

V-206 RCはりの曲げ疲労特性について

鳥取大学 正員 西林新蔵
鳥取大学 正員 〇井工正一
鳥取大学 学員 加古達

1 まえがき

第33回、34回年次大会において、鉄筋量の多少が疲労強度や破壊様式、さらには変形特性(たわみ、ひびわれ幅など)に及ぼす影響について報告した。ここでは、RCはりをコンクリートと鉄筋素材からなる複合材料とみなし、これら素材の応力と疲労寿命の関係について述べる。

2 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメントを、骨材は砕石(最大寸法20mm, 比重2.65), 普通砂と砕砂の混合砂(比重2.59, F.M.=2.73)を使用した。コンクリートの配合を表-1に、供試体の形状寸法と載荷方法を図-1に示す。主鉄筋量は、弾性設計法によるほぼつり合い鉄筋比(Aシリーズ)と、繰返し荷重下で圧縮域のコンクリートが疲労破壊することを想定し、ACI規準の塑性設計法によるつり合い鉄筋比の約75%の鉄筋比(Bシリーズ)の2種類とした。疲労試験における繰返し載荷速度は5Hz, 荷重と時間との関係は正弦波形である。

設定下限荷重は、はりの終局荷重の実験値の10%と一定にし、上限荷重比は終局荷重に対する百分率で表わし、50%から90%の範囲内で(5~10)%間隔で選んだ。

3 試験結果と考察

表-2に各打設日ごとのコンクリート強度と1/3割線弾性係数の平均値を、表-3, 4には、はり供試体の静的破壊試験および疲労試験の結果をそれぞれ示す。

1) 曲げ応力(ひずみ) 図-2は、静的破壊試験におけるはり上縁から1cm位置でのコンクリートと、鉄筋の荷重~ひずみ関係を示す。図中の計算値は、コンクリートと鉄筋の応力~ひずみ関係を弾性完全塑性体で近似し、鉄筋とコンクリートの付着は完全であると仮定して求めた。図より、実験値と計算値はかなりよく一致しているといえる。表-5には、この計算結果をもとに、各上限荷重比に相当する荷重が作用した時のコンクリート上縁応力と鉄筋応力の計算値を示す。

2) コンクリートおよび鉄筋応力とはりの疲労寿命 プレーンコンクリートに対して、従来行われた中心圧縮載荷および偏心圧縮載荷試験で得られた S_c-N 線

表-1 示方配合

スランパ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
4±1	45	38	148	329	717	1248

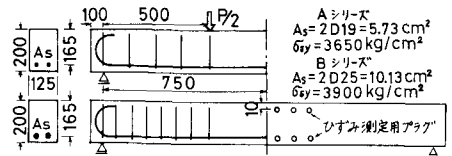


図-1 はりの詳細

表-2 コンクリートの強度

材料	28日	疲労試験時(100日以上)			シリーズ
打設日	σ_{cu}	σ_c	σ_t	$E_c(\times 10^5)$	
I, II	42.0	54.6	46.3	3.71	A
III	43.2	59.4	47.3	3.68	
IV	40.1	50.6	45.7	3.64	
V	42.3	56.4	46.5	3.73	B

単位: (kg/cm²)

単位: (kg/cm²)

表-3 静的破壊試験の結果

供試体の種類	終局荷重 実験値 $P_u(t)$	終局荷重 計算値 $P_{uc}(t)$	$\alpha = P_u/P_{uc}$	破壊様式	供試体の種類	終局荷重 実験値 $P_u(t)$	終局荷重 計算値 $P_{uc}(t)$	$\alpha = P_u/P_{uc}$	破壊様式
AS-1	13.5	12.5	1.08	C	AF60-2	13.9	12.5	1.11	C
AS-2	13.7	12.4	1.10	C	AF60-3	14.2	12.5	1.14	C
AS-3	13.7	12.5	1.10	C					
AS-4	13.8	12.6	1.09	C					
AS-5	13.9	12.5	1.11	C					
BS-1	22.0	21.5	1.02	C	BF50-2	22.9	21.5	1.06	C
BS-2	21.0	21.0	1.00	C	BF50-3	23.4	21.5	1.09	C

表-4 疲労試験の結果

はりの種類	破壊回数 N	破壊様式	破壊位置	はりの種類	破壊回数 N	破壊様式	破壊位置
AF90-1	500	C	B.S.	AF70-2	403000	F	B.S.
AF90-2	800	C	B.S.	AF70-3	413000	F	B.S.
AF90-3	4500	C	B.S.	AF70-4	422000	F	B.S.
AF90-4	5500	C	B.S.	AF70-5	490000	F	B.S.
AF90-5	19000	F	B.S.	AF70-6	623000	F	S.S.
AF90-6	51000	F	B.S.	AF65-1	559000	F	B.S.
AF85-1	4100	C	B.S.	AF65-2	890000	F	S.S.
AF85-2	10200	C	B.S.	AF65-3	1090000	F	B.S.
AF85-3	16000	C	B.S.	AF65-4	1270000	F	B.S.
AF85-4	27000	C	B.S.	AF65-5	1560000	F	B.S.
AF80-1	79000	F	B.S.	AF60-1	2100000	F	B.S.
AF80-2	85000	F	B.S.	AF60-2	>2000000	-	-
AF80-3	107000	F	B.S.	AF60-3	>2000000	-	-
AF80-4	140000	F	B.S.	BF80-1	3500	C	B.S.
AF80-5	147000	F	B.S.	BF70-1	145000	C	B.S.
AF80-6	255000	F	B.S.	BF70-2	209000	C	B.S.
AF75-1	237000	F	B.S.	BF60-1	473000	C	B.S.
AF75-2	251000	F	B.S.	BF60-2	630000	C	B.S.
AF75-3	267000	F	B.S.	BF60-3	647000	C	B.S.
AF75-4	315000	F	B.S.	BF50-1	1560000	F	B.S.
AF75-5	383000	F	B.S.	BF50-2	>2000000	-	-
AF70-1	348000	F	B.S.	BF50-3	>2000000	-	-

AF90-5 → はり終局荷重
Aシリーズ F 疲労試験
Bシリーズ S 静的試験
破壊様式 { C: コンクリートの圧縮破壊
F: 鉄筋の疲労破壊
破壊位置 { B.S.: 曲げスパン
S.S.: セン断スパン

式を表-6に示す。図-3は、表-5の計算値をもとに、縦軸に、はり上縁におけるコンクリートの圧縮応力比（計算値と圧縮強度の比）を、横軸に、はりの疲労寿命を採っている。図中の斜線領域は、中心圧縮疲労試験における S_c-N 線式（表-6）の上限値と下限値の範囲を、直線Bは、偏心載荷（偏心距離 $e=h/6$ ， h ：供試体の厚さ）試験による三角形分布の圧縮応力を受ける場合の S_c-N 線式を表わしたものである。図より、コンクリート圧潰型の破壊をしたはり（●■）に着目すると、強度比が大きく、とくに $S_c=0.9$ 以上においては、プロット点は全て直線Bの上側にある。一方、強度比が0.9以下においては、直線Bの下側にあり、強度比の減少とともに中心圧縮試験における斜線領域に近づく傾向が見られる。このことは、RCはりの設計において、応力勾配の存在によって疲労強度が増加するという現象を過大に評価すべきでなく、中心圧縮試験で得られた S_c-N 関係に基づいてコンクリートの疲労強度を決定するのが適切であることを示唆している。

同様に、図-4は、鉄筋の応力比（計算値と降伏点強度との比）とはりの疲労寿命との関係を示す。図より、鉄筋の応力比が同

表-6 S_c-N 線式

研究者	S_c-N 線式	F.S.	載荷法
Antrim	$\log N = 20.5 - 0.214 S_c$	66.4	圧縮 ($e=0$)
Bennet	$\log N = 21.6 - 0.232 S_c$	65.9	
Raju	$\log N = 16.1 - 0.157 S_c$	62.4	
Sakata	$\log N = 19.4 - 0.191 S_c$	68.6	
Matsushita	$\log N = 18.4 - 0.198 S_c$	61.1	
Ople	$\log N = 18.2 - 0.182 S_c$	65.4	偏心 ($e=h/6$)
Ople	$\log N = 28.5 - 0.265 S_c$	87.5	

F.S. : 200万回疲労強度

コンクリート圧潰型のそれに比べてかなり長くなることがわかる。このことは、耐用期間中の設計荷重や設計繰返し回数に対して、鉄筋で破断するような鉄筋比を選定してやることによって、疲労強度をやや大きく採れることを示している。

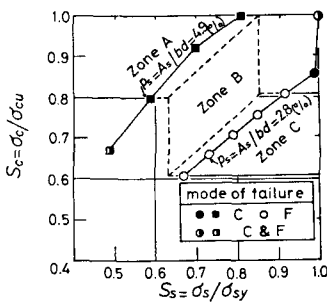


図-5

3) フリ合い鉄筋比の存在について

図-5において、鉄筋量が増加するに伴って応力状態はZone CからAに移行する。いま、繰返し荷重を受けるRCはりのフリ合い鉄筋比を、コンクリートの圧潰と鉄筋の破断が同時に起こるような鉄筋比と定義することにする。図より、200万回以内に破壊したはりにおいて、鉄筋比2.8%から4.9%の間で破壊様式が変化し、疲労を考慮した設計においてもフリ合い鉄筋比が存在するものと推察される。

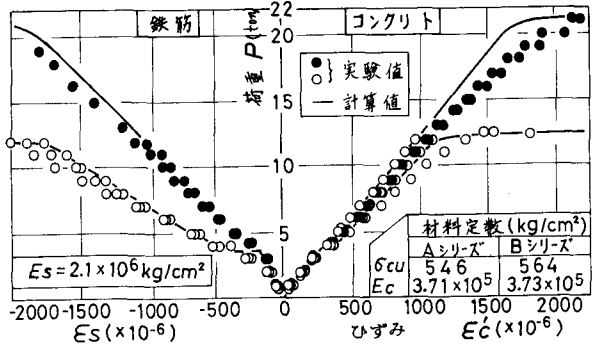


図-2 荷重～ひずみ関係

表-5 荷重比と応力比の関係

荷重比 S (%)	鉄筋			コンクリート		
	ひずみ εs (×10 ⁻⁶)	応力 σs (kg/cm ²)	Ss = σs/σsy	ひずみ εc (×10 ⁻⁶)	応力 σc (kg/cm ²)	Sc = σc/σcu
90	3561	3650	1	1731	546	1
85	1697	3563	0.98	1267	470	0.86
80	1591	3341	0.92	1197	444	0.81
75	1486	3120	0.85	1126	418	0.77
70	1381	2883	0.79	1054	391	0.72
65	1227	2681	0.73	976	362	0.66
60	1173	2463	0.67	908	337	0.62
80	1508	3167	0.81	1586	564	1
70	1303	2736	0.70	1397	521	0.92
60	1103	2316	0.59	1203	449	0.80
50	909	1907	0.49	1011	377	0.67

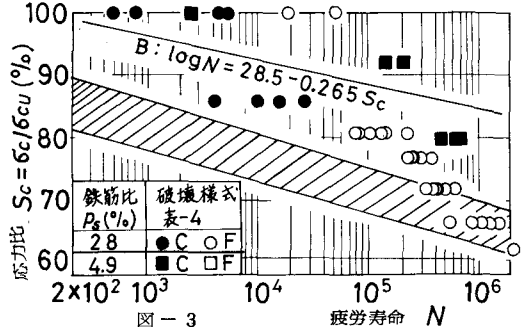


図-3

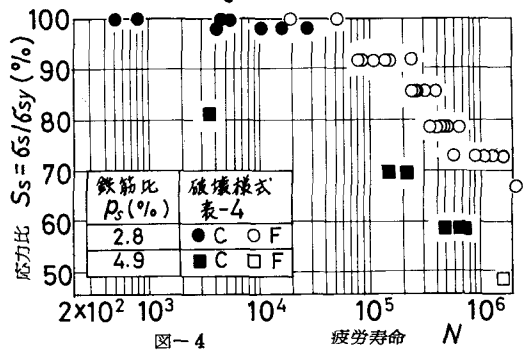


図-4