

山口大学工学部 正員 加賀美 一三

山口大学大学院 学生員 〇三 浦 正昭

" " 平 野 寛

" " 有 富 範 伊

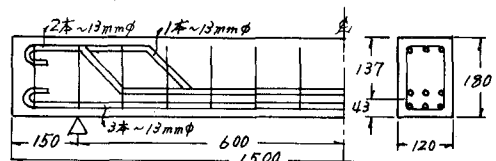
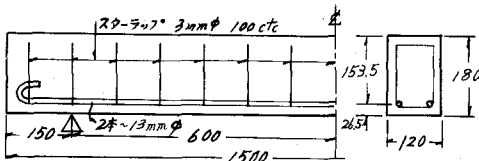
1. まえがき

鉄筋コンクリートばりの曲げ疲労に関する研究はかなり行われ、その疲労限も50%程度と報告されているが、せん断疲労に関する研究は、数少ない。著者らは、数年にわたってその研究を行って来ているものである。本報告の研究も、せん断破壊が顕著に現われると考えられる γ_d が1に近い2点負荷とし、丸鋼低鉄筋(丸鋼URC)、過鉄筋コンクリートばり(丸鋼ORC)、および、異形低鉄筋(異形URC)、過鉄筋コンクリートばり(異形ORC)の4種、各6供試体、計24供試体を造形し、スパン120cm, rpm200にて、最低荷重を1tとし、最高荷重は、先行して行った静的試験の破壊荷重をもととして、表-1のように決定し疲労試験を実施した。本研究において、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限は、N-S関係より4種のはりとも、くり返し回数100万回において、0.45 P_u 程度と認められ、さらに、ひずみの変化も、荷重段階が0.45 P_u 程度でほぼ安定することから、せん断疲労限は、静的破壊荷重の45%程度と考えられる。さらに、たわみ、ひずみ、ひびわれおよび破壊、破壊荷重などから、鉄筋コンクリートばりの破壊機構を考究し、 γ_d による破壊様相の判定の立証をなし、また、はりの運動方程式よりすぐに誘導している動的挙動下におけるたわみ、曲げモーメント、せん断力値を計算照査したものである。

2. 実験

セメントは普通ポルトランドセメント、骨材は、碎石粗骨材と一般砂を用い、 $\sigma_{ck}=150 \text{ kg/cm}^2$ である。鉄筋は、普通丸鋼は公称径13mm、異形丸鋼は12.7mmのもので、降伏応力度は、各々2995, 3740 kg/cm^2 である。はり供試体の寸法および配筋図は、図-1の通りである。

図-1 丸鋼低鉄筋(左図)、過鉄筋(右図)コンクリートばりの設計図(異形はりはスック部のみ異なる)



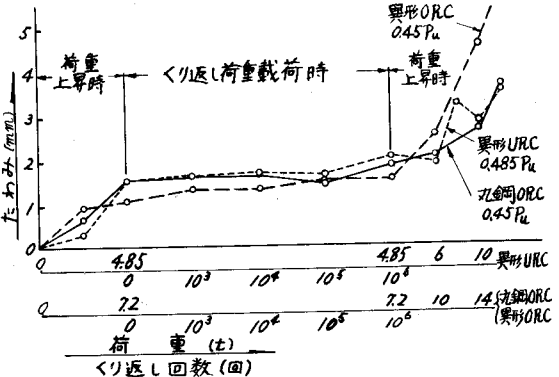
ひずみ測定のためのペーパーストレインゲージは、図-2 ペーパーストレインゲージの位置および荷重状態。図-2のように、はりの両側面に接着し、その平均値をとってひずみとした。

3. 実験結果および考察

(1) $9/16$ による鉄筋コンクリートばりの破壊様相の判定は、くり返し荷重載荷の場合の鉄筋コンクリートばりの破壊機構にも適用できる。本実験では、すべて、せん断破壊を表わし、実際の破壊状態と完全に一致した。

図-3 疲労試験における荷重とたわみの関係

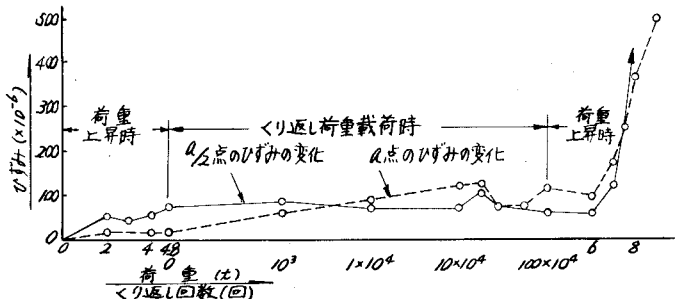
(2) 低鉄筋コンクリートばりが、静的、疲労試験ともに、過鉄筋コンクリートばりより大きいたわみを示したが、これは、主鉄筋量に影響されるものといえる。すなわち、たわみの大きいことははりとして曲げ応力度が大きく誘起されることから、その影響が大きくなり、低鉄筋コンクリートばりは、曲げ-せん断破壊の領域に近く、過鉄筋コンクリートばりは、断面に誘起される曲げ応力度が割合に小さいこととなる。すなわち、主として、せん断応力が影響し、せん断破壊の様相が強くなるものと考えられる。また、破断直前のたわみ値は、4~5 mm である。



(3) 曲げひびわれの間隔は、異形ばりではほぼ等間隔に生じ、ひびわれ長は、主鉄筋量の関係で、低鉄筋ばりで長く、過鉄筋ばりは短い。また、ひびわれ長の大きい曲げひびわれが、スパン中央付近よりも、支点近くに生ずる傾向が認められた。これは、支点近くでは、曲げの影響にせん断力の影響が加味されるためではないかと考えられる。次に、斜引張りひびわれは、 $0.45P_u$ 程度以下の荷重では発生しないようである。また、すべてのばりにおいて、Double shear crack を生じ、丸鋼低鉄筋ばりを除く異形低鉄筋ばり、丸鋼、異形過鉄筋ばりにおいて顕著に現われ、とくに、過鉄筋ばりでは、その現象が著しかった。これは、丸鋼低鉄筋ばりに比し、丸鋼過鉄筋ばりは鉄筋量が多く、異形ばりでは、異形鉄筋により付着力が大きく、はりとして安定であるから、斜引張り応力度の影響が均一に幅広く現われ、くり返し荷重の影響により、逐次、Peeling away action によって、いわゆる Double shear crack の現象を生じるものと考えられる。

図-4 丸鋼URC、 $0.44P_u$ の $9/16$ 点と a 点のひずみの変化

(4) ひずみの変化の一例として、疲労試験における丸鋼低鉄筋ばりの荷重段階が $0.44P_u$ の場合を示すと、図-4 のとおりである。最大ひずみは、破壊時付近では、大部分のばりにおいて、せん断スパンの中央にある $9/16$ 点に生じ、それ以前の動的挙動下では、



Double shear 区間、すなわち、 $\frac{9}{2}$ と α との間に交互に最大ひずみが生じる傾向が認められた。これはくり返し荷重の影響により、せん断応力の再分配が行われるためと考えられる。また、最高荷重を一定とした動的挙動下のひずみの変化は、すべてのはりにおいて、荷重段階が0.50 P_u 程度以上では、ひずみの変化が著しく、0.45 P_u 程度の荷重段階では、図-4のように、わずかな変化は認められるが、ほぼ安定している。したがって、この点から、鉄筋コンクリートはりのせん断疲労限度は、0.45 P_u 程度と考えられる。

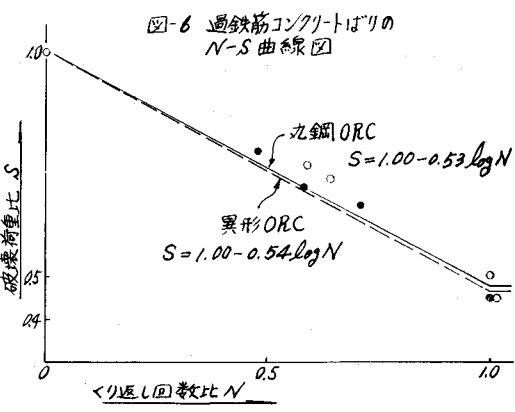
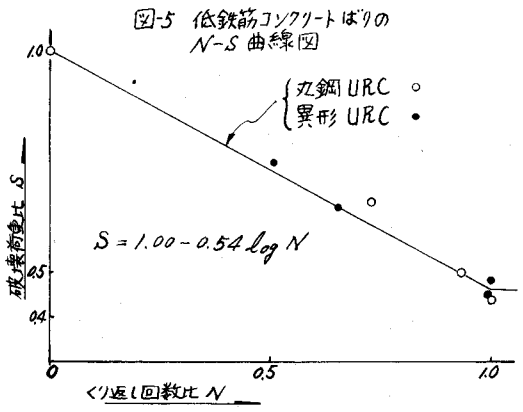
表-2 破壊荷重と破断荷重

(5)破壊、破断荷重の測定結果および静的破壊、破断荷重に対する疲労試験の破壊、破断荷重の比を示すと、表-2のようである。まず、破壊荷重に関しては、疲労試験における破壊荷重は、静的破壊荷重に比してすべて低下し、荷重段階が0.65 P_u 程度で、最も低下するようである。これは、0.65 P_u 以上の高い荷重段階では、くり返し荷重による疲労の影響が大きく、それ以下0.45 P_u 程度の低い荷重段階では、くり返し荷重による疲労効果はどの要因が加わっても、強度の低下が小さくなるものと考えられる。また、破断荷重に関しては、静的破断荷重に対して、疲労試験の破断荷重は、荷重段階のいかんにかかわらずほぼ同程度の低下をきたした。

種 類	荷重段階	くり返し回数	初期荷重	破壊荷重	破断荷重	破壊荷重(疲労)	破断荷重(疲労)
						静的破壊荷重	静的破断荷重
U R C	丸鋼はり	静的試験	—	5.6	11.0	13.4	—
		1 0.80 P_u	0	6.0	8.8	11.0	0.80
		2 0.66 P_u	2,400	7.2	7.3	11.0	0.66
		3 0.57 P_u	100万	5.5	8.1	10.3	0.74
		4 0.50 P_u	92万	5.0	10.0	11.4	0.91
	異形はり	静的試験	—	7.0	10.0	13.9	—
		1 0.75 P_u	1,100	6.5	7.5	11.1	0.75
		2 0.65 P_u	8,200	5.0	6.5	10.6	0.65
		3 0.485 P_u	100万	4.85	8.3	10.1	0.83
		4 0.45 P_u	65万	7.3	9.8	11.7	0.98
O R C	丸鋼はり	静的試験	—	7.0	16.0	21.1	—
		1 0.75 P_u	3,300	7.6	12.0	17.2	0.75
		2 0.72 P_u	10,000	10.7	15.5	16.2	0.72
		3 0.50 P_u	100万	7.0	14.3	18.7	0.89
		4 0.45 P_u	100万	7.2	12.8	16.0	0.80
	異形はり	静的試験	—	9.6	16.0	22.6	—
		1 0.78 P_u	3,000	9.5	12.5	16.5	0.78
		2 0.70 P_u	10,000	9.0	11.2	16.4	0.70
		3 0.656 P_u	20,000	8.1	10.3	16.9	0.656
		4 0.59 P_u	100万	9.0	14.8	16.5	0.93
		5 0.45 P_u	100万	10.5	15.8	18.1	0.94

破断荷重は、くり返し荷重による疲労試験体のひずみ効果はどの要因が加わっても、強度の低下が小さくなるものと考えられる。また、破断荷重に関しては、静的破断荷重に対して、疲労試験の破断荷重は、荷重段階のいかんにかかわらずほぼ同程度の低下をきたした。

(6)表-2より、縦軸に破壊荷重比、 S (静的破壊荷重に対する疲労試験の最高荷重の比)、横軸にくり返し回数比、 N (くり返し回数/100万回を1と1.2)をとって、最小自乗法を適用して $N-S$ 曲線を求めると、図-5,6のようになる。



図から明らかのように、すべりのほりとも、くり返し回数100万回において、破壊荷重比の値が、0.45程度であることから、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限は、静的破壊荷重の45%程度と考えられ、ひずみの変化から求めた疲労限と一致した。

(7)鉄筋コンクリートばりについて、はりの運動方程式よりすべり誘導し、くり返し荷重載荷時におけるたわみ、曲げモーメントおよびせん断力の理論値は、たわみは、実測値とほぼ一致し、曲げモーメント、せん断力は、等荷重載荷とみなした場合の静的な曲げモーメント、せん断力より、いく分、小さくなる結果をえた。一例として、つぎの式より計算したせん断力の結果を示すと、表-3のとうりである。表中、 S_{da} は、せん断スパン a の位置の理論せん断力、 S_{sta} は、等荷重載荷とみなした場合の静的なせん断力である。

表-3 動的せん断力値

供試体の種類	荷重 回数	荷重		
		S_{da} (kg)	S_{sta} (kg)	S_{da} S_{sta}
URC	丸鋼 はり	0.80Pu 6.0t	2671	3000 0.89
		0.66Pu 6000	3234	3650 0.89
		0.57Pu 1x10 ⁶	2786	3150 0.89
		0.50Pu 5x10 ⁶	2449	2750 0.89
		0.44Pu 100x10 ⁶	2069	2400 0.86
	異形 はり	0.75Pu 7.0t	3187	3500 0.91
		0.65Pu 1800	2925	3250 0.90
		0.485Pu 100	2178	2425 0.90
		0.45Pu 10x10 ⁶	1996	2250 0.89
		0.75Pu 5.0t	2255	2500 0.90
ORC	丸鋼 はり	0.75Pu 6.2t	2993	3100 0.97
		0.72Pu 9.3t	4444	4650 0.96
		0.50Pu 25x10 ⁶	3847	4000 0.96
		0.45Pu 12.0t	5701	6000 0.95
		0.72Pu 100	5457	5750 0.95
	異形 はり	0.78Pu 750	6058	6250 0.97
		0.70Pu 5.0t	2417	2500 0.97
		0.66Pu 2500	5236	5250 1.00
		0.57Pu 5000	4693	4750 0.99
		0.45Pu 1000	3487	3600 0.97

$$S_{da} = 0.396 P_0 + 0.319 P_0' r^2 \left\{ \frac{0.809}{r^2 - \omega^2/p_1^2} + \frac{0.476}{r^2 - \omega^2/p_2^2} + \frac{0.103}{r^2 - \omega^2/p_3^2} - \frac{0.147}{r^2 - \omega^2/p_4^2} \right\}$$

4. 結 言

本実験はらびに理論的研究の結果えられた事項は、つぎのとうりである。

(1)静荷重載荷時における a/d によるはりの破壊様相の判定の理論は、くり返し荷重載荷時における鉄筋コンクリートばりの破壊機構にも適用できる。

(2)低鉄筋ばりが高鉄筋ばりより大きいたわみを示し、割合に大きい曲げ応力度の誘起となり、前者は、曲げせん断破壊、後者は、せん断応力に影響され、せん断破壊の様相が強いことを立証している。

(3)すべりのほりにおいて、Double shear crackが生じ、丸鋼低鉄筋ばりを除くほりにおいて、鉄筋量、付着力などの関係から、ほりとして安定となり、斜引張り応力の影響が均一かつ幅広く現われ、とくに、その傾向が著しい。また、最大の曲げひずみは、スパン中央よりも支座近くに生じた。

(4)最大ひずみは、破壊時付近では、せん断スパンの中央に生じ、それ以前の段階では、Double shear区間に生じる傾向が認められた。また、動的挙動下のひずみの変化は、荷重段階が、0.45Pu程度でほぼ安定する。このことから、せん断疲労限は、45%程度と考えられる。

(5)疲労試験における破壊および破断荷重は、静的破壊および破断荷重よりも小さくなる。

(6) $N-S$ 関係より、すべりのほりでも、くり返し回数100万回において、せん断疲労限は、45%程度となり、ひずみの変化より求めた疲労限と一致する。

(7)動的たわみ、曲げモーメント、せん断力の理論値は、良好なる結果をえた。

以上の考察より、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限は、静的破壊荷重の45%程度であると考えられる。

本実験を行なうにあたり、ご協力いただいた長谷川博氏、兼行啓治氏および井手雄生(千葉県)、会田憲義(北九州市)、小金健(熊谷組)、田部丸聰(前田建設)の諸君に感謝の意を表す。