

V-19 鉄筋コンクリート部材のせん断挙動に関する一研究

北海学園大学 正員 高 橋 義 裕
北海道大学 正員 角 田 与史雄

1. は じ め に

鉄筋コンクリート部材のせん断挙動は、鉄筋コンクリートの基本的概念を形成しており、ひびわれや破壊状態が鉄筋コンクリートとしての独特の挙動を示す。従って現在まで多くの研究者により種々の角度からの研究が進められその成果は示方書、設計基準に反映されつつある。しかし、鉄筋コンクリート部材のせん断挙動は、部材の形状と寸法、引張鉄筋量、スターラップの有無とその量、コンクリートの強度等の多くの要因に影響され複雑なものとなる。

本研究は、斜引張鉄筋の配置されていない腹部厚の変化する鉄筋コンクリートはりを対象とし、鉄筋コンクリート部材のせん断挙動について実験結果と有限要素法による数値計算結果との比較検討を行ったものである。

2. 実 験 方 法

実験は、図-1に示すようにA-A断面において腹部厚が一定の10cm, 20cm(No.1とNo.4)の供試体2本とスパン中央部の腹部厚を10cm(その区間はそれぞれ60cmと10cm)とし、これに続く腹部厚を支点まで直線的に変化させた供試体2本の合計4本について、中央集中荷重を載荷し、実験を行なった。高さ25cm, スパン長140cm, 張り出し25cmは、4供試体とも一定とした。腹部厚は10cm~20cmまで変化させている。使用鉄筋はSD35のD19を2本用いた。コンクリートは、単位セメント量308kg/m³, 水セメント比53%で早強ポルトランドセメントおよび天然骨材を使用した。実験日の材令は7日でそのときのコンクリート強度は平均280kg/cm²であった。

3. 有 限 要 素 解 析 モ デ ル

コンクリートを直交異方性弾性体として扱う方法はひびわれを前提として弾性特性を表わすには有用な方法であり、本解析においてもこれにもとづいて1つの弾塑性体モデルを用いた。この弾塑性体モデルにおいては、等質等方弾性体の常数(E , ν)に対応する弾塑性性の係数(E_p , ν_p)を導入し、材料の1軸特性にもとづく変換パラメータ(η , ξ)を用いて弾塑性体を(E , ν , η , ξ)で表わす。従って弾塑性体モデルの要素剛性マトリックス $[K_{ep}]$ は次のように表わされる。

$$[K_{ep}] = [B_p]^T \{ [K] + [D_p] \} [B_p] \dots (1)$$

ここで、 $[B_p]$ はヤング係数の変化を表わす係数マトリックス、 $[K]$ は弾性係数マトリックス、 $[D_p]$ は、ポアソン比の変化のみに依存する偏差マトリックス(本解析ではポアソン比を一様と考え、 $[D_p] = 0$ とした)である。

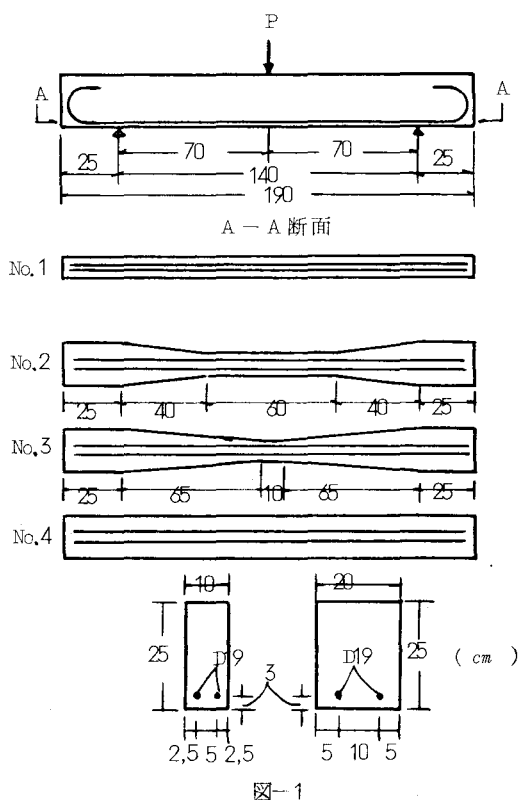


図-1

また、コンクリートに関する弾塑性解析を行う場合は、素材の塑性化と共に必然的に破断または破壊現象がある。コンクリートのように引張強度が圧縮強度に比べて著しく劣る材料では、構造体としては十分に安定していても、引張ひずみ限界を越えて部分的に破断する。このときの破断によってその部分に蓄積されていた弾性ひずみエネルギーの一部が解放される。本解析では、破断によって解放すべき弾性ひずみエネルギーに関しては、内部応力に等価な要素節点力に置換する方法を用いた。本解析では、直交異方性理論にもとづいて弾塑性モデルを導いたため、材料の降伏条件としては要素の直交する2つの主ひずみ方向のおおのについて、コンクリートの通常の試験片による材料試験の応力-ひずみ特性を用いるものとする。

4. 実験値と解析値との比較検討

有限要素解析で用いた材料の諸性質は、コンクリートについては1軸特性を図-2に示すような折線で近似した。ポアソン比は0.17とした。引張ひずみ限界についてはコンクリートの割裂強度に相当する圧縮ひずみ曲線上のひずみから決めた。主鉄筋については材料試験にもとづいて図-3に示すような1軸特性を仮定した。

有限要素分割は図-4に示すように、コンクリートについては三角形要素とし、主鉄筋はすべてコンクリート要素の節点間を結ぶ線要素とした。従って主鉄筋とコンクリートの力の伝達は節点を通じて行なわれるものとした。

実験供試体の破壊荷重及びびびわれ発生荷重の一覧が表-1に示されている。

表-1

	P_{cr} (ton)	P_B (ton)	破壊形態
No.1	2.00	6.25	せん断
No.2	2.50	7.20	せん断
No.3	2.10	8.30	せん断
No.4	3.50	9.60	せん断

図-5は腹部厚一定の10 cmについてののはり中央下面のたわみと荷重の関係を示したものである。縦軸は荷重で横軸はたわみである。実線は実験値で、破線は計算値である。荷重が0~4 tくらいまでは満足のいく結果が得られているものと思われる。しかし最大荷

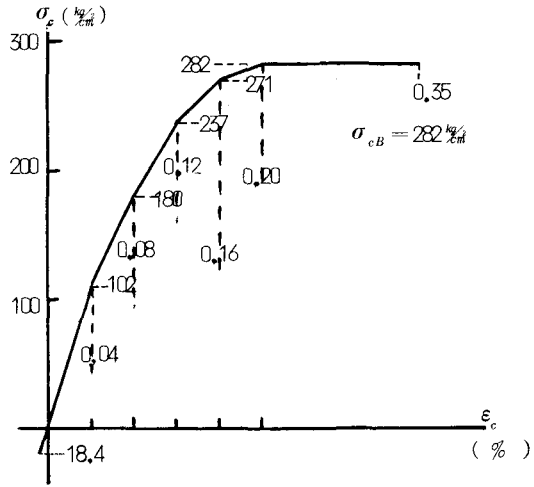


図-2

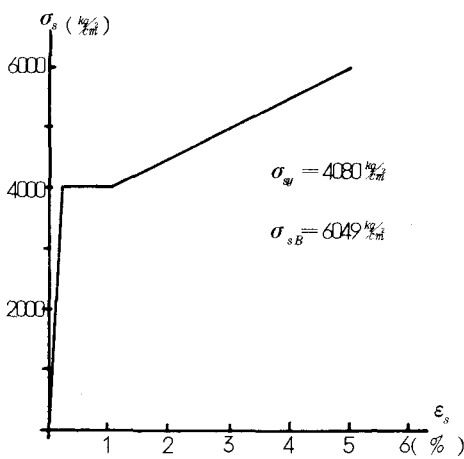


図-3

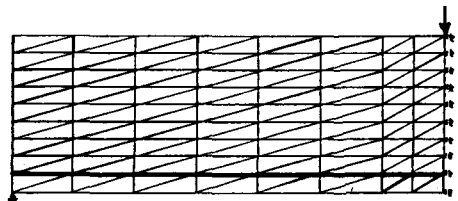


図-4

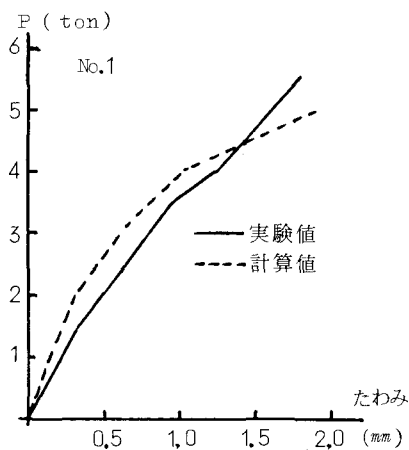


図 - 5

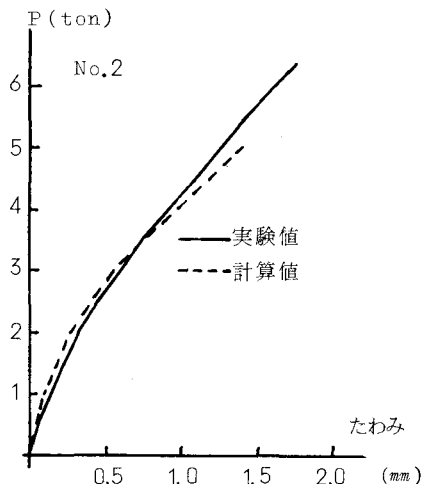


図 - 6

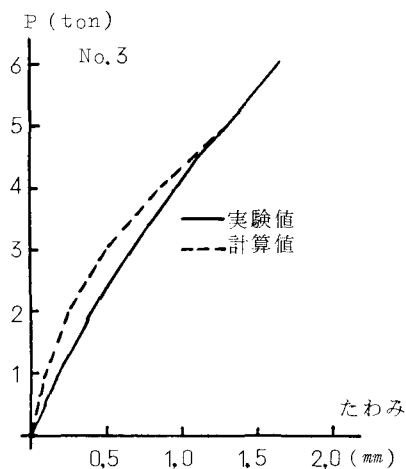


図 - 7

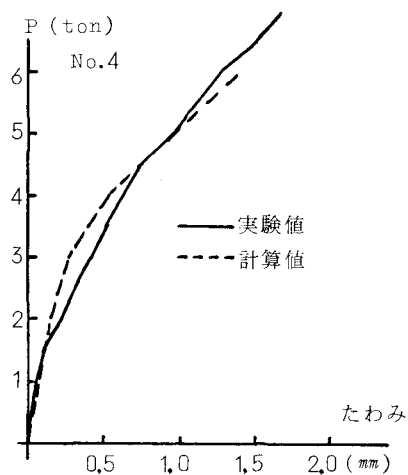


図 - 8

重附近では、両者にかなりの相違が生じている。

図-6は、スパン中応部分の60cm区間の腹部厚が一定の10cmで、これに続く支点までの40cm区間は、支点で腹部厚が20cmとなるように、腹部厚を直線的に変化させた場合についての、はり中央下面のたわみと荷重の関係を示したものである。張り出し部の腹部厚は一定値の20cmである。同じく実線が実験値を、破線が計算値をそれぞれ示している。この図において計算値と実験値とはかなり良く合っているものと思われる。

図-7は、スパン中央部分の10cm区間の腹部厚が一定の10cmで、これに続く支点までの65cm区間は、支点での腹部厚が20cmとなるように腹部厚を直線的に変化させた場合についての、はり中央下面のたわみと荷重の関係を示したものである。計算結果は、ほぼ満足のできる結果である。

図-8は、腹部厚が一定の20cmの場合についてのはり中央下面のたわみについて同様に実験値(実線)と計算値(破線)とを示したものである。実験値と計算値とは若干かたむきに相違が見られる。

以上、4本の試験体はりの中央下面のたわみについて実験値と計算値とを比較した結果、両者はほぼ満足のできる結果を与えているといえる。しかし、計算値が途中の荷重段階で得られなくなる状態の原因としては、次の事が考えられる。数値計算プログラムでは、未知量としての変位は構造の剛性マトリックスの逆変換から求められる。しかし、荷重増加に応じて要素の破壊が進行すると部分的に自由変位が生じ、構造の剛

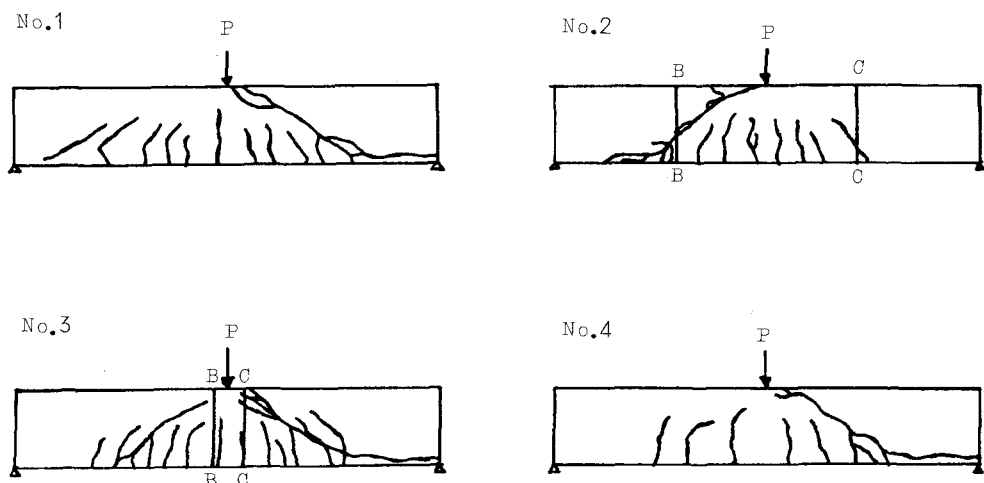


図 - 9

性マトリックスのある対角要素がゼロになり、この結果全体構造としては耐力的に余力があるにもかかわらず部分的に不安定な箇所が生じ、逆変換が不可能になってしまうためと思われる。

図-9は、載荷終了後のはり側面におけるひびわれ発生状況を示したものである。どの供試体においても主鉄筋の降伏は認められず、最大荷重は斜ひびわれが、はりの圧縮部を貫通する形で決まっている。No.1とNo.4は、それぞれ腹部厚が一定の10cm、20cmの供試体であり、最終的なひびわれパターンは良く似ており両者とも支点附近で付着破壊を生じている。No.2とNo.3は、それぞれ腹部厚がB、Cの所から支点の所まで直線的に腹部厚が増加する場合の供試体である。No.2の場合、ひびわれが腹部厚一定の区間に集中しており、腹部厚が変化しはじめる断面の所はかなり複雑なひびわれが発生している。さらに斜ひびわれは他の供試体のものより若干立ちあがっている。No.3の場合、腹部厚10cmの区間が10cmとせまいためひびわれパターンは腹部厚一定の場合に近い形となっている。しかし、腹部厚が変化しはじめる断面附近にやはり複雑なひびわれが発生していることがわかる。

以上のことより腹部厚の増加の影響は、明らかにそのひびわれパターンの相違及びその最大荷重の増加という形で確認することができる。

4. お わ り に

せん断スパン比 $a/d=3.18$ で斜引張鉄筋のないせん断破壊形の単純はりについて、その腹部厚を変化させたときの最大荷重、スパン中央下面のたわみ、ひびわれパターンについて検討した。たわみについては、有限要素法によるコンクリートの弾性解析に対する直交異方性的な取り扱いを弾塑性問題に拡張した手法を用いて数値解析をも行なった。結果を要約すると次のようになる。

- 1) たわみに関し、本解析手法による計算値と実験値はある荷重段階までは満足のいく結果が得られている。しかし、荷重の増加に応じて要素の破壊が進行し剛性マトリックスのある対角要素がゼロになり、全体構造としてはまだ耐力的に余力があるにもかかわらず計算がストップしてしまう現象がみられた。
- 2) 腹部厚の増加は、明らかにその最大荷重の増加という形でみられた。
- 3) ひびわれパターンにおいて腹部厚の変化がはじまる断面で若干のひびわれのみだれがみられた。

今後の課題として不安定なマトリックスの取り扱い、せん断抵抗機構（圧縮部のコンクリート、鉄筋のダウエルアクション、ひびわれ面の骨材のかみ合い、鉄筋とコンクリートとの付着等）を考慮した手法を確立する必要がある。