

I-280 疲れ試験データベースのLRF Dへの適用

三菱重工

正会員○野村俊夫

名古屋大学工学部

正会員 山田健太郎

1.はじめに 疲れ試験データベースは、疲労の評価に有用である。筆者らは、パーソナルコンピュータを用いた疲れ試験データベースの改良と拡張を行なって、溶接継手および母材に関しては約5000データを収録した。それを用いて、クレーン走行ばりの疲労に対して、荷重係数設計法(Load and Resistance Factor Design = LRFD)のフォーマットを導入し、確率論的アプローチを試みる。¹⁾²⁾

2.疲労に関する安全性指標 β 疲労の場合、強度 R は一般に破壊までの繰返し数で、また荷重 Q は、応力振幅で与えられる。そこで、強度 R と荷重 Q を同じ次元の量で扱うために、強度 R として、 $S-N$ 線図上での繰返し数に対応する応力(疲れ強さ)をとる。強度(疲れ強さ) R 、荷重 Q は、対数正規分布すると仮定する。

疲労に関する安全性指標 β は、

$$\beta = \frac{\ln(\tilde{R}/\tilde{Q})}{\sqrt{\ln((1+VR^2)(1+VQ^2))}} \approx \frac{\ln(\tilde{R}/\tilde{Q})}{\alpha(VR+VQ)} \quad (1)$$

と表わせる。ここで、 $\tilde{X}$ は、 X のメディアンである。一般に分母は線形化し、 $\alpha=0.75$ として実用上十分と言われている。 VR 、 VQ は強度、荷重の変動係数である。

3.強度データ 強度のばらつき(変動係数)は、疲労において問題となるいくつかの要因に分けて考え、一次近似により次式のように与えられる。

$$VRN^2 = VN^2 + VF^2 + VC^2 + (mVS)^2 \quad (2)$$

ここで、 VRN : 疲労寿命についてのすべてのばらつき、すなわち寿命方向の変動係数 VN : 疲労試験データの平均 $S-N$ 線図についてのばらつき、 VF : 疲労のモデル化、マイナー則使用に伴う誤差、 VC : $S-N$ 線図の切片のばらつき、製作、施工の影響を含む、 VS : 応力解析、衝撃係数の選択に伴う誤差、

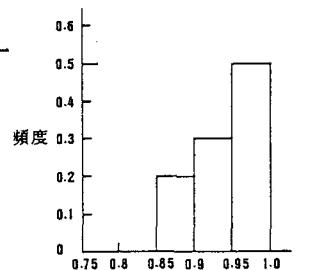
表1 各継手の回帰係数と変動係数(鋼種:SM50)

継手形式	データ数	b	s	VC	VRN	VR
母材	168	13.32	0.3734	0.29	1.14	0.31
十字すみ肉	81	11.88	0.3263	0.14	0.94	0.27
ガセット	18	11.75	0.2765	0.18	0.80	0.24
カバープレート	34	11.65	0.0983	0.16	0.44	0.14

m : 平均 $S-N$ 線図の傾き。 VN は、 $S-N$ 線図の相関解析より求まる標準偏差を変動係数に換算した値である。 VC は、疲労試験データの各シリーズごとに求めた平均 $S-N$ 線図の切片のばらつきをとり、 VF 、 VS についてはAng, Munseらが提案

している値、 $VF=0.15$ 、 $VS=0.10$ を用いる。平均 $S-N$ 線図の傾きは、各継手形式(母材、十字すみ肉、ガセット、カバープレート)で統一し $m=3$ とする。表1に $S-N$ 線図の傾きを3に固定して求めた平均 $S-N$ 線図(平均疲れ強さ)の回帰係数および変動係数を示す。サブスクリプトRNは、寿命方向に対する値、 R は、応力方向に対する値を表わしている。

4.荷重データ JISで分類されているような、製鉄所のプロセス用に使われる天井クレーンでは、荷重のばらつきは小さく毎回ほとんど定格荷重を吊り上げている。そこで、平均荷重の頻度分布を図1のように仮定して変動係数を求めると $VQ=0.04$ (4%)となる。クレーンは工場内で複雑に動き、走行ばりに



平均荷重の頻度分布

図1 平均荷重の頻度分布

生ずる応力は不規則に変動し、必ずしも最大曲げモーメントが発生するとは限らない。クレーンの、クレーン走行ばり上での支点反力により応力が発生するものと考え、発生応力の変動は吊り上げ位置の分布によることになる。従って等価応力振幅は次式のように表わすことができる。

$$\sigma_{re} = \left[\sum p_i \phi_i^m \right]^{1/m} \lambda \sigma_{r,max}, \rho = \left[\sum p_i \phi_i^m \right]^{1/m} \quad (3)$$

ここで、 p_i : i 点での吊り上げ頻度、 ϕ_i : i 点での吊り上げ荷重と設計荷重との比（ i 点での影響線の縦距）、 λ : 平均荷重と設計（定格）荷重との比、 $\sigma_{r,max}$: 設計荷重による計算作用応力度。吊り上げ位置の分布形は、工場内では一般にクレーンの中心付近での吊り上げが多いと考え、図2のような正規分布に従うものと仮定する。計算より $\rho = 0.70$ となり、 $\lambda = 1.0$ とする。

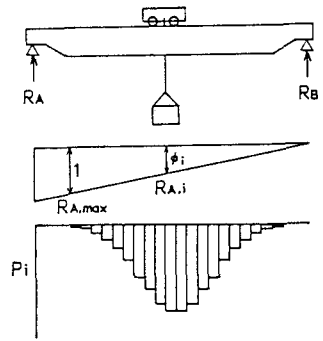


図2 吊り上げ位置の分布形

5. 強度と荷重の比（ $\tilde{R}/\tilde{Q}$ ）の評価 疲労の場合、 $\tilde{R}$ は S-N 線図の形で与えられており、 $\tilde{Q}$ についても同じ形で与えられれば評価しやすい。そこで、図3の、クレーンの設計規準である鋼構造設計規準（日本建築学会）の疲れ許容応力度の下限値を通るように直線を引き、この直線を設計に用いる S-N 線図とし、この線をもとに、設計寿命中、最大応力 $\sigma_{r,max}$ が N_d 回作用するものとしてクレーンが設計されたと仮定する。従って、データベースの S-N データを用いてこの設計 S-N 線図に対して、

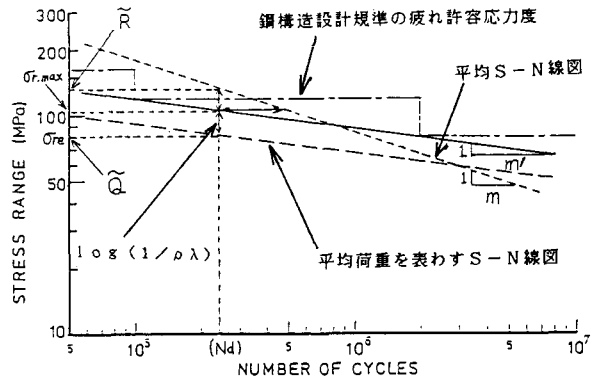


図3 強度と荷重の比

キャリブレーションを行なうことになる。図中に示すようにデータベースの平均 S-N 線図を強度の平均値 $\tilde{R}$ を表わす線として、設計 S-N 線図を $\rho \lambda = \sigma_{re} / \sigma_{r,max}$ の分だけ下げた線を荷重の平均値 $\tilde{Q}$ を表わす線とする。そこで、設計繰返し数 N_d に対するそれぞれの疲れ強さの比をとると、強度と荷重の比、 $\tilde{R}/\tilde{Q}$ は、次式のように表わせる。

$$\tilde{R}/\tilde{Q} = 10^{(b/m - b'/m') \frac{(1/m' - 1/m)}{N_d}} / \rho \lambda \quad (4)$$

ここで、 $\rho \lambda = 0.70$ 、 N_d : 応力の設計繰返し数、 $m (=3)$ 、 b : データベースの平均 S-N 線図の傾き、切片、 $m' (=6.5)$ 、 b' : 鋼構造設計規準の設計 S-N 線図の傾き、切片。

6. 安全性指標 β の検討 以上より求まる強度と荷重の両者の関係より、疲労損傷が問題となっている製鉄所のクレーン走行ばりの継手の安全性指標 β の値を計算した。設計繰返し数 200 万回における各継手形式の β の値は、母材で $\beta = 4.32$ 、十字すみ肉継手で $\beta = 2.19$ 、ガセットで $\beta = 0.71$ 、カバプレートで $\beta = 0.54$ 、となった。特にガセット、カバプレートでは低い値となっており、破壊確率で表わすとそれぞれ 24%、29% になる。鋼構造設計規準で設計された製鉄所のクレーン走行ばりのガセット、カバプレートの付加物溶接部では、長寿命域で疲労に対する安全性が十分保たれていないと思われる。

参考文献

- 1) 坂巻、山田、菊池：溶接継手の疲れ試験データベースの作成と利用、第39回年講 I-119
- 2) 坂巻、山田：疲れ試験データベースの作成と利用、土木学会論文集、No.356/ I-3(1985)
- 3) Nolan, C.S. and Albrecht, P.: Load and Resistance Factor Design of Steel Structures for Fatigue, Maryland Univ., 1983