

「断線等施設事故防止」のための鋼索試験結果の一例

上松運輸・機 工 課 樋 田 平 好
永 井 栄 治
機械修理工場 林 悦 男

要 旨

ワイヤロープの断線は、ときとして重大な人身災害につながる。従って作業現場では、この危険要因を未然に排除するための、懸命な努力が続けられているが、それでもなお予想し得ない断線は根絶できない現状である。

私達は、通常では知り得ないワイヤロープの内面を、多くの試験データや金属組織の実体写真等によって明らかにして、予想し得ない断線を予知し得るものに変え、断線事故の絶滅をめざしたいと考えるものである。

はじめに

当署は昭和42年以来、林野庁及び林業試験場の委嘱により、各種ワイヤロープの性能試験を実施してきたところであるが、併せて機械集材装置の安全対策に係る。独自の課題にも取り組んできたので、その一部を発表することによって、各署で施設事故防止のために、努力されている各位の参考に供したい。

I 主索クランプの保持力

機械集材装置において、セットした主索クランプの保持力が弱い場合、保持力以上の張力がかかると、クランプが滑り主索に強い摩擦熱が発生する。

この摩擦熱がロープ線材である、炭素鋼の金属組織の変態点720℃以上になり、外気等によって急激に冷却されると、素線の正常組織であるソルバイトは、マルテンサイトと呼ぶ組織に変態してしまう。マルテンサイトとは、簡単に言えば素線の表面に強い「焼き」が入った状態であり、これによって素線表面は硬くなり脆くなって、クラックが発生し断線の主要因となることが判った。一方熱が急激に冷却しない場合は、素線の製造過程で強度や弾性を高めるために、折角作り上げたソルバイト組織を、元の炭素鋼の組織の方向へ逆もどりさせる状態、いわゆる「ナマル」と云う状態にさせてしまい、著しい抗張力低下につながる事が判明した。

この様に、クランプの滑りや作業索の接触摩擦によって発生する高熱は、主索の寿命に決定的なダメージをあたえることになる。従ってこの危険を未然に防止するためには、なんとしてもクランプの保持力を強化することが重要になる。

○試験結果

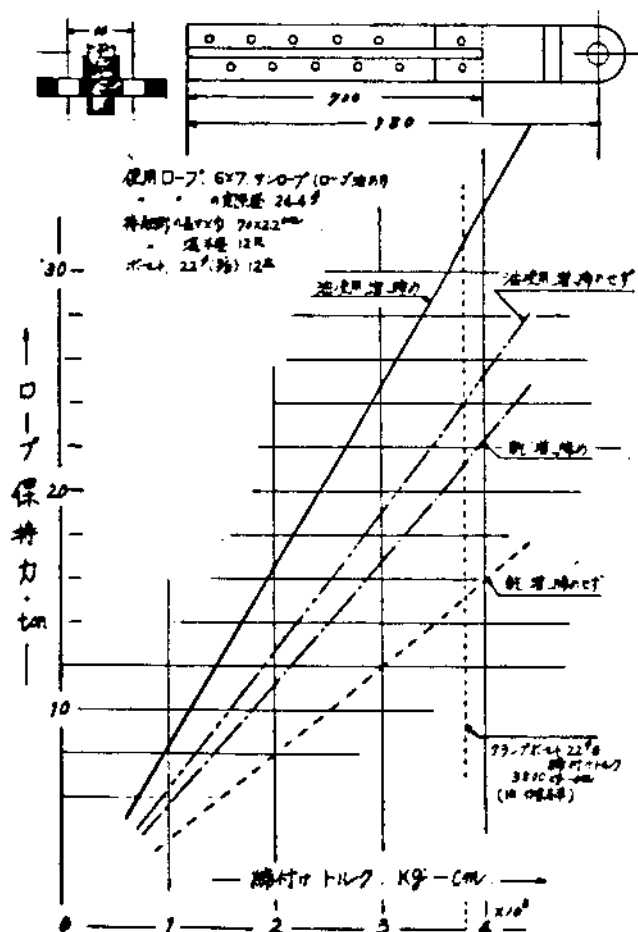


図-1 主索用クランプの保持力

この試験は図-1に示したロープ及びクランプを使用し、締付けトルク 3,800 kg · cmで次の4態様の比較を行ったものである。

1. 締付けボルトにまったく油気のないものをそのまま締付けた……………15 t
2. 1の状態を増し締めを行った。……………21 t
3. 締付けボルトに油をやった上で締付けた。……………24 t
4. 3の状態で更に増し締めを行った。……………32 t

以上のとおり、現行型クランプの保持力を最高に高めるためには、「締付けボルトに十分注意を行った上で締付け、なおかつ増し締めを行うこと。」を確実に行うことが必要である。

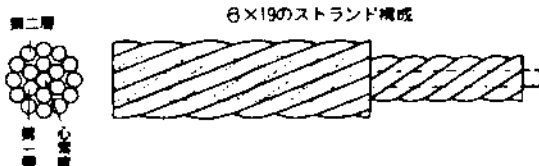
II フィラー型作業索における疲労断線の、かくれた特徴

ワイヤロープはストランドを構成する素線の層が二層以上の場合に、各層の素線の接触状態から「点接触型」と「線接触型」に大別され、一般的には次の様な特徴をもっていると云われており、そこには明らかに点接触型に対する線接触型ロープの優位性がうたわれている。

1-5 ロープの種類と特徴

ロープのストランドを構成する索線の層が2層以上の場合に、索線の配置による各層の索線間の接触状態から、一般にロープは点接触(point contact)型と線接触(linear contact)型に分けられ更に二種類以上の線接触形を組み合わせたり、線接触型と点接触型を合わせてそれぞれの利点を生かした複合型ロープがあります。

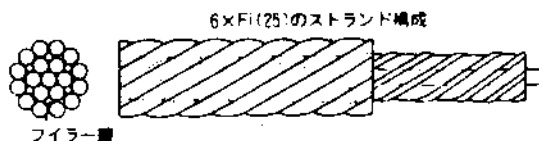
1. 点接触型 (交叉より)



6×19・6×24・6×30・6×37・6×41の一般ロープがこれに属し、ストランド各層のピッチが異なるため、各層の索線が交叉して点接触するものであります。この種のもは心索線を除く各層の全索線に均一に強力がかかり、又柔軟性もありますが、二次曲げを受けたり又接触点で圧痕を生じて疲労や摩耗の影響を受けやすい欠点があります。

2. 線接触型 (二層平行より)

2.4.2. 線接触構造 (平行捻りロープ)



基本的にはファイラー型、ウォリントン型、シール型があり、ストランドが一工程で同一ピッチでよられており、ストランドの下層の索線の凹部に上層索線がはまっているので、各層の索線は互いに交叉することなく平行な線状の接触状態になっています。このようなロープはストランドの絡まりが良く形壊れを起しにくく、その上索線が線接触をしているので、ストランドの内面摩耗や二次曲げによる歪曲疲労も少なく更に一般ロープよりも有効断面積も大きいのでロープの切断荷重が大きい利点があります。

図-2

これらを基に、現在国有林野事業で使用しているロープは、ほとんどファイラー型であると云う実態にある。そこで私達は、今迄行ってきた試験結果を活かして、「ファイラー型ロープは本当に丈夫なのか。」と云う点について検証してみた。

○試験結果

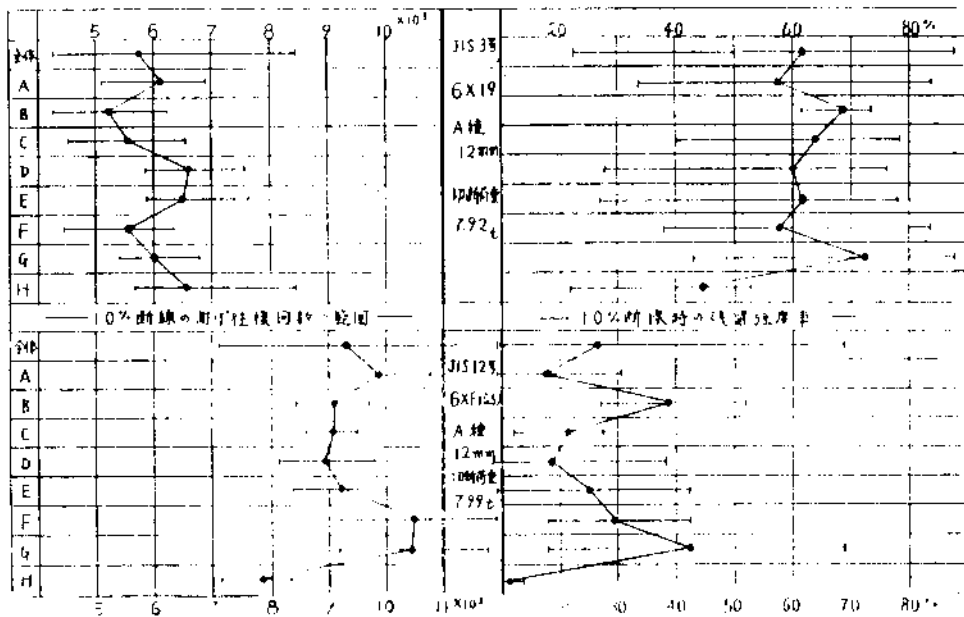


図-3 作業索の寿命比較表

(1)図の説明

- a. A……Hの符号はメーカー別、全体は総体平均を示したものである。
- b. 棒線は、1メーカー10本以上の試験を行った結果の最低～最高の範囲を示したものである。
- c. 黒点及び折線は平均点である。

10%断線にいたる搬器往復回数を比較すると、6×19型は5,000～6,500回の範囲で限界に達するが、ファイラー型は9,000～10,500回程度まで延びている。しかし、残留強度を見ると6×19型では、まだ60%近い強度を残しているのに対し、ファイラー型は30%程度しか残っていない。

10%断線……それは労安則に定めたロープの使用限界であるから、廃棄するロープの残留強度がいくら高くても意味がないと云う見方をすれば、ファイラー型ロープの優位性は一応立証することができる。

しかし、10%断線に達したファイラー型ロープの残留強度が「何故こんなに小さいのか？」そこに大きな疑問を抱かざるを得ない。我々には、何故か42.195 kmをひた走った、マラソンランナーのゴールの一瞬が目に見えてならない。栄光のテープを切ってなお余力を残す者と、ゴールと同時に力尽きてしまう者の姿を、残留強度の比較にかいま見るからである。そこで我々は、この疑問を解明すべくファイラー型ロープの内部断線の実態に、さぐりを入れて見ることにした。

図-4は、ファイラー型ロープの搬器往復回数による残留強度の低下と、断線の進行状態の関連を表したものであるが、図-3の試験条件より張力を強めて行っているため、断線時期が早まっているので、承知の上見ていただきたい。この試験では、搬器往復回数が5,000～5,500回程度で初期断線が始まり、初期断線が始まると、加速度的に断線が進行していく様子と、それに伴って強度が急激に低下する関連を顕著に現している。

○ 試験結果

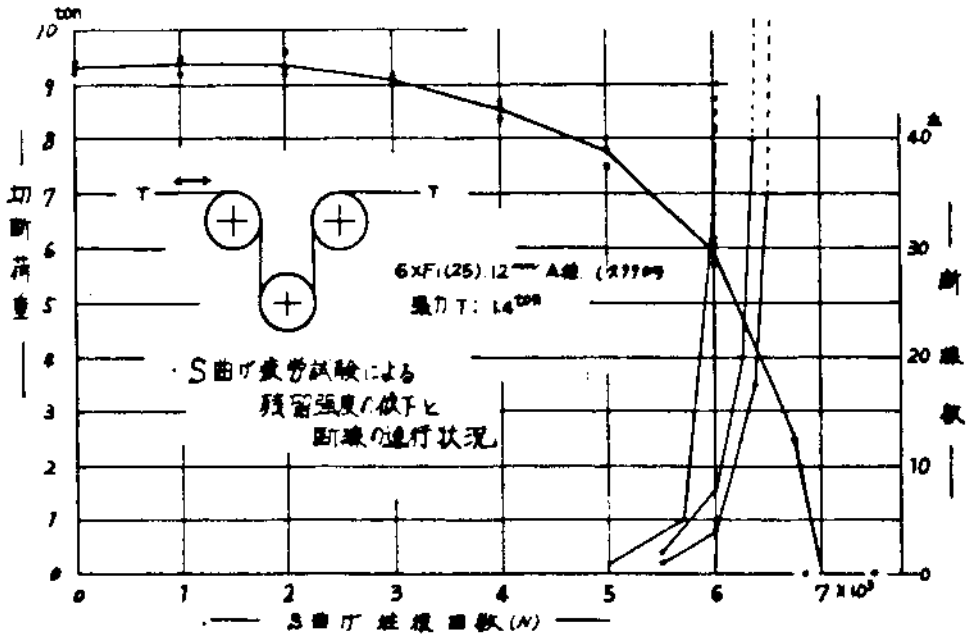


図 - 4

表 - 1 1割断線の判定をしたロープの内部断線

試験記号	内部断線数	外部断線数
2H-6	75 [*]	6.3 [*]
2B-1	68	5.7
○-2	47	3.9
○-3	77	6.4
2A-2	39	3.3

(6 × Fi (25) % A種12, S曲げ疲労試験

T = 350 kg

表 - 1 は、ファイラー型ロープの S 曲げ疲労試験により、10%断線が確認されたものの内部断線数を示したものである。おどろくべきことに、ストランドの内部摩擦や、二次曲げによる屈曲疲労に強いことが、利点とされているファイラー型ロープが、表面で12本の断線が確認できたとき、すでに内部では3倍～6倍に及ぶ断線が発生していたという事実である。何故そうなるのか。その原因はロープの撚り方に起因しているそうである。点接触型は各層の撚り角を等しくし、各素線に生ずる張力が均等になるように撚っており、それがために各層のピッチが異なり、各層の素線が交差し点接触しているのに対し、線接触型は、ストランドの下層の素線の谷間に、上層素線が正しく重なるように、すべての素線を同じピッチで同時に撚ってあるため、点接触型と異なり各層の撚り角と素線の長さが等しくない。従って厳密に云えば、張力が全素線に均一にかかっていないことになる。「内部断線」これがファイラー型作業索の残留強度を小さくしている元凶であることが判明した訳で、これが我々の強調したいファイラー型ロープのかくれた特徴である。

当署の試験装置は、実際の集材装置に較べ若干苛酷な条件設定で作られている。従って現場で使用するロープの総てが、この様な状態になるとは断言できないし、この結果をもってファイラー型の、優位性を決して否定するものでもない。要はロープを扱う作業者の一人一人が、こうしたかくれた特徴を十分に認識し、常に入念なチェックを行い、時には疲労しやすい部分の一部を切り取って内部断線の進行状態を確認して見る必要があるであり、そのことを確実に行えば、作業索の断線の多くは未然に防止することが可能であると考えられるものである。

Ⅲ 主索の使用部分と未使用部分の強度比較

架線された主索の索長が1,000 mであっても、実際に集材作業で搬器が走行する部分、すなわち実集材距離は、その何割かに過ぎない。搬器が走行する部分は、素線が圧延、摩耗、疲労等により強度はそれ以外の部分より当然低下していると考えられる人が多いと思う。ところが、当局管内の主索断線事故を見ると大部分が搬器走行部分以外の箇所でも断線している。搬器が走行しなくても、サドルブロックによる屈曲疲労、サドルの変形、クランプの圧痕、滑り等等、断線につながる要因はむしろこの部分に多く潜在していると見るべきかも知れない。しかし、ロープの強度に問題はないのか。これがこの試験を行った端緒である。

○ 試験結果

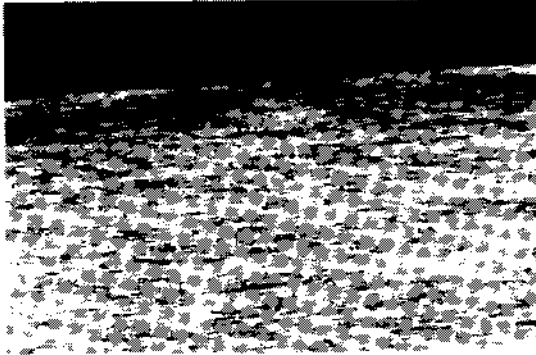
表-2 主索として使用したロープの部分別強度の比較

	破断試験		0-71mmのI型ルギ		備考
	平均径	強度	比較	大きさ	
使用部分	23.97	45.2	100%	1409	100%
未使用部分	25.02	43.1	95.4	709	50.3
實際径	25.62				
使用部分	23.94	44.7	100	1217	100
未使用部分	25.05	43.3	96.9	758	62.3
實際径	25.62				
使用部分	24.39	45.1	100	1257	100
未使用部分	24.44	44.4	98.4	916	72.9
實際径	25.62				

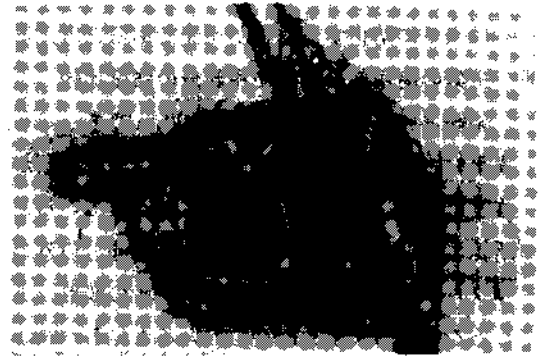
この試験は、購入後7年の使用歴をもつロープを各署から集めて行ったものであり、ロープの端末部分で搬器走行による摩耗が認められない部分を未使用部分とし、それ以外の部分で搬器走行による摩耗の認められる部分を使用部分として区分し比較したものである。ロープ径を見ると使用部分が明らかに細くなっているが、破断試験では、未使用部分の方が弱くなっているという、予期しなかった事実が判明した。

又、ロープエネルギーとは、抗張力と伸びの積であり、これが50.3%と云うことは、衝撃荷重に対する力が、使用部分の半分しかないことを示すものである。

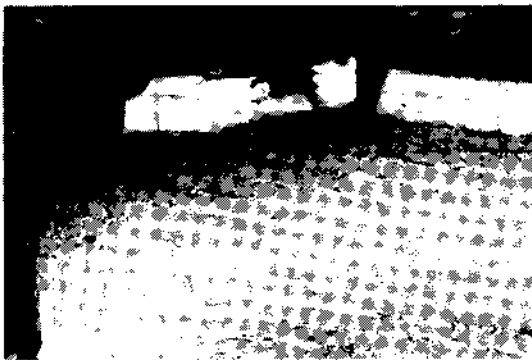
外見上、新品同様のこの部分が何故こんなに弱くなってしまうのか。破断試験で見る次の様な傾向が、その原因を如実に示しているのではないだろうか。



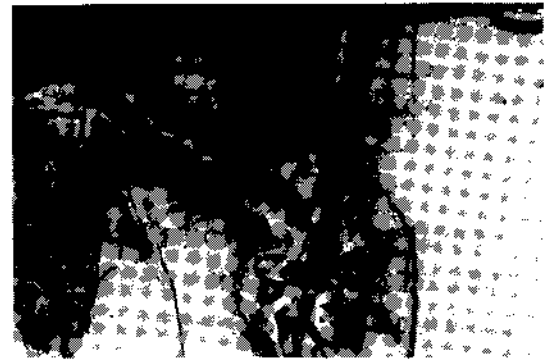
素線の正常な組織の状態，ソルバイトといって製作過程で伸線，熱処理で，抗張力，弾性を高めるために作った組織，繊維模様になっている。



マルテンサイトに発生したクラックと腐蝕の進行状態，やがてここから，曲げ疲労等に助長され中心部にクラックが侵入し断線する。



左端はクラックの進行による断線，上部の白い部分は素線表面で，摩擦による高熱と急冷で組織が変態しマルテンサイトが発生したところ。クラック，剝離，欠落が生じている。急冷しなかった中心組織は，先祖帰りの方向へ変態し乱れているのが見える。



マルテンサイトの発生で破壊された素線表面。

1. 使用部分の破断試験では、4～5本のストランドが同時に切れる。
2. 新品ロープは、2～3本が同時に切れる。
3. 未使用部分は、1～2本が同時に切れる。

この傾向を基に、我々はその原因を次のとおり結論づけた。

1. 使用部分は、図-4にも見られるように機器の走行によって、撚りが均一に縮っている。
2. 未使用部分は、(1)の現象によるひずみから撚りが不均一になっている。従って、主索の強度を均一に保持し丈夫で長もちさせるためには、架線の都度天地返しを確実に実行することが絶対に必要である。

おわりに

今や産業界の技術革新は、飛躍的に発展し、それに伴う安全対策も、本質安全化に向けて積極的に進められている。

しかし、林業界における生産施設は、その設置条件が千差万別の自然山野であり、本質安全化にも限界がある。それが故に重大な人身・災害につながりかねない施設事故を、未然に防止するためには、まだ関係者のたゆまぬ保善管理に大きく依存しなければならない現状にある。

今回の発表が、これからの安全対策に少しでも活かされ、施設事故の減少につながることを期待するものである。