

1. 序 論

田中正清*

1. Introduction

by Masazumi TANAKA*

Abstract: While recently the total number of occupational accidents is steadily decreasing in Japan, the number of crane accidents shows a trend of slight increase on the contrary, and the number of casualties to death due to the failure of lifting apparatus for these five years reached about 80.

As the background of this situation, some factors have been pointed out, for example, like that taking care for safety during usage or inspection of them for cargo-working is insufficient, and besides, methods of strength assessment and inspection have not been established properly. And recently, the requires for revising such situations have increased.

Among such situations, recently considerable numbers of crane accidents according to the fracture of wire ropes happened. And the prevention of possible similar accidents has become the most urgent problem for many persons concerned.

In this specific research, therefore, main target was focused on this problem and the following subjects were carried out.

- (1) Case studies on some crane accidents caused by the fracture of wire ropes.
- (2) Precise experimental investigations on the properties of degradation of crane wire ropes.
- (3) Studies on countermeasures to prevent possible similar accidents.

In Chapter 2 of this report, relating to the subject (1), the results of the precise investigations on the crane accidents due to the fracture of IWRC wire rope are introduced, and the direct and/or possible essential causes are studied, together with the other information on the degradation properties of this kind of wire ropes.

In Chapter 3, as the main part of this specific research, following to the results of the study in Chapter 2, the results are introduced at first on an experimental investigation to certify whether or not the internal damage can occur under any allowed working condition, and mainly on the following thorough experimental investigations under wide range of testing conditions to clarify whether or not the internal damage can be a characteristic of IWRC wire ropes when they are used as travelling ropes. Moreover, a problem of the present inspection system is pointed out.

Chapter 4 deals with the prediction of fatigue life of IWRC wire ropes, taking also the internal damage into accounts, as a part of the study on the subject (2). And Chapter 5 relates to the experimental investigation on essential properties of fretting fatigue of wire materials, as another part of the study. In Chapter 6, the subject (3) is investigated, mainly based on the results of the study on degradation property of wire ropes of this kind.

Chapter 7 summarized the results obtained from this specific research.

Keywords; Crane, Lifting apparatus, Wire rope, Fracture accident, Wire breaking, Internal damage, Bending fatigue, Inspection, Abrasion, Corrosion

1. はじめに

我が国では全労働災害は次第に減少しているが、クレーン災害は、Fig. 1¹⁾に示すように、最近横這いの傾向を示している。特に死亡災害を現象的にみると、落下による事故が約3分の1を占め、さらにその内ワイヤロープあるいはフック等の吊り具の破断による死亡事故は、5年間で62件に達している²⁾ (Table 1)。

この種の災害発生の背景として、クレーン本体に比べて、ワイヤロープ等の荷役用の吊上げ用具類は、使用や点検に際しての安全性に対する配慮が不足しているほか、長年の使用による経年劣化に対する強度評価や検査技術が確立されていないことなどが挙げられる。さらに近年の産業活動の活性化に伴って、荷役機械の使用頻度が著しく増加していることも、損傷の要因となっている。このため、これまでの検査技術では検出できない新しいタイプの損傷が発生している。

このような状況の中で、最近、次節2.に示すような課題を含めクレーン関係の吊上げ用具の強度特性や損傷レベルの評価、検査や点検のための基準作成等の要望が強くなってきた。しかし、吊上げ用具には多くの種類があり、それぞれの強度・損傷の特性も大きく異なり、それに伴って研究手法も異なることから、一度

にこれら全てに対応することは不可能である。

したがって、本特別研究では、特に最近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事故に的を絞って、それらの事故調査を通して発見されたこの種のワイヤロープの損傷特性について詳細な検討を行うとともに、同種災害の防止のための対策について検討した。

2. 吊上げ用具類における課題例

2.1 ワイヤロープ

- (1) 吊上げ用具類の代表であるワイヤロープの場合、一般的に非常に強度が高いにも拘わらず、構造が複雑であるためその損傷状態を正確に検出する簡便で信頼性の高い非破壊検査技術の確立が強く望まれている。この要求は、本特別研究でとりあげた鋼心入り (IWRC) ワイヤロープの内部損傷の問題の解決のためには非常に重要である。
- (2) 例えば超高層ビル建設等建造物の高層化に伴い100mを超えるような長いワイヤロープが必要になり、その場合、吊り荷の回転による挟圧災害を防止するために非自転性のワイヤロープが使用されるようになったが、この種のロープは従来のものとは

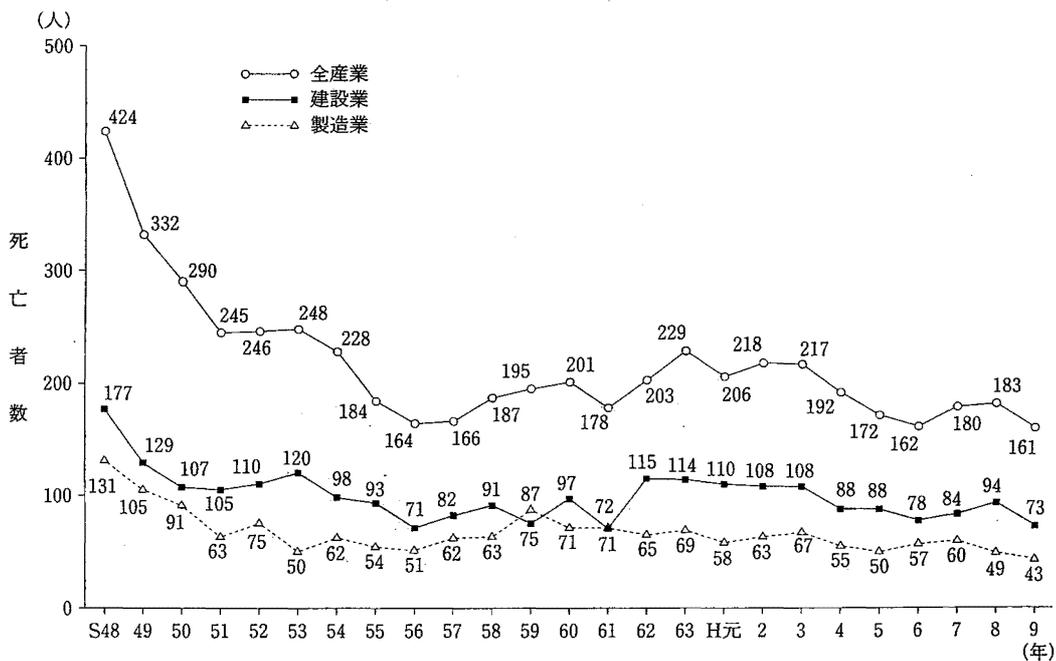


Fig. 1 Transition of the number of casualties (death) relating to crane accidents
クレーン等による死亡災害の推移 (クレーン年鑑, 平成10年版)

現象	機種	クレーン					移動式クレーン					ア リ ッ ク	エレ ベーター	簡 易 リフト	建 設 用 リフト	ゴ ン ド ラ	合 計	
		天井 クレーン	橋 形 クレーン	ジブ クレーン	ケー ブル クレーン	その 他の クレーン	小 計	トラ ック クレーン	車 面 積 載 形	トラ ック クレーン	ホイ ール クレーン							ク ロ ワ クレーン
落	ワイヤロープ等の切断	巻上げワイヤロープの切断によるもの	4				4	3	2		1	2	8					12
		玉掛けワイヤロープ等の切断によるもの	15	4	2		2	23	3	7	8	2		20				1
下	クレーンのフック等から玉掛けワイヤロープ等が外れたことによるもの	6		2	2	2	12	1	3	2	1		7	1				20
	玉掛けワイヤロープ等からつり荷が外れたことによるもの	30	4	9	3		46	17	12	16	5		50					96
	クレーンのフック等からつり荷が外れたことによるもの	3					3		2	2			4					7
	フック等が破損したことによるもの	3					3	1	1	1			3					6
	その他	15	4	5		3	27	5	7	12	11	1	36			2		65
	小計	76	12	18	2	10	118	30	34	41	20	3	128		1	3		1251
	折損・倒壊・転倒	ジブが折損、倒壊したもの			2		2	1	1	2	1		5					7
支柱、脚等が倒壊したもの				4	1	5	4					4					9	
機体が転倒したもの			1			1	9	57	12	4		82					83	
その他					2	2	3	13	4	1		21					23	
小計				2	1	3	6	15	58	14	5	92					98	
合	計	67	10	16	5	13	111	42	99	53	20	1	215	1	2		1330	

Table 1 Number of casualties (death) for every kind of crane and phenomenon
 平成5年から5年間のクレーン等における機種別、現象別死亡災害発生状況
 (クレーン年鑑、平成6年版～同10年版)

異なった撚り方を採用すると同時に細い素線を使用するなどこれまでの検査方法では損傷の検出が困難な状況にある。

- 玉掛け用ワイヤロープでは他の用途に比べ、疲労による素線断線は少なく、ロープが変形や摩耗損傷、さらには端末加工部端での損傷を受ける場合が多いが、そのような損傷部の損傷状態および強度（余寿命）を正確に評価する方法が望まれる。

2.2 繊維ロープ類

繊維ロープは標準的環境下で使用されたものについては外観的に損傷状態を評価できるが、元々質的な変化の評価は金属材料要素に比べ困難であるため、定量的な廃棄基準の設定が困難という事情がある。しかし、例えばケブラ（アラミド樹脂）繊維ロープのようにむしろ金属材料にないいろいろな優れた特徴を持つ吊上げ要素を、クレーンの巻上げ用として使用したいとの要望が実際に存在しており、その可否を明確にするためにも、この種のロープの耐久性、損傷とりわけ経年損傷の状態および残存強度をより合理的に評価する手法の確立が強く望まれている。

2.3 繊維ベルト

ベルトスリングについては、JIS規格³⁾、またクレーン協会の基準⁴⁾等があり、廃棄のための損傷基準が示されている。しかし、いろいろな損傷状態がある上にそれぞれにおいて定量的な強度低下率の評価は非常に困難であり、定性的な判断に任されている部分も多い。より合理的な損傷判定法の検討は今後の課題として残されている。その様な事情もあって、繊維ベルトを容量の大きいクレーンの巻上げ用として使用したいとの要望があるにも拘わらず、その可否の判断ができない状況にあり、これも早期の対応が望ましい課題といえよう。

2.4 吊りチェーン

ワイヤロープ、繊維ロープおよび繊維ベルト等は、多くの要素が束ねられた構造であるため、一部の要素が破損しても全体の強度は大きな影響を受けにくいいわゆる冗長的な構造であるが、チェーンはそれとは対照的に多くの要素が直列につながり、要素一つの強度が全体の強度を決定するため各要素の強度的信頼性を高めること、損傷評価技術の向上が非常に大きな問題となる。最近のチェーンの強度の信頼性は材料の品質の

向上，加工技術の向上によって以前に比べ大幅に向上してはいるが，溶接加工を含んでいること，疲労破壊や腐食環境の影響等を考慮すると未だ不確定な要素多く，強度評価にそれらの影響を適切に取り組みのための情報はまだ十分とはいえず，やはり今後の検討課題となっている。

2.5 国際標準との整合化，規制緩和等との関連

ISO の国際標準化の動きが急であり，個々の機械や部品についての規格も着々と整備されつつある現状である。この流れの中で，クレーン等の構造規格，JIS 規格，クレーン協会規格等の吊上げ用具類関連の部分を規制緩和の動きを加味し安全を確保しながら合理的に整合化させるためには，上記の具体例を含め，今後解決すべき技術的問題が非常に多い。

3. 本研究の概要

上述のように吊上げ作業に関連した破壊・損傷防止のためには多くの課題があり，それぞれが重要であるため，なかなか優先順位がつけにくい状況である。

そのような状況の中で，昭和 63 年のドッククレーンのワイヤロープの破断災害 5，6) をきっかけに，3 年ほどの間に，類似のクレーン災害の原因調査をかなりの件数担当した。その調査の結果，クレーンに多用されている鋼心入りワイヤロープの内部損傷の問題が顕在化し 7)，しかもその問題の解明が非常に重要な課題と判断された。

したがって，本研究では目標をその問題の解明に関連する課題に絞り，以下のような内容の調査研究を実施することとした。

1) 災害事例の検討研究

クレーン用ワイヤロープの破断によって発生した災害の原因を詳細に調査した結果について，直接の原因および関連する重要因子を検討した。

2) 内部損傷発生の確認と問題点の指摘

1) の検討結果として，クレーン用に多用されている IWRC ワイヤロープでは内部損傷を生じた状態での破断が多いことが確認されたため，そのような内部の損傷が異常ないしは許容されない不適切な条件だけで生じるのか，あるいは許容される使用条件下でも生じるのかについて，疲労損傷に着目して検討した。そのため，現在我が国でクレーン用として最も多く使用されている 2 種の IWRC ワイヤロープについて曲げ疲労試験を実施して，詳細に損傷状態を調査した。

その結果，定格荷重相当の許容される使用条件下で顕著な内部損傷の発生が確認されたため，その段階での検査上の問題点を検討した。

3) 使用条件が内部損傷の発生状態に与える影響

2) の検討に続いて，実際に使用される条件を想定したいろいろな試験条件で同様の曲げ疲労試験を実施し，それぞれの因子がロープの損傷状態に与える影響を検討した。この中には例えば，許容されないが現場ではしばしばその可能性があると言われる過荷重条件を含んでいる。

4) 素線断線損傷の進展特性

上記の検討で明らかになった IWRC ワイヤロープの内部損傷を原因とする破壊事故防止対策の検討の一環として，この種のワイヤロープの疲労断線損傷がどのように進展していくかを上記の実験結果から詳しく検討し，曲げ回数と断線数増加の関係を実験式表示することを試みた。

5) 素線のフレットング損傷特性の基礎的研究

ワイヤロープの疲労損傷，特にき裂発生までの過程は素線同士の接触による摩擦と素線に作用する繰返し応力の競合によるフレットング疲労現象によって大きな影響を受ける。しかしワイヤロープについてこの視点からの研究は皆無であるので，内部損傷の発生状況の解明に関連して，同種線材を用いた実験によりそのフレットング疲労の基礎的な特性を検討した。

6) ワイヤロープ破断事故防止対策の検討

本研究における災害調査結果の検討，およびクレーン用ワイヤロープでの損傷特性の実験的検討結果をふまえて，同種災害防止対策を検討し，現時点で推奨できる手法を指摘した。

以上の検討の結果は，1) 項については第 2 章に，2) および 3) 項については第 3 章に，4) 項については第 4 章に，5) 項については第 5 章に，6) 項については第 6 章にそれぞれ報告している。

参考文献

- 1) クレーン年鑑 (平成 10 年版)，日本クレーン協会，p. 42 (1998).
- 2) クレーン年鑑 (平成 6～10 年版)，日本クレーン協会.
- 3) ベルトスリング JIS B8818-1997，日本規格協会.
- 4) ベルトスリング使用基準，日本クレーン協会規格 JCA S0601-1989，(1989).
- 5) 田中正清，ドッククレーンのジブ落下事故調査報告書，(1989).
- 6) 千田豊満，曾我部雄次，有光 隆，一柳雅則，材料，41，239 (1992).
- 7) 篠原浩一郎，佐藤敏郎，柴田三夫，ワイヤロープの内部損傷の防止策，資源・素材，'91，研究会資料，(1991) p. 44.

(平成 10 年 11 月 25 日受理)