

V-424

有限要素法による鉄筋コンクリートはりの斜め引張破壊の解析

日本道路公団 正会員 真田 修
 北海道大学 正会員 古内 仁
 北海道大学 正会員 上田 多門
 北海道大学 正会員 角田 與史雄

1. はじめに 鉄筋コンクリートはりの斜め引張破壊に対する従来の研究では、終局耐力に重点がおかれており、比較的マクロな破壊メカニズムの検討を行ったものが多い。これは、せん断破壊が多くの因子によって影響を受ける複雑な現象となるからである。斜めひびわれの生じたはりにおいては、作用せん断力は、ひびわれていないコンクリートの圧縮域、斜めひびわれ面での骨材のかみ合わせ作用、そして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されている。しかし、それらの抵抗機構において各々が負担する作用せん断力の変化やはりの変形挙動については不明確な部分が多い。

近年、RC構造の分野においても、有限要素解析(FEM)が盛んに行われており、それらを解明する有力な手段となっている。本研究では、斜めひびわれ発生後の変形および終局時に観察される水平のひびわれの影響に着目し、離散ひびわれを導入したFEM解析によって斜め引張破壊を表すことを試みたものである。

2. 実験概要および結果 実験は、中央1点集中荷重が作用する単純ばりの供試体を用いて行われた。供試体は、せん断スパン比の異なる2体(表-1参照)のはりであるが、供試体N09302においては、斜めひびわれの変位をコンタクトゲージによって

表-1 供試体概要および実験結果

供試体	断面幅 (cm)	桁高 (cm)	有効高 (cm)	支間 (cm)	a/d	軸方向鉄筋			コンクリート強度 (MPa)	破壊荷重 (kN)
						数×径	p(%)	f _y ' (MPa)		
N09302	15.0	25.0	20.0	120.0	3.0	2D25	3.38	374	35	161.7
N0501E	15.0	25.0	20.0	160.0	4.0	2D25	3.38	385	27	98.0

測定を行った。また、ひびわれ発生の影響による鉄筋のひずみの増加を調べるため、ストレインゲージを用いて測定を行った。

使用した材料の特性および破壊荷重は、表-1に示すとおりである。

また、破壊形式は、いずれの供試体においても斜め引張破壊であるが、供試体N09302では90kN付近で斜めひびわれが発達しても、直ちに破壊せず、その後軸方向鉄筋に沿った水平ひびわれが進行しながら耐力はかなり上昇した。

3. 解析概要 本研究で用いた解析プログラムは、前川ら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」¹⁾である。このプログラムによる計算は、コンクリートの弾塑性モデルに基づいた平面応力状態で有限要素法を用いて行われている。プログラムにはリンク要素が用意されており、本研究では鋼材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(表-2参照)。また、軸方向鉄筋に沿って発生する水平ひびわれは、鉄筋の相対変位によるものとしてモデル化²⁾した。解析を行った供試体の要素分割は、破壊状況を参考にして、それぞれ図-1および2のように行っ

表-2 リンク要素に取り入れたモデル

鋼材とコンクリートの接合	ひびわれ面での力の伝達モデル	
	すべりのない状態 ^{注)}	すべりのある状態
島らの付着モデル ³⁾	Reinhardtらの引張軟化モデル ³⁾	李らの骨材のかみ合わせモデル ⁴⁾

注) すべり変位のない状態とは、すべり変位が0.001mm以下であり、かつ、すべり変位/ひびわれ幅の比が0.01以下のときとした

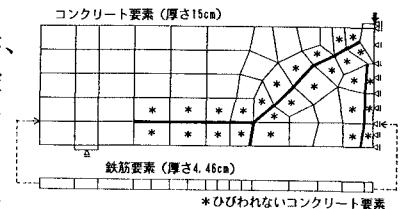


図-1 供試体要素分割 (N09302)

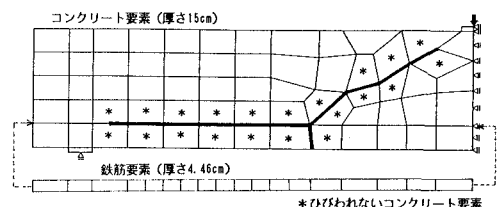


図-2 供試体要素分割 (N0501E)

た。曲げひびわれ、斜めひびわれおよび水平ひびわれは、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た（図中太線）。なお、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。

本研究では、斜引張破壊に対して上記の水平ひびわれの影響に着目し、水平ひびわれを取り入れた「解析1」と水平ひびわれを取り入れない「解析2」を行い比較を行った。

4. 破壊荷重（解析結果） 本解析において、破壊荷重（表-3 参照）は荷重-変位関係で得られる曲線の最大値と定義した。その結果、2つの供試体は、いずれも水平ひびわれを導入した「解析1」による破壊荷重が実験値にほぼ一致することになった。一方、水平ひびわれを導入していない「解析2」で得られた破壊荷重は、両供試体とも終局曲げ耐力で得られる破壊荷重に近い値を示している。

5. 斜めひびわれ面の変位 斜めひびわれの開口変位とすべり変位について、供試体N09302で実験結果と解析結果の比較を行った。なお、ひびわれの開口変位は、ひびわれ面に対して直角方向、すべり変位は水平方向の相対的移動量と定義した。図-3および4は、はり高さの中央位置における斜めひびわれ面での開口変位とすべり変位を示したもの（実験値は途中まで）である。図に示されるように、両方向の変位は、「解析1」による結果が実験値に近い値を示しており、その増加傾向も類似していることがわかる。特にすべり変位においては、「解析2」による手法では、その発生も遅くすべり量もかなり小さな値となっている。これらのことから、斜めひびわれでの変位は、水平ひびわれの発生が大きな要因となっていることが考えられる。

6. 鉄筋のひずみ N09302の供試体における鉄筋のひずみ（支点より15cm）について、実験値と比較したものを図-5に示す。両解析値は、90kN付近までは剛性が大きく、実験値とほぼ一致している。その後、実験値はひずみが急激に増加しているが、これは水平ひびわれ発生によって、鉄筋がコンクリートとの一体性を失いつつものであると考えられる。また、「解析1」による結果は、実験で得られたひずみの増加傾向をほぼとらえている。

7. まとめ 本研究において、得られた結果をまとめると次のとおりである。

(1)斜め引張破壊に対する解析において、軸方向鉄筋に沿って発生する水平ひびわれを考慮することによって、はりの終局耐力をおおよそ推定することができる。(2)斜めひびわれの開口変位及びすべり変位の増加は、水平ひびわれの発生が大きく影響していることが示された。(3)斜めひびわれの外側の鉄筋（支点方向）は、水平ひびわれの発生によってひずみが急激に増大することが示された。

参考文献

- 1)前川、二羽、岡村：鉄筋コンクリート用解析プログラム「COMM2」、第2回せん断コロキウム論文集、1983
- 2)島、周、岡村：マッシュ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
- 4)李、前川：接触密度関数に基づくコンクリートひびわれ面の応力伝達構成式、コンクリート工学、Vol. 26, No. 1, 1988
- 5)真田、古内、上田、角田：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、No. 16, 1994

表-3 解析による破壊荷重 (kN)

	解析1	解析2	曲げ耐力
N09302	156.5	213.2	199.9
N0501E	101.4	126.8	148.0

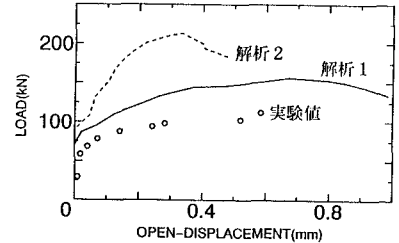


図-3 斜めひびわれの開口変位 (N09302)

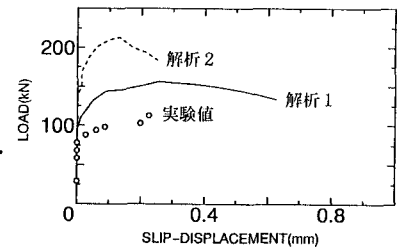


図-4 斜めひびわれのすべり変位 (N09302)

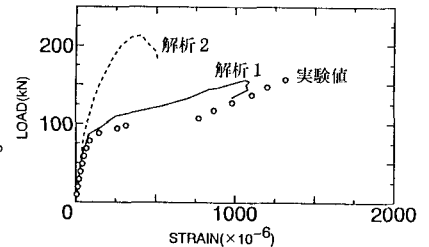


図-5 軸方向鉄筋のひずみ (N09302)