

東京工業大学 学生員 宇佐見健太郎
東京工業大学 正員 三木千寿
東京工業大学 正員 森 猛

1. はじめに

現在の疲労設計法では200万回繰返し回数における95%非破壊確率応力範囲を基にしていくらかの安全性を考慮して設定した許容応力範囲 σ_a を計算最大応力範囲 σ_m が超えないようにすることより、安全性のチェックが行われている。しかし疲労強度、作用応力ともばらつきを有する量である。そこで本研究は、疲労強度および作用応力を確率量と考へ、破壊確率を基準とした疲労設計法を検討する。

2. 作用応力範囲

図-1に示す如く、作用応力範囲については実際に生じる応力と計算応力の比 ρ と、変数応力範囲を代表する値 ρ を考慮する。橋梁部材に実際に生じる応力(実測応力)は床版や二次部材などの荷重分配などのため計算応力より小さいことが現地測定により示されている。ここでは設計荷重を載荷したときの計算応力と実測応力の比 ρ を考慮した $\rho\sigma_m$ の値は橋梁の規模、型式、部材などにより異なる。また実際に橋梁に作用する荷重は一定の大きさではないため、部材中に生じる応力は、複雑に変動する。その影響を等価応力範囲を用いることにより考慮する。等価応力範囲は、線形累積被覆法則より次式により求まる。

$$S_{re} = \rho \sigma_m S_{rd} \quad \rho = \left[\sum_i (S_r / S_{max})^m \right]^{1/m}$$

ここで S_{re} は等価応力範囲、 S_{rd} は設計応力範囲、 S_r は個々の応力範囲、 S_{max} は最大実測応力範囲、 m はS-N線の勾配の逆数である。それぞれ橋梁ごとに応力範囲の頻度分布は異なることから、 ρ は確率変数である。 ρ は対数正規分布と仮定する。

3. 疲労強度

内外の疲労試験データ⁽¹⁾を次の仮定に従い最尤推定法を用いて再解析した。

- (i) 応力範囲を確率変数として疲労強度の分布を考へる。これは等価応力範囲の分布が応力範囲を確率変数としていることによる。
- (ii) 応力範囲は対数正規分布とする。その際、分散は寿命の関数であるとする。これは疲労試験のデータは寿命命則でばらつきが大きくなることによる。

図-2に60キロ鋼リブ+溶接継手に対する再解析の結果を示す。

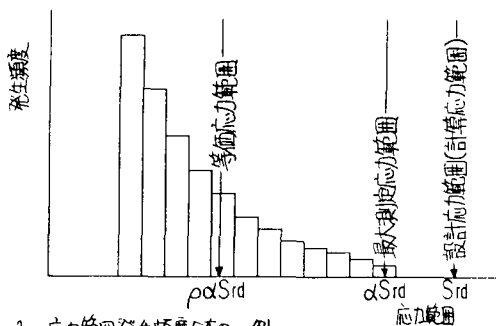


図-1 応力範囲発生頻度分布の一例

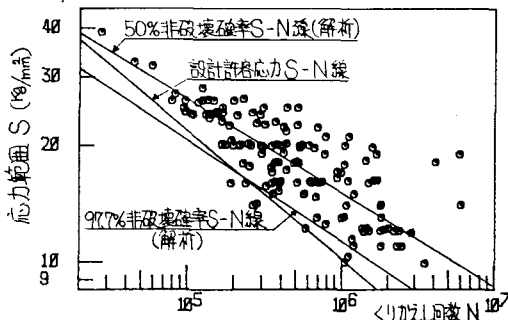


図-2 60キロ鋼リブ+溶接継手

4. 破壊確率

2.3の結果を用いて各種の溶接継手部に対する破壊確率が計算できる。等価応力範囲(ρ)の分布については日本のデータがないため、ここでは米国の道路橋の ρ の分布を使用した。その分布形式は指数正規分布であり、平均値 $\rho=0.442$ 、標準偏差 $\sigma_{\rho}=0.0492$ である⁽²⁾。

表-1に現行の疲労設計法に基づいて設計した場合の破壊確率の計算結果を示す。疲労に対してどの程度の破壊確率を基準にすべきかは不明であるが、座圧などにに関する考え方を準用すると、ここでの計算結果は ρ が ρ の値であっても現行の設計法は過度の安全側になることを示している。

破壊確率が適当な値となるように、疲労設計を行う場合の設計荷重の大きさを設定することができる。図-3に97.7%非破壊確率S-N線を設計時の許容応力範囲とした場合の所定の破壊確率を得るための設計荷重を求める手順を示す。ここで r を所定の破壊確率を有するように定めた設計荷重と現行の設計荷重との比とする。

表-2は、数種類の継手について、設計寿命および破壊確率を変化させて計算した r の値を示している。設計寿命が変化してもほとんど変化しないことがわかる。 r は破壊確率10⁻³オーダーを目標とする場合は0.6程度、10⁻⁵オーダーを目標とする場合は0.7程度となる。この値は $\rho=1$ として求めたものであり、 ρ が他の値である場合、表-2の ρ に ρ を乗ずるだけでよい。

表-1 現行の疲労設計法での破壊確率

継手形式	破壊確率			
	$\alpha=1.0$	$\alpha=0.9$	$\alpha=0.8$	$\alpha=0.7$
40キロ鋼縦突合せ継手	7.77×10^{-4}	9.61×10^{-5}	4.59×10^{-5}	1.10×10^{-5}
40キロ鋼母材の抜きカセット	2.61×10^{-3}	8.29×10^{-4}	1.28×10^{-4}	6.80×10^{-5}
40キロ鋼十字形肉止端部	1.24×10^{-3}	1.79×10^{-4}	1.90×10^{-5}	1.19×10^{-5}
60キロ鋼横突合せ継手	1.69×10^{-3}	2.60×10^{-4}	1.60×10^{-4}	4.97×10^{-5}
80キロ鋼丸穴あき母材	3.91×10^{-3}	4.40×10^{-4}	3.12×10^{-5}	1.31×10^{-5}
60キロ鋼リブ十字継手	1.23×10^{-3}	1.07×10^{-4}	5.65×10^{-5}	1.57×10^{-5}
60キロ鋼上面カセット	1.43×10^{-3}	7.71×10^{-5}	2.06×10^{-5}	2.41×10^{-5}

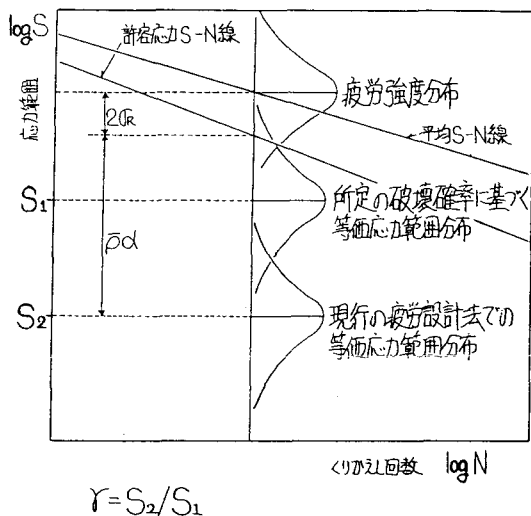


図-3 r を求める際の各確率分布の位置関係

表-2 荷重係数 r

継手形式	破壊確率 1.35×10^{-3}			破壊確率 3.17×10^{-5}		
	N=20万回	N=200万回	N=2000万回	N=20万回	N=200万回	N=2000万回
縦突合せ継手	0.57	0.57	0.57	0.66	0.67	0.69
母材の抜きカセット	0.57	0.57	0.58	0.67	0.68	0.69
十字形肉止端部	0.59	0.60	0.61	0.73	0.77	0.81
横突合せ継手	0.57	0.57	0.57	0.66	0.67	0.68
丸穴あき母材	0.58	0.59	0.60	0.70	0.73	0.76
リブ十字継手	0.58	0.58	0.59	0.71	0.73	0.75
上面カセット	0.57	0.58	0.58	0.68	0.70	0.72

5. おわりに

ここでの内容は、単なる数値計算例にすぎない。合理的な疲労設計法を確立するには継手部の疲労強度とともに、橋梁に作用する荷重およびその結果としての ρ に関するデータを集積する必要がある。

参考文献

- (1) 森脇良一、秋田真平、村尾正昭：高張力鋼溶接継手の疲労許容応力の検討、溶接学会誌、1982。
- (2) Albrecht, P. and Dierling, K.: Probabilistic Fatigue of Bridges for Truck Loading, Rep. of Civil Eng. Univ. of Maryland, June 1977.