鉱山用鋼索の腐蝕と切断荷重の研究*

正 会 員 西 岡 多 三 郎**

Study on the Corrosion and the Breaking Loads of the Wire Ropes for Mining

Tasaburo NISHIOKA

This Study has been investigated on the 6×7 ropes, diameter 22 mm, by corroding in the acid solution at laboratory and inspecting the changes of mechanical characteristics of wire ropes and rope wires caused by their corrosion.

As a result of this investigation it has been found, that the decreasing percentage of breaking loads has not a certain relation with the decreasing percentage of diameter but is nearly proportional to the square of decreasing percentage of clamped diameter of wire ropes.

It has been proved that: the proportional constants are in a range of 1.5-2.5, which depends on the kind of ropes and the condition, of corrosion, and the decreasing percentage of the breaking loads is nearly proportional to the decreasing percentage of the sectional area of wire ropes, the decreasing tendency of breaking loads is fairly slower than the decreasing tendency of elongation percentage and that of breaking energy.

The result obtained by testing the wires, which are taken from corroded wire ropes, showed that the decreasing tendency of diameter and breaking loads are slower than the decreasing tendency of number of torsions and that of bends.

Such a experiment is very few, so I think that the data obtained in this case will be a valuable reference one, when we need the investigation of corrosion on wire ropes used in practice.

1. 緒 言

鋼索の切断荷重を変化せしむるその損傷原因を、次の5項に大別する考え方はすでに報告したが、

- A項 磨 耗 (Abrasion)
- B項 断 線 (Broken Wire)
- C項 腐 蝕 (Corrosion)
- D項 型崩れ (Deformation)
- E項 偏 心 (Eccentricity and E to.)

各項は実験的にも実際鋼索使用に当たっても、個々別々に発生する事は稀で、一般に相互錯綜して生ずるものであるが、この分類は鋼索損傷に対する考え方を、容易ならしむるもので、本稿はC項に属する実験である。

すなわち鋼索の腐蝕には種々の種類(平滑腐蝕・点腐蝕・鑕状腐蝕・線腐蝕・針状腐蝕・凹凸腐蝕等)型式(一様腐蝕・外部片側腐蝕・外部腐蝕・内部腐蝕・極部腐蝕)があるが、この実験においては直径22mm, 7本線6ツ捻り鋼索を使用し鋼索を構成する素線の差異による腐蝕の種類の影響, 腐蝕の型式の影響, 亜鉛メッキの腐蝕に対する影響, 及び鋼索の捻り方の影響等10種類の鋼索を

酸性水溶液中で腐蝕せしめ、その為に生ずる鋼索の切断荷重の減少と、その外観、直径、クランプ径、断面積、重量、電磁氣的性質、切断試験における延伸率、弾性率の変化を実験的に測定し、これにより鋼索切断荷重の減少の内容を考察せるものである。

2. 実験試料と実験方法

1. 実験試料

実験試料として第1表の様な成分の8.0mmの線材を用い第2表に示す熱処理及び伸線加工を行い2.43mmの側鋼線及び2.50mmの心鋼線を作り、さらに第4次の実験に使用せる鋼線には亜鉛メッキを施した。これらの鋼線の機械的性質は第3表に示す。以上により仕上げられた鋼線はストランドのピッチを80.6mmロープのピッチを176mmとしてサイザル麻にて製作された心綱を中心に撚合し7本線6ツ捻り鋼索として仕上げられ酸性水溶液中で腐蝕を行い、その性質の変化を試験した。

2. 実験方法

実験は第4表に示す様に1次より5次迄10種類について行つた。

第1図に示す花崗岩製の腐蝕液槽(全容積約0.75m³)にH₂SO₄(約3.2%)とFeSO₄(約4%)との水溶液を入

* 昭和31年1月11日受理 1955年4月本会春季大会に発表。

** 帝国産業株式会社

第1表 線材の化学成分

No.	化 学 成 分 %								備考
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	
1次	0.61	0.22	0.48	0.028	0.025	0.23	0.07	0.07	
2次	0.62	0.24	0.48	0.028	0.023	0.22	0.05	0.05	
3次	0.60	0.21	0.48	0.026	0.018	0.24	0.07	0.05	
4次	0.59	0.26	0.48	0.025	0.023	0.27	0.09	0.07	
5次	0.60	0.22	0.46	0.021	0.019	0.23	0.06	0.05	

(C・P・S は化学分析, Si・Mn・Ni・Cr は分光分析)

第2表 熱処理及び伸線

線材径	伸線	原料線径	熱 処 理	伸線	上り線径
側線 心線	8.0mm 25% 2回引	5.5mm	950°C×9'→ 500°C(Pb)×100'	25% 6回引	2.43 2.50

第3表 鋼線の機械的性質

		線 径 m/m	切斷荷重 kg	抗張力 kg/mm ²	ネジリ回数 n/1000 at 50v.p.m	巻解	繰返し曲げ 回数 R=15mm
1 次	側線	2,435	816.3	175.3	40	良	122
	心線	2,507	799.8	162.1	37	〃	102
2 次	側線	2,419	810.0	176.5	44	〃	164
	心線	2,505	810.0	163.8	38	〃	141
3 次	側線	2,420	829.0	180.2	39	〃	120
	心線	2,509	828.5	167.1	37	〃	138
4 次	側線	2,416	800.0	175.0	28	〃	146
	心線	2,548	818.0	160.4	30	〃	124
5 次	側線	2,416	800.0	175.0	38	〃	146
	心線	2,517	800.0	160.8	33	〃	136

第4表

	燃り方	メッキの有無	型付有無	芯 鋼 重 量	腐蝕の種類型式
1次	ラング燃	裸	型付	100g/m 芯鋼	平滑・一様 腐蝕
2次	〃	〃	〃	〃	点・〃
3次(i)	〃	〃	〃	〃	平滑・内部 〃
〃(ii)	〃	〃	〃	〃	〃・外部 〃
〃(iii)	〃	〃	〃	50g/m	〃・内部 〃
〃(iv)	〃	〃	〃	〃	〃・外部 〃
4次(i)	〃	電気亜鉛メッキ	〃	100g/m	〃・一様 〃
〃(ii)	〃	溶融亜鉛メッキ	〃	〃	〃
5次(i)	〃	裸	型付無	〃	〃
〃(ii)	普通燃り	〃	型付	〃	〃

れ、これに両端部を鋼索油にて保護し、標点間隔を1700mmとし、その標点内の油気をベンゼンにて完全に清拭した試料鋼索を浸漬し腐蝕せしめる。腐蝕液温は約10°Cである。

腐蝕液の H₂SO₄ 濃度は滴定により約3.2%に保つよう補充する。腐蝕の程度は浸漬日数の多少によって分ち、

第1図 腐蝕液槽

腐蝕を完了した鋼索は鋼索油除去後温度 80°C の乾燥室にて48時間充分乾燥せしめる。

内部腐蝕は鋼索ストランドの外部に出ている素線に鋼索油を塗附して腐蝕しない様に保護し、ストランドとストランドとの間隙より酸液が鋼索内部に浸入し鋼索の内部より腐蝕する様にした。

外部腐蝕は鋼索のストランドとストランドとの間隙には鋼索油を塗附し酸液が直接鋼索内部に浸透し難い様にして鋼索の外部を主として腐蝕せしめた。

次にクランプダイヤの測径具* によりクランプダイヤを測定し、またノギスによる直径、鋼索の重量の測定及び電気的方法**により断面積を測定する。

鋼索の切斷試験は MAN 型 150t 鋼索切斷試験機にて荷重一伸び曲線***を自記した。

3. 実験結果及びその考察

第2図の1~5は鋼索の切斷曲線を示すもので腐蝕が進むと荷重の減少と共に伸びも減少している。第2図の4熱メッキは素線が亜鉛メッキの際の熱の影響を受けている為、初めは特に伸びが大きい特徴を示している。

第3図の1~10は浸漬日数による切斷荷重・延伸率・弾性率・切斷に要する仕事量の変化とそれ等の減少率の変化及び燃り減り率の変化を示すもので、鋼索は腐蝕に

* 日本鉦業会誌 第70巻 第795号 “鉦山用鋼索の直径と切斷荷重の研究” に記載。

** Some notes on an electrical apparatus for ascertaining the cross-sectional area of wire ropes. by C. McCann. from The South African Institution of Engineers. Rope Wirefor Hoisting 1920 に記載の方法。

*** 西岡多三郎著 “鋼索の製造” 第156頁⑨に記載の方法。

第2図

第 3 図

より切断時における延伸率・弾性率及び切断に要する仕事量は共に低下するが、第3図の8熱メッキは延伸率・切断に要する仕事量の低下は最初特に急激で後、ゆるやかなになる特性を示すが、電気メッキの方はこの傾向を示さない。

然り減り率は素線径の減少が目立つ様になると急激に上昇する(第6図参照)。第3図の5,6の然り減り率が再び小さくなるのは芯綱が細い故、素線が腐蝕して細くなり、はじめて鋼索としての芯綱径と素線径とのバランスが取れた為である。

第4図の1~10は浸漬日数による鋼索直径、鋼索断面

積の変化とそれ等の減少率の変化を示すもので、鋼索直径の変化をノギスに依つて測定した値は切断荷重の変化とは一定の関係が見出せないが、補正したクランプダイヤとは、比例的な関係が見出せる。また鋼索断面積にもほぼ比例する(第3図参照)。

第5図は外観写真で第一次実験のもののみ示す。一番上が腐蝕していない新しい鋼索で下へ行く程、順次腐蝕が進行している。右横にはその横断面写真をかけ外観に対して断面積の減少の著しい事を示している。

第6図は腐蝕せる鋼索を解いた素線の試験結果を第一次実験のものについて示しているもので、1ストランド

第 4 図

選抜試験で巻解及びベンド試験の縦軸の数字の0が芯素線で $1_1 \sim 1_6$ は側素線の6本である。巻解の図表において○印は良、△印は巻もどす時に折れたもので、×印は巻付ける時に折れたものである。ベンド試験は素線を素線径の約2倍の直径4.8mmのピンの周りに約180°に曲げて行い、その結果折れなかつたものは○印で、折れたものは×印で表わしている。切断荷重、巻解、ベンドの劣化は最初ゆるやかで後、急激となり、ネゲリ、繰返し曲げは最初急激に、後はゆるやかに減少する。すなわちネゲリ回数、繰返し曲げ回数の減少は鋼索の切断荷重の減少とは直接的な関係を示さない。

第7図の1~5は横軸に補正した クランプドダイヤの

第5図 22mm6×7C/L(1次)

第6図 (1次)

第 7 図 B 切断荷重の減少率 Δ クランプドダイヤの減少率 K 腐蝕係数

第8図 1

第8図 2

減少率 (Δ) を取り、縦軸には切断荷重の減少率 (β) と Δ との比をプロットしたグラフで、点は大体原点を通る直線上に分布している事を示している。すなわちこの直線を式に表せば

$$\beta/\Delta = K \Delta \quad K: \text{直線の方法係数}$$

$$\therefore \beta = K \Delta^2$$

となり、切断荷重の減少率はクランプダイヤの減少率の2乗に比例する事になる。そしてこの方向係数 K は腐蝕の種類・型式によつて異なる値を示す故、腐蝕係数と名付ける。

第8図の1,2は腐蝕の種類型式を示すために腐蝕程度の比較的激しいものの外観及びその素線の横断面を模式的に示したもので、第1次のものは線の表面より平滑に腐蝕が進行している。第2次のものは表面より部分的にピットしている点腐蝕であつて第1次第2次共腐蝕の型式は一樣腐蝕である。第3次のものは線の表面が凹凸に腐蝕するもので型式は内部腐蝕と外部腐蝕とを示している。

第5表は腐蝕係数 K 及び K' (鋼索の切断荷重の減少率 $= K' \times$ 鋼索の断面積の減少率) の一覧表で、第1次実験に使用した素線は腐蝕しやすい線と、し難い線とが混合されているがいずれも平滑腐蝕である。この場合の係数は1.5で比較的小さい。

第2次に使用した素線は各素線共等しく点腐蝕してい

る。この場合の係数は20で比較的大である。

第3次は凹凸腐蝕で芯綱のものと云うのは普通のものに比し重量で約 $\frac{1}{2}$ のものである。また係数 K は外部腐蝕より内部腐蝕の方が何れも小さい値を示し K' は K より25%~40%大きい値を示している。

第4次の電気メッキは平滑腐蝕で熱メッキは凹凸腐蝕であつた。メッキの影響は係数にはあらわれていない。

第5次は何れも凹凸腐蝕であるが、腐蝕係数はラング攪り型付鋼索に比し型付無しのはやや大きく、普通攪りのものはさらに大きい値を示している。

第5表 腐蝕係数一覧表

	攪り方	腐蝕の種類	腐蝕の型式	K	K'
1次	6×7 C/L 型付	平滑腐蝕	一樣腐蝕	1.5	1.5
2次	〃 〃 〃 〃	点腐蝕	〃 〃 〃	2.0	2.0
3次	〃 〃 〃 〃	凸凹	内部	1.5	1.9
〃	〃 〃 〃 〃	〃	外部	2.0	2.5
〃	〃 〃 〃 〃	〃	内部	1.6	2.2
〃	〃 〃 〃 〃	〃	外部	1.8	2.5
4次	〃 〃 〃 (心綱細)	平滑	〃	1.5	1.5
〃	〃 〃 〃 (電気メッキ)	〃	〃	1.8	1.8
5次	〃 〃 〃 (熱メッキ)	凸凹	〃	2.0	2.0
〃	〃 〃 〃 C/L 型付無し	〃	〃	2.5	2.5
〃	〃 〃 〃 C/O 型付	〃	〃	2.5	2.5

4. 結 び

本研究の範囲においては腐蝕せる鋼索の切断荷重の減少率は

1. 直径の減少率に対しては一定の関係を見出せないが
2. クランプダイヤの減少率の2乗にはほぼ比例し、
3. 断面積の減少率にもまたほぼ比例する。

切断荷重の減少傾向は

4. 延伸率の減少傾向及び
5. 切断に要するエネルギーの減少傾向に比べて、かなり緩慢である。
6. 素線の直径、切断荷重、巻解及びベンドの減少傾向と等しく、ネヂリ回数及び繰返し曲げ回数の減少傾向に比べてかなり緩慢である。

腐蝕係数は1次~5次の実験結果を総合すると1.5~2.5の範囲にあつた。

▼ 新 刊 ▼

第4回 ワイヤロープの研究会講演集

ワイヤロープの研究会編

B5判 140頁 定価300円 送料30円