

I-410 実働荷重下におけるクレーンの疲労余寿命の評価

トビー工業 正員 ○大江浩一
トビー工業 正員 田村勝巳
トビー工業 富満正毅

1. はじめに

最近の鋼構造物において、その疲労寿命を定量的に把握することは、耐用性評価の上で必要とされている。橋梁等の土木構造物については、公共性の強いものであることから、疲労に関する報告は豊富である。しかし、天井クレーンについては、その研究報告の数は少ない。(11mm)

また、橋梁と比べて広い幅の変動荷重が作用すること、さらに、最近の稼働状態の厳しきから疲労損傷が予想されるため、余寿命の把握が必要と考えられる。

そこで本研究では、24時間3交替制で稼働している製鋼工場のクレーンを対象として、実働応力頻度測定を行い、累積疲労則によるクレーンの疲労余寿命と同時に、き裂進展解析により点検周期の設定を検討した。なお、累積疲労則による評価には、昨年11月に発表されたJSSCの設計指針案を用いた。

2. 疲労余寿命の算定方法の概要

(1) 実働応力頻度測定：今回余寿命評価を行ったクレーン

は、弊社製鋼工場でスクラップ装入バケットに、スクラップを投入するものである。常時、定格荷重(10t)を吊り上げ24時間稼働しており、一般の工場と比べると、非常に厳しい稼働条件である。また、従来のクレーン設計(JIS-8821)では、稼働状態により4グループに分類され、ビード仕上げの有無も区別される。当クレーンのビードはすべて非仕上げであった。

実働応力測定はヒストグラムレコーダを用いて、レインフロー法により発生応力範囲とその回数をカウントする方法で、24時間を一測定単位として8日間行った。クレーンの一般図と測定点を図1、2にそれぞれ示す。

(2) 余寿命の算定

a) 累積疲労損傷度：累積被害則により、旧国鉄建造物設計標準(JNR)、鋼構造物疲労設計指針(ECCS)および疲労設計指針(案)(JSSC)の各設計寿命線を用いて疲労損傷度を求めた。そして、これまでの稼働状態に即するために、稼働(S54.1)から測定月(H1.10)までの130ヵ月間のスクラップ月装入量より、重み係数(測定月の装入量を1とする)を求め、疲労損傷度と余寿命を推定した。年度毎の平均を図3に、また、各測定点に該当する溶接継手形状を表1に示す。

b) き裂進展解析：解析については、次式を用いた。

$$da/dN = C (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$$

上式において、 m 、 C は材料定数、 ΔK は応力拡大係数範囲、 ΔK_{th} は下限界応力拡大係数範囲、 a はき裂長である。また、 ΔK は次式で与えられる。

$$\Delta K = F(a) \cdot \sigma_r \cdot \sqrt{\pi a}$$

ここで、 $F(a)$ は補正係数、 σ_r は作用応力範囲である。

本解析では、 m 、 C は、本四公団によりまとめられた $m=2.99$ 、 $C=1.52E-10(SM41)$ を、 σ_r は変動荷重が作用することから、等価応力範囲($\Delta \sigma_{eq}$)を用いた。 ΔK_{th} は、零とした(安全側評価)。初期き裂深さ

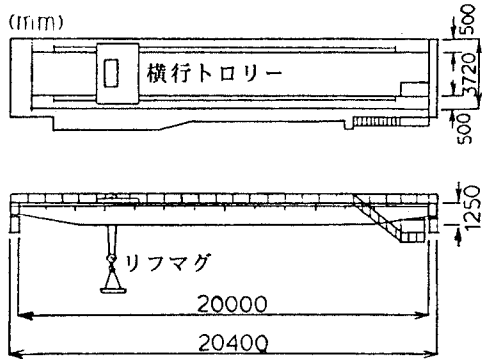


図1 クレーンの一般図

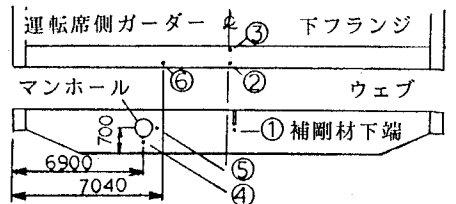


図2 測定点

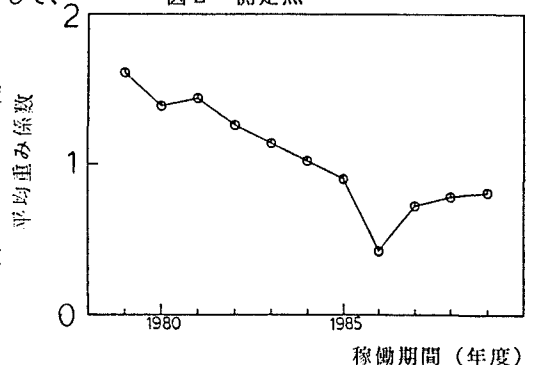


図3 年度毎の平均重み係数

は、3mm（U.T.のき裂深さ検出能力）の表面き裂を仮定した。

3. 結果と考察

表1 溶接継手形状

(1) 累積損傷度：測定期間中、稼働状態の厳しかった日（総頻度最大日）の損傷度を、表2に示す。設計規準により損傷度に差があるが、疲労寿命に達している点はない。また、各規準とも、クレーンのスパン中央部の下フランジで損傷度が大きく、横行トロリーのレール側で顕著である。そして、JSSCの指針案に基づく損傷度は、JNRの場合と比較して、いずれの点でも損傷度が大きく安全側評価である。

No	JNR		ECCS		JSSC	
1	D	腹板がめつ（非）	50	付加物（荷重非伝達）	G	すみ肉（ガセット）
2	A	横突合せ	90	横突合せ（非）	D	横突合せ（非）
3	A	横突合せ	90	横突合せ（非）	D	横突合せ（非）
4	A	縦ビード	100	長手（裏当て有）*	E	縦方向（裏当て有）
5	A	横突合せ	71	横突合せ（裏当て有）	F	片面（裏当て有）
6	A	横突合せ	90	横突合せ（非）	D	横突合せ（非）
既溶接部仕上げ(2,3,6)			112	横突合せ（仕上げ）	B	横突合せ（余盛削除）

非：非仕上げ，*：始終端あり

アルファベット：継手等級，数字：200万回疲れ強度(MPa)

ECCSの場合、横突合せ継手で危険側の評価となるが、裏当て金有りでは逆に安全側である。

(2) 疲労余寿命：スパン中央部について、総頻度最大日の算定結果を表3に示す。

a) 累積被害則：JNR では839ヵ月（69年）、ECCSでは 39ヵ月（3年）、JSSCでは126ヵ月（10年）と算出され、設計寿命線の違いによる余寿命の差異が認められる。また、溶接部の両面仕上げを仮定した場合、2～4倍に延びていることから、非仕上げ部分の改善が望まれる。

b) き裂進展解析：余寿命は141ヵ月（11年）と算出された。これより定期点検については、11年の間に数回行うという周期が望ましい。また、合理的な周期としては、検出漏れを考慮し、3年（余寿命の1/3）が理想と考えられる

表2 累積疲労損傷度

No	$\Delta \sigma_{eq}$	JNR	ECCS	JSSC
1	6.2	0.00	0.00	0.00
2	8.6	0.07	0.61	0.45
3	8.6	0.09	0.83	0.61
4	7.4	0.01	0.04	0.08
5	7.8	0.00	0.03	0.04
6	7.3	0.01	0.06	0.05

$\Delta \sigma_{eq}$ ：等価応力範囲(MPa)

4. まとめ

本研究では、24時間稼働するクレーンについて、過去の稼働状態を推定し、より実態に即した条件で疲労余寿命を知ることができた。まとめを以下に示す。

1) 今回評価を行ったクレーンは、溶接部の仕上げを仮定して評価を行った場合余寿命は2～4倍に延びた。よって、今回のような稼働条件下のクレーンの設計では、ビードの仕上げを行うことが望ましい。

2) 定期点検の合理的な周期を設定する際に、き裂進展解析による評価余寿命を、一つの目安として適用できるものと考えられる。

表3 疲労損傷度

(ヵ月)	ECCS	JSSC	き裂解析
非仕上げ	39	126	141
仕上げ	75	472	—

参考文献

- 1) 金澤、飯田：現代溶接技術体系17「溶接継手の強度」、産報出版（1980年1月）
- 2) 山田：クレーン走行梁に発生する疲労き裂の評価と対策，第29回構造工学シンポジウム概要集（1982）
- 3) 三木、深沢他：表面疲労き裂検出に対する各種非破壊試験の適用性，土木学会論文集，第386号I-8（1987年10月）

謝辞

本研究の実施に当たり、宇都宮大学の阿部英彦教授より貴重な資料の御貸与と有益な御助言を賜りました。名古屋大学の山田健太郎教授より御懇切な御指導御鞭撻を頂戴致しました。ここに記して感謝の意を表します。