

設備の健全性評価技術 —クレーン用ワイヤロープの寿命診断—

Evaluation Technology for Reliability of Equipments —Diagnosis Technology for a Wire-Rope-Life of a Crane—

横山 康雄 YOKOYAMA Yasuo JFE スチール 西日本製鉄所(倉敷地区) 設備部開発・設計室 主任部員(副課長)
藤原 義治 FUJIWARA Yoshiharu JFE メカニカル 西日本事業部 倉敷事業所 メンテナンス部冷延電磁工事業長
鹿子島 毅 KAGOSHIMA Takeshi JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区) 設備部設備技術室

要旨

JFE スチールでは、クレーンの巻き上げ用ワイヤロープ(以下、ワイヤ)のサンプル試験データを統計処理した結果得られた相関式を用いた寿命判定技術を確立しているが、さらに、高精度な寿命判定を目指し、使用中のワイヤを取り外すことなく機上において余寿命を判定する技術を開発した。著者らは、ワイヤの曲げ疲労が進行するにともない固有振動数や振動減衰速度が変化することに着目し、振動と寿命との相関式を確立したことにより、機上での寿命判定を可能にした。さらに、寿命に大きな影響を与える 1 要因であるツイスト傾向を定量的に評価するための手法として、ロープピッチと径の変化を計測する検査法を開発し、実機にて寿命を検証した結果、安定した長寿命を発揮することが可能になった。

Abstract:

JFE Steel has established an evaluation system to determine the life of hoist wire ropes of a crane utilizing the correlation of the change of natural frequency and vibration attenuation speed with the progress of its fatigue. Further, the evaluation method of the twist trend which affect the life of wire rope has been developed through the inspection of the change in pitch and diameter of a rope at terminal.

1. 緒言

従来、JFE スチールにおけるワイヤの寿命判定方法は、素線切れの有無を外観目視で確認するという、ごく一般的方法であった。この判定方法では多くの残存寿命を残しての交換となったり、また、使用環境によっては素線切れが発見しづらく、切断の危険性すらあった。著者らは、このような定性的な判定方法に代わるワイヤの定量的な寿命判定方法として、使用後に取り外したワイヤのサンプル試験データを統計処理する方法を開発し、成果を上げた。しかし、この方法においても使用中のワイヤ寿命については判定できないことからさらに開発を進め、ワイヤを取り外すことなく余寿命を判定し、取替限界まで使い切ることを可能にする技術を開発した。また、ワイヤの撚り方によって生じる回転くせを表すツイストと称する性状がワイヤ寿命に大きく影響することをつきとめ、ツイストを定量的に評価する検査方法を確立した。以下、これらの開発技術および使用結果を示す。

2. 使用後のワイヤの機械的性質の変化

クレーンに使用されたワイヤは、シーブによる曲げを受けて金属疲労が進行し、破断荷重や伸びなどの機械的性質が低下する。通常、各試験項目すべての特性において何らかの通減状況を示すが、著者らは、寿命との相関性が最も顕著なねじり試験回数を寿命の評価指標として捉え、寿命判定技術を確立している。

Fig. 1 および **Fig. 2** にそれぞれ寿命と破断荷重との関係ならびに寿命と伸びとの関係を示す。ここで、横軸の寿命は破断するまでの寿命を 1.0 として、実際に使用されたロープの寿命判定値を示し、縦軸は使用部のロープ引張り破断荷重および破断時の伸びを同じワイヤのドラム捨て巻き部の試験値で割った比率を示す。Fig. 1 の破断荷重は破断寿命に近づいても 10% 程度しか低下しないにもかかわらず、Fig. 2 に示す伸びは顕著に低下している。この現象は、あたかもロープの弾性係数が増加して、伸びが低下する様相を示している。著者らはこの点に着目し、実機で使用中の

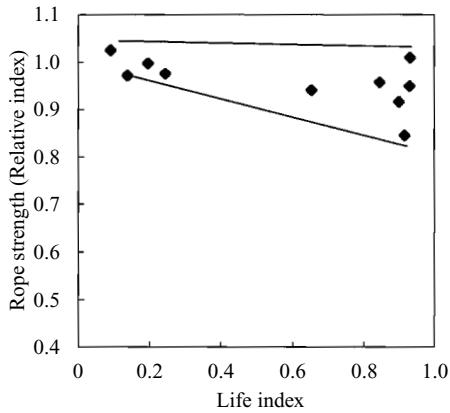


Fig. 1 Relationship between rope strength and life index

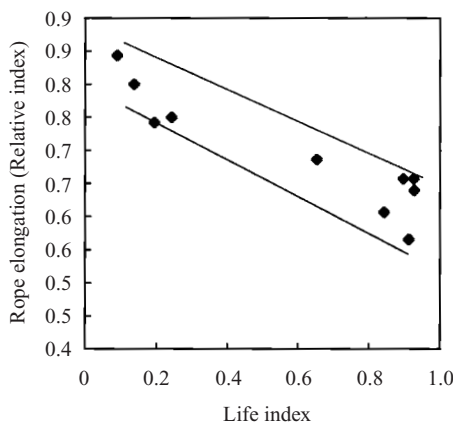


Fig. 2 Relationship between rope elongation and life index

ワイヤの寿命を評価する手法について検討した。

3. ワイヤの固有振動

3.1 固有振動数計算式

まっすぐな一様断面の棒の縦振動の振動周波数は(1)式で表される。

$$F = \frac{\lambda}{2\pi L} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots\dots\dots (1)$$

- F : Natural frequency
- λ : Coefficient
- L : Length
- E : Longitudinal elasticity
- ρ : Density

この式において、縦弾性係数 E が変動すると、固有振動数 F が変動する。ワイヤが劣化するにつれて、見掛け上弾性係数が変化した様相を示すことから、ワイヤの縦振動において固有振動数を含めた振動現象に何らかの変化が現れると推論した。

3.2 実機ワイヤの振動波形比較

冷間圧延工場で稼動している天井クレーンの巻上げワイヤについて、取り替え前のいわゆる劣化しているワイヤと取り替えられた後の新品ワイヤの振動を実測した。ワイヤの縦振動はクレーンで実際に吊荷を吊り、巻上げまたは巻き下げ時に急制動をかけて、その衝撃により振動させるようにして与えた。測定した振動波形を Fig. 3 に示す。新旧ワイヤの振動波形の違いは、劣化したワイヤの方が固有振動数が高く、振動の減衰が緩やかな点である。このことは、劣化したワイヤは見掛け上の弾性係数が大きくなり、その結果、(1)式から求まる固有振動数が増加するという理論と合致する。以上のことから、固有振動と寿命との間には相関関係があると考えて、実機クレーンの固有振動と寿命判定データを多数採取し、相関関係を評価した。

3.3 固有振動と寿命との関係

Fig. 4, 5 に寿命と固有振動数比率 f/f_0 および振幅が 1/3 に減衰するまでの時間比率 t/t_0 の関係を示す。両データとも、新旧ワイヤの比率として、無次元化して示している。振幅の減衰については、波形から減衰が明瞭で、しかも、暗振動の影響がない範囲として、最大振幅が 1/3 に減衰するまでの時間とした。固有振動数と寿命との関係 (Fig. 4) では劣化したワイヤは新品ワイヤと比較して固有振動数が高くなるが、寿命との相関は認められない。一方、最大振幅が 1/3 に減衰する時間比率と寿命との関係 (Fig. 5) では明確な相関が見られ、寿命末期では 20% 以上増加している。したがって、1/3 減衰時間は寿命を判定する指標と成り得る。しかし、ばらつきの範囲は、なお大きく高精度な寿命判定には支障が残るため、振動波形をさらに詳細に分析した。実測した振動波形の一例を Fig. 6 に示す。巻き上げ・巻き下げ動作において、急制動した直後の波が、衝撃により過度に振れており、本来の減衰勾配よりも突出している。この最大波を規準として 1/3 減衰時間を求めると、極端に短い時間となり、自然な減衰とは異なった結果となる。そこで、最大振幅発生から自然な減衰に移行するまでの衝撃波を除外し、それ以降の波形から減衰時間を計測するよう

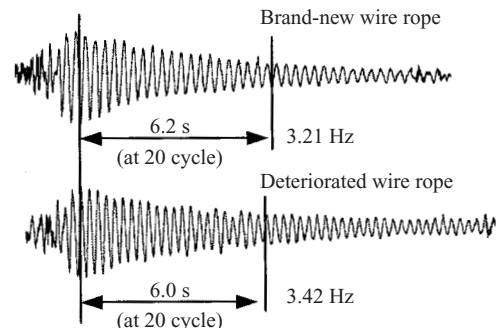


Fig. 3 Comparison of vibration

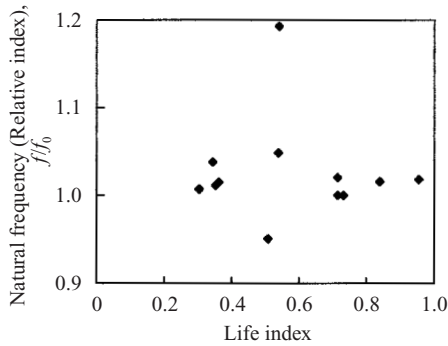


Fig.4 Relationship between natural frequency and life ratio

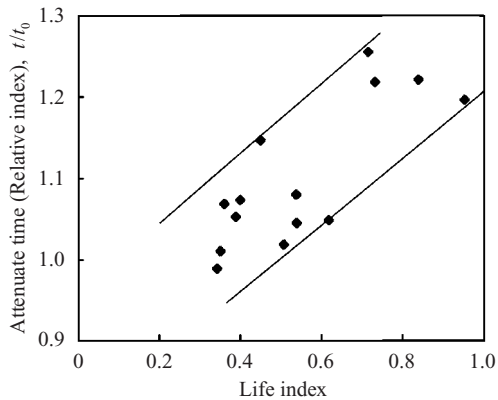


Fig.5 Relationship between attenuate times and life ratio

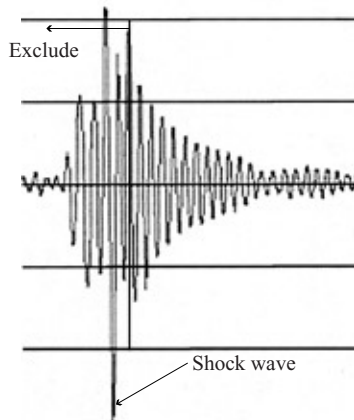


Fig.6 Vibration crimp

に変更した。

3.4 ワイヤ固有振動計測器の開発

計測誤差を小さくするとともに、振動計測の専門知識を持たなくても容易に計測できるように、ワイヤ固有振動計測器を開発した。計測はフォーリングブロックまたは吊荷に振動センサをマグネットで吸着させ、地上にて計測開始ボタンを押すだけで以降の計測はすべて自動処理される。結果は最大振幅、1/3 減衰時間、FFT 解析による固有振動数が表示され、即座に寿命判定を行なうためのデータが提供される。データの解析において、前述した衝撃波の

除外も演算ロジックに組み込んでいる。これらの検討や改善を行なった結果、固有振動と寿命との相関は高まり、実機におけるワイヤ寿命判定手法として定着している。

4. ワイヤ品質検査法の開発

4.1 ワイヤのツイスト

ワイヤは、ストランドを撚り線機の型付けローラに通すことによりストランドに山状の型をつけた後ボイス部で撚り合わせて製造される (Fig. 7)。この時の型付けローラピッチの設定によりでき上がったワイヤには、アップツイストとアンツイストと称する回転くせが生じる。アップツイストでは、ワイヤの撚りが締まる方向に回転しようとする性質が内在し、逆に、アンツイストでは、撚りが戻る方向に回転しようとする性質が内在する。

天井クレーンでは、ワイヤのうねりやストランドの落ち込みなどの型崩れを防ぎ、安定して長寿命を発揮させるため、必ずアップツイストでなければならない。

4.2 型崩れと寿命との関係

Fig. 8 に、うねりが発生し取り外されたワイヤの全長に渡るロープピッチとロープ径の測定値を示す。いずれも、製造時の値から大きく変動している。Fig. 9 に、型崩れを起こしたワイヤのロープピッチの変動率 (ピッチ変動値 / 製造時ピッチ) と寿命との関係を示す。図は、ロープピッチの変動率が大きくなるにつれて、寿命が低下する現象を表している。

4.3 ツイスト検査法

一般的なツイストの検査方法は、製品ドラムに巻かれたワイヤを数メートルほどU字型に引き出して、手またはクレーンで保持し、ワイヤの倒れる方向と倒れ角度で判断するという方法である。しかし、この方法は定量的ではなく、かつ、倒れる傾向はツイストだけでなく、製造時のあらゆる条件によって変化するため、正しく評価できない。そこで、ワイヤのツイスト傾向すなわちストランドが伸び縮みする傾向を正しく計測する方法として、端末の全ストランドを一旦解体し、再度撚り合わせるという手法を考案した。ストランドを解体することで、ストランドが伸び縮みする性質が顕在化し、解体前後のロープピッチや径が変化すると推察した。Photo 1 に検査状況の写真を、Fig. 10 に検

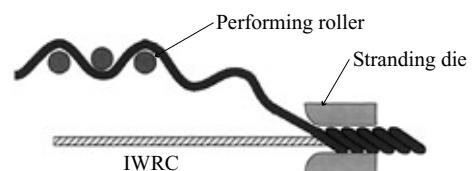


Fig.7 Image of closer

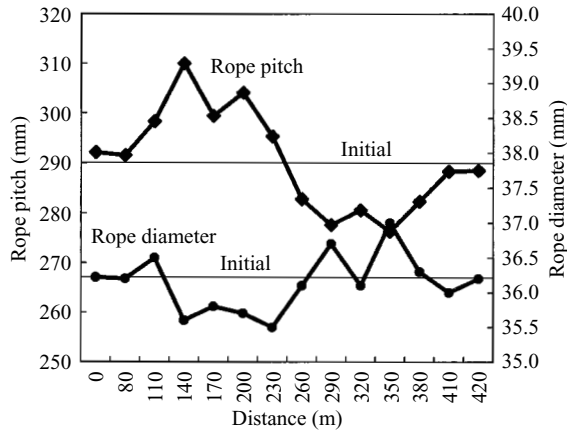


Fig. 8 Pitch and diameter of used wire

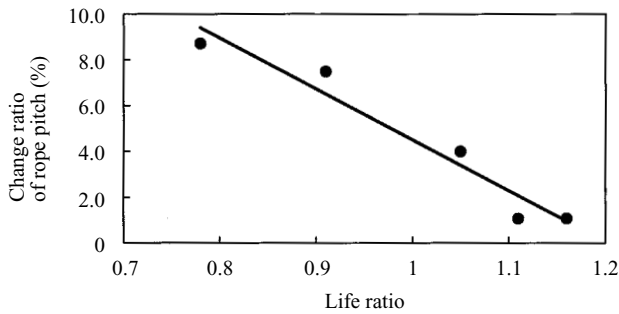


Fig. 9 Relationship between change ratio and life ratio

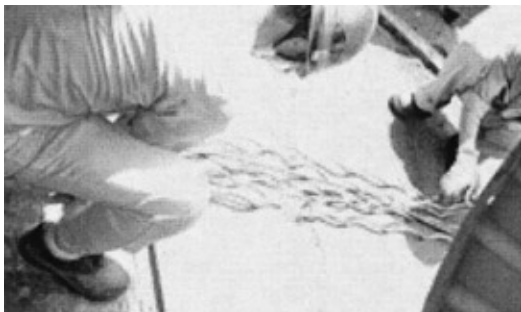


Photo 1 Dismantlement work

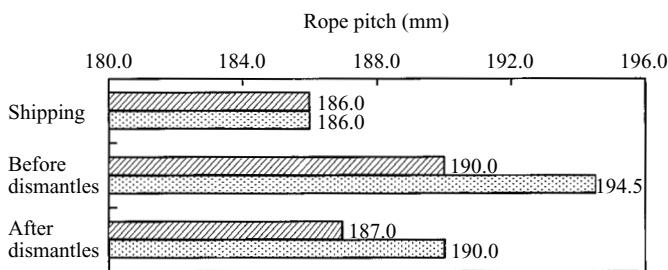


Fig. 10 Result of measurement

査結果を示す。

検査手順を以降に記述する。初めに、ワイヤ端末から約2m離れた位置のロープピッチとロープ径を測定しておき、全ストランドを解体した後に、ストランドを手で撚り合わせて元の状態に戻し、再度、ロープピッチと径を測定し、解体前後の測定値の変化を確認する。2本の製造ロットが

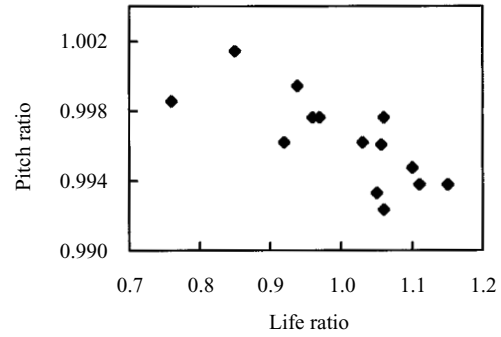


Fig. 11 Relationship between pitch ratio and life ratio

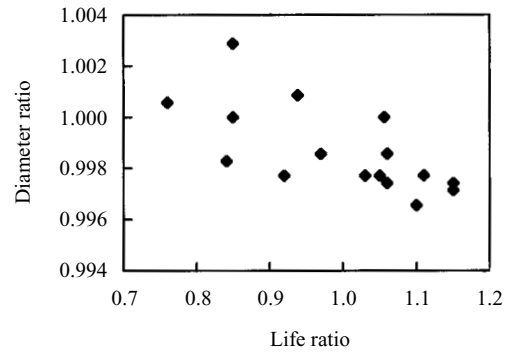


Fig. 12 Relationship between diameter ratio and life ratio

異なるワイヤでの検査結果では、ほぼ製造時のピッチに戻るワイヤと伸びる傾向を示すワイヤが存在することが確認できた。前者がアップツイストである。ロープ径についても同様に調査した結果、アップツイストの場合、径が小さくなる傾向を示した。本検査法を製造時や製品検査に適用することにより定量的なツイスト判定が可能となった。

4.4 ツイスト検査結果とワイヤ寿命

実機クレーンで使用されたワイヤのツイスト検査結果と寿命との関係を Fig. 11 および Fig. 12 に示す。縦軸は、端末を解体した後に再度編みこんだ状態での、測定値と端末解体前の測定値の比率を表す。横軸の寿命比は、同じクレーンでの、過去の実績寿命を1.0として算出した。ロープピッチの比、径の比ともに、小さくなるにつれて長寿命となっている。JFE スチールでは、このデータをもとに、重要クレーン用ワイヤに対して、製品検査における品質保証としての合格基準値を定めており、その成果として、安定した寿命を確保している。

5. 結言

従来、ワイヤの寿命を完全に使い切るにはワイヤ切断などのリスクをとめない、安易に取替周期を延長することができなかった。しかし、サンプルによる寿命評価に加えて、機上において健全性を評価できる固有振動による寿命判定手法を確立することにより、データに保証された精度の高

い判定が可能となった。本報告がワイヤ管理に係わられている方々の参考になれば幸いである。

no. 1, 2001, p. 26-30.

- 7) JFE スチール. ワイヤロープのツイスト状態の判定方法. 特願 2004-024572.

参考文献

- 1) 日本機械学会. クレーン用ロープ及びロープ車などの寿命調査研究分科会成果報告書. 1983.
- 2) ワイヤロープハンドブック編集委員会. ワイヤロープハンドブック. 1995. 日刊工業新聞社.
- 3) 相羽幸男. ワイヤロープ. 1995.
- 4) 川崎製鉄. クレーン用ワイヤロープの寿命判定方法. 特開平 09-178611.
- 5) 川崎製鉄. 特願平 11-241663.
- 6) 横山康雄. クレーン用ワイヤの長寿命化技術. 川崎製鉄技報. vol. 33.



横山 康雄



藤原 義治



鹿子島 毅