

疲労の観点からみた橋梁の耐久性評価

名古屋大学工学部 正員 山田健太郎

1. はじめに

航空機の事故の例を示すまでもなく、繰り返し荷重を受ける構造物は、疲労損傷を生じるため注意する必要があり、場合によっては疲労設計する必要がある。繰り返し荷重を受け続けることにより、いずれかの段階では疲労による寿命を迎えることになるからである。そのため、各種の疲労設計指針が提案されている。これらの疲労設計指針では、与えられた設計寿命中に疲労亀裂を生じないように設計する。このような考え方を逆に利用して、疲労の観点から橋梁の耐久性を評価することが可能である。この方法では耐久性の評価に必要なパラメータが、疲労寿命で与えられるメリットがある。以下に、そのような考え方と、2、3の問題点について示す。

2. 疲労損傷度の概念

構造物が繰り返し荷重を受けると、疲労損傷を生じる。繰り返し応力が、一定なら、通常対象としている継手のS-N線図によりその疲労寿命は計算できる。この場合、ある繰り返し数 n を受けた後の疲労損傷度は、その応力での疲労寿命を N とすると、 $D = n/N$ で与えられる。(図1) 通常の構造物では、作用応力は、不規則に変動する。疲労限を越えるような応力がある場合には、それぞれの応力に対してマイナー則を用いて疲労損傷度を計算する。すなわち疲労損傷度は、 $D = \sum n_i / N_i$ で与えられる。例えば、道路橋では比較的発生応力が大きい重車両による疲労損傷度を計算することが多いが、これは、このような荷重がしばしば疲労限を越える応力範囲を発生させるからである。

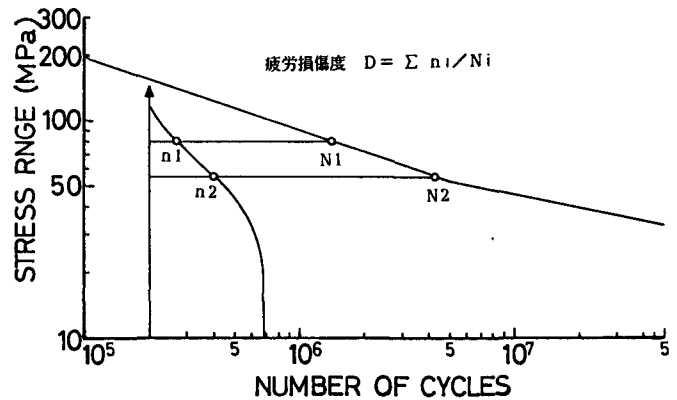


図1 疲労損傷度の計算の概念 (マイナー則)

構造物が、過去に受けた繰り返し荷重は、正確には分からないまでも、交通量や大型車混入率などからある程度の推定は可能である。従って、対象とする構造物が過去に受けた疲労損傷度を計算することができる。また、現在の作用荷重下での疲労損傷度は、上記のような計算を行って求めるほかに、たとえば応力頻度分布をヒストグラムレコーダーなどで実際に計測することも可能になり、実応力頻度分布から疲労損傷度を計算できるようになった。このようにして計算した疲労損傷度を用いて、残存疲労寿命を求めることが出来る。また、同様な構造物の疲労損傷度および残存疲労寿命と比較することにより、対象とする構造物の相対的な耐久性の評価が可能となる。幸い、道路橋の設計荷重を見直す観点から数多くの実働応力ヒストグラムが計測されてきており、近い将来より合理的な評価が可能になるものと思われる。

構造物が、過去に受けた繰り返し荷重は、正確には分からないまでも、交通量や大型車混入率などからある程度の推定は可能である。従って、対象とする構造物が過去に受けた疲労損傷度を計算することができる。また、現在の作用荷重下での疲労損傷度は、上記のような計算を行って求めるほかに、たとえば応力頻度分布をヒストグラムレコーダーなどで実際に計測することも可能になり、実応力頻度分布から疲労損傷度を計算できるようになった。このようにして計算した疲労損傷度を用いて、残存疲労寿命を求めることが出来る。また、同様な構造物の疲労損傷度および残存疲労寿命と比較することにより、対象とする構造物の相対的な耐久性の評価が可能となる。幸い、道路橋の設計荷重を見直す観点から数多くの実働応力ヒストグラムが計測されてきており、近い将来より合理的な評価が可能になるものと思われる。

3. S-N線図の設定

マイナー則を用いて疲労損傷度を計算するためには、対象としている構造物の継手のS-N線図を正確に求める必要がある。そのためには、疲れ試験が必要であるが、これまでに膨大な疲れ試験データが蓄積されており、コンピュータアクセスが可能なデータベースを利用して、必要なS-N線図を

求めることも出来るようになってきた。ただし、このようなデータベースをしてみると、母材や突合せ溶接継手などの比較的一般的な継手に対してはデータが多いものの、特殊な継手についてのデータが少ない。また古い構造材料やリベット継手などのデータは少なく、積極的にデータの収集を行う必要があるように思われる。

4. 長寿命域での疲労寿命予測の問題点

道路橋の疲労寿命照査の問題点の一つに、主部材に発生する応力範囲が比較的小さく、いわゆる実験データを基にしたS-N線図の適用範囲外になることが多いことである。たとえば、あるアーチ橋の垂直材で計測された比較的大きな応力範囲のヒストグラム(図2)でも、計測された応力頻度の99%以上がこの継手の疲れ限度以下の応力範囲であった。しかしながらこの橋梁には日交通量で7万台を越える通過交通量があり、疲労限を越える応力範囲も多数ある。そのような場合の疲労損傷度の計算方法はいくつか提案され、疲労設計指針にも採用されている。(図3)基本的には、前述のマイナー則を用いているか、S-N線図の傾きを長寿命域で変化させることによって、頻度は大きいが値の小さい応力範囲の影響を合理的に扱っている。なお、これらの線図の採用にあたっては、変動荷重による疲れ試験結果のほか、破壊力学による解析結果なども使われている。

5. 今後の課題

これまで述べてきたように、疲労の観点から橋梁の耐久性を評価する方法は、結果が寿命で出てくるメリットがあり、そのほかの耐久性評価の基準、たとえば腐食、床版のひびわれ、過大な振動などと組み合わせて用いることができる。今後の課題は、本文中でも述べたか、多くの橋梁でこのような評価を積み重ねることであり、その結果その橋梁の疲労損傷度や残存寿命ばかりでなく、ほかの橋梁との相対的な比較も可能になり、より信頼性の高い評価につながるものと思われる。

参考文献:1)Fisher, J. W.(阿部、三木訳監修)“鋼橋の疲労と破壊—ケーススタディ”、建設図書
2)ヨーロッパ鋼構造協会連合(ECCS)TC-6”鋼構造物の疲労設計指針”(日本鋼構造協会訳)

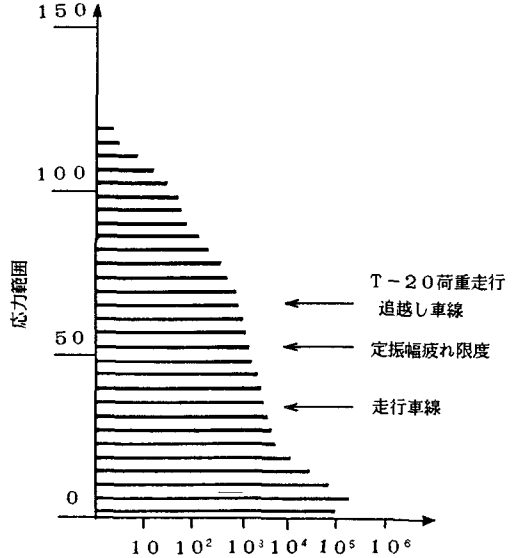


図2 実測されたヒストグラムと疲れ限度の関係

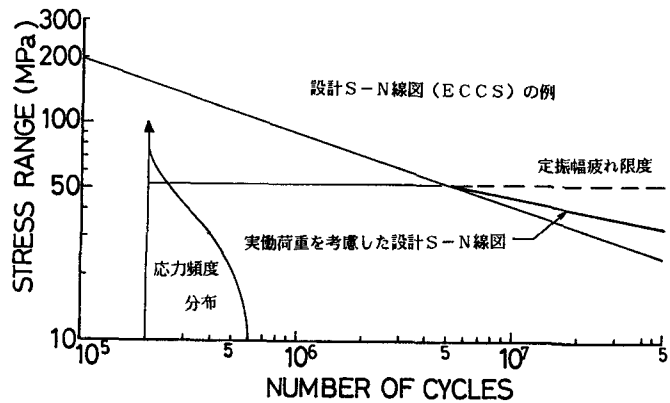


図3 疲れ限度以下の応力範囲が多い場合の計算