

[119] R C箱形ラーメン柱部材のせん断強さに関する実験研究

正会員 船越 稔 (広島大学工学部)

正会員 ○岡本享久 (同 上)

田川和雄 (同 上)

1. 緒 言

偏心軸圧縮力を受ける鉄筋コンクリート部材断面の終局強さ設計法はすでに確立されているが、これに加えてせん断力が作用する場合の柱部材の合理的なせん断補強方法は未だ十分に知られていない。現在わが国の土木学会R C標準示方書では帯鉄筋は軸方向鉄筋の位置を確保し、これを横方向に支えてバックリングを防止することを主目的に構造細目中でその直径および配置間隔に規定が記載されているにすぎない。しかし、帯鉄筋はせん断補強筋としての有効な機能も有する場合もあると思われる。

よって本研究では鉄筋コンクリート箱形ラーメン供試体を製造し、その柱部材における帯鉄筋量を変化させて静的荷重試験によりこれをせん断破壊に至らしめ、帯鉄筋のせん断補強筋としての効果に検討を加えた。またモーメント—せん断力の比(M/vd)を変化させ、この要因が柱部材のせん断耐力、破壊性状に及ぼす影響を調べ、曲げモーメント反曲点をもつ構造部材における、 M/vd なる要因の取り扱い方についても論じた。

2. 使用材料および試験の方法

(1) セメント、骨材および混和剤

セメントは普通ポルトランドセメントを用い比重は3.16であった。細骨材は太田川(広島県)産の川砂で、比重2.56、吸水率1.89、粗粒率2.42のものを用いた。大部分の供試体には一般に減水剤(ボゾリスNo. 5L)をセメント重量の0.25%用いた。

(2) 鋼 材

箱形ラーメン供試体の柱部の軸方向鉄筋にはD-13(SD-30)を正負対称に配置した。梁部の鉄筋にもD-13(SD-30)を正負対称に配置し、さらに梁部の剛性を増す目的で引張側にD-16(SD-30)を2本追加した。柱部の帯鉄筋にはφ9(SR-24)の普通丸鋼を用いた。鉄筋の引張試験結果を表1に示す。

(3) コンクリートの配合

コンクリートは試験時の目標圧縮強度を200kg/cm²、および300kg/cm²の2種として配合を定め、試験体と各種強度用供試体は同じ条件で製造し、養生を行なったものである。表2にコンクリートの配合、フレッシュコンクリートの品質試験結果を示した。

(4) 試験の方法

本実験に用いた供試体は図1に示すように軸線長150cm×76cmの箱形ラーメンで、断面は柱部で12cm×16cm、梁部で12cm×20cmであり、この場合の柱部の軸方向鉄筋比は2.6%である。柱部の帯鉄筋量は梁の場合のせん断補強率($K_r\sigma_{sy}$)に換算して0.30および1.00kg/cm²の3種に変えた。荷重は図1に示すように、ジャッキ4台を使用し、まず100tジャッキ2台で所定の軸力を加えたのち、これを一定に保持した状態で50tジャッキ2台を用い、側方向より柱部材中央および中央から10cm、20cmの位置に荷重を加え、破壊に到るまで荷重を増加させた。なお軸力は0~40tの間で変化

表1 鉄筋の引張試験結果

	As (mm ²)	σ_{sy} (kg/mm ²)	σ_{su} (kg/mm ²)	E_s (kg/cm ²)
SR-24, φ9	63.5	32.2	47.4	2.1×10^6
SD-30, D13	123.4	39.4	59.9	"
SD-30, D16	197.0	35.7	55.2	"

表2 コンクリートの配合

MIX NO.	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m ³)	ADD.	Slump (cm)
1	52	48	176	有	9.1
2	60	44	183	"	9.3
3	63	44	184	"	9.0
4	60	48	172	"	3.1
5	60	46	181	"	11.9
6	60	48	173	"	6.7
7	57	48	162	"	6.4
8	67	48	176	"	6.9
9	59	48	204	無	9.4
10	66	48	170	有	7.5
11	60	48	176	無	7.5

させた。

3. 試験の結果および考察

表3は試験結果の一覧であって、軸力(N)コンクリートの圧縮強度(σ_c)、せん断補強率($Kr\sigma_{sy}$)、曲げせん断ひびわれ発生時のせん断応力度、及び終局時のせん断応力度(τ_u)などが記してある。

図2は $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ における柱部材の終局せん断応力度 τ_u と軸方向応力度 ($\sigma_N = N/bd$)の関係、図3は $\sigma_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ における同様の関係を示したものである。図中のUタイプとは箱形ラーメンの軸線長 $150 \text{ cm} \times 76 \text{ cm}$

で、柱部材断面がb(断面厚)

$\times d$ (有効高さ) = 12×12

8 cmを示し、Fタイプとは軸線

長 $145 \text{ cm} \times 80 \text{ cm}$ で、 $b \times d$

= $15 \times 17.7 \text{ cm}$ の断面を有

する部材を示す。実線で示した

曲線はUタイプにおける τ_u

$\max$ と σ_N との関係を示したも

のである。なお 釣合破壊時の

σ_N は $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ の場合

$\sigma_{Nb} = 137 \text{ kg/cm}^2$ 、 σ_c

= 200 kg/cm^2 の場合 $\sigma_{Nb} =$

81 kg/cm^2 である。

これらの図より次のような傾

向が認められた。 $Kr\sigma_{sy} = 0 \text{ kg}$

$/\text{cm}^2$ の場合、Uタイプ及びFタ

イプとも、斜めひびわれ発生と

同時に終局耐力に達し、引張破

壊域($\sigma_N < \sigma_{Nb}$)で τ_u は σ_N の増加

とともに増加する。圧縮破壊域

($\sigma_N > \sigma_{Nb}$)では、 τ_u は σ_N の増加

にもかかわらず減少或いは、 τ_u の増加率が低減する傾向を示し、 $\tau_u \sim \sigma_N$ 曲線に σ_N の増加とともに接する傾向と

なった。この場合、Uタイプ及びFタイプの相違による τ_u の絶対値への影響はほとんど見られなかった。

$Kr\sigma_{sy} = 30 \text{ kg/cm}^2$ の場合、Uタイプでは τ_u は $\tau_u \sim \sigma_N$ 曲線の内側に位置し、Fタイプではほぼ $\tau_u \sim \sigma_N$

曲線に接する傾向を示した。この場合のUタイプの破壊性状は、 $\sigma_N = 260 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$

の部材において図4に示すように、梁のせん断圧縮破壊と付着破壊の中間で軸方向鉄筋に沿って付着ひびわれが

生ずるのが特徴的であり、Fタイプでは $\sigma_N = 186 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ の部材において図5に示すよ

うに梁のせん断破壊に類似していた。 $Kr\sigma_{sy} = 60 \sim 100 \text{ kg/cm}^2$ の場合、Uタイプ及びFタイプとも τ_u は

$\tau_u \sim \sigma_N$ 曲線上にはほぼ位置し、Uタイプでは曲げ破壊となったが、Fタイプではせん断圧縮破壊を起こ

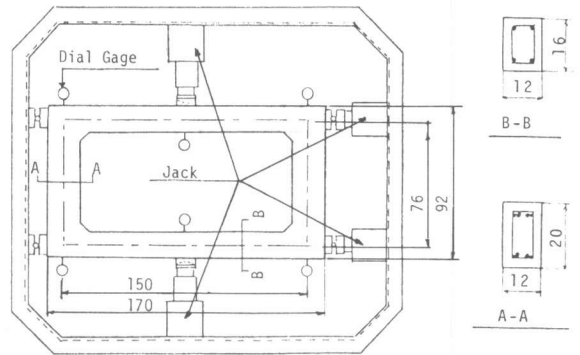


図1 供試体の寸法及び荷重方法 (cm)

表3 試験の結果

供試体 番号	配 合 番 号	N (t)	σ_c (kg/cm ²)	$Kr\sigma_{sy}$ (kg/cm ²)	P_{ic} (t)	P_u (t)	τ_{ic} (kg/cm ²)	τ_u (kg/cm ²)
U-0-300-30	1	0	271	30	7	8.8	23.1	29.1
U-20-300-0	2	20	289	0	11.8	11.8	37.8	37.8
U-20-300-30	3	20	293	30	10.0	13.3	31.3	41.7
U-20-300-100	4	20	333	100	17.0	17.0	55.3	55.3
U-30-300-30	1	30	271	30	12.0	12.5	39.4	41.0
U-40-300-0	3	40	293	0	12.0	12.0	37.3	37.3
U-40-300-30	5	40	299	30	14.0	14.0	44.2	44.2
U-40-300-100	5	40	299	100	14.0	14.0	44.2	44.2
T-20-300-0	6	20	297	0	11.0	12.4	36.1	40.7
T-20-300-30	6	20	297	30	14.0	14.0	45.2	45.2
N-20-300-0	7	20	272	0	13.0	13.0	43.0	43.0
N-20-300-30	7	20	272	30	13.8	13.8	44.9	44.9
U-10-200-0	8	10	195	0	7.0	8.4	22.3	26.7
U-10-200-100	8	10	195	100	11.0	12.0	33.9	37.0
U-20-200-0	9	20	220	0	10.4	10.4	34.4	34.4
U-30-200-0	10	30	187	0	11.0	11.0	36.1	36.1
U-30-200-30	9	30	220	30	11.8	11.8	38.7	38.7
U-30-200-100	10	30	187	100	12.0	13.0	41.0	44.4
T-10-200-0	11	10	238	0	10.4	10.4	33.8	33.8
N-10-200-0	11	10	238	0	11.4	11.4	37.4	37.4

U : M/Vd = 5.9 T : M/Vd = 5.1 N : M/Vd = 4.3

(注) T、Nタイプの断面寸法はUタイプと同一である。

した。この場合のUタイプ及びFタイプの代表的な破壊性状を、図6及び図7に示す。Uタイプ及びFタイプとも短柱であるが有効長さ(h_e)と d の比が小なるFタイプでは、帯鉄筋を配置することにより斜めひびわれ発生後、載荷点と隅角部を結ぶアーチが形成されやすく、このアーチ作用の崩壊により終局耐力に到達するせん断圧縮破壊の様相を示し、一方Uタイプでは h_e/d がFタイプより大なるため梁に類似の挙動が破壊性状を決めることになり曲げ破壊を起こすことになったと思われる。図8はUタイプについて、同一偏心量における $T_u/T_{u,max}$ と σ_N/σ_c の関係を $Kr\sigma_{sy}$ 及び M/vd をパラメーターに示したものである。図中で、 $T_u/T_{u,max} = 1$ は曲げ破壊耐力を、 $\sigma_N/\sigma_c = 1$ は中心軸方向圧縮耐力を示す。同一 $Kr\sigma_{sy}$ について $T_u/T_{u,max}$ は σ_N/σ_c の増加とともに大となり、 M/vd が小なるほど $T_u/T_{u,max}$ は大となる傾向を示した。また、 M/vd の相違が $T_u/T_{u,max}$ に及ぼす影響は、 $\sigma_N/\sigma_c = 0.7 \sim 0.8$ ではほとんどなくなり、 $T_u/T_{u,max} = 1$ となる。 $Kr\sigma_{sy} = 100 \text{ kg/cm}^2$ では $T_u/T_{u,max}$ は $\sigma_N/\sigma_c = 0.4 \sim 0.5$ 付近から1となる。また、 $Kr\sigma_{sy} = 0, 30 \text{ kg/cm}^2$ では斜めひびわれ発生とほぼ同時に破壊し、この場合の T_u はコンクリートの受け持つせん断力(T_c)と等しくなる。したがって T_c は偏心量が異なる領域、すなわち引張破壊領域で σ_N/σ_c 及び M/vd により大きく影響されること、偏心量が小なる領域、すなわち圧縮破壊域では σ_N/σ_c 及び M/vd にあまり影響されなくなることが認められた。よって、引張破壊域では M/vd 及び σ_N/σ_c を考慮して T_c を求め、圧縮破壊域では M/vd の影響が少なくなるので、 T_c は σ_N/σ_c のみの関数とするのがよいと思われた。斜めひびわれ発生から破壊までの耐力増加は、帯鉄筋が受け持つ。図9に帯鉄筋によるせん断補強率と T_u との関係を示した。Uタイプ及びFタイプとも σ_{Nb} 以上の σ_N では $Kr\sigma_{sy}$ の増加に伴う T_u の増加率はほぼ0となり、帯鉄筋の効果が著しいのは σ_{Nb}

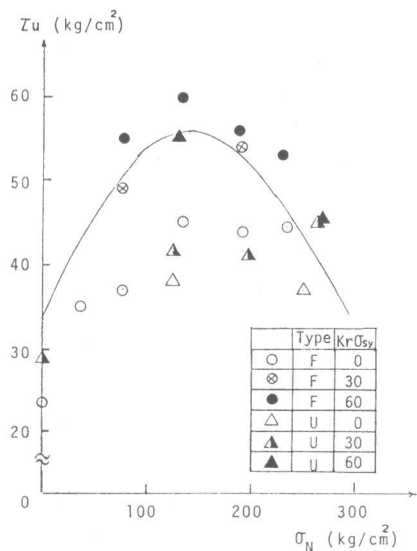


図2 $T_u \sim \sigma_N$ ($\sigma_c = 300 \text{ kg/cm}^2$)

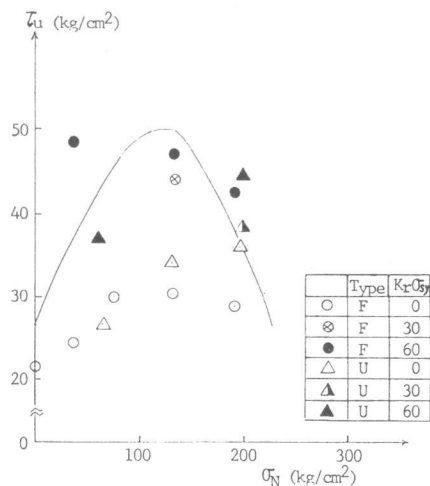


図3 $T_u \sim \sigma_N$ ($\sigma_c = 200 \text{ kg/cm}^2$)

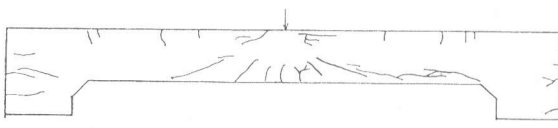


図4 U-40-300-30

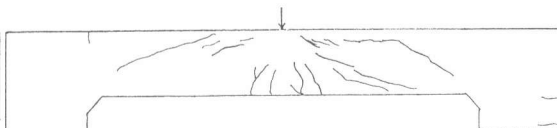


図5 F-50-300-30

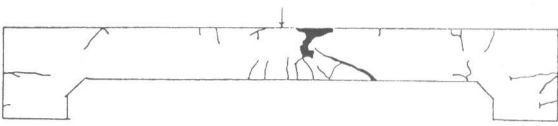


図6 U-40-300-100

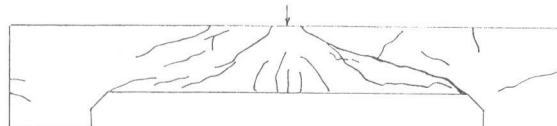


図7 F-50-300-60

までであることが認められた。したがって、圧縮破壊領域では、全せん断力のうちコンクリートの受け持つせん断力が増加し、帯鉄筋の受け持つせん断力は減少するので、最小の帯鉄筋量さえ配置しておくだけで、十分、曲げ耐力を発揮させることが可能である。しかし、柱部材は所要の耐力ばかりでなく、十分な延性を持たせるため、ある限度以上の帯鉄筋を配置することが必要である。図10は、Uタイプで圧縮破壊域におけるたわみを各荷重段階別に $Kr\sigma_{sy}$ をパラメーターに示したものである。 $Kr\sigma_{sy} = 0$ kg/cm^2 では $Kr\sigma_{sy} = 30, 100 kg/cm^2$ に比べ柱部材のもつ破壊エネルギーは、約 $1/2$ であるが $Kr\sigma_{sy}$ が 30 から $100 kg/cm^2$ と増えてもほとんど変わらない。したがって、圧縮破壊領域では、帯鉄筋量を増しても柱部材の延性は改善されず、曲げ破壊でもかなり脆性的な曲げ圧縮破壊となった。

4. 結 び

偏心軸圧縮力とせん断力を受けるRC箱形ラーメン柱部材の耐力、変形及び破壊性状を知る目的で実験を行なった。本実験の範囲内で得られた結果を要約すると以下ようになる。

(1) 柱部材のコンクリートの受け持つせん断力は、偏心量の大きい引張破壊域において、曲げ耐力よりかなり小となり、曲げモーメントとせん断力の比、帯鉄筋量の影響を受けやすいが、偏心量の小さい圧縮破壊域ではほぼ曲げ耐力に近くなり、曲げモーメントとせん断力の比、帯鉄筋量の影響が少ない。

(2) $T_u / T_{u,max}$ は、同一 $Kr\sigma_{sy}$ において σ_N / σ_c の増加とともに大となり、 M/vd が小なるほど、 $T_u / T_{u,max}$ は大となる傾向を示した。

(3) 帯鉄筋の補強効果は、引張破壊において著しいが、圧縮破壊ではほとんどなくなる。また、帯鉄筋が延性を向上させる効果は、引張破壊域において著しく、圧縮破壊域では、曲げ破壊を起こした部材もかなり脆性的であり、帯鉄筋量を多くしても延性に及ぼす効果は小である。

本研究の実験の実施にあたり、学部4年、上田昭彦および中山浩の両君より多大な援助を受けました。ここに謝意を表明します。

参考文献

(1) 船越、岡本「RCラーメン柱部材におけるせん断補強方法に関する研究」第1回 コンクリート工学年次学術講演論文集、1979

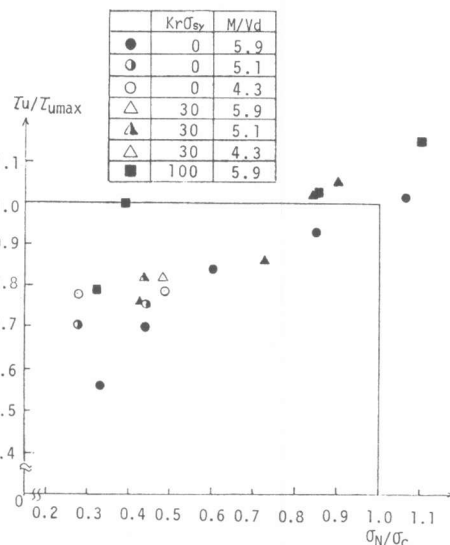


図8 $T_u / T_{u,max} \sim \sigma_N / \sigma_c$

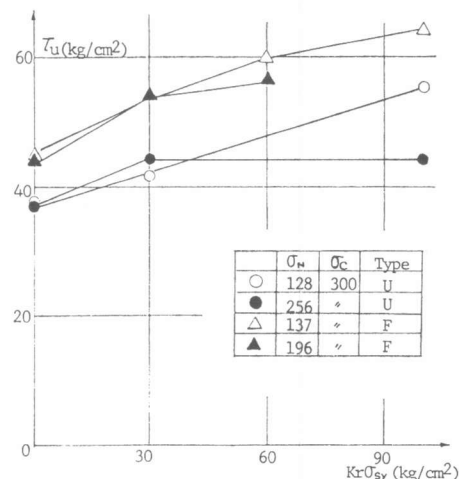


図9 $T_u \sim Kr\sigma_{sy}$

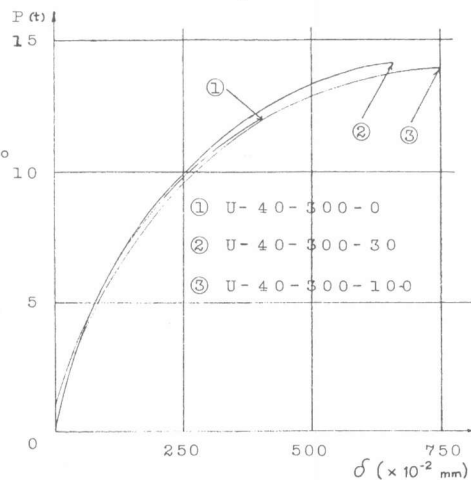


図10 たわみ