

立命館大学 正員 児富孝之
オリエンタルコンサルタンツ 正員 橋場 盛
神戸大学大学院 学生員 武田隆昌

1. はじめに

一般にねじりを受ける鉄筋コンクリート部材は軸方向鉄筋とスターラップとの組み合わせで補強されることが多い。このような場合ひびわれ発生以降の鉄筋の働き、はりの変形性状については不明な点が多い。本研究ではねじりによってひびわれが生じた部材から切り出した鉄筋とコンクリートの複合モデルを考案し、このモデルの変形性状を検討した。さらにこのモデルの変形性状を用いて鉄筋コンクリートはりの解析を行ない、はり実験結果と比較検討を行った。

2. 実験概要

(1) モデル実験：図-1に示すようにひびわれを含む鉄筋とコンクリートの要素にはねじりによってひびわれに平行な圧縮力と直角な引張力が作用する。モデル実験では圧縮力を無視し、図-3に示す装置によりモデルに引張力を作用させた。供試体は図-2のように人工ひびわれを有しており、使用鉄筋はD10($\sigma_y = 40.5 \text{ kg/mm}^2$), D13($\sigma_y = 37.7 \text{ kg/mm}^2$)でこの組み合わせを表-1に示す。人工ひびわれには厚さ1mmの塩化ビニル板を使用した。実験ではひびわれ幅(長さ50mmのコレクタUGEジ)および鉄筋ひずみの測定を行った。表-1には最大荷重を、図-4には荷重とひびわれ幅との関係を示した。鉄筋が軸力のみで降伏したと仮定すると最大荷重は $P_{cal} = (A_s \sigma_y + A'_s \sigma'_y) / \sqrt{2}$ となるが、実験値とこの値とを比 P_u / P_{cal} (表-1) はいずれの場合もかなり小さく、この傾向は鉄筋径が大きくなるにつれて顕著になる。MCシリーズではひびわれ位置が鉄筋の交差した位置にあるため、荷重の増加に伴ってひびわれ面で大きな面外変形を生じ、実際のはり内の挙動と異なったものと考えられる。MDシリーズにおいても P_u / P_{cal} の値は0.82~0.68程度でありかなり小さい。この原因として次の2点が考えられる。①最大荷重に至るまで鉄筋は降伏せず、鉄筋周囲のコンクリートが破壊した。②ひびわれを横切る鉄筋が軸力の他に曲げ、せん断力を受け複合応力状態となり降伏した。鉄筋ひずみの測定値から判断するとMD1では鉄筋が降伏または降伏に近い状態で最大荷重に達し、MD2ではD10のみが降伏し、MD3では鉄筋は降伏していない。したがってMD1では②、MD3では①の形式で破壊したものと考えられる。

表-1 モデル実験の結果

供試体名	使用鉄筋	破壊荷重 (t)						P_u / P_{cal}
		1	2	3	4	平均		
MC	1 D10, D10	3.12	2.75	2.84	-	2.90	0.716	
	2 D10, D13	3.41	2.86	2.96	-	3.08	0.568	
	3 D13, D13	4.00	3.50	3.81	3.63	3.75	0.555	
MD	1 D10, D10	3.25	3.46	-	-	3.36	0.824	
	2 D10, D13	3.99	4.10	3.67	3.94	3.92	0.723	
	3 D13, D13	4.21	4.75	5.02	-	4.66	0.689	

表-2 使用コンクリートの性質

種類	圧縮強度 kg/cm^2	引張強度 kg/cm^2	曲げ強度 kg/cm^2	ヤング係数 kg/cm^2	ポアソン比
MC	398.3	31.5	48.2	3.32×10^5	0.192
MD	408	33.0	47.4	3.27	0.180
はり実験	432	31.5	46.0	3.15	0.182

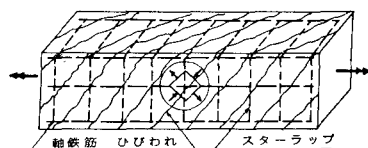


図-1

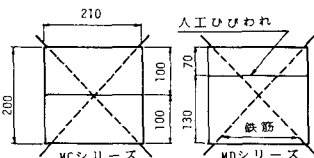


図-2 モデル供試体

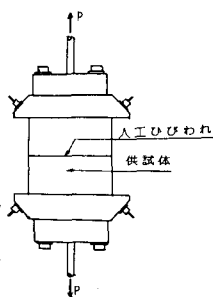


図-3 荷重装置

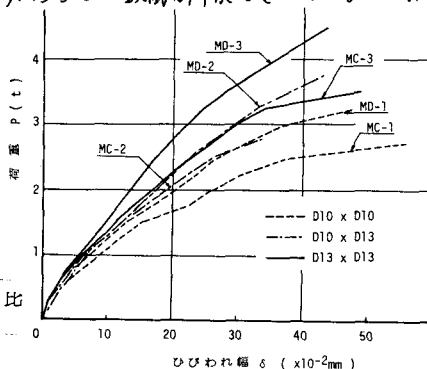


図-4 荷重とひびわれ幅との関係

①の形式で破壊する場合、供試体の厚さ(本実験では6cm)の影響が大と考えられ、これらの考慮した実験が必要であるものと考えられる。

(2) はり実験: ひびわれ以降のはりの変形性状を検討し、さらにモデル実験結果を考察するためにはりの純ねじり実験を行なった。はりには3種類でNは人エひびわれを有しないはり、C10, C15ははり側面にはり軸に45°傾斜した深さ4cmの人エひびわれをそれぞれ10, 15ピッチに有するはりである。はり断面を図-5に示す。スターラップピッチは10cmであり、軸方向およびウェブ鉄筋の体積比は $P_w=1.50$, $P_{ws}=1.31\%$ である。実験結果として表-3にはりの強度を、図-6にねじりモーメントと回転角の関係を示す。

3. 理論解析と考察

モデル実験結果を用いて有限要素法によるはりの変形解析を試みた。断面内のスターラップの中心線より両側2cmを鉄筋とコンクリートの複合要素とし、その内部をコンクリートのみの要素とした。この複合要素の特性はモデル実験結果を用いて以下のように定めた。図-7(a)は鉄筋の展開図であるが、これを図-7(b)のように等しい間隔 $a=(b_c+h_c)/6+5/2$ とし、図中の対角線で囲まれた部分にモデルを対応させる。主引張方向の応力-ひずみ曲線を図-4のMD1の實際より定めた。この場合応力は $\sigma=P/\sqrt{2} \cdot a \cdot t$ ($t=4\text{cm}$) となり、ひずみは $\varepsilon=\delta/\sqrt{2} \cdot a$ となる。ひずみにはひびわれ幅測定ゲージの外的変形も考慮しなければならぬが、モデル実験の結果ひびわれ幅に比較して十分に小さいので無視した。一軸主圧縮方向の応力-ひずみ曲線はコンクリートの圧縮応力-ひずみ曲線と相似とした。このようにするとモデルは異方性となるが、この場合のせん断弾性係数は $G=E_t/(1+E_t/E_c+V_c)$ で決定できるものとした。ここで E_t は主引張に対する割れヤング係数、 E_c , V_c は主圧縮に対する割れヤング係数およびポアソン比である。応力-ひずみ曲線を図-8に示す。人エひびわれの部分には図-8の実際を用い、人エひびわれを有しない要素にはひびわれ発生まではコンクリートのみの要素として図中の破線の応力-ひずみ曲線を用いた。解析は非線形弾性問題として直接繰返し法を用いて行なった。解析結果としてねじりモーメントと回転角との関係を図-6に、またねじり強度を表-3に示した。いずれの解析結果もねじり強度は実験値を下回るが、人エひびわれが強度に影響を及ぼさないうえ、ひびわれ以降、Nの変形性状が人エひびわれを有するはりの変形性状に近づく実験値の傾向をよく再現できているものと思われる。

4. おわりに

今回提案したモデルはさらに多くの要因の下でのデータが必要ではあるが、ねじり以外にも、たとえばせん断力等の作用する鉄筋コンクリートはりの変形・強度解析にも適用できるものと考えられる。

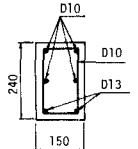


図-5

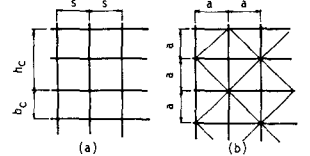


図-7 鉄筋の展開図

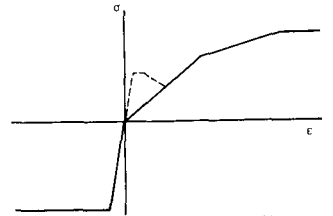


図-8 応力-ひずみ曲線

表-3 はりのねじり強度 (t・cm)

種 類	実験結果		解析結果	
	ひびわれ時	終局時	ひびわれ時	終局時
N	55.0	84.0	51.1	78.3
C10	-	83.0	-	-
C15	-	84.4	-	77.5

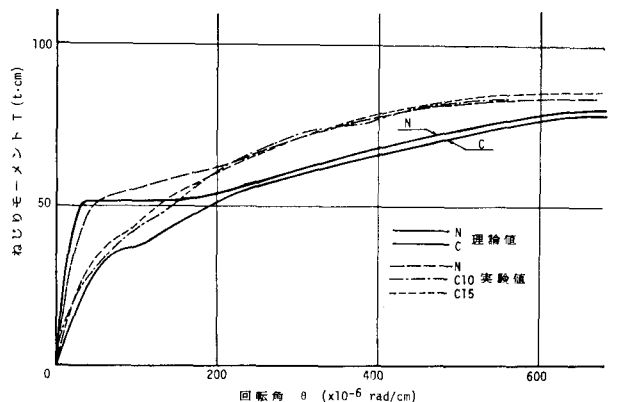


図-6 ねじりモーメントと回転角との関係