

橋梁の実働応力測定と疲労寿命評価

名古屋大学	学生員	○石黒 幸文
名古屋大学	正員	加藤 雅史
名古屋大学	正員	山田健太郎

1. はじめに

最近の橋梁の実測調査では、健全性評価のためや設計荷重の見直しのため、従来から行われてきた交通を遮断した状態で荷重車を静的または動的に載荷したときの各部材に発生する応力測定に加えて、実働荷重下でのひずみや変形の発生頻度（ヒストグラム）を計測することが多い。これは、実働応力の実態を知る必要性とヒストグラムレコーダと呼ばれる簡便な計測装置が開発された相乗効果によるものと思われる。

本研究では、このヒストグラムレコーダを用いて、供用開始後25年を経過したアーチ橋の実働応力頻度測定を行い、疲労寿命評価を行った結果を報告する。

2. 実働応力測定と疲労寿命評価

実働応力測定では、荷重車により発生する応力および一般交通により発生する実働応力の頻度分布を求める。後者の計測には、ヒストグラムレコーダを用いることが多い。これを用いると、歪み波形をリアルタイムで解析し、レインフロー法などにより発生頻度をカウントすることが可能となり、比較的簡便にヒストグラムが求められる。

一般に応力頻度測定を行う測定点は、基本部材としての主桁や主構、疲労損傷の発生が予想される溶接継手の近傍が選ばれる。溶接継手の疲労強度は、その形状や寸法により決まり、過去の疲労試験結果をまとめて設計S-N線図の形で各種の疲労設計指針に示されている。本研究では、継手の分類及び設計S-N線図は、ECCS疲労設計指針を参考にした。これによれば、橋梁部材のように変動応力が作用する場合には、設計S-N線図は図1に示すように2種類のものが考えられる。すなわち、Case 1として傾き $m=3$ の直線を用い（修正マイナー則）、Case 2として繰り返し数 5×10^6 回までは $m=3$ 、 5×10^6 から 1×10^8 までは $m=5$ 、それ以上ではS-N線図を横軸と平行になるように、3本の線からなる設計S-N線図を用いる（3直線法）。Case 2では、S-N線図上で 1×10^8 回に相当する応力範囲（cut off limit）より小さな応力範囲は無視される。

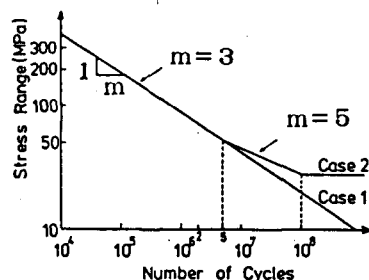


図1 設計S-N線図

測定点の設計S-N線図が決まれば、応力頻度分布測定結果と併せ

てマイナー則より疲労損傷度 $D = \sum n_i / N_i$ が計算される。ここに、 n_i はある応力範囲レベル σ_{ri} の発生頻度、 N_i は設計S-N線図において応力範囲レベル σ_{ri} に対応する破壊に至る繰り返し数を表す。本研究では、疲労損傷度 $D=1$ となった時に疲労損傷が発生すると仮定している。

3. 実際の測定例

測定の対象とした橋梁は、供用開始後25年経過したスパン54.0mのアーチ橋で、高速道路橋として使用されている。その一般図を図2に示す。この橋梁には現在2車線で1日80,000台（そのうち26%は大型車）の通行がある。このタイプの橋梁では、垂直材や縦桁に疲労損傷が発生したことが報告されている。24時間応力頻度測定の結果得られた頻度分布の代表例（垂直材下端、アーチリブ、縦桁）を図3に示す。ここで発生頻度のカウントにはレインフロー法を用いており、縦軸は応

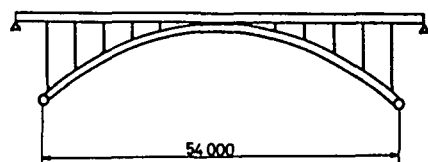


図2 測定対象橋梁の一般図

力範囲、横軸は発生頻度（この1/2が疲労損傷度計算時の n_i に等しい）を片対数目盛りで示している。参考値として、荷重車1台（21ton）が走行車線を走行した場合、追越し車線を走行した場合、及び3台が連行並行走行した場合の最大応力範囲も示す。実際の交通状態では3台の荷重車が同時に走行した時より大きい応力範囲がかなり発生していることがわかる。

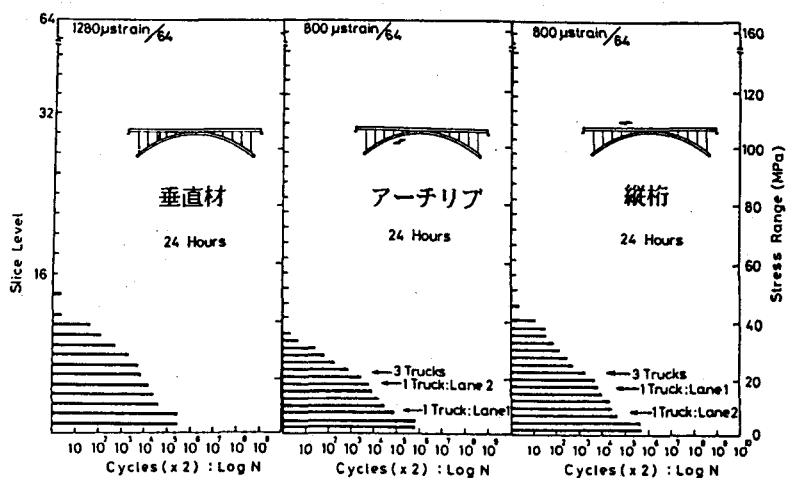


図3 24時間応力頻度測定の結果分布

これらの実働応力測定

結果から計算した疲労寿命を表1に示す。継手分類は垂直材上端ではECCS71、アーチリブではECCS80、縦桁ではECCS100とした。表1の疲労寿命を見ると、垂直材上端ではCase 1で13年、Case 2で100年という結果になった。両者の差は大きい、この橋梁では過去に垂直材上下端でクラックが発生していることや、通常の道路橋の主桁で測定された応力頻度分布から計算された疲労寿命が数百年から数千年となることを考えると、

この部分が疲労に対してかなり不利な状態にあることを表すのに十分な指標となっている。アーチリブではCase 1の疲労寿命が71年であるのに対して、Case 2の寿命は無限大となった。Case 2では、発生頻度の大きい低応力範囲レベルの応力がcut offレベル以下になり、その影響を無視するからである。このように、高頻度で発生する低応力範囲レベルの適切な疲労寿命評価法については、今後の研究が必要であると思われる。

4. まとめ

既設橋梁を対象として実働応力測定を行い、その結果を用いて疲労寿命評価を行った。本研究で得られた結論として、実際に疲労損傷の生じたことのある橋梁の部材では、応力頻度分布より計算される疲労寿命は、通常の道路橋の主桁の疲労寿命よりもかなり短い値となることがわかった。また、応力範囲の頻度分布の状況によっては、実働荷重を受ける部材の設計S-N線図の考え方により、計算される疲労寿命に大きな違いが生じる。このため、疲労寿命の精度のよい予測には、この設計S-N線図を合理的に決める必要があり、今後の研究が待たれる。以上のように、疲労寿命は、必ずしも十分な精度で計算から求まるとは言い難い。従ってここで示した寿命は、相対的な耐久性を示しているものと考えることができよう。今後このような測定データ及び解析例を積み重ねることにより、疲労の観点からみた耐久性評価が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 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)、1985
- 2) 西川和広: 道路橋における疲労問題と補修・補強、橋梁と基礎、第17巻第8号、1983、pp19-23
- 3) 建設省土木研究所: 既設橋梁の耐久性評価・向上技術に関する調査研究、土木研究所資料第2420号、1986