

正負交番荷重を受けるRCはりのせん断破壊挙動について

大阪府立工業高等専門学校 正員 山田昌昭
 京都大学工学部 正員 小林和夫 井上晋
 ○京都大学工学部 学生員 九本博文

1. まえがき

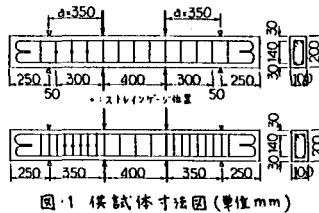
RCはり部材の設計に際し重要なことは、破壊に至るまでの変形能力が小さく、しかも急激な破壊性状を呈することの多いせん断破壊を起さないように、せん断補強筋を適切に配置することである。すなわち、じん性に富む曲げ破壊がせん断破壊に先行するように設計することが基本である。しかし、そのように設計された場合でも、地震時のように降伏変形を越える過大変形下で正負交番荷重を受けると、せん断破壊を起す可能性が非常に高くなることが既往のいくつかの研究において指摘されている。このような観点から、本研究ではRCはりの正負交番荷重時のせん断破壊状況を考察し、耐力低下の原因とその挙動を把握する目的で下記の実験を行った。

2. 実験方法

実験はせん断破壊を生じやすい荷重状態のせん断スパン・有効高さ比、 $a/d = 2.0$ の場合について、図・1に示す供試体を用いて通常の一方向載荷試験と正負交番載荷試験を実施した。供試体に使用した鉄筋はスターラップがD-6、主鉄筋がD-13およびD-16で、その機械的性質は表・1の通りである。また使用したコンクリートの配合およびはり載荷試験時の諸強度は表・2の通りである。はりは図・1に示すように、せん断スパン内に配置したスターラップの間隔を $S = 10\text{cm}$ と $S = 5\text{cm}$ の2種類とした。載荷方法は一方向載荷の場合、まず引張鉄筋が降伏するまで荷重を上げ、降伏時のスパン中央部のたわみ Δ_y を測定した後、除荷し、さらに変位 Δ_y まで2回載荷-除荷をくり返した。その後、破壊まで Δ_y の整数倍となる変位振幅レベルで各3回ずつの繰り返し載荷を実施した。一方、正負交番載荷の場合、一方向載荷で求めた Δ_y の値を用いて破壊まで、 $\pm\Delta_y$ の整数倍(1, 2, ...)の変位振幅レベルで各3回ずつの正負交番荷重の繰り返し載荷を行う場合と、1回の $\pm\Delta_y$ 変位載荷の後に、先に得られた破壊時の最大変位振幅レベルで繰り返し載荷を破壊まで行う場合の二方法を実施した。前者を記号Sで、後者をMで表示した(表・3参照)。

3. 実験結果とその考察

実験結果の一覧を表・3に示す。また、一方向載荷の場合と正負交番載荷の場合のはり中央部のたわみと荷重の履歴曲線の一部を図・3~4に、破壊状況の代表例を図・5に示す。図・2は土木学会標準方書・設計編(昭和61年制定)における計算方法で求めた耐力関係図で、D-16



図・1 供試体寸法図(単位mm)

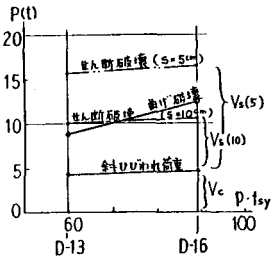
表・1 鉄筋の機械的性質

鉄筋	降伏強度 ¹⁾	引張強度 ²⁾
D-6	3200 ^{MPa}	4900 ^{MPa}
D-13	4000	5700
D-16	3800	5600

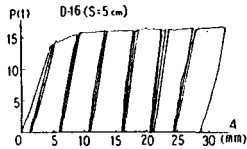
表・2 コンクリート配合および強度試験結果

骨材の最大寸法 (mm)	スパン長 (cm)	W/C	S/a	単位量 (kg/m ³)				強度 (MPa), 平均			E _c (^{10⁴} kg/cm ²)
				W	C	S	G	圧縮	曲げ	引張	
10 (計 6)	3	62.5	50	194	310	883	921	345	45	22	13.10 ⁵

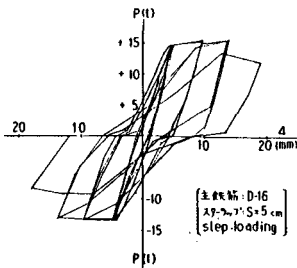
Masaaki YAMADA, Kazuo KOBAYASHI, Susumu INOUE, Hirofumi KUMOTO



図・2 はりの面内力関係図



図・3 一方向載荷の荷重-変位曲線



図・4 正負交番載荷の荷重-変位曲線

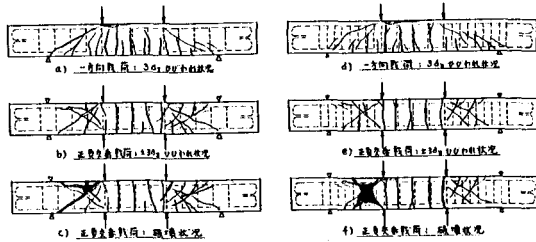
表・3 実験結果一覧表

載荷種別	主鉄筋径 (mm)	鉄筋配置	斜ひびわれ荷重 (t)		せん断耐力 (t)		せん断耐力 (t)	せん断耐力 (t)	せん断耐力 (t)	せん断耐力 (t)	せん断耐力 (t)	せん断耐力 (t)	スターラップせん断耐力率 (%)								
			計算	実験	計算	実験							計算	実験	0.0d _y	d _y	2d _y	3d _y	4d _y	5d _y	
正負交番載荷	10	D-13	S	2.24	3.0	4.12	6.0	8.83	10.7	9.3	10.0	6d _y	30	ST	+6.8	+7.2	+7.4	+7.5	+8.2	-	
			M	+	+3.0	+	+5.0	+	+10.4	+	+10.4	14d _y	12	+	-4.6	-5.4	-5.4	-5.6	-8.0	-	
		D-16	S	2.74	4.0	4.68	6.0	12.44	14.0	10.5	12.5d _y	11	+	+5.4	+5.9	+	+	+6.9	-		
			M	+	+4.0	+	+5.0	+	+12.2	+	+15d _y	2	+	-5.4	-6.3	-	-	-8.3	-		
	5	D-13	S	2.24	4.0	4.12	6.0	8.83	9.6	9.3	15.8	15d _y	35	SW	+8.6	+9.3	+7.8	+7.6	+10.0	+10.0	
			M	+	+3.0	+	+5.0	+	+10.4	+	+15d _y	30	+	-8.6	-9.3	-7.8	-7.6	-10.0	-8.6		
一方向載荷	10	D-13	S	2.24	3.5	4.12	6.0	8.83	9.8	10.0	6d _y	63mm	B	41	49	39	45	40	49	49	
			D-16	S	2.74	3.0	4.68	5.0	12.44	13.0	10.5	55d _y	50	ST	45	52	47	46	47	52	52
		5	D-13	S	2.24	3.5	4.12	6.0	8.83	9.5	15.8	6d _y	63mm	B	41	43	40	43	40	49	49
				D-16	S	2.74	+	4.68	6.5	12.44	13.6	16.4	6d _y	63mm	+	59	59	47	49	48	59

記号: S: Step-loading (段階載荷), M: Max-loading (最大値載荷)

ST: Shear-tension failure (せん断引張破壊), SW: Shear-web-crushing failure (せん断ウェブ潰壊)

B: Bending failure (曲げ破壊), d_y: 降伏時より1/2中央部のたわみ



図・5 はりの破壊状況図 (主鉄筋 D-16 の場合)

(スターラップ間隔, $S=10\text{cm}$) のはり以外は全て曲げ破壊がせん断破壊に先行するよう設計されていることを示している。図中の V_c はコンクリートのせん断分担力, V_s はスターラップのせん断分担力, 両者の和がはりのせん断耐力となる。表・3 の実験結果から分るように, 一方向載荷の場合は図・2 に示されると同様に, D-16 ($S=10\text{cm}$) 以外のはりでは全て曲げ破壊し, さわめてじん性に富んだ破壊形態を示している。斜ひびわれと交叉するスターラップのせん断分担率 (スターラップのひずみ測定値による) は破壊時まで約 50% で一定の値を保持し, 変位が増大してもスターラップ以外のせん断分担力が低下せず, せん断抵抗力が十分確保されていることを示している。また各振幅レベルでのたわみ Δ_n と Δ_y との比の累積で定義した耐力指数を表示したが, D-16 ($S=10\text{cm}$) 以外のはりでは 60 以上の高い値を示している。しかるに, 正負交番載荷では全て, せん断破壊を起し, スターラップの引張力も変位振幅の増大と共に増大し, $S=10\text{cm}$ の場合は斜ひびわれと交わる全てのスターラップは降伏し, 斜ひびわれ幅の著しい増大を伴い, 図・5 (C) のように, 最終的にせん断引張破壊を生じた。一方, $S=5\text{cm}$ の場合は $S=10\text{cm}$ と比べて耐力指数はかなり大きくなるが, 終局的にはやはりせん断力のほぼ 100% をスターラップのみで受け持ち, 最終的にはコンクリート腹部が圧潰して, せん断破壊を生じた。このことは降伏変位を越える大变位振幅下の正負交番載荷の場合, コンクリートのせん断抵抗 V_c はほとんど消失し, はりはスターラップのみでせん断に抵抗することを表している。