

交通荷重特性を考慮した鋼道路橋の確率論的疲労損傷度評価法に関する研究

(株) マスダ工務店 正会員○増田憲治
 広島工業大学工学部 正会員 中山隆弘
 川田工業株式会社 国広義徳

1. はじめに

近年、大型車の交通量の増加に起因する道路橋の疲労損傷が多発している点が注目され、道路橋の疲労設計用の活荷重モデルの構築に関する研究が活発に行われている¹⁾。そこでは、複雑な数値解析を行うことなく疲労設計が行えるよう、簡便な疲労設計荷重が提案されているが、材料の疲労寿命のばらつきについては必ずしも十分な考慮がなされていないなど、将来的には改善の余地が残されていると考える。

本研究は、信頼性工学視点より交通荷重に対する鋼道路橋部材の疲労損傷度を評価する方法について提案し、数値解析結果に基づいて疲労破損に影響を与えるパラメータと疲労破損確率との関係を考察することを目的に実施された基礎的研究である。

2. 疲労損傷確率の算定法

研究手順としては、まず従来の研究を参考にして、道路橋上を走行する自動車荷重列に関する既存の統計資料を利用したシミュレーション手法によって鋼道路橋部材に発生する応力の頻度分布を推定する計算プログラムを開発することを試みた。次に、不規則変動応力による疲労損傷度の算定法としては、これまで幅広い分野で使用されてきたマイナー則(Miner's rule)による方法を採用した。通常、不規則変動応力を繰返し受ける構造部材の疲労寿命は、一定振幅の繰返し荷重による疲労実験より得られる S-N 曲線と、耐用期間中部材に作用する変動応力の頻度分布から累積損傷則に従って予測されることが多い。しかし、予測結果は一般にかなり大きなばらつきを伴う。このばらつきは、応力の時間的作用経過を無視し、単に応力頻度のみによって損傷度を評価しようとしている点にも原因はあるが、疲労現象そのものが本質的に確率的現象であることにも大きな原因がある。したがって、本研究ではマイナー則を表す式(1)の分母の N_i (いわゆる、ある変動応力に対する疲労寿命)を確率量で表し、不規則変動応力を受ける材料の疲労損傷の可能性を確率論的に評価する方法²⁾を用いている。

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (1)$$

この場合問題になるのは、一般には、例えば特定の形式の溶接継ぎ手に対する適切な S-N 曲線や疲労寿命の確率分布とその母数が実験データとして得られていないことである。しかし、今回はとりあえず次に述べる方法を用いた。

まず S-N 曲線については、継ぎ手形式ごとに決められた各等級に対する S-N 曲線群³⁾の中から、設計上安全側の評価を行うために、比較的厳しい等級に対するものを採用した。また、疲労寿命の確率分布としては、最小値分布としてこの種の解析にしばしば利用されるワイブル(Weibull)分布を用いている。さらに、母数は過去の実験データを参考にして疲労寿命の変動係数を仮定し、それより母数を近似的に推定している。

当然ではあるが、式(1)の N_i を確率量とすれば累積損傷度 D も確率量となり、疲労破損が $D \geq 1$ で生じるものと仮定すれば、式(2)によって疲労破損確率を算定できる。

$$P_f = P_{rob} [D \geq 1] \quad (2)$$

3. 数値解析例

1つのケース・スタディとして支点近傍に切欠部を有する支間40m, 3本主桁の単純活荷重合成桁橋を取上げ, 疲労損傷解析の対象は, 図1に示す円弧状コーナー部におけるウェブと下フランジの溶接部とした。この部分は過去に実際に疲労損傷事例が認められた部分である。本研究で用いた自動車荷重列に関する統計量を表1に示し, 車両モデルの一例を図2に示す。紙面の都合上, これらの詳細については省略する。

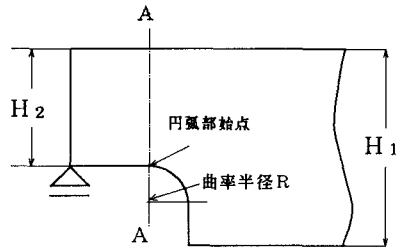


図1 円弧状コーナー部を有する桁端切欠部

表1 自動車荷重列に関する統計量

交通量	1時間毎の変数 ⁴⁾
走行速度	1時間毎の変数 ⁴⁾
車両混入率	1時間毎の変数 ⁴⁾
車両の種類	3車種、8種類の計10種 ⁴⁾
車両の重量	車種と積載状態の変数 ⁴⁾
車両の軸重	車種別の変数 ¹⁾
車両の長さ	車種別のベータ分布の変数 ⁴⁾
軸間距離	車長変数と基本定数の変数 ¹⁾
車両距離	総車長と走行時速の変数 ¹⁾

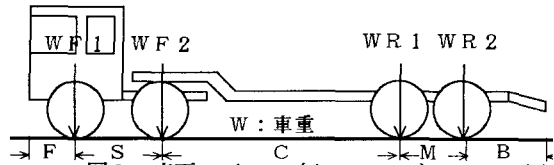


図2 車両モデル (トレーラー)
 $F=1.2$ (CONST): $S=3.25$ (AVE): $C=7.8$ (AVE)
 $M=1.55$ (CONST): $B=2.1$ (CONST): $L=15.95$ (AVE)
 $WF1=0.14W$: $WF2=0.3W$: $WR1=0.28W$: $WR2=0.28W$

自動車荷重から着目点の応力度への変換については, 今回は, 橋を3次元骨組構造でモデル化し, まず, 有限要素法による立体解析によって着目点を含む横断面(A-A)の断面力を算定し, さらに, 阪神高速道路公団による提案式⁵⁾によって断面力から応力度を計算する方法を採用した。また, より厳密な変動応力分布を推定するためには振動解析を行うべきであろうが, 本研究では, 道路橋示方書に規定された衝撃係数を導入することによって, 動的な影響を考慮できるものとした。伸縮継手の影響がかなり大きいものと考えられるが, 我々の知る限り, まだこの種の検討がなされた例はなく, 今後の課題として残した。

図3は得られた結果の一部であり, 耐用年数を30年, P コーナー部の曲率半径を50mmとし, すみ肉溶接条件としてもっとも厳しい条件と考えられるH等級に対するS-N曲線⁶⁾に基づいて計算した累積損傷度Dの確率密度関数である。図より, 前述のNiの変動係数による密度関数の差異が理解できる。さらに, 表2は式(2)に従って計算したコーナー部の疲労破損確率であり, やはりNiの変動係数によって破損確率がかなり異なることが分かる。

表2 疲労寿命の変動係数による疲労損傷確率の差異

変動係数	0.4	0.5	0.6
破壊確率Pf	4.34×10^{-2}	1.44×10^{-1}	3.19×10^{-1}

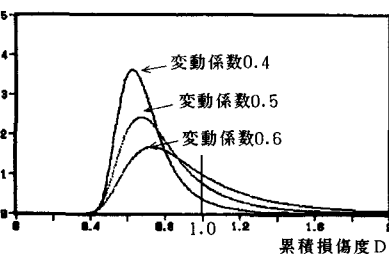


図3 累積損傷度Dの確率密度関数

5. おわりに

交通車両の統計資料を基礎にしたシミュレーション手法に基づく今回の鋼橋部材の確率論的疲労損傷度評価法には種々の仮定が含まれている。しかし, 荷重にしても, 継ぎ手部疲労寿命にしても, 完全無欠な統計資料を得ることは非常に困難であり, 適切な判断に従って構築した確率・統計モデルを用いて, 鋼継ぎ手部の実荷重に対する疲労寿命を確率論的に評価する方法は, 少なくとも現在の寿命評価法に比べれば, より発展的な方法であるとと考えている。最後に, 貴重な資料を提供していただいた阪神高速道路公団設計課課長楠佐 中村一平氏に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 例えば, 三木・杉本・宮崎・森: 鋼道路橋の疲労照査のための荷重に関する研究, 構造工学論文集Vol.1.36A, 1990年3月
- 2) 中山・高田・小松: 不規則変動荷重による構造部材の疲労破壊に対する信頼性について, 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集, 第1部1978年10月
- 3) 日本鋼構造協会: 疲労設計指針(案), 平成元年11月
- 4) 久保: 道路橋における交通荷重の実態特性から見た安全性の確率論的評価に関する研究, 京都大学学位論文, 平成3年10月
- 5) 阪神高速道路公団: 鋼桁切欠部の健全度に関する調査研究報告書, 昭和58年3月