

1. 高層RC造建物を対象とした有孔梁のせん断性状 に関する実験研究（その1 実験概要および実験結果）

福本 昇 田中 剛 立松 和彦
佐藤 尚隆 杉之内 靖

要 旨

本実験は、高強度材料を用いた梁部材について、開孔補強筋量が多い有孔梁の開孔部せん断耐力を確認することを目的として行ったものであるが、実験の結果、開孔部のせん断強度は既往の設計式^{1) 2)}による計算値を上回ることを確認した。また、開孔部の最小断面位置近傍にせん断補強筋を配した場合³⁾は、開孔部せん断強度が上昇することを確認した。

キーワード

高層建物／鉄筋コンクリート／開孔／有孔梁／高強度／せん断

目 次

1. はじめに
2. 試 験 体
3. 実 験 方 法
4. 実 験 結 果
5. ま と め

1. EXPERIMENTAL STUDY ON SHEAR BEHAVIOR OF BEAMS WITH A HOLE IN A HIGH-RISE REINFORCED CONCRETE BUILDING

Noboru Fukumoto Tsuyoshi Tanaka
Kazuhiko Tatematsu Hisataka Sato
Yasushi Suginochi

Abstract

(Part 1, Outline of experiments)

Experiments were conducted to investigate the shear strength of beams with high reinforcement ratio for a hole using high-strength concrete and high -tensile strength bars.

The test results show that the shear strength of beams with a hole can be exceeded the values calculated by using ordinary formula, and that reinforcement by the top and bottom of a hole increases the shear strength of a beam.

1. はじめに

近年、高層鉄筋コンクリート造建物が盛んに建設されているが、地震時、建物に高応力が作用するために、体の材料に高強度コンクリートや高強度鉄筋が用いられている。一般に、高層建物の場合、梁には設備配管用の貫通孔を設けることが多く、そのせん断耐力の維持を目的として開孔部周辺には多量の補強筋が配されている。しかし、開孔補強筋に、高強度鉄筋（1300 0kgf/cm²級）を用いた場合、或いは、普通鉄筋と高強度鉄筋を併用した場合の開孔部せん断耐力設計式は未だ明確にされていない。

本実験研究は、開孔補強筋量（ $p_{wo} \cdot \sigma_y$ 、 p_{wo} : 開孔補強筋比 σ_y : 鉄筋の降伏応力度）が多い梁部材について、その実験終局せん断強度と、異形PC鋼棒の降伏応力度を $\sigma_y = 6000 \text{ kgf/cm}^2$ として計算した広沢式による設計耐力と比較検討すること、および、開孔部の最小断面位置近傍にせん断補強筋を配した場合に、それらがせん断耐力に対して及ぼす効果を確認することを目的として行った。

2. 試験体

試験体の諸元を表－1に、試験体の寸法およびひず

み測定位置の例を図－1に示す。また、コンクリートおよび鉄筋の材料試験結果をそれぞれ表－2および表－3に示す。

試験体は高層RC造建物の下層階の梁部材を想定したYBS101～YBS104試験体が4体と、上層階の梁部材を想定したYBS201～YBS204試験体が4体の合計8体である。

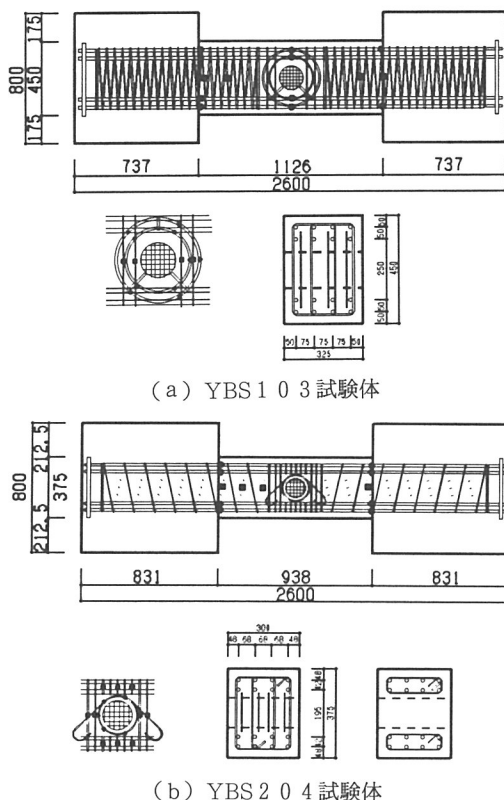
YBS101～YBS104試験体は、コンクリートの4週圧縮強度が 420 kgf/cm^2 となるようにした。試験体それぞれの開孔補強筋量は、 12.6 kgf/cm^2 、 50.4 kgf/cm^2 、 81.9 kgf/cm^2 および 58.8 kgf/cm^2 とした。YBS102およびYBS103試験体は開孔補強筋にリング金物を用い、YBS104試験体は開孔補強筋に異形PC鋼棒ループ筋を用いるとともに、開孔部の最小断面位置近傍にもせん断補強筋を配した。

YBS201～YBS204試験体は、コンクリートの4週圧縮強度が 270 kgf/cm^2 となるようにした。試験体それぞれの開孔補強筋量は、 11.2 kgf/cm^2 、 22.5 kgf/cm^2 、 48.3 kgf/cm^2 および 38.4 kgf/cm^2 とした。YBS203試験体は開孔補強筋にリング金物を用い、YBS202およびYBS204試験体は開孔部の最小断面位置近傍にせん断補強筋を配し、YBS204試験体には異形PC鋼棒ループ筋を用いた。

各試験体とも、せん断スパン比は1.5、開孔径は梁

表－1 試験体の諸元

	YBS 101	YBS 102	YBS 103	YBS 104	YBS 201	YBS 202	YBS 203	YBS 204
断面								
開孔部配筋図								
断面寸法 (mm)	$b \times D$ 325 × 450				$b \times D$ 300 × 375			
コンクリート強度 (kgf/cm ²)	$F_c = 420$				$F_c = 270$			
主筋	上	8-D19 1.9%			8-D16 1.7%			
	下	8-D19 1.9%			8-D16 1.7%			
あばら筋 (比)	4-φ6、4 @ 48			0.77%	4-φ5 @ 125			
開孔補強筋 (比)	たて補強筋4-φ6.4 PWO=0.21% ウェブレン WPWO=0%	たて補強筋4-φ6.4 PWO=0.21% ウェブレン 2-D13×2 WPWO=1.26%	たて補強筋8-φ6.4 PWO=0.42% ウェブレン 3-D13×2 WPWO=1.89%	たて補強筋8-φ6.4 PWO=0.574% ウルボンループ筋4-φ6.4 WPWO=0.406%	たて補強筋4-φ5 PWO=0.187% ウェブレン WPWO=0%	たて補強筋8-φ5 PWO=0.375% ウェブレン WPWO=0%	たて補強筋8-φ5 PWO=0.375% ウェブレン4-D6×2 WPWO=0.86%	たて補強筋8-φ5 PWO=0.375% ウルボンループ筋4-φ5 WPWO=0.265%
開孔補強筋量 (kgf/cm ²)	12.6	50.4	81.9	58.8	11.2	22.5	48.3	38.4



図－1 試験体の寸法およびひずみ測定位置の例

表－2 コンクリートの材料試験結果

試験体名	材令 (日)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数* ($\times 10^4$ kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
YBS101	25	444	2.40	—
YBS102	35	515	3.37	—
YBS103	30	521	3.35	45.5
YBS104	53	412	3.00	36.4
YBS201	31	299	2.54	27.8
YBS202	35	314	2.63	32.1
YBS203	41	329	2.74	31.4
YBS204	48	329	2.74	30.0

※ヤング係数は圧縮強度の $\frac{1}{4}$ の応力度のセカントモデュラスを示す。

表－3 鉄筋の材料試験結果

名 称	降伏応力度 (kgf/cm ²)	引張り強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^4$ kgf/cm ²)	伸び率 (%)
φ5*	15260**	15542	2.16	9.0
φ6.4*	13940**	15012	2.07	10.0
D6(ウェブレ)	3250	5250	2.08	28.0
D13(ウェブレ)	3673	4454	1.86	25.0
D16	4487	5922	1.85	23.0
D19	4716	6479	1.74	23.0

※ 異形PC鋼棒ウルボン

※※ 0.2%オフセット時応力度を示す。

せいの $\frac{1}{3}$ 、開孔位置はスパン中央とし、試験体断面の縮尺率は $\frac{1}{2}$ とした。いずれの試験体も、開孔部でせん断破壊を生じて終局強度に至るように、梁の主筋量を増やして曲げ耐力を上昇させるとともに、部材のせん断耐力を開孔部せん断耐力の1.25倍程度以上となるようにした。

3. 実験方法

1) 加力方法

加力装置を図－2に、加力プログラムを図－3に示す。

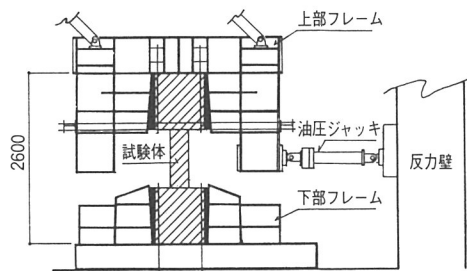
実験は、建研式加力装置を用いて行い、試験体に逆対称変形が生じるようにした。

加力プログラムは、部材角が2.5, 5.0, 7.5, 10, 15 $\times 10^{-3}$ rad となるように正負交番繰り返しとし、最終は正方向に25 $\times 10^{-3}$ rad まで単調増载荷とした。

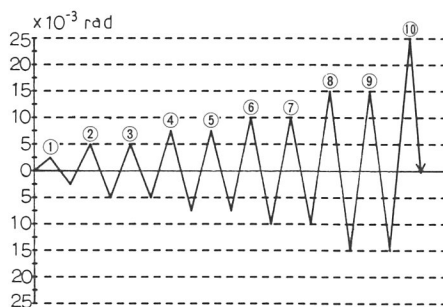
2) 測定方法

変位測定位置を図－4に示す。

部材角、軸変形および局部変形の測定⁴⁾は、電気式変位計を用いて行い、主筋とあばら筋および開孔補強筋のひずみの測定はW.S.G.を用いて行った。



図－2 加力装置



図－3 加力プログラム

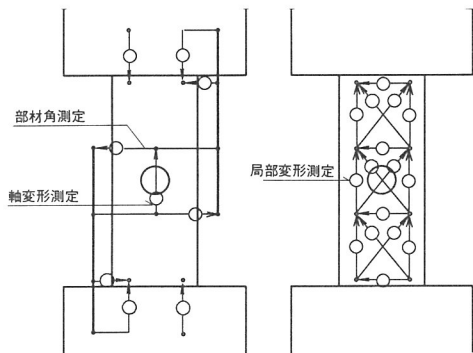


図-4 変位測定位置

4. 実験結果

1) 実験経過

各試験体の観察結果および実験結果の概要を表-4に、荷重変形関係およびひび割れ状況を図-5に、各試験体の荷重変形関係の包絡線を図-6に示す。

試験体YBS101においては、1サイクル目の $Q=11.6\text{tf}$ 時に、曲げひび割れおよび開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=21.4\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。2サイクル目の $Q=26.2\text{tf}$ 時に開孔部に新たな斜めひび割れが発生し、その後、 $Q=35.5\text{tf}$ 時に最大耐力を示した。4サイクル目に貫通孔がせん断変形の為に左右にずれる現象がみられた。

試験体YBS102においては、1サイクル目の $Q=7.6\text{tf}$ 時に曲げひび割れが、 $Q=11.6\text{tf}$ 時に開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生し、その後、 $Q=19.6\text{tf}$ 時に梁端部に曲げ斜めひび割れが発生した。3サイクル目には、開孔部周辺の斜めひび割れ部で圧壊が生じた。4サイクル目の $Q=42.3\text{tf}$ 時に最大耐力を示したが、同時に破壊音が生じ耐力が低下した。5サイクル目には開孔部の上下のカバーコンクリートがはく落し、6サイクル目には貫通孔の上下が左右にずれる変形を生じた。

試験体YBS103においては、1サイクル目の $Q=11.7\text{tf}$ 時に、曲げひび割れおよび開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=23.4\text{tf}$ 時に材端部に曲げ斜めひび割れが、 $Q=27.6\text{tf}$ 時に材軸中央付近にせん断ひび割れが発生した。3サイクル目に開孔部の接線方向に顕著な斜めひび割れが発生し、4サイクル目の $Q=53.1\text{tf}$ 時に最大耐力を示した。6サイクル目には開孔部周辺でコンクリートが圧壊した。最

終段階には部材全般にわたりひび割れが生じた。

試験体YBS104においては、1サイクル目の $Q=10.7\text{tf}$ 時に曲げひび割れが発生し、 $Q=15.3\text{tf}$ 時に開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=23.3\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。2サイクル目には開孔部の接線方向に斜めひび割れが生じ、4サイクル目の $Q=49.3\text{tf}$ 時に最大耐力となった。

試験体YBS201においては、1サイクル目の $Q=5.4\text{tf}$ 時に、曲げひび割れおよび開孔部の 45° 方向に斜めひび割れが発生した。 $Q=12.5\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。その後、2サイクル目の上限部材角時に開孔部の接線方向に斜めひび割れが発生し、4サイクル目の $Q=21.6\text{tf}$ 時に最大耐力を示した。5サイクル目には、開孔部の斜めひび割れ部でコンクリートの圧壊が生じ、7サイクル目には、カバーコンクリートがはく落した。

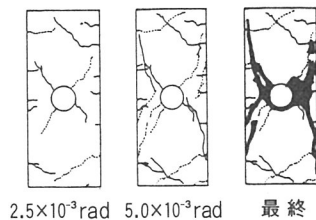
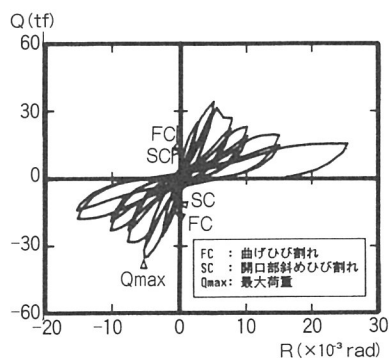
試験体YBS202においては、1サイクル目の $Q=5.7\text{tf}$ 時に曲げひび割れが発生し、 $Q=7.6\text{tf}$ 時に開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=15.0\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。4サイクル目に開孔部の接線方向に斜めひび割れが発生し、 $Q=27.6\text{tf}$ 時に最大耐力を示した。8サイクル目には斜めひび割れ部にコンクリートの圧壊が生じ、カバーコンクリートがはく落した。

試験体YBS203においては、1サイクル目の $Q=7.1\text{tf}$ 時に曲げひび割れが発生し、 $Q=9.6\text{tf}$ 時に開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=17.1\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。4サイクル目の $Q=29.5\text{tf}$ 時に開孔部に新たな斜めひび割れが発生し、最大耐力を示した。8サイクル目には、斜めひび割れ部に圧壊が生じ、カバーコンクリートがはく落した。

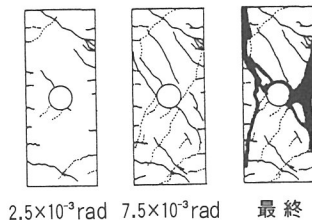
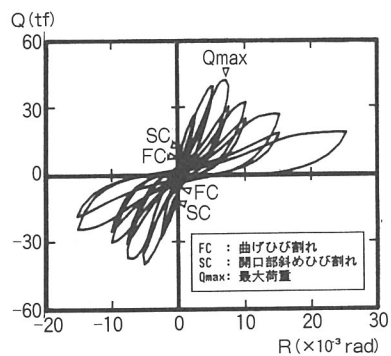
試験体YBS204においては、1サイクル目の $Q=7.2\text{tf}$ 時に曲げひび割れが発生し、 $Q=9.7\text{tf}$ 時に開孔部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した。その後、 $Q=16.2\text{tf}$ 時に曲げ斜めひび割れが発生した。4サイクル目に開孔部に接線方向の斜めひび割れが発生し、その後ひび割れ幅が広がり、 $Q=28.0\text{tf}$ 時に最大耐力を示した。8サイクル目には斜めひび割れ部に圧壊が生じ、破壊音とともにカバーコンクリートがはく落した。

表-4 観察結果および実験結果の概要

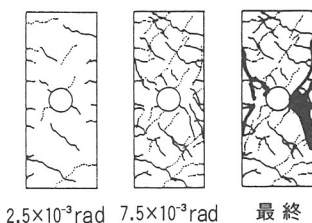
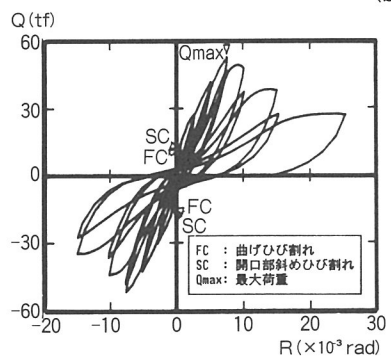
試験体名		曲げひび割れ (FC)		曲げ斜めひび割れ		開孔部斜めひび割れ 45° 方向 (SC)		開孔部斜めひび割れ 接線方向		主筋の 引張降伏 (一段筋)	実験最大 荷重 Q _{max} (tf)	破壊性状
発生現象		正加力時	負加力時	正加力時	負加力時	正加力時	負加力時	正加力時	負加力時			
YBS 101	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	2	開孔部 せん断 破壊
	Q (tf)	11.6	-15.5	21.4	-23.1	11.6	-11.0	26.1	-28.2	—	-35.5	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.6	-0.9	1.9	-2.0	0.6	-0.3	3.0	-3.1	—	-5.2	
YBS 102	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	4	"
	Q (tf)	7.6	-7.8	19.6	-20.2	11.6	-11.8	39.5	-38.6	—	42.3	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.3	0.0	1.3	-1.3	0.5	-0.3	4.9	-4.6	—	7.2	
YBS 103	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	3	4	4	"
	Q (tf)	11.7	-14.6	23.4	-23.5	11.7	-14.6	32.1	-43.0	50.0	53.1	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.5	-0.6	1.7	-1.6	0.5	-0.6	3.4	-5.1	6.9	7.6	
YBS 104	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	4	4	"
	Q (tf)	10.7	-8.1	23.3	-18.3	15.3	-12.1	27.7	-36.0	48.1	49.3	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.4	-0.3	2.0	-1.6	0.9	-0.7	2.8	-5.1	7.1	7.6	
YBS 201	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	4	"
	Q (tf)	5.4	-2.0	12.5	-10.0	5.4	-8.0	20.9	-20.8	—	21.6	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.3	0.4	1.6	-0.9	0.3	-0.5	5.3	-5.2	—	7.7	
YBS 202	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	4	"
	Q (tf)	5.7	-7.7	15.0	-15.5	7.6	-7.7	24.9	-22.3	—	27.6	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.3	-0.4	1.9	-2.0	0.5	-0.4	5.1	-4.1	—	7.6	
YBS 203	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	4	"
	Q (tf)	7.1	-7.3	17.1	-16.9	9.6	-9.8	23.8	-25.0	—	29.5	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.4	-0.4	2.1	-2.3	0.7	-0.9	4.0	-5.1	—	7.6	
YBS 204	サイクル数	1	1	1	1	1	1	2	2	—	4	"
	Q (tf)	7.2	-7.4	16.2	-15.4	9.7	-7.4	25.0	-18.3	—	28.0	
	R(×10 ⁻³ rad)	0.4	-0.4	2.1	-2.2	0.8	-0.4	5.2	-3.4	—	7.7	



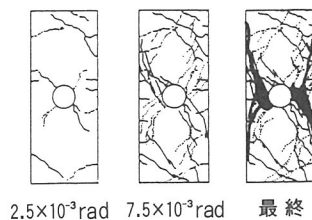
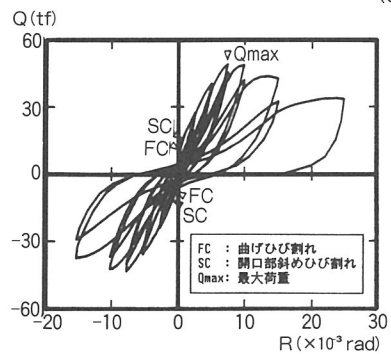
(a) 試験体 YBS 101



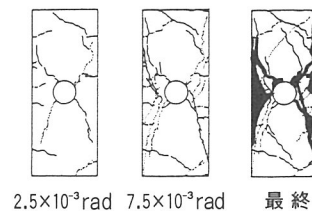
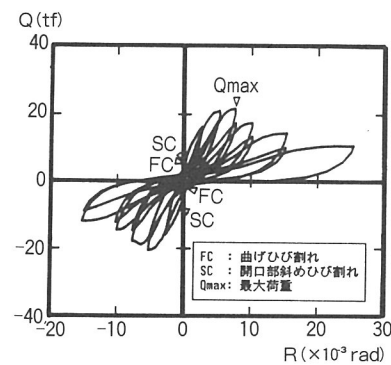
(b) 試験体 YBS 102



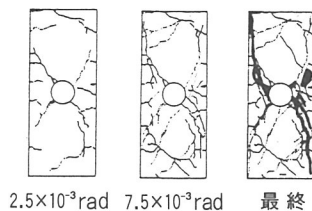
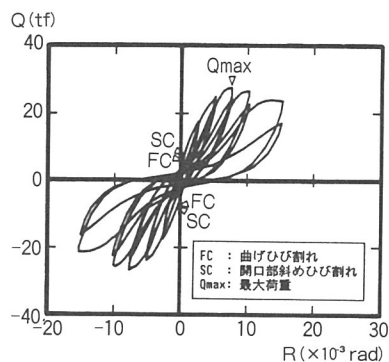
(c) 試験体 YBS 103



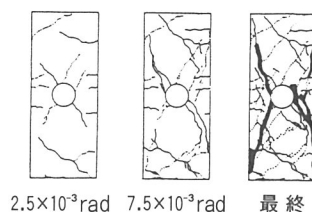
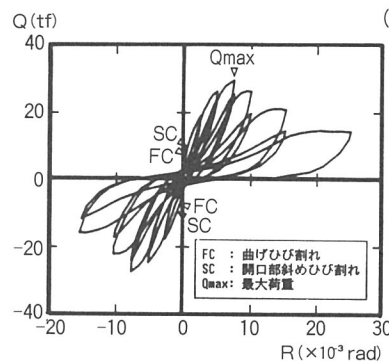
(d) 試験体 YBS 104



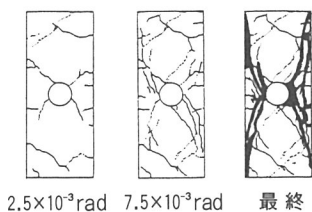
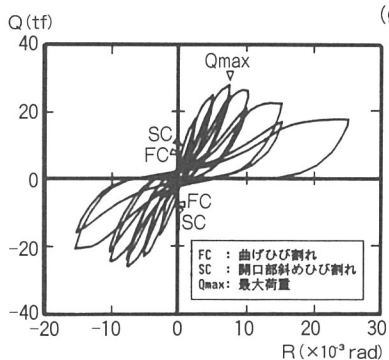
(e) 試験体 YBS 201



(f) 試験体 YBS 202

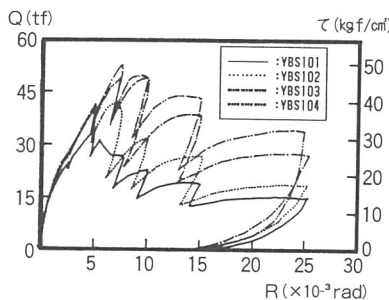


(g) 試験体 YBS 203

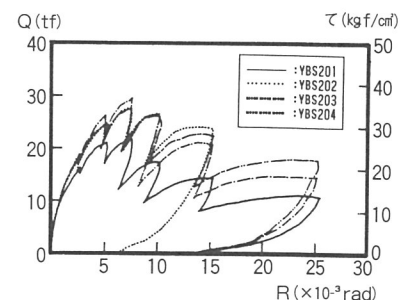


(h) 試験体 YBS 204

図-5 荷重変形関係およびひび割れ状況



(a) 試験体 YBS101～試験体 YBS 104



(b) 試験体 YBS201～試験体 YBS 204

図-6 荷重変形関係の包絡線

各試験体とも、 $2.5 \times 10^{-3} \text{ rad}$ 時では、曲げひび割れおよび開孔部に材軸に対して 45° 方向の斜めひび割れが発生し、実験最大荷重時では開孔部の 45° 方向のひび割れが進展するとともに、開孔部の最小断面位置近傍から接線方向のひび割れが集中して発生した。試験体はいずれも開孔部でせん断破壊した。また、最終段階では開孔部の最小断面位置近傍に発生したひび割れは大きく広がった。実験最大荷重が最も大きかった試験体YBS103においては、最大耐力時には部材全般にわたってひび割れが発生した。なお、各試験体の梁主筋のひずみは最終段階まで概ね弾性域で推移した。

試験体YBS101～YBS103においては、荷重変形関係の包絡線はほぼ同様の形状を示し、開孔補強筋量の増加とともに実験荷重はほぼ比例するように増加した。開孔部の最小断面位置近傍にせん断補強筋を配した試験体YBS104は、試験体YBS101～YBS103に比べて実験最大荷重後の耐力低下はゆるやかであった。

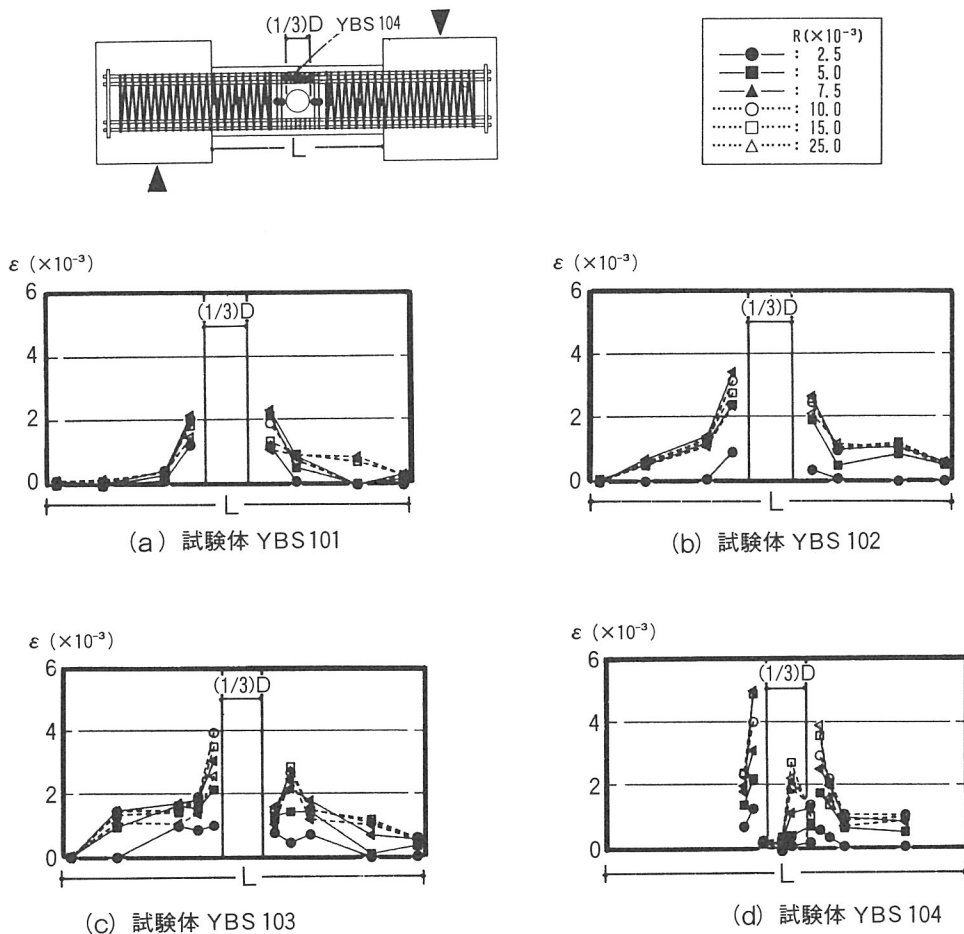
試験体YBS202～YBS204においては、それぞれ開孔補強筋量および開孔補強方法は異なっているが、荷重変形関係の包絡線は $15 \times 10^{-3} \text{ rad}$ までほぼ同様であった。このことから、開孔部の最小断面位置近傍に配したせん断補強筋は開孔部せん断耐力の上昇に寄与するものと考えられる。

2) あばら筋およびたて開孔補強筋のひずみ

あばら筋とたて開孔補強筋、リング金物および異形PC鋼棒ループ筋の正加力時の上部部材角時のひずみ分布を、それぞれ図-7、図-8および図-9に示す。

①試験体YBS101～104 について

開孔補強筋量の少ないYBS101試験体は、たて補強筋のひずみは最終段階まで0.2 %程度であった。



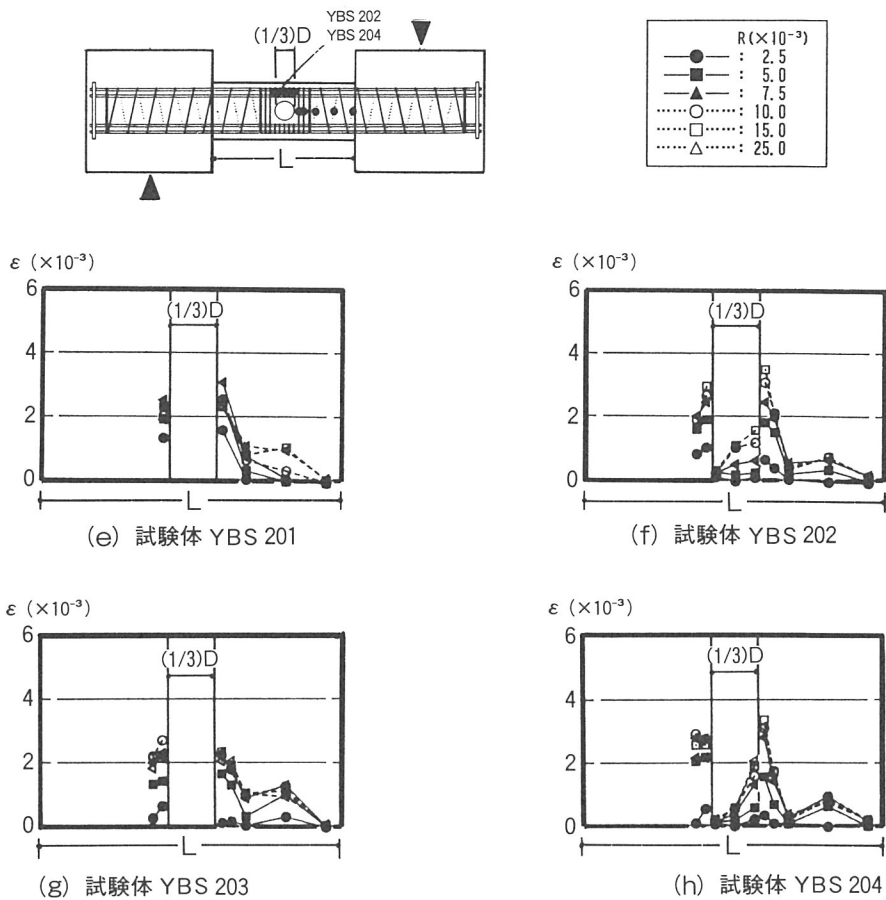


図-7 あばら筋およびたて開孔補強筋のひずみ分布

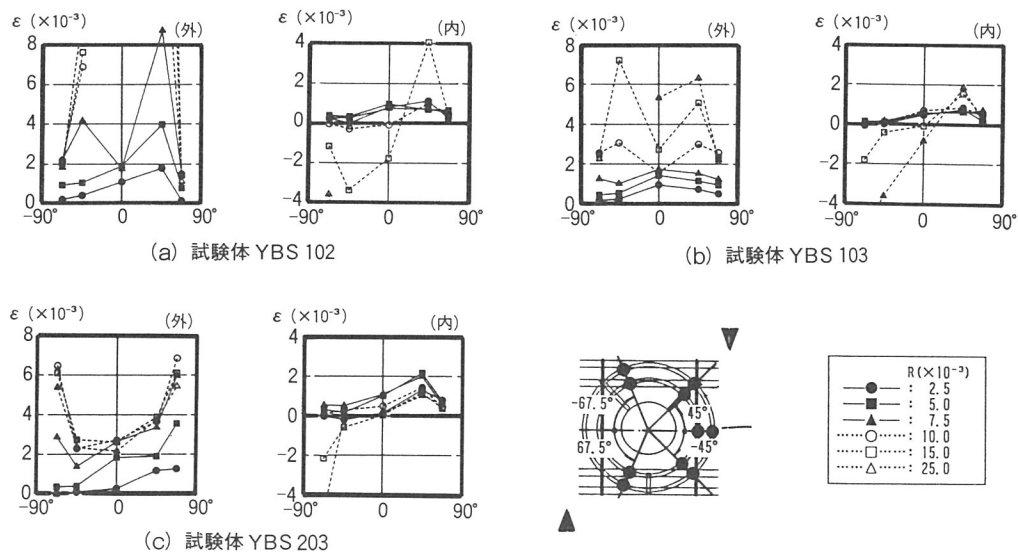
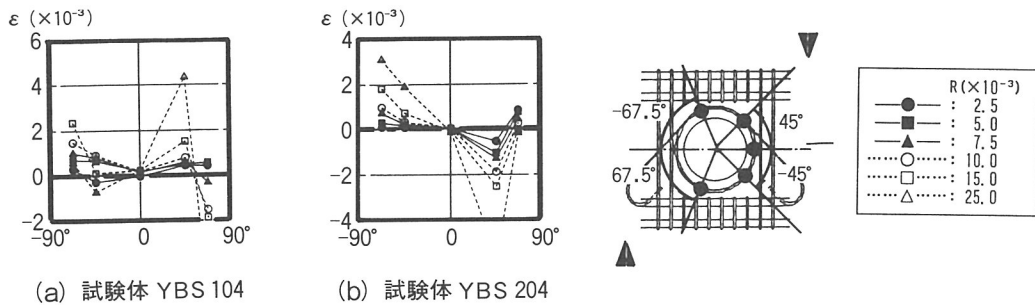


図-8 リング金物のひずみ分布



図－9 異形P C鋼棒ループ筋のひずみ分布

YBS102およびYBS103試験体においては、最大耐力時にたて開孔補強筋のひずみは0.3 ～0.35%となり、リング金物のひずみはほぼ降伏ひずみに達した。いずれのリング金物のひずみも外リングの方が内リングに較べて大きくなった。両試験体のリング金物のひずみは+側で大きくなる傾向を示しており、加力対角線方向にひび割れが生じた為であると考えられる。

YBS104試験体においては、たて補強筋のひずみは最大耐力後も漸増した。また、開孔部の最小断面位置近傍に配したせん断補強筋のひずみは0.2 %程度となった。

②試験体YBS201～204 について

各試験体のたて補強筋のひずみ分布は概ね同様であった。 YBS202およびYBS204試験体については、開孔部の最小断面位置に配したせん断補強筋のひずみは0.2 %程度であった。

YBS203試験体については、リング金物のひずみは部材角と共に増加し、最大耐力時にほぼ降伏ひずみに達した。

3) 実験値と計算値の比較

各試験体の実験値と計算値の比較を表－5に、実験最大荷重(Qmax)およびせん断耐力計算値(Qsuo)と開孔補強筋量(pwo・σy)の関係を図－10に、実験

表－5 実験値と計算値の比較

		YBS101	YBS102	YBS103	YBS104	YBS201	YBS202	YBS203	YBS204
曲げひび割れ耐力*1 (tf)	EXP	11.6	7.6	11.7	10.7	5.4	5.7	7.1	7.2
	CAL	9.8	9.8	9.8	9.6	5.8	6.0	6.1	6.1
	EXP/CAL	1.18	0.78	1.19	1.19	0.93	0.95	1.16	1.18
曲げせん断 ひび割れ耐力*2 (tf)	EXP	21.4	19.6	23.4	23.3	12.5	15.0	17.1	16.2
	CAL	21.6	21.9	22.1	20.0	12.9	13.1	13.4	13.4
	EXP/CAL	0.99	0.89	1.06	1.17	0.97	1.15	1.28	1.21
開孔部せん断 ひび割れ耐力*3 (tf)	EXP	11.6	11.6	11.7	15.3	5.4	7.6	9.6	9.7
	CAL	7.9	8.6	8.60	7.7	6.4	6.6	6.8	6.8
	EXP/CAL	1.47	1.35	1.36	1.99	0.84	1.15	1.41	1.43
実験最大荷重	Qmax(t)	-35.5	42.3	53.1	49.3	21.6	27.6	29.5	28.0
曲げ耐力 (tf)	Qmu	65.0	65.0	65.0	65.0	41.8	41.8	41.8	41.8
	Qmax/Qmu	0.55	0.65	0.82	0.76	0.52	0.66	0.71	0.67
せん断耐力 (tf)	Qsu	52.3	56.0	56.4	50.6	26.8	27.4	28.0	28.0
	Qmax/Qsu	0.68	0.76	0.94	0.97	0.81	1.01	1.05	1.0
開孔部せん断耐力*4 広沢式 (tf) (σy=6000kgf/cm²)	Qsuo1	22.4	34.0	39.7	33.6	14.4	17.5	22.6	21.0
	Qmax/Qsuo1	1.58	1.24	1.34	1.47	1.5	1.58	1.31	1.33
	Qsu/Qsuo1	2.33	1.65	1.42	1.51	1.86	1.57	1.24	1.33
" *5 (σy=13000kgf/cm²)	Qsuo2	27.2	36.8	44.0	43.9	17.9	22.3	26.2	27.3
	Qmax/Qsuo2	1.31	1.15	1.21	1.12	1.21	1.24	1.13	1.03
	Qsu/Qsuo2	48.9	74.2	85.3	65.6	26.2	31.5	39.7	37.4
開孔部せん断耐力*6 有孔梁委員会式 (tf)	Qsuo3	48.9	74.2	85.3	65.6	26.2	31.5	39.7	37.4
	Qmax/Qsuo3	0.73	0.57	0.62	0.75	0.82	0.88	0.74	0.75

$$*1 \quad Q_{cr} = 1.8 \times \sqrt{F_c} \times Z_e / a \quad a = H/2$$

$$*2 \quad Q_{bsc} = 0.265 \times b \times d \times \sqrt{F_c + M_{cr} / (a - 0.5d)}$$

$$*3 \quad Q_{sco} = 1.071 \times 0.971 \times \sqrt{F_c} \times (a/d)^{-0.605} \times (1 - 1.61 \times HE/D)$$

$$*4 \quad Q_{mu} = 0.9 \cdot a \cdot t \cdot f_t / d \cdot a$$

$$*5 \quad Q_{suar} = [0.115 \times k_u \times k_p \times (180 + \sigma_B) / (MQ/d + 0.12) + 2.7 \times \sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}}] \times b \times d \times 7/8$$

$$(\sigma_{wy} = 6000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$*6 \quad Q_{suo1} = [0.092 \times k_u \times k_p \times (180 + \sigma_B) \times (1 - 1.61 \times HE/D) / (MQ/d + 0.12) + 2.7 \times \sqrt{p_{wo} \times \sigma_{wy} + u_{pwo} \times u_{\sigma y}}] \times b \times d \times 7/8$$

$$(w_{\sigma y} = 3000 \text{ kgf/cm}^2, u_{\sigma y} = 6000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$*7 \quad Q_{suo2} = [0.092 \times k_u \times k_p \times (180 + \sigma_B) \times (1 - 1.61 \times HE/D) / (MQ/d + 0.12) + 2.7 \times \sqrt{p_{wo} \times w_{\sigma y} + u_{pwo} \times u_{\sigma y}}] \times b \times d \times 7/8$$

$$(w_{\sigma y} = 3000 \text{ kgf/cm}^2, u_{\sigma y} = 13000 \text{ kgf/cm}^2)$$

$$*8 \quad Q_{suo3} = [0.143 \times (1 - 1.61 \times HE/D) + 0.22 \times \sqrt{p_{wo} \times w_{\sigma y} + u_{pwo} \times u_{\sigma y} / \sigma_B}] \times \sigma_B \times b \times d \times 7/8$$

$$(w_{\sigma y} = 3000 \text{ kgf/cm}^2, u_{\sigma y} = 6000 \text{ kgf/cm}^2)$$

最大荷重と $p_{wo} \cdot \sigma_y / \sigma_B$ の関係を図－11に示す。

YBS101～104 試験体においては、曲げひび割れ実験値は計算値の0.78～1.19倍の範囲に、曲げせん断ひ

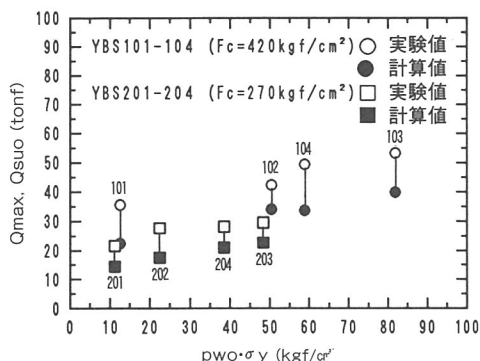


図-10 $Q_{\max}, Q_{\text{suo}} - p_{\text{wo}} \cdot \sigma_y$

び割れ実験値は計算値の0.89～1.17倍の範囲にあり、比較的適合していると考えられる。開孔部45°方向のせん断ひび割れ実験値は、計算値の1.35～1.99倍でいずれの試験体も計算値を大きく上回った。

実験最大荷重は、広沢式による開孔部せん断耐力計算値($u\sigma_y = 6000 \text{ kgf/cm}^2$)に対して1.24～1.58倍となり、大きく上回った。開孔補強筋量の多いYBS103試験体の実験最大荷重は計算値の1.34倍となり、開孔補強筋量が本実験程度であれば設計式は安全側の値を与えて考えられる。開孔部の最小断面位置近傍をせん断補強した試験体YBS104は、実験最大荷重が計算値に対して1.47倍となり、安全側の値を示した。

試験体YBS201～YBS204においては、曲げひび割れ実験値は、計算値の0.93～1.18倍の範囲に、曲げせん断ひび割れ実験値は計算値の0.97～1.28倍となり、比較的適合していると考えられる。開孔部45°方向のせん断ひび割れは、0.84～1.43倍となり、ややバラツキがみられた。実験最大荷重は、開孔部せん断耐力計算値に対して1.31～1.58倍となり大きく上回った。

図-10および図-11より実験最大荷重と開孔補強筋量の関係は、コンクリート圧縮強度が 420 kgf/cm^2 の試験体YBS101～YBS104においては、本実験にみられるような比較的多い補強筋量であっても設計式に対応できると考えられる。また、コンクリート強度が 270 kgf/cm^2 の試験体YBS201～YBS204においては、 $p_{\text{wo}} \cdot \sigma_y / \sigma_B$ に対して $Q_{\max}$ の上昇程度がかなり小さく、実験最大荷重の頭打傾向を示していると考えられる。

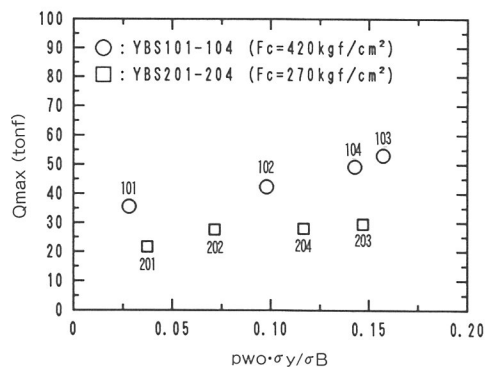


図-11 $Q_{\max} - p_{\text{wo}} \cdot \sigma_y / \sigma_B$

4. まとめ

- 1) 使用コンクリートの圧縮強度が 420 kgf/cm^2 程度の梁部材では、開孔補強筋量が 82 kgf/cm^2 程度と小さくなくても実験最大荷重は設計式(広沢式 $u\sigma_y = 6000 \text{ kgf/cm}^2$)に対して安全側の値を示す。
- 2) 梁開孔部の最小断面位置近傍に配したせん断補強筋は、せん断耐力の向上に寄与する。
- 3) せん断耐力に対して効果を発揮する開孔補強筋量の範囲はコンクリート強度により変化する。

今後、さらに、上記の実験結果を参考にして、終局せん断耐力に対して①コンクリート強度と開孔補強筋量が及ぼす影響、②開孔部の最小断面位置近傍に配したせん断補強筋が及ぼす影響等について検討を行っていく予定である。

本実験を行うに当たり御協力頂いた高周波熱錬(株)およびティエム技研(株)に深く感謝致します。

〔参考文献〕

- 1) 広沢雅也：鉄筋コンクリート造有孔ばりのせん断強度とじん性(その1 有孔ばりについての既往の研究成果)、建築技術、1979.3
- 2) ティエム技研：ウェブレン設計マニュアル
松下清夫、黒沢清治：論法69号、1961.10
- 3) 下妻 泰 他：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断伝達に関する実験研究、学術講演梗概集、1990.10
- 4) 津村浩三：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断破壊に関する研究、日本建築学会論文報告集、1990.1