

道路橋の疲労信頼度評価に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡
鳥取大学工学部 正会員 松保 重之

鳥取大学大学院 ○学生員 山路 良隆
(株)奥村組 植田 和博

1. まえがき 我国の現行の道路橋示方書では、繰返し荷重による疲労の影響は、鋼床版を除き考慮されていない。しかし、ここ十数年来、疲労が原因と考えられる損傷事例が数多く見られるようになってきている。そこで、近年、道路橋の疲労に関する設計規準策定のための研究が行なわれ、いくつかの疲労設計指針がまとめられている。このような状況を踏まえて、本研究では、W. E. Nyman, F. Mosesの論文¹⁾において提案された疲労信頼度評価法を用いて我国の設計基準で設計される道路橋の疲労信頼レベルの評価を行なう。具体的には次の3つの点 (1) 橋梁の各支間長に対する信頼性レベルの比較, (2) 設計活荷重の妥当性の検討, (3) 各種継手の信頼性レベルの比較, に関する解析を行なった。

$$g = D_f - D(t) \quad (1)$$

2. 疲労信頼度の評価法 文献1)では、疲労破壊に関する限界状態関数 g は式(1)で定義されている。式(1)において、 $D(t)$ =時点 t における累積損傷度; D_f =破壊に至る累積損傷度である。

$$D(t) = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^n S_i^b \quad (2)$$

橋梁構造物においては、 $D(t)$ をマイナー則を用

$$S_i = \frac{M_i}{S_x} = \frac{m_i w_i g_i I_i h_i}{S_x} \quad (3)$$

いて評価している。これを式(2)に示す。式(2)にお

$$g = D_f - \frac{1}{C} \sum_{i=1}^n \left[\frac{m_i w_i g_i I_i h_i}{S_x} \right]^b \quad (4)$$

いて、 S_i =トラック i の通過による応力範囲; b =

$$S_x = \frac{w_D m_D g_D I_D h_D}{S_D} \quad (5)$$

$S-N$ 曲線の傾きで、鋼材においては通常、 $b=3.0$;

$$L_o = \frac{1}{V t} \sum_{i=1}^n \left[\frac{w_i}{w_D} \right]^3 \quad (6)$$

$C=S-N$ 曲線の S 軸の切片; $V=1$ 日のトラック交通

$$C = N_D \cdot S_{r,t}^3 \quad (7)$$

量; t =疲労寿命(日)である。トラック i の通過に

$$g = D_f - \frac{V t}{N_D} \cdot \frac{M^3 G^3 I^3 H^3}{S^3} L_o \quad (8)$$

による橋梁を構成する任意の1つの桁に生ずる応力

範囲 S_i を、式(3)で評価している。式(3)において、

M_i =トラック i の通過によって桁に生じる曲げモー

メント範囲; S_x =桁の断面係数; w_i =トラック i

の総重量; I_i =トラック i による衝撃係数; h_i =車

頭間隔; g_i =橋梁の特性及び橋梁上のトラックの幅員方向の作用位置の影響を考慮する係数; m_i =橋梁のス

パン長や支持条件、トラックの軸間距離、トラックの各軸への重量分布に関する影響を考慮した係数である。式

(2), (3)を式(1)に代入すれば、限界状態関数 g は、式(4)のように書き換えられる。また、断面係数 S_x は設計基

準により、式(5)のように求められる。式(5)において、 S_D =許容応力範囲、 w_D, m_D, g_D, I_D, h_D =式(3)で示し

た w_i, m_i, g_i, I_i, h_i の設計値を意味する。すべてのトラック i について、 m_i, g_i, I_i, h_i のサイト k にお

ける平均値を m_k, g_k, I_k, h_k とし、また、トラックの重量スペクトルあるいは荷重影響を表わすパラメータ

を L_o として、式(6)で定義をしている。式(6)において、 w_i =サイト k におけるトラック i の重量; w_D =トラッ

クの設計重量である。さらに、式(4)の定数 C は、式(7)で求められているものとしている。式(7)において、 N_D =

設計繰返し数; $S_{r,t}$ =設計繰返し数に対応する応力範囲である。以上の考察のもとに、最終的に次式で疲労

に関する限界状態関数に対する定義を式(8)に行なっている。式(8)において、 $M=m_k/m_D$ =モーメント比; $G=g_k/g_D$ =分布係数比; $I=I_k/I_D$ =衝撃係数比; $H=h_k/h_D$ =車頭間隔比; $S=S_{r,t}/S_D$ =応力範囲比である。式

(8)において、 $D_f, S, M, G, I, H, V, L_o$ は確率変数としてモデル化されている。本研究では、確率変数としてモデル化したパラメータの分布形を全て対数正規分布とした。これら確率変数のうち D_f, S, I, V は、我

国における統計・実験データを基に推定した。また、我国では G を決定するためのデータが不十分なので、 G の特性値は文献1)と同一のものをを用いた。 H, M, L_o は、疲労寿命50年に対するシミュレーション手法により推定した。 t, N_D は、それぞれ $t=50$ 年=18250日、 $N_D=2 \times 10^6$ 回となる確定量として取り扱う。

3. 現行設計基準の疲労信頼性レベルの検討 ここでは、我国の道路橋設計基準で設計される橋梁の疲労信頼度を評価する。解析は高速繰り返しモンテカルロ法²⁾を用いる。橋梁の各支間長に対する信頼性レベルに関して支間長40, 60, 80 (m)を考え、対象とする橋梁は単純梁とし、スパン中央に関する解析を行なう。対象部材を、一般的によく使用されているすみ肉溶接継手3 (表1参照)とし、設計荷重をTT-43、疲労寿命50年の場合の疲労信頼性レベルを計算した結果を表2に示す。この結果を見ると、支間長60 (m)の場合が他に比べ信頼度が幾分高くなっているものの、各支間長に対する信頼性レベルはほぼ同一であると考えられる。これは、文献1)のAASHTOの設計基準に対して行なわれた解析結果(表3)を見ても、同様のことが言える。この理由は、疲労が応力振幅及びその繰り返し数で決まってくるためである。表2と表3を比べた場合、表2の信頼度は、表3に比べ一様に低くなっている。AASHTOの設計活荷重であるHS-20の車重は約33tで、TT-43に比べ車重が小さい。それにもかかわらず表3の方が、表2に比べ信頼度が高い。この主な理由として設計活荷重の軸間隔が異なることが考えられる。AASHTOの設計活荷重であるHS-20は、TT-43に比べ、軸間が短い。そこで、設計荷重妥当性の検討に関して、設計荷重(TT-43)の軸間を一様に0.6倍して軸間を短くする。この設計荷重を用いてシュミレーション手法を用いて軸間の影響を反映するパラメータであるモー

表1

メント比(M)を計算する。これらの条件より供用期間50年の信頼度_{継手1}: 非溶接(母材切り抜きガセット)を計算した結果が表4である。表2と表4から設計荷重の軸間を縮めることにより信頼度は高くなることがわかる。このことより、我国において疲労設計基準を新たに策定する場合には、設計活荷重をいかに基準化するかが重要になってくる。各種継手の信頼性レベルの比較に関しては表

1に示す5つの溶接・非溶接継手について信頼度の評価を行なった。解析に際しては、設計荷重はTT-43、支間長40 (m)の単純梁を考える。以上の条件下で5種類の継手に対し供用期間50年

	継手1	継手2	継手3	継手4	継手5
$S_{rt}: \mu$	188	126	164	235	323
σ	15	22	28	36	50
S_D (MPa)	155	80	100	125	155
$S: \mu$	0.121E+01	0.158E+01	0.164E+01	0.188E+01	0.208E+01
σ	0.968E-01	0.275E+00	0.280E+00	0.288E+00	0.323E+01

の信頼度を計算した結果が表5である。結果より

表2

(L: 支間長)

応力範囲比(S)が大きい継手ほど、その信頼度も高くなっている。また、一般的に疲労破壊は起こらないと考えられている非溶接平板継手(継手5)の信頼度はかなり高い。しかし、同じ非溶接継手である継手1の信頼度は最も低い。これは、他の継手

L	40m	60m	80m
破壊確率	0.262976E-02	0.967893E-03	0.267471E-02
安全性指標	2.79	3.10	2.79

表4

(L: 支間長)

に比べ、実際の

表3

(L: 支間長)

L	40m	60m	80m
安全性指標	4.0	4.3	4.1

応力範囲 S_{rt} に対する基本許容応力範囲 S_D が高くなっていることが原因であると考えられる。

L	40m	60m	80m
破壊確率	0.848901E-03	0.459721E-03	0.187408E-02
安全性指標	3.14	3.32	2.90

表5

	継手1	継手2	継手3	継手4	継手5
破壊確率	0.355120E-01	0.459188E-02	0.262976E-02	0.327037E-03	0.921716E-04
安全性指標	1.82	2.60	2.79	3.41	3.74

【参考文献】1) W.E.Nyman and F.Moses: Calibration of Bridge Fatigue Design Model, J. of Struc. Eng. ASCE, Vol. 111, No. 6, pp. 1251-1266, 1985-6. 2) 白木渡: 条件付き破壊確率を用いた繰り返し高速モンテカルロ法とその構造物の動的信頼度評価への応用, 構造工学論文集, Vol. 35A, 189.