

V-310 ひびわれ直交方向の圧縮応力伝達機構における鉄筋の有効性

前田建設工業（株）正会員 三島 徹也
 東京大学 大学院 学生員 申 鉉穆
 東京大学 工学部 正会員 前川 宏一

1. まえがき

有限要素法による非線形解析を鉄筋コンクリート構造物の繰返し荷重時の解析に適用するにあたっては、ひびわれの開閉に関する力学的挙動を解明することが重要であるが、要素レベルで検討できるデータは十分とは言えず、不足している現状にある。本報告は、ひびわれの開閉に伴う、鉄筋及びコンクリート接触による応力伝達効果について考察を行い、その考察結果を実験的に実証することを試みたものである。

2. 力学モデルによる考察

図-1に示す鉄筋コンクリート要素に、一様な引張力を加えひびわれを発生させた後、圧縮力を作用させた時の板要素の応力状態について考える。配筋は直交等方配筋とし、配筋方向は加力方向と45°をなす向きとする。

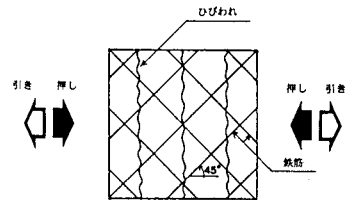


図-1 鉄筋コンクリート要素

板要素の応力は、分散ひびわれモデルでよく用いられるように、鉄筋の平均応力とコンクリートの平均応力の和で表わされる。配筋方向と加力方向の対称性から、板要素の応力成分のうち、せん断応力と、加力直交方向の直応力は0である。また、同様の理由から、2方向の鉄筋応力は相等しい。

コンクリートの加力方向の平均直応力を σ_x 、直交方向の平均直応力を σ_y 、鉄筋の平均応力を σ_s 、板要素の圧縮応力を σ_0 (< 0) とすると、つりあい条件から、

$$\sigma_0 = \sigma_x + p \sigma_s, \quad \sigma_y + p \sigma_s = 0 \quad (p \text{ は鉄筋比}) \quad - (1)$$

を得る。 σ_x は板要素に作用する圧縮力のうち、コンクリートの負担分と考えることができるが、この σ_x をいかに見積るかが重要となる。

圧縮力が板要素に作用しても、ひびわれが再接触する以前は、コンクリートの圧縮応力負担分は鉄筋の付着から伝達されるもののみであり、圧縮力のほとんどは鉄筋によって負担される。そこで、 $\sigma_0 = p \sigma_s$ であるとすれば、

$$\sigma_y = -p \sigma_s = -\sigma_0 \quad - (2)$$

を得る。(2)式は、コンクリートに加力直交方向の引張応力が生じることを示しており、その絶対値は、板に作用する圧縮応力に等しい。

以上の考察から、“高圧縮応力レベルでも、ひびわれ再接触が起こらない”という状態が実際に起こりうるならば、加力方向と平行なひびわれ（以下、縦ひびわれと呼ぶ）が発生する可能性があることがわかる。このとき、鉄筋は圧縮材として100%有効であることが重要となるのである。

3. 実験概要

ひびわれ再接触前のコンクリートにも、実際には、テンションスティッフニングと同様の効果から圧縮力が発生しているが、島らの研究よりこの成分は極めて小さい。

そこで、先に述べたような縦ひびわれが実際に発生するのかどうかを確認する目的で、鉄筋コンクリート板要素の一軸引張・圧縮交番載荷試験を行った。

試験体数は2体であり、図-2に示すように、2体とも直交等方配筋であるが、配筋方向が1体目は加力方向と平行方向、2体目は45°方向とそれぞれ異なっている。試験体No. 1では、鉄筋応力とコンクリート応力の連成がないため、縦ひびわれは発生しないものと思われる。

図-3に示すような加力装置を用い、試験体をバネで吊り下げ、曲げモーメントが極力作用しないような状態で、載荷を行った。引張側はトーナメント方式を採用し、圧縮側はPC鋼棒を用いてオイルジャッキ2台にて加力した。

載荷繰り返し数は、鉄筋降伏前2回、降伏後2回の計4回とし、圧縮側については、板の加力方向の伸びをモニターし、完全にひびわれが接触し板の圧縮剛性が回復した時点で除荷に移った。

4. 実験結果

図-4に試験体No.1の、加力方向の伸びを標点間距離で除した平均ひずみと、荷重を試験体断面積で除した平均応力との関係を示す。図-4からわかるように、ひびわれ面のすべりが起こらない状態で一様な引張・圧縮を板要素に加えた場合、ひびわれが再接触を開始する時(圧縮剛性が回復する時点)の板要素の平均ひずみは、板要素の過去に受けた最大平均ひずみが大きいほど増加する傾向を示すが、それほど顕著ではない。むしろ、ひびわれ再接触開始時の平均ひずみが大きく変化しないことから、板要素の過去に受けた最大平均ひずみが大きい程、ひびわれが再接触を開始する応力レベルが増加する傾向にある。なお、図-5(a)に示すように、本試験体では縦ひびわれの発生は見られなかった。

図-5(b)は、試験体No.2の最終ひびわれ図を示すものである。図に記してある縦ひびわれは、鉄筋降伏以降、大きく引張変形させた後に圧縮力を作用させた4回目の繰り返し時に発生したもので、その時の荷重は-20.4ton、平均応力で-20.4kg/cm²であった。

5. おわりに

本報告は、定性的判断のみとするが、実験から得られた縦ひびわれ発生の事実より、先の考察で述べたような応力状態が、実際に起こりうることが確認され、鉄筋が圧縮材として有効に作用することがわかった。これより、分散ひびわれモデルがこの領域に対しても有効であることが認められた。

本研究を行うにあたり、常に適切な御指導と御助言を頂いた東京大学 岡村甫教授ならびに前田建設工業(株) 山田一字博士に対してここに謝意を表します。

参考文献 1)島・周・岡村:異形鉄筋降伏後における付着特性,土木学会論文集, No.378/V-6,2,1987. 2)玉井・島・出雲・岡村:一軸引張部材における鉄筋の降伏以降の平均応力-平均ひずみ関係,土木学会論文集, No.378/V-6,2,1987.

$$f_c' = 223(\text{kg/cm}^2) \quad f_c' = 239(\text{kg/cm}^2)$$

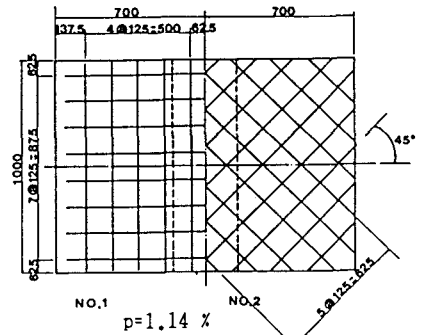


図-2 試験体図

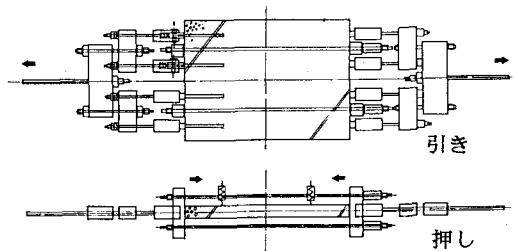


図-3 加力装置図

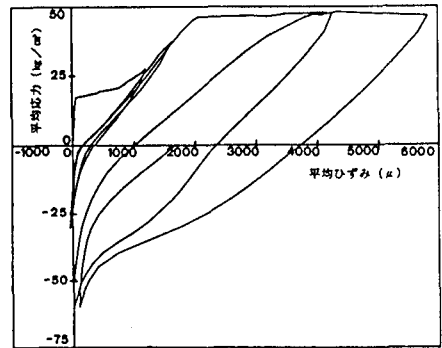
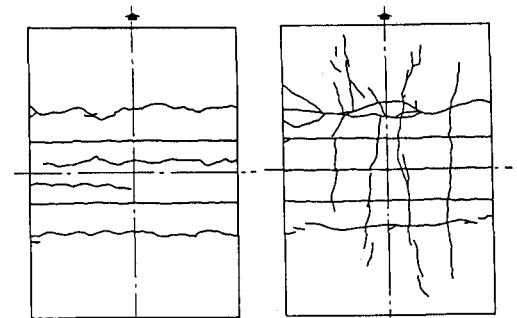


図-4 平均応力-平均ひずみ関係図



(a) 試験体No. 1 (b) 試験体No. 2

図-5 最終ひびわれ図