

V-44 鉄筋コンクリートはりの曲げおよびせん断変形について

北 大 工 学 部 正 員 角 田 与 史 雄
 日本高圧コンクリート “ 秦 滋 康
 北 大 工 学 部 “ 横 道 英 雄

1. 序 言

異形棒鋼の使用が普及し、使用応力度の増加および実働荷重下におけるひびわれの存在が増すにつれて、鉄筋コンクリートはりのたわみの正確な計算および制御の重要性が増しており、さらに不静定構造物の弾塑性解析におけるひびわれの影響などに関しても、鉄筋コンクリートはりの変形に対してより詳細な検討を加える必要が生じている。本文は、これらの問題に関する研究の基礎的段階として斜ひびわれの生じたはりの曲げおよびせん断変形によるたわみについて行なった実験結果の概要を述べたものである。

鉄筋コンクリートはりのひびわれ発生後の内力および変形の状態は非常に複雑であるが、主鉄筋の付着性能およびせん断補強が十分である場合には、はり作用が主体となると考えることができるので本研究ではいわゆるトラスモデルを想定して検討を行なった。

2. 試験はりおよび試験方法

表-1 試 験 は り

試験を行なったはり、表-1に示すように断面形状、主鉄筋比、スターアップ間隔、スパンなどの異なる合計27本からなり、うち15本にはせん断ゾーンにスターアップと同じ間隔に人工的に斜ひびわれを入れてある。それはビニールに挟まれた鋼板をコンクリート凝結直後に引抜くことにより設けたもので、引張縁から中立軸高さまで貫いており、幅は約1mmであった。

用いたコンクリートは単位セメント量316または325 kg/m³、水セメント比50%、スランプ6.5 ± 1.5 cm であって、骨材は錦岡

はり 番号	断 面			主鉄筋	スターアップ 間 隔 (cm)	支 間 (cm)	場 所
	形 状	ウェブ幅 (cm)	高 寸 (cm)				
44101	矩形	12	30	2D16	2D10-30	105+90+105	人工斜ひびわれ
44102	〃	〃	〃	〃	2D10-15	〃	
44103	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
44104	〃	〃	〃	〃	〃	90+90	
44105	〃	〃	〃	〃	〃	〃	人工斜ひびわれ
44106	〃	〃	〃	〃	2φ9-15	〃	
44107	T形	〃	40	〃	2D10-15	〃	人工斜ひびわれ
44108	〃	〃	〃	1D22	〃	〃	
44109	〃	〃	〃	2D16	〃	〃	
44110	〃	〃	〃	1D22	〃	〃	
44111	矩形	〃	30	1D32	〃	〃	〃
44112	T形	〃	40	〃	〃	〃	〃
44113	矩形	〃	30	〃	〃	〃	〃
44114	〃	16	〃	3D22	〃	〃	〃
44115	〃	12	〃	1D32	2φ9-15	〃	〃
44116	〃	16	〃	2D32	2D10-15	〃	〃
45101	〃	12	27	2D22	2D10-16.6	86+86	〃
45103	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
45104	〃	〃	〃	〃	〃	〃	人工斜ひびわれ
45106	〃	15	〃	2D32	〃	〃	
45107	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
45109	〃	12	〃	2D22	2φ6-16.6	〃	
45110	〃	〃	〃	〃	2D10-16.6	120+120	斜スターアップ
45111	〃	〃	〃	〃	2φ6-16.6	〃	
45112	〃	15	〃	2D32	2D10-16.6	86+86	人工斜ひびわれ
45113	〃	12	〃	2D22	2φ6-16.6	〃	斜スターアップ
45114	〃	〃	〃	〃	2D10-16.6	170+170	

海岸砂（粗粒率3.01または2.70）および静内川砂利（最大寸法30mm、粗粒率6.99 またはそれぞれ25 および6.83）を用い、セメントはアサヒ早強セメント（比重3.15、粉末度4450 cm²/g）と

用いた。主鉄筋としては横フシ型異形棒鋼SD35，スターラップとしては横フシ型異形棒鋼SD35または普通丸鋼SR30を用いた。

試験はりは試験日(7~23日)の前日まで実験室内で湿布養生を行なった。試験日におけるコンクリート圧縮強度は材令または試験時期により異なり、280~370 kg/cm²であった。試験はりはNo. 44101~3を除き支間中央1点載荷とし、各荷重段階において支間中央点から20または30 cm 毎の位置のためみ(1/100 mm ガイダルゲージ)，主鉄筋高さおよび圧縮線直下のウェブ側面，およびそれに換まれたウェブの斜または垂直方向の平均ひずみ(丁度ウェブ側面に3角網を組んで各辺の伸縮を測定したことになる，コンタクト型ひずみ計)，および人工ひびわれと交叉するすべての位置における主鉄筋およびスターラップのひずみ(ワイヤストレンゲージ)の測定を行なった。

3. 試験結果および考察

ひびわれ発生後の鉄筋コンクリートの変形を概略的にトラスモデルを想定してとらえるとき，ためみは主鉄筋および圧縮部コンクリートの軸方向変形よりなる曲げ変形による成分 δ_M と，腹鉄筋の伸びおよびひびわれに換まれたウェブコンクリートの斜圧縮ひずみよりなるせん断変形による成分 δ_S の2つに分けて考えることができる。前者に対応する曲げ曲率は，主鉄筋および圧縮合力位置の平均ひずみとそれぞれ $\bar{\epsilon}_S$ および $\bar{\epsilon}_C$ とし，その間隔を z とすれば

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\bar{\epsilon}_S + \bar{\epsilon}_C}{z} \quad (1)$$

となり，またせん断ひずみは，腹鉄筋が十分に分布しており，かつ腹鉄筋および斜圧縮コンクリートの平均ひずみと $\bar{\epsilon}_v$ および $\bar{\epsilon}_d$ とし，それらの水平軸となす角度を α および β とすれば，

$$\gamma = \frac{\bar{\epsilon}_v / \sin^2 \alpha + \bar{\epsilon}_d / \sin^2 \beta}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (2)$$

によって表わすことができる。各試験はりについて $\bar{\epsilon}_S$ ， $\bar{\epsilon}_C$ ， $\bar{\epsilon}_v$ および $\bar{\epsilon}_d$ の測定値を用いて(1)および(2)式から求めたためみ曲線は，ガイダルゲージによって直接測定した値と良く一致した。図

1はその例を示す。また図2はためみの曲げ成分とせん断成分の割合の状況を示す例である。一般に δ_S/δ は腹鉄筋比の小さい程，および主鉄筋比の大きい程大きい値をとり，はりNo. 44112では約40%に達した。また，人工ひびわれを入れたはりには低い荷重段階から δ_S が生ずるため，普通のはりに較べて δ_S はいく分大きかったが，荷重に伴う増加傾向は両者ともほとんど同じであった。従って以下の各ひずみ成分の検討は主として人工ひびわれを有するはりのデータを用いて行なった。

ひびわれ位置における主鉄筋の応力度は，単純曲げの場合には慣用の状

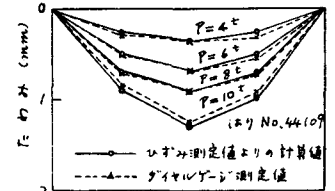
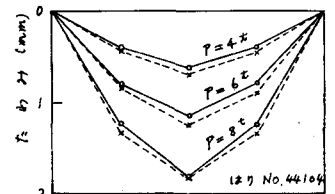


図-1

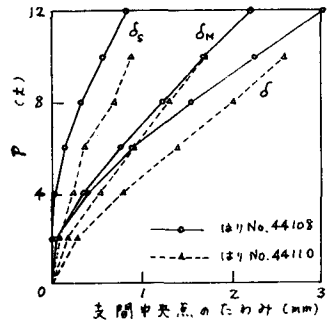
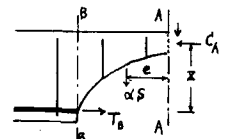


図-2



主鉄筋がラベル作用を無視するとして

$$T_B = \frac{M_B}{z} + (1 - \frac{\alpha}{z}) S$$

$$C_A = \frac{M_A}{z} - \frac{\alpha}{z} S$$

図-3

状態Ⅱの理論によって求めることができるが、せん断ゾーンにおいて図-3に示すように斜ひびわれを跨ぐ力の釣合によるので、実際に作用する応力度は状態Ⅱの計算値を上回り、 M/δ 曲線にずれが生ずることは衆知の通りである。そのずれ量を主鉄筋位置の平均ひずみから推定した結果の数例は図-4に示す通りであり、人工ひびわれを入れたはりにおいてもずれ量は荷重の増加とともにかなり変化している。このずれ量は δ_M の計算にとって重要であるが、これに関する Dillger の理論式も本実験結果には特定の荷重段階でしか一致せず、今後の研究に期待したい。図-5はひびわれ位置で測定した主鉄筋応力度と、状態Ⅱの計算値およびずれ量を $\delta/2$ と仮定したときの計算値（スタ-ラップの引張力の影響も実測値によって考慮してある）と比較したものの一例であり、測定値が後者に近いことがわかる。なお両者の勾配が異なるのはずれ量を一定に仮定したためであり、実際のひずみを用いれば良好一致が得られた。図-6は図-4のひずみを用いて求めたたわみの曲げ成分の計算値を実測値と比較した一例であり、ひびわれのほりにおいても両者は良好一致を示した。

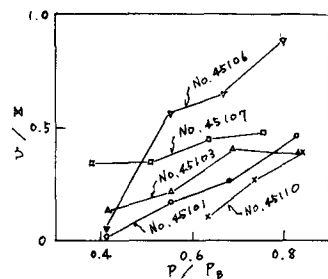


図-4

ひびわれ位置の鉄筋応力度 σ_s と平均ひずみ $\bar{\epsilon}_s$ との間には一般に次のような関係にあくことができる；

$$\bar{\epsilon}_s = \frac{\sigma_s - \alpha \sigma_{ct} / \epsilon_c}{E_s} \quad (3)$$

ここに ϵ_c は鉄筋周辺の付着に有効なコンクリート断面積に対する鉄筋比、 σ_{ct} はコンクリート引張強度を表わし、分子の第2項は付着による鉄筋ひずみの減少量であって、さきの研究²⁾によれば単純曲げに対して α の値は0.2~0.6の値をとる。しかしせん断ゾーンにおいてはせん断付着応力のためにひびわれ位置の主鉄筋のひずみと平均ひずみは、図-7に例を示すようにほぼ一致し、従って(3)式中の α の値はほとんど0に近いことがわかる。これらの結果より主鉄筋の平均ひずみとしては、斜ひびわれによる M/δ 曲線のずれ量を考慮するだけで十分であり、従って単純曲げの場合よりもかなり大きい値となることになる。なお、左端部コンクリートの平均ひずみも、支点附近および載荷点直下を除き、前述のずれ量を考慮した計算値とほぼ一致することが示された。

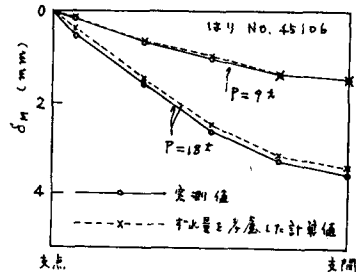


図-5

図-6

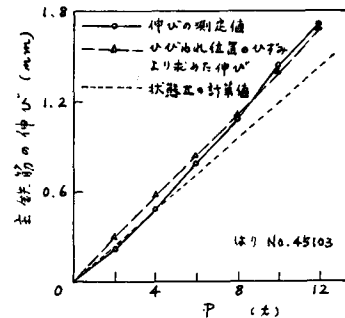


図-7

スタ-ラップに作用する応力度 σ_s については、慣用のトラスアナロジーの計算値と一致せず、そ

れとほぼ平行な線になることは本実験結果でも示された。しかし両者の差については既述の提案式のいわれも一部のはりにしか一致せず、今後なお検討の余地がある。

スターラップに作用する応力度と平均ひずみ $\bar{\epsilon}_v$ の間に式 (3) と同様な関係におくことができる。図-8 および 9 はその測定値の例である。主鉄筋附近および圧縮部におけるひずみの乱れのために必ずしも十分満足すべきデータが得られなかったが、(3) 式中の有効鉄筋比として腹鉄筋比をとると、(4) の値は約 0.1~0.2 の値を示した。これは前述の単純曲げにおける主鉄筋に対する値よりかなり低いが、このことは腹鉄筋比が非常に小さいためにウェブ全体がスターラップの付着作用に関与してはいないためであると考えられる。

ひびわれに誘われたウェブコンクリートの斜圧縮ひずみ $\bar{\epsilon}_d$ は図-10 にその一例を示すように、トラスアナロジーとは一致せず、スターラップに実際に作用する引張力とその垂直成分が等しいと仮定して求めた斜圧縮応力に対するひずみの計算値とほぼ一致することが示された。

以上の結果をまとめれば次の通りである。曲げによるたわみ成分の計算は、斜ひびわれによる M/δ 曲線のずれ量を考慮した図-3 に示すような力の釣合により得られる主鉄筋および圧縮部コンクリートの応力度を用いて (1) 式より得られる。その際、単純曲げの場合と異なり、ひびわれ間の付着作用による主鉄筋ひずみの減少は考慮する必要がない。ウェブ変形によるたわみ成分は、腹鉄筋に実際に作用する引張力と斜ひびわれ間における腹鉄筋の付着作用によるひずみ減少量を考慮した平均ひずみ、および腹鉄筋に実際に作用する力に相当するだけのウェブコンクリートの斜圧縮ひずみとを用いて (2) 式により計算することができる。

引用文献

- 1) W. Dilger; Veränderlichkeit der Biege- und Schubsteifigkeit bei Stahlbetontragwerken und ihr Einfluß auf Schnittkraftverteilung und Traglast bei statisch unbestimmter Lagerung, DfSt, H. 179, 1966
- 2) 角田孝史雄; 鉄筋コンクリートの最大ひびわれ幅, コンクリートジャーナル, Vol. 8, No. 9, Sept. 1970

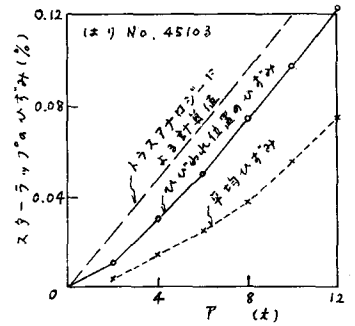


図-8

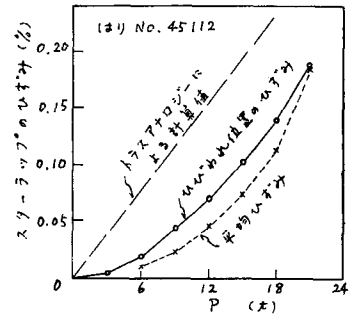


図-9

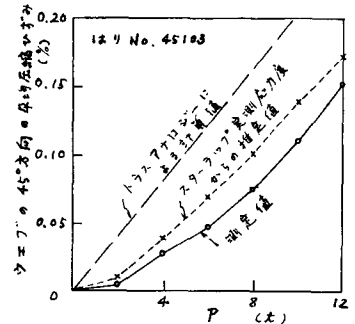


図-10