ワイヤロープに生ずる断線についての基礎的研究

(第1報)*

正 会 員 芹 田 陽**

A Fundamental Study on Breakage in the Wire-Rope (1st Report)

Yo SERITA

Wire breaking occurred in the main rope of the aerial rope way, and some tests on wire breaking were tried, and results obtained are as follows.

1. Wire breaking appeared more quickly when hardness of one pulley was more higher than the others.

2. Wire breaking was retarded when sagging of main rope was small.

3. There were 2 sort of wire breaking viz., crack occurred first only in the upper side of wire and then breaking happened, and crack occurred both in the upper and lower sides of wire.

4. When material of pulley was made of soft metal, cracks occurring in the main rope wire were very few, so, breaking of wire was delayed and then increasing speed in the breakings of wire in a main rope was retarded.

5. Scanty strain was generated in the wire when soft roller was used, and when the hardness of roller was higher than that of the former larger strain was generated.

These results were obtained with pilot apparatus of aerial rope way 1st, 2nd and 4th nucha. 5th cervix was obtained by wire testing machine which was designed by our college, and the 3rd cervix was obtained through these two testings.

1. 緒 言

ワイヤロープに発生する断線についてはいろいろな角度から考察されてきているようであるが、まだ断線発生の原因について、はつきりしない点もあるようである。特に索道の場合安全率を低くすると断線の発生をおそくするという現場報告、あるいはこれをいくぶん理論づけて述べているものもあるようであるが、現在架空索道の場合 鉱山保安規則で4と定められているようであり¹⁾、また第5回ワイヤロープ研究会講演集では安全率を3とするのが最適であると述べている²⁾。一般機械設備においては安全率が大きいほど安全であるので、一時現場では安全率が4~5位まで増したが断線を阻止するのに役立たず、結局2.7~3.5に落着く傾向にあるという報告もある³⁾。

従来断線の実験には Haigh Robertson 疲労試験機を用いたもの^{4)~7)}およびその他の試験機を作つて実験を行つたもの^{8),9)}など多数あるが、筆者は数年来小形であるが屋内架空索道装置を作つて滑車材質の変化がワイヤロープの摩耗に与える影響について実験を行なつてい

これまで荷重を500kgとして実験を行つた際には、荷重を50,000回往復しても軌索の断線は目立たなかつたが、荷重を1,000kgに増加してからは滑車材料のいかんにかかわらずほとんど断線を発生し、激しい時は荷重往復回数17,100回で断線が多く発生して装置の継続運転不能となるような事もあった。このように断線が多く発生したので断線に対する滑車材料の影響について考察し、これに補足的に軌索張力を変化して断線発生状況もしらべ、また素線の断線試験についても新しく装置を作つて実験を行なつたので、これらの結果について述べる。

2. 実 験 装 置

2-1 索道装置

実験装置は第1図に示したように、高さ2mの鉄塔を7m間隔に建て、この鉄塔間に軌索として6×7裸ラングZヨリ2種26mmを用い、軌索を2本張つて同時に2種類の実験を行なえるように作つてある。各軌索には荷重1,000kgを釣り、荷重は軌索上に2個の滑車で支えられる。荷重ならびに滑車の形状をそれぞれ第2図-1,2に示す。荷重は曳索によつて交走式に軌索上を走る。曳索の運転は第1図右下に見える電動機により動かされる巻上機によつて行なわれるが、電動機の運転は別に作つた

* 昭和33年11月21日受付

** 秋田大学教授 冶金学教室

第1図 索道実験装置略図

第2図-1 搬器

第2図-2 搬器用滑車

第3図 ワイヤ繰返曲げ試験機略図

写真1 ワイヤ繰返曲げ試験機

自動運転装置により行なわれ、電動機の運転時間間隔は正転・休止・逆転・休止が3,2,3,2秒であり、これが荷重の1往復である。荷重の動く距離は3.8mで荷重速度は61m/minとなっている。荷重の軌索上に動く往復回

数は自動運転装置に取り付けた回転計によつて自動的に示される。

2.2 ワイヤ断線試験装置

本試験装置を写真1に示すが、この説明のために第3図にその要点を示した。第3図においてSが試料ワイヤでこの一端をFに固定し、滑車P₁, P₂を通じて他端を小さな巻胴D₁に巻き付けて固定する。D₁と同軸上に大きな巻胴D₂を取り付け、D₂に別に細いワイヤロープを巻きつけて一端

に重錘Wを吊り下げ、Sに加えられる張力を拡大する。P₁, P₂の中央にローラRをおき、Rは矢印のように上下動する軸の下端に取り付けられている。いまこの軸を下方に動かすとRはSを下方に押しつけるが、Rの下がるにつれてRは僅かにS上を転る。Rにはボールベアリングを用いている。また同時にP₂, D₁, D₂も回転してWも上方に持ち上げられる。軸の上下速度が早いとSがP₁, P₂を叩き、またWの自由落下によつてSに余分の応力に加えられるので軸の上下動は毎分24回の極めておそい速度に調節してある。ローラ上下の回数は回転計によつて自動的に示され、ワイヤが切断すれば自動的に電源が切れて試験機の運転は停止する。

3. 実験試料および実験方法

3.1 索道断線実験

軌索には2.1に述べたものを用いたが滑車を新しい物と取り替える毎に新しいロープと張り替えて実験を行なつたが、ロープは1会社の1本の1巻のロープから必要長さずつ切り取つて用い、実験に入るに先立つてロープに塗布してあるコンポジションオイルをガソリンと刷毛そ

の他に綺麗に洗い落とし、乾燥した布でよく拭き取つて用いた。ロープ張力は荷重をスパン中央に釣り下げ、ロープの撓み量によつて決定し、また確かめた。荷重往復回数はワイヤ断線が少ないものは50,000回まで、また断線の多いものはロープが急に伸び出すまで続けた。

荷重用滑車はいずれの材質でも同時に作った第2図-2に示す同形の滑車2個ずつを1つの荷重に取り付けて実験を行つた。用いた滑車材質は次の6種類である。普通鋳鉄、構造用炭素鋼第9種、自動車用バネ鋼、軟鋼、硬鋼、Si-Mn鋳鋼であるが、普通鋳鉄、Si-Mn鋳鋼はともに軌索撓みを変化して用いたので、それぞれ4回、2回用い、また軟鋼、硬鋼、Si-Mn鋳鋼は熱処理により、また普通鋳鉄は急冷鋳造によりチルド鋳物として滑車硬さを変化して用いたので、滑車は合計13回取り替え26個

用いたのであるが、鋳鉄の場合滑車の損耗激しく、滑車を途中で新品と取り替えたので軌索は12本用いている。軌索撓みは588, 400, 296, 221mmの4種類に変化した。また実験終了後使用済の滑車を切断して材料の硬さを確かめ、また軌索の破断片を切り取って断線発生状況を確かめた。

3.2 素線断線試験

実験試料は2.1項で述べた26mm軌索の素線と同径、同質のワイヤを用いた。線径は2.86mmである。ローラとしてボールベアリング No. 6303*を用いた。またワイヤヒズミ測定用ローラは第1表の滑車番号 No. 16, 25, 17の使用済滑車から幅 $\frac{5}{8}$ in, 外径 $1\frac{1}{2}$ inのローラを削り出し、これら3種類のローラを交互に取り替え、写真1に示した装置によつてワイヤ下面に引き起されるヒズミを測定したが、その際はワイヤを真直になる程度に軽く張つておいて抵抗線ヒズミ計を張り付け、ローラが最下位に下つた時にワイヤに接触する点のワイヤの下の方を中心としてヒズミ計を張り付けた。ヒズミ計は共和無線研究所のSK-47**を用いた。その際のワイヤのスペンは560mm, ローラ・ストロークは24mm, ワイヤに加えた張力は300kgとした。

また本実験で得た断線の破片を切り取ってワイヤ内部の割れについて調べ、軌索ワイヤの割れと比較した。

4. 実験結果

4.1 索道実験

4.1.1 索道断線実験 軌索の断線状態を写真2に示した。断線実験の結果を第1表に示す。表には軌索の撓みと滑車の硬さおよび滑車の熱処理要領その他について示してあるが、往復回数および断線数というのは軌

第1表 小型架空索道における軌索断線実験結果

滑車番号	滑車材質	軌索撓みmm	荷重kg	滑車硬さHVN	往回数	断線数	滑車の条件
24	普通鋳鉄	588	1,000	231	25,350	58	熱処理なし
16	同	400	1,000	185	50,000	6	〃
19	同	296	1,000	174	22,280	0	〃
22	同	296	1,000	247	22,280	1	〃 No. 19滑車使用後引続き使用
18	同チルド	296	1,000	473	25,800	99	急冷焼鈍
20	炭素鋼	296	1,000	289	20,650	58	JIS G 3102 機械構造用炭素鋼第9種 820°C水冷, 400°C油冷 鍛造後800°C 1時間焼鈍 (HRB68)
17	軟鋼	296	1,000	<150	31,500	59	同上後950°C水冷 鍛造後800°C 1時間焼鈍
26	同	296	1,000	240	31,000	75	同上後950°C水冷 鍛造後800°C 1時間焼鈍
21	硬鋼	296	1,000	178	21,150	64	同上後950°C水冷, 500°C炉冷
23	同	296	1,000	351	17,100	76	800°C 1時間焼鈍
25	Si-Mn 鋼	296	1,000	192	25,500	57	同上後950°C水冷, 500°C炉冷
27	同	296	1,000	313	20,000	66	同上後950°C水冷, 500°C炉冷
28	同	221	1,000	-	3	-	800°C 1時間焼鈍
15	炭素鋼	400	1,000	256	22,700	89	JIS G 4801 バネ鋼第6種熔接

No. 17, 26 の軟鋼, No. 21, 23 の硬鋼はいずれも市販の普通鋼材である。

* 単列固定形中荷重型ラジアル玉軸受

** 標点距離31mm, ゲージ幅約1mm

写真2
軌索断線発生状態

第4図 ワイヤ断線数の増加状態図

索に断線を多く発生し、それ以後の実験継続が危険と認め中止した際の往復回数であり、その時の断線数である。滑車 No. 19 は前述のように軌索には断線を生じなかつたが、滑車が摩耗して2つに割れたので No. 22 と取り替えて実験を継続したものである。断線発生数の増加傾向を荷重往復回数と比較して示すと第4図のようである。

これらの結果を見て分ることはNo. 24, 16, 19, 22 の滑車は同一材質の滑車であり（普通鋳鉄）いずれも硬さは異なるが、主索撓みの多い程断線の発生も早く、したがって軌索が危険で使用に耐えなくなるまでの荷重往復回数も少なく断線数も多い。No. 25, 28（どちらも Si-Mn 鋳鋼滑車）についても同様の事がいえる。すなわち撓みが少ないことはもちろん軌索張力が大であることであり、これが断線の発生を少なくしている。また No. 19 と 18（普通鋳鉄）、No. 17 と 26（軟鋼）、No. 21 と 23（硬鋼）、No. 25 と 27（Si-Mn 鋳鋼）はいずれも軌索撓みは同一であり滑車材質は同じであるが、滑車製作条件が異なり熱処理式は急冷焼鈍によつて滑車の硬さを変化しているが、滑車硬さをあげるといずれの場合でも往復回数が少なくなり、軌索の寿命は短い。

4.1.2 軌索断線部および滑車材料について 軌索の断線はいずれも軌索上面の山切れで、断線数が多くなると断線した部分の下に重なっている線にも断線を生ずるようになるが、この断線部を起して金鋸で切り取ってこれを試料とし、ワイヤを縦に或いは横に輪切りに切断し、研磨して顕微鏡で内部の割れについてしらべて見た。その結果第4図で線の比較的立つているもの、すなわち、No. 23, 27, 15, 18 の滑車を用いたような試料では、ワイヤの破断した近くにワイヤ上面（軌索として用いた時に滑車と接触した部分）から沢山の割れが出ており（第5図-1参照）、またNo. 16, 22, 28のような滑車を用い

-1 ワイヤ縦断面(C-D) -2 横断面(A-B)
第5図 索道実験において発生したワイヤの割れ

縦断面(A-B)
第6図 ワイヤ試験機試料に発生した割れ

た試料では、破断した部分以外に割れは見当らない。また前者のような滑車を用いた軌索のまだ断線しない索の上面のワイヤを調べて見ても割れが入っているが、後者では見当らない。いずれの試料でも割れはワイヤ上面のみから入っている。またワイヤを輪切りにした試料でもワイヤ摩耗面とはほぼ平行に割れの見えるものもあつた。この割れの分布傾向を示すと第5図-1がワイヤを縦断したもので、第5図-2はワイヤを輪切りにしたものである。写真3,4はいずれも試料断面の顕微鏡写真である。写真3はワイヤを縦に、写真4は輪切りにした断面である。

4.2 素線断線試験

4.2.1 割れについて 素線張力150kg, 上下ストローク60mmで大体ローラー上下回数が約8,000回で素線は切断されるが、この切断した破片を試料として調べた結果について述べる。破断面はローラーに接触した部分すなわちワイヤを試験機に取り付けた際に上になる方向とその反対側すなわち下の方向は滑らかな白い破断面で疲労破壊の様相を呈し、その上下両側にはさまれたほぼ中央部が黒いギザギザの凹凸のある脆い破面を呈していた。この試料を4.1.2で述べたと同様の方法でワイヤを縦に、あるいは横に輪切りにして顕微鏡で見ると第6図および写真5のようであり、ワイヤの割れは縦切りにしたものではいくぶん上から入った割れは長い、上下両側から入っており、輪切りにしたものでは水平に、ワイヤ軸線に平行に割れが入っている。

4.2.2 ワイヤが曲げられる事により発生するワイヤ下面のヒズミ 3.2に示した装置により、ワイヤを押し付けるローラの材料を軟鋼、鋳鉄、鋳鋼に変化してワイヤ下面に起るヒズミを測定したところ第2表に示す結果を得た。同表にはローラの硬さとともに示した。材料

第2表 ワイヤの曲げによつて生ずるワイヤ外側のヒズミ測定表

ローラ材質	ローラ硬さ HV _N (HRB)	ヒズミの大きさ ($\times 10^{-4}$)	滑車番号*
軟鋼	<150(68)	20.91	No. 17
普通鋳鉄	174(82.5)	21.06	No. 16
鋳鋼	192(88)	21.13	No. 25

硬さは HR_B で測定し HV_N に換算した(金属便覧日本金属学会編 p. 352による。)

* 滑車番号は第4図または第1表に示してある。

写真3
ワイヤ
縦断面

写真4
ワイヤ
横断面
(第5図-1
A-B 断面)

写真5
ワイヤ
縦断面

の種類が3種類で少ないのであるが、ローラの形が同一であつてもローラの材質が軟いほどワイヤの曲げによつて生ずるワイヤ外側の引張ヒズミは少ないことを示している。

5. 考 察

4・2・1の実験においてローラを下向きストロークの最低位まで動かして後、ワイヤに張力を与えるための重錘をはずして試験機からワイヤを取りはずして見ると、最後に接触していた点でワイヤは「く」の字に曲つている。このことはここに述べるまでもなくワイヤには弾性限界以上の応力が加えられたために永久変形を起したのであり、はじめ真直であつたものがローラに押しつけられたことによつてワイヤ上部に圧縮応力を受け、下部に引張応力が働いて永久変形を起し、これがローラがストロークの最上位にもどることによつてワイヤが真直になる。このことによつてワイヤ上部には先と反対に引張応力を発生し、下部には圧縮応力を生ずる。すなわちこの場合は片振り疲労試験のように見受けられるが、実際には両振りの交互荷重による疲労試験である。またワイヤ上面はローラにより強圧を受け、ローラとの接触点はローラの下向運動により変化するので、ワイヤ上面は下面より激しい応力が加えられるため、ワイヤ上面から割れの入るのは了解できることである。

6. 結 論

以上の実験結果をまとめて見ると、次のようである。

(1) 軌索に生ずる断線は滑車硬さが大きいと早く発生し、軟かいとおそく発生する。

(2) 軌索における断線の発生は他の条件が同一の時は軌索撓みが大きいと早く発生し、小さいとおそく発生する。

(3) 断線は割れがワイヤの上側から発生して切れる場合と、上と下から割れが発生して切れる場合の二つの場合がある。

(4) 軟かい滑車を用いた場合、ワイヤに発生する割れも少なく、また断線もおそく発生し、さらに断線数の増加速度もおそい。

(5) 軟かい滑車を使うと硬い滑車を使う場合に比較してワイヤに与えるヒズミは小さい。

最後に、実験の終始御懇篤な御指導を賜りました本学教授、五十嵐博士ならびに御協力を惜しまなかつた東京製鋼株式会社の各位および本実験に熱心に御手伝下さつた本学石川技官に対し厚く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 改正金属鉱山等保安規則、第250条および改正石炭鉱山保安規則第338条
- 2) 新保、第5回ワイヤロープ講演会講演集(1956)。
- 3) 新保、2)に同じ
- 4) 吉野：第4回 “ (1955)。
- 5) 吉野・富岡：第5回 “ (1956)。
- 6) 幅野・藤井：第6回 “ (1955)。
- 7) 土井・川端：第5回 “ (1956)。
- 8) 新保・熊谷：第4回 “ (1955)。
- 9) 幅野・藤井：第7回ワイヤロープ研究会講演前刷(1957)。

Alacchi 作孔式採炭機

アレキサンダー・シュミット社製のこの切削採炭機は3年来フランスの炭鉱で55°の急傾斜切羽に使用されている。作動の方法はコルフマン社のBSL 80型と大体同様である。

本採炭機の最適使用範囲は層厚80～160cmの間にある。炭壁を肩進みとし、機械はその自重約3.5tで炭壁を押しつける。下盤に対しては、4本の水力駆動の足で立っており、この足が35cmまで高さを変えることができて下盤の変動を調整する。

作孔式の切削装置および火力駆動の2個の巻胴巻機の原動機として60kWのモータを装備している。巻胴巻機の牽引力は3.5～4tである。一方の巻機で作業間採炭機を釣つてお

り、他の巻機は採炭機を肩に戻す時に用いる。運行速度は中度のかたさ

の石炭の場合で約1m/secであり、切削の幅は約130cmである。

(Bergbau Rundschau, Nr. 10, Nov. 1958 より) (山村礼次郎)