

7. 結 論

田中正清*

7. Conclusions

by Masazumi TANAKA*

Abstract: In this specific research, as a part of the study to promote the safety of crane working, damaging properties of the IWRC (independent wire rope core) wire ropes were investigated by means of case studies and wide ranges of S-bending fatigue experiments on them, and countermeasures were examined to prevent the possible accidents caused by the internal damages of these kinds of wire ropes.

Main results obtained from these studies are summarized as follows.

(1) Case studies on the wire rope fracture accidents in cranes

All wire ropes studied, which had been used as travelling ropes and of the type of independent wire rope core (IWRC), showed the remarkable internal damages mainly consist of wire breakings due to fatigue fracture. This fact shows the possibility of the existence of a problem that those internal damages can not be detected correctly by the method of external observation having been used commonly.

(2) The property of internal damage occurrence in crane wire ropes

The results of thorough S-bending fatigue tests for two kinds of IWRC wire ropes showed that the internal wire breaking damage occurred not only under the rated condition but also under more wide range of test conditions including allowed ones and non proper ones, for example, over loading and corroding environment etc. From this result together with the results obtained from case studies mentioned above, it was concluded that the IWRC wire ropes have a general characteristic of internal damages preference when they were used as travelling ropes. This conclusion shows that the problem of internal damages supposed above in (1) truly exists for these kinds of wire ropes, as a serious problem to be resolved as quickly as possible.

(3) The description of progression of wire breaking damage

The result of the investigation on the quantitative expression of increasing behavior of wire breaking numbers for one kind of IWRC wire rope (IWRC 6×Fi(29)) showed that the maximum number of visible wire breaking $C_{v\max}$, the maximum number of external wire breaking $C_{0\max}$, and the maximum number of total wire breaking in strands $C_{t\max}$ could be described respectively by power function of the number of the S-bending repetition N , like as, for example, $C_{v\max} = A \cdot N^m$, and finally $C_{t\max}$ could be described by similar power function of $C_{v\max}$. These kinds of relations may be very useful when studying precisely the damaging state of wire ropes.

(4) Fretting fatigue property of wire material

Results of the elemental fretting fatigue experiments on wire material and SNCM439 showed that their fretting fatigue life or strength is controlled primarily by both relative slip amplitude and

contact pressure and affected by some factors such as specimen type and types of clamping. The fractographic examination of the tested specimens revealed that the fretting cracks initiated at a shallow angle to contact surface and the crack growth direction changed to the loading axis.

(5) Countermeasures against wire rope fracture accidents taking the internal damages into consideration

As the possible countermeasures against the problem of internal damage of IWRC wire ropes, various methods were studied including the conventional and some recently proposed ones. Finally, as the main results of this specific research, the two kinds of methods were recommended as practical methods. The first one is the simple inspection manual for crane wire ropes proposed by the Japan Crane Association, and the second one is an electro-magnetic damage detecting device developed by a wire rope maker recently.

However, as these methods are not perfect yet, the development of the new method with more reliable damage detecting ability is strongly expected among the persons concerned.

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

1. 研究成果の要約

本特別研究では、クレーン等に使用される吊上げ用具類の破損による災害の中から、昭和末以来かなりの頻度で発生したクレーン用ワイヤロープの破断による災害に的を絞り、その防止を目的として、①災害事例の調査研究、②鋼心入り (IWRC) ワイヤロープにおける内部損傷の発生の確認と問題点の指摘、③使用条件が内部損傷に与える影響、④素線断線損傷の進展特性、⑤素線材のフレットング損傷特性の基礎的研究、⑥ワイヤロープの破断事故の防止対策の検討等の研究を実施した。

これらの研究の結果は以下のように要約される。

1.1 クレーン用ワイヤロープ破断災害の事例研究

本テーマでは、クレーン用のワイヤロープの破断によって生じた災害のうち、当研究所が主体となって原因調査した事例について、代表的なものを紹介すると共に、他の調査結果を踏まえ、直接原因および本質的原因を検討した。検討結果の概要は以下の通りである。

- (1) 破断したワイヤロープは全て巻き上げ用および起伏用、すなわち移動ロープとして使用されていたもので、ワイヤロープの構成は全て鋼心入り (IWRC) であり、しかもほとんどが IWRC 6×Fi(29) であった。これは、巻き上げあるいは起伏用のロープとしては、多層巻きドラムでの形崩れの防止のため鋼心入りの使用はやむを得ないという事情のためである。
- (2) 事故ワイヤロープの損傷部には多くの場合、共通して内部断線、内部腐食など内部損傷が観察され

た。ロープ破断の原因となった損傷状態は、一部に激しい腐食による内部での断線がみられたが、疲労による素線断線がほとんどであった。疲労断線の場合、素線軸にほぼ垂直な横断面型の破断面がその特徴であり、その破断面には微視的には、ストライエーションを含む疲労特有の形態が観察された。

- (3) クレーン用ワイヤロープの損傷状態の点検は主として外観観察によって実施されているが、その方法では基本的に内部損傷は検出できない。従って、もし上記のような内部損傷が許容された適切な使用条件でも生じるものであれば、安全確保上深刻な問題である。しかし、事故例では使用条件の信頼できる情報が得られないため、そのような仮定の正否が曖昧であり、対応の目標、方法も決め難い状況にある。

この状況を解決するには (a) IWRC ワイヤロープを移動ロープとして使用する際の内部損傷特性を明確にするか、(b) 内部損傷でも検出可能な検査法の開発のいずれかが必要なことを指摘した。

1.2 クレーンワイヤロープの内部損傷発生特性

本テーマについては、IWRC ワイヤロープの内部損傷の問題の明確化を目的に、前テーマで指摘した内部損傷特性解明のため、2種の IWRC ワイヤロープについて幅広い試験条件下で S 曲げ疲労試験を実施し、特に内部断線損傷の発生特性について詳細な検討を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 適正な使用条件の範囲では最も厳しい条件に相当する許容荷重および許容最小シープ径の条件での

S 曲げ疲労試験の結果、試験したいずれのワイヤロープにおいても顕著な内部断線損傷が観察され、適正使用状態においても内部損傷対策が必要なことが明確となった。

- (2) 実用上重要なより幅広い使用条件として、過負荷および腐食環境、グリース不足等の不適切な使用条件、上記の許容条件より穏やかな使用条件に対応した試験条件、さらには曲げ方式の違いが内部断線損傷に与える影響を検討し、その結果、IWRC 6×WS(31)において一部の条件で少ない場合が見られるが、両種ロープとも幅広い条件で内部断線損傷が発生しやすい性質を有することを確認した。また、事故事例および鋼心入り構造の特徴、腐食が内部で生じ易いことから、IWRC ワイヤロープは、移動ロープとして使用される場合、一般的特性として内部損傷が優先してあるいは顕著な割合で生じる特性を持つと結論した。
- (3) 上記(2)の結論は、これまで曖昧であった内部損傷の問題が明確になったこと、しかも、使用条件を選ぶという安全対策の採用は不可能であることも示している。結局、対応策は、いかに的確に内部損傷を検出ないしは推測するかに係ってくる。これについては1.5のテーマで検討した。

1.3 素線断線損傷の進行特性

ワイヤロープの安全管理の質の向上のためには、正確な寿命の把握、そのための損傷進行特性の把握が不可欠である。そこで本テーマでは、IWRC 6×Fi(29)について、従来考慮されていなかった内部を含めた断線損傷の進行特性を定量的に表示することを試みた。本実験の範囲で以下のことが明らかとなった。

- (1) D/d の違いに無関係に、内部断線損傷の割合は疲労の初期の方が大きい。
- (2) 可視断線数の最大値 $C_{v\max}$ の繰返し数 N への依存性は次式で近似できる。

$$C_{v\max} = A \cdot N^m$$

ここで、 A および m は定数であり、 D/d によっても変化する。

また、 $D/d=16$ の場合、ストランド外層素線断線総数の最大値 $C_{0\max}$ および同ストランド総素線断線数 $C_{t\max}$ の繰返し数 N への依存性は次式で近似できる。

$$C_{0\max} = 3.68 \times 10^{-15} \cdot N^{4.25}$$

$$C_{t\max} = 1.03 \times 10^{-13} \cdot N^{3.88}$$

さらにこの $C_{t\max}$ は可視断線数の最大値 $C_{v\max}$

の関数として次式で与えられる。

$$C_{t\max} = 7.3 C_{v\max}^{0.69}$$

この種の関係式はロープの損傷状態を内部も含めて詳細に検討する場合に極めて有効と考えられる。

1.4 素線材のフレットング損傷特性

本テーマでは、ワイヤロープが繰返し荷重を受ける場合素線同士が強く押し付けられた状態で互いにすべりを生じるいわゆるフレットング疲労の基本的特性を明らかにするため、またフレットング疲労に及ぼす各種試験条件の影響をを検討するため実験的検討を実施した。主な結果は以下の通りである。

- (1) フレットング疲労強度はフレットングがない場合に比べ、ワイヤロープ鋼で55~70%、比較材 SNCM439 鋼で34~57%低下し、また面圧の増加につれ低下する傾向を示す。
- (2) パッド間隔が増加すると相対すべり振幅が増加し、疲労寿命が減少する。また摩擦係数は相対すべり振幅の増加につれ増加し同振幅が約 $15 \mu\text{m}$ 以上ではほぼ一定となる。また疲労寿命は面圧調整方式の違い(ネジ式と油圧式)によっても、試験片形状およびパッドの形状によってもことなる。
- (3) フレットング疲労き裂は半楕円状表面き裂として発生・進展し、貫通き裂に遷移後最終破断に至る。起点近傍の破面は負荷方向に対して $10\sim 20^\circ$ 傾斜し酸化摩耗粉が付着していることが多い。また互いに擦れ合う試験片とパッドの表面粗さはほぼ同程度となる。

1.5 内部損傷を考慮したワイヤロープの破断災害の防止対策

本特別研究における事例の検討、損傷発生特性の実験的検討によって、この種のワイヤロープに内部損傷先行特性があることが判明し、安全確保の対策はその内部損傷を如何に正確に検出するかにかかっていることが分かった。

そこで本テーマでは、内部損傷を考慮した点検に応用できそうな手法として、

- (1) ロープ内部を直接観察する
- (2) 断線の許容基準を厳しくする
- (3) 使用期間による判断
- (4) 内部損傷促進因子の排除
- (5) 十分なロープ油の補給
- (6) 内部損傷の検出法の開発
- (7) ロープ伸びの測定による損傷評価法

(8) ロープ径等の測定による損傷評価法等の従来の手法と共に、クレーン用ワイヤロープ関係者の検討結果として提案されている簡易点検マニュアルおよび新しい電磁探傷装置についてその応用可能性を検討した。

結果として、最後の二つの手法、すなわち、日本クレーン協会で販売している「クレーン用ワイヤロープの簡易点検マニュアル」および市販の電磁探傷式「ワイヤロープテスター」を実際的でかなり有効な手法として推奨した。

2. 今後の課題

2.1 ワイヤロープ内部損傷問題に関して

本特別研究では、検討対象を2種のIWRCワイヤロープの内部損傷特性の解明に絞った。しかし、最近ではクレーン用として他の構成のワイヤロープが採用されてきており、これらについては内部損傷特性の有無の確認およびその検出可能性の検討が必要である。

検出技術に関しては、従来手法の改善や、的確な使用法の検討、さらには組合せ手法の検討などが考えられるが、合理的な検査法の確立という意味では、今一步のところまで来たワイヤロープテスターの内部断線損傷検出性能の更なる向上、およびその性能を超える他の新しい損傷検出技術の開発が強く期待される。

2.2 吊上げ用具類に関して

クレーン用の各種の吊上げ用具類を安全に使用するためにはそれぞれの用具の(1)使用条件の把握・評価、(2)それに対する損傷、劣化の特性の把握、さらには、

(3) 損傷、劣化の的確な検出と評価の手法、が不可欠である。

しかし、殆どの吊上げ用具において、上記の要件に対して大なり小なりの曖昧さを残したまま、それを例えば大きな安全率でカバーするという様な方法で対応しているのが実状であって、これらの用具をより有効にしかも安全に使用するためには、今後、着実にその曖昧さを明確化していくための調査研究を実施していく必要がある。

本特別研究は正にその目的で企画されたものであるが、第1章で挙げた課題のごく一部しか検討できず、あとは今後の課題として残された。しかしそれらはいずれも重要な課題である。今後は、関係者の協力によってこれらの課題の早期の解決により積極的に取り組む必要がある。

3. おわりに

以上、本特別研究で得た成果の概要を述べるとともに、今後の課題について触れた。本研究はクレーン作業用の吊上げ用具類に関する安全確保の課題の内のごく一部、具体的には鋼心入りワイヤロープの内部損傷の問題の存否について検討したに過ぎない。しかし、少なくともこれまで曖昧であったその問題の存在を明確にし、それに対してとるべき対策の方向を明確にできたことは大きな収穫であったと思われる。今後、その方向でいろいろな立場、観点から有効な対策が確立されることを期待する。

(平成10年12月5日受理)