

交通荷重を受ける橋梁部材の耐疲労信頼性評価法に関する基礎的研究

古岩建設（有）正会員 ○古岩 功三 広島工業大学工学部 正会員 中山 隆弘

1. はじめに

これまで鋼道路橋の疲労損傷の問題は、静的荷重による部材や継手部の破断、あるいは主要部材の座屈等の問題に比べて軽視される傾向にあった。しかし、近年、道路橋においても交通荷重が苛酷なものとなり、橋梁形式や継手形式によっては特にその影響を受けやすい状況が顕著になってきた。それにもかかわらず、疲労損傷に対する信頼性解析に関する研究は極めて乏しく、今後の研究に委ねられるところが多い。本研究では、本質的に鋼材の疲労寿命には著しく大きなばらつきが存在することに着目し、供用期間中、交通荷重による応力を繰返し受ける橋梁部材の疲労破壊に対する信頼性を解析的に評価する方法について検討を行った。

2. 疲労破壊確率の算定法

本研究では、線形累積被害則に基づく累積疲労による亀裂発生寿命の考えを採用している。この考えの下では、材料がある一定振幅応力 $\Delta\sigma_i$ を受けて疲労破断に至るまでの繰返し回数 N_i と、その応力を供用期間中に橋梁の着目部位が実際に受ける繰返し回数 n_i によって定義される。

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

すなわち、疲労損傷度 D が1に達するときに疲労破壊が生じるとしている。しかし、一般に N_i には極めて大きなばらつき¹⁾が存在し、既往の実験データにも認められるように、限界疲労損傷度もかなり大きくばらつく。このばらつきは材料の組織感性性によるもので、材料の本来の性質のひとつである。

そこで、 N_i を確率量と考えれば、式(1)より疲労損傷度 D も確率量となり、それによって疲労破壊確率 P_f が得られる。ただし、その算定法としては種々考えられるので、本研究では、①1次ガウス近似法による方法、②たたみ込み積分による方法²⁾、③大倉らの疲労信頼性評価法³⁾によって計算を行い、数値シミュレーションによる結果と比較することにより各々の妥当性を検討した。

さて、各応力範囲における疲労寿命には完全相関とは言えないにしても、かなり高い相関性があると思われる。しかし、①の方法では、理論上それらを実無相関であると仮定しているの、まず、その問題について述べておく。図2は、簡単のために各応力範囲に対する疲労寿命が正規分布に従うものと仮定して、3段繰返し応力を受ける材料の疲労破壊確率をシミュレーションによって算出した結果である。図中の ρ は各疲労寿命の相関係数である。図より、期待疲労損傷度が1より小さい範囲では、特に相関係数の大きさに疲労破壊確率はそれほど影響を受けないことが分かる。したがって、今回は、②の方法においても、各応力範囲の疲労寿命間には相関がないものと仮定して解析を行った。

3. 数値解析モデル

本研究では、ケーススタディとして、支点近傍に切欠き部を有する支間40m、3本主桁の単純活荷重合成桁橋を取り上げた。疲労損傷解析の着目部位は、図3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、過去に疲労損傷例が認められた部分である。橋梁部材が疲労損傷を受ける箇所についての応力範囲を算出する方法として、本研究では、シミュレーション手法を用いた。その算出の手順は、まず、交通荷重の統計資料（日交通量、車種、車両重量、車間距離など）に基づいて不規則な活荷重列をシミュレーション

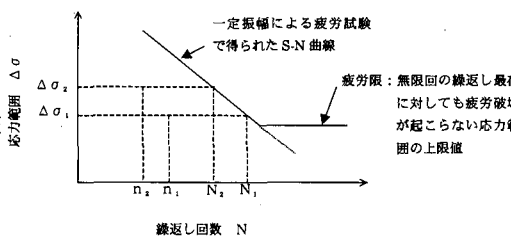


図1 材料のS-N曲線

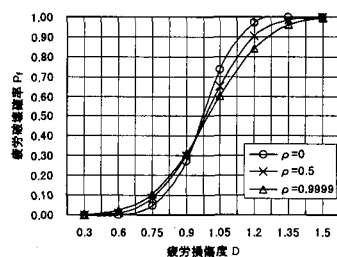


図2 疲労寿命の相関性が疲労破壊確率に及ぼす影響

により発生させ、解析対象とする部位の断面力に対する影響線関数の値を用いて部位の断面力をシミュレートした。そして、その断面力の値と、阪神高速道路公団による提案式⁴⁾によって断面力から応力度を算出した。さらに、応力振幅計数法としてはレンジペア法を採用し、応力範囲レベルと各頻度を求めた。なお、各応力範囲に対する疲労寿命の平均値は文献⁵⁾で与えられているH等級のS-N曲線によって算定し、その確率分布は2母数のワイブル分布に従うものとした。

4. 解析結果および考察

(1) 解析方法①による結果

表1に①の方法で算出した結果を示す。表中の“—”は計算プログラムの精度上の問題で、安全性指標 β が収束しなかったために破壊確率が算出されなかった部分であるが、変動係数0.1~0.2の疲労破壊確率はほぼ1.0、変動係数が0.6~0.9における疲労破壊確率はほぼ0.0であると考えてよい。表より、①の方法では、材料の疲労寿命の変動係数が0.3より大きい範囲ではシミュレーションによる結果ときわめて大きい差を生じた。現段階では、その主因は、1次ガウス近似法における正規化近似の方法によるものではないかと考えているが、今後の大きな研究課題の1つである。

(2) 解析方法②および③による結果

図4にシミュレーションによる結果と共に解析結果を示す。図より、たたみ込み積分による方法とモンテカルロ・シミュレーションによる方法はほぼ一致していると言える。多少の誤差は、作成したプログラムによる計算誤差ではないかと考えている。各疲労寿命に完全相関があるとしている大倉らの方法による結果には、疲労寿命の変動係数が0.50~0.60の範囲でシミュレーションによる結果と多少の差が見られる。また、3つの方法とも、変動係数が大きくなるにつれて疲労破壊確率が小さくなっているのは、疲労寿命の母数の決定の際に、上述の設計疲労曲線が2.3%の非超過確率に対応する値で描かれているとしてワイブル分布の母数を求めたことによるもの

表1 一次ガウス近似法による疲労破壊確率

評価方法 変動係数	1次ガウス近似法	モンテカルロ・シミュレーション法
0.1	—	1.0000
0.2	—	1.0000
0.3	0.9690	0.9904
0.4	0.2512	0.5075
0.5	0.0000	0.2153
0.6	0.0665	0.1320
0.7	—	0.1050
0.8	—	0.0944
0.9	—	0.0901

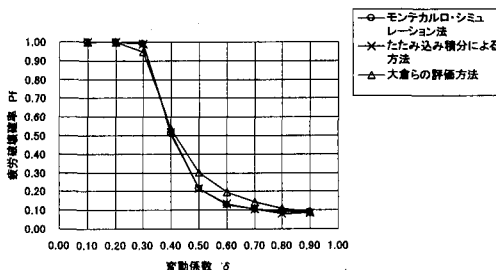


図4 評価方法による疲労破壊確率の差異

のであり、その場合には、変動係数を大きくすると必然的に疲労寿命の分布は寿命の大きい方へシフトすることによるものである。

5. おわりに

本研究では、交通荷重を受ける橋梁部材の耐疲労信頼性評価に関して、ある橋梁モデルを対象にして、三つの方法の比較を試みた。ただし、今回は、各応力範囲における疲労寿命の変動係数が一定であるとしている。本来、材料のばらつきは応力範囲によって非常に異なる。したがって、より精度の高い信頼性評価を行うためには、各応力範囲ごとに疲労寿命のばらつきが異なるとして評価を行う必要がある。また、文献³⁾で示されているように、構造解析の誤差や交通量の予測誤差などを考慮できる解析法が望ましい。これらが今後の課題である。

【参考文献】 1) 横堀武夫：材料強度学 第2版，1974.10. 2) 中山・川谷・車谷・古岩：交通車両による振動の影響を考慮した道路橋の信頼性工学的疲労損傷予測，材料 Vol.47, No.12, pp.1239-1244, 1998.12. 3) I.Okura, H.Watanabe, T.Ishikawa：Fatigue Reliability Assessment of Highway Bridge Using New Parameters, ICOSAR'97, 1997.11. 4) 阪神高速道路公団：鋼桁切欠き部の健全度に関する調査研究，1983.3 5) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂，1993.4.