

[141] 波形タイ筋による角形フープ筋の横拘束効果の改善

正会員 六車 熙 (京都大学工学部)
 正会員 渡辺 史夫 (京都大学工学部)
 正会員 ○田中 仁史 (明石工業高等専門学校)

1. はじめに

鉄筋コンクリート柱やプレストレストコンクリート梁材の曲げ変形靱性を高める為、種々の横拘束筋が用いられているが、矩形の横拘束フープ筋は、円形のそれに比べて著しくその横拘束効果が劣ることが明らかとなっている¹⁾。その為、矩形フープ筋では従来、補助タイ (Supplement Tie) などを用いることにより、その横拘束効果の改善が試みられてきている²⁾。本研究では、波形をした独特の補助タイを考案し、それを用いた簡便な横拘束筋組立工法を提案するとともに、高軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の純曲げ試験を行い、その有効性について検討を行った。

2. 波形タイ筋による横拘束筋組立工法の提案

従来最も多用されている横拘束筋は、矩形フープであるが、その多くは現場で直接配筋される為、配筋間隔の調整など煩雑な作業を要し、現場工程上の一つの欠点となっている。そこで図1に示す様な所定のピッチで曲げられた波形タイ筋を用い矩形フープと組合せれば、それら自身で自立した組立筋とでき、工場などであらかじめ組立てておけば現場柱主筋などに即座に挿入することが可能となり、鉄筋組立工程を著しく簡便化できると考えられる。なお、この波形タイ筋は、矩形のスパイラルフープ筋に対しても図1に示す手順と全く同様にして組立可能である。

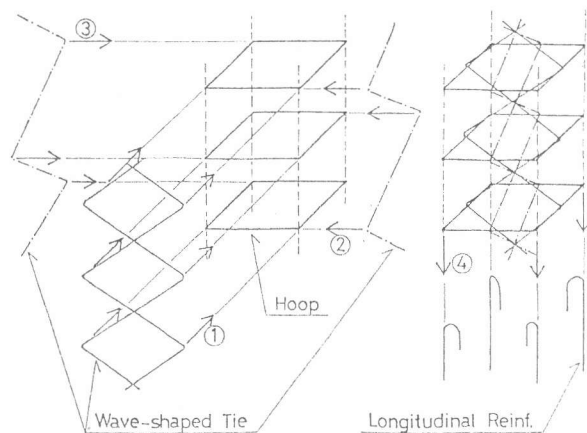


図1. 波形タイ筋組立手順

3. 波形タイ筋を用いた鉄筋コンクリート柱の

純曲げ試験

3-1 実験計画

(a) 供試体及び使用材料 セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材には海砂、粗骨材には山砂利を使用した。コンクリートの調合は、水セメント比70%、C : S : G = 1 : 3.44 : 3.40とした。試験材令(28~30日)におけるφ10cmコントロールシリンダーによるコンクリート強度を表1に示す。柱主筋には、D13を使用し、矩形フープ及び波形タイ筋にはφ5mm高強度丸鋼を使用した。それぞれの降伏強度を同じく表1に示す。

表1. 使用材料の機械的性質

コンクリート強度		使用鉄筋	降伏強度
圧縮	引張	D13 (主筋)	364kg/cm ²
258kg/cm ²	28.6kg/cm ²	φ5mm (横拘束筋)	11800 "
		φ23mm (軸力導入用*)	12300 "

*アンボンDPC Bar

表2. 試験体一覧

試験体柱	断面 (cm)		主筋	横拘束筋		
	巾	全文		矩形フープ筋	波形タイ筋	体積比
CP 17.5	15	20	4-D13 (pt=0.847%)	φ5mm高強度鋼, ピッチ17.5cm	無	0.20%
CP 10	"	"	"	φ5mm高強度鋼, ピッチ10cm	無	0.35%
CP 10-T2	"	"	"	φ5mm高強度鋼, ピッチ10cm	φ5mm高強度鋼, 2列 (丈方向)	0.82%
CP 5	"	"	"	φ5mm高強度鋼, ピッチ5cm	無	0.69%
CP 5-T2	"	"	"	φ5mm高強度鋼, ピッチ5cm	φ5mm高強度鋼, 2列 (丈方向)	1.52%

試験体は、断面15×20cm、長さ194cmの鉄筋コンクリート柱で、フープ筋のピッチ及び波形タイ筋の有無を実験パラメーターにとり5体作製、コンクリート打設後試験材令まで湿布養生を行った。なお、試験体柱断面中央には、軸力導入用のφ23mmアンボンドPC鋼棒を配筋した。また、曲げせん断部（試験域外）は、φ5mmの矩形フープを5cmピッチで配筋し十分なせん断補強を行った。試験体一覧及び配筋詳細を表2及び図2に示す。

(b) 荷重及び測定方法 荷重形式は、図3に示すように試験体中央2点に集中荷重を加える単純梁形式とし、100tオイルジャッキにより一方向単調曲げ加力を行った。同荷重は、ジャッキヘッドに取付けられた50tロードセルにより検出し、また試験体中央たわみは、反力フレームに取付けられた差動トランスにより測定を行った。コンクリート圧縮縁歪及び引張縁歪は、試験体両側面において検長50cmで差動トランスにより測定したが、その取付けは、図4に示す如く、試験体にあらかじめ埋め込まれたφ8mmボルトによった。

主筋、フープ筋、波形タイ筋の歪は、試験体中央2～3ヶ所に貼付されたワイヤストレーンゲージ（ゲージ長=6mm）により測定を行った。なお、同ゲージは、各ヶ所とも鉄筋断面对称位置2点に貼付されている。

柱軸力は、全試験体とも釣合い軸力（28t）で一定とし、前述のPC鋼棒に50tセンターホールジャッキで引張力を加えることにより伝達した。なお、試験中常に軸力を一定に保つよう、PC鋼棒両端に挿入されたロードセルの出力をモニターし同ジャッキの加力調整を行った。釣合い軸力の算定は、コンクリート圧縮強度 $f_c = 240 \text{ kgf/cm}^2$ 、主筋降伏強度 $f_y = 3646 \text{ kgf/cm}^2$ 、コンクリート終局縁歪 $\epsilon_{cu} = 0.003$ 、コンクリート応力ブロック係数 $k_1 = k_3 = 0.85$ 、 $k_2 = 0.425$ と仮定して行った。

3-2 実験結果及びその考察

実験結果一覧を表3に示す。図5には、各試験体の

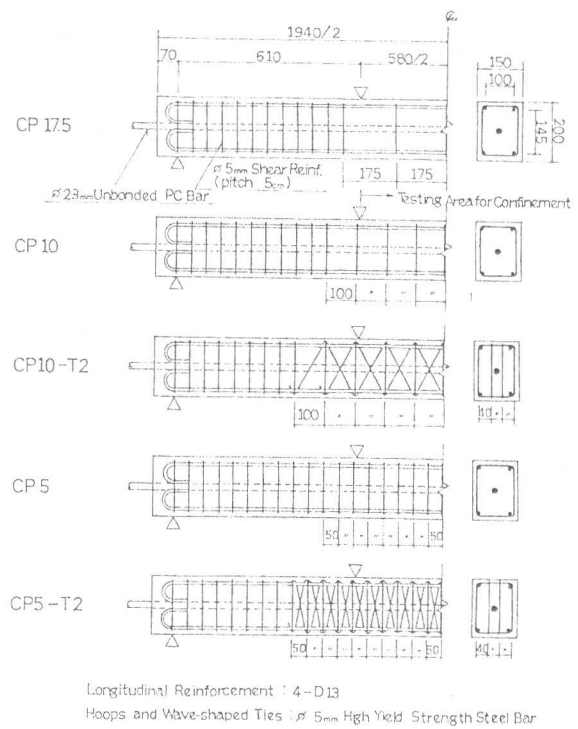


図2. 配筋詳細

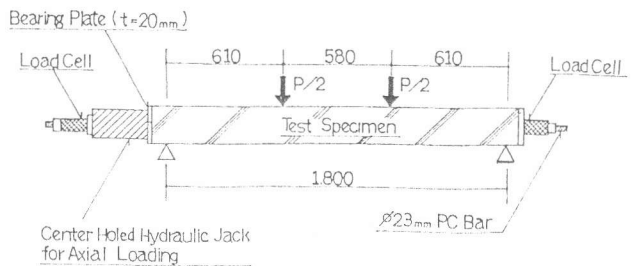


図3. 荷重方法

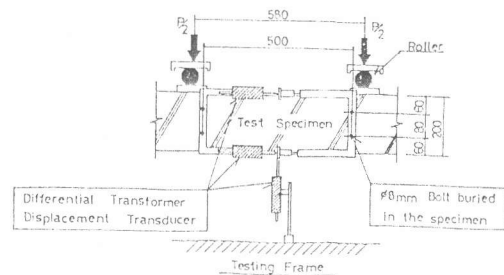


図4. 中央たわみ及びコンクリート縁歪測定法

表3. 実験結果一覧

試験体柱	最大荷重時		圧縮主筋降伏時 曲率 (1/cm)	1/2×最大モーメント時 (降り勾配区)		横拘束筋最大ひずみ (ワイヤゲージ測定値)								
	曲げモーメント (t.m)	曲率 (1/cm)		曲率 (1/cm)	コンクリート圧縮 縁ひずみ (%)	フープ筋 (単位: μ)			波形タイ筋 (単位: μ)					
			外側			内側	平均	表	裏	平均				
CP 17.5	3.00	3.00×10	1.78×10	6.15×10	0.77	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CP 10	3.09	3.15 "	1.65 "	9.81 "	1.27	5717	-3037	1340	---	---	---	---	---	---
CP 10-T2	3.05	2.97 "	1.71 "	11.47 "	1.50	4646	-1472	1587	2315	-390	963	---	---	---
CP 5	2.99	3.20 "	1.73 "	18.54 "	2.43	3111	52	1582	---	---	---	---	---	---
CP 5-T2	3.01	3.04 "	1.82 "	25.70 "	3.29	16542	-9394	3574	2244	-348	948	---	---	---

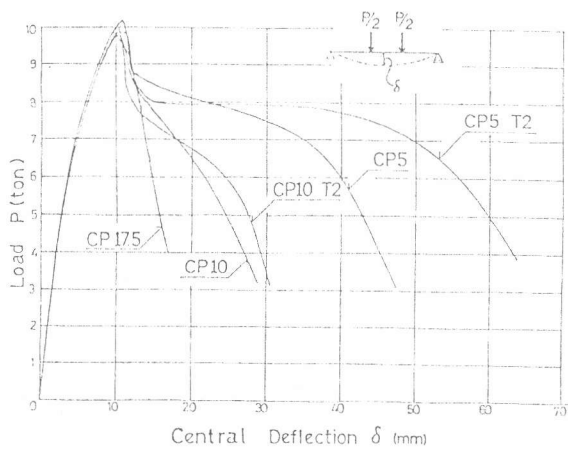


図5 荷重-中央たわみ曲線

荷重-中央たわみ曲線を、また図6にはCP17.5を除く各試験体の実測縁歪により計算されるモーメント-曲率関係を示す。波形タイ筋を補助タイとして用いたCP5-T2、及びCP10-T2試験体が矩形フープのみのCP-5、CP-10試験体に比べて、曲げ靱性が改善されていることが、同図より明らかとなっている。特にCP5-T2試験体では、曲率が $20 \times 10^{-4} 1/cm$ に達するまで、安定した曲げ耐力を維持しており、その曲げ靱性改善効果が著しい。因に、同曲率におけるコンクリート圧縮縁歪は、2%にも達していることが実測されている。図6には、各曲率に対するフープ筋歪及び、波形タイ筋歪の推移も合わせ示してあるがCP5-T2試験体では、圧縮縁側におけるフープ筋歪が、ほぼ直線的に伸び、試験終了時では約0.35%（フープ筋断面両側平均歪）にまで達している。本実験に用いられているフープ筋は、その降伏強度が 10000 kgf/cm^2 以上であることと考え合わせると、同フープ筋による横拘束剛性は、劣化することなくほぼ一定に保たれ、最終的に著しく大きな横拘束力が圧縮部コンクリートに与えられたことを示している。従って、この横拘束力によりCP5-T2試験体ではコンクリートの圧縮靱性が著しく高められ、結果として柱部材としての曲げ靱性が大きく改善されたと考えられる。この傾向はCP10-T2試験体とCP10試験体を比較することによってもうかがわれるが、フープ筋の配筋間隔が比較的大き過ぎた為、波形タイ筋の効果が十分発揮されていない。なお、各試験体の最大耐力に達した直後の耐力減少は、かぶりコンクリートの急激な剥離によるものであることが、実験中の、コンクリート圧縮ひび割れ観察及び以下の解析から確認される。

フープ筋及び波形タイ筋によるコンクリートの圧縮靱性改善効果を定量的に評価する為、以下の理論計算によるモーメント-曲率関係と実測値との比較検討を

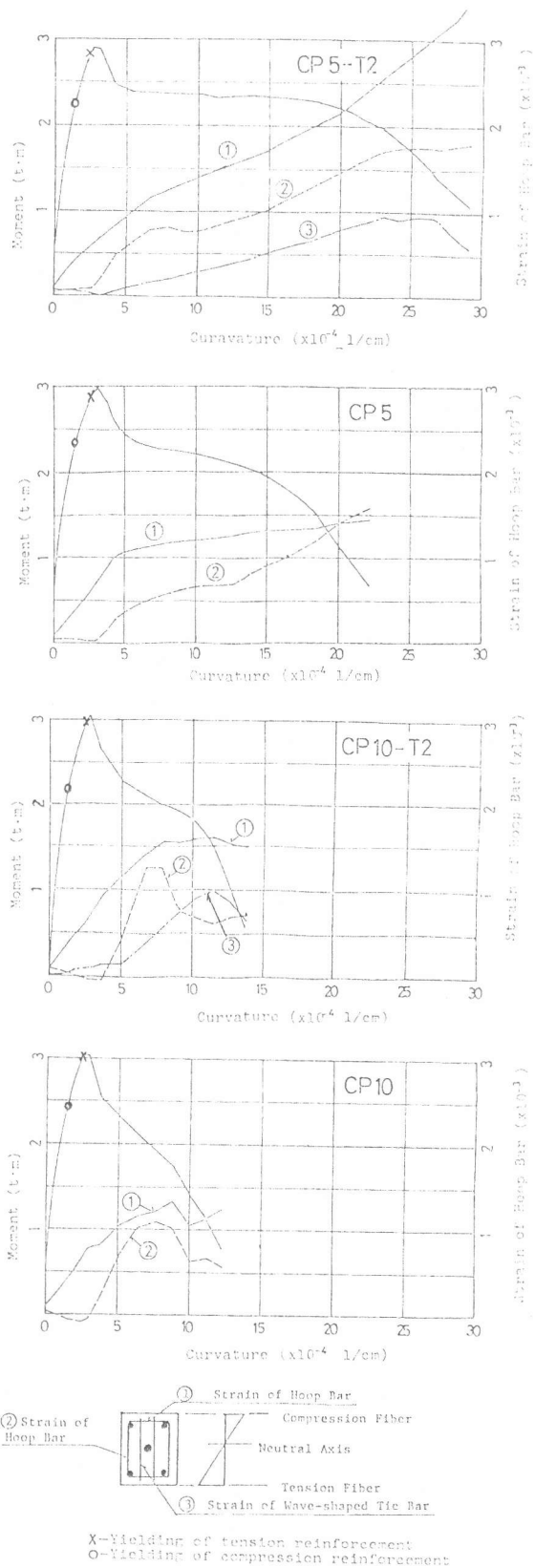


図6 モーメント-曲率関係及びフープ筋、波形タイ筋の実測歪

行った。理論計算においては、コンクリート及び主筋の応力-歪関係を図7に示すごとく仮定した。参考の為、図8にCP17.5試験体における理論値と実測値の比較を示す。フープ筋間隔が柱の有効丈 ($d = 17.5\text{cm}$) を越える場合には、その横拘束効果がほとんど期待できないことが明らかとなっている¹⁾ので、この試験体におけるコンクリートの応力-歪関係は、無筋コンクリートの圧縮試験結果を基に、 $E_1 = 0.0016$, $E_2 = 0.0018$, $E_3 = 0.008$ と仮定した。理論曲線における不連続点は、コンクリート圧縮縁歪が0.5%に達すると同時にかぶりコンクリートが全て剥離すると仮定したことによる。この仮定は、各試験体のモーメント-曲率曲線の分岐点でのコンクリート圧縮縁歪が約0.5%であり、その点では、カバーコンクリートが剥離したと考えられることによる。図9に、コンクリート圧縮縁歪が0.5%以上におけるモーメント-曲率理論曲線(カバーコンクリートは全て剥離していると仮定)を示す。各理論曲線は、図7における対応する番号のコンクリート応力-歪関係の仮定に基づいている。CP5-T2試験体では、 $E_2 = 1\%$, $E_3 = 3\%$ と仮定した理論曲線Aが、実測値とよく一致している。従って、CP5-T2試験体では、コンクリートの圧縮靱性が著しく改善され、コンクリートは、圧縮歪が約0.16%で最大応力に達した以降、同歪が1%に達するまで、完全弾塑性的な挙動を示したものと考えられる。一方、CP10-T2試験体では、 $E_2 = 0.0018$, $E_3 = 0.0175$ 、と仮定した③曲線と実測曲線とが一致していることから、②曲線に一致しているCP10試験体に比べると著しくコンクリートの圧縮靱性が改善されたとは言えない。従って、波形タイ筋による矩形フープ筋の横拘束効果改善を期待するには、本実験に関して言えば、フープ筋間隔が有効丈の1/3以下で、ある程度フープ筋自身が密に巻かれている必要があると推測される。

4. 結論

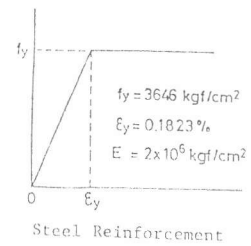
以上より次のことが結論される。

- (1) 波形タイ筋の使用により矩形フープ筋においても、コンクリートの曲げ圧縮靱性が著しく改善でき、コンクリートの応力-歪関係を完全弾塑性的なものまで高めることができる。
- (2) 波形タイ筋を使用した場合、柱断面曲率の増加に比例してフープ筋歪がほぼ直線的に増加し、本実験に関して言えばフープ筋歪は0.3%以上にも達している。従ってフープ筋によりコンクリートを弾塑性的に横拘束し、コンクリートの十分な圧縮靱性改善を得るには降伏強度 $6000\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上のフープ筋の使用が望ましいと判断される。
- (3) 波形タイ筋の使用により、横拘束筋の現場鉄筋組立工程が簡便化される。

(※) 本実験は、昭和58年度科研費(奨励研究A-田中)によった。

[参考文献]

- (1) 六車他「横拘束コンクリートの応力ひずみの曲線のモデル化」
: セメント技術年報 34, 昭和55年
- (2) E.G. Burdette et al. "Behavior of Laterally Reinforced Concrete Columns": Proc. of ASCE, February, 1971



	E1	E2	E3
①	0.0016	0.0018	0.01
②	⋮	⋮	0.015
③	⋮	⋮	0.0175
④	⋮	⋮	0.03
⑤	⋮	⋮	0.05
A	⋮	0.01	0.03

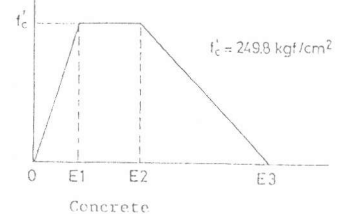


図7 鉄筋及びコンクリート 応力-歪関係モデル

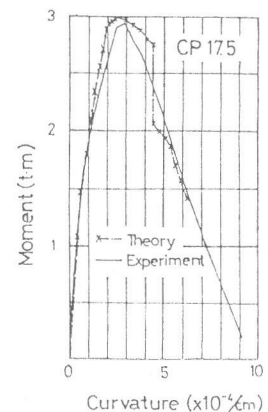


図8 M-φ理論曲線 (CP17.5試験体)

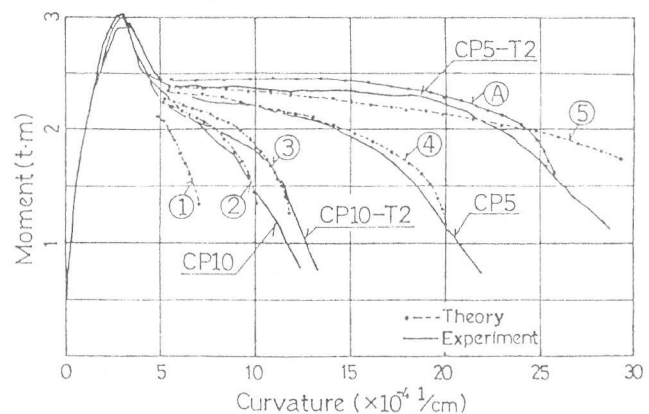


図9 M-φ理論曲線と実測値の比較