

(株)高田機工

正会員 ○有馬 博人

(株)駒井鉄工

正会員 石川 敏之

大阪大学大学院工学研究科

正会員 大倉 一郎

1. はじめに

本研究では、“疲労抵抗”と“疲労損傷累積”という二つのパラメータを提案し、モニタリング橋で得られた応力実測の結果を疲労信頼性評価に導入する式を導出した^{1),2)}。今回は、実際の荷重実測、応力実測結果を用いて、実橋への適用を試みた。荷重実測結果を用いて疲労設計の照査を行う場合、あまりにも安全側になる恐れがある。そこで、実際に発生している応力を用いて、設計疲労荷重や重量車混入率を決定した。

2. 道路橋の疲労損傷累積

道路橋の疲労損傷累積 q の一般形が次式で与えられる^{1),2)}。

$$q = x\psi_1\psi_2(a_1a_2\Delta\sigma_d)^3abV_{d,all} \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\sigma_d$ ：設計疲労荷重 P_d の通過によって生じる設計応力範囲、 b ：重量車混入率、 $V_{d,all}$ ：設計時に考慮される全交通容量。

a_1 は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である。

a_2 は桁の動的応答の影響を考慮する変数である。応力範囲に対する桁の動的応答の影響が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。

$$a_2 = 1 + i = 1 + \frac{20}{50 + l} \quad (2)$$

ここに、 i ：衝撃係数、 l ：支間長(m)。

ψ_2 は、橋を通過する車両の連行特性を考慮するための係数であり、次式で定義される³⁾。

$$\psi_2 = (k_1k_2)^3 \quad (3)$$

P_e は等価荷重であり、次式であらわされる。

$$P_e = \left\{ \int_{P_{\min}}^{P_{\max}} P^3 f_p(P) dP \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

ここに、 $P_{\max}$ ：車両の最大荷重、 $P_{\min}$ ：打ち切り限界荷重、 $f_p(P)$ ：車両の荷重分布に関する確率密度関数であり次式を満足する。

$$\int_{P_{\min}}^{P_{\max}} f_p(P) dP = 1 \quad (5)$$

x は、 a_1, a_2, ψ_2 の各係数の中に含まれる不確実性を補正する係数であり、 ψ_1 は設計疲労寿命期間中の交通荷重と交通容量の変化を考慮するための係数である。

α は設計疲労荷重 P_d の3乗に対する等価荷重 P_e の3乗の比であり、次式で表わされる。

$$\alpha = \left(\frac{P_e}{P_d} \right)^3 \quad (6)$$

3. 応力実測結果

阪神高速道路の堺線での、24時間の荷重実測および3ヶ月間の応力実測の結果を使った⁴⁾。応力実測がおこなわれた橋は片側2車線道路で5本主桁を有し支間長21.4mである。応力実測結果を用いて疲労損傷累積の計算を行う。変動応力範囲スペクトルに対する疲労損傷累積は次式で表わされる。

$$q = \sum_{i=1}^k n_i (\Delta\sigma_i)^3 \quad (7)$$

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成分、 n_i ： $\Delta\sigma_i$ の繰返し回数、 k ： i の総数。

5本主桁それぞれについて疲労損傷累積を計算した結果を図-1に示す。疲労損傷累積の計算はガセットプレートに着目し、その打ち切り限界以上の応力についておこなった。

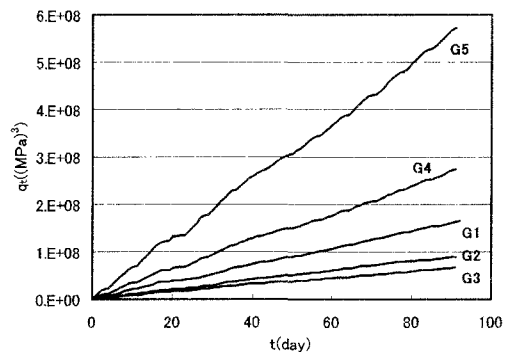


図-1 $q-t$ の関係

疲労損傷累積が最も大きいのはG5桁であるので、G5桁の疲労損傷累積から、設計疲労荷重および重量車混入率を決定する。

4. 設計疲労荷重と重量車混入率の決定

応力実測結果から荷重分布を推定することを考える。

$$\psi_2^3 P_i = \frac{\Delta \sigma_i}{a_1 a_2 \theta} \quad (8)$$

ここに、 θ ：設計実務で算出される1 tあたり応力である。 $a_1 \theta$ で橋に作用する1 tあたりの実応力となる。設計疲労荷重として、橋軸直角方向に1台載荷することとする。そのために、設計疲労荷重には連行特性の影響を考慮し、式(8)の左辺の値より決定する。

荷重の載荷位置は各車線の中央に載荷されるようにする。桁と車線の位置関係を図-2に示す。

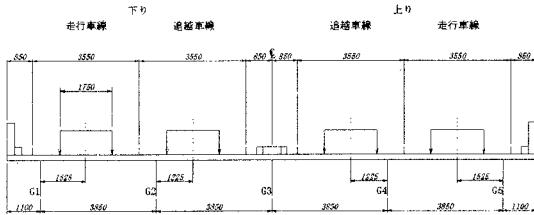


図-2 桁と車線の位置関係

G5桁の疲労損傷累積より、設計疲労荷重や重量車混入率を決定するので、荷重の載荷位置は図-1の上りの走行車線側とする。G5桁における係数を表-1に示す。また、推定された荷重分布を図-3に示す。

表-1 各係数の値

載荷位置	G5
a_1	0.706
a_2	1.280
ψ_2	1.410
θ	1.415

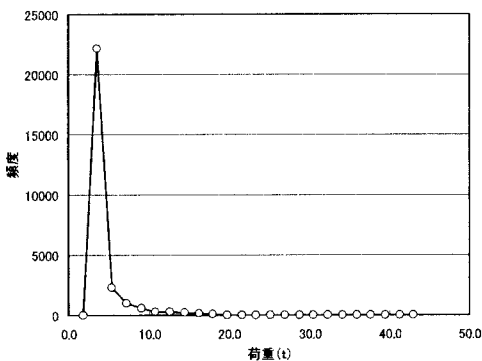


図-3 推定された荷重分布

ガセットプレートに着目し、打ち切り限界に相当する荷重以上に対する等価荷重 P_e と重量車混入率 b を求める。また、道路橋に準拠して設計疲労荷重を25 tとした場合の係数 α を求める。 $V_{d,all}$ は応力実測時に測定された3ヶ月間の上り車線の総交通量の半分とした。重量車混入率 b は打ち切り限界以上の応力カウン数を3ヶ月間の通過台数で除した値とした。結果を表

-2に示す。

表-2 計算結果

	G5
応力カウン数	2460824.5
打ち切り限界以降の応力カウン数	70600.5
総交通量 $V_{d,all}$	2142122.0
重量車混入率 b	0.033
打ち切り限界以降の $\Sigma(P_i^3 \cdot n_i)$	461479758.8
等価荷重 P_e	18.697
設計疲労荷重 P_d	25
α	0.418

4. 実橋の照査

決定した疲労設計荷重 P_d 、重量車混入率 b および係数 α を用いて、G1～G5の照査をおこなう。照査を行うための設計疲労損傷累積 q_d を次式に示す。

$$q_d = \mu_x \psi_{1d} \psi_2 (a_1 a_2 \Delta \sigma_d)^3 \alpha b V_{d,all} \quad (9)$$

ここに、 μ_x ： x の平均値、 ψ_{1d} ： ψ_1 の予測値。

今回は、 μ_x 、 ψ_{1d} を1として照査した。設計疲労荷重の載荷位置を表-3に示す。各桁の疲労に対する安全性を評価するために、桁に対して設計疲労荷重を2台載荷し、荷重の載荷位置の影響をほぼ同じにした。

表-3 各桁の荷重載荷位置

	載荷位置
G1	下り走行+下り追越
G2	下り走行+下り追越
G3	下り追越+上り追越
G4	上り走行+上り追越
G5	上り走行+上り追越

表-3の載荷条件により算出された設計疲労損傷累積 q_d および応力実測により得られた疲労損傷累積 q との比 x を表-4に示す。

表-4 q_d と x の計算結果

	G1	G2	G3	G4	G5
q_d	2528001169	2390285993	1796419284	2390285993	2528001169
q	279352034	146961293	110406433	451687303	963469000
$x(=q/q_d)$	0.11050	0.06148	0.06146	0.18897	0.38112

x の値は実際の疲労損傷累積に対して、どれだけ余裕があるかをあらわしている。 x の値の順番は図-1で示した q の順番と一致している。今回の設計疲労荷重、重量車混入率および係数 α を用いて、同一路線上の他の橋梁に適用することができる。

参考文献

- 1) Okura, I., Ishikawa, T. and Watanabe, H.: Fatigue reliability assessment of highway bridges using new parameters, Structural Safety and Reliability, pp.188 9-1896, 1998.
- 2) 大倉一郎, 石川敏之, 渡辺洋: “新しいパラメータを用いた道路橋の疲労信頼性評価”, 材料, Vol.47, No.12, pp.1233-1238, Dec.1998.
- 3) 土木学会鋼構造新技術小委員会: 最終報告書(設計法研究), 土木学会, 1996年5月.
- 4) 阪神高速道路公団: 鋼桁長期応力頻度データ, 車両重量・軸重データ, 1997年3月.