

正負繰返し荷重を受ける軽量鉄筋コンクリートばりのせん断耐力とじん性におよぼす供試体寸法の影響について

小池 狭千朗

The Effect of the Dimensions of Test Specimens on the Shear Capacity and Ductility Factor of Lightweight Reinforced Concrete Beams under Cyclic Loading

*Sachio KOIKE

塑性域の正負繰返し荷重を受ける軽量RCばりのせん断耐力と変形性能、とくに ductility factor に及ぼす a/d 比、主筋比、あばら筋比、コンクリート強度並びに供試体寸法の影響については不明な点が多い。はりのせん断ひびわれにより脆性的にせん断破壊する部材の力学的性状を実験的に調べて、実際の構造物に適用するための資料となすため、4種類の供試体寸法を有する合計20体のRCはり ($a/d=2.0$, $P_t=P_c=1.40\%$) について、多数回の正負繰返し曲げ・せん断試験を実施しており、現在15本の試験が終了したところである。現在までに判明した点について報告する。

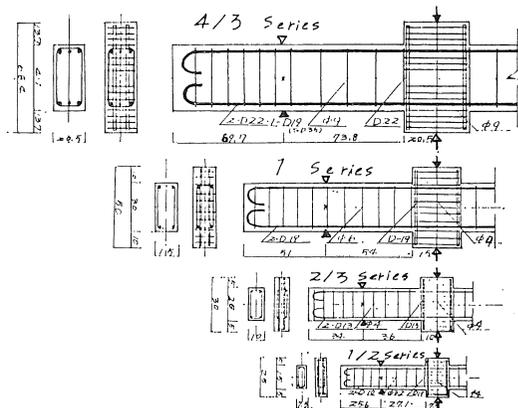
1. ま え が き

RC部材のせん断問題については今世紀の始めより多数の実験的、理論的研究が報告されてきたが、研究者の目もっぱら部材のせん断力を知る方法にのみ注がれ、その変形特性についてはほとんど顧みられなかった。RC部材のせん断耐力に影響をおよぼす要因としては、コンクリート強度、主筋比、主筋の降伏応力、あばら筋比、あばら筋の降伏応力、 a/d 比(せん断スパン比)、載荷方法、載荷板の寸法、載荷履歴、あばら筋の配筋方法などがあり、これらの要因について数十年間にわたって、数百編の研究が報告されてきたが、未だ明確な結論は出ていない。

1968年、北海道・東北の一部を襲った十勝沖地震によってRC構造設計規準によってつくられた多数の鉄筋コンクリート造建物が大きな被害を受けた。とくに、耐震設計された鉄筋コンクリート造建物にかなりの被害が生じた点で、注目するところとなった。これらの被害の大部分は、柱、はりおよび壁のせん断破壊によるもので、低周期、高応力の正負繰返し荷重を受けて脆性的にせん断破壊する鉄筋コンクリート部材の変形特性、並びに繰返し荷重を受けた場合のせん断耐力の低下に関する研究の遅れが明らかになった。

繰返し載荷を受けて脆性的にせん断破壊する部材の変

形特性については、せん断ひびわれ発生後の部材の非常に複雑な挙動のために、理論的には全く解明できず、もっぱら実験にのみ依存せざるを得ないのが現状である。さらに、軽量鉄筋コンクリート部材の変形特性におよぼすあばら筋比、主筋比、コンクリート強度、あばら筋の降伏応力、供試体の寸法などの影響に関する本格的な研究は、歴史的にも日が浅く、その数も非常に少ない。そのため、地震時の荷重を想定した低周期、高応力の正負繰返し荷重を受けた場合に脆性的にせん断破壊する軽量RC部材せん断耐力と変形特性、とくにじん性におよぼ



図一 供試体の概要

表一 供試体の詳細

	断面寸法 b × D (cm)	主筋	引張鉄筋比 圧縮鉄筋比 (%)	あばら筋 Pw (%)	あばら筋 高 (cm)	せん断 スパン比 a / d
1/2 B I ₂ -S	20.5 × 41	2-D, 22	1.40	φ 9	0	—
1/2 B II ₂ -C	20.5 × 41	1-D, 19	1.40	φ 9	0.35	17.70
1/2 B III ₂ -C	20.5 × 41	1-D, 19	1.40	φ 9	0.65	9.53
1/2 B IV ₂ -C	20.5 × 41	1-D, 19	1.40	φ 9	0.95	6.53
1/2 B V ₂ -S	20.5 × 41	1-D, 19	1.40	φ 9	1.25	4.96
B I ₂ -S	15 × 30	2-D, 19	1.40	φ 6	0	1 —
B II ₂ -C	15 × 30	2-D, 19	1.40	φ 6	0.35	10.67
B III ₂ -C	15 × 30	2-D, 19	1.40	φ 6	0.65	5.74
B IV ₂ -C	15 × 30	2-D, 19	1.40	φ 6	0.95	3.93
B V ₂ -S	15 × 30	2-D, 19	1.40	φ 6	1.25	2.99
1/2 B I ₂ -S	10 × 20	2-D, 13	1.40	φ 4	0	—
1/2 B II ₂ -C	10 × 20	2-D, 13	1.40	φ 4	0.35	7.14
1/2 B III ₂ -C	10 × 20	2-D, 13	1.40	φ 4	0.65	3.85
1/2 B IV ₂ -C	10 × 20	2-D, 13	1.40	φ 4	0.95	2.63
1/2 B V ₂ -S	10 × 20	2-D, 13	1.40	φ 4	1.25	2.00
1/2 B I ₂ -S	7.53 × 15.06	2-D, 10	1.40	φ 3.2	0	—
1/2 B II ₂ -C	7.53 × 15.06	2-D, 10	1.40	φ 3.2	0.35	6.45
1/2 B III ₂ -C	7.53 × 15.06	2-D, 10	1.40	φ 3.2	0.65	3.47
1/2 B IV ₂ -C	7.53 × 15.06	2-D, 10	1.40	φ 3.2	0.95	2.38
1/2 B V ₂ -S	7.53 × 15.06	2-D, 10	1.40	φ 3.2	1.25	1.81

表二 普通ポルトランドセメント試験成績

試料	比重	粉末度		安定性		フロー値
		比表面積 (cm ² /g)	80μm 以下の 残分 (%)	浸水法	煮沸法	
	3.15	3120	1.3	良	良	243
試料	強 さ					
	曲げ強さ (kg/cm ²)			圧縮強さ (kg/cm ²)		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
	33.6	51.8	77.2	128	231	416
						20

表三 骨材の物理的性質

	最大寸法	粗粒率	比 重	
			表 乾	絶 乾
細骨材	2.5mm	2.66	1.90	1.76
粗骨材	15 mm	6.50	1.36	1.30

すあばら筋比の影響について、耐震構造設計上、早急に解決する必要がある。

著者は正負繰返し荷重時の軽量 RC ばりのせん断力と変形特性におよぼすあばら筋比の影響が、はりのせん断スパン比および主筋比の相違によってどのよう影響を受けるかを15×30cm断面の軽量 RC ばりについて、実験的に検討してきた。しかしながら、15×30cm断面の軽量 RC ばりを多数製作し、破壊実験を実施することは、供試体の製作費その他で非常に困難である。そのため、比較的实验の実施し易い小試験体で得られた繰返し試験のデータを実際の構造物に適用するためには、供試体寸法の影響について知ることが、非常に大切である。

本研究はこれらの一連の研究の一部をなすもので、供試体の寸法の相違がこれらの変形特性と耐力低下にどのように影響するかを調べたもので、目下スケール比を4/3, 1.0, 2/3, 1/2倍の4種類、あばら筋比を5種類、合

表四 コンクリートの調合表

セメント	水	骨材	粗骨材	配合	水セメント比	設計スパン	設計強度	粗骨材率	目標空気量
400	1.78	006	471	0.160 (f _c = 20.7)	41.5	12	290	48.0	4
kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³		%Wt	cm		%Wt	%M
圧縮強度 (F _c)	引張強度 (F _{sp})	ヤング率		スラップ	空気量				
280kg/cm ²	20.0kg/cm ²	1.35 × 10 ⁴ kg/cm ²		10.1cm	3.3%V				

表五 鉄筋の物理的性質

	断面積	降伏強さ	引張強さ	伸び率
D 22	3.81cm ²	3849kg/cm ²	5916kg/cm ²	25.8%
D 19	2.87	3770	5620	27.0
D 13	1.27	3828	5710	28.4
D 10	0.71	3918	5874	27.9
φ 9	0.64	4589	4802	10.3
φ 6	0.28	5172	5485	6.6
φ 4	0.13	4756	5156	6.5
φ 3.2	0.08	6104	6625	5.8

表六 荷重方法

試験体記号	試験体 個数	荷重方法	荷重段階	
			荷重振幅 (ton)	繰返し回数
1/2 B I ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
1/2 B II ₂ -C	1	漸増正負 繰返し	3.56ton/cycle の荷重増加	ピッチ 2.22mm の変形制御
1/2 B III ₂ -C	1			
1/2 B IV ₂ -C	1			
1/2 B V ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
B I ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
B II ₂ -C	1	漸増正負 繰返し	2.0ton/cycle の荷重増加	ピッチ 1.67mm の変形制御
B III ₂ -C	1			
B IV ₂ -C	1			
B V ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
1/2 B I ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
1/2 B II ₂ -C	1	漸増正負 繰返し	0.89ton/cycle の荷重増加	ピッチ 1.113mm の変形制御
1/2 B III ₂ -C	1			
1/2 B IV ₂ -C	1			
1/2 B V ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
1/2 B I ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	
1/2 B II ₂ -C	1	漸増正負 繰返し	0.5ton/cycle の荷重増加	ピッチ 0.833mm の変形制御
1/2 B III ₂ -C	1			
1/2 B IV ₂ -C	1			
1/2 B V ₂ -S	1	単調漸増	破壊まで漸増正荷重	

計20体からなるはりについて静荷重・正負繰返し曲げ・せん断試験を実施中である。現在、15体のはりの試験が終了し、残り5体のはり(20.5×41cm断面)の実験準備中である。

2. 試験方法

(1) 供試体および実験計画

各供試体の概要およびその詳細を図一および表一に示す。供試体寸法は4/3, 1, 2/3および1/2シリーズの4種類(4/3シリーズ:断面20.5×41cm, 長さ328cmせん断スパン73.8cm, 1シリーズ:断面15×30cm, 長さ240cm, せん断スパン54cm, 2/3シリーズ:断面10×20cm, 長さ160cm, せん断スパン36cm, 1/2シリーズ:断面7.5×15cm, 長さ120.4cm, せん断スパン27.1cm)で、あばら筋比は0から1.25%まで5種類(梁の記号 I : あらばら筋比 Pw=0, V : Pw=1.25%, II : Pw=0.35%, III : Pw=0.65%, IV : Pw=0.95%)である。I および V シリーズは静荷重で8体, II, III および IV シリーズは正負繰返し

表-7 実験結果

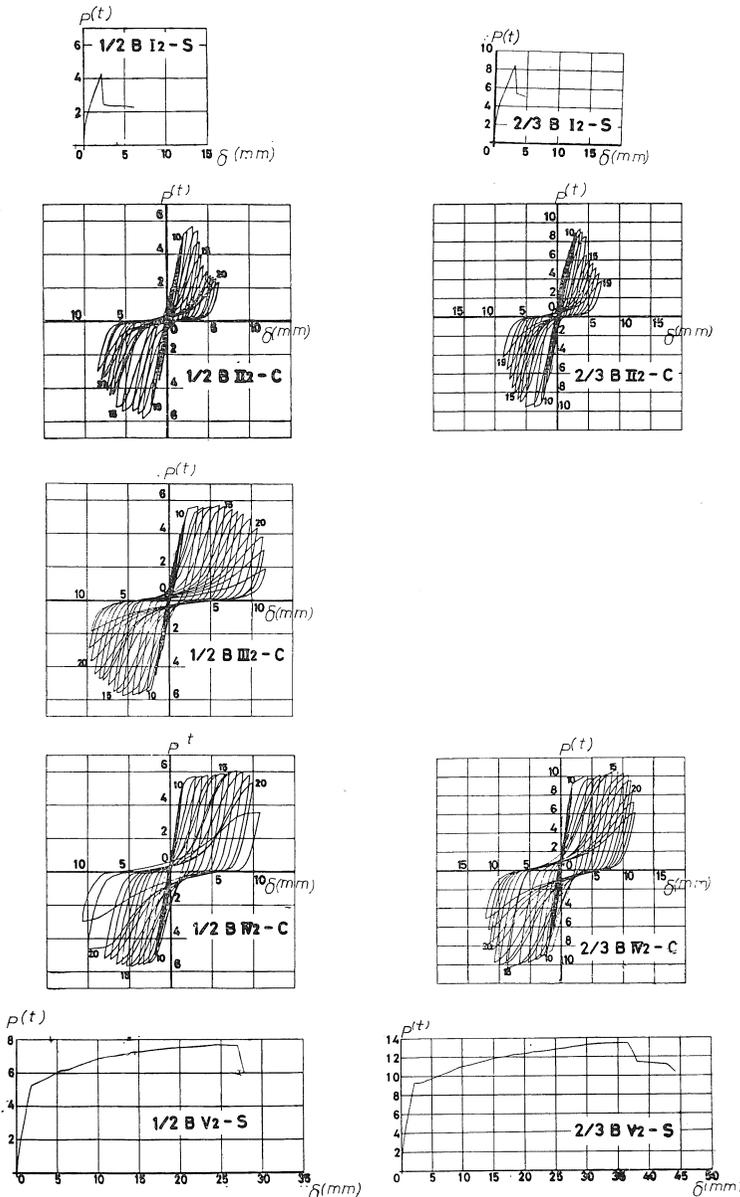
a/d	Pw (%)	はり記号	載荷方法	せん断初ひびわれ発生時				降伏荷重時				最大荷重時				載荷方法	破壊	
				Qc (t)	τ_c (kg/cm ²)	Rc (×10 ⁻³)	N (回)	Qy (t)	τ_y (kg/cm ²)	Ry (×10 ⁻³)	N (回)	Qu (t)	τ_u (kg/cm ²)	Ru (×10 ⁻³)	N (回)			
2.0	0	B I ₂ -S	静	E W	3.75	10.58	1.13 1.26		—	—	—		7.00	19.75	3.21 11.63		静載荷	S
	0.35	B II ₂ -C	+	E W	3.50	9.88	1.00 1.15	4	10.3	29.07	7.16 9.26	12	10.70	30.19	9.31 12.35	13	漸増荷重繰返し載荷 P=±2t, ±4t, ±6t, ±8t, ±10t, ±12t, ±14t, ±16t, ±18t, ±19t, ±20t, ±21t, 以後10回ピッチ1.67MM変形制御	S
				E W	3.00	8.47	0.87 0.80	3	10.8	30.48	7.19 5.81	12	10.56	29.80	8.94 12.35	13		
	0.65	B III ₂ -C	+	E W	4.00	11.29	1.04 1.46	4	10.5	29.63	6.18 6.43	12	12.15	34.30	20.98 21.60	16	漸増荷重繰返し載荷 P=±2t, ±4t, ±6t, ±8t, ±10t, ±12t, ±14t, ±16t, ±18t, ±19t, ±20t, ±21.68t 以後12回ピッチ1.67MM変形制御	S
				E W	3.00	8.47	0.91 0.94	3	10.0	28.22	5.28 5.76	12	11.87	33.50	17.19 18.52	15		
	0.95	B IV ₂ -C	+	E W	4.00	11.29	1.11 1.15	4	10.5	29.63	3.89 5.58	12	12.59	35.53	22.50 24.69	17	漸増荷重繰返し載荷 P=±2t, ±4t, ±6t, ±8t, ±10t, ±12t, ±14t, ±16t, ±18t, ±19t, ±20t, ±22.10t 以後11回ピッチ1.67MM変形制御	S
				E W	5.00	14.11	1.84 1.73	5	10.0	28.22	4.59 4.29	12	12.38	34.93	15.90 21.61	16		
	1.25	B V ₂ -S	静	E W	4.00	11.29	1.28 1.37		10.0	28.22	4.81 6.76		14.36	40.52	62.13 72.22		静載荷	B
	0	½B I ₂ -S	静	E W	0.667	4.24	0.24 0.44		—	—	—		4.222	26.81	8.06 9.00		静載荷	S
	0.35	½B II ₂ -C	+	E W	0.667	4.24	0.18 0.78	2	4.560	28.96	5.97 12.35	11	4.650	29.52	6.81 13.57	11	漸増荷重繰返し載荷 P=±0.89t, ±1.78t, ±2.67t, ±3.56t, ±4.40t, ±5.33t, ±6.22t, ±7.11t, ±8.00t, ±8.89t, 以後9回ピッチ 1.113MM変形制御	S
				E W	2.200	7.62	1.08 0.39	3	4.650	29.53	8.45 7.12	11	4.810	30.54	13.20 15.43	12		
	0.65	½B III ₂ -C	+															S
0.95	½B IV ₂ -C	+	E W	1.000	6.35	0.72 0.11	3	4.600	29.21	5.59 5.98	11	5.320	33.78	23.23 27.78	16	漸増荷重繰返し載荷 P=±0.89t, ±1.78t, ±2.67t, ±3.56t, ±4.40t, ±5.33t, ±6.22t, ±7.11t, ±8.00t, ±8.89t, 以後11回ピッチ 1.113MM変形制御	S	
			E W	1.000	6.35	0.28 1.03	3	4.445	28.23	4.14 10.14	11	5.180	32.89	20.89 27.42	15			
1.25	½B V ₂ -S	静	E W	0.800	5.08	0.75 0.31		4.667	29.64	7.89 4.73		6.730	42.73	52.78 49.87		静載荷	B	
0	½B I ₂ -S	静	E W	0.675	7.82	0.48 1.19		—	—	—		2.125	24.62	4.88 10.96		静載荷	S	
0.35	½B II ₂ -C	+	E W	0.725	8.40	1.50 0.49	3	2.625	30.41	10.23 5.31	11	2.840	32.90	15.38 7.94	12	漸増荷重繰返し載荷 P=±0.5t, ±1.0t, ±1.5t, ±2.0t, ±2.5t, ±3.0t, ±3.5t, ±4.0t, ±4.5t, ±5.0t, 以後11回ピッチ 0.835MM変形制御	S	
			E W	0.725	8.40	0.62 0.96	3	2.750	31.86	7.83 8.29	11	2.885	33.43	9.63 12.30	11			
0.65	½B III ₂ -C	+	E W	0.725	8.40	1.77 0.52	3	2.750	31.86	11.78 7.55	11	2.850	33.02	24.60 20.37	14	漸増荷重繰返し載荷 P=±0.5t, ±1.0t, ±1.5t, ±2.0t, ±2.5t, ±3.0t, ±3.5t, ±4.0t, ±4.5t, 以後14回ピッチ 0.835MM変形制御	S	
			E W	0.720	8.34	0.55 1.64	3	2.700	31.28	8.86 11.50	11	2.880	33.37	20.44 21.52	13			
0.95	½B IV ₂ -C	+	E W	0.625	7.24	0.46 1.44	3	2.625	30.41	5.83 6.20	11	3.035	35.16	28.52 30.75	17	漸増荷重繰返し載荷 P=±0.5t, ±1.0t, ±1.5t, ±2.0t, ±2.5t, ±3.0t, ±3.5t, ±4.0t, ±4.5t, ±5.0t, 以後11回ピッチ 0.835MM変形制御	S	
			E W	0.500	5.79	0.96 0.57	3	2.700	31.28	10.78 7.31	11	2.845	32.96	21.51 15.17	14			
1.25	½B V ₂ -S	静	E W	0.725	8.40	1.00 1.49	0	2.630	30.47	6.15 11.07	0	3.845	44.55	79.04 101.14		静載荷	B	

載荷で12体, 合計20体の柱型付き中央集中載荷単純はりによる曲げ・せん断試験を行なった。

主筋には表-1に示すごとく, D-10からD-22までのSD35, 異形鉄筋をはりの上下に複筋ばり(全てのはりで $P_t = P_c = 1.40\%$)として使用した。コンクリートはりの下端から主筋の中心までの距離は各シリーズとも,

はりせいの0.1倍とした。あばら筋には4種類の鉄線素材(4/3シリーズにはφ9, 1シリーズにはφ6, 2/3シリーズにはφ4, 1/2シリーズにはφ3.2を使用)を, 図-1に示すように閉鎖型にし, 端部を135°に曲げたものを使用した。

柱型部分には主筋と同じ径の軸筋を4本づつ配し,



図一四 荷重—たわみ曲線の一例

4/3と1シリーズではφ9鉄線を、2/3と1/2シリーズではφ6鉄線を閉鎖型の帯筋として、非常に密に配筋し、柱型部分に曲げひびわれが発生するのを防いだ。さらに、たわみの測定のために柱型の中央部にダイヤルゲージ取り付け用のバーを固定するために、ボルト(4/3と1シリーズはφ16、2/3と1/2シリーズではφ13)を各4本埋め込んだ。

(2) 使用材料

使用したセメントの性質を表一2に、軽量骨材の物理的性質を表一3に示す。セメントは普通ポルトランドセ

メントを使用し、骨材は細、粗骨材とも人工軽量骨材を使用した。コンクリートの調合表を表一4に示す。使用コンクリートの平均圧縮強度は280Kg/cm²であった。表一5に使用しは鉄筋の物理的性質を示す。SD35異形鉄筋D-10~D-22は主筋に使用し、鉄線素材φ9~φ3.2はあばら筋、フープ筋として使用した。

(3) 載荷および測定方法

載荷には100t万能試験機を使用した。本機は疲労試験機と兼用になっているため、柱間隔が狭く、そのため繰返し載荷には試験機の耐圧盤の中を通過できるプレートロリを2台作成し、これよりフックをぶら下げ、供試体の両端に埋め込んだ丸鋼にこのフックをかけ、各繰返しサイクルの荷重が正負に逆転すること、供試体を試験機の外に滑り出させ、回転させて正負の繰返し曲げ・せん断試験を実施した。試験にははりの最大耐力に応じて、最大荷重±50t(1シリーズ)、±20t(2/3シリーズ)、±10t(1/2シリーズ)で試験機を使用した。4/3シリーズでは、±100tの最大荷重で試験を行う予定である。載荷は単純ばりの中央の柱型部分に薄いゴムを敷き、その上に3.5cmの厚さの鉄板をのせ、鉄板の全面に荷重をかけた。載荷は単純ばり形式で、その概要を図一2に示す。

載荷方法を表一6に示す。S(静載荷)とC(漸増正負繰返し載荷)の2種類とした。記号Cの試験体では、各繰返しサイクル毎に、1シリーズのはりでは2.0t(4/3シリーズ

では3.56t、2/3シリーズでは0.89t、1/2シリーズのはりでは0.5tづつ荷重を上げて試験を行った。はりの降伏以後は破壊までピッチR=3.09×10⁻³のたわみ角で、変形制御により試験した。個々の供試体の載荷履歴の詳細を表一7の右端に示す。

たわみの計測は図一2に示すように、柱型部分に埋め込んだ4本のボルトで固定したたわみ計測用のフレームを介して、柱型端部と支点との相対たわみを左右のスパン別々に、精度1/100mm、ストローク50mmのダイヤルゲージを用いて測定した。

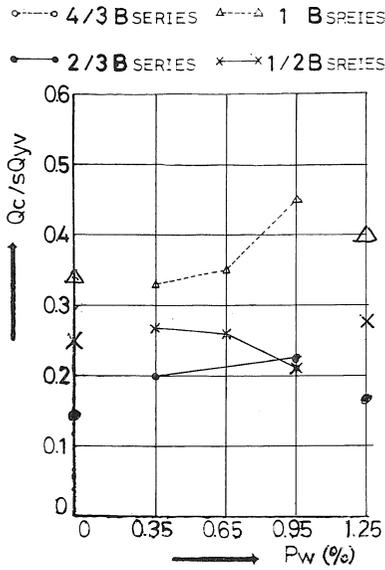


図-5 せん断ひびわれ耐力とあばら筋比の関係

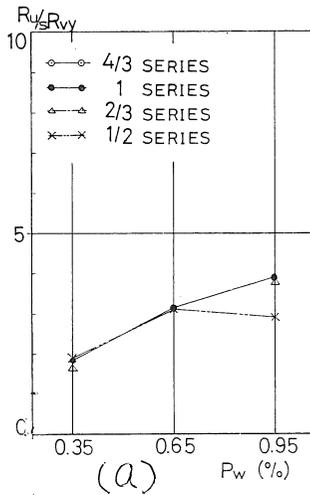


図-6 最大耐力時の耐力並びに変形量とあばら筋の関係

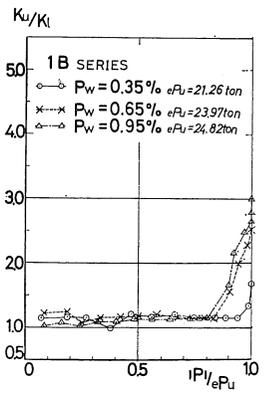
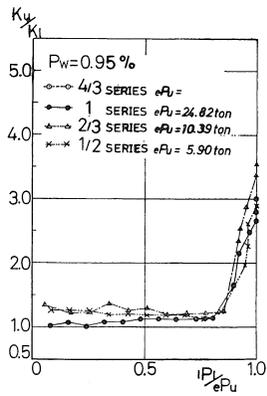
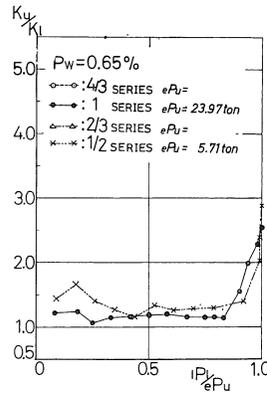
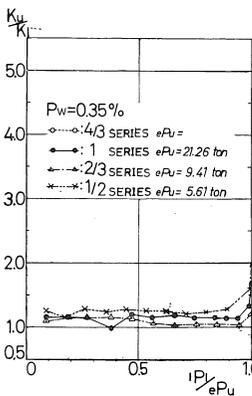
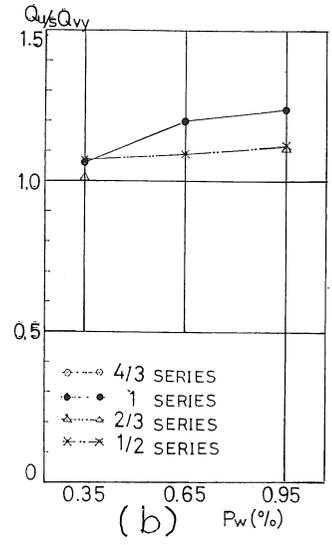


図-7 みかけの剛性比と荷重振幅との関係

せん断ひびわれ幅と曲げひびわれ幅の測定は、静荷重では各荷重段毎に、正負繰返し荷重では弾性範囲内の場合には処女荷重段毎に、100倍、60倍および20倍のクラック幅測微鏡を用いて、全てのせん断ひびわれ幅に記号をつけて、そのひびわれ幅を計測した。

3. 実験結果ならびに結果に対する考察

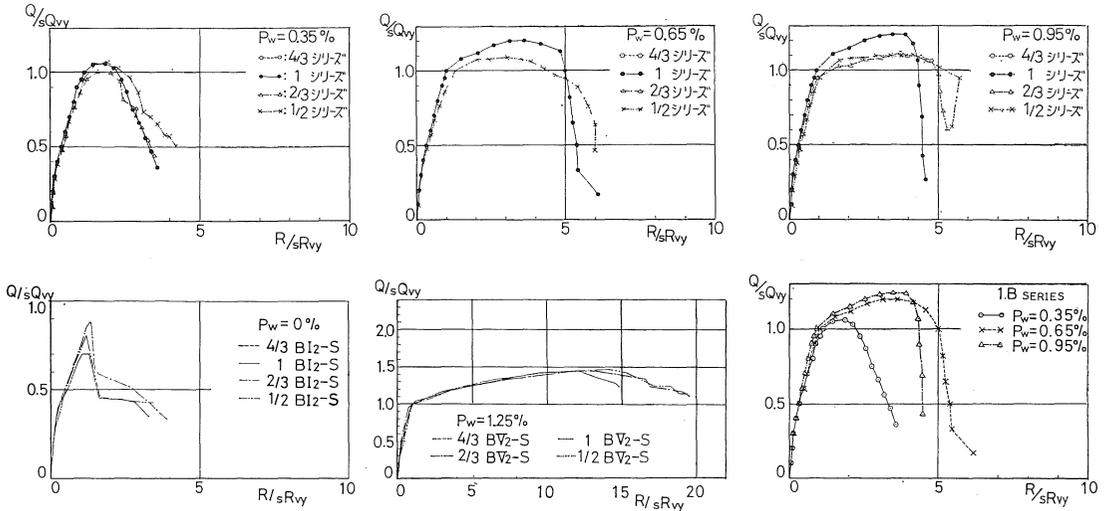
現在までに終了した実験結果の一部を表-7に示す。cはせん断力、 τ はせん断応力度で $\tau=Q/bjd$ ($j=7/8$)で求めたもの、Rはたわみ角で $R=\delta/a$ ラジアン (δ はたわみ、aはせん断スパン長さ)で求めたもの、Nはその荷重に達するまでの繰返しサイクルの回数を示す。添字cはせん断ひびわれ発生時を、添字yはりの曲げ降伏時を、添字uは最大荷重時を示す。破壊の項の記号“B”は曲げ破壊を“S”はせん断破壊または正負繰返し荷重に

より脆性的にせん断破壊した部材の破壊を示す。降伏荷重の示していないはりは、最大耐力が降伏荷重に達しなかったことを示している。なお、2/3BIII₂-Cはりはあやまって最初に降伏荷重にまで載荷させてしまったため、荷重を抜いた後、参考のため試験した。現在、このはりの不足のデータを得るために同種の供試体を作成し、養生中である。

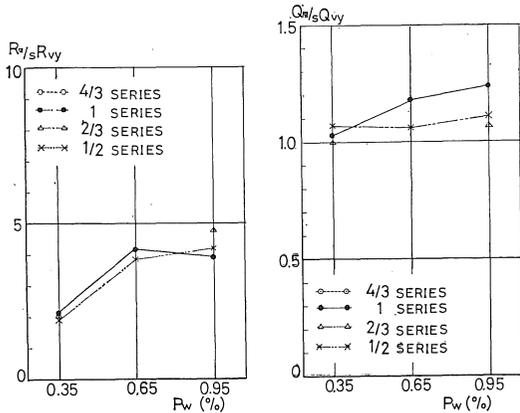
(1) ひびわれ伸展状況とひびわれ幅

(i) 曲げひびわれ

曲げひびわれは、はじめに柱型端部付近に発生し、荷重の増加とともに支点の方に順次増加してゆくが、柱型端部の曲げひびわれのみ供試体の奥深く伸展し、その他の曲げひびわれはあまり伸展しなくなる。今回の試験に



図一八 無次元化した包絡線耐力—変形曲線



図一九 限界耐力・限界たわみ角とあばら筋比の関係

においては、柱型部分の下端には全く曲げひびわれは発生しなかった。

(ii) せん断ひびわれ

柱型端部よりやや離れた位置に発生した曲げひびわれが荷重点の方向に曲がりをはじめた時の荷重を傾めせん断ひびわれ発生荷重とみなした。さらにこの傾めひびわれとは別に、はりのウェブの中に曲げひびわれとは関係なく単独に、ウェブにほぼ45°に発生するひびわれを斜めせん断ひびわれと名付け、このひびわれの発生する時の荷重を斜めせん断ひびわれ発生荷重とみなした。表一7の添字cのせん断ひびわれ荷重の値はこれらの内、早く発生した荷重を記したものである。せん断ひびわれとその幅については、その発生荷重とその後のひびわれの伸展状況ならびにそのひびわれ幅を詳細に記録してあるので、今後さらに検討を加えてから報告する予定である。ここでは紙面の都合で省略する。

(iii) 破壊状況

供試体の破壊状況を図一3に示す。あばら筋の配筋してないI₂-Sばりではすべて曲げ降伏荷重より低い荷重でせん断破壊した。これらのはりでは最大耐力後、耐力低下が急げきに生じ、ひじょうにねばりのとぼしい性状を示した。あばら筋比1.25%のV₂-Sばりでは曲げ降伏耐力後、すべてのはりが非常に大きな変形になるまで耐力を増大しつづけ、かつ非常に大きなじん性を示し、すべてのはりが曲げ破壊した。正負繰返し荷重を受けたはりでは、いずれのはりも弾性域内における漸増荷重正負繰返し载荷により、はりのウェブにX型にせん断ひびわれが多数発生した。これらのはりのX型のせん断ひびわれの幅は、はりが降伏するまではあまり大きく開口しないが、塑性域の正負繰返しにより変形が大きくなると、これらのX型のせん断ひびわれの幅が徐々に大きくなり、さらに荷重の正負の逆転時にせん断ひびわれの両側のコンクリート部分が閉じるときにコンクリート相互がきしみ合い、ついにウェブ部分のコンクリートが徐々に剥落しはじめる。大変形時には、この部分のコンクリートが剥落して、はり作用を失ない、脆性的にせん断破壊した。あばら筋比の高いはりほどあばら筋がウェブのX型のせん断ひびわれの幅が広がるのを防止もするため、あばら筋比の低いはりよりも大変形にいたるまで、ウェブ部分のコンクリートの損傷が少なく、比較的大きな耐力を大変形に至るまで保持した。しかしながら、これらの脆性的なせん断破壊に関しては、供試体寸法の相違による影響はほとんどみられなかった。これは塑性域の繰返し試験においては、コンクリートの占める影響よりも鉄筋の占める影響の方が大きいためと考えられる。荷重—たわみ曲線の一例を図一4に示す。

(2) せん断ひびわれ耐力とあばら筋比の関係

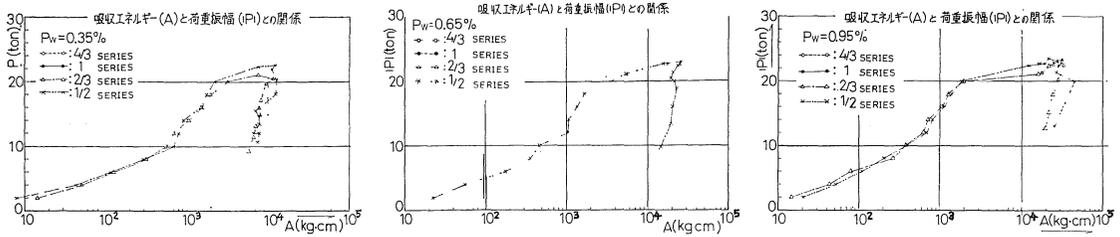


図-10 吸収エネルギー

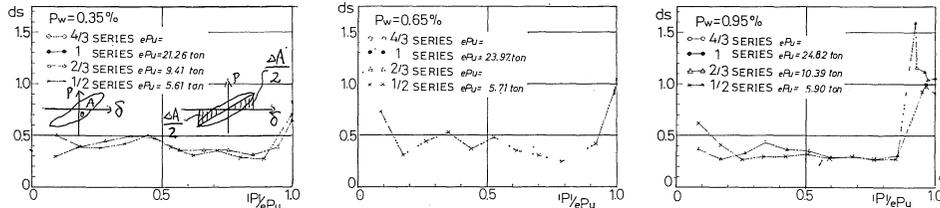


図-11 specific damping capacity (ds) と荷重振幅の関係

図-5にせん断ひびわれ耐力とあばら筋比の関係を示す。図中sQyvは各供試体寸法のシリーズのV-Sばり(Pw=1.25%)の曲げ降伏時のせん断力を意味する。図-5より1シリーズはりが最も高く、次いで1/2シリーズで、2/3シリーズのはりが最も低い値を示した。元来、せん断初ひびわれの発生荷重は非常にばらつきが大きいため、これらの結果から供試体寸法の影響はないと断定してよいかどうかは不明である。

(3) 最大耐力と主筋比の関係について

図-6に最大耐力時の耐力並びに変形量とあばら筋比の関係を示す。sRyvはそのシリーズのV-Sばり最大耐力時のたわみ角である。Ruは各はりの最大耐力時のたわみ角である。図-6(a)より、あばら筋比0.95%のはりを除けば、供試体の寸法の影響は全くみられず、その上、あばら筋比を増加させるとじん性は徐々に増加することを示している。あばら筋比0.95%のはりにおいても、1/2シリーズのはりを除けばほぼ同じような傾向を示している。図-6(b)より、最大耐力は曲げ降伏耐力の1.1~1.2倍であり、かつあばら筋比の増加とともに増加しており、この図においても供試体の寸法による影響はみられない。

(3) みかけの剛性比について

図-7にみかけの剛性比と荷重振幅との関係を示す。Klは載荷時の剛性(正負の平均値)を、Kuは除荷時の剛性を示す。ePuは実験時の各はりの最大耐力(各サイクルの正負のピーク荷重の平均値の内、最大の値)を示す。あばら筋比および供試体寸法が異なっても、弾性範囲内ではほとんど同じような傾向を示している。曲げ降伏荷重をすぎると、あばら筋比が増加するほどみかけの剛性比は大きくなっている。ここでも供試体寸法の影響

はほとんど見られない。

(4) 変形特性について

図-8に各供試体寸法のシリーズのV-Sばりの曲げ降伏時の耐力と変形を基準にとり無次元化した包絡線耐力と変形の関係を示す。繰返し試験を行ったはりの各点は正負の平均値である。あばら筋比0.65%と0.95%の1シリーズのはりを除けば、いずれのあばら筋比のはりもほとんど同じような傾向を示しており、供試体寸法が異なってもこれらの表示法で示せば、異なる寸法の供試体のデータを利用できることを示している。

静載荷時においては、あばら筋比がゼロの場合ひよにねばりのとばしい性状を示しているが、あばら筋比1.25%のはりではR/sRyv=12~14の値を示しており、非常にねばりのある性状を示しており、3体ともにほとんど同じような傾向を示し、供試体寸法の影響は全くみられない。一般に、正負繰返し載荷のはりでは、あばら筋比を0.35%から増加させてゆくにつれて、はりの変形性能は向上していきけるけれども、あばら筋比を0.65%から0.95%に増加させたことによる耐力の向上ならびに変形性状の向上はあまり期待できないようである。

図-9に限界耐力、限界たわみ角とあばら筋力の関係を示す。R限は繰返し載荷により耐力が曲げ降伏耐力を急激に下回りはじめる限界のたわみ角を示し、Q限はそのときの耐力を示す。あばら筋比が0.35%のはりは、いずれの供試体寸法のはりもR限/sRyvの値は2.0に近い値を示しており、ねばりのとばしい性状を示している。あばら筋比0.65%のはりではその値が約4.0を示しており、0.35%のはりに比してじん性が非常に向上している。すなわち、0.35%から0.65%にあばら筋を増加させるとじん性が急げきに増加し、あばら筋の増加によるじ

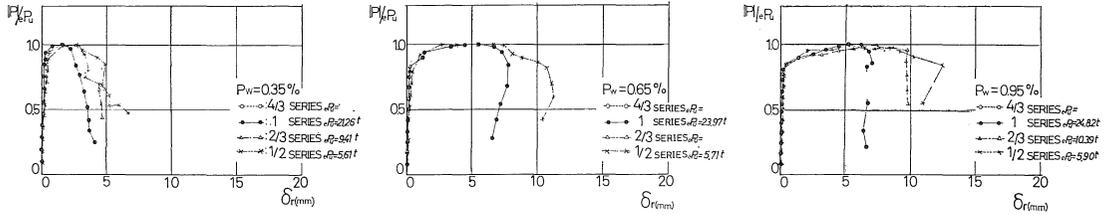


図-12 残留たわみ

ん性の向上は供試体寸法の相違による影響は全くなく、一様に急増している。しかしながら、あばら筋比を0.65%から0.95%に増加させても、追加のあばら筋によるじん性の新たな増加は全くみられなかった。限界たわみ角については、供試体寸法が異なっても各はりはほとんど同じよな傾向を示した。

(5) 吸収エネルギーについて

供試体寸法の異なる各はりの吸収エネルギーをスケール比にしたかって1シリーズのはりの値に換算した吸収エネルギーと荷重との関係を図-10に示す。吸工エネルギー(A)は繰返し載荷時の履歴曲線のかこむ面積であらわされる。繰返し回数が増加するにつれて吸収エネルギーはいちじるしく増加する。しかしながら、限界たわみ角に達するといずれのはりも、その後は増加せず、かえってやや減少する傾を示した。

図-10は供試体寸法が異なっただけであるにもかかわらず、ほとんど同一の傾向を示しており、この点からも供試体寸法の影響は見られなかった、図-11に specific damping capacity (ds) と荷重振幅との関係を示す。specific damping capacity dsは吸収エネルギー(A)とみかけの仕事量(ΔA)との比 $ds = A/\Delta A$ で表わされる。図-11中にΔAの定義を示す。dsについても供試体寸法の影響はみられないようである。

(6) 残留たわみについて

残留たわみの大きさもあばら筋比、荷重振幅、たわみ率および繰返し回数などに関係する。漸増繰返し載荷時の残留たわみ δ_r (正負載荷時の値の平均値)と荷重振幅率との関係を図-12に示す。残留たわみは降伏荷重をこえると急激に増加している。その増加率はいずれのあば

ら筋のはりについても、小試験体の方が大きくなっている。これらの点については今後検討をする必要がある。

4. むすび

20体の軽量RCばりのうち、15体のはりの静載荷並びに正負繰返し曲げ・せん断試験が終了したところで、塑性域の正負繰返しにより脆性的にせん断破壊する部材のせん断耐力とじん性におよぼすあばら筋比の効果が供試体の寸法の相違によってどのような影響を受けるかを調べた結果、およそ次のようなことがわかった。

- (1) 今日までに終了した試験体については供試体寸法の影響はほとんどみられなかった。しかしながら、1BIII₂-Cと1BIV₂-Cのはりについては曲げ降伏後、他のはりよりも耐力が高く出た。これらの点については今後検討を要する。
 - (2) 残留たわみについてのみ、小試験体の方が大きな試験体よりも残留たわみが大きな値を示した。
- 以上の結論は1,2/3および1/2シリーズのはりの結果から得られたもので、今後4/3シリーズのはりによって、これらの点を調べる予定である。

参考文献

- 1) 小阪義夫, 小池幸男 “正負繰返し荷重を受ける軽量RCばりのせん断耐力とじん性について”、セメント技術年報, Vol.26 (昭47) pp.422—429.
- 2) 小阪義夫, 小池敏千朗 (幸男) “正負繰返し荷重を受ける軽量RCばりのせん断耐力とじん性におよぼす主筋比の影響について”、セメント技術年報, Vol.27 (昭48) pp.438—443.