

1.-18 鉄筋コンクリートばりのせん断疲労に関する研究

山口大学工学部 正 員 工博 加賀美 一二三
山口大学大学院 学生員 ○三 浦 正 昭
" " 平 野 寛

I. 緒 言

現在、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、その疲労限度も50%程度と報告されているが、せん断疲労に関する研究はまだ研究の途上にあるのが現状である。著者らは、数年にわたってその研究を行ない、2,3の補足実験を残してほぼ終了したものである。その実験研究の経過は、オー報として、土木学会論文集、オ137号に投稿し、オニ報として、土木学会中四国支部の昭和42年度學術講演会に発表したのである。今回の実験もせん断破壊が顕著に現れると考えられる q/d が1に近い二点負荷とし、丸鋼低鉄筋コンクリートばり(丸鋼UFC)、異形低鉄筋コンクリートばり(異形UFC)各6供試体計12供試体を造形し、スパン120cm、強制力の振動周期rpm 200に、最低荷重は1セとし、最高荷重は先行して行、た静的試験の破壊荷重を基として決定し、疲労試験を実施した。また、丸鋼および異形低鉄筋コンクリートばりについては、検討中であるが、後ほど、まとめて報告する予定である。本研究において、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限度は、くり返し回数100万回において、N-S関係より、丸鋼および異形低鉄筋コンクリートばりとも、0.45 σ_c 程度と認められ、さらに、ひずみの変化も荷重段階が0.45 σ_c 程度で、ほぼ安定していることより、これを立証しているものと考えられる。さらに、たわみ、ひずみ、ひびわれおよび破壊、破断荷重より鉄筋コンクリートばりの破壊機構を考究し、 q/d および破壊曲げモーメント M_u による破壊様相の判定の立証をなし、また、ば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値、曲げモーメント値およびせん断力値の理論値を計算し照査したのである。

II. 実験供試体

セメントは普通ポルトランドセメントを用い、骨材は砕石粗骨材と一般砂で、 $\sigma_{ck}=150 \text{ kg/cm}^2$ とし鉄筋は普通丸鋼と異形丸鋼を用い、公称径および降伏強度は、おのおの13mm, 12.7mmおよび2995 kg/cm^2 , 3740 kg/cm^2 である。はり供試体の設計図およびペーパーストレッチレインゲージの位置、荷重状態を示すと、図-1, 2の通りである。

図-1. 丸鋼低鉄筋コンクリートばりの設計図

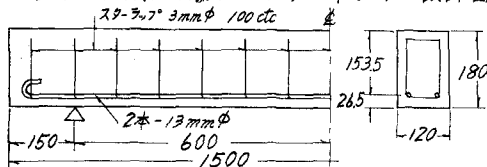
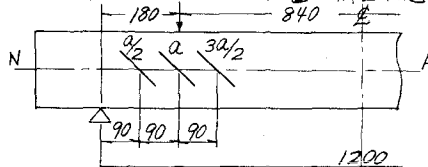


図-2. ストレインゲージの位置と荷重状態



III. 実験結果および考察

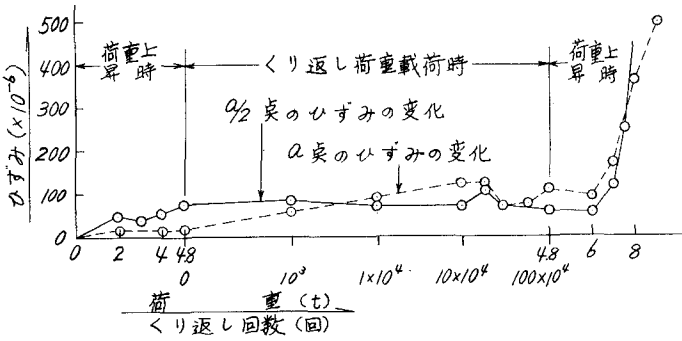
(1) q/d による破壊領域の判定は、静荷重載荷の場合と同様に、くり返し荷重載荷の場合にも適用できる。本実験では、せん断破壊の領域を示し、実際の破壊状態と完全に一致した。

(2) ひびわれの間隔は、曲げひびわれの間隔は、異形低鉄筋ばりでは、ほぼ等間隔に生じ、その長

さは、異形鉄筋による付着力の影響で、異形低鉄筋ばりが丸鋼低鉄筋ばりより短い。また、ひびわれ長の大きい曲げひびわれは、スパン中央よりも支束近くに生じる傾向が認められた。これは、斜引張りひびわれの発生によりひずみの再分配が生じ、ひずみ分布が曲げモーメントに比例した分布とはならず、支束寄りに大きなひずみを生じるのではないかと考えられる。つぎに、斜引張りひびわれは0.45P_u程度以下の荷重までは発生しない。また、丸鋼、異形低鉄筋ばりともに、Double shear crackが生じ、後者において、特に顕著に現われた。これは、後者においては、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 σ_t 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。

(3)最大ひずみの誘起点、斜引張りひびわれの発生により大部分のはりにおいて、せん断スパンの中央、 $l/2$ にあり、くり返し荷重載荷の動的挙動下においては、せん断応力の再分配のため $l/2$ と $l/4$ の間の Double shear 区間に生じる傾向が認められた。また、荷重段階が0.50P_u程度以上では、ひずみの変化が著しく、0.45P_u程度までは、ほぼ安定し、この点から、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限は0.45P_uと考えられる。一例として、丸鋼低鉄筋ばり、0.44P_uの場合のひずみの変化を示すと図-3のとうりである。

図-3. 疲労試験、丸鋼低鉄筋ばり、0.44P_uの
 $l/2$ 点と $l/4$ 点のひずみの変化



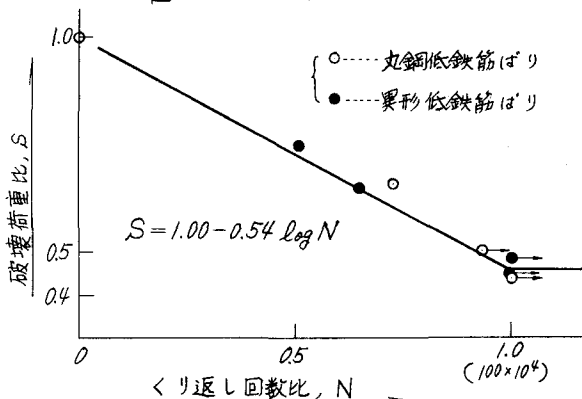
(4)破壊荷重および破断荷重の測定結果とその比較は表-1のとうりである。破壊、破断荷重とも静的試験の場合より低下し、破壊荷重については、0.65P_u程度まで漸次低下し、それ以下の荷重段階では低下の割合が小さくなる。これは0.65P_u程度までは疲労の影響が大きく、それ以下の低い荷重段階では、ひずみ効果などの要因が加わって、はり強度の低下が小さくなるものと考えられる。破断荷重については、丸鋼低鉄筋ばりが異形低鉄筋ばりより、低下の割合がわずかに小さいようであるが、これは、前者はくり返し荷重によるひずみ効果の影響ではりの強度の低下が小さくなるのに比して、後者は異形鉄筋のふしによる応力集中のために、強度の低下が大きくなるものと思われる。

表-1. 破壊荷重と破断荷重の測定結果およびその比較

はりの種類	荷重段階	くり返し回数	初期材料のひずみ荷重 (t)	破壊荷重 (t)	破断荷重 (t)	疲労試験の破壊荷重 静的破壊荷重	疲労試験の破断荷重 静的破断荷重
丸鋼低鉄筋ばり	静的試験	S	5.6	11.0	13.4	—	—
	0.80 P _u	1	6.0	8.8	11.0	0.80	0.82
	0.66 P _u	2	7.2	7.3	11.0	0.66	0.82
	0.57 P _u	3	5.5	8.1	10.8	0.74	0.81
	0.50 P _u	4	5.0	10.0	11.4	0.91	0.85
	0.44 P _u	5	8.8	9.5	11.4	0.86	0.85
異形低鉄筋ばり	静的試験	S	7.0	10.0	13.9	—	—
	0.75 P _u	1	6.5	7.5	11.1	0.75	0.86
	0.65 P _u	2	5.0	6.5	10.6	0.65	0.76
	0.485 P _u	3	4.85	8.3	10.1	0.83	0.73
	0.45 P _u	4	7.3	9.8	11.7	0.98	0.84
	0.75 P _u	5	6.3	8.8	9.8	0.88	0.71

(5)表-1に示したくり返し回数と破壊荷重より、縦軸に破壊荷重比、 S 、横軸にくり返し回数比、 N をとって、最小自乗法を適用して N - S 曲線を求めると、図-4のようになる。図から明らかなように丸鋼および異形低鉄筋ばりとも同一曲線

図-4. N - S 曲線図



となり、くり返し回数100万回において破壊荷重比が0.45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、 $0.45P_u$ 程度と考えられ、これは、ひずみの変化による考察と一致する。

(6)すでに誘導している動的たわみ、曲げモーメント、せん断力の理論式の値は、たわみ値は、実測値とよく一致し、曲げモーメント、せん断力値は、静的曲げモーメント、せん断力値よりわずかに小さくなる結果を得た。一例として、次式より求めたせん断力値 S_{da} を示すと表-2のとうりである。

$$S_{da} = 0.396 P_0 + 0.319 P_0 r^2 \left\{ \frac{0.809}{r^2 - \frac{\omega^2}{P_1^2}} + \frac{0.476}{r^2 - \frac{\omega^2}{P_2^2}} + \frac{0.103}{r^2 - \frac{\omega^2}{P_3^2}} - \frac{0.147}{r^2 - \frac{\omega^2}{P_4^2}} \right\}$$

IV. 結 言

(1) $9d$ による鉄筋コンクリートばりの破壊領域の判定は、静的試験の場合と同様に、疲労試験にも適用できる。

(2) 丸鋼、異形低鉄筋ばりとも、Double shear crack を生じ、特に後者において著しい。曲げひびわれは、静的の場合より疲労試験の方が大きく、最大の曲げひびわれは、スパン中央よりも支梁近くに生じる傾向が認められた。

(3) 最大ひずみは動的挙動下ではDouble shear 区間に生じるが、斜引張りひびわれの発生によりせん断スパンの中央に生じる。動的挙動下におけるひずみの変化は、荷重段階が $0.45P_u$ 程度で安定する。したがって、このことから、せん断疲労限は $0.45P_u$ 程度と考えられる。

(4) 破壊荷重および破断荷重とも静的試験の場合より小さくなる。

(5) N - S 関係より丸鋼、異形低鉄筋ばりとも、くり返し回数/100万回において破壊荷重比が0.45程度となることから、せん断疲労限は、 $0.45P_u$ 程度と考えられ、ひずみの考察と一致する。

(6) 動的たわみ値、曲げモーメント値、せん断力値の理論計算結果は、良好なる結果をえた。

以上が研究結果であるが、鉄筋コンクリートばりのせん断疲労限は、丸鋼低鉄筋ばりおよび異形低鉄筋ばりとも、 $0.45P_u$ であると考えられる。

本実験を行うにあたり、ご協力いただいた長谷川博氏、兼行啓治氏、42年度の卒論の有富範伊(山口大学大学院)、井手雄生(千葉県)、会田憲義(北九州市)、小金健(熊谷組)、西郎丸聰(前田建設)の諸君に感謝の意を表する。

表-2. せん断力値の計算結果。

種類	荷重段階	荷重およびくり返し回数	S_{da} (kg)	S_{sta} (kg)	S_{da}/S_{sta}
丸鋼低鉄筋ばり	0.30 P_u	6.0 ±	2671	3000	0.89
	0.66 P_u	6.000	3234	3650	0.89
	0.57 P_u	1 × 10 ⁴	2786	3150	0.89
	0.50 P_u	5 × 10 ⁴	2449	2750	0.89
	0.44 P_u	100 × 10 ⁴	2069	2400	0.86
異形低鉄筋ばり	0.75 P_u	7.0 ±	3187	3500	0.91
	0.65 P_u	1,800	2925	3250	0.90
	0.485 P_u	100	2173	2425	0.90
	0.45 P_u	10 × 10 ⁴	1996	2250	0.89
	0.75 P_u	5.0 ±	2255	2500	0.90