

I-85 RCはりのせん断破壊解析のための「一様ひびわれ有限要素モデル」

九州大学工学部 正会員 John Bolander Jr.

コンクリートのひびわれ後の挙動を表わすための一様ひびわれ（smeared crack）有限要素モデルは、一般に直交異方性構成則を用いている。この場合、二次的なひびわれの発生は最初に生じたひびわれに垂直な方向に通常限定される。このモデルは比較的容易に有限要素解析に組み込むことができ、また計算効率も良いと考えられるが、いくつかの重要な問題には適用できない。例えば、上記のモデルでせん断破壊するRCはりの解析を行えば、曲げひびわれ発生後に生じる二次的斜めひびわれを表わすことはできない。

本報告では、まず〔4〕の非直交一様ひびわれモデルを用いたRCはりの有限要素解析法を簡単に述べる。従来のモデル〔5〕においては、有限要素内の連続体の部分と不連続面とが同じ応力－ひずみ関係に従うものとして扱われている。しかし、〔4〕で報告されている非直交一様ひびわれモデルでは、連続体と不連続面での応力－ひずみ挙動を明確に区別して取り扱っている。すなわち、ひびわれ近傍におけるひずみは、連続体の部分のひずみ ϵ^{co} と不連続の部分のひずみ ϵ^{cr} とに分解される。ひびわれ方向に直交するひずみについて、本分解を図1に示す。

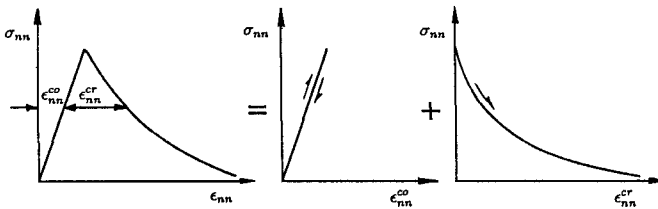


図1－ひびわれ面に直交するひずみの分解

連続体の部分のひずみは、弾性、塑性、クリープおよび温度ひずみに分解できる〔3〕。同様に、不連続の部分のひずみは、そこに存在する複数のひびわれのひずみ効果から成り立っている。上記の方法により、連続体の非線形性と複数の非直交ひびわれの効果が組織的に組み合わせられる。応力－ひずみ関係の増分表示式の詳細は〔3、4〕を参照されたい。

上記の非直交ひびわれモデルを応用して、RCはりのせん断破壊実験〔1〕におけるひびわれ挙動を調べた。図2に示すスターラップのないRCはりの片側対称部分について、コンクリートに対しては4節点のアイソパラメトリック要素を、主鉄筋に対しては一次元棒要素を用いた。鉄筋の応力－ひずみ関係にはひずみ硬化を考慮し、鉄筋とコンクリートの間の付着は完全であると仮定する。本解析では圧縮応力下のコンクリートの非線形性が考慮されていない。ひびわれ発生中のエネルギー消費を正しく表わすために、文献〔2〕の方法により引張応力－ひずみ曲線の下降部分を調整し、また引張応力－ひずみ挙動の軟化部分を直線によって近似した。

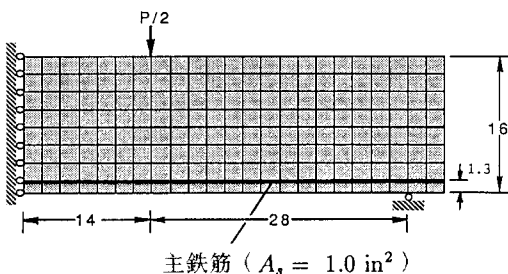


図2－実験に用いたRCはりの寸法、配筋、載荷位置および有限要素分割（寸法の単位：inches）
はり幅（7 in.）

図3から分かるように、実験と解析のひびわれ挙動はよく一致している。実験のひびわれパターンに付記した数字は、ひびわれ発生時の荷重レベルを示す。重要なことは、本解析方法により曲げひびわれ発生後の重大な斜めひびわれの発生と進展を追跡できることである。ここでは、変位増分による解析を行ったので、斜めひびわれ発生に伴う一時的な荷重の低下もとらえることができた。

実験では斜めひびわれの発生後 $P = 47$ Kips で破壊したが、数値モデルでは、変位を増大させるに従って、50.9 Kips まで荷重を受け続け、斜めひびわれも広がり続けた。しかし、圧縮コンクリートの線形モデルにより、載荷点近傍で非現実的に高い応力が存在し、真の破壊メカニズムと異なるので、その場合は図に示していない。

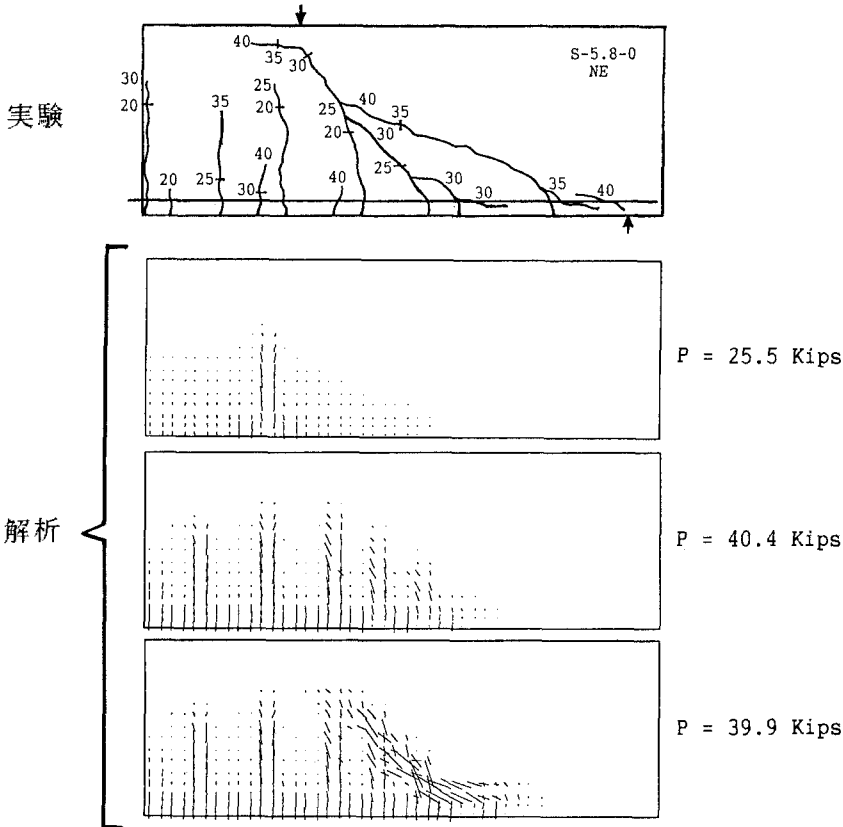


図3—RC単純ばりの
ひびわれ挙動の実験
および解析結果
(荷重の単位: Kips)

- [1] Al-Nahlawi, K., "Shear Strength of Reinforced Concrete Beams with Low Reinforcing Ratios," Ph.D. Dissertation (in preparation), Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1989.
- [2] Bazant, Z. P., and Oh, B. H., "Crack Band Theory for Fracture of Concrete," Materials and Structures, (RILEM, Paris), Vol. 16, 1983, pp. 155-177.
- [3] de Borst, R., "Smeared Cracking, Plasticity, Creep, and Thermal Loading -- A Unified Approach," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 62, North-Holland Publishing Co., 1987, pp. 89-110.
- [4] Rots, J. G., Nauta, P., Kusters, G. M. A., and Blaauwendraad, J., "Smeared Crack Approach and Fracture Localization in Concrete," Heron, Vol. 30, No. 1, 1985.
- [5] Suidan, M., and Schnobrich, W. C., "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, ST10, October 1973, pp. 2109-2122.