

鳥取大学 正員 西林 新蔵
鳥取大学 正員 井上 正一
鳥取大学 学生員 ○大谷 公行

1. まえがき 応力勾配を有するコンクリートの疲労強度は、一様圧縮下のそれよりも大きくなることが知られている。ここでは、はり上縁コンクリート応力を低減し、一軸圧縮応力下の $S_c-\bar{N}$ 線式からコンクリート圧潰型の破壊を示すはりの疲労寿命を推定する手法について検討する。

2. 実験概要 試験はRCはり(Aはり、Bはり)とポストテンションPCはりを用い、一定振幅荷重下で曲げ試験を行った。はりの種類、荷重方法、試験実施時(材令100日以上)の材料強度の詳細を図-1に示す。試験は繰返し荷重速度5Hz、荷重と時間との関係は正弦波形で行った。設定した上限荷重比(P_s)は、各はりの静的平均終局耐力(P_u : Aは $P_u=13.7$ トン、Bは $P_u=21.5$ トン、PCは $P_u=11.1$ トン)に対する百分率で選り、一方下限荷重比は P_u の10%と一定とした。PC鋼棒はII種ウルボンφ13(引張強度15320kgf/cm²)、プレストレス力12.0トン導入後、直ちにグラウトを施した。

3. 結果と考察 曲げスパン内コンクリートの圧潰により破壊したBはりとPCはりの疲労試験結果を表-1に示す。

図-2は、はり上縁コンクリート応力 σ_c の低減値(β)を決定する手法を概略的に示したものである。同図(A)中の実線はプレーンコンクリートの $S_c-\bar{N}$ (応力比と平均疲労寿命) 線式を示し、プロット点は各荷重比(P_s)作用時のはり上縁応力比(S_{cb})とはりの平均疲労寿命($\bar{N}$)を示す点である。このとき低減値 β は、例えば($\bar{N}=\bar{N}_j$) $S_{cb}=S_{cb,j}$ を示す点に注目して、 $\bar{N}=\bar{N}_j$ の値を $S_c-\bar{N}$ 線式に代入し $S_c=S_{c,j}$ を求めることによって $\beta=S_{cb,j}/S_{c,j}$ で算定される。ここでは、 $S_c-\bar{N}$ 線式として著者らの実験によって得られた式(1)(以下、式については表-2参照)と、松下の提案式(2)を用いて低減値 β を検討することにした。なお、式(2)の S_{cmin} は下限荷重比($P_s=10\%$)作用時のはり上縁のコンクリート応力比である。

表-3に、コンクリートの圧潰で破壊したはりに

表-3 応力勾配が疲労強度に及ぼす影響評価の試験

はりの種類	荷重比 P_s (%)	はりの平均疲労寿命 $N=N_j$	上縁コンクリート		$S_c=S_{c,j}$		低減値 $\beta=S_{cb}/S_c$	
			応力 σ_c (kgf/cm ²)	$S_{cb}=\sigma_c/f_c$	本実験式	松下式	本実験式	松下式
RC-A Beam	85	11600	469	0.86	0.796	0.784	1.08	1.10
	10	—	55	0.10	—	—	—	—
	80	4670	564	1.00	0.813	0.812	1.23	1.23
RC-B Beam	70	151000	517	0.92	0.747	0.736	1.23	1.25
	60	515200	443	0.79	0.724	0.708	1.09	1.12
	10	—	74	0.13	—	—	—	—
PC Beam	80	12600	546	1.00	0.795	0.783	1.26	1.28
	70	126000	502	0.92	0.751	0.730	1.23	1.26
	60	933000	386	0.71	0.713	0.684	1.00	1.04
	10	—	32	0.06	—	—	—	—

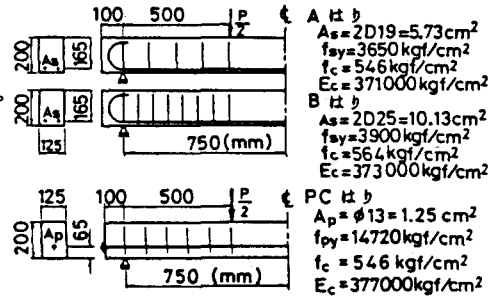


図-1 荷重方法とはりの詳細

表-1 疲労試験結果

はりの種類	疲労寿命 N	生存率	はりの種類	疲労寿命 N	生存率
RC-B-80-1	1200	0.833	PC-80-1	1200	0.833
RC-B-80-2	1900	0.667	PC-80-2	6000	0.667
RC-B-80-3	3500	0.500	PC-80-3	24000	0.500
RC-B-80-4	12000	0.333	PC-80-4	39000	0.333
RC-B-80-5	24000	0.167	PC-80-5	48000	0.167
RC-B-70-1	48000	0.857	PC-70-1	18000	0.833
RC-B-70-2	87000	0.714	PC-70-2	117000	0.667
RC-B-70-3	145000	0.571	PC-70-3	213000	0.500
RC-B-70-4	209000	0.429	PC-70-4	226000	0.333
RC-B-70-5	226000	0.286	PC-70-5	314000	0.167
RC-B-60-1	414000	0.143	PC-60-1	366000	0.833
RC-B-60-2	173000	0.875	PC-60-2	699000	0.667
RC-B-60-3	246000	0.750	PC-60-3	840000	0.500
RC-B-60-4	473000	0.625	PC-60-4	1650000	0.333
RC-B-60-5	630000	0.500	PC-60-5	2000000	0.167
RC-B-60-6	647000	0.375			
RC-B-60-7	920000	0.250			
RC-B-60-8	1650000	0.125			

RC-B-60-1-はり番号
RC-Bはり 荷重比

表-2 計算式

$$\begin{aligned}
 S_c &= (-4.4 \log \bar{N} + 97.5) / 100, S_{cmin} = 10\% \quad (1) \\
 S_c &= 1 - (1 - S_{cmin}) \log \bar{N} / 17 \quad (2) \\
 P_s &= 162.06 - 17.81 \log \bar{N} \quad (3) \\
 S_{cb} &= 2.123 - 0.233 \log \bar{N} \quad (4) \\
 \beta &= S_{cb} / S_c = 1 / (0.19 + 0.58 / S_{cb}) \quad (5) \quad (1 \leq \beta \leq 1.23) \\
 (0_{cr} - 0_p) &= 0.85 (1_c - 0_p) (1 - \log \bar{N} / 17) \quad (6) \\
 0_p: P_s &= 10\% \text{ 作用時の } 0_{cr}
 \end{aligned}$$

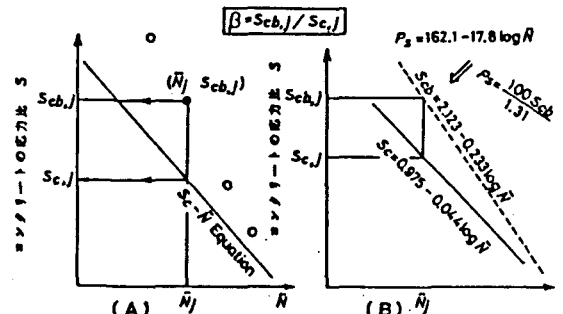


図-2 低減値 β を決定するための概略

対して算定した低減値 β の値を示す。

図-2(B)の実線は、 $S_c-\bar{N}$ 線式(式(1))を、破線は表-3の結果をもとにBはりの $P_s-\bar{N}$ 線式(式(3))を $S_{cb}-\bar{N}$ 線式(式(4))に換算したものである。この場合、式(1)、(4)より $\log \bar{N}$ を消去すると、低減値 β は式(5)となる。

図-3は、 S_{cb} と β との関係を示したもので、式(5)を実線で示す。全般的な傾向として、 β の値は S_{cb} の増加に伴って大きくなる傾向を示し、 β の最大値は近似的に $\beta=1.23$ (図-3中の破線)で与えられる(式(5))。

また、本実験式(式(1))と松下式(式(2))による $S_c-\bar{N}$ 線式が β の値に及ぼす影響は小さいことがわかる。

表-4 コンクリートの応力と疲労寿命

はりの種類	荷重比 R_f (%)	応力 σ_c (kgf/cm ²)	換算応力 σ_{cr} (kgf/cm ²)	疲労寿命 $\bar{N}_1$	疲労寿命 $\bar{N}_2$
RC-B Beam	80	559.2	419.7	439	5790
	70	489.3	367.2	49550	89430
	60	419.4	314.8	5544060	256100
	10	69.9	52.5	—	—
PC Beam	80	546.0	409.5	169	2367
	70	465.4	349.1	34550	45320
	60	360.9	270.7	34820000	1309900
	10	31.6	23.7	—	—

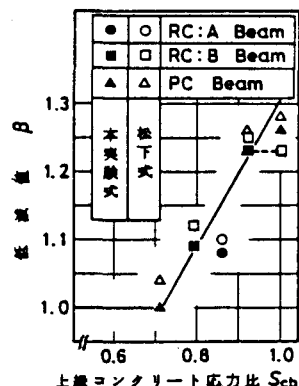


図-3 はり上縁コンクリート応力比と β との関係

つぎに、繰返し荷重を受けるコンクリートはりの安全性を土木学会指針(案)に基づいて算定した結果について検討する。指針(案)では、弾性係数比を7としてよいとし、はり上縁コンクリート応力 σ_c の低減には矩形分布の応力(σ_{cr})に換算した値を用いることを規定している。この考え方を長方形断面のはりに適用すれば $\sigma_{cr}=3/4\sigma_c$ なる関係が成立する。

表-4に、 σ_c 、 σ_{cr} の算定値、 σ_{cr} を指針(案)に規定されているコンクリートの $S_c-\bar{N}$ 線式(式(8))に代入して求めた平均疲労寿命($\bar{N}_1$)、および本提案式 β (式(5))を用い、 $S_c=S_{cb}/\beta$ ($=\sigma_c/(\beta \cdot f_{cc})$)を式(2)の $S_c-\bar{N}$ 線式に代入して求まる平均疲労寿命($\bar{N}=\bar{N}_2$)を示す。

図-4は、Bはりの疲労寿命(N :表-1参照)と $\bar{N}_1$ との比($M=N/\bar{N}_1$)と生存確率 $P(M)$ との関係を示す。図より、 M の値は荷重比(P_s)が小さくなるのに伴って小さくなり(PCはりも同様)、とくに $P_s=60\%$ においては $M<1$ となる。このことより、指針(案)の矩形応力に換算する手法は必ずしも適切であるとはいえない。

図-5、6は、Bはり、PCはりに対し、本提案式の β を用い、 $M=N/\bar{N}_2$ ($\bar{N}_2$:表-4参照)と生存確率 $P(M)$ との関係を示したものである。図より、荷重比(P_s)間の M 値の差は図-4のそれに比べて著しく小さく、さらにこの場合生存確率 $P(M)=50\%$ ($t=0$, t :標準正規変量)に相応する M の値は1に近い値となっている。このことは、一軸圧縮応力下のプレーンコンクリートの $S-\bar{N}$ 線式と関連づけたはりの疲労寿命の推定は、指針(案)($\beta=3/4$:一定)よりも本提案式による β を用いる方がより精度よく行える可能性のあることを示している。なお、本研究は著者の一人を研究代表者とする昭和59年度文部省科学研究費(総合研究A、奨励A)で行った研究の一部である。

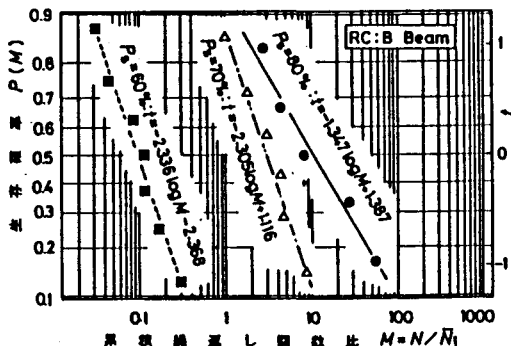


図-4 RC:Bはりの $P(M) \sim M$ 関係(指針(案)による評価)

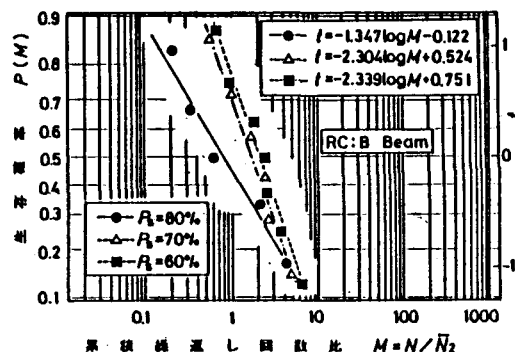


図-5 RC:Bはりの $P(M) \sim M$ 関係(本提案式による評価)

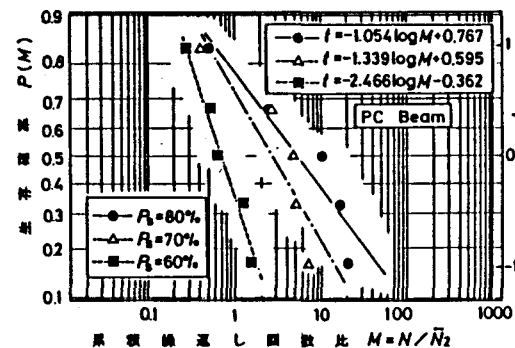


図-6 PCはりの $P(M) \sim M$ 関係(本提案式による評価)