口と開口部との関係における換気効果を知った。これらは作業環境の改善の場合に極めて参考になるものと思う。

参考文献

(1) 局部排気装置に関する実験：秋山，近藤，産業安全研究所報，No. 2，1955。

(2) Fan Engineering : Buttalo Forge Company. Sec. Edition.

(3) Air Supply, Distribution and Exhaust m : S. R. Lewis, Heat, Pip. & Air Cond., Oct. 1932.

(4) Designing for Natural Ventilation in Classrooms : W. W. Caudill, Heat. & Vent., Jan, 1953.

(5) 工場の換気に関する2，3の考察：秋山，全安連大会研究発表集，昭和31年。

海水によるワイヤロープの腐蝕について

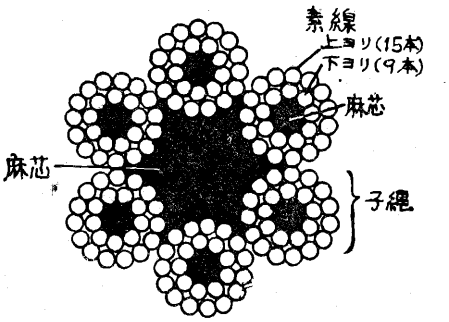
機械課　秋　山　英　司
　　近　藤　太　二
　　袴　塚　禎　三

1. 緒　　言

ワイヤロープは現在の諸産業に極めて広範囲に用いられ，荷役運搬のために重要な役割を果しているが，その反面，その破断事故は数多く，重大な災害を招来することが多い。このような事故を未然に防ぐため，予想される幾多の要因とワイヤロープの寿命との関係を，明らかにしようとする多くの研究が行われてきたが，なお不明の事柄も少くない。それらの要因の一つとしてワイヤロープの腐蝕の問題がある。この点について，従来は主として坑内[1)2)5)]における問題やロープの潤滑[3)]に関して研究されてきた。しかし坑外で使用されるワイヤロープでも漁業，船舶等で使用するものは海水による腐蝕が甚しく，また工場では腐蝕性ガスの影響を受けることがあり，これら腐蝕したロープがなお使用に耐え得るかという使用限度を知りたい希望が多い。そこで我々は，まず海水によって腐蝕したロープの使用限度を知る目的で，約3ケ年にわたる試験を行った。一部中間報告[4)]をしたものもあるが，ここに取纒めて報告しよう。

2. 試験方法

腐蝕試料として用いたワイヤロープは第1表に示す4種類で，その断面構成は第1図の通りである。



第　1　図

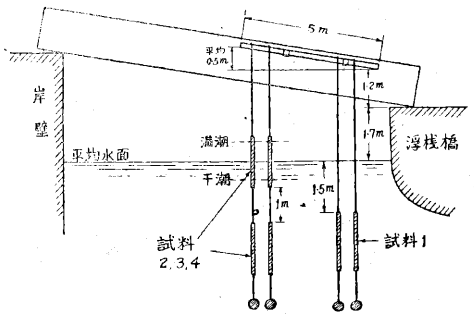
第　1　表

項目 ＼ 試料番号	1	2	3	4
構成	6×24	6×24	6×24	6×24
ヨリ	普通Z	普通Z	普通Z	普通Z
メッキの有無	熱メッキ	電気メッキ	裸	熱メッキ
種別	特級	単種	2種	特級
ロープの径 mm	18	18	18	16
素線径 mm	1.04	1.02	1.01	0.88
切断荷重（規格） ton	14.6	15.0	16.7	11.5
切断荷重（実際） ton	16.2	15.9	15.8	12.3
準拠規格	JIS.G 3525 (1950)	JIS.G 3525 (1953)	JIS.G 3525 (1953)	JIS.G 3525 (1950)
製作者名	東京製綱	東京製綱	東京製綱	昭和製綱
備考	不反撥鋼索	不反撥鋼索	不反撥鋼索	

海水試験は，東京都江東区豊洲，石川島重工業（株）第二工場先（豊洲埠頭寄）の海面を選び，試料1及び4は昭和28年9月21，22の両日から，また試料2及び3は昭和30年5月24日から浸漬をはじめ，爾後腐蝕の進行に

伴って4～10週間置きに1～2本の試料をとり，機械的試験等を行って腐蝕の状況をしらべた。試料4は56週後（昭和29年10月20日）また試料1は149週後，試料2及び3は62週後（何れも昭和31年7月30日）で以て浸漬を終了した。

浸漬方法は概況を第2図に示す通り，岸壁と浮桟橋と



第　2　図

の間に架けた鋼製の橋から麻縄（後に古ロープと交換）で試料を海中に吊下げた。試料1は常時海水中に浸っている状態で試験した。試料2，3，4はそれぞれ2部に分け，1部は常時海水中に浸け，他は試料の中央部が平均水面にあるようにし，潮の干満によって空気及び海水に曝されるようにした。（この状態の試料を潮汐域の試料と呼ぶこととする）

浸漬場所の塩分含有量は，昭和28年10月19日午後2時30分（満潮20分前で当日の月令は11.1）に海面下約1.5mから採取した海水で，3.031%であった。（当所化学課分析）

海中から取り出した試料は，外観上の腐蝕状況や，海中生物の附着状況をしらべた後，次の試験を行った。

ロープ切断試験――ワイヤロープの両端を解き，合金で円錐形に固めたものを引張試験機にかけ，徐々に引張って切断し，その切断荷重と伸びをしらべた。潮汐域の試料は，その中央部について切断試験を行った。

素線切断試験――ワイヤロープを解いて素線とし，曲りを矯正した後，その両端をつかみ徐々に引張って切断し，切断荷重をしらべた。

ねじり試験――上記同様に素線としたものの両端を，一定のつかみ間隔で固くつかみ，一方を回転してねじ切るまでの回転数をしらべた。つかみ間隔は試料1については200mm，試料2，3，4については100mmとした。但し後述の試験結果においては，比較のためすべてつかみ間隔100mmの時の値に換算した。

巻解試験――同様に素線としたものを，これと同一の径の線の周囲に8回以上密接して巻付けたのち，更にこれを巻きもどしても切断しないものを合格とし，合格した素線数と試験した素線数の比を巻解合格率とした。

亜鉛附着量試験――化学的方法で，素線の表面に残っている亜鉛附着量を測定した。

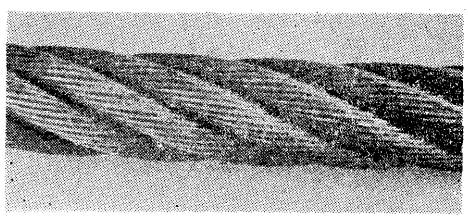
上記素線の各種試験は，ワイヤロープを構成する上ヨリと下ヨリのそれぞれの群に分けて行った。潮汐域の試料は，ロープ切断試験を行った部分の上及び下から素線試験をする試料をとり，それぞれ上部及び下部として表示した。従って上部は平均水面より上で満潮時にのみ海水に浸る部分，下部は平均水面より下で干潮時にのみ空気に触れる部分に相当する。

なお，ロープ切断試験並びに素線各試験はすべて，東京製綱（株）検査課の試験機により実施した。

3. 試験結果

3-1 外　　観

亜鉛メッキをほどこした試料1，2及び4については腐蝕に伴う外観上の変化は概ね類似している。試料1について述べれば，海中浸漬後4週間で上ヨリの露出部は黒変し，支持用のクリップの下などに僅かに金属光沢を残すのみとなった。また多少海中生物の附着が認められる。しかしワイヤロープを解くと，黒変部は上ヨリの外側の一部だけで，他の大部分及び下ヨリは金属光沢を有している。その後上ヨリ下ヨリ共，次第に黒変部を増すが，黒変部は滑らかでピッチングはない。24週後のものに至って僅かにピッチングらしきものが認められ，30～40週後には明らかなピッチングを生ずる。第3図は試料1の39週後の外観である。この頃になると海中生物の附

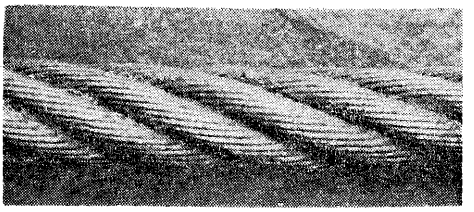


第　3　図

着は甚しくなり，粘液性の分泌物及び生物のつくる砂や泥の管と海中汚物とが泥状になって全面に附着し，特に子縄の間には泥状の堆積が多い。また貝殻状のものがロープ面の所々に固着し容易に剥れない。これはその下の素線の腐蝕に多少影響するようにもみえる。

40週以後，上ヨリの腐蝕は次第に増加し，81週後には採取の時に，ロープの外面に赤錆の附着を認めるようになった。第4図は98週経過後の外観である。この頃になるとロープを解いた場合，素線に金属光沢のある部分はほとんどなくなる。しかし下ヨリは滑らかでピッチングは認められない。

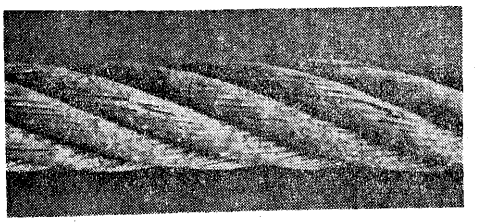
上ヨリの腐蝕が進行するにつれて，素線は縦溝状に腐蝕し，110週頃には腐蝕による断線部を生ずるに至っ



第 4 図

た。120 週頃になって，はじめてロープを解いた場合に下ヨリにピッチングらしきものが認められ，140 週以降これが明らかになった。

第 5 図は 149 週経過後の外観であって，附着物を充分清掃した後のものである。



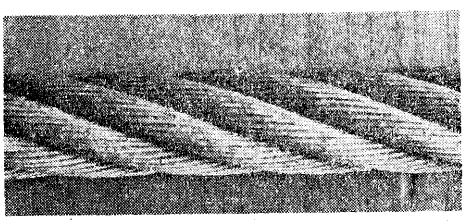
第 5 図

試料 2 については，腐蝕の進行状態は試料 1 に比してやや遅いようで，3 週後には何らの腐蝕も認められず，11週後に上ヨリの露出部が黒変し，17週後にロープを解いた場合に下ヨリに僅かの黒変が認められた。

試料 4 は，はじめは腐蝕の進行がやや早い程度であったが，上ヨリにピッチングが生じて後は急速に腐蝕が進行し，56週後には上ヨリは著しい縦溝状の腐蝕を生じた。

上記各試料と異り，試料 3 は海水浸漬後 3 週間目で所々に赤錆が浮出し，上ヨリの表面に傷のように黒ずんで凹みのある腐蝕を認めた。11週後には上ヨリの腐蝕はかなり進行し，下ヨリにも僅かに黒変部を生じた。その後は腐蝕はほぼ一様な速さで進行し，やがて著しい縦溝状の腐蝕を生じた。

第 6 図は62週後の外観を示す。



第 6 図

潮汐域の試料は，海面に浮遊している油脂の影響を著しく受け，浸漬後間もなく，平均水面の上部はタール状の油膜に蔽われた。このため各試料とも，潮汐域の上部は，常時海水中に浸っている試料よりも腐蝕の進行が遅く，その差異は外観上からも明らかに認められた。油脂は清掃するのが困難な程，ロープに附着した。

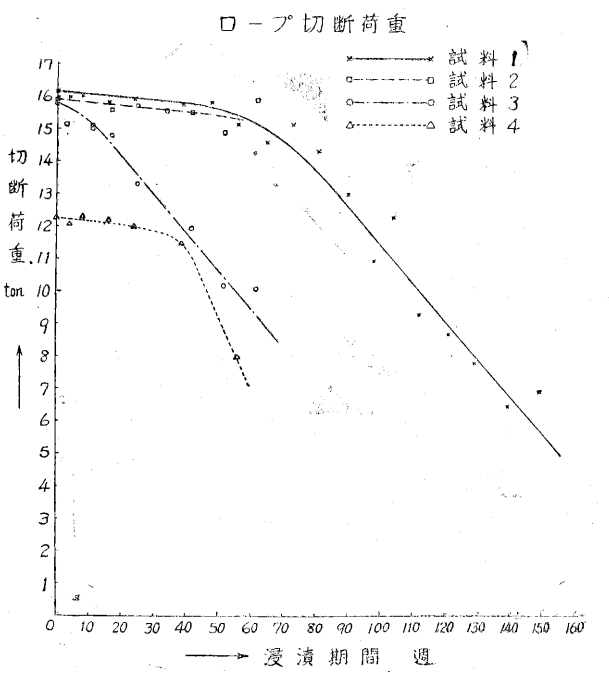
一方，潮汐域の下部は，常時海中にある試料とほぼ同様の腐蝕状態を示したが，外観上若干進行が速いようにみられた。全試料を通じて海中生物は，試料が新しい間は附着しない。貝殻状のものは，素線にピッチングを生ずると容易に附着するようになる。全試験期間を通じて最も附着量の多いのは 2 ～ 3 月頃，最も少いのは 6 ～ 7 月頃のようにみられた。

3-2 ロープ切断荷重

第 7 図は各試料の中で常時海水中に浸漬したものについて，浸漬期間とロープ切断荷重の関係を示す。

メッキをほどこした試料 1，2，4 の切断荷重は，はじめは緩やかな直線状に低下し，ある時期から急に低下速度がはやくなり，その後急激な傾斜をもった直線状に減少した。最初の直線と第 2 の直線の交わる時期は，メッキの有効期間と考えられ，試料 1 は60週頃，試料 4 は40週頃であった。試料 2 については浸漬期間が短かいのでその時期は明らかでないが，試料 1 と同程度かまたはそれよりややおそい頃と推定される。一方，試料 3 の切断荷重は，ほとんど急激な直線状に減少し，その傾斜は試料 1 の第 2 の直線とほぼ平行した。

なお，引張試験におけるロープの伸延率は，結果にか

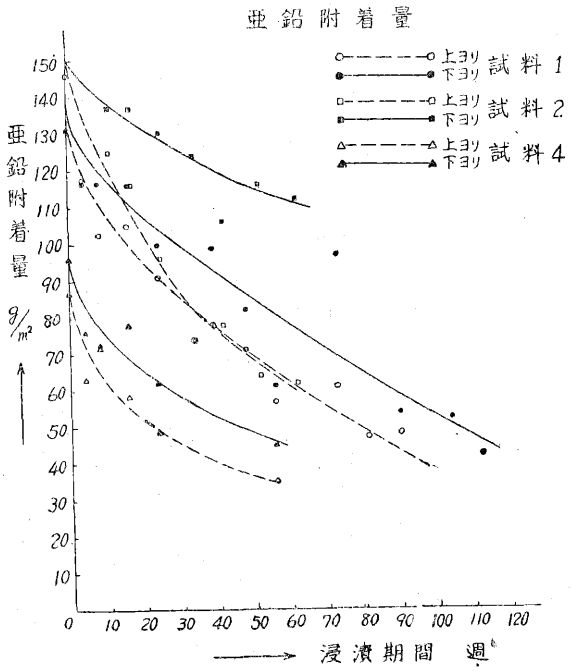


第 7 図

なりばらつきがあったが，概して腐蝕の進行とともに減少した。

3-3 亜鉛附着量

亜鉛附着量は，最初の附着状態のむら及び腐蝕生成物による測定誤差などのために，測定結果に相当のばらつきがあった。試料1，2，4の中で常時海中にあったものについて，浸漬期間との関係を示すと第8図の通りである。各試料とも浸漬初期に亜鉛附着量が急減し，その後次第に減少速度がおそくなった。当然予想されたように，上ヨリの減少量は下ヨリよりも多かったが，下ヨリの附着量も浸漬当初から減少をはじめ，その状態は上ヨリとほぼ平行した。



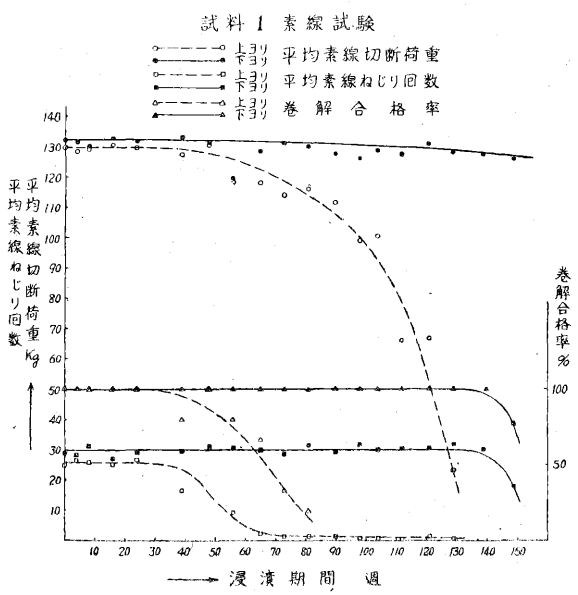
第 8 図

3-4 素線の機械的性質

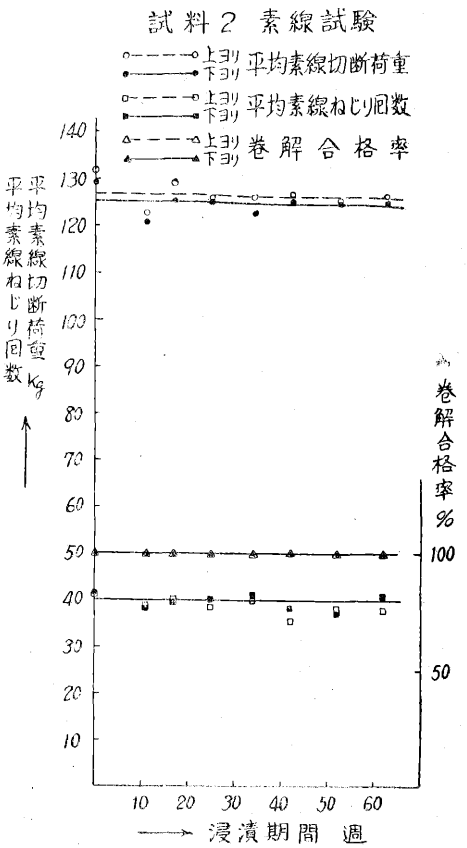
常時海中にあった試料1，2，3，4の各々について素線の機械的性質と浸漬期間との関係を第9，10，11，12図に示す。

各図を通じて，メツキをほどこした素線の切断荷重は期間の経過とともに減少速度を増加した。これに反し試料3では，素線切断荷重は上ヨリ，下ヨリ共，直線的低下を示した。

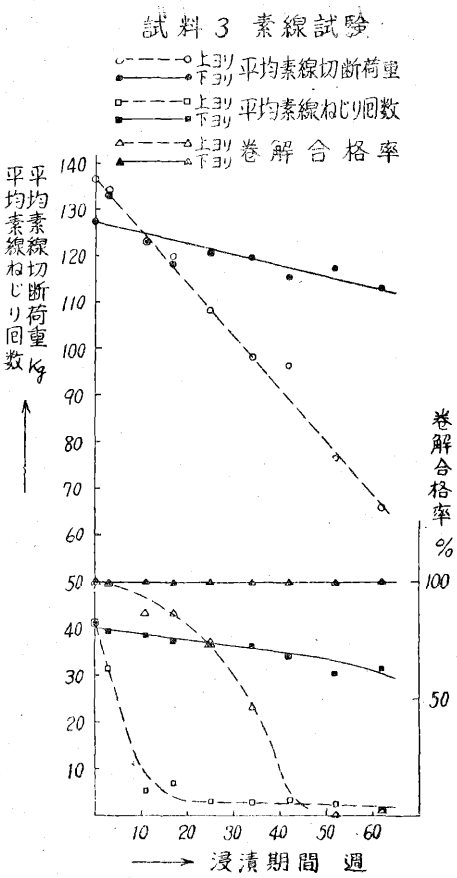
素線ねじり回数及び巻解合格率は，試料1及び4の上ヨリではある時期から急減し，試料3では浸漬当初から減少して何れもほとんど0になった。しかし試料2では試験期間の終までほとんど変化を認めなかった。一般に巻解合格率の低下の時期は，ねじり回数の低下よりも若干遅れた。メツキのあるロープの下ヨリは，長い浸漬期間の間，そのねじり回数，巻解合格率共ほとんど変化な



第 9 図



第 10 図



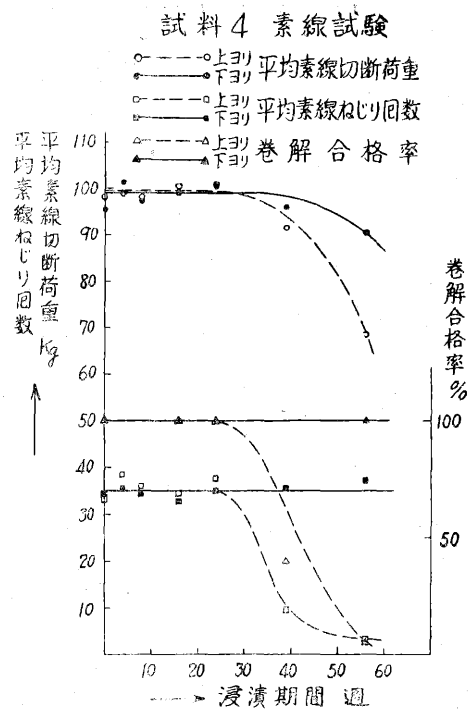
第 11 図

く，ただ試料1では140週以後にはじめて両者の低下をみた。

これらの結果と前述のロープの外観の変化とを比較し，素線のねじり回数が低下しはじめる時期は，素線にかなり明瞭なピッチングを認めた時期と一致していることが判る。

3-5 潮汐域の影響

試料3及び4の中，潮汐域の試料についてロープ切断荷重並びに上部及び下部の素線の機械的性質と浸漬期間



第 12 図

との関係を第 13 図（次頁）及び第 14 図（12頁）に示す。これらの図から明らかに上部の腐蝕は下部よりも少いのみならず，第11，12図と比較して上部の腐蝕は常時海中にあるものよりもその進行がおそいことが認められた。一方，下部の腐蝕は常時海中にあるものよりもやや多く，全体としてのロープ切断荷重も常時海中にあるものよりも多少はやく低下することが認められた。なお試料2は，試験期間終了まで上部下部共ほとんど腐蝕しなかったので詳細なデータは省略する。

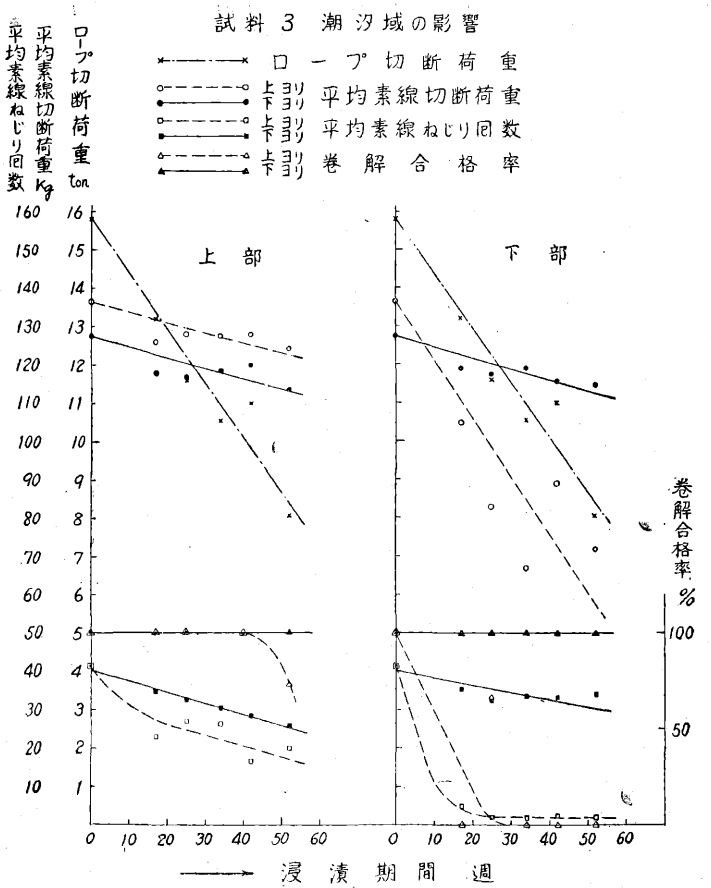
4. 試験結果の考察と附加的測定

4-1 腐 蝕 率

海水によるワイヤロープの腐蝕はほとんど塩類溶液に

第 2 表

針金の種類	試験方法	新品時	3 週後	16 週後	39 週後	73 週後
電気メッキ	切断荷重 kg	125	121	125	124	123
1.00 mm φ	ねじり回数	40	40	42	39	37
熱メッキ	切断荷重 kg	140	142	143	133	141
0.98 mm φ	ねじり回数	31	25	29	31	31
裸	切断荷重 kg	136	132	132	147	101
1.01 mm φ	ねじり回数	37	39	36	23	5



第 13 図

よる電気化学的作用と考えられ[6)7)]，そのほか多少生物の影響があろう。しかし，現場における腐蝕は室内と異り，波浪や気候の影響が多いと考えられるので，比較のため室内において針金を3％粗製塩溶液に浸漬し，一定期間後機械的試験を行った。その結果は第2表の通りである。

これらの結果と，前記3-4の素線試験結果とを比較した場合，現場における腐蝕進行速度が著しくはやいことが認められる。しかも海水試験は，その試験場所の影響を受けることが多いと考えられる。従来，板または簡単な形状をした鋼試料の海水による腐蝕試験の結果，海水による鋼の腐蝕率[6)]は 5～42mdd (mg/dm²/day)，平均 23mdd といわれている。後述の通りワイヤロープの腐蝕量は，必ずしもその表面積のみには比例しないようにみえるが，一応比較のためロープの腐蝕率の算定を行った。

このため試料4について，新品と海水中で 56 週経過したものを各々ロープ長で 460mm とり，その一子縄づつを解いて塩酸洗によって亜鉛層を除去した後，天秤により重量測定を行い，

腐蝕重量＝新品時の重量

－腐蝕後の重量＝3.181 g

を得た。また一子縄当りの露出面積はその構成を考慮して次式により算出し

$$露出面積=\frac{素線直径\times\pi\times10}{2}\times ロープ長=6355\mathrm{mm}^2$$

とした。

一方第7図において，第二の直線部の傾斜から，メッキのない試料が，秤量した試料と同一状態に腐蝕するには 19 週を経過すればよいものと仮定し，これらの結果から試料4の鋼部分の腐蝕率として 38mdd を得た。

4-2 断面積の減少

従来ワイヤロープの切断荷重は鋼部分の断面積に比例し，使用したロープについてもこの関係が成立するといわれてきた[5)]。しかし腐蝕したロープについて，この関係は若干の注釈を要するように考えられる。

今，ロープを一本の棒鋼と考え，その表面が長手方向に一様に摩耗したものとすれば，その新品に対する断面積の比率は，一定長の各々のロープの重量比であらわされる。従って前項における試料4の新品及び 56 週経過したものに対する秤量の結果から，その断面積の比率は

$$\frac{腐蝕後の重量}{新品時の重量}=93.9\%$$

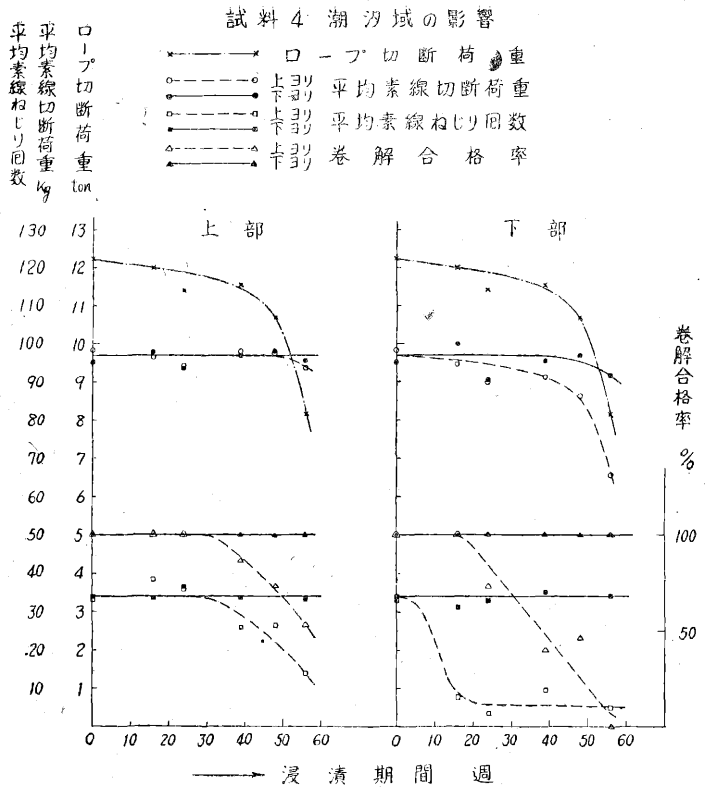
となる。

また同様に，断面積の比率は両者の電気伝導度の比であらわされ，かつ，ロープの電気伝導度は素線の電気伝導度の合計と考えられるから，同じ試料について素線の電気伝導度を測定した結果，断面積の比率として

$$\frac{腐蝕後の電気伝導度}{新品時の電気伝導度}=94.6\%$$

を得る。

しかるに第7図より，このロープの切断荷重はもとの65％であって，上記数値と全く合致しない。一般に腐蝕したロープを引張試験した場合，ロープの切断よりもかなり前に腐蝕した上ヨリ素線の多くが切れること，及び切断したロープにおける素線の切断個処はその腐蝕部位であることが認められる。このことから引張荷重を受けた腐蝕ロープの負荷断面は，ロープに直角な一平面図ではなく，近傍における各素線の最小断面であると推測さ



第 14 図

れる。

さきの試料において，各素線の最小残留断面積を集計して，それを腐蝕ロープの断面積とし，新しいロープの断面積との比を算出すると約 77% となる。この値は上ヨリ素線への応力集中を考慮すれば，幾分実際のロープ切断荷重低下率に近いものと考えられる。

さてこのように，ロープ切断荷重が各素線の最小残留面積の集計に比例するとしても，素線の残留面積はある期間総腐蝕量と直線的関係があり，従ってロープ切断荷重は，その間は腐蝕量またはロープ自身の断面減少量と直線的関係を有するものと推定される。このことは第7図の曲線に直線部分があることからも明らかである。

今　ロープ切断荷重＝K_1×ロープ断面積＋K_2

とし　ロープ断面積＝最初の断面積－断面減少量

及び　断面減少量＝$\dfrac{\text{腐蝕量}}{\text{ロープ長×鋼密度}}$

$$=\frac{\text{腐蝕率×表面積×浸漬期間}}{\text{ロープ長×鋼密度}}$$

$$=\frac{\text{腐蝕率×周囲長×浸漬期間}}{\text{鋼密度}}$$

を用いれば

ロープ切断荷重＝最初のロープ切断荷重

$$-\frac{K_1\text{×腐蝕率×周囲長×浸漬期間}}{\text{鋼密度}}$$

上式においてロープの周囲長は構成により異るけれども，同一構成のものではロープ直径に比例する。従って K_1 及び腐蝕率がロープの寸法に関係ないものとすれば，ロープ切断荷重の減少量はロープの太いもの程大となり，第7図における第二の直線部の傾斜が大にならねばならない。これは事実に反する。従って K_1 及び腐蝕率の一方または両方がロープ寸法により変化するものと考えられる。今 K_1 のみ常数とし，前式及び前に計算した試料4の腐蝕率から，第7図の試料1，3の傾料に適合するようその腐蝕率を求めると約 17mdd となる。

4-3 撚り減り

一般にロープの切断荷重は，各素線の切断荷重の合計よりも小さい。これはロープが撚られているためと考えられ，これに関する理論的解析も行われている。

いま

撚り減り率＝

$$\frac{\text{ロープ切断荷重}}{\text{各素線の切断荷重の合計}}\times 100\%$$

とする。（ＪＩＳでは上の値と 100% との差を撚り減り率としている）

ＪＩＳによれば上式の数値は，ロープの構成が 6×24 の場合には 88% となっている。しかしこの値は新しいロープに対するもので，腐蝕ロープについては上式で与えられる見掛け上の撚り減り率が変化するものと考えられる。そこで試料1，3，4について

$$\text{ロープ切断荷重低下率}=\frac{\text{ロープ切断荷重}}{\text{最初のロープ切断荷重}}\times 100\%$$

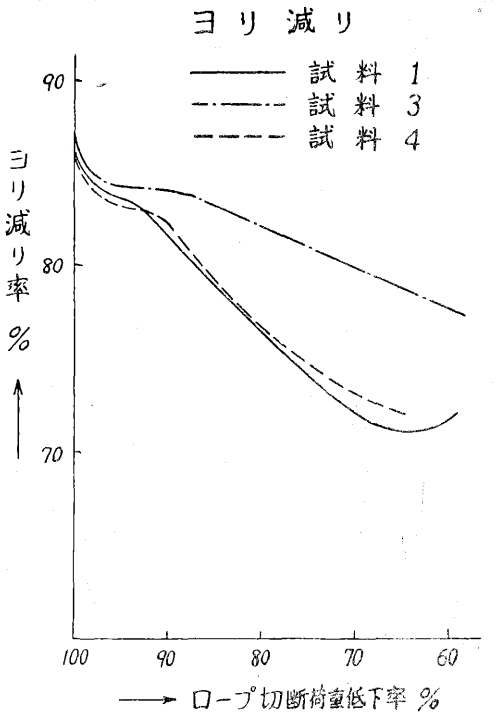
を横軸にとり，見掛け上の撚り減り率の変化を示したものが第15図である。

図によって見掛け上撚り減り率は腐蝕の進行とともにかなり低下することが知られる。これは腐蝕した素線に対する応力集中の影響と考えられよう。

4-4 腐蝕ロープの寿命

通常のワイヤロープについてロープ切断荷重がどの程度低下するまで使用出来るかは従来多くの意見があり，最初の切断荷重の 20% 減乃至 50% 減までといわれている。

古いワイヤロープの切断荷重と素線の平均衝撃切断荷重，平均曲げ回数，または平均ねじり回数との間には双



第 15 図

曲線的関係があり，また針金を摩滅した実験では，針金の断面積の減少度とその衝撃切断荷重の間にも双曲線的関係があるといわれている[5]。このことはロープの静的引張強さに較べて衝撃引張強さの減少が著しくはやく始り，その状態が素線の平均ねじり回数によってあらわされることを示している。

これらを考慮すれば，腐蝕ロープの廃棄時期を定めるのに，ねじり回数のある一定（20～30%）の低下時期を以てするのが充分安全といえる。しかし，供試ロープのような構成では，下ヨリ素線の機械的性質の低下は，上ヨリに較べてはるかにおそいから，上ヨリ素線のねじり回数がほとんど0になる時期でも，下ヨリ素線による衝撃引張強さは充分保証されていると考えられる。一方ねじり回数の 20% 減ずる時期ではロープ切断荷重の低下はまだ少く，特に衝撃を受けおそれのあるロープのほかは，ここで廃棄するのは経済的でない。以上の諸点を勘案して，普通作業に用いられるロープは，腐蝕による切断荷重の低下が 20% 減程度で廃棄せねばならない。供試ロープについてその時期は第7図により試料1で 90 週，試料4で 50 週である。

5. 結　　論

上記試験の結果から，応力を受けない状態で海水により腐蝕したワイヤロープについて，次の事柄がいい得る。

(1) 海水による腐蝕に対して，亜鉛メッキの効果は極めて大きい。

(2) 腐蝕に関して電気メッキは熱メッキと同等またはやや優れた効果がある。

(3) 素線径の細いロープは表面積の比率以上に腐蝕の影響を受け易い。

(4) 腐蝕は主として外部からはじまり，メッキロープについては内部腐蝕をほとんど考慮する必要がない。

(5) 特に衝撃を受けるロープでは，素線に明らかなピッチングを認めたときは廃棄しなければならない。

(6) 通常の状態で使用するロープでは，切断荷重が最初の 20% 減程度で廃棄せねばならない。その時期は通常の海域で，ロープが常時海中にある場合は，6×24 メッキ普通ヨリロープについて 18mmφ で 90 週，16mmφ で 50週 程度である。なお，海域の状態により，この期間は 1/2～4 倍の範囲にあると考えられる。

(7) 前項廃棄時期は，外観上メッキロープにおいては概ね赤錆が附着する頃に相当する。

(8) 油脂類の浮遊する海域では，潮汐域のロープは平均水面の下部の腐蝕がやや大である。なお，清浄な海域では，平均水面の上部の腐蝕の方が大で，常時海中にある部分の腐蝕の2倍程度に達するものと考えられる。

(9) 前項から，粘度の高い油脂類または塗料は，ロープの腐蝕を保護するものと考えられる。しかし粘度の低いロープ油などは，屢々塗布しなければその効果が少いようにみられる。

以上により，海水によって腐蝕したロープを使用する場合の強度上の目安が得られ，安全な作業が行い得るものと信ずる。終りに，本研究において長期間にわたり各種試験に御協力戴いた東京製綱株式会社川崎工場，並びに試験場を提供せられた石川島重工業株式会社第二工場に対し深甚なる謝意を表する。

参考文献

1. Drahtseilforschung : R. Woernle, Z. V. D. I. Bd 77, Nr 29, 1933.
2. Drahtseilforschung : R. Woernle, Z. V. D. I. Bd 78, Nr 52, 1934.
3. Proper Lubrication Length Wire Rope Life : John P Critchlow, Steel 25 June 1951.
4. 鋼索の腐蝕について：近藤，安全と衛生　昭30年10月
5. 竪坑捲綱の安全率に就いて：水田準一　旅順工科大学紀要　第12巻第5号
6. The Corrosion Handboock : Herbert H. Uhlig,

John Wiley & Sons Inc., 1953.
7. 金属の腐蝕及び防蝕：山本洋一，共立社版
8. Report of Subcommittee XV on Field Tests of Wire and Wire Products.

ABSTRACTS

Research of Ventilation in Plant (1 st report)

by E. Akiyama, T. Kondo & S. Tonsho

One of the methods to eliminate explosion hazards is to use a ventilating system. The amount of air required is expressed by the number of air change per hour. But it does not show the exact efficiency. The efficiency is effected by many physical conditions.

We made many experiments on ventilation and studied air movement. We knew that air pattern is very different by the difference between indoor and outdoor temperature, and it is necessary to determine the proper position of hoods and openings to obtain the good system.

Corrosion of Wire Rope, by the Sea Water

by E. Akiyama, T. Kondo & T. Hakamazuka.

The corrosion is one of the most principal causes of the wire rope failure, from which a lot of accident occurred. On the field tests, we investigated the relation of wire rope strength with their corrosion by the sea water. We confirmed that the zinc galvanized rope is superior to the bared rope from the viewpoint of the corrosion, and the rope made of fine wires is more easily influenced than the one made of thick wires, beyond the ratio of their surface area. We found that the tensile strength of corroded rope is not proportional to the residue sectional area. We suggested the time to abandon the corroded rope, which was placed under the sea level or at the half tide level.

The form of the coupling chain, the limited weight of a torolly and the allowable limit of elongation of such a chain. (3 rd report)

By Gisei Mori & Kozen Hirai

On this report the theory and its conclusion are described in order to decide the rational form of coupring chains of trollies, the limited weight of a trolly and the allowable limit of elongation of such chains.

1. The impact load for the chain to couole trollies in practice was calculatid theoretically from the results obtained on the impact loading tests of chains as described on the first report.

2. The allowable load for the chain was decided from the results obtained on the static loading tests of chains as described on the second report.