

岡山大学 正員 ○阪田 憲 次
鳥取大学 正員 矢村 潔
(株) 白石 茂 木 浩 二

1. まえがき

実際のコンクリート構造物が受ける荷重は、上下限が一定の繰返し荷重であることはきわめて稀であり、大部分は不規則に変動するランダムな繰返し荷重である。したがって、橋梁および港湾構造物のようなランダムな繰返し荷重を受けるコンクリート構造物の合理的な設計を行うためには、このような荷重下におけるコンクリートの疲労特性を明らかにすることが必要である。

一方、一定振幅荷重の疲労試験を行い、その結果

表-1 コンクリートの配合

よりランダム荷重下の疲労特性、すなわち疲労寿命を推定する方法の一つであるマイナー則が一般に用いられる。このマイナー則の妥当性を検討するためにも、ランダム繰返し荷重下における疲労試験を行う必要がある。

max.size (mm)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	S/a (%)
20	56.3	180	320	792	1044	44

本研究は、頻度分布が指数分布型のランダム荷重下におけるコンクリートの疲労試験を実施し、その特性を明らかにするとともに、マイナー則の妥当性について検討するものである。

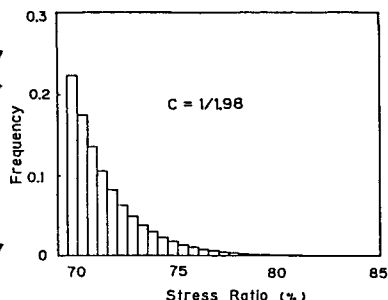


図-1 荷重の頻度分布

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は碎石（最大寸法；20mm、比重；2.67）、細骨材は川砂（比重；2.58）を用いた。コンクリートの配合を表-1に示す。供試体はφ10 x 20cmの円柱供試体で、28日間標準水中養生を施した後、疲労試験実施日（材令；約2年）まで実験室内に保存した。疲労試験は、島津製作所製サーボパルサー（容量；40 t）を用い、繰返し載荷速度は5Hz、荷重と時間との関係は正弦波形の条件下で行った。一定振幅試験は、S~N線式を定めるためのもので、その上限応力比は、疲労試験開始直前に行った各打設バッチごとの平均圧縮強度（282~307kgf/cm²）に対する百分率で選り下り下限応力比は、すべて静的強度の10%とした。

ランダム試験における荷重の頻度分布は、指数分布とする。この分布は、海洋における波高とその生起する回数の関係を比較的良好に表していると言われている。その確率密度関数は、次式で表される。

$$p(S) = C \exp[-C(S - S_0)] \quad (1)$$

ここに、Sは上限応力比(%)、S₀は上限応力比のうちの最小値である。また、Cは上限応力比が大きくなるにつれてその生起確率が小さくなる程度を表す。

本実験においては、実験に要する時間を考慮して、最小の上限応力比を69.5%、最大の上限応力比を84.5%とした。実験に用いた荷重の頻度分布を、図-1~3に示す。図においては、式(1)で示される理論的な分布を、69.5%から84.5%の範囲で30等分して表示しているが、実際に載荷される波の種類は308種類である。本研究においては荷重の大きさとその頻度が疲労寿命におよぼす影響を検討するため、

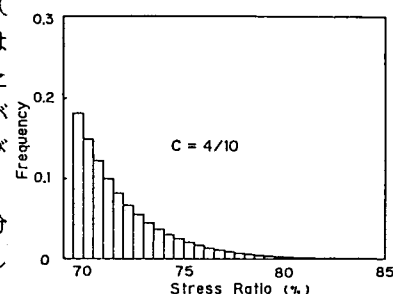


図-2 荷重の頻度分布

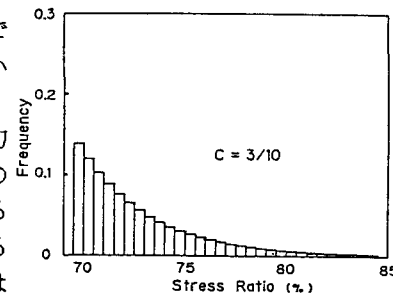


図-3 荷重の頻度分布

式(1)の係数Cを3水準採用した。

図-1~3に示したランダム荷重の作成とその載荷手順は以下のとおりである。①一様乱数の発生、②乱数の指数分布への変換、③正弦波形の作成、④波の分割デジタル化、⑤D/A変換とデータレコーダの磁気テープへの書き込み、⑥疲労試験機への入力。

図-4は、上限応力比の理論上の分布とデータレコーダの磁気テープに書き込まれた電圧より求めた上限応力比の分布とを比較したもので、波数の合計は50000波である。図によれば、ほぼ一様な乱数が発生していること、換言すれば、指数分布型のランダム荷重が正しく載荷されていることがわかる。

3. 結果と考察

一定振幅試験の結果、疲労寿命の分布が対数正規分布し、平均疲労寿命と上限応力比との関係は、次式で示される。

$$S = 99.186 - 5.756 \log \bar{N} \quad (2)$$

ランダム試験の結果は、次に示す累積繰返し回数比(M; Miner Sum)によって評価する。

$$M = n_1 / \bar{N}_1 + n_2 / \bar{N}_2 + \dots + n_i / \bar{N}_i \quad (3)$$

ここに、 $\bar{N}_i$ は一定振幅試験における応力比 S_i における平均疲労寿命で、式(2)より求められる。 n_i は応力比 S_i の載荷回数である。

マイナー則においては、コンクリートが疲労破壊する時、 $M=1$ となる。しかし、上述のように、一定振幅試験における疲労寿命がかなりのばらつきをもつことより、Mの値もばらつくことが予想される。

図-5は、ランダム試験における疲労寿命と生存確率との関係を示したものである。また、図-6~8は、Mと生存確率との関係を示したものである。図より明らかなように、ランダム繰返し荷重の疲労寿命が対数正規分布することならびに、累積繰返し回数比Mが対数正規分布することがわかる。また、Mの期待値は、 $C=1/1.98$ 、 $4/10$ および $3/10$ で、それぞれ、1.232、1.066および1.091となる。累積繰返し回数比(M)の期待値がほぼ1に等しいことより、コンクリートの疲労に対してマイナー則が成立することがわかる。 $C=1/1.98$ のとき、すなわち、ランダム荷重において、比較的小さい荷重の割合が卓越しているときのMの値が、他の場合よりも若干大きい。これは、荷重の大きさの相違が疲労損傷に影響すること、すなわち、比較的小さい荷重は、マイナー則から予測されるほどには疲労損傷に寄与しないことを意味する。

4. あとがき

本研究の結果、コンクリートの疲労に対しマイナー則を適用することが妥当であることが明らかになった。また、ランダムな荷重のうち、比較的小さい荷重の繰返しは、マイナー則から予測されるほどに疲労損傷に寄与しないことが明らかになった。なお、本研究は、昭和59年度文部省科学研究費補助金(総合研究(A); 課題番号; 58350028)によって実施したものである。

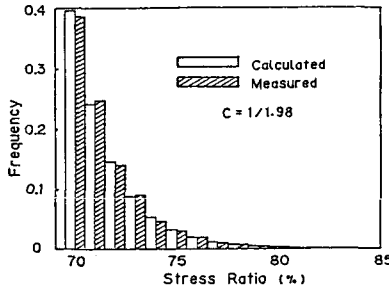


図-4 荷重の頻度分布

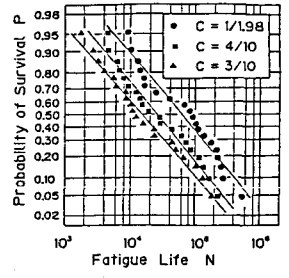


図-5 p ~ N線図

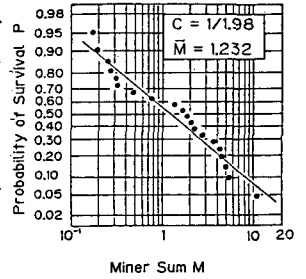


図-6 p ~ M線図

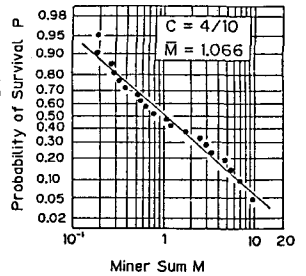


図-7 p ~ M線図

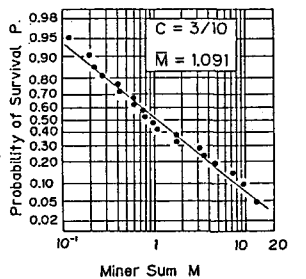


図-8 p ~ M線図