

技 術 資 料

ワイヤーロープにおける最近の進歩 (II)

西 岡 多 三 郎*

RECENT DEVELOPMENTS IN WIRE ROPE

— A Review —

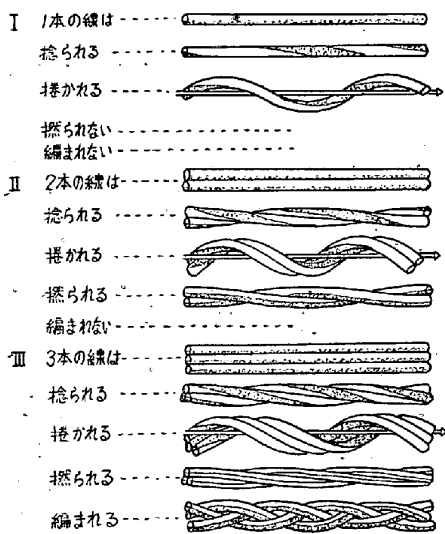
Tasaburo Nishioka

(1月号 76 頁よりつづく)

第 12 表

IX. ワイヤーロープの撚合

撚るということは線を捻るとか、ばねを巻くとか網を編むとは異なっていることが第 21 図に示され¹³⁾最近その理論的説明もされている¹⁴⁾。



第 21 図

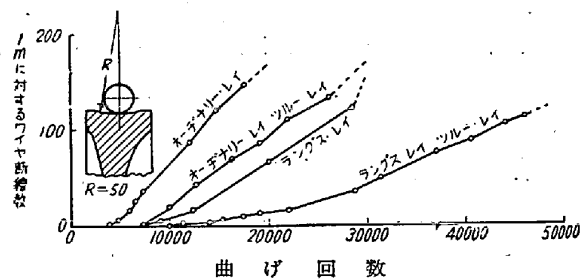
ロープを伸ばした場合に素直に直線にならないのはその撚りが不適当なためで撚線機は Planetary motion をするものでなければならない。これを調整するためにはロープの撚戻しが適当でなければならない。そうでないとでき上りロープがうねつたりワイヤーが浮いたりする¹⁵⁾。区域についてその関係を示すと第 12 表のごとくである。

X. ワイヤーロープのプレフォームと
ポストフォーム

ロープのストランドは弾性が強いのでそのまま撚つたのでは反撥力がロープ内に残り、曲げ疲労を早める。こ

撚り戻し率	捻り	うねり	キンク
少い場合	S	S	+
適当の場合	なし	なし	0
多い場合	Z	Z	-

れをのぞくために撚る前にロープに螺旋状の型をつけ組合せ式にロープを撚合する方法が約 50 年前に Preforming として考案されわが国においては 30 年前より急速なる実用化が行われ Trulay, 不反撥, 不撚捻, K.S 式等, 商標名が続出している。そしてこの処理をほどこしたロープの優秀性は第 22 図に示され¹⁶⁾総括するとつきのごとくになる¹⁷⁾。



第 22 図

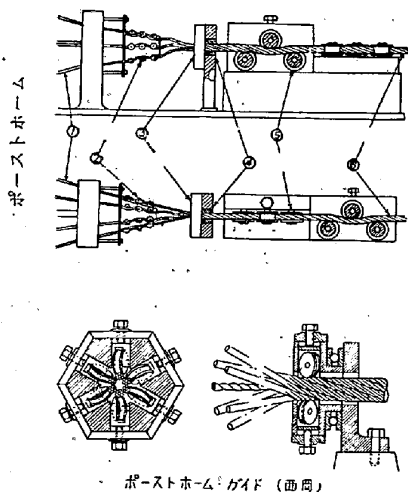
- (1) 曲げやすい。
 - (2) キンクを生じ難い。
 - (3) スプライスしやすい。
 - (4) ロープをシージングせずに切断しても撚りが解けず切れ口がばらばらにならない。
 - (5) ロープの一次曲げ疲労に対して強い。
- しかしストランドの締め具合, なじみ具合は Pre-

* 帝国産業株式会社取締役技師長

form では解決できなかつたが燃合後のロープを改良配線盤を使用するとともにさらにロール等で締めなおすとか一定張力を加える等の方法により、この目的が最近において達せられるようになり、1951年の国際ロープ会議において Postform として発表されて以来その実施は急速に進みつつある。

従来ロープの伸びの不同を嫌う使用箇所とくに吊橋用ロープには現地において使用前一定の荷重を掛けその目的を達しており、Pretension または Prestretch と呼ばれている。また、従来のロープは時にストランド間の摩擦度が異なり、なじみのよくないロープもあるので一定の荷重を最初から掛けずに小荷重から段々に荷重を増加しロープのなじみをよくする方法がとられており馴らし (Breaking-in) と呼ばれている。Postformed Rope はこれらの使用現場における繁雑が避けられる。商品名としては、Equalized Rope, Balanced Rope 等が用いられている。

最近における Postforming Process の一例を第 23 図に示す。



- 図中 ①はストランド
②はプレホームローラー
③はポストホームガイド
④はボイス
⑤はポストホームローラー
⑥はロープ

第 23 図 ポストホーム装置

またその特徴を総括するとつぎのごとくになる。

- (1) 素直に曲げやすいからドラムに素直に巻けケンクを生じ難くシーブ溝での自転が少い。
- (2) ロープの伸びが一定しているからロープを数本使用した場合荷重が均一にかかる。
- (3) 荷重がかかった時と荷重がかからない時の直径の変化が少なく圧縮された場合つぶれにくい。
- (4) 各ストランドはよくなじんでいるから使用中特

定ストランドが凸出し難い。

- (5) 三次曲げ疲労に強い。

XI. ロープ破損の ABCDE 的考え方

ロープの破損状態は多種多様であつて、その分類は頗る困難であるが著者は強いて分類してつぎのごとくにした。

- A 磨耗 (Abrasion)¹⁸⁾
- B 断線 (Broken wire)
- C 腐蝕 (Corrosion)¹⁹⁾
- D 型崩れ (Deformation)
- E 偏心 (Eccentricity etc.)

ロープメーカーとしては、このような破損に対する抵抗の大きいロープを作り使用者としては早く破損しないように心掛けるのであるが、その破損結果の分類によりその現場に最も適したロープを選ぶことはさらに必要なことである。

ロープの選択が誤られた場合はいかに規格に立派に合格し使用者が注意深く取扱つても良好なる結果がえられない場合がある。このロープ選択の問題を解くかぎはロープ破損の分類のいずれに属するかを考え対策を講ずることである。

A. ロープの磨耗

一定の使用状態においてロープの磨耗はワイヤー硬度²⁰⁾とロープの構造が主なる因子となる硬度は Hv/σ_B が 2.5 より小なる場合は磨耗しやすい。一定落しに対し伸線回数が少ないか伸線温度の高いワイヤーはその使用に当つて塗油が少ないと塑性磨耗を生じやすくなる。第 24 図はこのことを裏書きする実験である²¹⁾

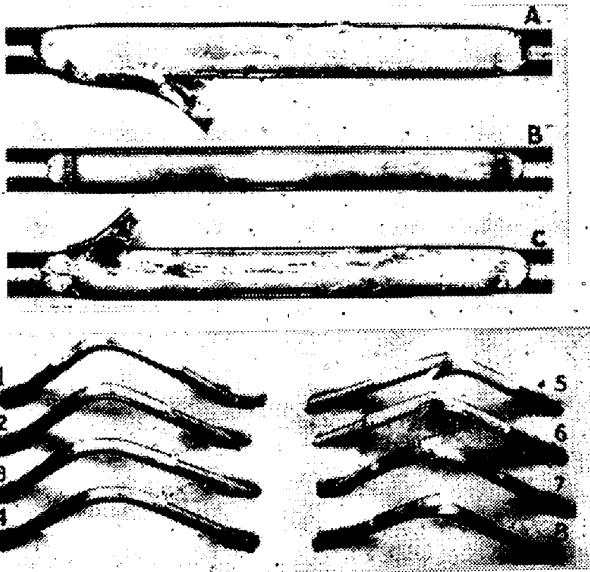
ロープの外部磨耗を減少させるためには第 19 図の (4) および (9), (10), (11), (12) はその外部接触面積が大きいので有効である。(16) のロックドコイルにいたつてはロープとして外部接触面積が最大であり磨耗に対して最も強い。数年間主索等に使用しても直径の減少はきわめてわずかである。

内部磨耗に対しては第 19 図 (1), (2), (3), (4) の順に、また (5), (6), (7), (8) の順に良好となる。

磨耗が腐蝕とともに生ずる腐蝕磨耗は各ストランドの接触点に生じやすく外観からは判定しがたく、しかもいちじるしい破断力の低下を来すことがある。外観が余り磨耗していないのに直径の減少がいちじるしい場合はとくに注意が必要である。

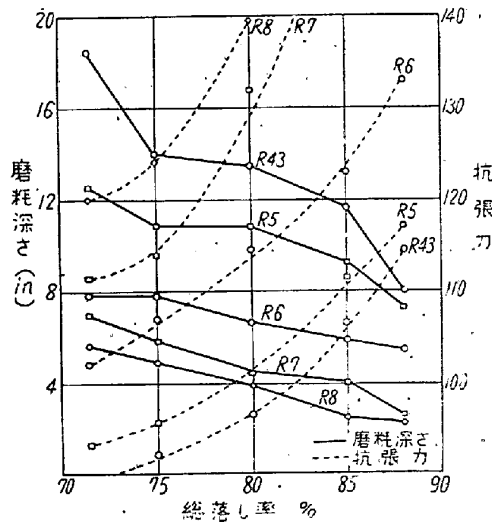
B. ロープの断線

ロープに断線が生じるとすぐワイヤーの疲労とワイヤ



(a) 鉛パテティング
炭素 0.56% (1) 104.0 t/sq. in
0.65% (2) 120.5 t/sq. in
0.72% (3) 111.5 t/sq. in
0.80% (4) 120.0 t/sq. in

(b) 空気パテティング
(5) 94.0 t/sq. in
(6) 102.3 t/sq. in
(7) 110.5 t/sq. in
(8) 120.1 t/sq. in



第 24 図 上図は抗張力が同一で製造法の異なる三種類のワイヤーの磨耗試験後の磨耗状態。中図 (a) は鉛パテティング後伸線したワイヤー (b) は空気パテティング後伸線したワイヤー。下図は各種炭素量のワイヤーの伸線総落し率と磨耗深さとの関係。

一の不良とが論じられやすい。そしてそのような場合ももちろんあるが、この二つだけでは実際問題は解決しがたい場合が多い。

断線の発生は種々の場合があるが大要を列記するとつぎのごとくである。

- (1) 張力による断線 (張りすぎ, 過荷重等による)
- (2) 捻りによる断線 (一キング, 二次断線等による)

- (3) 疲労による断線 (一次曲げ疲労)
- (4) 加工硬化による断線 (塗油の不足, バイス作用, ハンマリングを受けた場合の縦割れ塑性磨耗等による)
- (5) 磨耗による断線
- (6) 外傷による断線
- (7) 型崩れによる断線
- (8) 被熱による断線 (スパーク, 摩擦熱, 合金漬等による)
- (9) 水素脆性による断線
- (10) 腐蝕による断線
- (11) 製造の欠陥による断線 (溶接, 燃継ぎ等による)
- (12) ロープの構成による断線 (二次曲げおよび三次曲げ疲労)

断線が上記分類のいずれに属するかしらべるには、そのロープの外観とワイヤーの切れ口をみる事が現場的には有効である。

C. ロープの腐蝕

ロープは抗張力が強くなるほど腐蝕に対しては弱くなる。また、同一径のロープではワイヤー径が細くなると可撓性は増すが腐蝕に対しては弱くなる。わが国では曲げ疲労を考慮してワイヤーの細いロープを好む傾向がある。しかし、ドイツの堅坑規則では腐蝕の点を考慮して堅坑用ロープでは 2.2mm, 盲堅坑では 1.5mm 以下の細いワイヤーの使用を禁じている。

酸性液に対しては炭素含有量が多くなるほど腐蝕しやすく、中性液に対してはその影響は少ないが PH 7 でも塩化物の多い場合は磨耗面に激しい pitting を起しやすい²²⁾。すなわち塩化物は (Cl) イオンが腐蝕の原因となるが、これがアルカリ性となる場合 PH が 7 より 10 までの場合は腐蝕が激しくなり斑点腐蝕 (pit) を起しやすい。しかも pit は PH が 9 の時最も激しくなる。しかもその pit は平面の処には起りがたく角張つた処に起りやすい。すなわち磨耗面には起らずその両側に起るのは当然である。しかし PH が 11 以上になると腐蝕は起りがたくなる。

第 13 表

坑名	PH	硬度	硫酸塩 mg/l	塩化物 mg/l
A	9.0	6.45	612.82	15.97
B	7.6	70.40	987.22	30.18

炭坑内水の実例を示すと第 13 表のごとくで A は B に比してアルカリ性であるのに激しい pitting 腐蝕を起したのは上述の理由にもとづくものである。

ロープの防錆に対してはロープ油(礦物油)の塗油とめつきが用いられる。ロープのめつきには亜鉛めつき、鉛めつき²³⁾、亜鉛鉛めつき、錫めつき、カドミウムめつき等があるが主として用いられるのは亜鉛めつきである。

めつきワイヤーにはめつき後伸線する場合 (drawn galvanised) と伸線後めつきする場合 (galvanising) とがある。そして実際にはつぎの三種になる。

- (1) Hot galvanised
- (2) Electro-galvanised
- (3) Anti-corrosive ((1)の後伸線)

一般には(1)または(2)が用いられる。ロックドコイル等に対しては(3)が用いられる²⁴⁾。

(1), (2), (3)のめつきの優劣については種々論議されているが、めつきが完全にできた場合はその附着量が主なる因子となる。

A. S. T. Mの実験結果を参照し要約すると第14表のごとくになる。

第 14 表

亜鉛メッキの厚みと耐久力.		附着量とメッキの厚さの関係	
	mm/year	g/m ²	mm
海水中	0.025	50	0.007
工場	0.0067	100	0.014
海岸	0.0030	150	0.021
住宅	0.0022	200	0.028
		250	0.035
		300	0.042
		350	0.049

J.I.S. の附着量.

ワイヤーの径 (mm)	附着量 g/m ²	厚み 約 mm
0.50 を越え 1.00 以下	55	0.008
1.00 " 1.40 "	110	0.015
1.40 " 1.60 "	135	0.019
1.60 " 2.00 "	165	0.023
2.00 " 2.30 "	190	0.027
2.30 を越えるもの	220	0.031

しかしながら酸性の強い液の影響を受ける場合 (P_H 6より小) は亜鉛めつきは有効でない。この場合は抗張力の低い太いワイヤーを用いたロープを使用し塗油に注意することが適当である。この場合亜鉛めつきワイヤーをさらに plastic coating するとか cromate 処理をするとかの方法も漸次実施されつつある。

ロープは心綱の油が使用中なくなるとその代りに麻心に水分が侵入して内部腐蝕を生じることがある。またストランド間の接触によるワイヤーの塑性加工硬化は腐蝕

をいちじるしく進行せしめることがある。

D. ロープの型崩れ²⁵⁾

ロープの型崩れを大別するとつぎの五つになる。

- (1) 曲り, うねり, キンク
- (2) 瘤状型崩れ
- (3) 笑い, 心綱のはみ出し, 浮き, 泡状型崩れ.
- (4) 撚りの長さの伸縮
- (5) つぶれ, コルク抜き状型崩れ

型崩れが生じるとワイヤーの均衡が破れ荷重が不均一にかかりロープの切断荷重をいちじるしく減少せしめることがある。

E. 偏心と集中

磨耗が生じた場合、それがロープの周囲に一樣の場合と片側に偏した場合とでは、その影響は極端な場合は倍加する²⁶⁾。また断線の場合も同様の傾向があり、そしてその数が同一数でも、それが一箇処に集中した場合と分散した場合にはその影響はいちじるしく相違する。

XII. ロープ応力の OPQRS 的考え方

ロープに問題が起ると作り方が悪いか使い方が悪いか選択が間違っているかの三つのうちの一つに原因を求めたがるものであるが実際問題としては、この三つが切り離せない関係にある場合が多い。ロープ研究のむずかしさは、ここにある。

新しいロープでもロープ切断事故はある。ロープに対する応力は複雑な形で生ずるので簡単に分けて考えることは困難である。しかし著者は実用の便宜上強いてこれを分類しつぎの五つとした。もちろんこれらは実際問題においては相関関係を以つて考える方がよいことはもちろんである。

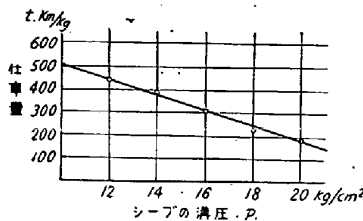
- O Over load
- P Pressure
- Q Questions of bending
- R Resonance of oscillation
- S Shock
- O. 過荷重

ロープの安全率は鉱山において人車は 10, 鉱車は 6, 工場の起重機は 6, 索道は 4 に定められているが長物を運搬中鉱車がひつかかたり、脱索, 脱線する場合は新しいロープでも切断する。また索道, 主索等の張綱も張りすぎると切断する。これらは、いずれも過荷重による場合で切断したワイヤーの切れ口は切断試験機においてワイヤーを切断したごとく断面収縮を示している。わが国ではこの張綱に対しても安全率は 4 以上の規則であるが、欧州においては 3~4 が用いられている。実際安全

率が多過ぎると曲げ疲労によつて断線が生じやすくロープの寿命がいちじるしく短くなるので実際家は経済的見地から安全率を少な目に取りたがる。

適当なる安全率をきめるためには張力の測定が必要で従来張力計、ロープのたるみの実測等がなされていたが最近ではロープの脈博測定が実用化されつつある²⁷⁾。この原理は堅坑巻綱、エレベーター用ロープにも応用できる。すなわち 6×7 C/L 切断荷重 29・3 t (JIS 2種) 22mm のロープを長さ 100m の距離に安全率 4 でロープを張つた場合その一端を叩くとロープは脈動しその波動が撥ね返えされて戻つてくる。この一端を手で触つてみると脈動が感ぜられる。これを測ると 1 分間に 90 回になる。このロープが傷んでロープ重量が 3% 減少すると脈博は 61 回になる。

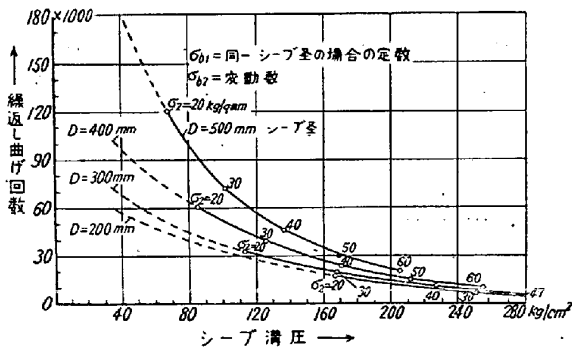
P. 圧力



第 25 図

シーブの溝圧と仕事量

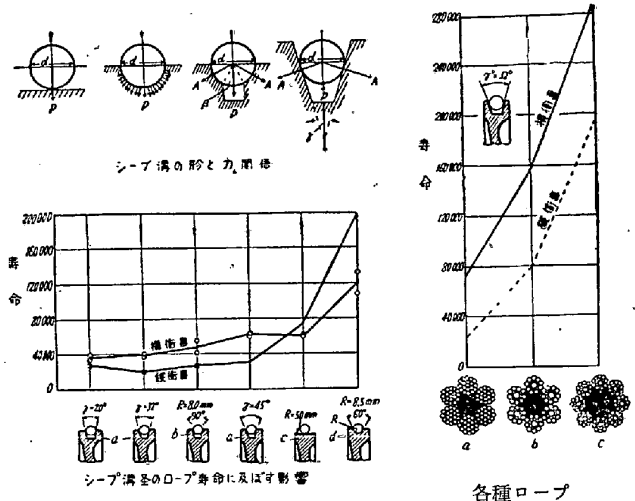
シーブにかかるロープの圧力は第 25 図²⁸⁾ 第 26 図²⁹⁾に示すごとくロープの寿命にいちじるしい関係をおよぼすものである。シーブ溝の径がロープ径よりも 10% ほど大にされ



第 26 図 種々のシーブ径(D)と荷重(σz)に対するシーブ溝圧とロープ寿命(断線発生迄の繰返し曲げ回数)との関係。

るのが普通である²⁹⁾。あまり大きすぎたり、小さすぎるとロープが挟まれないようにし、面圧とライニングの関係を第 15 表のごとくに採るのもそのためである。

また、グループの溝型のロープに対する圧力の影響については第 27 図³⁰⁾の実験がある。これにより鉸山巻には、Lang's Lay が多く用いられエレベーターには Ordinary Lay が決定的に用いられている理由がわかる。



第 27 図 シーブ溝径のロープ寿命に及ぼす影響

Q. 曲げ応力の問題

ロープの曲げ応力はワイヤーの曲げ応力といちじるしい相違があるので、この点順次解決されつつあるが、まだ問題が残っている。

この問題を総括すると第 28 図のごとくなる。

一次曲げ応力は一般機械材料と同様な考え方である。

二次曲げ応力、三次曲げ応力はロープ特有の応力である。従来の研究はこの三つの応力を区別せずに単に一次曲げ応力として扱っている。したがって、このことが第 29 図³¹⁾のごとく細いワイヤーのロープが太いワイヤーのロープより曲げ疲労により断線しやすい場合もあることを示しロープ曲げ応力に対する考え方を不可解ならしめていた。線接触燃ロープが点接触燃ロープよりロープの曲げ応力に対して良好なことは二次曲げ応力で説明さ

第 15 表 シーブの材質とシーブ溝底がロープにより受ける許容圧力 (kg/mm²)

ロープの構造 シーブの材質	オーヂナリーレー			ラングスレー			
	6×7	6×19	6×37	6×7	6×19	6×37	
木 材	0・105	0・175	0・2100	0・1155	0・1925	0・231	ぶな、くるみの木目、ごむ HB=125 0・3~0・4%C HB=160 溝底の硬度均一なること 溝の底はよく磨かれ高速回転に適するようにシーブはバランスがとれていること。
鉄 材	0・210	0・336	0・4095	0・2450	0・3850	0・462	
鋼 材	0・385	0・630	0・7525	0・4200	0・7000	0・826	
チ ル	0・455	0・770	0・9275	0・5005	0・8470	1・015	
Mn 鋼	1・029	1・680	2・1000	1・1550	1・9250	2・310	

1. 弾性率 曲げ応力の問題

$\sigma = E \frac{\delta}{D}$ (弾性曲げ)

$E = 20000$ ルーロー、ペノア

$E = \frac{3}{8} \times 20000$ パツハ、ラバック

$\sigma_1 = 20000 \frac{\delta}{D} = 40$

但し $D = 500\delta$

$\sigma_1 = \frac{\delta}{R \cdot S}$ キタリー

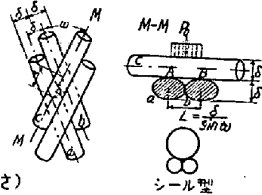
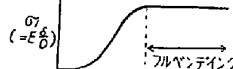
39.6 42.0

42.5

44.6 43.0

43.7

2. フルベンディング



- 3. 前曲げ ヘンケン, Winden u. Krane (1932)
- 4. 塑性曲げ 西岡
- 5. 一次、二次、三次曲げ応力

$\sigma_1 = 1000 \frac{\delta}{D}$ 日本石炭, 金属 鉱山 保安規則 (1949)

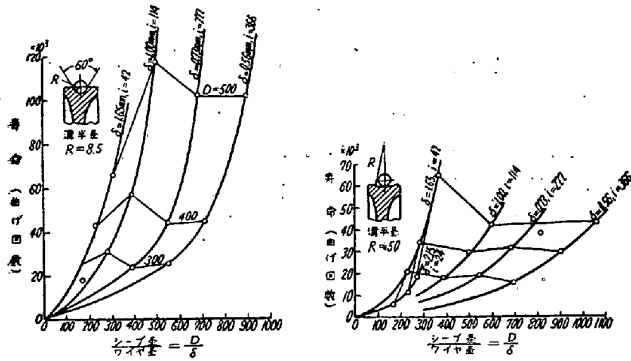
$\sigma_2 = 2.39 \frac{n}{5n \cdot w} \frac{\delta}{D} \sigma_2$ ウイス, フルトマテ, Stahl u. Eisen (1949)

$\sigma_3 = \dots$ 西岡, 第5回ロープ研究会 (1955)

構造	d	δ	σ_B	S	σ_1	D=460 (=1000 δ)		D=1095 (=750 δ)	
						σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
6 × 19	22	1.48	16.5	6	27	10	44.7	13.3	19.6
"	"	"	"	10	16	"	8.7	"	11.6

構造	d	δ	σ_B	S	σ_1	D=166 (=504 δ)		D=1095 (=453 δ)	
						σ_1	σ_2	σ_1	σ_2
6 × 7	22	2.42	16.5	6	27	18.6	0	22	0
"	"	"	"	10	16	"	"	"	"

第 28 図 曲げ応力の問題



第 29 図

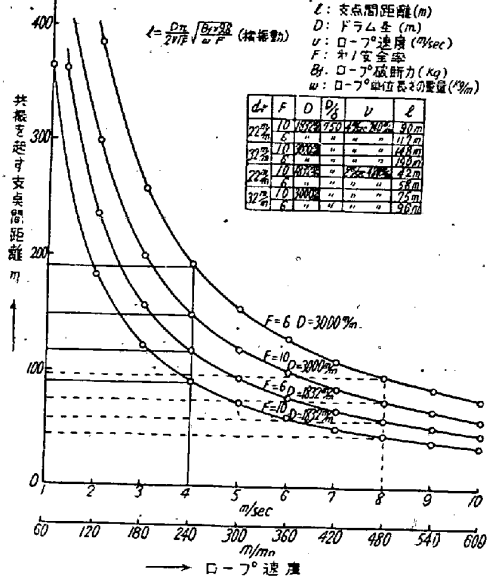
れ³²⁾, ロープが曲げられないのにそのワイヤーが曲げ疲労を起す原因と post-forming の良好なことは三次曲げで説明される。

R. 振動の共鳴

ロープを主索とする吊橋は剛性を欠いているから活荷重が週期的に作用すると共鳴現象を起し時に吊橋墜落の事故を起したことが暫々あつた。これを物部長穂博士は計算式で示し 100m 前後の吊橋の上下振動は 0.5秒, 横振動は 1秒で人間普通に歩く週期の 0.5秒に共鳴しやすいことを指摘している³³⁾。

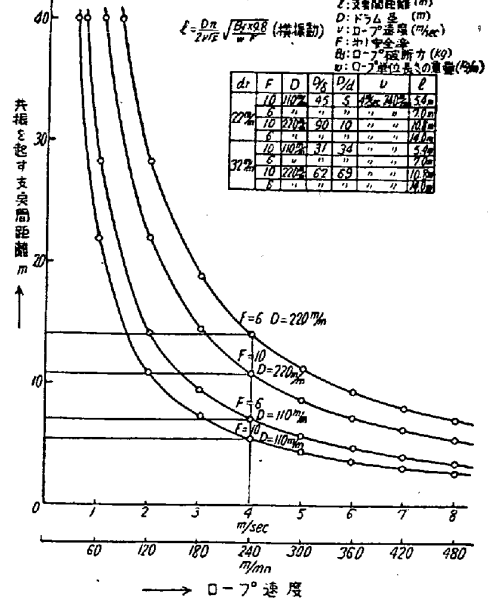
100m 前後の吊橋の多いわが国においては特に注目すべき事柄であると思われる。そしてこのような現象は巻上機にも起りうることで巻胴の偏心(第 30 図), ガイ

ドラム偏心の場合共振を起す



第 30 図

ロープ 偏心の場合共振を起す



第 31 図

ドロープ, ローラーの配置(第 31 図), ロープ速度等は考慮すべきである。

S. 衝撃

巻網のゆるみ, 停電, 非常ブレーキ等による急停止等の場合は激しい衝撃をうけることはよく知られている。

巻上機の位置がガイドロープより低位置にある場合に綱ゆるみがあると巻上に際しガイドロープと巻胴との間で切断が起りやすく巻上機の位置がガイドロープより高位置にある場合に綱ゆるみがあると巻下げに際しガイド

シーブと鉤車との間で切断が起りやすい³⁴⁾。

巻き方不良によるロープのゆるみは巻上機の位置に関係なく巻下げ時に衝撃が起り巻上機附近で切断しやすい。

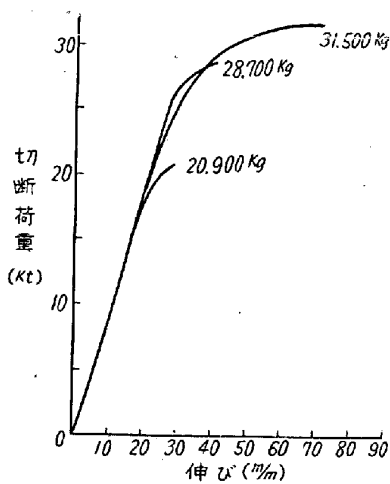
ワイヤーとしての衝撃試験は行われているがロープとしての衝撃試験結果の発表はまだない。よつて現在はロープ切断試験における切断荷重一伸び曲線よりの仕事量を一つの目安としている。

ロープの切断荷重の減少に対しその仕事量の減少の一例を示すと第 32 図のごとくなる。切断したロープが切断荷重の減少に対して仕事量の減少がいちじるしく大なることは注目すべきことである。

24時間酸中に浸漬した鋼索の性質の変化

	切断荷重	伸び率	切断仕事量 kg·%m
新品	31,500(0%)	4.4 (0%)	1220 (0%)
酸浸漬後	20,900(37%)	1.8 (58.8%)	206 (80.0%)
乾燥	28,700(89%)	2.8 (36.1%)	446(56.3%)

()内は新品に対する減少率

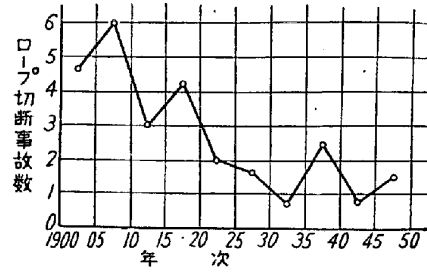


第 32 図 22 mm 6×7 ロープを24時間酸に浸漬した場合の切断荷重一伸び曲線。

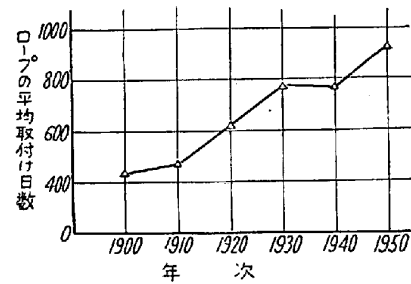
XIII. ワイヤーロープの価格

ロープの重量の約 90% は線材であり、約 5% は麻であり、約 5% は亜鉛とロープ油である。普通ロープの価格は原価的にはロープ 1 t 当りを以つて示されており線材価格の何倍かが目安になる。売買に当つては 1 m 当りの価格を以つて取引きされる。

ロープの安い高いは単位長さについて従来考えられていたが最近においてはこの外仕事量に対するロープの消費価格が考えられるようになり、ロープとしては高くもこの消費価格を低下せしめるようになりつつある。そのために使用者はその目的に叶つた新製品(第 19 図)の出現を希望し、メーカーは新製品を供給しその要望に答



ドイツの坑外堅坑で1年間に発生したロープ切断事故数(5年間毎の平均値)



ドイツでのロープの平均取付け期間(3年間の平均値、例えば1910年の数値は1909年から1911年迄の平均値)

第 33 図

えつつある。これにより売買価格は高くなることもあるが消費価格は安くなりつつある。かつ一般にロープに関する技術的関心が深まつたためにドイツにおける統計(第33 図³⁵⁾)と同様にロープ使用期間が増加し、かえつて事故の減少傾向をわが国でも示しているように思われる。これはわが国のロープの品質が良好になつたのも一因である。

XIV. 結 言

単に規格の向上を目ざすいわゆるよいロープはメーカーの技術研究により製造できるが、実績の上るよいロープは使用者その他の協力がなくては製造できない。メーカーが A B C D E の各項に対し良好なロープを合理的に製造して 5 点、使用者が O P Q R S の応力を考慮してロープの選択と使用を適切にして 5 点を獲得すればロープは 10 点満点となり、その使命を完全に果たすことができると思われる。(昭和 31 年 10 月寄稿)

文 献

- 1) 西岡多三郎: 鋼索の製造, (1954) 171
- 2) H. Altpeter: Der Einbau von Förder- und Unterseilen (1948) 49
- 3) 西岡多三郎: 鋼索の製造 (1954) 25
- 4) Industria. International Edition (1950)
- 5) 西岡多三郎: 日本金属学会誌 (1954) 18.6. 35.8

- 6) R. S. Brown: Journal of The Iron & Steel Institute. June (1949) 189
- 7) 西岡多三郎: 燃料及燃焼 (1956).23. 3. 1
- 8) Hermann Steinmüller: Draht-Welt-Buch. (1956) 479
- 9) 西岡多三郎: 日本金属学会誌 (1955) 19. 7. 41.1
- 10) 西岡多三郎: 日本金属学会誌 (1955) 19. 10. 57
- 11) Gill, E. T., u. R. Goodacre J. Iron Steel Inst. 130 (1934) S. 293/323
- 12) 西岡多三郎: 日本金属学会誌 (1956) 20. 4. 18.1
- 13) 西岡多三郎: 鋼索の製造 (1954) 119
- 14) Robert Findeis: Baues von Drahtseilbahnen (1923) 14
大和田信: 東京大学生産技術研究所報告 (1955) 4,6
- 15) 西岡多三郎: 日本鉱業会誌 (1951) 67
- 16) Woernle: Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure (1929) Band 73.Nr. 13 30. März
- 17) 西岡多三郎: Engineering (1932) 20.9
- 18) 西岡多三郎: 日本鉱業会誌 (1954) 70, 795, 39, 3.
- 19) 西岡多三郎: 日本鉱業会誌 (1956). 72, 814, 195
西岡多三郎: エンヂニヤリング (1956) 43, 4
- 20) 西岡多三郎: 日本金属学会誌 (1955) 19, 10, 571
- 21) Brown: Wire & Wire Products (1948) Nov.
- 22) R. Evans: Metallic Corrosion Passivity and Protection 322
- 23) 西岡多三郎: Engineering (1931) 19, 10, 396
- 24) A. E. McClelland. The Ropeman's Handbook (1953) 8
- 25) 西岡多三郎: 炭礦技術 (1954) 9, 5, 19
- 26) Richard Meebold. Die Drahtseile in der Praxis (1953) 68
- 27) 西岡多三郎: 炭礦技術 (1955) 10, 4, 9
- 28) H. Herbst: Glückauf (1949) 85, H, 13/14, 215
- 29) Woernle: Z. d. V. D. I. (1929)
- 30) Woernle: Draht-Welt (1955) 3
- 31) Woernle: Z. d. V. D. I. (1929) 73 13/30 3
- 32) A. E. McClelland. The Colliery Guardian Overseas Supplement (1951) Summer
- 33) 中村 元: 鋼索運輸 (1933) 231
- 34) 岩見定重: 炭礦技術 (1948) 3, 7, 10
- 35) 西岡多三郎: 炭礦 (1955) 9, 4, 4
H. Herbst: Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (1953) Sep.