

V-19

ダウエル作用と付着作用によるひび割れ発生荷重について

北海道大学工学部 学生員 小山 聡
 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

1 はじめに

鉄筋コンクリート部材において斜め引張破壊をおこすはりでは、終局時にはせん断スパンに生じた斜めひびわれから、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割れが現れる。このひび割れの発生には、主に斜めひび割れ面で軸方向鉄筋によるダウエル作用と付着作用に起因していることが知られている。既往の研究¹⁾における実験では、ダウエルひび割れ発生の一因となる軸方向鉄筋に作用する引張力とダウエル力の2つに着目し、両者を同時に作用させてひび割れ発生荷重を調査している。本研究においては、ダウエル力と引張力の組み合わせによって生ずるひび割れ性状の全体的なモデルの構築のため、もっと広い範囲（例えば引張力のみ、ダウエル力のみがそれぞれ卓越した場合など）についてひび割れ発生荷重を実験的に調査してみることとした。

2 実験概要

本研究における実験は以下に示す3種類の供試体を作製して行った。

(1) Krefeldら²⁾の実験に準じた供試体による実験

図-1に示すように分岐型油圧ジャッキを用いて人工ひび割れ上部と、はり上面中央部にそれぞれ載荷することにより、軸方向鉄筋に引張力とダウエル力を作用させる。荷重を調整することにより、引張力/ダウエル力(=T/Vdと書くことにする)の比を4.0程度にする。また人工ひび割れは、コンクリート打設の際にプラスチック版(厚さ1mm)に粘土を薄く貼り摩擦が生じないようにした。

(2) 引張力のみ生じるように設計した供試体による実験

図-2に示すように、(1)で用いた供試体の人工斜めひび割れ部のコンクリートブロックを取り除いた形に設計し供試体上面のみに載荷した。これにより、軸方向鉄筋には曲げモーメントによって生じる引張力のみがかかることになる。

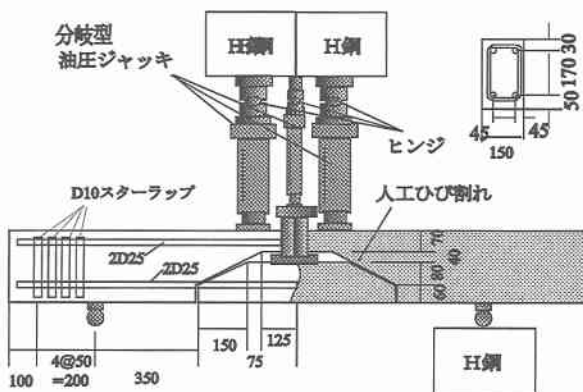


図-1 実験1供試体 単位:mm

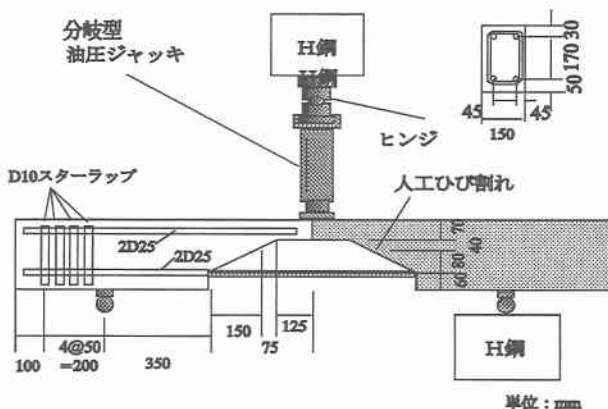


図-2 実験2供試体 単位:mm

Cracking Loads due to Dowel and Bond Actions

by Satoshi KOYAMA, Motosuke TOKUDA, Hitoshi FURUUCHI and Tamon UEDA

(3) ダウエル力のみ生じるように設計した供試体

図-3に示すようにこの供試体は、コンクリートブロック内部に油圧ジャッキを設置することによって、軸方向鉄筋に直接ダウエル力のみを作用させることができる。このとき、供試体は構造的にジャッキ荷重による支点反力が生じないため、曲げモーメントの影響がないのでダウエル力が卓越した荷重状態を作ることができる。すべての供試体に共通して、供試体側面の軸方向鉄筋に沿った位置（7cm 間隔）

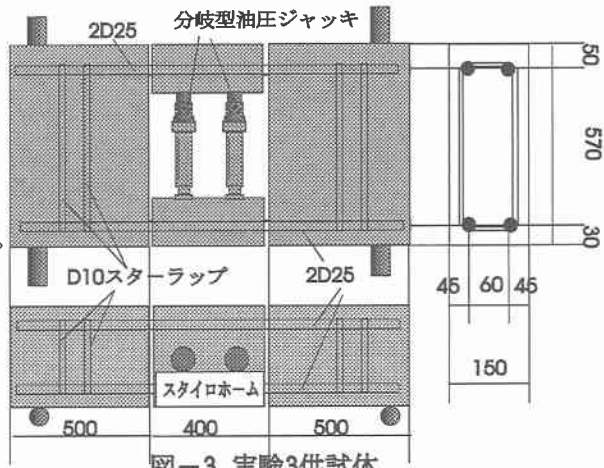


図-3 実験3供試体

に、2軸ひび割れ変位計を設置して、ダウエルひび割れの伸展状態を計測するとともに、目視によって確認した。軸方向鉄筋には鉄筋径 25mm の異形棒鋼 (SD345) を 2 本用い、人工斜めひび割れ位置における軸方向引張力を測定するために、人工ひび割れ面を横切る 4 点に歪みゲージを上下に合計 8 枚貼り付けて防水処理を施した。なお防水加工が鉄筋の節による付着作用に影響を与えないように、この主鉄筋に溝を作り歪みゲージをその内側に取り付けた。また、実験 (1)、(2) のはりでは、荷重点付近に圧壊が生じないように、D25mm の圧縮鉄筋を 2 本配置した。端部定着のためのスターラップは、D10mm (SD295A) の鉄筋を 5cm 間隔に配置した。

これらの供試体に共通してコンクリートの配合は、単位水量 1568N/m^3 ($=160\text{kgf/m}^3$)、水セメント比 48-50% で早強ポルトランドセメント、川砂および河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。圧縮強度は実験 (1)、(2)、(3) ではそれぞれ、24.8MPa、26.5MPa、21.2MPa となった。

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、人工ひび割れとの交点 4ヶ所の鉄筋上下面に貼られた歪みゲージの測定値の平均をそれぞれ軸方向引張歪みとし、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。またダウエル力 V_d は、人工ひび割れ面での力の伝達が無いものと仮定して、ジャッキ荷重のみが直接鉄筋にせん断力を伝えたものと考え、(ジャッキ荷重)/4 とした。図-4、5に示すようにそれぞれわずかな誤差が見られるものの、実験 (1) では $T/V_d=38$ 、実験 (3) では $T/V_d=0.015$ となった。なお、実験 (2) では供試体の設計上ダウエル力は 0 ($V_d=0$) であるので、図を省略した。

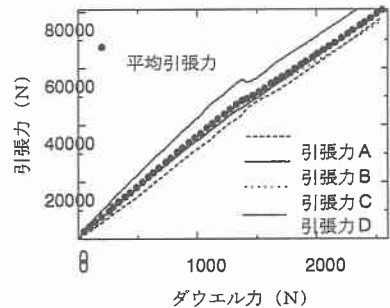


図-4 引張力/ダウエル力 (実験 1)

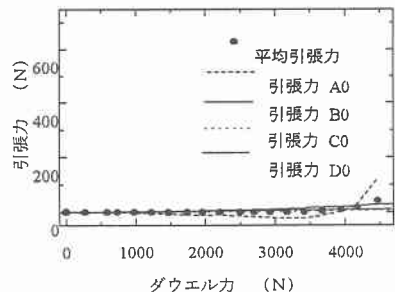


図-5 引張力/ダウエル力 (実験 3)

(2) ダウエルひび割れ発生荷重について

図-6、7、8は各実験のダウエル力とひび割れ開口変位の関係を表している。実験(1)ではひび割れ発生荷重(ダウエル力)は1417Nであるが、人工ひび割れに近い位置での開口変位は、ひび割れ発生荷重より前の段階から伸展していることが分かる。まず $L=1.5\text{cm}$ の位置の初期の小さな変位が、ひび割れが鉄筋付近から側面に伸展するまでの過度的な変位として計測されたと考えられ、側面に達した後支点に向かって大きく開口する段階では、どの位置においても同じレベルの変位が計測される。実験(2)については、 $L=1.5\text{cm}$ の位置での変位が初期の段階ではほとんど見られないが、これは発生したひび割れが変位計の上を通過してしまい、変位計が途中からしか作動しなかったためだと思われる。実験(3)では前の2つの実験とは違って、ひび割れの開口変位が破壊荷重に達するまで開かないことが分かる。

また、実験(1)、(2)では、破壊荷重を超えても引張力やダウエル力が増加していくが、実験(3)の場合は破壊と同時にダウエル力が減少する。これは前者の供試体では鉄筋に沿ったひび割れが生じて鉄筋に作用している引張力の成分がダウエル力に抵抗できるからであると考えられる。後者では荷重によるダウエル力がコンクリートのダウエル抵抗と釣り合っているため、破壊がおきるとともに荷重に対する抵抗を失うからだと考えられる。実験(1)と(3)を比較してひび割れが開口する時のダウエル力は3倍近く実験(3)のほうが大きくなっている。これは、実験(1)の場合は大きな引張力がかかるが、実験(3)の引張力はほとんどないためだと考えられる。つまり大きい引張力がかかるほど、コンクリートが鉄筋のふしによるくさび作用を受けるため小さなダウエル力でひび割れが開口するからである。

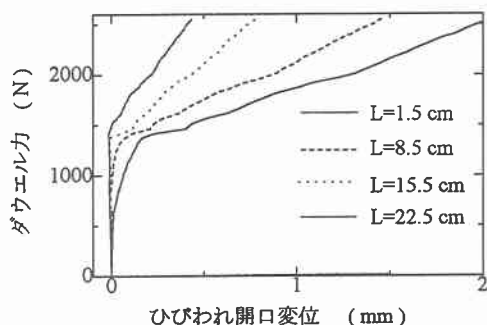


図-6 ダウエルひび割れ開口変位 (実験1)

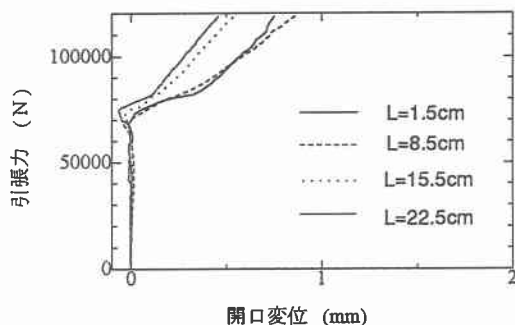


図-7 ダウエルひび割れ開口変位 (実験2)

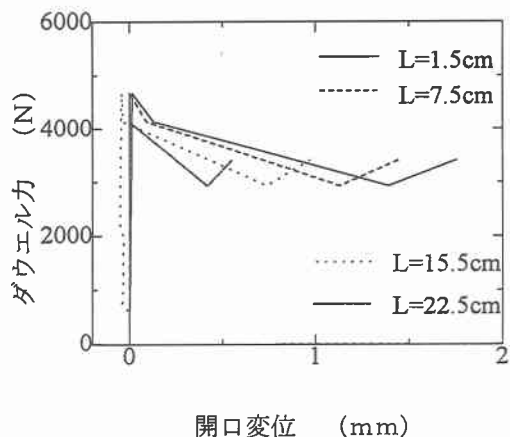


図-8 ダウエルひび割れ開口変位 (実験3)

4 ひび割れ発生荷重について

鉄筋に作用するダウエル力と引張力の比を変化させた今回の3つの実験と、既往の実験¹⁾の結果をまとめて図-9に示した。なお、各々の供試体におけるコンクリートの圧縮強度が異なるので、Krefeld²⁾, Tepfers³⁾ら研究における耐力式を参考にして、ひび割れ発生荷重の補正を行った。補正は、ダウエル耐力も付着割裂耐力もコンクリートの圧縮強度の平方根に比例すると仮定し、各実験値を補正する($f_c'=25\text{MPa}$ とする)と図中の◎になる。これらのひび割れ発生荷重の相関を調べるために、R. jimenez⁴⁾らの考えによる円回帰を行った(図-10参照)。これによると、ダウエル力と引張力の両者が作用しているときには、ひび割れ発生荷重は、回帰式よりも小さくなり、引張力のみあるいはダウエル力のみが作用しているときには逆に回帰式よりも大きくなる。そこでこれらのひび割れ発生荷重についてダウエル力の影響が大きい領域と、引張力の影響が大きい領域で2つに分けて考えてみると、図-11に示すようにそれぞれの領域で直線的な関係にあるといえる。今回の実験においては、ひび割れの表面的な挙動を捉えたとにすぎず、ひび割れ内部の挙動を計測していない。従って、今回はコンクリート表面におけるひび割れ発生荷重についての結論となる。

5 まとめ

鉄筋に作用するダウエル力と引張力の比を変化させた実験により、以下のことが示された。

- (1) 引張力が卓越した場合は、初期の小さなひび割れが引張力の増加とともに徐々に進展するが、ダウエル力が卓越した場合は、初期のひび割れ発生と同時に急激に支点方向まで進展する。
- (2) ひび割れ発生荷重は、引張力の影響が大きい領域とダウエル力の影響が大きい領域があり、それぞれの領域で直線的な増加傾向があると考えられる。

謝辞 今回の実験を行うにあたり、北海道大学構造工学・コンクリート工学講座の教職員、学生の方々のご協力に厚く感謝致します。

参考文献

- 1) 徳田 源介：軸方向鉄筋のダウエル作用と付着作用によるひび割れ発生モデル、北海道大学工学部卒業論文、1994
- 2) Krefeld, W.J. and Thurston, C.W.: Contribution of Longitudinal Steel to Shear Resistance of Reinforced Concrete Beams, Journal of American Concrete Institute, 1966
- 3) R. jimenez, R.N. White and Gergely: Bond and Dowel Capacities of Reinforced Concrete, ACI Journal, 1979

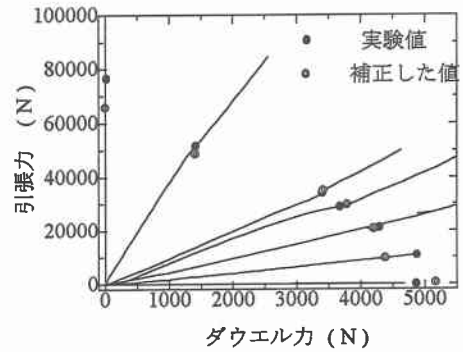


図-9 ダウエルひび割れ発生点

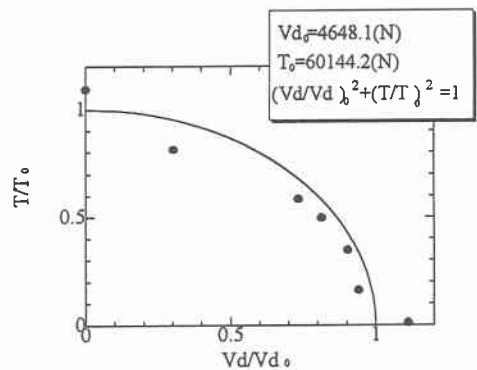


図-10 円回帰

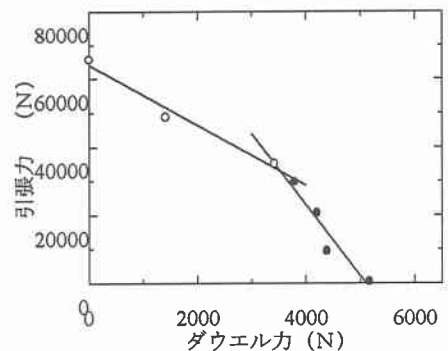


図-11 ひび割れ発生荷重の2直線回帰