

九州大学 正 員 徳光 善治

九州大学 正 員 松下 博通

九州大学○学生員 高倉 克彦

1. まえがき 変動応力下のコンクリートの疲労寿命の推定には、一般にマイナー則が適用されるが、疲労損傷度を評価する累積繰返し回数比 M の値が大きくばらつくことから、実際の設計に際してマイナー則を適用するためには、何らかの形でマイナー則に安全性を見込まなければならない。筆者らは、既報において一定繰返し応力下におけるコンクリートの疲労強度に安全性を見込んでその特性値を求めたが、マイナー則が一定繰返し応力下の疲労寿命をもとに変動応力下の疲労寿命を推定する方法であることから、この疲労強度の特性値のもつ安全性をマイナー則に反映させることができるものと考え、この安全性について過去の研究結果をもとに検討した。

2. 検討に用いたデータの実験概要 検討に用いたデータについて図-1に載荷プログラム、表-1に実験概要を示す。表中、2段階応力試験による M の値は算術平均であり、変動応力試験による M の値は各載荷プログラムごとに P （生存確率）- M 図より $P=50\%$ とにおいて求められた値の最大・最小値を示している。

3. 検討の手順 マイナー則によれば、変動荷重下の疲労破壊条件は次式で与えられる。

$$M = \sum n_i / N_i = 1 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 n_i : i 番目の応力レベル S_i での繰返し回数

N_i : 一定応力レベル S_i での平均疲労寿命

M : 累積繰返し回数比

(1)式中、 N_i の値は一定応力下の疲労特性から算出されるものであるから、この一定応力下の疲労特性に安全性を見込んで求められた疲労強度の特性値、すなわち

$$\log N = K (B - S_o) / (B - S_u) \quad \text{----- (2)}$$

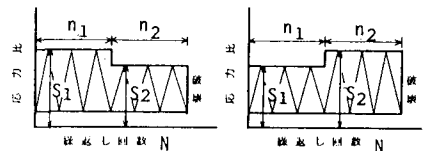
ここに、 K : 疲労試験方法などによって決まる定数

B : 静的試験強度 f_c に対する静的強度の特性値 f_k の比

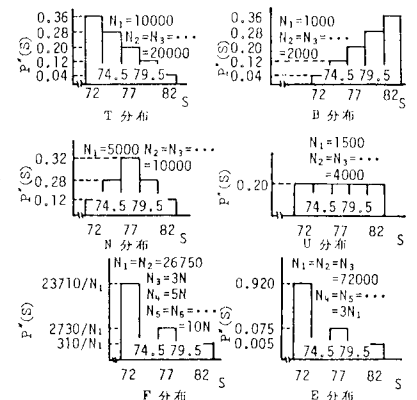
S_o : 最大応力比 S_u : 最小応力比

を用いて N_i の値を算出することで累積繰返し回数比 M に安全性を見込む。この方法で求めた M の値を、 P - M 図上にプロットし、 $M=1$ の場合の生存確率 P をもってマイナー則に見込まれる安全性と考える。

4. 検討結果 2段階応力試験に関する P - M 線図を図-3、図-4に示す。式中、実線は各研究者の S - N 線式を用いて、また、点線は(2)式を用いて M の値を算出したときの回帰直線である。いずれの場合も(2)式で評価した $M=1$ での生存確率を求めると少なくとも90%近い値を示している。しかしながら、 M の分布状態を見ると、図-3では荷重順序に関係なく、平均疲労寿命で評価した M の分布に対して(2)式で評価した M の分布では、ある生存確率に対する M の値が複数存在しており、また図-4では $S_1 > S_2$ のとき(2)式で評価した M の分布は、対数正規分布への適合性が非常に悪くなっている。図-4にみられることは、荷重順序の

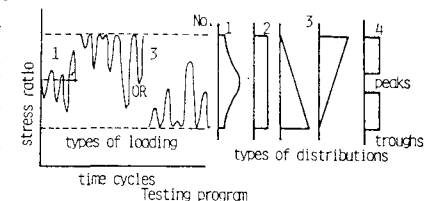


a. 2段階応力試験



$P(S)$: 応力作用頻度
 S : 応力レベル

b. 変動応力試験（西林ら）



c. 変動応力試験（Siemes）

図-1 載荷プログラム

表-1 実験概要

	研究者	試験条件	静的強度 (kg/cm ²)	n ₁ /N ₁	S ₁ →S ₂ (%)	S _{min} (%)	S-N 模式 (N ₁ の算出方法)	S ₁ >S ₂		S ₁ <S ₂	
								M	V(M)	M	V(M)
2段階 応力試験	西林ら	圧縮 (円柱)	230 257 (最大5.8)	0.25 ~0.8	85→75 75→85	10	一定応力下のp-M線 図よりp=0.5として算出	0.66	1.20	1.53	2.70
	著者ら	圧縮 (円柱)	198 (5)	0.2 ~0.8	80→70 70→80	8	$\log N = 17 - \frac{1 - S_{max}}{1 - S_{min}}$	1.95	2.04	34.2	68.0
載 荷 方 法								H		V(log M)	
変動 応力試験	Siemes	水中圧縮 (円柱)	342 (5)	作用応力振幅の頻度を図-1 に示す。ただし、分布型No.4 は上限値下限値の頻度を表わ す。			$\log N = \frac{-13.158}{\sqrt{1 - S_{min}/S_{max}}} \times \log S_{max} + 1.487$	0.39~13.8		0.35~0.74	
	西林ら	圧縮 (円柱)	409 435 (最大5.8)	図-1に示す応力比の頻度が 1つの設定応力回数(N ₁ , N ₂ , ...)内で達成されるように載 荷する。			$S_{max} = -4.395 \log N + 97.506$	1.1~1.45		0.4~0.45	

*変動係数(%)

影響を多分にうけていると考えられるが、図-3にみられることを考えあわせると、一定繰り返し応力下の疲労特性に安全性を求める操作によって(2)式が何らかの分布特性を持ったためと考えられる。従って、(2)式で評価したP-M線からでは安全性を正確にとらえることはできないことになる。次に、図-5、図-6に変動応力試験に関するP-M線図を示す。ただしSiemesのデータに関しては、Mの算定を行った応力レベルおよび破壊回数の実測値が不明であったので、まず図-1の载荷プログラムを図-7に示す応力ブロックに分割(応力ブロックの幅は、その応力レベルの発生頻度の度合を表す)し、各応力レベルでの平均疲労寿命と発生頻度および実測Mの値から破壊回数を推定してこの破壊回数と発生頻度を用いて(2)式より算出されるMの値をP=50%のMの値とした。なお、図中の直線の傾きは分布型ごとにV(log M)の最大値を用いて描いたものである。また、西林らのP-M線図はデータ個数が多く回帰直線のみを示している。これらの図から、(2)式で評価したMの値はかなりの安全性を有していることがわかる。そこで、各試験ごとにM>1を満足するデータ個数の全データ個数に対する比率で安全率を算定し表-2に示す。安全率は、検討に用いた試験結果に対して全て95%を満足しており疲労強度の特性値に求められた安全性がそのままマイナー則に反映されている。

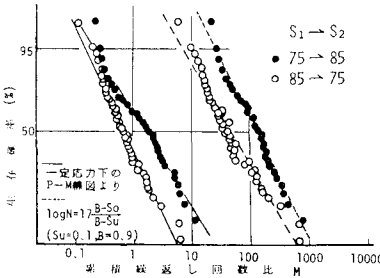


図-3 P-M線図(2段階, 西林ら)

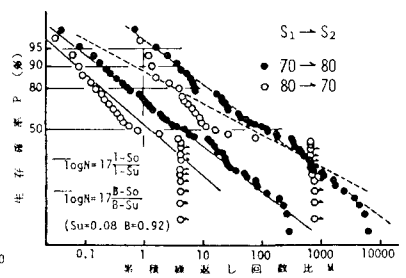


図-4 P-M線図(2段階, 著者ら)

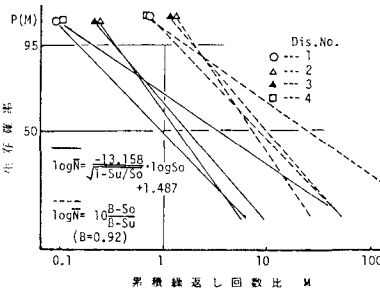


図-5 P-M線図(変動, Siemes)

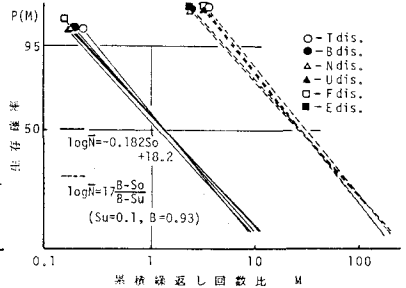


図-6 P-M線図(変動, 西林ら)

参考文献

の紹介は紙面の都合上省略させていただきます。

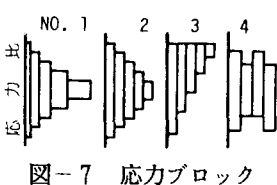


図-7 応力ブロック

表-2 マイナー則に見込まれる安全率

試験	2段階応力試験				変動応力試験
研究者	西林ら	著者ら	西林ら		西林ら
载荷方法	S ₁ <S ₂	S ₁ >S ₂	S ₁ <S ₂	S ₁ >S ₂	全ての分布型に対して
安全率(%)	100 (60)	100 (66)	97 (46)	96 (27)	100 (各20)

*データ個数