

道路橋安全性の確率論的評価の一考察(その2)

大阪大学工学部 正会員 前田 幸雄
大阪大学大学院 学生員 O秋山 秀行

1. まえがき 前報²⁾と同様、対象構造物として(活荷重)合成桁橋を選び、客観的不確定要因のみ考慮し、破壊確率を計算して、安全性評価について考察する。なお、主桁における作用応力確率密度分布は、前報と異なった方法で求める。

2 計算方法 静的破壊確率の算出は式(1)による。すなわち、載荷回数 n に対して、それまでに破壊する確率 P_{fsn} は、

$$P_{fsn} = \int_0^n f_n(x) \{1 - F_s(x)\} dx \quad (1)$$

ここに、 $f_n(x)$:材料強度の確率密度関数、 $F_s(x)$:作用応力の累積確率分布関数である。これに対して、疲労破壊確率の計算は、 $S-N$ 曲線および疲労被害法則が基礎になる。今回の疲労被害法則は、修正直線被害法則とCorten-Dolanの方法であり、両者を比較してみる。また、有効応力振幅(Effective Stress Range) S_e の概念を取り入れる。有効応力振幅とは、変動応力振幅と同じ疲労寿命になる一定応力振幅のことである。この S_e を求める方法として、次のものがある。①Miner's lawを基礎とする $S_{eMiner} = (\int_0^\infty S^\theta f(s) ds)^{1/\theta}$ ②自乗平均応力振幅 $S_{eRMS} = (\int_0^\infty S^2 f(s) ds)^{1/2}$ 、ここに、 $f(s)$:応力振幅 S の確率密度関数、 θ : $S-N$ 曲線の勾配、したがって、疲労破壊確率 P_{ffn} は次のようになる(図1)。修正直線被害法則の場合は、

$$\begin{aligned} P_{ffn} &= P_r \left\{ \frac{S_e^\theta}{N_0 S_0^\theta} > 1 \right\} = P_r \left\{ \frac{n}{N_0 S_0^\theta} \int_0^\infty S^\theta f(s) ds > 1 \right\} \\ &= P_r \left\{ n > \frac{N_0 S_0^\theta}{S_{eMiner}^\theta} \right\} = P_r \{ n > N_e \} = \int_0^n f_{N_e}(x) dx \quad (2) \end{aligned}$$

ここに、 S :応力レベル、 S_0 :基準となる応力レベル、 n :載荷回数、 N_0 :応力振幅 S_0 に対する疲労寿命、 N_e :応力振幅 S_{eMiner} に対する疲労寿命、 $f_{N_e}(x)$: N_e の確率密度関数

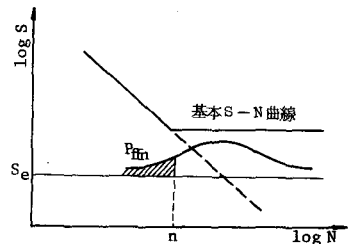


図1. 疲労破壊確率 P_{ffn}

Corten-Dolanの方法を用いる場合は、式(2)において θ を $\beta\theta$ ($0.80 < \beta < 0.95$)、 S_{eMiner} を $S_{eCorten}^{\beta\theta}$ とする。また、 S_{eRMS} を用いる場合は、 N_e を応力振幅 S_{eRMS} に対する疲労寿命とする。

作用応力の確率密度分布は、前報と同様、ピーク応力の確率密度分布とする。その確率密度分布は、橋上の自動車と集中荷重とし、自動車総重量分布と車頭間隔分布より求める。車頭間隔分布として、 P 分布(式(3))を用いる。

$$f(x) = \frac{\lambda^K}{(K-1)!} (\lambda x)^{K-1} e^{-\lambda x} \quad (3)$$

ここに、 $f(x)$:車頭間隔の確率密度関数、 λ :単位長さ当りの平均存在台数

$\mu = K\lambda$, K :正整数

3 計算例 自動車総重量分布のモデルとして、建設省の調査(昭和47年11月)より、国道4号線、全国平均の2つを選ぶ(図2)。対象とする道路橋は、一等橋、支間長40m、幅員7mの活荷重合成桁橋(建設省制定土木構造物標準設計)である。静的破壊を考慮する

位置は、主桁の合成断面のコンクリート床版上縁、および下フランジ(SM53)の下縁である。静的強度として、コンクリートの28日強度(平均値350 kg/cm^2 、変動係数0.17)、SM53の降伏点(平均値4340 kg/cm^2 、変動係数0.07)を選ぶ。分布型は、それぞれ正規分布、対数正規分布とする。次に、疲労破壊を考慮する位置は、下フランジ表面、ウェブと下フランジとの隅内溶接部、下フランジの断面変化位置、スチフナーとウェブとの隅内溶接部の四ヶ所である。これらの位置での $S-N$ 曲線は、それぞれ、母材(図3.③)、縦突合せ溶接継手(図3.④)、横突合せ溶接継手(図3.⑤)、リブ十字形前面隅内溶接継手(図3.⑥)の $S-N$ 曲線を代用する。疲労寿命の分布型は対数正規分布である。また、その変動係数は縦突合せ溶接継手の場合を0.4とし、他の場合は $S-N$ 曲線の勾配に応じて変化する。なお β (前述)は0.9とする。

4 結果 載荷回数約 2×10^8 回(50年間)で評価する

と、静的破壊については、下フランジよりコンクリート床版の方が破壊確率が高い。疲労破壊については、スチフナーの隅内溶接部と、ウェブと下フランジとの隅内溶接部とは、破壊確

率がよく似た値になり、他の2つはこれに比べて非常に小さい。入の値による差は、静的破壊の場合、下フランジに比べてコンクリートの方が小さいが、これは材料強度の分布型の差から来るものである。入の値による差などその点については、当日発表する。

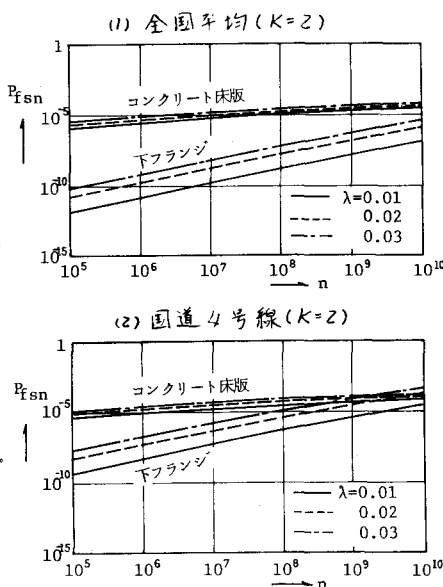


図4.(a) 静的破壊確率の計算結果

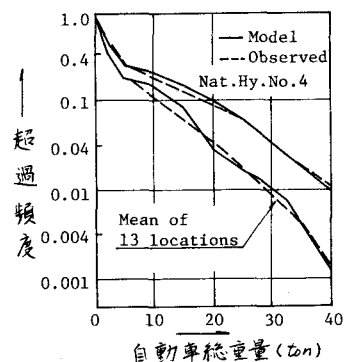


図2. 自動車総重量超過頻度分布

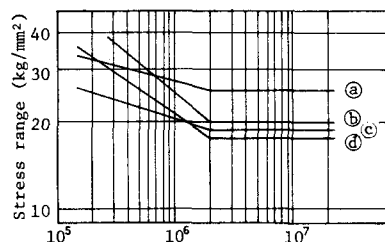
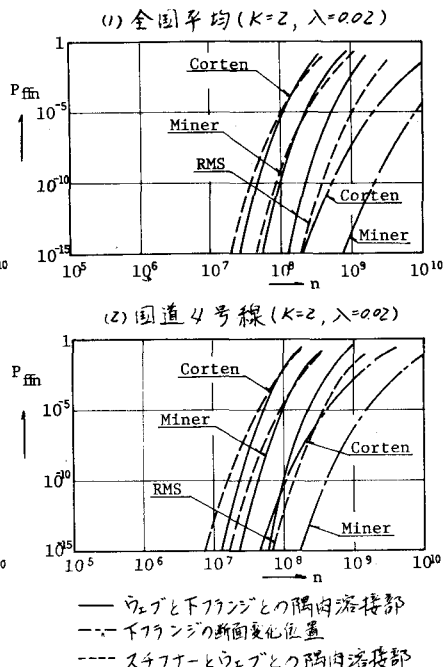


図3. $S-N$ 曲線



— ウェブと下フランジとの隅内溶接部
 --- 下フランジの断面変化位置
 --- スチフナーとウェブとの隅内溶接部

図4.(b) 疲労破壊確率の計算結果

参考文献

1) 前田・宮村, "道路橋

の安全性に関する確率論的考察。第19回橋梁構造工学研究発表会 1972.12

2) 前田・松山, 土木学会第30回年次学術講演要集 I-299 1975.10