

関西大学 正会員 坂野昌弘 東京大学 正会員 藤野陽三
 関西大学 正会員 三上市蔵 長岡技術科学大学 正会員 長井正嗣

1. はじめに

様々な社会状況のなかで「良いものを長く使う」時代が明らかに到来している。鋼橋の場合、ハード面で重要なポイントの一つは「疲労」であろう。実際に一部の道路橋において疲労損傷が顕在化しつつある。これまでのところ二次応力によって生じた事例がほとんどであるが、供用年数の増加を考慮すれば、一次応力による主構の疲労亀裂発生の可能性は否定できない。一次応力による疲労損傷は構造全体の崩壊につながるものであるから、まず第一にこれを避けなければならない。

ここではロングライフを300年保証寿命と定義し、疲労設計の立場から鋼道路プレートガーダー橋の一次応力に対する許容活荷重応力範囲を試算する。300年にわたる将来の交通量および活荷重強度を予測できるわけではなく、大胆な仮定に基づいたものであるが、ある種の目安を与えるものと考えている。

2. 寿命評価の前提

疲労寿命を評価する上で重要なものは、外力の大きさと頻度、それらによって生じる応力の変動範囲と繰返し回数、そして対象とする部材の強度（S-N曲線）である。これらの内、部材（継手）の強度はJSSC疲労設計指針¹⁾等が与えている。道路橋の場合には、外力すなわち活荷重の大きさと頻度、およびそれによって生じる応力範囲の推定が特に重要となる。

まず、活荷重の大きさであるが、今後300年の変化を推定できる手段はない。社会構造の変化、自動車そのものの変化、法規制の問題などにより、疲労に大きな影響を及ぼす大型車の動向は大きく左右される。ここでは、安全側ということで現状の活荷重レベル²⁾の5割増すなわち1.5倍を想定した。また、大型車の台数については、架橋地点によりさらに大きな違いがあるため、一日一車線当たり100台～5000台を想定した。実測値としては、高速道、一般道ともに5000台前後という報告^{5)・6)}がある。

活荷重によって実際に橋梁に生じる応力は設計計算応力に比べて小さく、両者の比は0.6～0.8程度といわれている³⁾。非合成コンクリート床版や二次部材など設計モデルに組み入れられていない影響によるものと思われるが、将来的にはよりシンプルな構造の方向に向かうと考え、ここではその比を1.0とした。コンクリート床版を含めたプレートガーダー橋の立体解析から信頼できる係数の評価は可能と思われ、この点については今後つめていく予定である。

3. 疲労寿命の評価

(1) 最大応力範囲による評価 大型車重量の最大値としてT-20×荷重係数を想定する。荷重係数として現状に対し3.0、将来への余裕として1.5、T-20によって生じる応力範囲を $\Delta\sigma_{T-20}$ とすれば、最大応力範囲($\Delta\sigma_{max}$)は

$$\Delta\sigma_{max} = 3.0 \times 1.5 \times \Delta\sigma_{T-20} = 4.5 \times \Delta\sigma_{T-20} \quad (1)$$

これを設計寿命曲線の疲労限($\Delta\sigma_{ee}$)と比較して、 $\Delta\sigma_{T-20} \leq \Delta\sigma_{ee}/4.5$ ならば疲労寿命L(年)は無限大、逆に $\Delta\sigma_{T-20} > \Delta\sigma_{ee}/4.5$ ならばLは有限となる。

(2) 等価応力範囲による評価 $\Delta\sigma_{T-20} > \Delta\sigma_{ee}/4.5$ の場合、等価応力範囲($\Delta\sigma_{eq}$)によりLを求めることができる。等価大型車重量(W_{eq})⁴⁾を用いれば、 $\Delta\sigma_{eq}$ を等価大型車1台の通過によって生じる応力範囲($\Delta\sigma_{T-W_{eq}}$)として定義できる。

$$\Delta\sigma_{eq} = \Delta\sigma_{T-W_{eq}} = (W_{eq}/20) \times \Delta\sigma_{T-20} \quad (2)$$

ここで、 $W_{eq} = \gamma \times \gamma_i \times W_{RMC}$ (W_{RMC} : 大型車重量のRoot-Mean-Cube, γ : 同時載荷係数、 γ_i : 衝

撃係数)と表すことができるから、

$$\Delta \sigma_{eq} = \gamma \times \gamma_i \times (W_{RMC} / 20) \times \Delta \sigma_{T-20} \quad (3)$$

γ はスパン50m程度を想定して1.2、 γ_i は平均的には1.05程度という報告⁵⁾があるが余裕をみて1.1、また W_{RMC} については現状においてすでに20tonを越えるケースもみられることから将来の余裕をみて30tonと仮定すれば、

$$\Delta \sigma_{eq} = 1.2 \times 1.1 \times 1.5 \times \Delta \sigma_{T-20} = 2.0 \times \Delta \sigma_{T-20} \quad (4)$$

したがって、疲労寿命 L (年)と $\Delta \sigma_{T-20}$ の関係は、一日一車線当たりの大型車交通量ADTTに対し、疲労設計曲線($\Delta \sigma^m \cdot N = C$)を用いて次式のように表すことができる。

$$L = \frac{N}{365 \cdot ADTT} = \frac{C \cdot \Delta \sigma_{eq}^{-m}}{365 \cdot ADTT} = \frac{C \cdot (2.0 \times \Delta \sigma_{T-20})^{-m}}{365 \cdot ADTT} \quad (5)$$

4. 結果

寿命評価の対象として、プレートガーダー橋の基本的な継手である以下の3カ所を取りあげる。

①フランジとウェブを接合する縦方向溶接部 (JSSC-D等級)

②垂直補剛材端部 (JSSC-E等級)

③横桁フランジや横構を主桁に取付ける面外ガセットの端部 (JSSC-G等級)

それぞれのディテールに対して求めた、 $\Delta \sigma_{T-20}$ 、ADTTと L (年) の関係を表1～3に示す。網かけ部分()は $L \geq 300$ 年となるケースである。表からわかるように寿命300年を保証する $\Delta \sigma_{T-20}$ はかなり小さい。ADTTが500台以上の場合、疲労フリーとなるためには応力範囲の最大値が各継手等級の疲労限以下であることが必要条件となる。

5. おわりに

300年を保証寿命として鋼道路プレートガーダー橋を対象に主要部材溶接部の許容活荷重応力を試算してみた。試算結果は荷重の将来予測に大きく依存するが、今回用いた現状の1.5倍が妥当だとすると、ある程度大型車の通行が予想される場合には最大活荷重に対する許容応力はほぼ疲労限応力とすべきということになる。このことの経済的影響についても検討する必要がある。

参考文献： 1)日本鋼構造協会：疲労設計指針(案)，1989。 2)日本道路協会限界状態設計法分科会荷重検討班：第1次報告書，1986，第2次報告書，1989。

3)三木他：土木学会論文集，No.386/1-8，pp.125-133，1987。 4)坂野他：構造工学論文集，Vol.38A，pp.1063-1070，1992。 5)藤原他：土木研究所資料，第2539号，1988。 6)阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会活荷重分科会報告書(別冊1)，1984。

表1 $\Delta \sigma_{T-20}$ 、ADTTと L (年) の関係 (JSSC-D等級)

$\Delta \sigma_{T-20}$ (MPa)	50	40	30	25	20	15
ADTT (台/車線)	100	55	110	250	440	860
	500	11	21	51	88	170
	1 000	6	11	25	44	86
	5 000	1	2	5	9	17

表2 $\Delta \sigma_{T-20}$ 、ADTTと L (年) の関係 (JSSC-E等級)

$\Delta \sigma_{T-20}$ (MPa)	40	30	25	20	15	10
ADTT (台/車線)	100	55	130	220	440	1040
	500	11	26	45	88	210
	1 000	6	13	22	44	104
	5 000	1	3	5	9	21

表3 $\Delta \sigma_{T-20}$ 、ADTTと L (年) の関係 (JSSC-G等級)

$\Delta \sigma_{T-20}$ (MPa)	30	25	20	15	10	5
ADTT (台/車線)	100	32	55	110	250	860
	500	6	11	21	51	170
	1 000	3	6	11	25	86
	5 000	<1	1	2	5	17