

九州大学 学生員 河野泰義

同上 正員 松下博通

同上 学生員 高倉克彦

まえがき

土木学会では現在、限界状態設計法の検討を進めており、その中で疲労限界状態も取り扱われている。しかし、現在の疲労強度の特性値は、疲労強度のばらつきについて一応考慮はなされているが、生存確率95%を過不足なく満足する特性値とはなっていない。また、引張疲労や水中コンクリートの圧縮疲労等においては平均疲労寿命推定式が明うかにされているだけであり、これらについても特性値を導く必要があろう。そこで、本研究は安全率を考慮したコンクリートの種々疲労強度の特性値を、過去の研究結果をもとに求めて提案しようとするものである。

解析方法

解析を行うにあたって用いる前提条件を表-1に示す。一般に、疲労寿命のばらつきは疲労特有の破壊機構と静的強度のばらつきに起因すると考えられる。また、限界状態設計法では、静的強度のばらつきに安全性をもたせ特性値を設計用値としている。そこで、疲労における安全性の検討は、過去の研究結果を用いて疲労寿命のばらつきを包含するように式(1)に静的強度の特性値 f_c を用い、また、式(1)の係数を変化させて、各応力レベルにおける疲労寿命を低減させることにより、行う。このとき、式(1)は次式のように表わされる。

$$\log N = A \cdot \frac{B - S_o}{B - S_u} = A \left(1 - \frac{S_r}{B - S_u} \right) \quad (2)$$

ここに、 A ：定数($\leq K$)、 S_r ：応力振幅比($= S_o - S_u$)、 B ：静的平均強度 f_c に対する f_u の比(f_u/f_c)で、静的試験のばらつきが正規分布に従うと考えたとき f_u と f_c は図-1の関係にあり、 B の値は変動係数 δ を用いて、

$$B = 1 - 1.64\delta \quad (3)$$

となる。

また、式(2)を変形して疲労振幅強度 f_u を導くと、式(4)が得られる。

$$f_u = (f_c - \sigma_p) \left(1 - \frac{\log N}{A} \right) \quad (4)$$

ここに、 σ_p ：永久荷重によるコンクリートの応力度

解析結果

1例として普通コンクリートの圧縮疲労について述べる。用いるデータは、阪田ら、松下ら、Antrimら、Opleら、Rajuの研究結果で、全個数312である。また、式(1)の定数 K は17である。静的試験の変動係数は、不明なものが多いため、実験室内で得られたデータであることを考慮して5%とする。このとき B の値は式(3)より0.92となる。この B の値に対して式(2)の A を低減させると図-2のように $A=17$ ですでに97%の安全率をもつ。従って普通コンクリートの圧縮疲労強度の特性

表-1

前提条件

1. 疲労試験方法の違いによる疲労寿命分布式に差異はなく、その分布は対数正規分布に従う。
2. 最小応力比 S_u を一定としたときの最大応力比 S_o と平均疲労寿命 $\log N$ とは直線関係にある。
3. 任意繰返し回数の時間耐久線図には、修正Goodmanの関係が成立する。
4. 平均疲労寿命 $\log N$ は、繰返し応力の最大応力比 S_o と最小応力比 S_u によって次式で表される。

$$\log N = K \frac{1 - S_o}{1 - S_u} \quad \text{--- (1)}$$

- ここに K ：繰返し応力比や疲労寿命に独立な定数で疲労試験方法により異なる値をとる。
5. 静的強度(又は静的耐力)に補正を行った場合も上記2,3,4の関係が成立する。

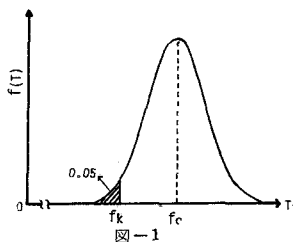


図-1

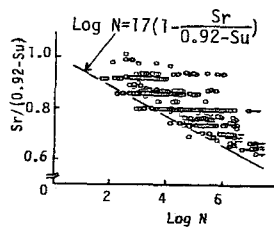


図-2

値は、

$$f_{rk} = k_1 (f_k - \sigma_p) \left(1 - \frac{\log N}{17}\right) \quad (5)$$

ここに、 k_1 : 供試体から構造物への圧縮強度の換算係数(=0.85)
その他の疲労試験についても同様の検討を行なったところ、水中および軽量コンクリートの圧縮疲労強度の特性値は、

$$f_{rk} = k_1 (f_k - \sigma_p) \left(1 - \frac{\log N}{10.5}\right) \quad (6) \quad (\text{図-3, 4 参照})$$

また、引張疲労強度の特性値 f_{rk} は、引張強度が供試体と構造物中ではほとんど差がないことを考慮して k_1 を1とおいた次式が得られる。

$$f_{rk} = (f_k - \sigma_p) \left(1 - \frac{\log N}{17}\right) \quad (7) \quad (\text{図5参照})$$

一方、せん断補強鉄筋を用いないはりのせん断疲労(以下無筋せん断疲労と呼ぶ)では、平均疲労寿命推定式として次の(8)、(9)式がある。そこで、式(8)と式

$$\overline{\log N} = 11.5 \frac{1 - S_0}{1 - S_u} \quad (8)$$

$$\log S_0 = -0.036 (1 - R) \overline{\log N} \quad (9)$$

ここに、 $R = S_u / S_0$

(9)でデータへの適合性を比較したところ、図-6、7に示すように式(8)の方がよく適合していると考えられ、本検討における平均疲労寿命推定式は式(8)とする。また、せん断疲労試験では、静的せん断耐力の算定値 V_c は定式化されており、その特性値を V_d として V_d / V_c を B の値とする。つまり、

$$B = \frac{V_d}{V_c} = \frac{0.94 f_{rk}^{1/3} (1 + B_p + B_d + B_n) \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{1}{\gamma_f}}{0.94 f_{ck}^{1/3} (0.75 + 1.40 \gamma_a) (1 + B_p + B_d + B_n) b_w d}$$

ここで、 $(0.75 + 1.40 \gamma_a) \approx 1$ 、 γ_f (部材係数) $= 1.15$

$(f_{rk} / f_{ck})^{1/3} \approx 1$ から、 $B = 0.87$ —— (10)

押抜きせん断についても同様にして $B = 0.87$ が求まる。この B の値に対して上述の検討を行うと、無筋せん断および押抜きせん断における疲労耐力の特性値は、それぞれ次の式(11)、式(12)となる。なお、式中 V_d は永久荷重によるせん断力の設計用値である。

$$V_{rkd} = (V_{cd} - V_{pd}) \left(1 - \frac{\log N}{11.5}\right) \quad (11)$$

(図-8 参照)

$$V_{rpd} = (V_{cpd} - V_{pd}) \left(1 - \frac{\log N}{14}\right) \quad (12)$$

(図-9 参照)

最後に、本研究では、たくさんさんの文献を参考にさせていただきましたが、その紹介は紙面の都合上割愛させていただきます。

