

名古屋大学 学生員 坂巻 和男
佐藤工業 塩崎 貴章
名古屋大学 正 員 山田 健太郎

1. まえがき

製鉄所構内の天井クレーン走行ばりの疲労破壊の例が最近多く報告されている。その原因として、a) 高い稼働率、b) 大型化・高重化に伴う発生応力の増大、c) 定格荷重に近い荷重を吊上げる場合が多いこと、などがあげられる。したがって、製鉄所構内のクレーンは、設計・施工・管理の面で疲労に対する特別な配慮が必要であると言える。疲労照査は複雑な計算を伴うが、本研究ではパーソナルコンピューター（以下パソコン）を用いて、疲労照査の基本的な手順を自動化した。対象とするのはクレーン走行ばりの引張フランジにガセットが溶接された構造形式で、基本的には設計 S-N 線図に基づいて疲労寿命を照査するものである。

2. クレーン走行ばりの疲労き裂

ガーダー形式のクレーン走行ばりの略図を図1に示す。一般に、ふれ止めトラスがガーダーの背面に組まれており、それを主桁に接続するためにフランジにガセットが溶接されている。このガセットの端部は応力集中が高いために疲労に対して弱点となる。ガセット端から発生したき裂の例を写真1に示す。このき裂は下フランジからウェブを破断する方向に進展している。

3. 設計 S-N 線図に基づく疲労照査法

構造要素の疲労強度あるいは疲労寿命は、一般に、a) 構造形式、b) 作用応力範囲、c) 繰り返し数、の3つの要因によって決まる。

クレーンの走行ばりは、その使用環境によって寿命中に発生する繰り返し数が極端に異なる。したがって構造形式に応じた設計 S-N 線図を与え、応力範囲 σ_r から破壊繰り返し数 N_f を計算して設計寿命と比較するか、設計寿命から許容できる σ_r を計算するのが合理的である。

(1) 設計 S-N 線図 設計 S-N 線図は、一般に応力範囲 σ_r とこれが単調に繰り返し作用した場合の疲労寿命 N_f との関係式として次式で与えられる。

$$\log N_f = K - m \log \sigma_r \quad (1)$$

設計 S-N 線図は、数多くの疲労試験の結果によって種々の構造形式に対して求めることができる。K、m は構造形式によって決まる定数である。たとえば、BS 5400, Part 10 (1980) では、 $\log N_f = 11.398 - 3 \log \sigma_r$ を与えている。また JSSC 疲労設計指針・同解説(案)では $\log \sigma_r = 2.8498 - 0.18 \log N_f$ としている。本研究では文献(2)の実験値と破壊力学による解析値を参考にしてガセット溶接部の設計 S-N 線図を次式のように与えることにする。

$$\log N_f = 11.400 - 3 \log \sigma_r \quad (2)$$

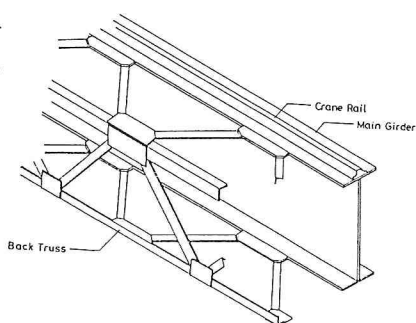


図1 クレーン走行ばりとバックトラス

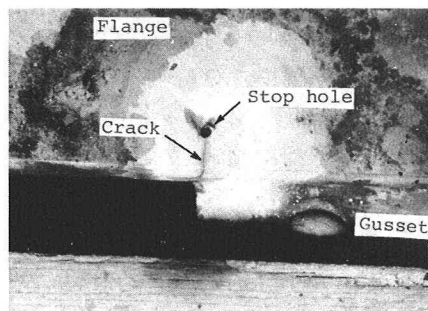


写真1 クレーン走行ばりに発生した疲労き裂

(2) 等価応力範囲の仮定 クレーン走行ばりは発生する最大曲げモーメントに対して設計される。これは実格荷重を吊上げた状態で、図2のように、クレーンが走行ばりに最も接近したときに生ずる。実際のクレーンは複雑な作業運動をするが、走行ばりに近づいて荷重を吊上げることは少ないと考えられる。また常に実格荷重を吊上げるとは限らないので、クレーン走行ばりに作用する曲げモーメントは不規則に変動し、最大曲げモーメントを生じさせることは少ない。

クレーンの疲労照査では、その使用実績(予想)から変動荷重のパターンを求めて、式(3)を用いて等価応力範囲に換算することができる。

$$\sigma_{r,eq} = \left(\frac{\sum_i n_i \cdot \sigma_{ri}^m}{\sum_i n_i} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (3)$$

等価応力範囲 $\sigma_{r,eq}$ は、ある応力 σ_{ri} と繰返し数 n_i の組み合わせが S 組作用した場合と同等の疲労被害を与える応力範囲である。式(3)は傾き m の $S-N$ 線図を用いると Miner 則と等しく、ここでは $m=3$ (Root Mean Cube: 3乗平均法) とする。

4. パソコンを用いた疲労照査の自動化

設計 $S-N$ 線図による疲労照査を、パソコンを用いて実行できるように BASIC プログラムをつくった。そのプログラムの概要を示すフローチャートが図3である。入力はすべて数値形式になっており、予備計算は特に必要としない。まず、クレーン諸元あるいは直接入力によって最大応力範囲 $\sigma_{r,max}$ を得る。次に荷重吊上げ位置の分布をもとに式(3)を用いて $\sigma_{r,eq}/\sigma_{r,max}$ の値を計算し、その値を $\sigma_{r,max}$ に乗じて $\sigma_{r,eq}$ とする。最後に構造形式の等級を選択して設計 $S-N$ 線図 (K, m) を決定し、破壊繰返し数を求める。さらに既設のクレーンの場合、過去の繰返し数を差し引くことによって残された疲労寿命を予測することができ、グライNDER 仕上げなどの補修の効果を検討することもできる。

5. まとめ

製鉄所構内のクレーン走行ばりの疲労き裂発生に関連して、引張フランジに溶接されたガセットを対象として設計 $S-N$ 線図による疲労照査を行った。また、この手順を BASIC プログラムにして、パソコンで実行できるようにした。それによって、一次近似レベルの疲労照査が容易に行なえるようになった。

〔参考文献〕

- (1) 山田健太郎：クレーン走行ばりに発生する疲れき裂の評価と対策
- (2) 酒井吉永：ガセット溶接継手の疲労強度、名古屋大学卒業論文、昭和58年2月

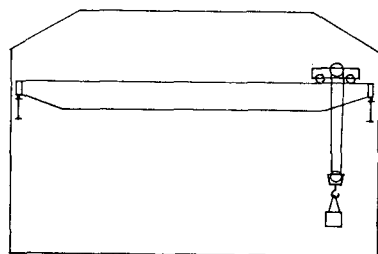


図2 走行ばりに最大曲げモーメントを生じさせる吊上げ位置

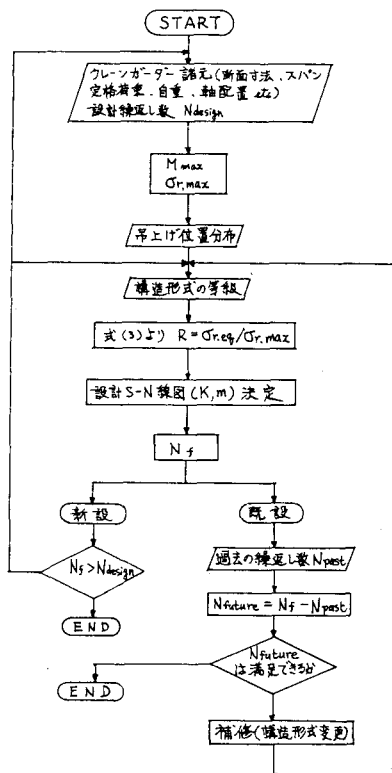


図3 クレーン走行ばりの疲労照査手順