電磁探傷法による鋼索の損傷検知に関する研究*

正 会 員 小 門 純 一** 正 会 員 藤 中 雄 三***

正 会 員 田 下 和 男**** 上 田 和 彦*****

The Inspection of Wire Rope by the Electromagnetic method

Jun-ichi KOKADO, Yuzo FUJINAKA,

Kazuo TASHIMO, and Kazuhiko UEDA

In this paper, to contribute to the development and practice of the electromagnetic inspection of a wire rope, we introduce our method and state the result of some fundamental experiments.

Next, the result of field inspections of a Cable Belt Conveyor which were carried out with trial equipment and the procedure of estimation of the present strength of a wire rope by the electromagnetic inspection record are stated.

1. 緒 言

鋼索の内部に、断線や腐食などによって局部損傷が生じると、その部分に応力が集中して損傷が促進される。内部素線の損傷は、肉眼的に発見できる外部損傷にくらべてふつうその数も損傷度も大きく、したがって鋼索の強度低下に大きい影響を与えるにもかかわらず、これを発見して鋼索の劣化の程度を適確に知ることは極めて困難である。

鋼索を使用する場合、常に上述のような内部損傷の進行に対する不安を伴うので、経験的に定められた使用期間や総運搬量に達したときその鋼索を取替えるのが通例である。この取替え基準はふつう安全側に取られ過ぎるため、取替えられた鋼索の過半数は新品の90%以上の残存強度を示し、いわゆる過早取替えになっている。

しかし、ときには種々の原因により素線の損傷が異常に進行して鋼索の破断事故に至ることもあるので、鋼索の現在強度を正確に知って鋼索の適切な取替えを行なうことは保安上、経済上益するところが大きい。

鋼索強度の推定法としてわが国では西岡の提唱するいわゆるABCDE法¹⁾がよく知られている。この方法は鋼索の現在強度を推定するために必要な内部損傷を表面の状態から推定しているとはいえ、特殊な器具を必要とせず、ある程度熟練すればかなりの精度を期待できるすぐれたものである。しかし長時間にわたる鋼索の停止と労力とを必要とするので、鋼索を使用状態のままでの内部損傷の状況を検知し現在強度を推定できる検査法の開発が切望されていた。

この目的に適合する検査法として電磁探傷法が古くか

ら研究されてきた。この探傷法は原理的には簡単なものであるが、電氣的測定器の性能が十分でなかったため従来その特長が発揮できなかった。しかし最近の電子工学の進歩に伴って各種測定器の性能が向上したため、ふたたび各国において活発な研究が行なわれるようになってきた。

わが国においては鈴木²⁾、秋吉、佐々木³⁾、見沢、松木⁴⁾らによってそれぞれ特長ある検査法の研究が行なわれてきたがまだ実用化されるには至っていない。外国では、Düwall の主宰するドイツの鋼索試験所において、Otto⁵⁾、H. Grupe⁶⁾、ポーランドの M. Jezewski、Z. Kawecki⁷⁾、オランダの D. Velden、H. T. Vossen⁸⁾、カナダの H. Hitchen⁹⁾、C. McCann¹⁰⁾ らによつて基礎的および実用化試験が行なわれてきた。なお、ヨーロッパでは6ヵ国に委員をもつ Mines Safety Commission や、イタリーを本拠とする O. I. T. A. F. (国際鋼索輸送協会) などともこの分野の活動を行なっている。最近これらの研究に基づいて、ドイツ Brandt 社、フランス Legpa 社、カナダ McPhar 社などから鋼索用の電磁探傷装置が発売されるようになった。

これらとほぼ同時に著者らも、鋼索の安全で経済的な管理に寄与することを目的として行なつた電磁探傷法の基礎実験の成果¹¹⁻¹⁶⁾ に基づいて、電磁探傷機を試作し、主として C. B. C. 用鋼索についてその実用性を確めた。本論文はこれらの結果について述べたものである。

2. 電磁探傷機の概要

2.1 鋼索の磁化装置

2.1.1 励磁用電流の種類の決定 鋼索内部の腐食や内部素線の断線による磁束通路の局部的欠損を、鋼索の自然磁化やその他の磁氣的前歴に全く影響されずにその表面の漏洩磁束によつて電磁的に検出するためには、鋼索がその内部も一様に磁氣飽和点またはそれに近い状

* 昭和42年4月5日受理

** 工博 京都大学工学部教授 資源工学科

*** 工博 京都大学工学部助教授 資源工学科

**** 奈良教育大学助教授 工業科

***** 舞鶴工業高等専門学校助手 機械科

態にまで強く磁化されていることが必要である。鋼索を強く磁化するための励磁電流として交流電流と直流電流とを比較すれば、交流の場合は表皮効果のためまた励磁コイルのリアクタンスのため鋼索内部の磁化が不十分になりやすい。

探傷信号電圧は交直いずれの場合も、鋼索の損傷に基づくその表面の不均一な漏洩磁束が、検出コイルを通過することによって発生する。漏洩磁束が鋼索の交番磁化によって元来変動している場合、この信号電圧は磁化の周期と鋼索速度との影響を受ける。そのため交流電流で励磁した場合、一定速度で移動する鋼索内の同程度の損傷に対しても信号電圧は一定しないので損傷程度を判定することが困難となる。鋼索の移動速度を交流電流の周期にくらべて十分に小さくすることができる場合にはこの影響を軽減することができる反面、鋼索の誘導加熱による温度上昇をきたすことになる。

一方、直流電流によって鋼索を磁化する場合は、素線の損傷部に基く鋼索表面の漏洩磁束は時間的に変化しないから、鋼索速度が一定であれば信号電圧は損傷の規模だけに支配される。すなわち、直流磁化は探傷結果から比較的容易に鋼索の損傷程度を判断できるという利点がある。

従来直流の大電流をえるためには大型の整流装置を必要としたため、特殊な場合を除いては直流による強い磁化を行なうことが経済的に成り立ちにくかった。しかし電力用シリコン整流器の普及に伴って直流電流が簡便に得られるようになった。したがってこの試作機には性能的にすぐれた直流磁化方式が用いられている。

2・1・2 励磁方式の選定 鋼索の励磁方法には主としてヨーロッパで古くから用いられている間接励磁方式と、カナダなどで用いられている直接励磁方式との2つがある。間接励磁方式とは、第1図下部に示すように、電磁石と磁極片とによって鋼索を磁化するもので、磁路は磁極片と鋼索表面との間の空隙を除けばすべて磁性体から成立っている。直接励磁方式とは、第1図上部に示すように鉄心を用いずに鋼索と同軸に電線を巻いて鋼索を直接に磁化する方法で、磁束は空中を通過するものである。

間接励磁方式は、あらかじめ電磁石が作られているので現場での取付けが簡単であること、励磁コイルの巻数を多くすれば電流値を小さくすることができるので電源装置が簡単になることなどの点ですぐれているが、鋼索の横振れにしたがつて鋼索内の磁束分布が変るおそれがある。もし磁化効率を犠牲にして空隙を大きくすればこの悪影響を軽減することができるが、原理的に両磁極間距離を空隙の2倍以上にとることが必要であるので、振れの大きい鋼索に対しては磁極間距離も大きくしなけ

第1図 鋼索の電磁探傷実施概念図

ればならない。また、ガイド・ローラを用いて振れを規制することができるが、そのために加えて短周期の機械振動を誘起するので一般には好ましくない。したがってこの方式はケーベ巻き立坑鋼索やC.B.C.鋼索のように運転中の振れの少ない鋼索の励磁に適している。

直接励磁方式の得失は間接励磁方式のそれとほぼ反対であるので、斜坑や一般の立坑のように比較的振れの大きい鋼索に対しても有効である。したがって探傷しようとする鋼索の運転状態に応じていずれの方式が適するかが決定されるが本質的な差はほとんどない。

2・1・3 必要起磁力と電源装置 鋼索を外部から電磁的に探傷する場合、前述のように鋼索は磁気飽和点近くまで磁化されねばならない。このための必要起磁力は鋼索の断面積に対応することはもちろん、励磁磁路の状態とくに励磁コイルの平均直径と鋼索直径との差やコイルの巻幅が影響する。コイルの内径を小さくすれば磁化効率当然高くなるが、使用現場における鋼索の振れを考慮すれば、鋼索半径程度の空隙が必要となる。また励磁コイルの巻幅を2つに分けて巻く場合、両コイルをなるべく接近させて配置する方が有効であるが、本試作機では後に述べる検出コイルを現場で巻く作業を容易にするため、磁化効率をある程度犠牲にして、コイルの間隔

が広くとられている。

この間隔が0.75mの際の必要アンペア・ターン(AT)は、たとえば鋼索径30mm, 励磁コイル平均直径230mmに対し、鋼索断面積1mm²あたり10AT程度である。われわれが探傷の対象としている鋼索の断面積は1,000mm²程度までであるから、所要起磁力は最大10,000AT程度となる。励磁コイルの巻数を50回とすれば励磁電流は200Aとなる。コイル抵抗は0.01Ω程度であるから整流器や変圧器の電力損失を考慮しても励磁電源装置としては出力約1kWのものでよい。しかし試作機では十分な余裕をとって連続定格5kWのものを製作した。

電源整流回路は2重星形接続による6相半波整流回路を採用した。励磁コイルのインダクタンスが十分でないため励磁電流には幾分の脈動があるが、その周波数は電源周波数の6倍であつて、鋼索の損傷に基く信号電圧の周波数(100~200)c/sにくらべて大きいため適当な濾波器を採用すれば信号の伝送や処理にほとんど影響を与えなくすることができる。しかし変圧器巻線や整流素子の不揃い、あるいは電源に相間不平衡がある場合には基本周波数(50c/s または 60c/s)の脈動成分が現われて探傷記録の信号・雑音比を悪化させることがある。

2.2 検出コイル

検出コイルの基本的な形式は、鋼索を軸として巻かれた2つの部分コイルを差動的に接続して1組としたものである。

この形式には、測定に際し現場でコイルを巻かねばならないことおよび損傷部分が鋼索断面内のどのストランドにあるかを判定できないことなどの欠点がある。これらの欠点を除くためあらかじめ作製された数個の分割形コイルを鋼索表面に取付けて検出コイルとすることも実用化されている。しかしながら前者における巻線作業の所要時間は探傷機の取付け場所にもよるが10分間程度であり、また鋼索の残存強度を知るためにはその長手方向のどの位置にどのような集中度で素線の損傷があるかを知ることが重要であつて、どのストランドにその損傷があるかは第二義的なものである。したがつて、この研究における検出コイルとしては構造が簡単で鋼索の横振れによる悪影響が少なく、さらに損傷の検出精度や感度がすぐれている前者の形式が採用されている。

すなわち、この検出コイルは運転中の鋼索に接触しない程度の内径をもつ棒枠に、5~30mmの間隔で設け

られた幅5mmの巻溝に0.16~0.20mm径のエナメル銅線をそれぞれ100回ずつ巻いたものであるが第2図に示すように2つの部分コイルの巻き方向の組合せとその接続の選び方によつてそれぞれ特性を異にする。この図に示すように鋼索の局部損傷によつて片側のコイルに誘起される信号電圧をVとし、励磁電流の脈動や鋼索の振動によつて両側のコイルに同時に誘起される片側の雑音性電圧をE、静電感应や外部漂遊磁界によつて生じる片側の雑音性電圧をeとすると、信号・雑音比V/(E+e)がすぐれているのは対称型コイルのⅡとⅢの接続である。

Ⅱの接続は回路が簡単である代りに接地側に対して非対称接続となるため、検出コイルとテープ・レコーダとの距離をあまり長くするとこの伝送線が雑音を拾うおそれがある。いつぼう、Ⅲの接続では伝送線が平衡型であるため、さらに長距離を伝送することができ、また結合変成器による電圧利得も期待できる反面、変成器の磁気遮蔽が不十分なときはその付近の外部磁界によつて雑音性電圧を発生する欠点がある。この試作機では伝送線はあまり長くなることはないので、Ⅱの差動接続方式が主として採用されている。

2.3 損傷検出電圧の記録

上述の励磁装置および検出コイルによつて鋼索の探傷を行なうとき、鋼索が2~3m/sの速度でコイルを通過すれば鋼索断面積に対し1%程度の断面積をもつ素線1本の断線について通常2~3mVの検出電圧が得られる。この電圧の持続時間は素線の損傷に基く漏洩磁束の分布状態と、鋼索が検出コイルを通過する速度とから決まるもので、この値はほぼ $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{200}$ sec程度である。この一種のインパルスとして現われる検出コイルからの信号電圧は、まずテープ・レコーダによつて磁気テープに

検出コイルの型式	原因および種類	コイルに発生する起電力		外部接続(I~Ⅳ)と出力電圧 T			
		N, Pを基準とし 端子間電位差		n: 変成器巻線比			
		M N P Q	M N P Q	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
対称型	局部損傷にもとづく信号電圧	V O	O V	$\frac{V}{2}$	v	nV	nV
	両コイルに共通の磁束変化によるもの(雑音)	E	E	E	O	O	2nE
	静電感应によるもの引出線部を含む(雑音)	e	e	e	O	O	2ne
	局部損傷にもとづく信号電圧	V O	O V	$\frac{V}{2}$	v	nV	nV
非対称型	局部損傷にもとづく信号電圧	V O	O V	$\frac{V}{2}$	v	nV	nV
	両コイルに共通の磁束変化によるもの(雑音)	E	E	O	2E	2nE	O
	静電感应によるもの引出線部を含む(雑音)	e	e	e	O	O	2ne
	局部損傷にもとづく信号電圧	V O	O V	$\frac{V}{2}$	v	nV	nV

第2図 検出コイルの内部接続と外部接続

記録され、ついでペン・オシログラフによつて可視記録に変換される。テープ・レコーダとしては電圧感度の点でも、周波数帯域の点でも一般に市販されているもので十分であるが、損傷位置を正確に知るためには鋼索の基準点からの距離も同時に記入することが望ましいので、この試作機では2チャンネルをもつテープ・レコーダが用いられている。

このように鋼索探傷の1次記録機として、磁気テープ・レコーダを用いることの利点のうち、主なものはつぎのようである。

(1) 他の長時間記録装置にくらべて、広帯域の周波数成分を扱えるから、あらゆる鋼索をその平常運転速度のまま検査することができる。

(2) 検査記録のうち必要な個所を随時、電圧波形として再現することができるので、2次記録機の特長あるいは解析の目的に応じてフィルタによる補正または変換を施すとともにその全長あるいは一部分を時間的(距離的)に圧縮、拡大して可視記録にすることができる。すなわち、この試作機によつて得られる可視記録は、その長さを鋼索実長に対して $1/10 \sim 1/6,000$ の範囲にとることができる。

(3) 磁気テープから可視記録を作製する際の結合用増幅器の特性を非直線性のものとし、また取扱い電圧に適当な下限を設けることによつて持続性雑音を除去することができる。また、鋼索強度に及ぼす影響が無視できる程度の微小な断面変化に対してはこれを消去し、必要なものを重点的に書き表わすようにすることができる。

さて、検出コイルから得られた信号電圧の大きさは鋼索の局部欠損面積に比例するが、その電圧波形は損傷の形状によつて変化し、とくに断線した素線の破面間隔は

信号電圧の大きさにも影響する。そのためテープから2次記録を作製する際は鋼索の損傷程度と記録波形との良好な対応を計るため適当な波形変換を施さねばならない。

3. C.B.C. 用鋼索の電磁探傷

C.B.C.に用いられている鋼索は、立坑や斜坑の鋼索にくらべるとかなりの劣化が認められるまで使用されるので、取替え時期が近づくにつれてできる限り頻繁に検査を行ない、その劣化の程度を確認しておくことが望ましい。またC.B.C.鋼索は長いうえ運転速度を簡単に低くできないので、これを肉眼的に検査するには多くの労力が必要である。しかしながらこの鋼索は一定速度で巡回しているから、電磁探傷を適用するには極めて好都合である。

そこで、われわれは試作した電磁探傷機を用いて第1表に示すようにわが国で稼動しているC.B.C.鋼索の探傷を行なつてきた。これらのうち2,3のC.B.C.装置については、運転中鋼索に加わる張力の測定を行ない、松島炭鉱株式会社大島鉱業所 No. 4 C.B.C.用鋼索についてはとくに詳しく定期的に電磁探傷を行なうことができた。

このC.B.C.装置は第3図に示すように、機長 2,150 m、平均傾斜 12° で、石炭および硬を毎時400~450 t 運搬するものである。鋼索は36mm径、6×S(1+9+9)で、鋼索の使用期間は約22ヵ月、運搬量は約300万tである。

試作第1号の電磁探傷機が完成した昭和38年2月当時には、右側鋼索としては昭和37年12月、左側鋼索としては同36年10月に取付けられたものが使用されていた。そこで内部損傷の時間的な推移を調べるために右側鋼索を4ヵ月毎に電磁探傷するよう計画され、第1回目の探傷が昭和38年3月に行なわれた。

いつぼう、左側鋼索は従来の取替え基準に従うと昭和38年8月に使用限度に達することになっていた。しかし現場では従来鋼索取替え毎に更新してきた使用期間をさらに延長するため、できればこの左側鋼索を昭

第1表 C.B.C.鋼索の電磁探傷

事業所	C.B.C.機	機長 m	運搬能力 t/h	平均傾斜 度	運転速度 m/min	鋼索				素線折損部の数(全長)	
						構造	直径 mm	全長 m	経過期間 月	2.5%損失	5.0%損失
三菱・古賀山	1,230	420	15	105	6×7	34	2,550	61	70	20a)	
日曹・天塩	791	250	17	120	6×7	26	1,890	56	19	2b)	
飯野・松浦	1,560	220	10	90	6×7	26	3,350	37	2	0c)	
北炭・平和	800	500	16	130	6×7	30	1,660	21	5	0e)	
三井・砂川	560	340	16	90	6×7	28	1,220	13	50	0d)	
三菱・高島	2,686	800	0	150	6×7	28	6,055	18	20	5	
常磐・磐城	(No. 2) 1,731	500	12	150	6×7	32	3,500	9	4	3	
	(No. 1) 1,175	500	16	150	6×7	32	2,400	9	2	0	
雄別・尺別	1,950	300	16	135	6×7	34	4,100	7	1	0	
住友・歌志内	1,804	500	16	135	6×7	38	3,809	3	0	0	
松島・大島	2,150	450	12	120	6×S(19)	36	4,400	12	50	120e)	
宇都・山陽	1,124	600	12	122	6×S(19)	36	2,350	24	20	60e)	
								3	10	6f)	
									1	0	

所見

- a) 腐食は軽微であるが、かなりの集中断線がある。
- b) ほとんど腐食していない。
- c) 内部、表面ともにほほだしい腐食がある。とくにスプライス部は浸水のためと思われる。
- d) 軽微な腐食がある。
- e) 断線数は多いが、集中的なものが無いので強度的にはあまり問題がない。
- f) 集中断線部がある。

和38年末まで引続き使用したい希望があった。そこで昭和38年7月に実施された右側鋼索の第2回の探傷の際この左側鋼索の電磁探傷も併せて行なわれた。

この左側鋼索は、その探傷記録の一部が第4図最下段に示されているように、内部損傷が激しく、相当劣化していると認められたことおよび7月現在ですでに前回の使用期間を数ヵ月こえており、さらに取替え用鋼索もすでに到着していたため、この際危険を冒さず、約1ヵ月後の盆休みに取替えることに決定された。

このことは基礎研究の段階で得られていた探傷信号電圧と損傷状態との間の関係を実際の鋼索について確めるよい機会であった。そこで探傷記録に基いて8月に取外された左側鋼索から分解検査用の試料としてそれぞれ外部断線のない長さ10mのものが2区間、残存強度試験用として長さ3mのものが9区間切取られた。

第4図は分解結果と電磁探傷記録の比較の一例を示すものである。この図の上部6行には分解の結果発見され

第3図 C.B.C.電磁探傷の一実施例とその鋼索の構造

松島炭鉱株式会社 大島鉱業所
No.4 C.B.C. 左側索
使用期間 22.5月、運搬量 3.3×10^6 t
全長 4,400 m、探傷速度 2 m/s
36mmφ 6x(1+9+9)

素 線	δ_0	δ_1	δ_2
直径 mmφ	3.37	1.65	2.95
断面積 mm ²	9.08	2.22	6.84
本数	6	54	54
総断面積 mm ²	541.4		
鋼索強度 t	77.6

第4図 C.B.C. 鋼索の探傷記録例とその部分の分解結果

た素線断線の位置および大きさが、その素線の断面積に比例する大きさの縦線で各ストランドごとに示されている。

この図から内部損傷は各ストランドによつてある程度の差があることがわかる。第1行から第6行までの縦線を、ストランドが異なつていても鋼索の同一断面内のものは加算して各距離毎に示すと第7行の図形が得られる。この図形は第9行に示されている電磁探傷記録図とよく一致しているので信号電圧と内部損傷断面積との関係を確認することができた。ただし第7行の分解結果表には

あつて第9行の電磁探傷記録図にないものが2,3見受けられるが、これは電磁探傷実施後鋼索を取外すまでに約1ヵ月13万tの運搬が行なわれたために新しく発生した損傷である。さらに2,3のものは距離的な不一致が見られるが、これは鋼索の分解に伴う長さの変化のため避けられない距離測定誤差に基くものである。

なお、断線していた素線はどのストランドにおいても第4図上部に示す斜線の範囲内のものに限られていて、この近傍はほとんど例外なく錆びていたことが分解検査の結果明らかになった。このことは鋼索内部の油の分布や各素線の応力状態に関するひとつの問題点を示すものであろう。

上に述べた残存強度実測用の鋼索試料9本は東京製鋼株式会社小倉工場において破断試験が行なわれたが、それに先立つてこれらの試料の現在強度の推定が電磁探傷記録に基いて行なわれた。この場合、素線断線による強度低下は、折損した素線断面積と素線強度とのそれぞれ新品時の値の積で与えられるものと仮定した。この仮定は実情とは異なるが損傷した素線の現在断面積や疲労などによる材質の劣化を適確に知ることができない現在においてはやむを得ないものである。

さて、この仮定のもとで、素線折損の集中度が鋼索強度に及ぼす影響範囲を知るため、第5図(a),(b),(c)に例示するように1,2,3,および4ピッチに想定して現在強度の推定が行なわれた。第2表はこの比較を示すもので、その結果からこの鋼索では影響範囲を3~4ピッチとして扱った計算強度が、実測強度に最も近いことがわかつた。

4. 結 言

鋼索を使用状態のまま検査し、現在強度を推定できる検査法としてわれわれが行なつてきた電磁探傷の方法と試作した探傷機の概要を述べ、この試作機によつて得た探傷記録を鋼索の分解結果と比較した結果、探傷記録紙に描かれた波形の振幅はその鋼索の局部損傷度とよく対応することを認めた。局部損傷を発見する

- (1) 第4図上部参照
(2) 1ピッチ長さは235~250mm
(3) 第4図第8行参照

第5図 電磁探傷記録による損傷素線の推定

第2表 電磁探傷結果による鋼索強度の推定

鋼 索 試 料		1 ピッチとしたとき①			2 ピッチとしたとき			3 ピッチとしたとき			4 ピッチとしたとき			⑤	備 考
番号	区 間 m	② 折断面 mm ²	③ 損傷 強度 t	④ 折損による 強度損失 t	折断面 mm ²	折損による 強度損失 t	推定残存 強度 t	折断面 mm ²	折損による 強度損失 t	推定残存 強度 t	折断面 mm ²	折損による 強度損失 t	推定残存 強度 t	実 測 破断強度 t	
1	866~ 869	15.7	2.8	61.9	18.0	3.2	61.5	24.6	4.3	60.4	26.8	4.7	60.0	61.2	第5図(a) 第5図(b) 第5図(c) 分解試料 は 893~ 903m
2	871~ 874	29.3	5.1	59.6	47.2	8.3	56.4	63.9	11.2	53.5	63.9	11.2	53.5	54.6	
3	891~ 893	18.0	3.2	61.5	22.4	3.9	60.8	24.6	4.3	60.4	29.1	5.1	59.6	59.7	
4	905~ 907	15.7	2.8	61.9	20.2	3.5	61.2	26.8	4.7	60.0	29.1	5.1	59.6	59.7	
5	916~ 918	49.6	8.7	56.0	58.5	10.2	54.5	65.2	11.4	53.3	69.6	12.2	52.5	52.8	
6	930~ 933	15.5	2.7	62.0	20.0	3.5	61.2	22.2	3.9	60.8	24.6	4.3	60.4	58.0	
7	946~ 949	18.0	3.2	61.5	24.6	4.3	60.4	29.1	5.1	59.6	47.0	8.2	56.5	60.0	
8	1,047~1,049	15.7	2.8	61.9	22.4	3.9	60.8	24.6	4.3	60.4	44.8	7.8	56.9	60.0	
9	4,150~4,154	33.7	5.9	58.8	33.7	5.9	68.8	54.1	9.5	55.2	54.1	9.5	55.2	56.0	

注 ①：鋼索強度に対する素線折損集中度の影響範囲を、鋼索長さの1,2,3,4ピッチなどに見積つたとき。

②：①の範囲に存在するすべての素線折損断面積の合計。

③：②の断面積に、この鋼索の素線強度 175kg/mm² を乗じた値。

④：新品強度から、摩耗による強度減小*12.9tを減じ、さらに③を減じた値。

⑤：東京製鋼株式会社小倉工場における測定（昭和38年10月、小38~145）。

* この表の試料については重量測定による。すなわち、

新品重量：4.99kg/m=4.77kg(素線)+0.22kg(麻心)

試料重量：4.20kg/m=3.98kg(素線)+0.22kg(麻心)

素線重量減小：(4.77-3.98)/4.77=16.6%

摩耗による強度減小：77.6t(新品)×0.166=12.9t

77.6t-12.9t=64.7t

探傷感度は損傷断面積約1mm²に対して十分であり、この研究において実測に供した鋼索では6×7構造のものはもちろん、6×S(19)でもその最小素線の半断線が十分検出できた。この感度は直径30mm程度の鋼索に対して断面積比0.2%前後に相当する。

つぎに、鋼索の現在強度を求める場合、その新品強度から摩耗による強度損失と電磁探傷によつて判明した鋼索のよりの3~4ピッチ間の素線損傷に基く強度損失とをさし引けば、実測強度とかなりよく一致することが認められた。しかしながら初回の探傷記録から直ちに現在強度を推定することは、鋼索の構造や使用状況の違いによる影響のため、十分な精度をつねに期待できるとは限らないので、使用中の各種の鋼索に対し定期的に電磁探傷を行なうとともにその記録と分解結果とを対比しておくことが望ましい。

電磁探傷法は原理的に鋼索の長手方向の断面積変化を検出するものであるから、鋼索表面あるいは内部素線の一様な摩耗や素線の疲労による材質の変化に対しては感度をもたない。この点に関しては目下研究が進められている。

この研究において度々の実験に際し多大のご協力を頂いた松島炭鉄株式会社をはじめ各炭鉄ならびに株式会社

三井三池製作所に深い感謝の意を表わしたい。

また研究費の一部は文部省科学研究費の補助をうけ、さらに通産省鉱山保安局の各位からも種々のご協力を得ることができた。

文 献

- 1) 西岡：鋼索論文集，昭和38年12月
(日鉱誌，73，834，p. 855，昭和32年12月など)
- 2) 鈴木：日鉱誌，68，764，p. 77，昭和27年2月
日鉱誌，68，766，p. 197，昭和27年5月
第16回ワイヤ・ロープ研究会資料，p. 56，昭和40年10月
- 3) 秋吉・佐々木：九州鉱山学会誌，33，11，p. 439，昭和40年11月
九州鉱山学会誌，33，12，p. 437，昭和40年12月
- 4) 見沢・松木：九州鉱山学会誌，33，9，p. 375，昭和40年9月
- 5) Otto: Glückauf, 69, Heft 21, s. 471, (1933)
- 6) Grupe: Glückauf, 93, Heft 37/38, s. 1168, (1957)
- 7) Jezewski・Kawecki: Glückauf, 95, Heft 17, s. 1067, (1959)
- 8) Velden・Vossen: Glückauf, 92, Heft 27/28, s. 792, (1956)
- 9) Hitchen: The Canadian Min. & Metall. Bull. May, 1957, p. 281
- 10) McCann: The South African Inst. of Engrs., Wire Rope for Hoisting, 1920
- 11) 小門：第15回ワイヤ・ロープ研究会講演集，p. 101，昭和39年9月
- 12) 藤中・田下・中井：水曜会誌，15，2，p. 69，昭和38年8月
- 13) 多田隈・小門・藤中：第14回ワイヤ・ロープ研究会講演集，昭和38年11月
- 14) 小門・藤中・多田隈：日鉱誌，80，909，p. 266，昭和39年3月
- 15) 小門・藤中：日鉱誌，80，915，p. 785，昭和39年9月
- 16) 藤中：第16回ワイヤ・ロープ研究会資料，p. 63，昭和40年10月