

大阪大学大学院 学生員 ○渡辺 洋
大阪大学工学部 正員 大倉一郎

1.はじめに 近年、橋の応力実測に関する報告がいくつかなされている。しかし得られた実測結果の疲労安全性照査への適用の仕方に関しては統一的な手法が示されていないように思われる。本研究では、疲労抵抗度 c と疲労蓄積度 q を提案する。これを用いて、橋の応力実測結果の疲労安全性照査への適用の仕方に関して、一つの指針を与える。

2.疲労抵抗度 c 疲労抵抗度 c を次式で定義する。
(疲労抵抗度 c は過去の論文¹⁾の疲労損傷パラメータ c と同じ)

$$c = N(\Delta\sigma)^m \quad \text{ここに、} m=3 \quad (1)$$

一つの疲労試験片の疲労破壊までの繰返し回数 N と応力範囲 $\Delta\sigma$ に対して c の値が一つ決まる。各構造詳細に対して、 c の確率分布は対数正規分布またはワイブル分布で表される。

3.疲労蓄積度 q 変動応力範囲スペクトルに対して次式で定義される変数 q を考える。

$$q = \sum_{i=1}^k n_i (\Delta\sigma_i)^m \quad (2)$$

ここに、 $\Delta\sigma_i$ ：変動応力範囲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、 k ： i の総数

q が疲労抵抗度 c に等しくなったとき、疲労破壊が生じると仮定する。すなわち、

$$c = q \quad (3)$$

変動応力範囲の全繰返し回数、すなわち

$$N = \sum_{i=1}^k n_i \text{で疲労破壊する一定応力範囲} \Delta\sigma_c \text{を次式}$$

$$\text{で定義する。} \quad c = N(\Delta\sigma_c)^m \quad (4)$$

式(2)と式(4)を式(3)へ代入すると次式を得る。

$$\Delta\sigma_c = \left\{ \sum_{i=1}^k (q_i)^m \frac{n_i}{N} \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (5)$$

この式は、変動応力範囲スペクトルに対してMinerの線形被害則を適用することによって得られる等価応力範囲と同じ形式である。式(3)は、 $n_i (\Delta\sigma_i)^m$ の総和が疲労抵抗度 c に達したときに疲労破壊が起こることを表している。したがって、

$n_i (\Delta\sigma_i)^m$ は疲労損傷の一つの成分を表している。
このような変数 q の特徴から q を疲労蓄積度と呼ぶ。

式(2)と式(5)より、疲労蓄積度 q と等価応力範囲 $\Delta\sigma_c$ の関係は次の通りである。

$$q = N(\Delta\sigma_c)^m \quad (6)$$

4.疲労蓄積度 q に関する不確実性 変動応力範囲の最大値 $\Delta\sigma_{\max}$ と $\Delta\sigma_c$ を結びつける

$\Delta\sigma_c = z \Delta\sigma_{\max}$ なる変数 z 、設計疲労荷重に対して生じる設計応力範囲 $\Delta\sigma_d$ と $\Delta\sigma_{\max}$ を結びつける

$\Delta\sigma_{\max} = a \Delta\sigma_d$ なる変数 a 、設計疲労寿命期間中の繰返し回数 N と設計車両台数 V を結びつける

$N = bV$ なる変数 b を導入すると疲労蓄積度 q は次式となる。

$$q = a^m b z^m q_d \quad (7)$$

ここに、 $q_d = (\Delta\sigma_d)^m V$ であり、これを設計疲労蓄積度と呼ぶ。

変数 a 、 b 、 z をさらに細分化する。

$$a = a_1 a_2 a_3 a_4 \quad (8)$$

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比、 a_2

は橋の動的効果に関する変数、 a_3 は最大応力範囲を生じ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変数、 a_4 は設計疲労寿命期間中における活荷重の変化を考慮するための変数である。

$$z = z_1 z_2 z_3 \quad (9)$$

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曲線の妥当性を考慮するための変数、

z_2 は変動応力範囲スペクトルの形状が橋によって異なることを考慮するための変数、 z_3 は設計疲労寿命期間中における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を考慮するための変数である。

$$b = b_1 b_2 \quad (10)$$

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を考慮するための変数、 b_2 は設計疲労寿命期間中における車両台数の変化を考慮するための変数である。

式(8)、(9)、(10)を式(7)へ代入すると、疲労蓄積度 q は次式となる。

$$q = \Phi q_d \quad (11)$$

ここに、 $\Phi = \phi_1 \phi_2 \phi_3$ 、 $\phi_1 = (a_1 a_2 a_3 z_2)^m b_1$ 、

$$\phi_2 = (a_4 z_3)^m b_2, \quad \phi_3 = z_1^m$$

5. 変数 ϕ_1 の特性 本研究では、単純支持されたプレートガーダー橋のプレートガーダーの支間中央の下フランジの表面応力範囲を取り上げる。建設省標準設計の4本主桁の道路合成プレートガーダー橋と阪神高速道路公団の標準図の5本主桁の道路合成プレートガーダー橋に対して、格子桁解析と有限要素法による準立体解析により、 a_1 は次式で与えられる。

$$a_1 = h_1 l + h_2 \quad (12)$$

ここに、 l ：プレートガーダーの支間長、 h_1 と h_2 ：係数

道路橋示方書で規定される衝撃係数は最大応力 $\sigma_{\max}$ に対するものであり、応力範囲 $\Delta\sigma$ に対するものではない。しかし現在 $\Delta\sigma$ に関する衝撃係数は明らかにされていないので、道路橋示方書に規定される衝撃係数で代用する。

$$a_2 = 1 + i \quad \text{ここに、} i = \frac{20}{50 + l} : \text{衝撃係数} \quad (13)$$

自動車の重量分布を次式で定義されるベータ分布で仮定し、変数 a_3 、 z_2 、 b_1 の特性を調べた。

$$f_P(P) = \frac{1}{B(u, v)} \frac{P^{u-1} (P_{\max} - P)^{v-1}}{(P_{\max})^{u+v-1}} \quad (14)$$

ここに、 P ：自動車の重量($0 \leq P \leq P_{\max}$)、 $P_{\max}$ ：自動車の最大重量、 $B(u, v)$ はベータ関数である。

以上より、 ϕ_1 は次式で与えられる。

$$\phi_1 = \phi_{11} \phi_{12} \quad (15)$$

$$\text{ここに、} \phi_{11} = \left(\frac{P_{\max}}{P_d} \right)^m \frac{B(m+u, v)}{B(u, v)} \quad (16)$$

P_d は疲労設計荷重で単一の集中荷重である。 ϕ_{12} は式(12)と(13)を含み、車頭間隔と支間長に関する関数となる。阪神高速道路公団の標準図の5本主桁の道路合成プレートガーダー橋の外桁の ϕ_{12} と支間長 l の関係を図-1に示す。ここで、 p_1 は全自動車台数に対する連行しない自動車の台数の比率、 p_2 、 p_3 、 p_4 はそれぞれ全自動車台数に対する $a=10\text{m}$ 、 $a=15\text{m}$ 、 $a=20\text{m}$ の車頭間隔で連行する2台の自動車の台数の比率である。 ϕ_{12} は支間長 l の放物線で近

似できる。

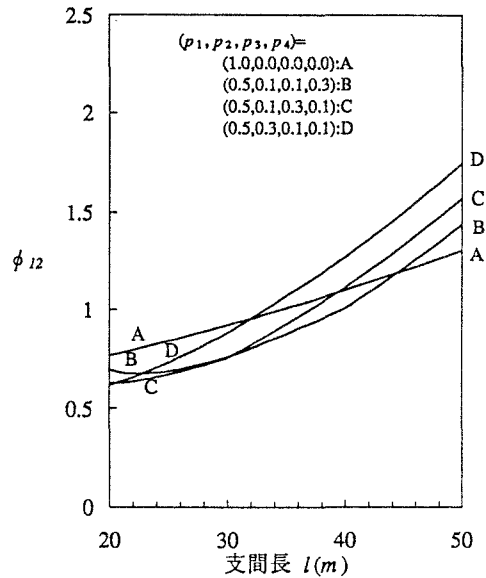


図-1 外桁の ϕ_{12} と支間長 l の関係

6. まとめ 自動車重量の任意の分布に対して、式(16)の ϕ_{11} は次式で置き換えられなければならない。

$$\phi_{11} = \sum_{i=1}^k \left(\frac{P_i}{P_d} \right)^m \frac{v_i}{V} \quad V = \sum_{i=1}^k v_i \quad (17)$$

ここに、 P_i ：自動車重量スペクトルの一成分、 v_i ： P_i の重量を持つ自動車の台数

これを用いて、疲労蓄積度 q の一般形は次式で与えられると予想する。

$$q = \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{P_i}{P_d} \right)^m \frac{v_i}{V} \right\} (d_0 + d_1 l + d_2 l^2) \phi_2 \phi_3 q_d \quad (18)$$

ここに、 d_0 、 d_1 、 d_2 ：係数

最後に、本研究では、疲労設計荷重として単一の集中荷重を採用している。

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、pp.1115-1128、1994。