

6. ワイヤロープ破断事故防止対策について

田中正清*

6. On the Countermeasures for Preventing Wire Rope Fracture Accidents

by Masazumi TANAKA*

Abstract: Through many analysis carried out by the author on the wire rope fracture accidents in cranes, remarkable internal damages were found to exist in IWRC wire ropes. And from the results of such analysis and the thorough certification tests on these kinds of wire ropes, it was concluded that the internal damage was one of the general characteristic for these kinds of wire ropes when they were used as travelling ropes. On the basis of the conclusion, an important problem in occupational safety was pointed out that the existing inspection methods in our country mainly by means of naked eye's observation could not detect correctly such kinds of internal damages.

In this chapter, the results of the studies by concerning persons (Ministry of Labor, Japan Crane Association, wire rope makers and crane users) and the performance certification tests by the author on a new commercial wire rope tester were summarized and discussed to resolve this serious problem.

Countermeasures introduced are as follows,

- (1) Direct observation of the inside of ropes, opening them using tools called clamping jaws.
- (2) Making the discarding standard for wire breakings more strict(safe).
- (3) Shortening of the working term.
- (4) Elimination of the factors accelerating the internal wire breakings.
- (5) Proper treatment of the rope by sufficient supply of rope grease.
- (6) NDT (non destructive testing) methods with higher detectability of internal damages.
- (7) Measurement of the rope elongation.
- (8) Measurement of diameter or circumference of ropes.

Finally, two concrete methods or countermeasures for the internal damages of IWRC wire ropes were selected and recommended as realistic ones.

The first one is "the simple inspection manual for crane wire ropes" proposed and under sale at low price from The Japan Crane Association. This is a combined method of measure (2) with other ones, in which the simple naked eye's observation method is adapted first, with more strict discarding level for various kinds of damages than usual ones (for example, provided in Cranes Structure Code), and the rope with higher damage level should be discarded, or one can use it moreover if he could certify the safety of the rope by means of more reliable inspection methods.

The second one is an electro-magnetic damage inspection method using new detecting apparatus developed recently by a rope maker in Japan. According to the study on its detecting ability of internal wire breaking, it has realistically satisfactory performance for checking the safety of IWRC wire ropes.

Of course, these are not ideal ones, and more suitable or reliable inspection methods are strongly expected among the persons concerned.

Keywords; Wire rope, Inspection methods, Wire breaking, Internal damage, Rope tester

1. 緒 言

本特別研究の第2章において、クレーン等に幅広く使用されている IWRC ワイヤロープの破断によるクレーン災害の調査例を紹介し、原因に関連する重要因子として、IWRC ワイヤロープにおける内部損傷先行特性を予測した。

第3章では、それを受けて、幅広い条件での曲げ疲労試験を実施し、その予測通り、この種のワイヤロープが移動ロープとして使用される場合には、内部損傷が先行する特性のあることを明らかにするとともに、その結論から、外観検査を基本とする従来の検査方法ではこの種のワイヤロープの損傷状態を正確には把握できないという、主として検査法に関連した、安全確保上の問題が存在することを指摘した。

調査した事故の多くもこの様な内部損傷特性を原因として生じたものと推測されるため、IWRC ワイヤロープの内部損傷を原因とする破断災害の防止の有効な対策の樹立は、関係者にとって緊急かつ重要な検討課題となった。

労働省としても、この事態を打開するために、日本クレーン協会に委託してワイヤロープメーカー、クレーンユーザ、および当所を含む中立機関の関係者からなる委員会を二度にわたって設置してこの問題への対応を検討し、幾つかの提言をまとめた。その後、ほぼ同じ委員構成での検討の結果として、同協会において現場的な点検マニュアルが作成された。また当研究所としても、本特別研究に関連して、最近開発された市販の電磁式のワイヤロープ用損傷検出器の有効性についての検討を実施した¹⁾。

本報では、以上の様なクレーン用ワイヤロープ関係者および当所での対策検討によって得られた結果の中から、内部損傷を考慮した点検に応用できそうな損傷検査法および対応を採り上げ、その特徴等について、また一部は本研究での検討事項の概要を含め、紹介する。

なお、クレーン用として、IWRC ワイヤロープ以外のロープを使用するという対応も考えられるが、これに対しては、例えば移動式クレーンのように多層巻きドラムを使用せざるを得ないクレーンでは、特に形崩れ防止の観点から、また高温環境用としては心材の耐熱性の面から等、IWRC ワイヤロープの使用が避けられない事情がある。

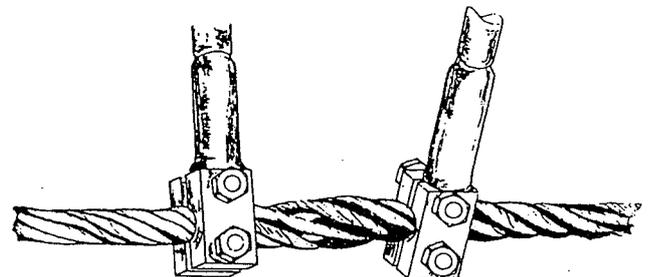
2. 応用が見込まれる点検手法および対策

移動ロープとして使用される IWRC ワイヤロープの内部損傷による破断事故の防止の問題への対応には今までのところ、一般的・決定的といったものはなさそうである。したがって、現実に採用できそうなあるいは検討対象となりそうな点検方法あるいは対応策について検討した。

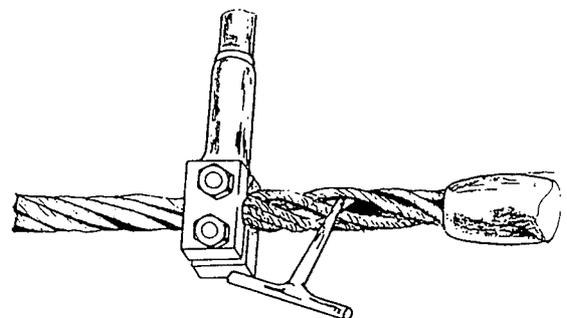
(1) ロープ内部を直接観察する

これは ISO 規格に付録²⁾として採用されている方法で、Fig. 1 に示すように、ロープの観察したい位置の両側にクランプレバー (clamping jaws) を装着し、ロープのよりを戻して内部を直接観察し、著しい腐食、摩擦および断線があれば廃棄するという点検法である。

この方法は直接観察する点は望ましいが、ロープの全長についてこれを実施することは実際上不可能であり、またこの方法が採用できるのは直径が 20 mm 程



(a) At the continuous portion
ロープの連続部分の点検



(b) At the end of a rope
ロープ末端部近くの点検

Fig. 1 Internal examination of the rope by direct observation (from ISO 4309-1990)
ロープを開いて内部を直接点検する方法

度までの細いロープに限られる点が難点である。またこの方法を採用する場合には、外部の場合より損傷を見落としやすいはずであるので、例えば、「心ロープ素線あるいはストランドの底部や谷部に複数の断線が隣接して観察されたならば更新する」くらいの安全側の判断が必要であろう。

(2) 断線の許容基準を厳しくする方法

これは、外観検査法による場合、断線が発見されたら、たとえ少数でも更新する方法である。ISO規格においては²⁾、同じ構成のワイヤロープについての廃棄基準断線数がクレーン構造規格による基準³⁾より少ない厳しい条件となっている。恐らくこれは、内部損傷をも考慮しているのではないかと推測される。

第3章での実験結果においても、内部損傷先行性はあるものの、内部損傷だけが進行するという結果はほとんど無かったことを考えると、外部断線の開始時期近くの段階を捉えられることによって安全確保は可能と判断されるため、この方法は有効に利用できると考えられる。

(3) 使用期間による判断

一定期間を決めて、その期間以上使用しない方法である。この方法の採用は、使用条件が安定していて、使用実績によって、損傷の発生状態についての信頼できるデータが得られている場合には有効と判断される。しかし、予想外の損傷が生じた場合をも含め結果としてのロープの損傷状態を評価する方法ではない点に注意が必要である。

ことに、この方法を採用することによって、本来実施すべき点検をおろそかにすることであれば、むしろ危険要因となる。即ちこの方法は単独では本研究で検討している内部損傷対策としては採用し難い。

実際には、以上の3種の方法を適当に組み合わせれば非常に効果的と思われる。

また、これらとは別の観点から以下の様な対応が考えられる。

(4) 内部損傷促進因子の排除

一つの対応として、ワイヤロープメーカーによっては、心ロープとストランドの間にプラスチックを充填し、それらの間の接触摩耗を低減することによって内部損傷性を抑制するタイプのワイヤロープを製造販売している。

これらのごく一部については、当研究所でも確認試験を行ったが、大幅に内部損傷性が押さえられるという結果にはならなかった。

むしろ、この方向としては、消極的ながら、小さいシーブ/ロープ直径比 D/d 、厳しい負荷条件、および Fig. 2 に示すようなシーブの著しい縄目摩耗など内部

損傷を促進すると考えられる因子を極力排除する方が効果的と思われる。

(5) 十分なロープ油の補給

海洋等の腐食環境でこの種のロープを使う場合には十分ロープ油を補給する。この場合、腐食現象は、条件によって大幅に進行速度が変化することを十分考慮に入れ、信頼のおける実績作りが不可欠と思われる。

(6) 内部損傷の検出法の開発

本格的に取り組むべき対策の一つとして、電磁探傷法などの既存の手法の改良や全く新しい手法の導入によって、実用に供しうるコストと取り扱い易さおよび信頼性をもって内部損傷が検出可能な検査法の開発、また地道ではあるが肉眼観察用の工具の改良、特に大直径用の工具の開発・普及等が強く望まれる。

(7) ロープ伸びの測定による損傷評価法

ワイヤロープはシーブを繰り返し通過して疲労を受けると次第に伸びてくるので、その伸びの程度とワイヤロープの損傷レベルとの関係を求めておけばワイヤロープの内部の損傷状態が把握できる。この方法はやはり、ISO規格の付録に示されているが²⁾、間接的な方法であり、断線を含む内部損傷状態の把握の方法として最終的に依存すべき方法ではないことに注意が必要である。

(8) ロープ径等の測定による損傷評価法

ワイヤロープがシーブを繰り返し通過して疲労を受けると素線同士の接触位置での摩耗が進行しロープ径が減少していくので、その程度とワイヤロープの損傷状態との関係を把握しておけば、最も重要な断線を含



Fig. 2 Remarkable abrasion with rope-pattern on the surface of sheave groove
内部損傷を促進するシーブ溝の縄目摩耗

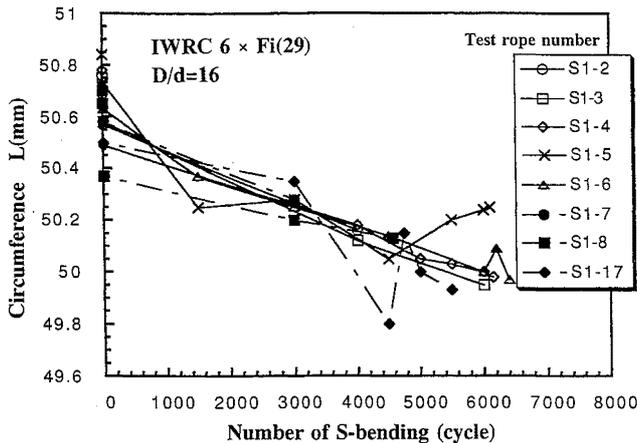


Fig. 3 Relation between rope circumference and number of S-bending
S 曲げの繰返しによるワイヤロープ周長の減少状態の測定例 (定格張力)

む内部の損傷状態が推測できる。ただし、この場合も間接的方法であり、(7)と同様に最終的に頼れる検査方法ではない点に限界がある。

また、Fig. 3は第3章で実施した曲げ疲労試験の途中で、ロープ直径の代わりにロープ周長を測定した結果を示している³⁾。この場合、非常に細くてしなやかなワイヤロープをロープに巻き付けた状態での長さ、元々の長さとの差からワイヤロープ周長を測定する独自の方法を試みている。ワイヤロープの直径や周長は、測定条件を一定にした値でないと再現性に乏しいのでこの場合、試験ロープの張力を定格張力として実施している。周長の変化は曲げ繰返し数と比較的はっきりした関係を示しており、断線状態とも対応していると推測される。

なお、この手法を試みた理由は、一般に実施されているノギスを用いた直径測定はワイヤロープの形状の複雑さからかなり難しく、精度向上には他の方法の検討が必要と考えたためである。

3. 最近検討された対応策

3.1 クレーン用ワイヤロープの簡易点検マニュアル⁴⁾

これは上述したように、日本クレーン協会のワイヤロープ委員会での検討作成されたもので、現在同協会より廉価で販売されている。

その特徴は、内部損傷も考慮に入れ、第一段階の検査法では、断線の許容基準を厳しくした外観検査を採用し、ワイヤロープの使用限界の損傷状態（形くずれ、摩耗・腐食、断線）を現場で分かりやすいカラー写真で示している点と、その基準を超えたものは廃棄する

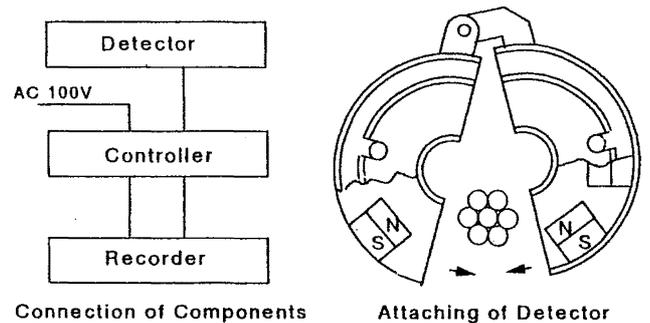


Fig. 4 Composition of the wire rope tester
ワイヤロープテスターの構成

か、第二段階の検査法としてより信頼性の高い手法を採用し、内部の損傷まで確認するという点であり、より詳細な検査法によって安全が確認されれば、さらに使用できるように幅を持たせている。

3.2 ワイヤロープテスター¹⁾

最近、クレーン用ワイヤロープ点検用として、従来のものよりかなり性能の高い電磁探傷装置が開発され市販された。その原理などについてはメーカーから紹介されている⁵⁾。内部損傷問題の解決にも有望と予想されたので、この装置の素線断線損傷の検出性能について検討した。

(1) 装置の概要

本装置（以下ロープテスターと呼ぶ）は、Fig. 4に示すような構成の簡易型電磁探傷装置で、半分割される円筒状構造の検出部の長さ方向の両端にワイヤロープ磁化用の強い永久磁石を内蔵し、中央部に磁場検出コイルをもつ。損傷の検出は、ワイヤロープを本検出部の中央（軸心）に装着し、一定速度で長さ方向に走査させたときの損傷による磁場の変化を電圧変化として検出する方式である。

(2) 性能の検討

性能の確認は、断面のいろいろな位置に人工的に1本ないし2本隣接の素線断線を設けた直径16mmのIWRC 6xFi(29)ワイヤロープについて実施し、検出信号に対して、ワイヤロープの方向（垂直、水平）、同テスターのプローブ穴とワイヤロープとの間隙（充填率）、テスター牽引速度の安定性、および断線位置の違いが与える影響を検討した。

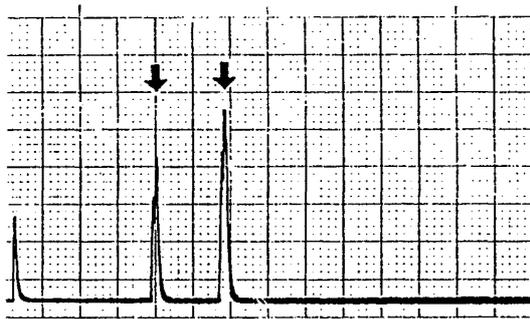
(3) 検討結果

検討結果はかなりばらつきもあって、すべて決定的というわけではないが、以下のような特性があると判断された。

- a) 測定時、試験ロープは垂直に近い方が水平の場合より信号ノイズが少ない。



(a) As received
納入のままの状態



(b) After attaching internal sheets
ロープ孔にテフロンシートを貼付した状態

Fig. 5 Influence of clearance between wire rope and detecting hole on wire breaking signals
素線断線信号への被測定ロープと検出孔の間隙寸法の影響

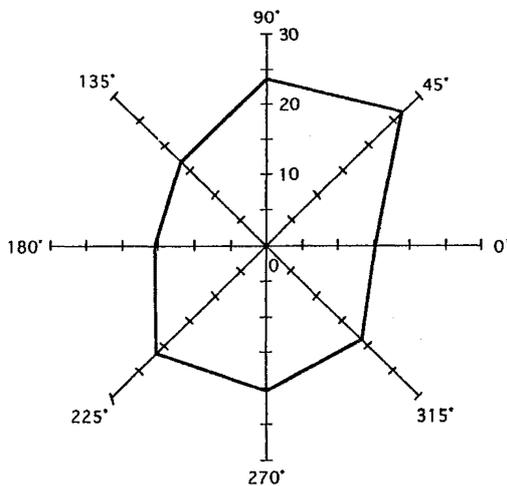


Fig. 6 Influence of direction of half-cut in detector on the strength of wire breaking signal
信号検出性能への検出器の半割れ方向の影響

b) 市販の状態より充填率が大きいほど（隙間が小さいほど）ノイズが少ない。ちなみに、ロープ溝（孔）にテフロンシートを内張りした場合、Fig. 5 に示すように非常に良好な S/N 比が得られた。

- c) 検出部を牽引する場合、牽引用のロープの弾性によると思われる軸方向振動が生じる条件があるので、それを避ける工夫が必要である。以上のような点を考慮して使用すると本テスターによってかなり信頼度の高い断線損傷の情報が求まる。その場合、以下のような検出特性が認められた。
- d) 山部断線の信号は非常に明確である。
- e) 谷部断線の場合、断線位置によって微妙に異なるが、概ねは検出できる。
- f) 底部の場合、単独の断線は検出できないことが多いが、近接して二つ以上の断線がある場合にはほぼ確実に検出できる。
- g) 本テスターの検出部の分割方向と断線位置のなす中心角の違いによる感度の違いは基本的には無いと考えられる (Fig. 6 参照)。

以上のような特性を理解して使用すれば、この種のテスターは、内部断線まで完全に検出することはできないまでも、山部および谷部での断線の検出によって、少なくとも、10%可視断線の状態より前の段階で損傷の存在を確認する方法として、非常に有効と判断される。

ことに、IWRC 6×WS(31) の場合に限定すれば、内部損傷の大半は検出可能な谷部断線であるので、理想に近い点検法として利用できそうである。

4. 現実的な対応策

以上、従来知られている検査法、あるいは最近開発・考案されたワイヤロープの損傷検査法の幾つかを紹介した。

内部損傷というやっかいな欠陥をできるだけ現場的に簡易にしかも確実に検出するという本来非常に困難な目的から見ると、いずれも一長一短があって、単独でその要求に答え得る一般的検査法は見当たらないようである。

しかし、3.1で紹介したクレーン用ワイヤロープの簡易点検マニュアルと、3.2で紹介したワイヤロープテスターを使用する方法は、これまでの外観検査のみに頼っている方法に比べれば、相当信頼性が高いと判断され、現実的な内部損傷対応策としては非常に有効と考えられる。本特別研究の成果の一つとして、これらの手法を積極的に採用することを推奨したい。ことに、両手法を併用すれば、かなり合理的で有効な検査法となると思われる。

この他にも、ワイヤロープの使用条件によって、いろいろ好都合な検査法の組合せが考えられるであろうが、それらの具体的な検討は今後の課題としたい。

5. 結 言

以上、対象をクレーン用ワイヤロープの内部損傷に絞って、その検出法を検討した。最近のセンシング技術の進歩には目覚ましいものがあり、ワイヤロープ用としても全く異なった原理によるさらに有効な損傷検出法の出現の可能性が強いと言えよう。しかし、実際に採用できそうな手法は上述したような範囲であり、いずれも内部損傷を伴うワイヤロープの点検・検査用として十分満足できるものとはいえない状態である。

したがって、現時点では、実際に点検を実施している検査者、クレーンオペレーター、およびクレーンおよびワイヤロープのメーカーなどワイヤロープの損傷検出の直接、間接の関係者においては、IWRC ワイヤロープには内部損傷特性というものがあることをはっきり認識した上で、本報告で検討したようないわば次善的な手法を、ワイヤロープ破断災害の防止という目的のために最大限に利用することを期待する。

また、検出技術については、今後できるだけ早期に、関係者の期待に答えるようなより信頼性の高い損傷検出法が開発されること、あるいは従来手法の大幅な改善のなされることが強く望まれる

参 考 文 献

- 1) 田中正清, IWRC ワイヤロープの内部損傷促進因子について, 第3報: グリース不足および清水環境の影響, 資源・素材 '97 (秋季大会) 資料D (1997), p. 153.
- 2) ISO 4309-1990, Annex D, Internal examination of wire rope, p. 11-12.
- 3) クレーン構造規格, 安全衛生法便覧, (1996), p. 2395.
- 4) (社) 日本クレーン協会, クレーン等に使用されるワイヤロープの簡易点検マニュアル, (1998).
- 5) 小川 修, 横田五郎, ワイヤロープの損傷検出器, 資源・素材 '93 秋季大会文科研究会資料 (R), (1993), p. 17.

(平成10年11月25日受理)