

V-36

斜め引張破壊におけるダウエルひびわれ発生メカニズムの実験的研究

北海道大学工学部 学生員 徳田 源介  
 北海道大学工学部 正 員 古内 仁  
 北海道大学工学部 正 員 上田 多門  
 北海道大学工学部 正 員 角田與史雄

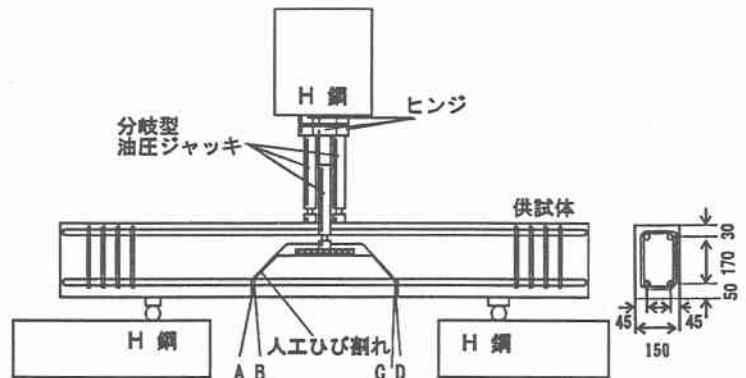
1 はじめに

近年、非線形有限要素法によって鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に対して精度のよい解析が行われるようになってきた。しかし、比較的にスレンダーなはりによく見られる斜め引張破壊については、必ずしも良い結果が得られていない。斜め引張破壊を起こすはりでは、せん断スパンに生ずる斜めひびわれがクリティカルな状態となり、終局時には、鉄筋を横切る位置から支点に向かって伸展するダウエルひびわれが現れる。このひびわれ発生は、斜めひびわれ面で軸方向鉄筋のダウエル作用と付着作用の両者に起因していることが知られている。現在、有限要素解析等において、ダウエルひびわれの発生を考慮できる適切なモデルはなく、斜め引張破壊を精度良く追跡するためには、そのモデルの構築が必要である。本研究では、ダウエルひびわれ発生要因となる軸方向鉄筋に作用する引張力とダウエル力に着目し、ダウエルひびわれ発生性状について実験的に調査を行った。

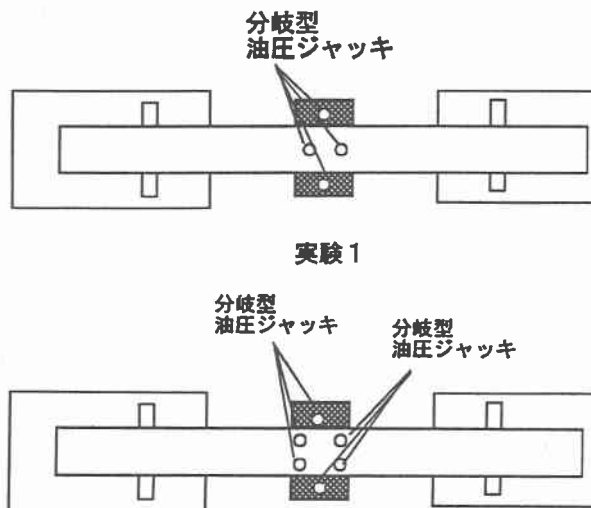
図-1は、既往の研究において解析されたせん断スパン比



図-1 斜め引張破壊



実験1



実験2

図-2 実験供試体

Experimental Study on Cracking Mechanism in Diagonal Tension Failure

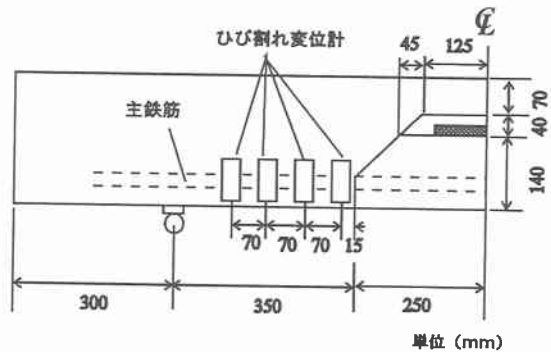
by Motosuke TOKUDA, Hitoshi FURUUCHI, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

が3.0の鉄筋コンクリートはりの斜め引張破壊の一例である。この解析結果から、斜めひびわれ発生後から破壊時までにおける軸方向鉄筋（●印位置）の引張力とダウエル力を調査したところ、引張力／ダウエル力の比はおおよそ5～10程度であることがわかった。本研究では、この比の範囲でダウエルひびわれ発生の性状を調査し、比較検討を行うことにした。

## 2 実験概要

本研究における実験では、図－2のようにKrefeld<sup>2)</sup>らの実験に準じ斜めひびわれを想定した人工ひびわれを設けた供試体を使用した。分岐型油圧ジャッキを用いて人工ひびわれ上端部にP<sub>2</sub>、およびはり上面中央部にP<sub>1</sub>の荷重をかけることによって軸方向鉄筋に引張力とダウエル力とを作用させることができる。引張力／ダウエル力の比は、荷重P<sub>1</sub>とP<sub>2</sub>を変化させることにより、任意に与えることができるが、前述の調査により本実験ではP<sub>1</sub>／P<sub>2</sub>を1および2にすることにした。また人工ひびわれは、骨材の摩擦を取り除くため1mm厚のプラスチック板に粘土を薄く張り付けたものを使用して作製した。供試体側面の主鉄筋に沿った位置（7cm間隔）に、2軸ひびわれ変位計を設置し、ダウエルひびわれの発達状態を計測した（図－3参照）。軸方向鉄筋には鉄筋径25mmの異形棒鋼（SD345）を2本用いた。鉄筋には、斜めひびわれ位置における軸方向引張力測定するために、人工ひびわれ面を横切

る4点（A、B、C、D：図－2参照）にひずみゲージを上下面計8ヶ所に貼り付け防水をほどこした。なお防水加工によって鉄筋のふしによる付着作用が減じないように、鉄筋には溝を作製し、ひずみゲージをその内部に貼り付けた。はりは、載荷点付近の圧壊を防ぐためおよび中立軸位置の移動をできるだけ防ぐため、D25mmの圧縮鉄筋2本を配置した。端部定着のためのスターラップは、D10mmの鉄筋を用いて5cm間隔に配置した。コンクリートの配合は、単位水量160kgf/m<sup>3</sup>、水セメント比48～50%で早強ポルトランドセメント、川砂および川砂利を用いて打設し、一週間湿布養生した後実験を行った。なお、圧縮強度は、実験1では260.8kgf/cm<sup>2</sup>、実験2では、236.0kgf/cm<sup>2</sup>となった。



図－3 変位計位置

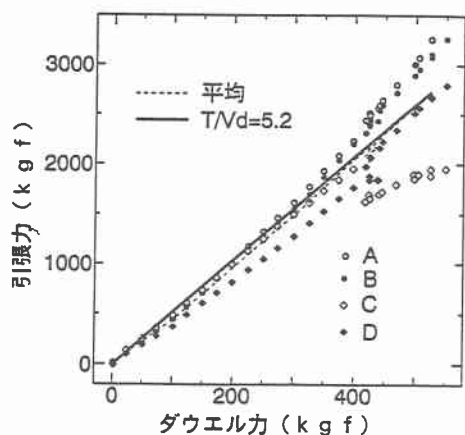
## 3 実験結果および考察

### （1）軸方向鉄筋の引張力とダウエル力

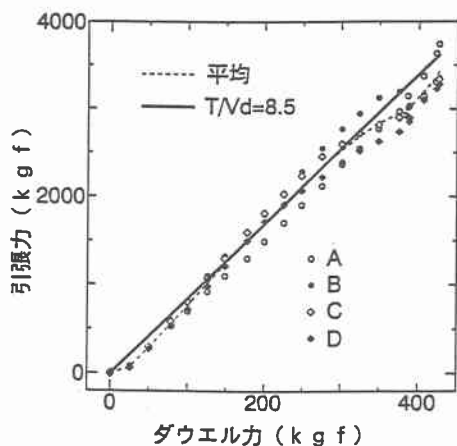
軸方向鉄筋の引張力Tは、4ヶ所（斜めひびわれを横切る鉄筋）の位置で計測された上下面のひずみの平均値を軸方向引張ひずみとし、降伏しない範囲において、その値に鉄筋の実断面積とヤング率を乗じて求めた。ダウエル力V<sub>d</sub>は、人工ひびわれ面での力の伝達が無いものと仮定し、荷重P<sub>2</sub>が、直接鉄筋にせん断を伝えたものとし、P<sub>2</sub>／4（鉄筋が人工ひびわれを4カ所の位置で横切っている）とした。図4に示すように実験1および2の両方においては、A、B、C、Dにわずかな差異が見られるものの、それぞれ平均のT／V<sub>d</sub>は5.2と8.5となっている。

### （2）ダウエルひびわれ発生について

図－5に各実験のダウエル力と開口ひびわれ変位の関係をあらわしてみた。実験1と実験2のいずれにおいても、人工ひびわれ面に最も近い位置（L=1.5cm；Lは人工ひびわれ面からの距離）では、比較的小さな

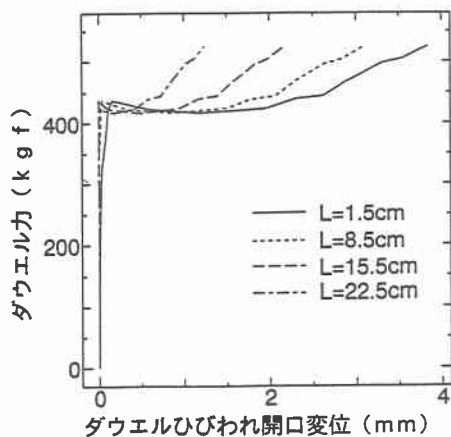


(a)実験 1

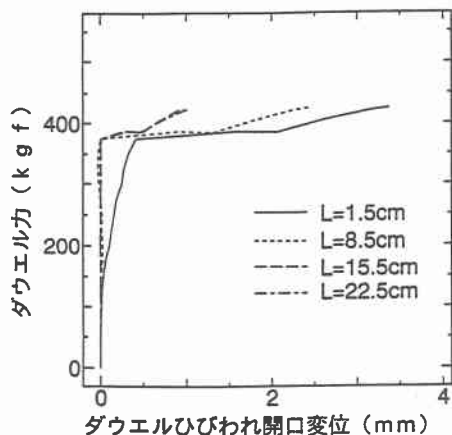


(b)実験 2

図－4 ダウエル力と引張力



(a)実験 1 ( $T/Vd=5.2$ )



(b)実験 2 ( $T/Vd=8.5$ )

図－5 ダウエルひびわれ変位

ダウエル力のレベルで、徐々に変位が現れている。その他の3点 ( $L=8.5\text{cm}$ 、 $L=15.5\text{cm}$ 、 $L=22.5\text{cm}$ ) では、あるダウエル力に達した時点で、大きな開口変位が現れている。これは、ダウエルひびわれの進行状況が、最初は、鉄筋近傍より側面に向かっていくことに起因するものであると考えられる。 $L=1.5\text{cm}$ の位置での初期の小さな変位は、内部から発生したひびわれが側面に達するまでの過度的な変位として現れているものと推察することができる。ダウエルひびわれが、大きく開口する段階でのダウエル力は、付着割裂を引き起こす軸方向引張力との組み合わせによって決まるものと思われるが、どの測定位置においても同じレベルであることがわかる。これは、人工ひびわれ位置より進行するダウエルひびわれにおいて、大きく開口した位置では、コンクリートのダウエル抵抗も付着作用もほとんど無くなり、鉄筋に作用するダウエル力と引張

力は、そのまま支点方向へ伝達されていくことを意味している。

図－6は、両供試体の $L=1.5\text{cm}$ におけるひびわれ開口変位を比較したものである。実験1では、 $Vd=437\text{kgf}$ 、実験2では、 $Vd=370\text{kgf}$ で大きな開口変位が現れている。実験2で、ひびわれの開口が早いのは、実験1に比べ、引張力が大きいからである。引張力による影響は、コンクリートが鉄筋のふしによるくさび作用を受け押し開かれるためである。初期の小さな変位が、実験2のほうが大きいのも同様の効果によるものであると考えられる。

#### 4 まとめ

今回の実験で以下のような結論が得られた。

軸方向鉄筋に引張力とダウエル力が作用している場合、引張力が大きいほど、小さなダウエル力でダウエルひびわれが、発生することが実験により明らかになった。

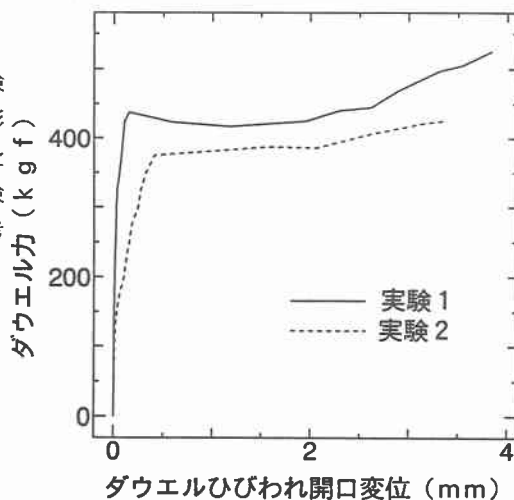
なお、今回の実験では、 $T/Vd$ を2種類について行ったものであるが、今後この比を変化させてさらに調査を行いたい。さらに、ダウエル力と引張力の種々の組み合わせから、ひびわれの発生規準等を定式化し、有限要素法に適用できるものを構築する予定である。

#### 5 謝辞

本実験遂行にあたり、北海道大学・木村 勉技官をはじめ、同大学構造工学講座およびコンクリート工学講座の教職員、学生の方々に協力していただき厚く感謝します。

#### 参考文献

- 1) Krefeld, W. J., Thurston, C. W., Journal of American Concrete Institute, Mar. 1966
- 2) 真田 修、古内 仁、上田 多門、角田 與史雄：鉄筋コンクリートはりの斜引張破壊に対する解析的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 16, No. 2, 1994, pp. 569-574



図－6 両実験の比較