

[64] 曲げせん断とねじりを受けるRC部材における補強鉄筋の効果

正会員 辻 幸 和 (群馬大学 工学部)

1. 序論

曲げせん断とねじりの組合せ荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の挙動については、近年多くの研究成果が報告されているが、未解明の部分が多い。特に、軸方向鉄筋あるいはスターラップのひずみに関するデータは意外に少く、これら補強鉄筋の及ぼす効果も十分に解明されているとはいえない現状である。

本研究は、スターラップおよび軸方向鉄筋の各位置におけるひずみの測定結果より、曲げせん断とねじりを同時に受けるRC部材の挙動に及ぼすこれら補強鉄筋の効果について検討したものである。また、ねじりモーメントが卓越する領域でのU型スターラップの効果についても考察した。

2. 実験の概要

本実験に用いた供試体は、図-1に示すように、幅が15cm、高さが45cmの矩形断面に、長さが450cmと、比較的大きなもので、3体作製した(表-1参照)。U型スターラップを配置したものも含まれている。

スターラップには $\phi 5$ mmの普通丸鋼とD10mmの異形鉄筋を用い、図-2に示すように、供試体の各片側にそれぞれ15cmピッチで配置した。全断面を有効とした横方向ねじり鉄筋比は、容積比でそれぞれ0.18%および0.65%である。ひずみを測定するため、図-1に示す位置にワイヤストレーンゲージを1組のスターラップに4枚ずつ貼付した。そして、 $\phi 5$ のスターラップは、図-2に示すゲージ位置1から12の12ヶ所に、またD10は、13から17の5ヶ所に、ゲージを貼付したものをそれぞれ配置した。

軸方向鉄筋にはD25を、図-1に示すように、引張側に4本、圧縮側に2本それぞれ配置した。曲げ破壊を防ぐため、通常のRC部材に比べて大きな引張鉄筋比とした。そして図-2に示すように、載荷点下およびそこから支点方向にそれぞれ50cmの位置に3ヶ所の合計7ヶ所に、ワイヤストレーンゲージを鉄筋下面に貼付した。

コンクリートはレデーミクストコンクリートを用いて3体同時に打込んだ。試験時の圧縮強度は 423 kg/cm^2 、引張強度は 29.3 kg/cm^2 であった。また、鉄筋の試験結果を表-2に示す。

載荷方法は図-3に示すように、スパン中央において1点載荷した。支点は、断面が供試体本体と同じ鉄筋コンクリート製のアームをPC鋼棒を用いて接合してそのアーム下面にとり、いわゆる間接載荷方法を採用した。用いた支点は、ねじりと曲げをとるための球面と軸方向の変位をとるためのスライディングプレートより成り、各々の接触面には固体潤滑材がとりつけられている円形の支承上¹⁾、 $\phi 50$ mmのローラーを介したものとした(写真-1参照)。断面中心より支点までの距離は、断面幅 b に同じ15cmとその倍の30cmの2種類とした。したがって、ねじりモーメント T とせん断力 V との比率の指標の $T/(Vb)$ は、1.0と2.0になる。また、せん断スパン a は200cmであり、部材有効高さ d との比である a/d は約5になり、曲げせん断の場合に、いわゆる斜め引張破壊を生ずる領域とした。

3. ひびわれおよび破壊性状

斜めひびわれの発生と破壊荷重を表-1に、また、ひびわれ性状の例を図-4に示す。供試体の側面を考えると、曲げせん断によるせん断応力とねじりによるせん

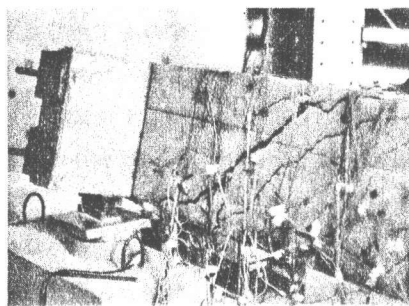


写真-1 支点および破壊性状(TG-1)

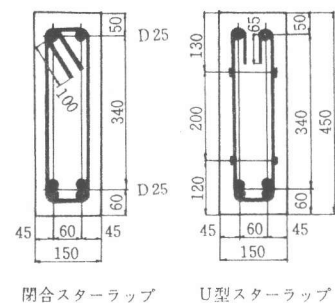


図-1 断面諸元とスターラップの形状

表一 1 供試体の種類と実験結果

供 試 体 名	T Vb	スター ラップ の 種 類	斜 め ひ び わ れ*						スター* ラップ の 降 伏	破 壊 時		Vu Vuca]**	Tu Tucal***
			φ 5 側			D 10 側				Vu (t)	Tu (t-cm)		
			S 面	NS面	上 面	S 面	NS面	上 面					
TG-1	1	閉 合	50	85	90	50	—	—	88	8.25	124	0.59	0.73
TG-2	2	閉 合	45	70	80	45	80	—	87	4.75	143	0.34	0.84
TH-2	2	U 型	55	70	80	60	90	—	98	4.50	135	0.32	0.79

* 破壊荷重に対する百分率

** Vucl=Vc+Vs、 Vc:岡村・松貝の式、 Vs:トラス理論

*** Chakrabortyの式

断応力が同符号の面をS面、異符号をNS面とする¹⁾。

いずれの供試体とも、図一4に示すような、曲げせん断とねじりによるらせん状の斜めひびわれが、先ずS面に発生し、その後NS面、最後にS面のひびわれが発達して上面および下面に発生するとともに、鉄筋量の少いφ5側の鉄筋が降伏する。そしてNS面のコンクリートが圧壊する、いわゆる斜め曲げ破壊を生じた。

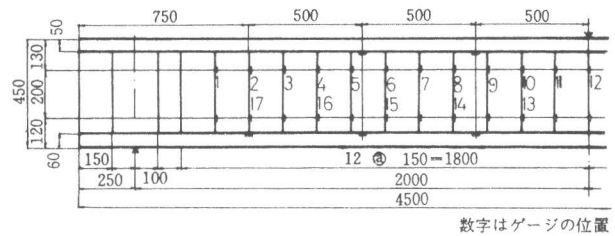
S面の斜めひびわれ発生荷重は、φ5およびD10側ともほぼ等しい値となり、スターラップの量にはほとんど影響されないことが確かめられた。また、NS面の斜めひびわれは、S面のひびわれの拘束作用が少いためかφ5側が早期に発生した。曲げせん断あるいはねじりのみが作用する場合の耐力の計算を、それぞれ表一1に示す式を採ると、破壊は土木学会試案に規定するねじりとせん断力の相関式⁴⁾の外側に位置した。

4. スターラップのひずみ性状

図一5は、載荷点直下のみを除いたS面側における、φ5スターラップのすべてのひずみをプロットした例である。斜めひびわれ発生後、せん断力の増加とともにひずみも全体として増加するが、斜めひびわれとの位置関係により、スターラップの位置だけでなく、1本のスターラップについても上段と下段によって、ひずみが大きく異なる場合が多い。また、1ヶ所のひずみが降伏値に達しても荷重は増加し(表一1参照)、降伏ひずみに達するスターラップの数が増えて、一般に、一番卓越した斜めひびわれに交差するスターラップがすべて降伏すると破壊が生じた。

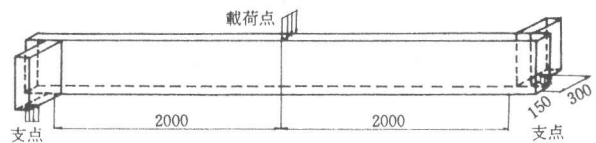
図一5に示すようなひずみについて、最大から3個のひずみを平均したものが図一6および図一7である。図中の破線は計算値である。ここに、スターラップ以外が受けるせん断力Vcは岡村・松貝の式²⁾を用い、斜めひびわれに及ぼすねじりの影響を $V/Vc + T/Tc = 1.1$ ⁴⁾により考慮して低減した。ねじりモーメントのみが作用するときの斜めひびわれモーメントTcは、Hsuの提案式⁵⁾を採った。斜めひびわれ発生後は、曲げせん断のみを受けるトラス理論による計算値である。

φ5スターラップのひずみを示す図一6から、ひずみの勾配は、斜めひびわれ発生後ある範囲においては、ねじりの影響を考慮しないトラス理論値にほぼ等しい。しかしながら、荷重の増加とともにねじりの及ぼす影響が顕著になり、S面側のスターラップでは、トラス理論に比べて、 $T/(Vb)$ が1.0の場合に約2倍に、また、2.0の場合に約3倍のひずみ勾配となった。NS面側のスターラップは、斜めひびわれ発生時のせん断力が大きいので、S面



数字はゲージの位置

図一2 スターラップ、軸方向鉄筋およびワイヤストレインゲージの配置



図一3 ねじり載荷方法

表一2 鉄筋の引張試験結果

種類	降伏点 (kg/mm ²)	引張強度 (kg/mm ²)	降伏点ひずみ (10 ⁻⁶)
φ 5	63.3	78.0	3200
D 10	40.7	58.9	2200
D 25	34.4	54.1	1700

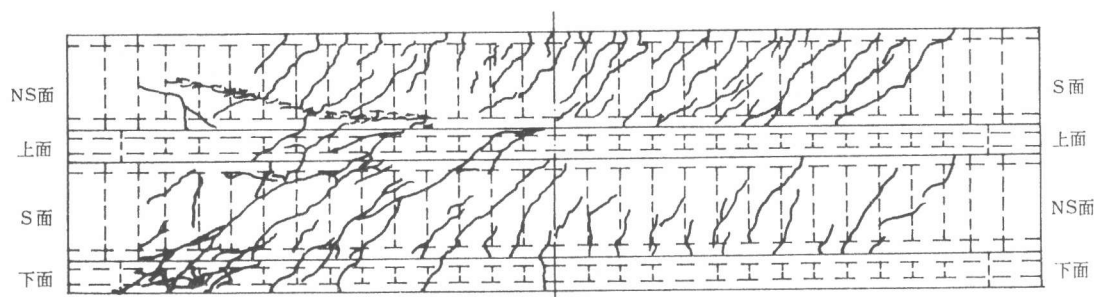


図-4 ひびわれ性状(TG-2)

側に比べてひずみの値は小さい。しかしながら、ひずみの勾配は、斜めひびわれ発生後ある範囲内ではトラス理論にほぼ等しく、その後荷重の増加とともに勾配が急となり、破壊近くなるとS面側の勾配にほぼ等しくなることが認められる。

S面側におけるD10のスターラップのひずみも示したのが図-7である。 $T/(V_b)$ が1.0の場合は、表-1に示すように破壊荷重の約85%で斜めひびわれが生じたことにより、D10スターラップのひずみ勾配は、破壊近くまでトラス理論よりわずかに大きい程度であった。しかし、ねじりモーメントの比率が大きい場合のD10スターラップは、 $\phi 5$ とほぼ同様な傾向を示し、破壊近くではトラス理論の約3倍のひずみ勾配を示した。斜めひびわれが十分に発達した場合のスターラップのひずみに及ぼすねじりモーメントの影響は、スターラップの量にかかわらずほぼ等しいと考えられる。

5. 軸方向鉄筋のひずみ性状

軸方向引張鉄筋のひずみ分布を図-8に示す。 $T/(V_b)$ が2.0の場合、その破壊荷重の約95%の荷重時における分布を示す(a)から、スターラップ量が少い $\phi 5$ 側のひずみは、コンクリートの引張力を無視した弾性理論値の約2倍から3倍の値になっているとともに、S面側ではNS面側に比べて大きくなっている。しかし、このねじりの影響もD10側では小さい。

$T/(V_b)$ が1.0の場合は、理論値にほぼ等しいひずみ

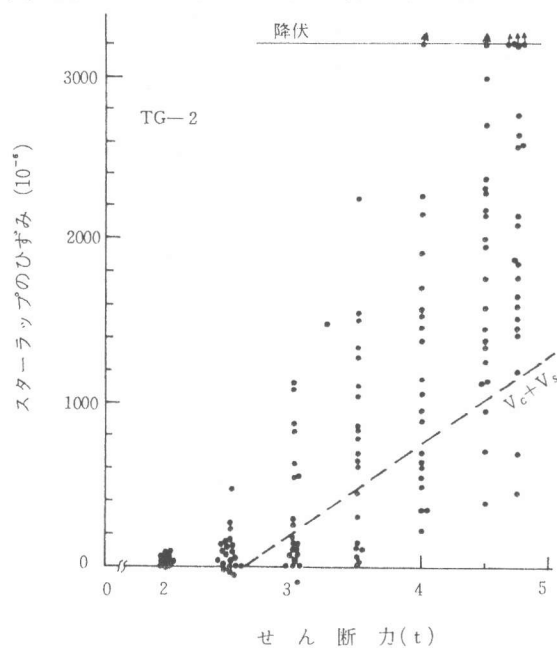


図-5 全スターラップのひずみとせん断力の関係

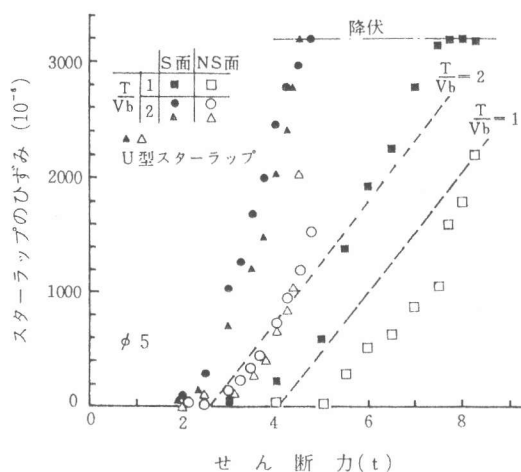


図-6 スターラップのひずみ($\phi 5$)

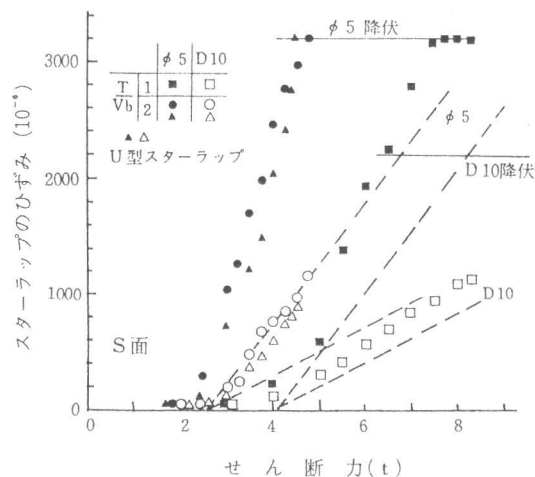


図-7 スターラップのひずみ($\phi 5$ および D10)

分布を示しているが、荷重が増加して破壊荷重の約95%の荷重になると、(b)に示すように、理論値より大きくなる。しかしながら、その増加分は T/Vb が2.0に比べて小さい。また、S面側とNS面側の相違もほとんど認められない。ただし、 $\phi 5$ スターラップを配置したS面側の支点から50cmの位置のひずみは、理論値の約4倍の値を示し、破壊時には降伏ひずみ値を越えていた。卓越した斜め

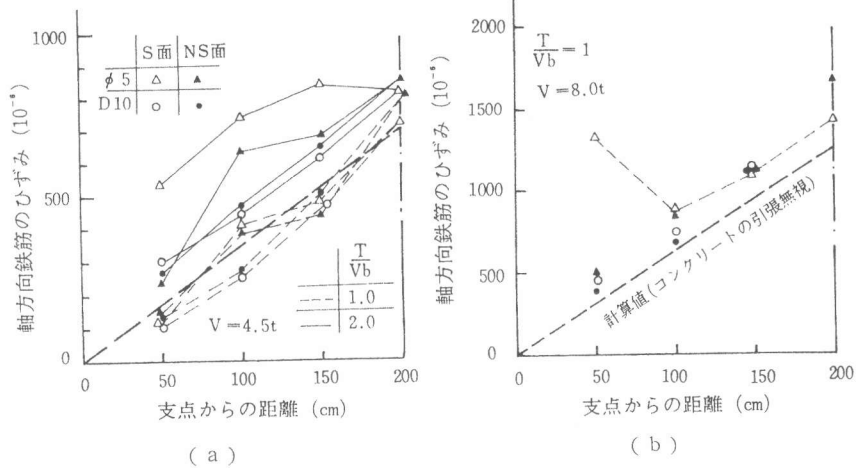


図-8 軸方向鉄筋のひずみ性状

ひびわれが交差した位置のひずみである。他の2体の供試体では、ゲージの位置をこのような斜めひびわれが交差しなかったため、軸方向鉄筋の降伏は認められなかったが、この例のように降伏する可能性も考えられる。

6. U型スターラップ

U型スターラップを用いた部材の破壊荷重は、表-1より閉合スターラップを用いた場合の95%であった。上面のひびわれは両部材とも破壊荷重の80%程度で発生している。スターラップのひずみは、図-6および図-7に示すように、一般に閉合スターラップに比べて等しいかむしろ小さく、破壊直前にひずみが急増する傾向があった。

U型スターラップでは部材上面のひびわれが拘束できないため、上面のひびわれは、部材軸と約10度の角度と、閉合スターラップの約30度に比べて部材軸に沿って生じたが、補強鉄筋のひずみおよび破壊荷重とも予想外の好性状を示した。その原因は不明であるが、本実験のように部材断面の高さが幅の3倍と高く、U型スターラップのフックが、不完全ではあるが斜めひびわれの拘束に寄与したことが一因と考えられる。

7. 結論

ねじりモーメントとせん断力の比、スターラップの量およびその形状を要因にとり、曲げせん断をねじりの作用を受けるRC部材の各位置におけるスターラップと軸方向鉄筋のひずみの測定を重点に実験を行い、以下の結果を得た。スターラップのひずみは、斜めひびわれ位置との相互関係により大きくばらつく。そして、例えば最大から3個の平均値を採った場合、そのひずみ勾配は、斜めひびわれ発生後ある範囲ではねじりを考慮しないトラス理論値にほぼ等しいが、荷重の増加とともに増加し、ねじりモーメントとせん断力の比に応じてひずみ勾配が大きくなり、ねじりの影響が顕著に認められた。ねじりによる軸方向鉄筋のひずみ増加も、ねじりの比率が大きいほど著しく、曲げモーメントのみが作用する場合の約3倍になることもあった。また、せん断力が卓越する領域だけでなく¹⁾、ねじりモーメントの比率が大きい場合にもU型スターラップを使用できる可能性が得られた。

本研究は、昭和55年および56年度文部省科学研究費補助金(課題番号585016)を受けて行ったものである。本研究を行うにあたり、研究代表者の岡村甫先生、共同研究者の各氏ならびに松井雅志氏(清水建設㈱)には、懇切なご指導とご助言を頂いた。また実験は足利工業大学で行った。ここに謹んで厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 松井雅志、岡村甫：せん断及びねじりを受けるRC部材の強度、第3回コンクリート工学年次講演会 講演論文集 1981
- 2) Okamura, H. and Higai, T.: Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement, Proc. of JSCE, No.300, Aug. 1980
- 3) Chakraborty, M.: Ultimate Torque of Reinforced Rectangular Beams, Proc. of ASCE, ST3, March 1979
- 4) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法試案, 1981年4月
- 5) T. T. C. Hsu: Torsion of Structural Concrete-Plain Concrete Rectangular Sections, ACI SP18