

RC 部材の靱性に及ぼす高強度せん断補強筋形状の影響* ——リバーボンマルチスパイラルフープの開発——

川崎製鉄技報
24 (1992) 3, 177-183

Configurational Effects of High-Strength Transverse Reinforcement on Ductility Behavior of Reinforced Concrete Members—Development of Riverbon MULTI SPIRAL HOOPS—



中澤 淳
Atsushi Nakazawa
川鉄テクノワイヤ㈱
管理部管理室



柴田 正隆
Masataka Shibata
川鉄テクノワイヤ㈱
管理部管理室 主査(課長)



渡辺 郁夫
Ikuo Watanabe
川鉄テクノワイヤ㈱
管理部管理室 主査(課長)



白石 環
Tamaki Shiraishi
川鉄テクノワイヤ㈱
営業部 課長



三原 重郎
Juro Mihara
建材事業 開発部 主査
(部長補)

要旨

鉄筋コンクリート建築物に使用されているせん断補強用鉄筋として、降伏応力度が $1\,275\text{ N/mm}^2$ クラスで、かつ外周筋と中子筋とを一体化し、一筆書き的に曲げ加工した新しいせん断補強筋(リバーボンマルチタイプ)の開発を進めてきた。実験は鉄筋コンクリート柱に関する曲げせん断実験を行い、在来型フープとリバーボンマルチタイプの破壊性状の比較を行った。その結果、リバーボンマルチタイプは在来型フープと同等の耐力を与えるとともに同等以上の変形性能を確保し得ることを立証した。また、建築現場においても、作業工程が短縮できることが立証され、非常に良い作業効率を示している。さらに、フックが少なくできる特徴から材料を節約することができる。

Synopsis:

A new type of transverse reinforcement with $1\,275\text{-N/mm}^2$ yield strength was developed for reinforced concrete members. This consists of a peripheral hoop and internal hoops (named the Riverbon MULTI SPIRAL HOOP), which are made from one-piece steel bar without breaks or welding. Experimental studies were carried out on square concrete columns and the shear-failure and flexural failure behaviors of the Riverbon MULTI SPIRAL HOOP were compared with those of conventional reinforcements. This Riverbon MULTI SPIRAL HOOPS showed good ductility and greater efficiency in fixing at the construction site. This reinforcement enables earthquake-resistant reinforced concrete buildings to be constructed more economically.

1 緒 言

最近、高層建築における鉄筋コンクリート(RC)構造の梁、柱部材は、高軸力、高せん断力を受けるため、耐震性能確保のために材料の高強度化を図るとともに外周筋と中子筋を組み合わせたせん断補強筋の有効性が指摘されている^{1,2)}。材料の高強度化については、PC鋼棒リバーボンをRC梁、柱のせん断補強筋に用いるための部材設計法を確立している³⁾。しかしながら、この中子筋の現場施工は非常に手間がかかる上に高強度の鉄筋を使用する場合には配筋しにくくなる。

そこで、現場施工の効率向上および省力化が期待でき、また、せん断補強筋としての構造的な信頼度が向上すると考え、外周筋と中

子筋を一体化した、いわゆる一筆書きに曲げ加工した帯筋を考案して試作した。これをリバーボンマルチタイプと名付けた。このリバーボンマルチタイプには1枚のみ曲げ加工したリバーボンマルチフープと、リバーボンマルチフープを連続的に曲げ加工したリバーボンマルチスパイラルフープの2タイプがある。

ここでは、在来型フープとリバーボンマルチタイプのせん断補強筋が同等以上のせん断補強効果を与えることを立証するために行った実験結果と、このリバーボンマルチタイプを効率よく製造するために開発した加工装置の概要および実際の建築物において用いられた場合の現場作業の効率化について述べる。ここで用いたPC鋼棒は川鉄テクノワイヤ㈱が製造しているJIS G3109に規定されるSBP D1 275/1 422に準ずるリバーボンである。

* 平成4年5月12日原稿受付

2 構造実験

せん断破壊型および曲げ降伏型の鉄筋コンクリート柱を対象に、在来型フープとリバーボンマルチタイプの変形性能に及ぼす各実験変数の影響について調査し、両タイプの補強効果を比較検討する。せん断補強筋としては $1\,275\text{ N/mm}^2$ 級のリバーボンを用いる。

2.1 実験方法

2.1.1 試験体

計画した試験体は、せん断破壊先行型のせん断シリーズ12体⁴⁾および曲げ降伏型の靱性シリーズ14体⁵⁾である (Table 1)。主な実験変数は補強筋形状、せん断補強筋比 (p_w)、軸力比 (n) および主筋量 (p_t) の4種類とした。

Fig. 1 にリバーボンマルチタイプと在来型フープの補強筋形状を示す。ここで選択した在来型フープとしては、 135° フック付きの外周のみのEタイプ、Eタイプをスパイラル状にしたESタイプおよび外周筋と 135° フック付きの中子筋を用いたS1、S2タイプ

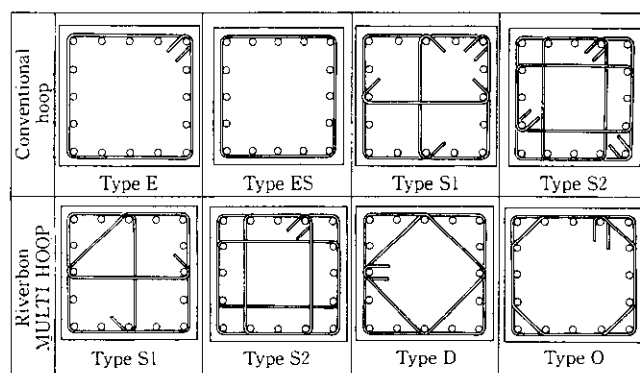


Fig. 1 Provided hoop configuration

である。また、リバーボンマルチタイプとしては、S1、S2タイプ、外周筋とダイヤ形のDタイプおよび八角形のOタイプの中子筋を一筆書き的に1枚のみ曲げ加工したリバーボンマルチフープである。さらに、S2タイプのリバーボンマルチフープを柱頭から柱脚まで連続的に曲げ加工したリバーボンマルチスパイラルフープS2Sタイプである。

Fig. 2 にせん断シリーズおよび靱性シリーズの試験体寸法を示す。柱長さ L はせん断シリーズ750 mm と靱性シリーズ1 200 mm とし、断面寸法 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ は共通とした。Table 2 に使用鉄筋の機械的性質を示す。

ここで、せん断補強筋比 p_w は (1) 式で定義される。

$$P_w = \frac{a_w}{B_s} \dots\dots\dots (1)$$

	Specimen	Types of hoop	L/D	n (N/DF)	p_w (%)	p_t (%)	
Shear test	N-E-70		2.5	0.3	0.19	3.54	Conventional
	N-E-35		2.5	0.3	0.38	3.54	
	N-S1-70		2.5	0.3	0.29	3.54	
	M-S1-70		2.5	0.3	0.57	3.54	Riverbon MULTI
	M-S1-35		2.5	0.3	0.57	3.54	
	N-S2-70		2.5	0.3	0.38	3.54	
	M-S2-70		2.5	0.3	0.76	3.54	Riverbon MULTI
	M-S2-35		2.5	0.3	0.76	3.54	
	M-D-70		2.5	0.3	0.33	3.54	
	M-D-35		2.5	0.3	0.65	3.54	
	M-O-70		2.5	0.3	0.35	3.54	
	M-O-35		2.5	0.3	0.71	3.54	
Flexure test	N-ES-35-3		4.0	0.3	0.38	2.26	Conventional
	N-E-35-3		4.0	0.3	0.38	2.26	
	M-S2-70-3		4.0	0.3	0.38	2.26	
	M-S2-70-6		4.0	0.6	0.38	2.26	Riverbon MULTI
	M-S2-35-3		4.0	0.3	0.76	2.26	
	M-S2-35-6		4.0	0.6	0.76	2.26	
	N-S2-35-3		4.0	0.3	0.76	2.26	Conventional
	N-S2-35-6		4.0	0.6	0.76	2.26	
	M-S2S-35-3		4.0	0.3	0.76	2.26	
	M-S2S-35-6		4.0	0.6	0.76	2.26	Riverbon MULTI
	M-D-35-3		4.0	0.3	0.65	2.26	
	M-O-35-3		4.0	0.3	0.71	2.26	
	M-S2-70-3L		4.0	0.3	0.38	3.54	
	M-S2-35-3L		4.0	0.3	0.76	3.54	

b : Section width p_w : Ratio of shear reinforcement (5 mm ϕ)
 D : Section height p_t : Ratio of tensile reinforcement
 L : Column length F : Maximum strength of concrete
 N : Axial force

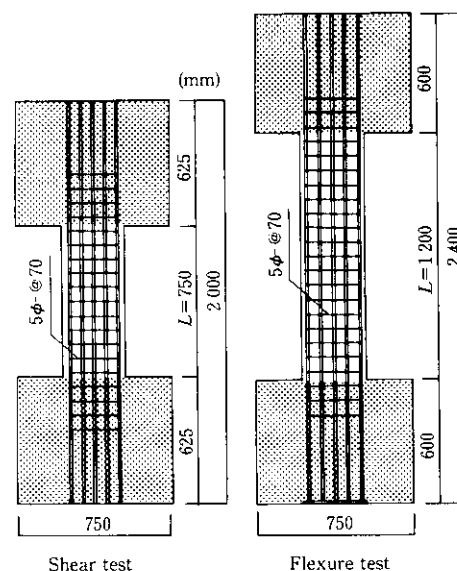


Fig. 2 Details of specimens

Table 2 Mechanical properties of reinforcing bars

Standard	Bars (mm)	YS* ¹ (N/mm ²)	TS* ² (N/mm ²)	EI* ³ (%)
Riverbon* ⁴	RB5.0	1 407	1 419	10.9
JIS SD40* ⁵	D13 D16	418 428	595 647	23.4 21.0

*¹ Yield stress or 0.2% proof stress

*² Tensile strength

*³ Elongation

*⁴ Transverse reinforcing

*⁵ Longitudinal reinforcing

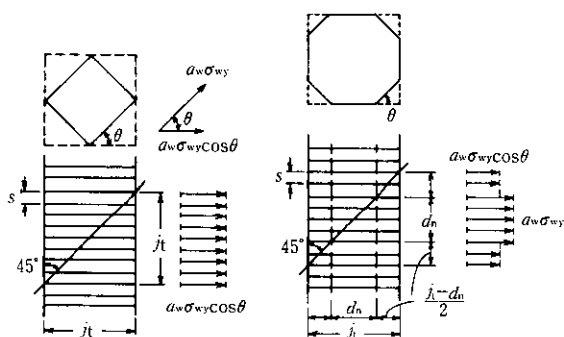


Fig. 3 Definition of reinforcement ratio

a_w : 一組のせん断補強筋の断面積

B : 柱の幅

s : せん断補強筋の間隔

この p_w は、 45° 方向の斜めひび割れと交わるせん断補強筋が引張降伏し、トラス機構の形成を仮定することにより、せん断補強筋の負担せん断力と関係づけられる。この考え方に基づくと、ダイヤ形および八角形の中子筋のせん断補強筋比は、式(2)のように定義される⁴⁾(Fig. 3)。

$$p_w = \frac{a_w}{Bs} \left\{ \frac{d_n}{j_t} + \left(1 - \frac{d_n}{j_t} \right) \cos \theta \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 d_n : 平行部の長さ(ダイヤ形: $d_n=0$)

j_t : 主筋間距離

θ : 柱断面軸と中子筋のなす角度 (45°)

2.1.2 載荷方法

実験は柱に一定の中心圧縮力を負荷し、同一変位振幅で2回ずつ繰り返すを行う方法によって行った。作用軸力および作用せん断力の測定はそれぞれ油圧ジャッキの先端に設置した2940 kNおよび1960 kN用のロードセルにより行った。Fig. 4 (a) および (b) に変位計位置およびS2タイプの歪み測定位置をそれぞれ示す。なお、部材角 R は $R=\delta/L$ (δ : 水平変位量, L : 柱長さ) により求めた。

2.2 破壊性状

Fig. 5 および Photo 1 に、せん断シリーズおよび靱性シリーズの履歴曲線および破壊性状の一例を示す。縦軸は作用せん断耐力 Q (kN) を、横軸は部材角 R ($\times 10^{-3}$ rad) を表す。

せん断シリーズでは各試験体とも曲げひび割れが発生したのち、

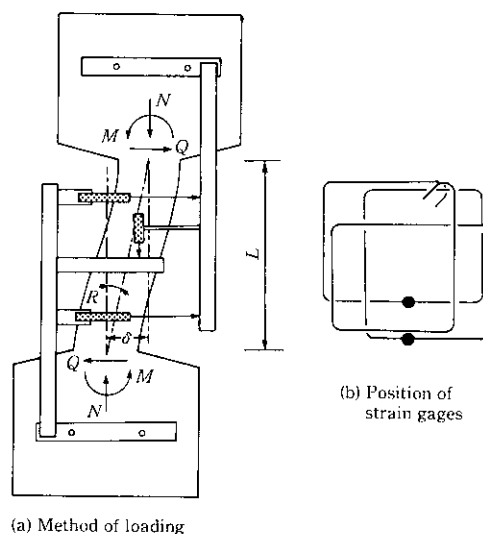


Fig. 4 Basic test method

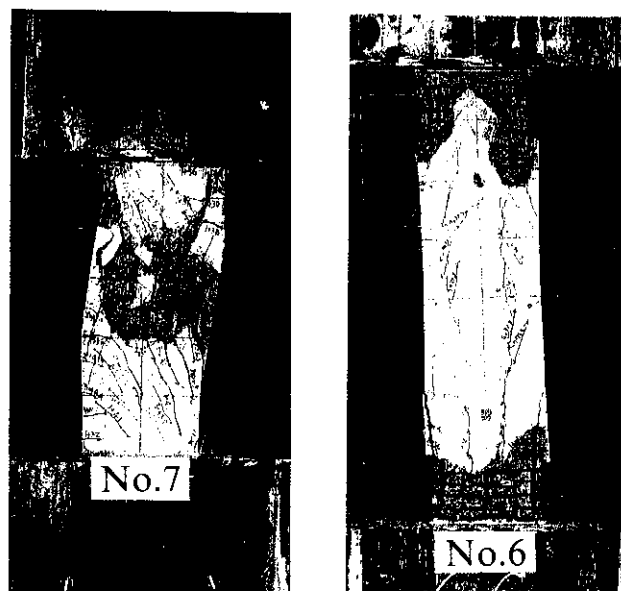


Photo 1 Appearance of specimens

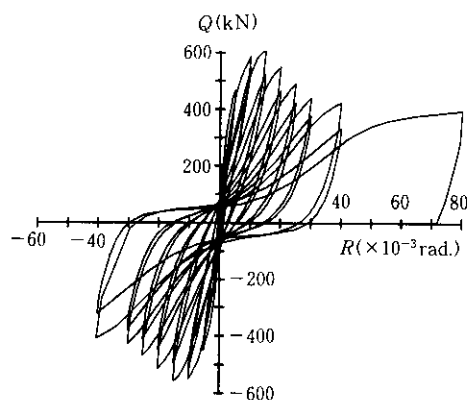
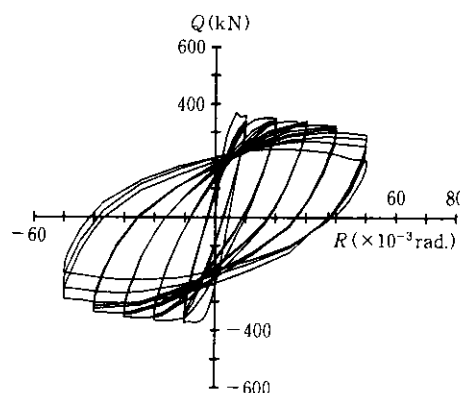
Shear test
(Specimen M-S2-35)Flexure test
(Specimen M-S2-35-6)

Fig. 5 Horizontal load—horizontal deflection hysteresis loops

柱頭および柱脚部の隅角部に斜張力ひび割れが発生し、斜張力ひび割れの進展および端部コンクリートの圧壊を伴って、最大耐力に達し、せん断圧縮破壊の様相を呈した。靱性シリーズでは各試験体とも曲げひび割れが発生した後、材端部に斜めひび割れが発生した。また、主筋の圧縮および引張り降伏とともに材端部コンクリートが圧壊し最大耐力に達して、曲げ圧縮破壊の様相を呈した。最大耐力後は、材端部主筋が座屈し、最終的には座屈部が繰返し疲労によって破断し、破壊に至っている。履歴性状はせん断シリーズと比べて、安定した履歴ループを保っている。

2.3 補強効果の比較検討

2.3.1 補強筋形状の影響

せん断シリーズにおいて、同一補強筋量である外周筋のみの N-E-35 と中子筋を配筋した N-S2-70 の履歴包絡線 (Fig. 6 (a)) を比較すると、中子筋を配筋した N-S2-70 の方が最大耐力は上回り、最大耐力以後の耐力低下が抑えられている。すなわち、同一補強筋量であれば、外周筋のみに配筋するよりも中子筋を併用することが耐力および変形性能を向上させるのに有効であると考えられる。また、最大耐力以後、両試験体ともに主筋に沿う付着ひび割れが発生したが、中子筋を併用した N-S2-70 は外周筋のみに配筋した N-E-35 よりも、主筋に沿う付着ひび割れの幅が抑えられた。このように中子筋を併用することにより、付着ひび割れの進展を抑える効果が期待できる。

靱性シリーズ (Fig. 7 (a)) において、 $p_w=0.38\%$ の同一補強筋とした「口」の字のスパイラル筋と、 135° フックを有する標準フープを用いた試験体 N-ES-35-3 および N-E-35-3 では、曲げ降伏後、部材中央における付着割裂ひび割れの進展により破壊に至った。これに対し、「田」の字形リバーボンマルチフープを用いた試験体 M-S2-70-3 では、最大耐力後、部材中央における付着割裂ひび割れは発生しているものの、それほど進展せず、「口」の字に比べ変形性能が向上している。このように中子筋を併用することによ

り、付着割裂を抑える効果が期待できる。

2.3.2 在来型フープとリバーボンマルチタイプの比較

せん断シリーズにおいて、在来型フープとリバーボンマルチフープの S1 タイプと S2 タイプの履歴包絡線 (Fig. 6 (b)) を比較すると、両タイプの最大耐力はほぼ相等しく差は認められない。しかしながら、最大耐力以後、主筋に沿う付着ひび割れおよびコンクリートの剝落に伴い、在来型フープを用いた試験体では外周筋のフックが抜け出し始め、ついには部材角 $R=65 \times 10^{-3}$ rad 付近で、補強筋のフックがコアコンクリートの外へ弾けた。これに対してリバーボンマルチフープを用いた試験体では、フックの抜け出しが見られず、在来型フープより変形性能に優れた。このことは、リバーボンマルチフープが「一筆書き」に加工されているのでフックが一箇所となり、かつ、フックの位置は断面隅角部を避けているためフックの抜け出しの影響が小さかったと考えられる。

Fig. 7 (b) は靱性シリーズにおいて、リバーボンマルチフープ、在来型フープおよびリバーボンマルチスパイラルフープを比較したものである。軸力比 $n=0.6$ の高軸力下の試験体では、リバーボンマルチスパイラルフープを用いた試験体の変形性能が一番良く向上し、続いてリバーボンマルチフープおよび在来型フープの順になっている。すなわち、せん断補強筋量が比較的多く、曲げ降伏が先行する RC 柱で高軸力を受ける場合は、材端部ヒンジ領域におけるコアコンクリートの拘束程度によって、変形性能が左右されと考えられ、このコアコンクリートの拘束程度が、在来型フープ、リバーボンマルチフープおよびリバーボンマルチスパイラルフープの順で大きくなったためと考えられる。

2.3.3 中子筋形状の影響

せん断シリーズにおいて、リバーボンマルチフープの S1 と S2 タイプおよび D と O タイプの履歴包絡線 (Fig. 6 (c)) を比較すると、補強筋ピッチが同じであるが、2.1.1 項で定義したせん断補強筋比の差に応じて、最大耐力および耐力低下の度合が変化している。

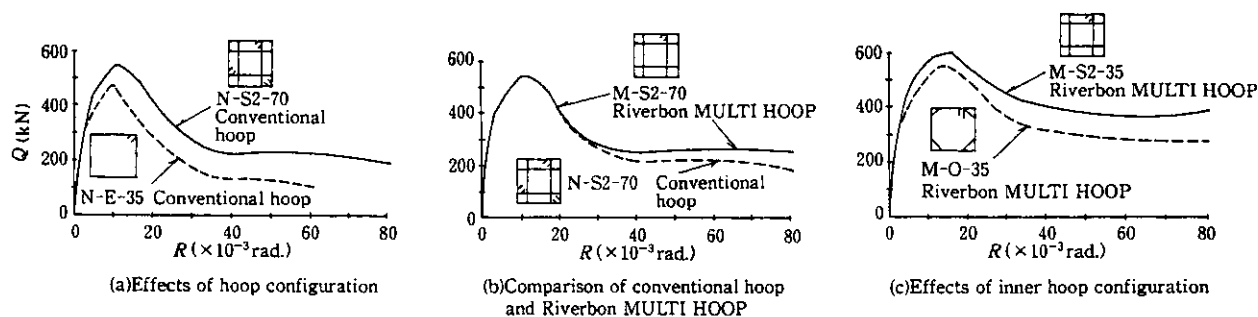


Fig. 6 Comparison of ductility curves (shear test)

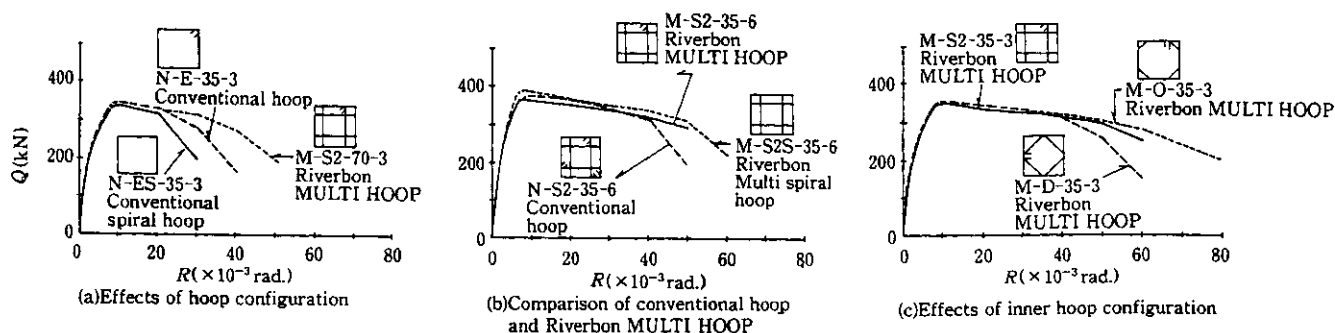


Fig. 7 Comparison of ductility curves (flexure test)

同一補強筋形状のもとでせん断補強筋比を比較した場合、S1、S2、DおよびOの各タイプとも、せん断補強筋比の増加に伴い、最大耐力は上昇している。最大耐力以後は、せん断補強筋比が大きい試験体は付着ひび割れの進展が抑制されている。なお、せん断補強筋量が多いM-O-35のみ理論上の曲げ耐力に達している。

Fig. 7 (c) は靱性シリーズにおいて、「罫」の字形、ダイヤ形および八角形リバーボンマルチフープを比較したものである。各試験体とも、材端部における主筋の座屈と、中子筋で囲まれたコアコンクリート以外の剥落および損傷が著しくなり破壊に至っており、変形性能は八角形が一番良く向上し、続いて「罫」の字形およびダイヤ形のリバーボンマルチフープを用いた試験体の順になっている。これは、ダイヤ形の場合、「罫」の字形および八角形リバーボンマルチフープの場合に比べ、せん断補強筋比が少なく、かつ、座屈拘束を受けている主筋の本数が少ないことに起因している。また、同数の主筋を拘束している八角形と「罫」の字形リバーボンマルチフープの場合、八角形リバーボンマルチフープがせん断補強筋比が少なくにもかかわらず、変形性能が向上している。これは、八角形中子筋で囲まれたコアコンクリートの面積が、「罫」の字形中子筋に比べて $\sqrt{2}$ 倍になっていることに起因している。すなわち、本実験で用いた八角形中子筋は円形に近い形状になっていることから、円形とほぼ同様な拘束効果があると推測される。

2.4 せん断補強筋のひずみ性状

Fig. 8 にせん断シリーズ (N-S2-70, M-S2-70 および M-S2-35) および靱性シリーズ (N-S2-35-6, M-S2-35-6 および M-S2S-35-6) の平均ひずみ推移状況と履歴包絡線を示す。太い実線は履歴包絡線

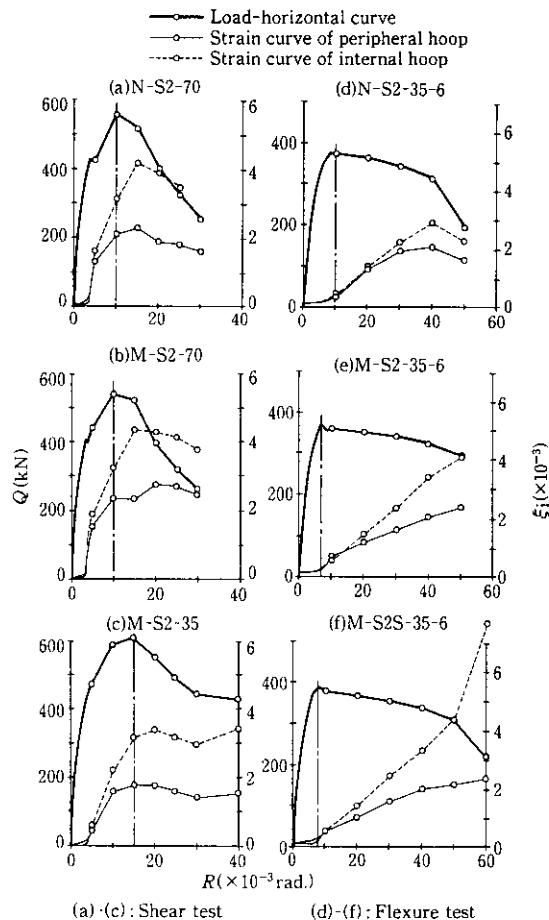


Fig. 8 Behavior of strains on the transverse reinforcement

を示し、細い実線および点線は、加工方向における外周筋および中子筋のひずみの推移をそれぞれ示す。左の縦軸は荷重 Q (kN) を右の縦軸はひずみ ϵ ($\times 10^{-3}$) を、横軸は部材角 R ($\times 10^{-3}$ rad) を表している。

せん断シリーズにおいて従来型フープの N-S2-70 (Fig. 8 の a) は最大耐力以後、ひずみが減少しているのに対し、リバーボンマルチフープの M-S2-70 および M-S2-35 (Fig. 8 の b と c) では最大耐力以後もそれほど減少していない。このことは、リバーボンマルチフープを用いることにより変形性能が改善されることに対応している。また、中子筋のひずみは外周筋に比べ大きな値を示していることから、中子筋を併用することにより耐力および変形性能を向上させるのに有効であると考えられる。

靱性シリーズにおいては最大耐力以降、部材変形が進むほど、中子筋のひずみが外周筋より増加する傾向があり、この傾向はリバーボンマルチスパイラルフープが一番大きく、続いてリバーボンマルチフープおよび在来型の順になっている。このことから、鉄筋が連続的になるほど、またフックの数が少なくなるほど、補強効果が増し、変形性能が向上すると考えられる。

2.5 せん断耐力の検討

Fig. 9 に各せん断耐力式から計算された Q_{su} とせん断補強筋比 p_w の関係を示している。図中の白ぬき印は在来型フープを、黒ぬき印はリバーボンマルチフープの実験値を表す。実験値は補強筋比 p_w が増えるにしたがい上昇傾向が認められ、DタイプおよびOタイプの実験値も同様な傾向が認められることから、せん断補強筋比 p_w の計算方法は2.1.1項の考え方で評価できるものと考えられる。また、荒川 min 式⁹⁾の実験値 (Q_{max})/計算値 (Q_{su}) の値は1.64~2.01であり安全側の値を示した。一方、修正南式⁷⁾、A法およびB法⁸⁾の実験値/計算値は0.97~1.23, 0.91~1.16 および 0.96~1.27 の範囲にあり、3式ともS2タイプの試験体を除けば本実験値に関してはばらつきが少なく良い精度を示した。しかしながら、S2タイプの値は同補強筋量のEタイプより明らかに上回り、実験値/計算値の値は最も大きくなった。ここで、 Q_{fu} は曲げ耐力計算値⁷⁾を表している。Fig. 10 (a) および (b) に荒川 min 式およびB法の $Q_{max}/Q_{fu} - Q_{su}/Q_{fu}$ 関係をそれぞれ示す。ここで、 Q_{max} は最大耐力実験値を、 Q_{su} はせん断耐力計算値を表している。図中の

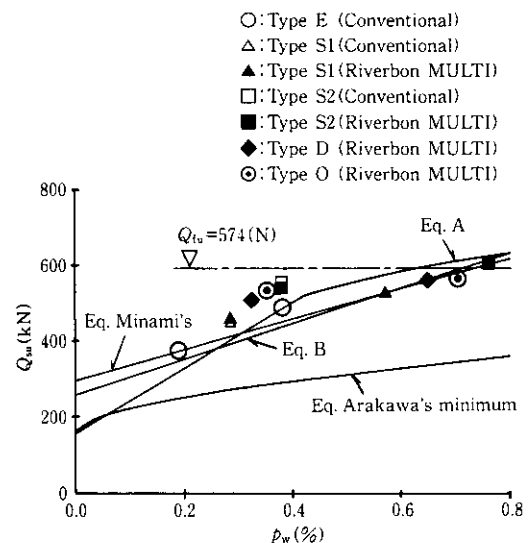


Fig. 9 Effect of reinforcement ratio on experimental strength

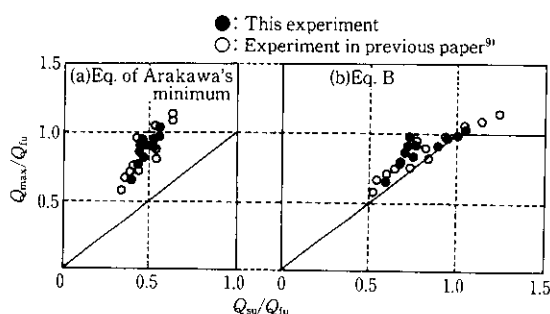


Fig. 10 Comparison of experimental ultimate strength and calculated strength

●印は本実験値を表し、○印は $1\,275\text{ N/mm}^2$ 級のせん断補強筋「リバーボン」を用いた RC 柱の既報の実験値⁹⁾を表す。同図より本実験値は既報の実験値と同等以上の安全率であることが認められた。

3 加工装置の開発

3.1 開発の背景

リバーボンマルチスパイラルフープ筋の開発実験と平行して、この複雑な形状の加工を効率よく、かつ、正確に行える装置の開発が必要であった。従来装置の問題点は、角度は設定した任意の角度一つだけであり、また、辺長も2辺が設定できないことである。さらに、マルチスパイラルフープを製造するうえで一番大きな問題は、出来上った製品を安定した状態で、かつ形状にダメージを与えないようにしながら受け取る機構を開発することであった。現在の CNC (computer numerical control) 技術を用いれば、1動作ごとに異なる角度と辺長を与えることは可能であり、似たような装置としてはばねの加工機が存在している。しかしながら、ばね加工機は出来上った製品を受け取ることはせず加工の自由な動きに任せたままである。50 kg を超えるフープ筋としての製品では、このようなことは加工形状にダメージを与えることになる。このような状況のもとで国内外の技術を調査した結果、その中で最も開発に意欲的で、先進的な技術を有していた E 社と共同で開発を進めることとした。Table 3 に開発設備の仕様を示す。

開発された設備は送りローラとベンディングおよびキャリヤ（製品受け装置）に6個の AC サーボモータと一つの油圧カッターを持つ CNC マシンである。

Table 3 Specifications of equipment

Steel rod diameter range	6-13 mm for PC bar 10-16 mm for normal strength bar
Steel rod	
Tensile strength	Up to $1\,600\text{ N/mm}^2$
Yield strength	Up to $1\,550\text{ N/mm}^2$
Max bending angle	$\pm 180\text{ deg.}$
Max side length	$\leq 1\,200\text{ mm}$
Spiral layers	Up to 50
Length cutting accuracy	$\pm 2\text{ mm}$
Angle bending accuracy	$\pm 1\text{ deg.}$ (adjustable)
Max feed speed ^a	80 m/min
Max bending rate ^a	800 deg/s

^a Auto changeable

3.2 装置の特徴

この設備の特徴は、AC サーボモータとコンピュータにより高度の長さ精度と曲げ角度精度を得たことであり、かつ、その設定、変更および微調整がキーボードから数値をインプットするだけで、誰にでも容易に扱えるものである。さらに最大の懸念事項であった製品の受け取り装置（キャリヤ）は、製品のすべての動きに追従し、前後、左右、上下および回転運動を行い、製品に加工後の変形を与えずに受け取ることができるものとした。製品はベンダーで曲げられた後、下方に移動しこのキャリヤにて受け取られる。Photo 2 にキャリヤを、Photo 3 に代表的なリバーボンマルチスパイラルフープの製品を示す。

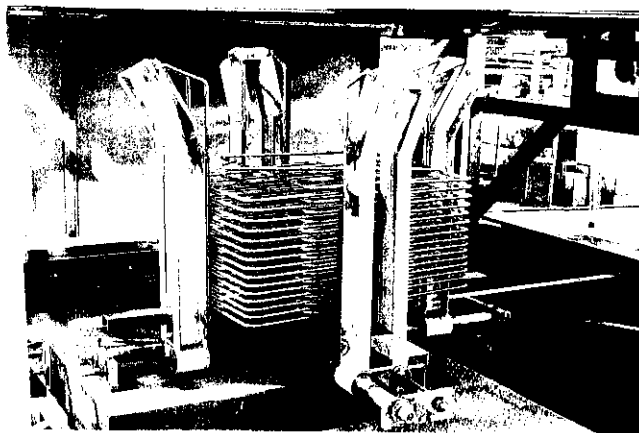


Photo 2 Manufacturing of MULTI SPIRAL HOOP

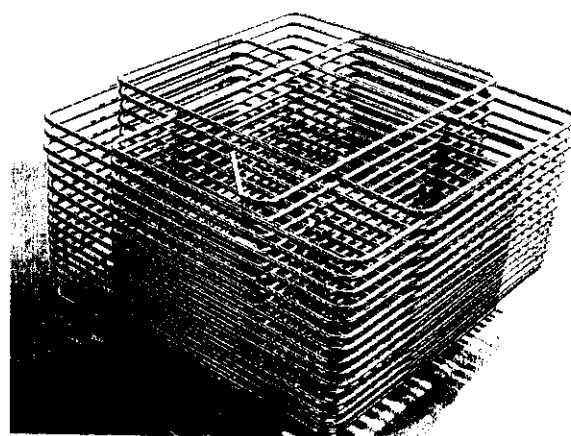


Photo 3 Riverbon MULTI SPIRAL HOOP (Type S2S)

3.3 制御システム

制御システムは、16 ビットの PC からインプットされた命令がモーションコントロールカード (MCC) と呼ばれるマイクロプロセッサにより、おのもののモータに対応したアンプ (amplifier) に信号として送られる。次にアンプから送られた電流の強弱、長短により所定量にモータが回転し、モータ軸に取り付けられたリゾルバーからその結果がアンプにフィードバックされ補正がなされ高精度を確保するシステムになっている。Fig. 11 に制御システムを示す。

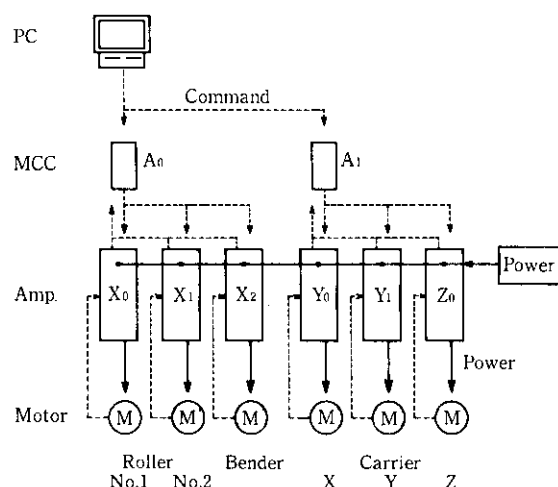


Fig. 11 Control system

4 現場施工における効率化

1991 年中に、このリバーボンマルチフープは 4 棟の超高層ビルに採用され、非常に良い作業効率を示し、高い評価を得ている。

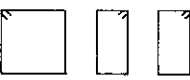
Table 4 に従来タイプのフープを使用した場合と、リバーボンマルチタイプを使用した場合の作業の流れを示している。ここでわかるように、従来タイプの場合、3 組のフープを保管しこれを 1 組に組み合わせ、最後に主筋に組み込む作業を行うが、これに対してリバーボンマルチタイプの場合は、all-in-one であり、保管も 1 組でよく、そのまま主筋に組み込むことができる。このため、主筋にフープ筋を組み込む作業だけを考えれば完全に 1 工程省略することができ、作業工数は半減する。さらに、保管床面積も約 1/3 になる。また、リバーボンマルチタイプの特徴の一つであるフックの数が少ないことを考えた場合、リバーボンマルチスパイラルを使用すれば 10% 程度の材料を節約できる。さらにフック数が少ないことによりコンクリートの打設作業が容易になり品質向上にもつながる。

5 結 言

せん断補強筋として 1 275 N/mm² 級のリバーボンをを用いて在来型フープとリバーボンマルチタイプの補強効果を詳細に比較調査した結果、以下のことがわかった。

- (1) 同一補強筋量であれば外周筋のみ密に配筋するよりも中子筋を併用することが耐力および変形性能を向上させるのに有効である。
- (2) リバーボンマルチタイプは在来型フープと同等の耐力を与えると同時に、同等以上の変形性能を確保し得る。
- (3) リバーボンマルチタイプのせん断補強筋形状は、八角形が一番変形性能に優れており、続いて「田」の字形およびダイヤ形の順である。
- (4) リバーボンマルチタイプを使用した場合の現場施工は、1 工程省略することができ、作業工数を半減できる。
- (5) リバーボンマルチタイプの特徴の一つであるフックの数が少ないことを考えた場合、材料を 10% 程度節約できる。また、保管床面積も約 1/3 にすることができる。

Table 4 Comparison of the assembly procedure for a column

Operation	Conventional hoop	Riverbon MULTI HOOP
Procurement and storage	3 packages 	1 package 
Pre-assembling the internal hoops	30 min/column 	Not necessary
Assembling to longitudinal bars	30 min/column 	30 min/column 
Total	1 h/column	30 min/column

6 謝 辞

本研究を進める過程で、福山大学南宏一教授には研究活動全般について御指導を頂いた。心より謝意を表します。そして、益尾潔氏（現財日本建築総合試験所）はじめ同試験所の職員の方々には、実験の実施およびデータのまとめの御協力を得ました。心より御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) S. A. Sheikh and S. M. Uzumeri: "Strength and Ductility of Tied Concrete Columns," ASCE, (1980) 5, 1079-1102
- 2) 吉岡研三, 岡田恒男, 武田寿一: 「鉄筋コンクリート柱の変形性能向上に関する研究, 第一報, 主筋配置・せん断補強筋形状の影響について」, 日本建築学会論文報告集, No. 279 (1979), 53-63
- 3) 柴田正隆, 中澤 淳, 白石 環, 山本 昇, 小阪 清, 志賀勝利: 「高強度せん断補強筋の開発」, 川崎製鉄技報, 23 (1991) 2, 112-118
- 4) 中澤 淳, 三原重郎, 益尾 潔, 南 宏一: 「高強度マルチフープを用いた鉄筋コンクリート柱のせん断破壊性状」, コンクリート工学年次論文報告集, (1991), 445-450
- 5) 中澤 淳, 三原重郎, 益尾 潔, 南 宏一: 「高強度マルチフープを用いた鉄筋コンクリート柱の曲げ変形性能」, コンクリート工学年次論文報告集, (1992)
- 6) 荒川 卓: 「鉄筋コンクリートばりの許容せん断応力度とせん断補強について(実験結果による再検討)」, コンクリートジャーナル, 8 (1970) 7, 11-20
- 7) 倉本 洋, 南 宏一: 「塑性理論を応用した鉄筋コンクリート部材の実用せん断設計式」, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 417 (1990), 31-45
- 8) 日本建築学会: 「鉄筋コンクリート造建築物の終局強度型耐震設計指針・同解説」, (1990)
- 9) 塚本尚由, 中澤 淳, 倉本 洋, 南 宏一: 「13 000 キロ級の高強度せん断補強筋を用いた RC 柱の終局せん断耐力」, コンクリート工学年次論文報告集, 12 (1990) 2, 369-374