、ひずみの測定を容易にするためのモデル供試体の実験である。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は、図-2 に示すようにはりの中央部分に人工のひびわれを作製し、はりの上面とひびわれ部分の上部に荷重を載荷するもので、この比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。実験3は、かぶりの方向に対して直角にダウエル力が作用する場合の実験で図-3 に示すように供試体の中央線部分に人工のひびわれを作製し、それを横切る鉄筋の角度を変えることによって鉄筋の軸力とダウエル力の比を任意に変えることができる。また、実験2, 3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。

使用した鉄筋は、横フシ形異形棒鋼SD35 で、主鉄筋はD16を用いた。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, 3は52%である。また、試験日目標強度は300 N/mm^2 である。供試体は、打設後1日で脱型し湿布養生を行い、実験1は材令7日、実験2, 3は9日で試験を実施した。

b: 断面幅 c: かぶり
D: ダウエル力

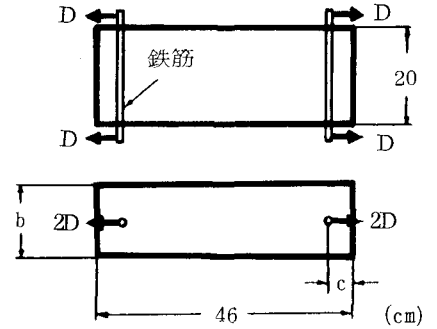


図-1 実験 1

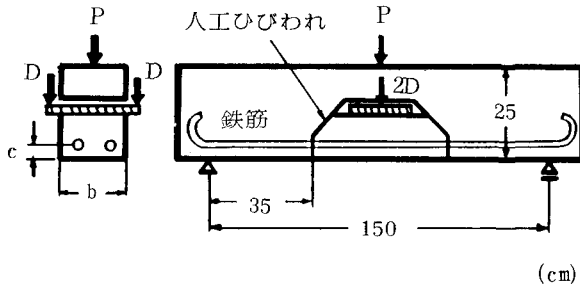


図-2 実験 2

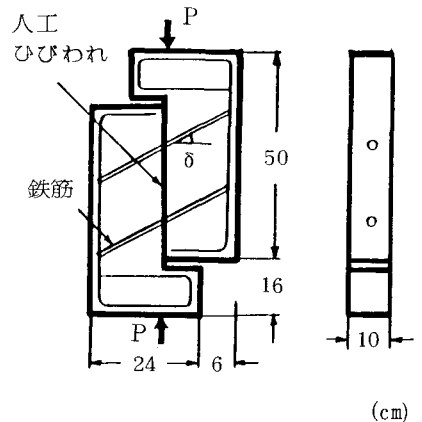


図-3 実験 3

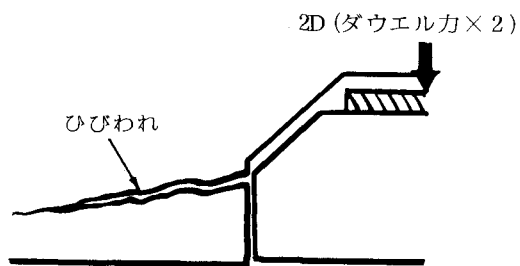


図-4 実験2の破壊状況

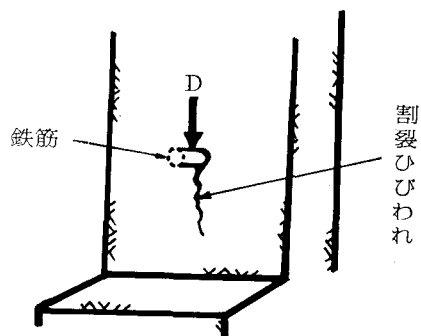


図-5 実験3の破壊状況

3. 実験結果

(1) 破壊状況

図-4は、実験2における破壊状況である。この実験では鉄筋にダウエル力が作用するとその载荷端附近から、鉄筋に沿ってひびわれが進展し、かぶりの剥落が起こる。

図-5は、実験3における破壊状況である。同様に、ダウエル力が作用するとこちらは、その作用方向に割裂ひびわれが進展し破壊に至る。

(2) ひずみ分布

図-6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。この図にみられるように、ダウエル力の载荷端附近では大きな引張ひずみが生じているが、内部では必ずしも引張ひずみが生ずるとは限らず、ひずみ分布は波打った形となっている。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-7は、実験2における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よみとれる。

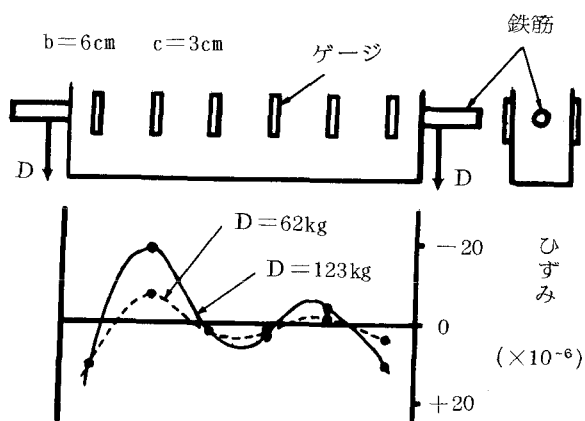


図-6 ひずみ分布の測定結果
(側面) . . . 実験1

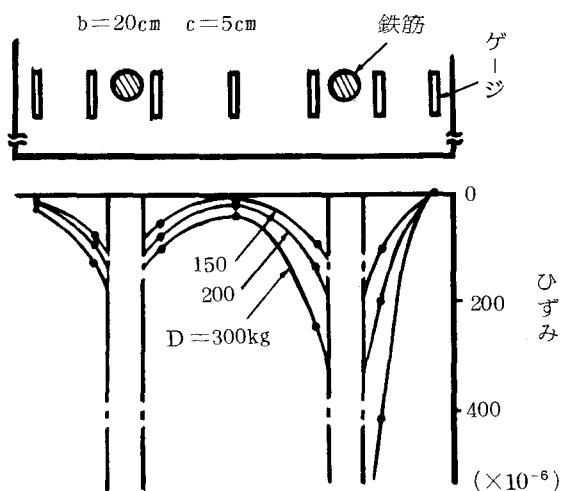


図-7 ひずみ分布の測定結果
(ひびわれ断面) . . . 実験2

(3) ひびわれ発生

図-8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。ただし、人工ひびわれ断面のひびわれ発生は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が大きくなることがいえる。

(4) 曲率

図-9は、実験2における鉄筋の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。ダウエル荷重の小さい段階では反曲点がほぼ一定で、弾性的な性質を示す。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反曲点が徐々に外側に移動し、さらに曲率の値が大きくなっていくことがわかる。

(5) ダウエル変位

図-10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く、線形に近い性質を示している。

4. 考察

前章の結果から、曲率を用いてダウエル作用を弾性床上ばりにモデル化することを試みた。

そこで、図-11に示すように鉄筋径の λ 倍の円形断面を仮想ばりの断面と仮定し、回帰解析を行った。ダウエル荷重が小さく、反曲点が一定のときは、通常の弾性床上ばりを用いてモデル化できる。その微分方程式は、

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Ky = 0 \quad (1)$$

である。以上のことを考慮し、理論上の曲率と実験から得られた曲率が一致するように λ

とバネ定数 K を決定した。その結果、平均で $\lambda = 1.91$, $K = 7.67 \times 10^4$ という値を得た。すなわち、ダウエル荷重の小さい段階では、それに抵抗する断面は鉄筋とその径の約2倍のコンクリートの円形部分からなる合成断面であり、その仮想ばりがバネ定数 K のバネで支持されていると仮定できる。

次に、ダウエル荷重が大きくなると曲率の反曲点は外側にずれ、曲率の値は大きくなる。この場合

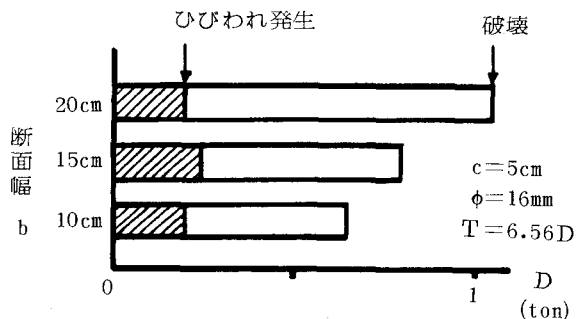


図-8 断面幅の影響

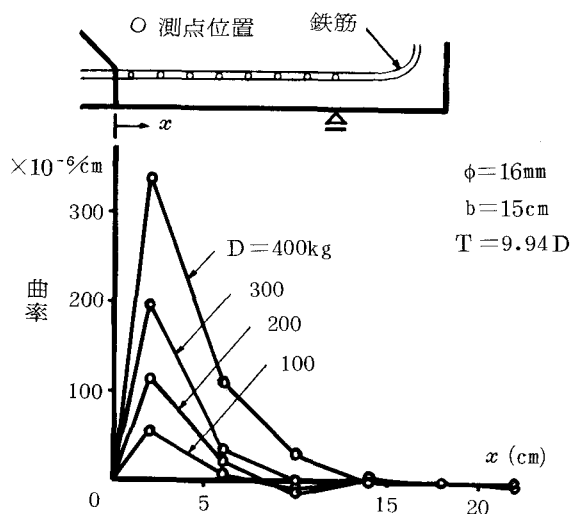


図-9 鉄筋の曲率

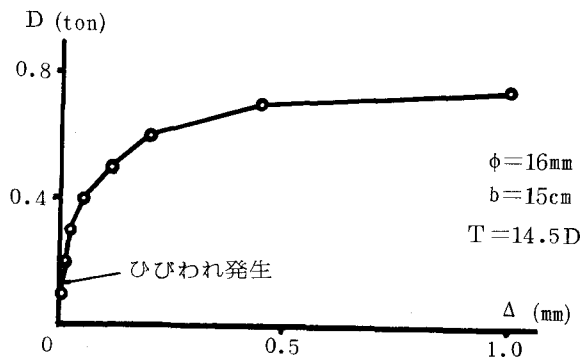


図-10 ダウエル変位

は、前述のモデルによる曲率では一致しないことが容易にわかる。これは、ダウエル荷重の作用位置より、ひびわれが全幅にわたって発展していくことにより、その部分のパネ力 q が急激に小さくなると考えられる。そのモデルを図-12に示す。このモデルでは、ひびわれ領域を x_0 と置き、パネ力 q の分布に傾きをつけることにした。その微分方程式は、

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{q_0}{x_0} x = 0 \quad (2)$$

であり、弾性領域の(1)式との連立方程式を解けば、解が得られる。また、この場合の λ と K は、弾性モデルから得られた値を用いひびわれ領域 x_0 を適当に与えれば実験値の曲率に比較的近い値を示した。

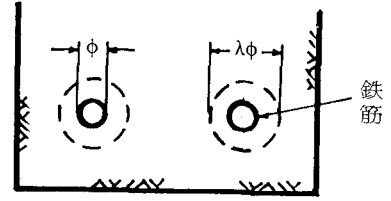


図-11 仮想ばりの断面

5. まとめ

(1) 鉄筋のダウエル抵抗に直接寄与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) 断面幅が異なっても、ひびわれ発生荷重は、ほぼ同じである。

(3) ダウエル作用は、ひびわれ発生前はほぼ弾性的性質をもつが、ひびわれ発生後は一種のひずみ軟化現象を示す。

(4) 上記の性質を考慮する一つの力学モデルを示した。

おわりに、本研究に多大な助力をいただいた北海道大学の木村勉技官および藤野俊彦君感謝申し上げます。

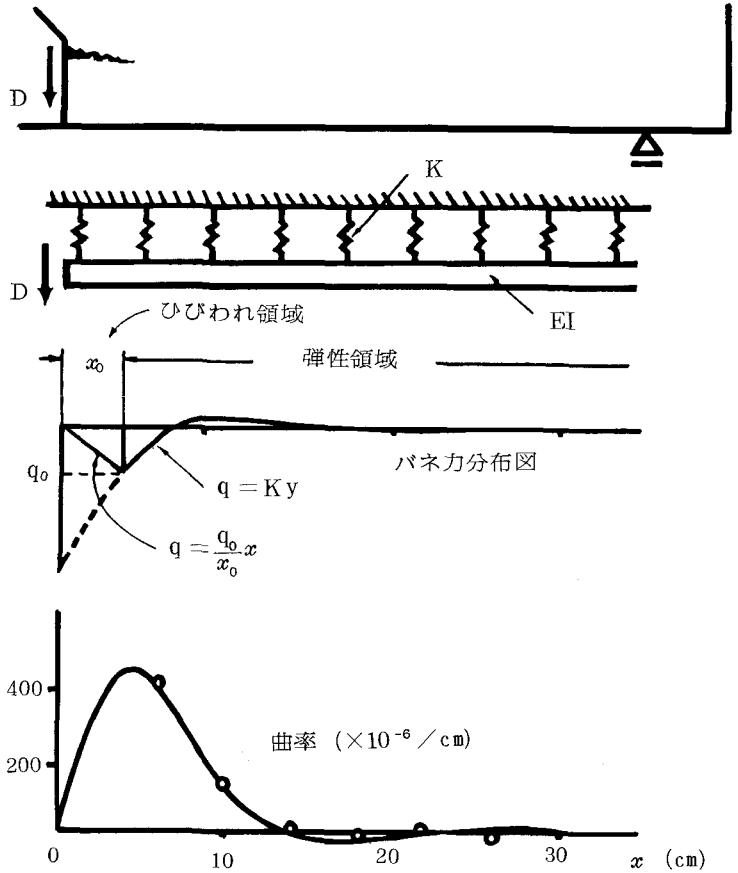


図-12 ひびわれ後のモデル

(参考文献)

- 1) 古内、角田、能町：鉄筋のダウエル作用による破壊機構について、土木学会北海道支部論文報告集第40号、昭和58年度