

大阪府立工業高等専門学校 正 員 ○山田 昌昭

" 正 員 吉田 義隆

京阪電気鉄道株式会社 正 員 石阪 良治

長岡技術科学大学 学生員 井崎 美行

1. はじめに RCはりのせん断終局強度を算定するための理論的・実験的研究は近年かなり進展してきた。これまでの実験式を基礎にしたせん断強度式に代わって、塑性理論や終局つり合い法などによる算定式が提案されるようになった。本研究は現行の土木学会・コンクリート標準示方書のせん断強度式並びに建築学会の新せん断強度式（A法・B法）および鈴木らの提案式¹⁾に対し、実験的にその妥当性を検証したものである。

2. 実験概要 斜めひびわれ発生後のRCはりのせん断抵抗挙動は一般に、 $a/d \approx 2.5$ を境にして変化することが指摘されている。 $a/d < 2.5$ の荷重状態ではコンクリートの圧縮束と引張主鉄筋とが形成するタイドアーチ的挙動によりせん断に抵抗する。一方これに対し $a/d > 2.5$ の場合はスターラップ等のせん断補強筋とコンクリート斜圧縮束から成るトラス的挙動によりせん断に抵抗する。本研究は $a/d > 2.5$ の範囲におけるRCはりの終局時のせん断抵抗挙動を検討しようとしたものである。

実験は図-1、および表-1に示す13本の供試体を用いて行われた。はりの曲げ設計荷重を $Pd=12t$ （奇数番号①③…の供試体）および $15t$ （偶数番号）の2種類とし、 a/d を2.5~4.0の7水準に変化させ、それぞれの設計荷重になるように主鉄筋量を決定した。 $Pd=12t$ のはりについてはスターラップを $\phi 6$ と $\phi 9$ の2種類のものを両側のせん断スパン内（ a 区間）に配置した。 $Pd=15t$ のはりは $\phi 9$ のみを使用した。実験はRCはりの中央に集中荷重を載荷し、単調増加荷重をはりが破壊するまで作用させた。実際の破壊荷重は表-3の実験一覧表に示すように $Pd=12t$ のはりは約 $14t$ で $Pd=15t$ のはりは約 $19t$ で曲げ破壊した。

3. 実験結果 実験結果をまとめたものが表-3の実験結果一覧表である。表中の斜めひびわれ荷重の計算値は示方書式の V_{cd} （コンクリートによるせん断耐力）によって計算された値である。一方、終局荷重の計算値のうち、曲げ耐力の値は示方書に提示された応力状態を用いて求めたものでありせん断の値は V_{cd} にスターラップの耐力 V_{sd} を加算して計算したものである。示方書式による計算値および実験の破壊荷重と比較するため、建築学会の新算定方（A法、B法）による計算結果および鈴木らの提案したせん断強度式による計算結果も並記した。また、スターラップのせん断分担率の実験値の（ ）に示した値のうち $Y2/3$ 等の意味は斜めひびわれが横切るスターラップの3本のうち2本が降伏（Yield）していることを表す。また、（60%）等はスターラップの最大応力が降伏応力の60%であることを表すものである。また、FEMとは実験と同様の斜めひびわれを有するFEMモデルにより計算したスターラップのせん断分担率を表す。また、示方書の値は

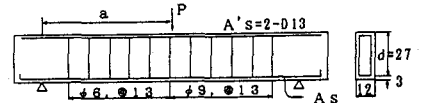


図-1 実験供試体寸法図（単位cm）

表-1 実験供試体寸法諸元

供試体の番号 No.	主鉄筋 A_s	a (cm)	a/d	スターラップの径 (mm)	スターラップの比 (%)	設計終局荷重 (計算) (t)
①	2D-16 +D-10	67.5	2.5	$\phi 6$	0.365	11.6
				$\phi 9$	0.814	
②	2D-19 +D-10	74.3	2.75	$\phi 6$	0.363	16.3
				$\phi 9$	0.815	
③	2D-16 +D-10	74.3	2.75	$\phi 6$	0.363	10.8
				$\phi 9$	0.815	
④	2D-16 +D-13	81.0	3.0	$\phi 6$	0.365	12.2
				$\phi 9$	0.814	
⑤	2D-19 +D-10	87.8	3.25	$\phi 6$	0.363	15.7
				$\phi 9$	0.814	
⑥	2D-19 +D-10	87.8	3.25	$\phi 6$	0.363	12.1
				$\phi 9$	0.814	
⑦	2D-22 +D-10	94.5	3.5	$\phi 6$	0.363	15.4
				$\phi 9$	0.815	
⑧	2D-19 +D-10	94.5	3.5	$\phi 6$	0.363	12.0
				$\phi 9$	0.815	
⑨	2D-22 +D-13	101.0	3.75	$\phi 6$	0.363	15.1
				$\phi 9$	0.815	
⑩	2D-19 +D-13	101.0	3.75	$\phi 6$	0.363	12.1
				$\phi 9$	0.815	
⑪	2D-25	108.0	4.0	$\phi 6$	0.814	15.0
				$\phi 9$	0.814	
⑫	2D-22	108.0	4.0	$\phi 6$	0.365	11.7
				$\phi 9$	0.814	

表-2 鉄筋の実強度

	規 格	鉄筋径	降伏点応力	引張強度
主鉄筋	SD 30	D-10	355.6	521.8
		D-13	371.0	544.6
		D-16	338.6	507.3
		D-19	359.5	514.8
		D-22	333.9	515.4
		ϕ -6	323.7	457.2
スターラップ	SR 30	$\phi 6$	323.7	457.2
		$\phi 9$	342.7	497.0

（応力単位 = kgf/cm^2 ）

表-3 実験結果一覧表

供試 体の 番号	主鉄筋 (As)	a / d	コンクリート 強度 f _c ... (kgf/cm ²)	スーラップ の径 (mm)	スーラップ 比 (%)	斜めひび割れ 荷重 (tf)		終局荷重(土示) 計算値 (tf)	せん断	実験 破壊 荷重 (tf)	終局せん断荷重 (tf)計算値 (tf)		終局せん断荷重 (tf)		スターラップ張力/全せん断力 (%)				
						計算値	実験値	曲げ			せん断	A法	B法	実験値	FEM	示方書値	A法	B法	
①	2D-16 +D-10	2.5	410	φ6	0.365	6.8	10.9	11.6	12.6	16.5	12.3	18.6	10.5	62 (Y2/3) 79 (70%)	86	58	55	18	
	φ9			0.814	6.8	10.3	11.6	21.3	18.2		21.8	16.8	92	86	36				
②	2D-19 +D-10			φ9	0.814	7.5	10.8	16.3	21.9	19.9	18.2	21.8	20.3	91 (Y1/3)	92	62	86	36	
③	2D-16 +D-10	2.75	450	φ6	0.363	7.0	7.9	10.8	13.7	14.0	12.5	18.7	10.8	68 (Y1/3) 87 (60%)	96	50	54	18	
	φ9			0.815	7.0	7.9	10.8	22.7	18.7		22.0	14.5	88	84	35				
④	2D-16 +D-13			φ9	0.815	7.3	8.4	12.2	23.0	18.1	18.7	22.0	15.8	82 (Y1/2)	95	60	84	35	
⑤	2D-19 +D-10	3.0	410	φ6	0.365	7.3	10.9	12.2	13.1	14.7	11.4	16.1	11.2	61 (Y2/3) 92 (59%)	100	50	59	21	
	φ9			0.814	7.3	7.7	12.2	21.8	17.8		19.5	17.4	92	88	40				
⑥	2D-22			φ9	0.814	8.0	7.0	15.7	22.4	19.3	17.8	19.5	20.1	94 (84%)	100	58	88	40	
⑦	2D-19 +φ6	3.25		φ6	0.363	7.6	9.6	12.1	14.3	14.3	11.7	16.4	11.6	74 (Y3/3) 71 (62%)	99	46	58	20	
	φ9			0.814	7.6	9.7	12.1	23.3	18.2		19.9	15.3	61	86	39				
⑧	2D-22 +D-10			φ9	0.815	8.5	8.2	15.4	24.3	18.1	18.2	19.9	18.4	87 (73%)	100	53	86	39	
⑨	2D-19 +D-10	3.5	450	φ6	0.363	7.8	7.9	12.0	14.5	14.0	11.4	15.5	11.6	61 (Y1/3) 100 (76%)	78	44	59	22	
	φ9			0.815	7.8	7.2	12.0	23.5	18.0		19.0	15.2	99	87	41				
⑩	2D-22 +D-13			φ9	0.815	8.7	7.6	15.1	24.4	17.4	18.0	19.0	14.8	100 (Y1/3)	98	50	87	41	
⑪	2D-19 +D-13	3.75		φ6	0.363	8.0	8.0	12.1	14.7	14.5	11.1	14.7	10.4	99 (Y3/5) 99 (Y1/3)	95	45	61	22	
	φ9			0.815	8.0	10.9	12.1	23.7	17.9		18.3	11.4	81	87	42				
⑫	2D-25			φ9	0.814	8.8	12.0	15.0	22.9	20.8	17.4	17.2	14.2	81 (88%)	100	56	90	45	
⑬	2D-22	4.0	410	φ6	0.365	8.0	12.5	11.7	13.9	16.5	10.3	13.0	10.0	65 (Y1/3) 64 (64%)	100	51	65	26	
	φ9			0.814	8.0	10.7	11.7	22.4	17.3		16.6	11.2	100	91	47				

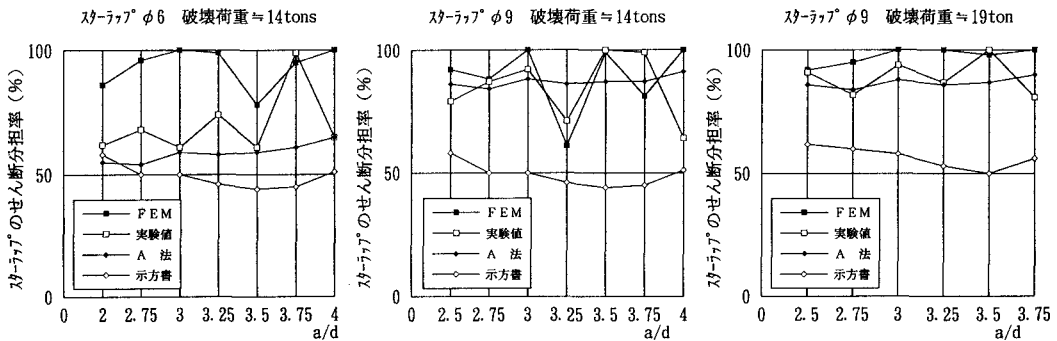


図-2 スーラップのせん断分担率

実験の破壊荷重から斜めひびわれ荷重を差し引いた残りの値をスーラップによる抵抗力と考えて、せん断分担率を求めた値である。また、建築学会の新算定法におけるスーラップのせん断分担率も並記した。これらの実験結果のうち、とくにスーラップのせん断分担率を図に示したものが図-2である。P_d=12 tの供試体のうちφ6のスーラップの実験における分担率は60~70%であり、スーラップはほとんど降伏し、せん断破壊に近い状態であった。FEMによる値は90~100%で、実験値との差は斜めひびわれに沿う骨材の摩擦力によるものと思われる。一方、φ9のスーラップではP_d=12t, 15tのいずれの場合も分担率は80~100%となっている。いずれの場合も示方書で計算された結果と比べて、スーラップの分担率が大きくなっており、示方書式の値はV_{cd}の値を過大に評価していることがわかる。また、FEM値と実験値は比較的近い値を示しており、このことより、スーラップが降伏するまでは、せん断力の大部分(80~100%)はスーラップで受け持たれ、スーラップが降伏し始めると骨材の摩擦力等が働き始めると考えられる。一方、建築学会の算定式ではA法がよく実験結果と一致していることがわかる。B法はコンクリート負担分を過大に評価しすぎている。鈴木式も実験結果と比較的よい一致を示した。この式では骨材の摩擦を無視しているため若干安全側の値を示すことがわかった。

(参考文献) 1) 鈴木・姜・尾坂: せん断補強筋を有する鉄筋コンクリートばりのせん断耐力評価に関する解析的研究, 土木学会論文集, 第426号, V-14, 1991年2月