

V-28

斜めひびわれ性状がせん断破壊に及ぼす影響の解析的研究

北海道大学大学院 学生員 真田 修
 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

鉄筋コンクリートはりのせん断破壊において、せん断スパン比の大きいはり(おおよそ2.5以上)では、斜め引張破壊を起こし、複雑な挙動となる。その破壊は枝分かれした水平ひびわれ(軸方向鉄筋に沿って生ずる)を伴った斜めひびわれが大きく開口しながら最終的にはコンクリートの圧縮域を貫通して終局に至る。現在、この斜め引張破壊に至るまでの抵抗機構は数多く研究されており、作用せん断力はひびわれていないコンクリートの圧縮領域、斜めひびわれ面の骨材のかみ合わせ作用および軸方向鉄筋のダウエル作用によって伝達されることが明らかになっている。しかしながら、斜めひびわれが発生してから破壊に至るまでの各々の負担力の変化や、破壊を引き起こす基準は明らかにされておらず、終局時までの追跡は困難な状況である。本研究は、上記の挙動を明らかにするため、斜めひびわれの性状に着目し、実験結果を踏まえて解析的に調査したものである。

2. 実験概要

実験は、図-1に示すせん断スパン比 $a/d=3.0$ の単純ばりの供試体を用いた。供試体の試験区間は左側半分とし、右側は破壊が生じないようにスターラップによりせん断補強を行った。

鉄筋は、主鉄筋にD25を2本、スターラップにD10を使用した。また、斜めひびわれの変位を測定するため

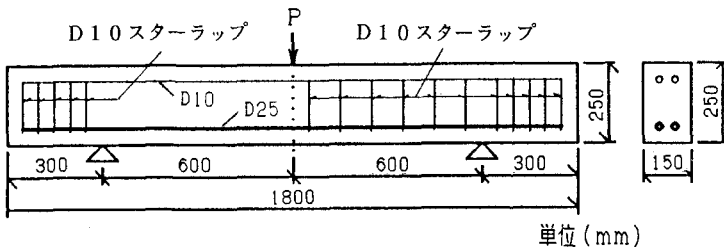


図-1 実験供試体

$\frac{W}{C}$ (kg/m ³)	$\frac{W}{C}$ (%)	$\frac{s}{a}$ (%)	Air (%)
176	55.0	42.0	0.00

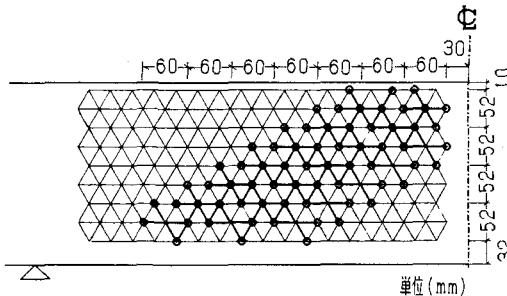


図-2 コンタクトゲージ貼り付け位置

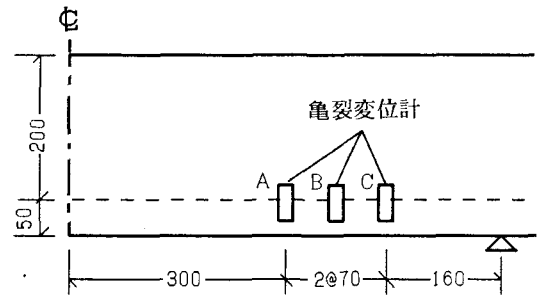


図-3 亀裂変位計取り付け位置

An Analytical Study on Effect of Diagonal Crack Behavior to Shear Failure

by Osamu SANADA, Hitoshi FURUUCHI, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

にコンクリート側面にコンタクトゲージ(図- 2 参照)を貼り付け、その裏面には水平ひびわれの開口変位を測定するために3箇所の位置に亀裂変位計を取り付けた(図- 3 参照)。なお、コンクリートの配合は表- 1 に示す。

3. 実験結果

実験結果を表-2 に示す。破壊状況は、図- 4 に示すように斜め引張破壊によって終局に至った。ひびわれの伸展は、3 tonfで載荷点直下の曲げひびわれアが生じ、約6 tonfでイの曲げ-せん断ひびわれが生じた。その後、9 tonf付近でイのひびわれは斜めひびわれに発達し、約40° 程度の傾きを持ちながら上下方向に伸展した。9.6tonf付近では主鉄筋に沿った水平のひびわれウが現れ、16.5tonfの破壊時まで水平ひびわれが伸展しながら斜めひびわれ幅が増加していく状態が観察された。

表- 2 材料強度および破壊荷重

コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	主鉄筋 降伏強度 (kgf/cm ²)	破壊荷重 (tonf)
358	3868	16.50

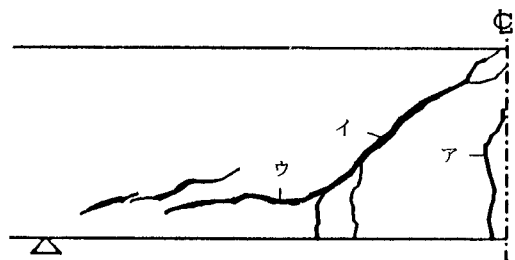


図- 4 破壊状況

4. 解析の概要

本研究では、前川ら¹⁾が開発した鉄筋コンクリート構造物用有限要素プログラム「COMM2」を用いて解析を行った。このプログラムによる計算は、平面応力状態で有限要素法を用いて行われている。

また、プログラムには図-5 に示すリンク要素が用意されており、鉄筋とコンクリートの付着およびひびわれ面での力の伝達を表すために用いた。付着モデルには島らのモデル²⁾、ひびわれ面での力の伝達モデルはすべり変位のない状態(すべり変位が0.001以下かつすべり変位/ひびわれ幅の比が0.01以下のとき)ではReinherdtらの引張軟化モデル³⁾、すべり変位のある状態では李らの骨材のかみ合わせモデル⁴⁾を適用した。

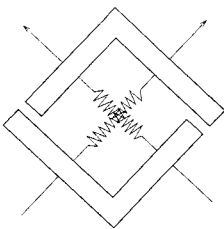


図- 5 リンケージ要素

解析を行った供試体の要素分割は、ひびわれ状況(図- 4)を参考にして図- 6 のように行った。ひびわれは上記のひびわれモデルを導入した離散ひびわれとして表し(図中太線)、ひびわれに隣接するコンクリート要素はひびわれの生じない要素とした(図中*印)。それ以外のコンクリート要素は、分散ひびわれモデルを取り入れた要素としている。なお、ひびわれの有効面積を考えたとき、曲げおよび斜めひびわれは奥

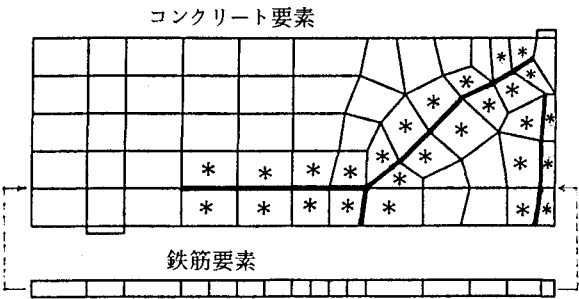


図- 6 要素分割

行き方向に供試体全幅をとるが、水平ひびわれは軸方向鉄筋の変位によるものであり幅方向に対しては一定の応力分布にはなりえない。そのため、水平ひびわれの奥行き方向の有効幅は鉄筋のごく近傍だけと仮定し、小さな幅をとった。

5. 考察

5-1 破壊荷重

実験で得られた破壊荷重は16.5tonfである。これは、二羽らのせん断強度式⁵⁾で得られる10.9tonfに対して約1.5倍程度の大きさとなっている。一方、解析で得られた破壊荷重は、19.6tonfであり、終局曲げ耐力で算定される破壊荷重20.4tonfにはほぼ一致する。解析上の破壊形式も、載荷点直下のコンクリートが圧壊に達しており、曲げ破壊と考えられ、斜め引張破壊を表すことができなかった。

5-2 ひびわれ面のすべり変位および開口変位

図-7は、解析における変形図(P=15.5tonf)の一例である。変位の大きさは供試体寸法に対して500倍にして表している。図中の離散ひびわれは、前述のひびわれモデルに従って変形しており、同一座標にあった2つの節点の変位がひびわれ面の開口およびすべり変位を直接表している。そのうちの斜めひびわれ上の2点(①点、②点、図-7参照)を取り出して実験結果と比較したものを図-8および9に示す。なお、実験値はひびわれをまた

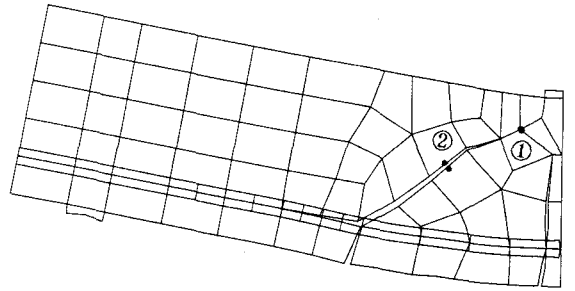


図-7 変形図

いだ2方向の変位から開口変位とすべり変位を幾何学的に算出したものである。図から、実験値はいずれの点においても最初にひびわれが生じてからは開口変位だけが増加しだす。その後両者ともに9.5tonf付近で同時にすべり変位が生じ、破壊に至るまで開口、すべり変位ともに増大している。

また、図-10Aは、水平ひびわれの開口変位の実験値を示したもので、P=9.5tonf付近でひびわれが発生している。先に述べた斜めひびわれのすべり変位発生荷重と一致しており、この水平ひびわれの発生は斜めひびわれでのすべりを生じさせている主な原因となっていると考えられる。一方、解析によるひびわれ変位は、開口、すべり変位と

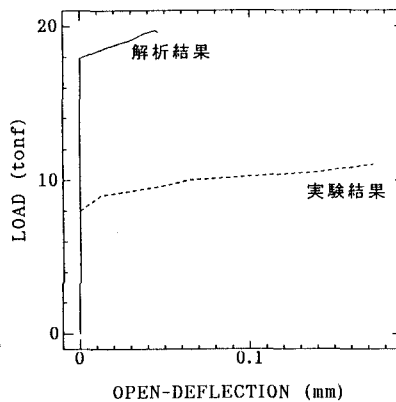


図-8 ①点のひびわれ変位

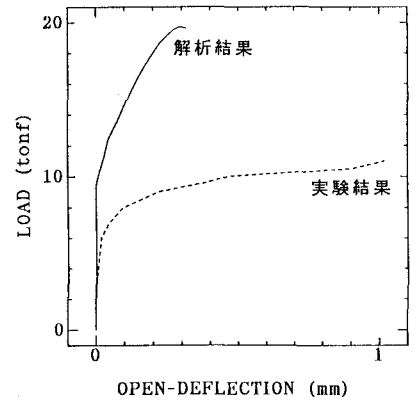


図-9 ②点のひびわれ変位

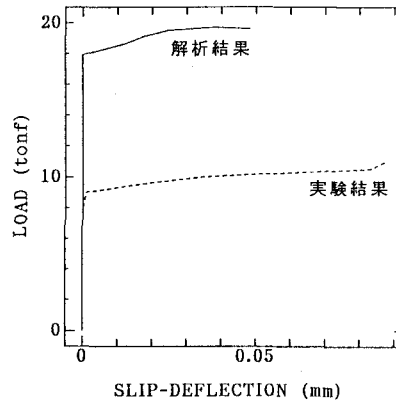


図-8 ①点のひびわれ変位

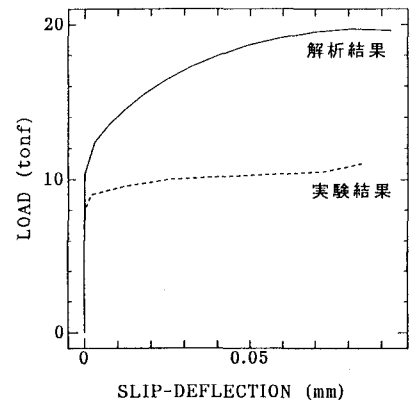


図-9 ②点のひびわれ変位

もに実験値より大きな荷重で生じている。②の位置において、実験結果ではひびわれ発生後、変位が急激に増加しているのに比べて、解析値はやや緩慢な増加である。しかしながら、実験結果と同様、ひびわれ開口変位の発生($P=9.7\text{ tonf}$ 付近)が先行し、すべり変位の発生($P=10.2\text{ tonf}$)は、A点における水平ひびわれの開口(図-10B参照)とほぼ同時に発生することになった。

また、水平ひびわれの発生荷重は、実験値と解析値がおおよそ一致したが、変位の値は大きくかけ離れている。本解析では、この水平ひびわれに対して前述のひびわれモデルをそのまま適用しており、本来の挙動を表すことができていないと思われる。水平ひびわれの発生メカニズムは、軸方向鉄筋のダウエル作用によるもので、これを表す力学的なモデルの導入が必要である。

以上のことから、破壊が最終的には載荷点付近の圧縮領域の局部的破壊で決定されるとしても、斜めひびわれおよび水平ひびわれの性状を正確に捉えることが重要である。

6. まとめ

本研究で得られた結果は次のとおりである。

- (1) 斜め引張破壊に至る過程で、斜めひびわれのすべり変位は、軸方向鉄筋に沿って生ずる水平ひびわれの発生が主な原因となっている。
- (2) 斜め引張破壊を解析的に表す場合、水平ひびわれの発生メカニズムを表すモデルの導入が必要である。

なお、本研究の一部は、平成5年度文部省科学研究費(奨励研究(A)・課題番号05750442)によるものである。

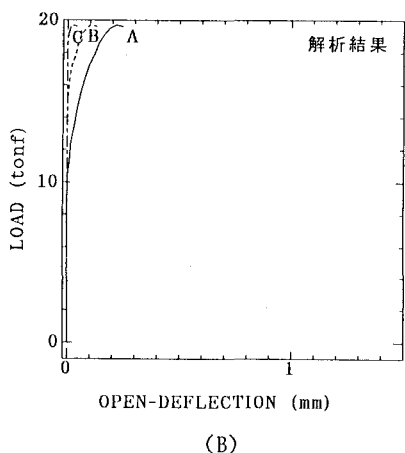
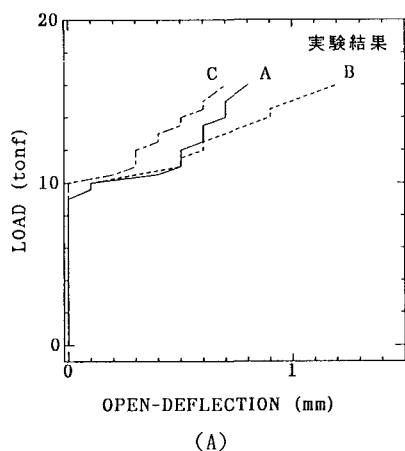


図-10 水平ひびわれ開口変位

参考文献

- 1) 前川 宏一、二羽 淳一郎、岡村 甫：鉄筋コンクリート用解析プログラム「COMM2」、RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集、1983.10
- 2) 島 弘、周 礼良、岡村 甫：マッシブなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着-すべり-ひずみ関係、土木学会論文集No. 378/V-6 1987
- 3) H. Reinhardt, H.A.W. Cornelissen and D.A. Hordijk: Tensile Tests and Failure Analysis of Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 112, 1986, pp. 2462-2477
- 4) B. Li, K. Maekawa and H. Okamura: Contact Density Model for Stress Transfer across Cracks in Concrete, Journal of the Faculty of Engineering, the University of Tokyo(B), Vol. XL, No. 1 1989
- 5) 二羽 淳一郎、山田 一字、横沢 和夫、岡村 甫：せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の評価、土木学会論文集 Vol. 372、1986