

1. 序論 JSSC疲労設計指針(案)で採用されている疲労設計フォーマットの中の部分安全係数に関して、その参考値は与えられているが、その具体的な決め方は明かでない。部分安全係数は破壊確率に基づいて決定されることが合理的である。本研究では、疲労損傷パラメータを導入し、このパラメータの確率分布を調べ、さらにこのパラメータに基づいて鋼橋の疲労設計フォーマットを作成した。この疲労設計フォーマットの中の部分安全係数は破壊確率によって決定される。

2. 疲労損傷パラメータの導入 一つの継手分類について、その標本サイズが多くなるに従って、最小2乗法によって決定されるS-N曲線の傾きが3に収束する傾向を示すことが明らかにされている¹⁾。したがって、S-N曲線の傾きを確率変数としてではなく、3の定数として扱うことができると予想して、次式で定義される変数cを導入した。
$$c = N (\Delta \sigma)^m \quad (\text{ここに、} m=3) \quad (1)$$
 一つの疲労試験データ(N:繰返し回数、 $\Delta \sigma$:応力範囲)に対して1つのcの値がこの式から計算される。次に、この変数の意味について考える。

変動応力に対して次式で定義される c_i を考える。
$$c_i = n_i (\Delta \sigma_i)^m \quad (2)$$
 ここに、 $\Delta \sigma_i$:変動応力スペクトルの中の一つの応力範囲成分、 n_i : $\Delta \sigma_i$ の繰返し回数。次の条件が満たされたとき疲労破壊が生じると仮定する。
$$\sum c_i = c \quad (3)$$

変動応力スペクトルの全繰返し回数 N ($=\sum n_i$)と等価な一定応力範囲 $\Delta \sigma_e$ を次式で定義する。
$$c = N (\Delta \sigma_e)^m \quad (4)$$
 式(2)と(4)を式(3)へ代入すると、
$$\Delta \sigma_e = \{ \sum (\Delta \sigma_i)^m (n_i / N) \}^{1/m} \quad (5)$$

を得る。これは、マイナーの線形被害則の仮定から得られる等価応力範囲と同じである。式(3)は、 c_i の総和がcに達したとき疲労破壊が生じることを示している。したがって、 c_i は疲労損傷の一つの成分を表している。このような c_i の特徴からcを疲労損傷パラメータと呼ぶ。

3. 疲労損傷パラメータの確率分布 疲労損傷パラメータcの計算には、名古屋大学で作成された疲労試験データベース²⁾を利用した。このデータベースから200万回の繰返し以前に破壊した試験データのみを選び出し、これに対してcの値を計算した。

確率紙を用いて疲労損傷パラメータcの確率分布を決定した。考慮した確率紙は、正規確率紙、対数正規確率紙、ワイブル確率紙である。cの値を小さなものから順に並べ、小さいものからi番目の値を累積確率 $i / (k + 1)$ としてプロットした。ここで、kはデータの総数である。横突合せ継手の仕上げと非仕上げに対する確率紙上へのプロットをそれぞれ図-1、2に示す。横突合せ継手の疲労損傷パラメータcの確率分布は、仕上げに対してワイブル分布が妥当であるが、非仕上げに対しては対数正規分布が妥当である。

4. 鋼橋の疲労設計フォーマットの作成 鋼橋のある着目部位に生じる応力範囲 $\Delta \sigma_i$ と設計寿命期間中に現れるその中の最大の応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ の比率を η_i で表す。すなわち、 $\eta_i = \Delta \sigma_i / \Delta \sigma_{max} \quad (6)$

最大応力範囲 $\Delta \sigma_{max}$ を、疲労設計荷重に対して生じる設計応力範囲 $\Delta \sigma_d$ に関連する変数をaで表す。すなわち、 $\Delta \sigma_{max} = a \Delta \sigma_d \quad (7)$

式(5)、(6)、(7)から、等価応力範囲 $\Delta \sigma_e$ と設計応力範囲 $\Delta \sigma_d$ の関係が次式で与えられる。
$$\Delta \sigma_e = a z \Delta \sigma_d \quad (8)$$

ここに、 $z = \{ (\sum \eta_i^m (n_i / N)) \}^{1/m}$ 橋を通過する車両台数と発生応力の繰返し回数とは必ずしも一致しない。設計寿命期間中の繰返し回数Nと設計車両台数Vの関係を与える変数をbで表す。すなわち、 $N = b V \quad (9)$

改良2次モーメント法によって疲労設計フォーマットを作成した。状態関数 g を次式で定義した。

$$g = c - q \tag{10}$$

$$\text{ここに、} q = N (\Delta \sigma_s)^m = a^m b z^m (\Delta \sigma_s)^m V$$

$g > 0$ は安全状態、 $g < 0$ は破壊状態、 $g = 0$ は限界状態を表す。

$$\text{式(10)の状態関数から導かれる安全性の条件は次の通りである。} \quad r_c \mu_c \geq r_q \mu_q \tag{11}$$

ここに、 μ_c 、 μ_q ：それぞれ疲労損傷パラメータ c 、変数 q の平均値、 r_c 、 r_q ：破壊確率、および c と q の確率分布から決まる部分安全係数。

$$\text{平均値} \mu_q \text{の近似値は次のように与えられる。} \quad \mu_q \doteq \mu_a^m \mu_b \mu_z^m (\Delta \sigma_d)^m V \tag{12}$$

ここで、設計等価応力範囲 $\Delta \sigma_{e,d}$ と設計繰返し回数 N_d をそれぞれ次式で定義する。

$$\Delta \sigma_{e,d} = \mu_a \mu_z \Delta \sigma_d \tag{13} \quad N_d = \mu_b V \tag{14}$$

$$\text{式(12)を式(11)に代入し、式(13)、(14)を用いると次式を得る。} \quad r_c \mu_c \geq r_q N_d (\Delta \sigma_{e,d})^m \tag{15}$$

JSSC疲労設計指針（案）で、各継手に与えられている c の値を c_n で表し、 c_n と μ_c の比率を $r_{c,n}$ で表す。

$$\text{すなわち、} r_{c,n} = c_n / \mu_c \tag{16}$$

$$\text{式(16)を式(15)に代入し、整理すると次式を得る。} \quad r_R \Delta \sigma_R \geq r_Q \Delta \sigma_{e,d} \tag{17}$$

ここに、 $r_R = (r_c / r_{c,n})^{1/m}$ 、 $r_Q = r_q^{1/m}$ 、 $\Delta \sigma_R = (c_n / N_d)^{1/m}$ 。 $\Delta \sigma_R$ は、JSSC疲労設計指針（案）で規定される、設計繰返し数 N_d に対する許容応力度範囲である。式(17)が本研究で得られた鋼橋の疲労設計フォーマットである。 r_R と r_Q は、破壊確率および c と q の確率分布から決まる部分安全係数である。

謝辞 本研究は、土木学会関西支部調査研究委員会「鋼橋の終局強度・疲労設計法委員会」（委員長 大阪大学 福本暁士 教授）の下で行われたものであり、本研究に御協力を賜った関係者各位に深謝する次第である。

参考文献 1) Keating, P.B. and Fisher, J.W., NCHRP Rept 286, 1986. 2) 山田健太郎：疲れ試験データベースの作成と疲労許容応力度の評価、昭和62年度科学研究費補助金研究成果報告書、1988年3月。

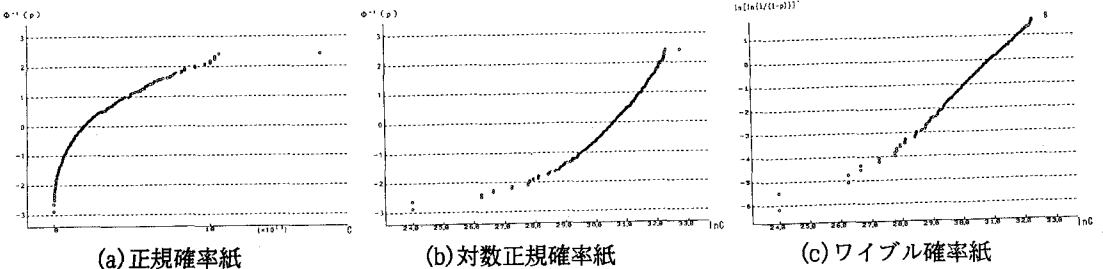


図-1 横突合せ継手（仕上げ）

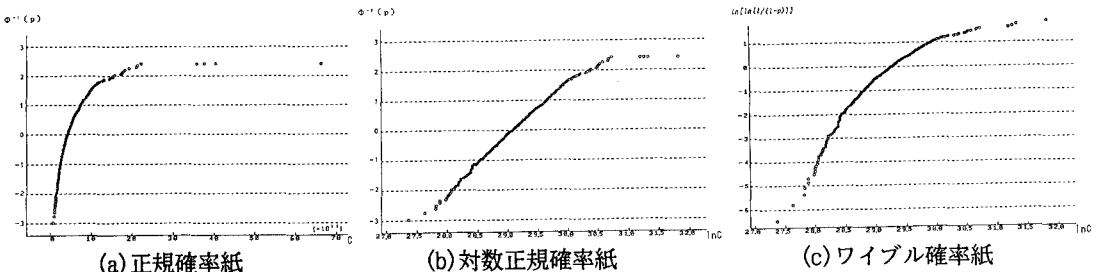


図-2 横突合せ継手（非仕上げ）