

石川島播磨重工業 正員○岡田誠司

大阪大学工学部 正員 大倉一郎

1. はじめに

疲労損傷パラメータに基づいた鋼橋の疲労安全性の照査法が提案された¹⁾。そこでは自動車荷重に関する不確実性が分類されたが、各不確実性因子を決定する手法を与えるまでには至らなかった。本研究ではモニター橋で得られた応力実測の結果を任意の橋に拡張する手法、さらに疲労損傷に関する安全性指標の経年変化を把握する手法を提案する。

2. 確率変数

最大応力範囲 $\Delta\sigma_{max}$ と疲労設計荷重に対して生じる設計応力範囲 $\Delta\sigma_d$ の関係を与える変数を a で表す。

$$\Delta\sigma_{max} = a \Delta\sigma_d \quad (1)$$

変数 a は次の4つの不確実性に関するパラメータから成る。

$$a = a_1 a_2 a_3 a_4 \quad (2)$$

a_1 はある荷重振幅に対して橋に生じる実応力範囲と設計実務において計算される応力範囲の相違に起因するパラメータである。 a_2 は衝撃係数に関するパラメータである。 a_3 は最大応力範囲を発生させる実最大荷重と、これをモデル化した疲労設計荷重の相違に関するパラメータである。 a_4 は設計疲労寿命期間中の活荷重の変化を考慮するためのパラメータである。

等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ は変動応力範囲スペクトルの最大値 $\Delta\sigma_{max}$ と変動荷重影響係数 z を用いて次のように表される¹⁾。

$$\Delta\sigma_e = z \Delta\sigma_{max} \quad (3)$$

変動荷重影響係数 z は次の3つの不確実性に関するパラメータから成る。

$$z = z_1 z_2 z_3 \quad (4)$$

z_1 は一定振幅荷重に対する疲労限以下の長寿命領域におけるS-N曲線の妥当性に関するパラメータである。 z_2 は変動応力範囲スペクトルが橋によって異なることに起因するパラメータである。 z_3 は設計疲労寿命期間中の活荷重の変化による変動応力範囲スペクトルの形状の変化に起因するパラメータである。

設計疲労寿命期間中の繰返し回数 N と設計車両台数 V の関係を変数 b で表す。

$$N = b V \quad (5)$$

変数 b は次の2つの不確実性に関するパラメータから成る。

$$b = b_1 b_2 \quad (6)$$

b_1 は橋を通過する車両台数と発生応力の繰返し回数とが必ずしも一致しないことに起因するパラメータである。 b_2 は設計疲労寿命期間中における通過車両台数の変化に関するパラメータである。

3. モニター橋の応力実測の結果を任意の橋へ拡張する方法

変数 a に関して、モニター橋のそれを a_0 で表すと、モニター橋の応力実測の結果を用いて、 a_0 は次式から決定される。

$$a_0 = \Delta\sigma_{0,max} / \Delta\sigma_{0,d} \quad (7)$$

ここに、 $\Delta\sigma_{0,max}$ ：モニター橋の最大応力範囲、 $\Delta\sigma_{0,d}$ ：モニター橋の設計応力範囲

モニター橋の a_0 は次の4つの不確実性に関するパラメータから成っている。

$$a_0 = a_{0,1} a_{0,2} a_{0,3} a_{0,4} \quad (8)$$

ここで、 $a_{0,1}$ 、 $a_{0,2}$ 、 $a_{0,3}$ 、 $a_{0,4}$ はそれぞれ2章の a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 に対応する変数である。

任意の橋の $\Delta\sigma_{max}$ はモニター橋の a_0 を用いて次のように表すことができる。

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{max} &= a\Delta\sigma_s = (a/a_0)a_0\Delta\sigma_s \\ &= (a_1/a_{0,1})(a_2/a_{0,2})(a_3/a_{0,3})(a_4/a_{0,4})a_0\Delta\sigma_s\end{aligned}\quad (9)$$

ここで、 $h_{s1}=a_1/a_{0,1}$ 、 $h_{s2}=a_2/a_{0,2}$ 、 $h_{s3}=a_3/a_{0,3}$ 、 $h_{s4}=a_4/a_{0,4}$ を定義すると、式(9)は次式となる。

$$\Delta\sigma_{max} = h_{s1}h_{s2}h_{s3}h_{s4}a_0\Delta\sigma_s\quad (10)$$

同様に、任意の橋の $\Delta\sigma_s$ と N はそれぞれ次のように与えられる。

$$\Delta\sigma_s = h_{z1}h_{z2}h_{z3}z_0\Delta\sigma_{max}\quad (11)$$

$$N = h_{b1}h_{b2}b_0V\quad (12)$$

ここに、 $h_{z1}=z_1/z_{0,1}$ ($i=1,2,3$)、 $h_{b1}=b_1/b_{0,1}$ ($i=1,2$)

z_0 と b_0 はそれぞれモニター橋の変数 z と b であり、 $z_{0,i}$ と $b_{0,i}$ はそれぞれ2章の z_i と b_i に対応する変数である。

$h_{s1}(i=1,2,3,4)$ 、 $h_{z1}(i=1,2,3)$ 、 $h_{b1}(i=1,2)$ を総称してパラメータ h と呼ぶ。パラメータ h は任意の橋の不確実性因子とモニター橋の不確実性因子の比である。パラメータ h を解析的に決定することができれば、モニター橋の a_0 、 z_0 、 b_0 を用いて任意の橋の $\Delta\sigma_{max}$ 、 $\Delta\sigma_s$ 、 N を与えることができる。パラメータ h の特性は講演当日に述べる。

4. 安全性指標の経年変化

文献1) に記述されている作用荷重パラメータ q は式(10)、(11)、(12)を用いて次のように与えられる。

$$\begin{aligned}q &= (\Delta\sigma_s)^m N \\ &= (h_{s1}h_{s2}h_{s3}h_{s4}h_{z1}h_{z2}h_{z3})(h_{b1}h_{b2})(a_0z_0)^mb_0(\Delta\sigma_s)^mV\end{aligned}\quad (13)$$

ここに、 m : S-N曲線の傾き

毎年定期的にモニター橋で応力実測が行われると仮定すると、式(13)を用いて、任意の橋の年当りの作用荷重パラメータ q_i (i はある年を表す) を決定することができる。したがって供用開始後 k 年経過した任意の橋の作用荷重パラメータ q は次式で与えられる。

$$q = \sum_{i=1}^k q_i\quad (14)$$

q の確率分布は、 k が増加するに従って、中心極限定理により、次の平均値 μ_q と標準偏差 s_q を有する正規分布に収束する。

$$\mu_q = \sum_{i=1}^k \mu_{q,i}\quad (15)\quad s_q^2 = \sum_{i=1}^k s_{q,i}^2\quad (16)$$

ここに、 $\mu_{q,i}$ と $s_{q,i}$: それぞれ i 年の q_i の平均値と標準偏差

供用開始後 k 年経過した任意の橋の安全性指標 β は次式で与えられる。

$$\beta = \frac{\mu_q^N - \mu_q}{\sqrt{(s_q^N)^2 + (s_q)^2}} = \frac{\theta^N - 1}{\sqrt{(\theta^N \Omega_q^N)^2 + (\Omega_q)^2}}\quad (17)$$

ここに、 $\theta^N = \mu_q^N / \mu_q$ 、 $\Omega_q^N = s_q^N / \mu_q^N$ 、 $\Omega_q = s_q / \mu_q$ であり、 μ_q^N 、 s_q^N は、文献1) に記述されている疲労損傷パラメータ c に対する等価正規分布近似の平均値と標準偏差である。

式(17)によって、疲労損傷に関する任意の橋の安全性指標 β の経年変化を知ることができる。

参考文献

- 1) 大倉一郎：疲労損傷パラメータに基づいた鋼橋の疲労安全性の照査、構造工学論文集Vol. 40A, 1994年3月。