

ランダム繰り返し荷重を受けるコンクリートの疲労特性に関する一実験

岡山大学工学部 正会員 阪 田 憲 次
 岡山大学大学院 学生員 〇 佐 藤 亨
 東京大学大学院 西 内 達 雄
 鳥取大学工学部 正会員 矢 村 潔

1. まえがき

コンクリート構造物が受ける荷重は、上下限が一定した繰り返し荷重は稀で、一般には不規則に変動するランダム荷重である。従ってコンクリート部材や構造物の設計を合理的に行い、かつ耐用期間中に構造物がその機能を十分発揮することを保証するためには、コンクリートの疲労特性を明確にし、これを設計に反映させることが重要である。この様な状況下において、昨年制定された土木学会“コンクリート標準示方書”では、安全性の検討の際、マイナー則の適用が明記されている。

本研究は、荷重の頻度分布が指数分布型で、上限応力比が69.5%～84.5%の間で変動する高応力振幅試験と、上限応力比が65.7%～80.7%の間で変動する低応力振幅試験の2種類の疲労試験を行い、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も検討する。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は砕石（最大寸法20mm、比重2.73）、細骨材は川砂（比重2.57）を用いた。供試体は $\phi 10 \times 20$ cm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40t）を用い、繰り返し载荷速度は5.2 Hz、荷重と時間の関係は正弦波形として行った。疲労試験における応力比は、疲労試験開始時に測定した圧縮静的強度に対する百分率により設定した。一定振幅試験は、上限応力比を80, 75, 70%の3水準とし、下限応力比を10%一定とした。ランダム試験における荷重の頻度分布は指数分布とした。本実験では、実験に要する時間を考慮して、高応力振幅試験においては上限応力比を69.5～84.5%とし、低応力振幅試験においては上限応力比を65.7～80.7%とした。ランダム荷重の作成と载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⑤A/D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-1、図-2は上限応力比の理論上の分布と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を比較したもので、波数の合計は10000波である。また、図-3は高応力振幅試験における上限応力比の理論上の変化と、試験開始20時間後A/D変換

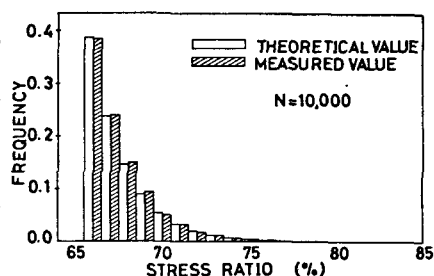


図-1 応力頻度分布（低応力）

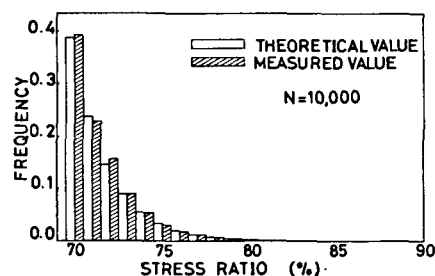


図-2 応力頻度分布（高応力）

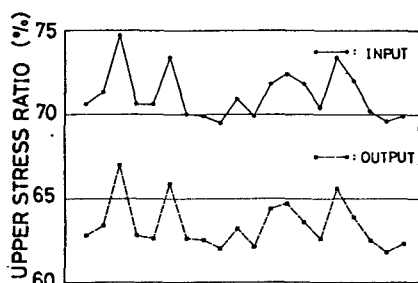


図-3 応力変動の比較（高応力）

によって試験機より出力させた値を比較したものである。図より明らかなように、高応力振幅試験では指数分布のランダム荷重が、正しく载荷されていないことが判明した。

3. 実験結果および考察

一定振幅およびランダム試験の結果を図-4および図-5に示す。これらの図は、対数正規確率紙上に生存確率Pに対して疲労寿命Nをプロットしたものである。図より疲労寿命の分布が対数正規分布することがうかがえる。また平均疲労寿命と上限応力比の関係は次式で示される。

$$S = -4.297 \log \bar{N} + 97.172$$

本研究ではランダム試験結果を評価する方法として累積回数比Mを用いた。累積回数比Mは次式によって得られる。

$$M = n_1 / N_1 + n_2 / N_2 + \dots + n_i / N_i$$

ここに、 N_i は一定振幅試験において応力比 S_i における平均疲労寿命、 n_i は応力比 S_i の载荷回数である。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は1となる。しかし一定振幅試験において疲労寿命がばらつくことからMの値もばらつくことが予想される。図-6、図-7、はMと生存確率の関係を示したものである。図より明らかなように、ランダム荷重下の累積回数が対数正規分布することがわかる。またMの期待値は低応力振幅試験では0.805となる。昨年度の実験結果(M=0.4)および本実験結果より応力振幅が比較的小さい領域における疲労損傷は、M=1として予想される以上に速く進行すると考えられる。このため、このような荷重を受ける構造物の設計を行う際に、M=1で破壊が生じるというマイナー則を適用することには多少問題があるように思われる。これは図-6よりM=1の時、生存確率Pは0.5以下であり、マイナー則を適用して構造物を設計すると、危険側で設計してしまうからである。また、高応力振幅試験については前述のように適正な荷重が载荷されていなかったため、その結果については図に示すのみとする。

4. あとがき

本研究の結果、ランダム荷重を受けるコンクリートの疲労寿命および累積回数比が対数正規分布することが明らかになった。また、応力振幅が比較的小さい領域の構造物を設計する際、マイナー則を適用して設計すると、十分な安全性を確保できない可能性がある。しかし、累積回数比Mの値を一律に定めるにはまだまだデータ数も少なく、今後も研究を継続していく必要があると考えられる。

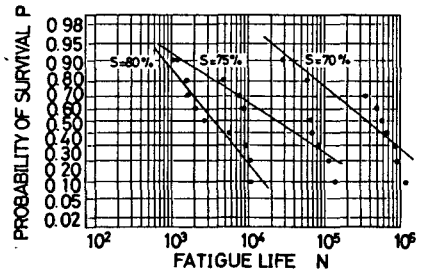


図-4 P-N線図(一定振幅)

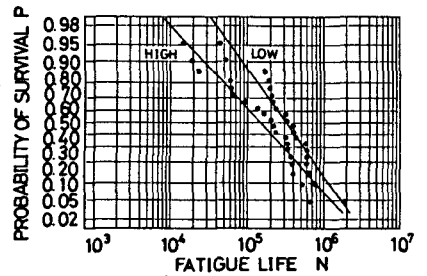


図-5 P-N線図(ランダム)

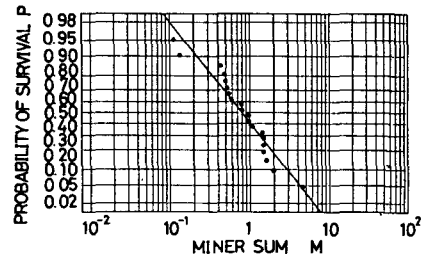


図-6 P-M線図(低応力)

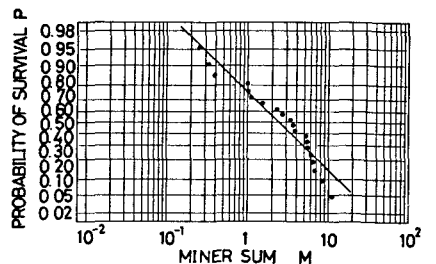


図-7 P-M線図(高応力)