

V-96

大変形を伴う正負交番荷重下でのRCはりのせん断破壊挙動

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

学生員 九本博文

1. まえがき RCはりに降伏変位を越えて更に荷重を増加すると、はりには塑性変形を生じ、除荷しても残留変形が生じたり、はりとしての機能が低下したりする。このような塑性変形下におけるはりの挙動を把握しておくことはRC構造物の耐震設計上、極めて重要なことである。

一般に適切なせん断補強筋を配置したRCはりには、通常の一方向載荷の場合、大変形を伴う繰返し荷重を受けても、はりには曲げにより破壊し、そのじん性も大であることが過去の実験より明らかとなっている。しかるに、大変形を伴う正負交番荷重を載荷した場合、はりには多くの場合せん断により破壊することが指摘されている。このような観点から、本研究ではRCはりの正負交番載荷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としてせん断スパン有効高さ比、 $a/d=2.0$ および 2.9 の場合を選定し、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。はりには、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あげ、降伏時のスパン中央部のたわみ Δy を測定した後除荷し、さらに、変位 Δy まで2回載荷～除荷を繰り返した。その後破壊まで Δy の整数倍となる変位振幅レベルで各3回ずつの繰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 Δy の値を用いて破壊まで、 Δy の整数倍の変位振幅レベルで各3回ずつの正負交番荷重の繰返し載荷を行う場合と、1回の $\pm \Delta y$ 変位載荷の後に得られた破壊時の最大変位振幅レベルで、繰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例を図3～4に、破壊状況の代表例を図5に示す。図2は土木学会標準示方書、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、 $a/d=2.0$ のD-16（スターラップ間隔 $S=10\text{cm}$ ）のはり以外はずべて曲げ破壊がせん断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を示し、両者の和がはりのせん断耐力となる。実験結果（表3）からも明らかに、一方向載荷の場合は図2に示された如く、D-16（ $S=10\text{cm}$ ）以外のはりは

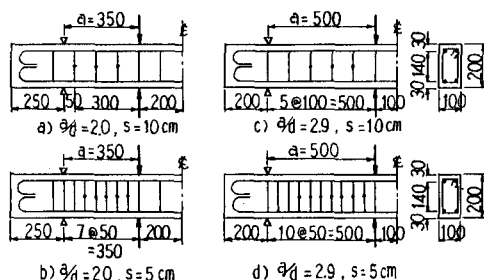


図1 供試体寸法図（単位：mm）

表2 コンクリート示方配合および強度試験結果

骨材の最大寸法 (mm)	スランツ (mm)	w/c	s/a	単位重 (kg/m³)				強度 (平均) (kg/cm²)				t/c (kg/cm²)
				W	C	S	G	圧縮	曲げ	引張	引張	
10	3	62.5	50%	194	310	883	921	345	45	22	33.10 ⁵	

表1 鉄筋の機械的性質

鉄筋	降伏点応力	引張強度
D-6	3200 % σ_s	% σ_b
D-13	4000	5700
D-16	3800	5600

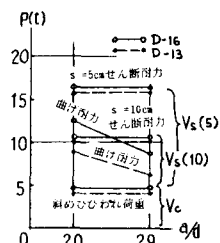


図2 はり耐力関係図

表3 実験結果一覧表

a/d	最荷重時 のせん断係数	主鉄筋 の配置 方法	曲げひびわれ荷重 (kN)		せん断ひびわれ荷重 (kN)		せん断係数	せん断係数の ばらつき	せん断係数の ばらつき	せん断係数の ばらつき	せん断係数の ばらつき	せん断係数の ばらつき	せん断係数の ばらつき	スターラップせん断分担率 (%)					
			計測	実験	計測	実験								0.8Δy	Δy	2Δy	3Δy	4Δy	5Δy
2.0	正負交番載荷	D-13	S	2.24	+3.0 -3.0	4.12	+6.0 -6.0	8.83	+10.7 -9.3	10.0	±4.4	30	ST	+6.8	+7.2	+7.4	+7.5	+8.2	-
			M	*	+4.0 -3.0	*	+5.0 -5.0	*	+10.4 -9.3	*	±4.4	12	*	+5.4	+5.9	-	-	+6.9	-
		D-16	S	2.74	+4.0 -4.0	4.68	+6.0 -6.0	12.44	+14.0 -13.0	10.5	±25.0	11	*	+5.9	+5.4	+6.3	-	-	-
			M	*	+4.0 -3.0	*	+5.0 -6.0	*	+13.5 -12.2	*	±15.0	2	*	+5.7	+7.7	-	-	-	-
		D-13	S	2.24	+4.0 -3.0	4.12	+6.0 -6.0	8.83	+10.7 -9.3	10.0	±4.4	30	SW	+8.6	+9.3	+7.8	+7.6	+10.0	+10.0
			M	*	+4.0 -3.0	*	+5.0 -5.0	*	+10.4 -9.2	*	±5.4	30	*	+6.2	+6.7	-	-	+7.3	+3.6
	一方方向載荷	D-13	S	2.24	+4.0 -3.0	4.68	+6.0 -6.0	12.44	+14.0 -13.0	16.4	±4.4	22	*	+6.1	+6.1	+6.2	+6.8	+10.0	-
			M	*	+4.0 -4.0	*	+6.0 -6.0	*	+14.4 -13.4	*	±4.4	22	*	+6.1	+6.0	-4.3	-1.2	-10.0	-
		D-16	S	2.74	+4.0 -3.0	4.68	+6.0 -6.0	12.44	+14.0 -13.0	16.4	±4.4	22	*	+6.1	+6.1	+6.2	+6.8	+10.0	-
			M	*	+4.0 -4.0	*	+6.0 -6.0	*	+14.4 -13.4	*	±4.4	22	*	+6.1	+6.0	-4.3	-1.2	-10.0	-
		D-13	S	2.24	+4.0 -3.0	4.68	+6.0 -6.0	12.44	+14.0 -13.0	16.4	±4.4	22	*	+6.1	+6.1	+6.2	+6.8	+10.0	-
			M	*	+4.0 -4.0	*	+6.0 -6.0	*	+14.4 -13.4	*	±4.4	22	*	+6.1	+6.0	-4.3	-1.2	-10.0	-
2.9	正負交番載荷	D-13	S	1.57	+2.0 -2.0	4.12	+6.0 -6.0	6.18	+7.1 -6.5	10.0	±4.4	22	ST	+2.3	+4.3	+6.2	+9.3	+10.0	-
			M	*	+2.0 -2.0	*	+5.0 -5.0	*	+7.2 -6.5	*	±3.0	22	*	+2.2	+3.0	-	-	-	-
		D-16	S	1.92	+2.0 -2.0	4.68	+6.0 -6.0	8.71	+9.4 -8.7	10.5	±4.4	26	*	+6.2	+7.5	+8.6	+9.5	+10.0	-
			M	*	+2.0 -3.0	*	+4.0 -4.0	*	+8.0 -8.0	*	±4.4	22	*	+6.2	+6.3	-	-	-	-
		D-13	S	1.57	+2.0 -2.0	4.12	+6.0 -6.0	6.18	+7.1 -6.5	15.8	±5.4	45	DS	+4.3	+6.8	+5.9	+7.3	+9.2	+10.0
			M	*	+2.0 -2.0	*	+4.0 -4.0	*	+5.6 -5.6	*	±5.4	41	*	+1.7	+3.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.0
	一方方向載荷	D-13	S	1.57	+2.0 -2.0	4.12	+6.0 -6.0	6.18	+7.1 -6.5	15.8	±5.4	45	DS	+4.3	+6.8	+5.9	+7.3	+9.2	+10.0
			M	*	+2.0 -2.0	*	+4.0 -4.0	*	+5.6 -5.6	*	±5.4	41	*	+1.7	+3.5	-9.0	-9.5	-10.0	-10.0
		D-16	S	1.92	+2.0 -2.0	4.68	+6.0 -6.0	8.71	+9.4 -8.7	16.4	±4.4	30	*	+6.9	+7.7	+8.2	+9.4	+10.0	-
			M	*	+2.0 -2.0	*	+4.0 -4.0	*	+5.6 -5.6	*	±3.3	33	*	+2.9	+4.5	-	-	-	-
		D-13	S	1.57	+2.0 -2.0	4.12	+6.0 -6.0	6.18	+7.1 -6.5	10.0	±4.4	63	B	17	22	17	17	19	20
			M	*	+2.0 -2.0	*	+4.0 -4.0	*	+5.6 -5.6	*	±4.4	63	B	17	22	17	17	19	20

S : Step-loading段階変位載荷 M : Max-loading最大変位載荷

ST : Shear-tension failureせん断引張破壊 SW : Shear-web-crushing failureウェブ圧縮破壊

B : Bending failure 曲げ破壊 DS : Direct Shear failure直接せん断破壊

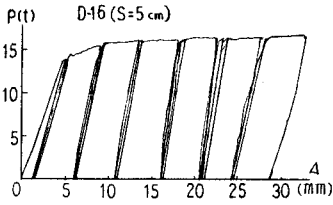
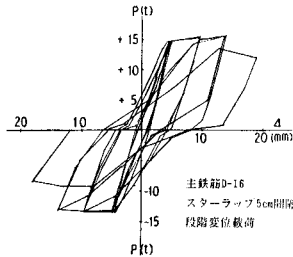
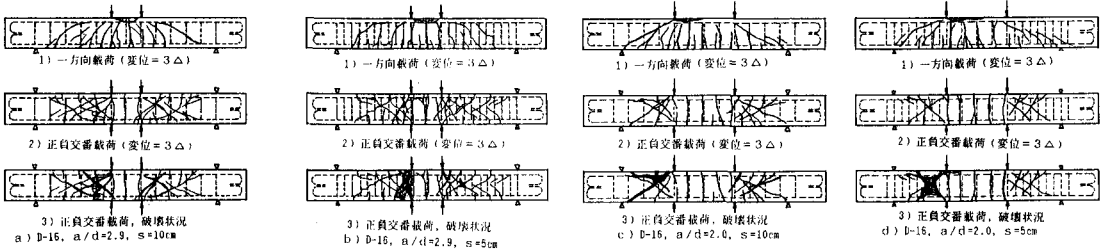
図3 一方向載荷の
荷重～変位曲線図4 正負交番載荷の
荷重～変位曲線

図5 はりひびわれ状況図

すべて曲げ破壊し、きわめてじん性に富んだ破壊形態を示している。斜め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 $a/d=2.0$ の場合約50%、 $a/d=2.9$ の場合20~80%で、変位の増大にかかわらず、ほぼ一定の値を示している。これは、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 Δn と Δy との比の蓄積で定義した耐力指数を表示したが、D-16 (S=10cm) 以外のはりは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、せん断破壊を起こし、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=10cmの場合は斜めひびわれと交わる全てのスターラップは降伏し、斜めひびわれ幅の著しい増大を伴い図5 a), c)のように、最終的にせん断破壊を生じた。一方、S=5cmの場合はS=10cmの場合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り ($a/d=2.0$ の場合)、曲げひびわれが上下連絡した荷点外側の箇所で、直接せん断破壊のなずれせん断破壊 ($a/d=2.9$) を生じた。このように降伏変位を越える大変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力 V_c はほとんど消失し、やはりスターラップのみでせん断に抵抗する。そしてスターラップの本数が不十分であればやはりせん断引張破壊を生じ、本数が十分あっても拘束力が不十分であればせん断ずれ破壊や腹部の圧潰を生じる。