

# 送電線用 ACSR (鋼心アルミ撚線) の架線時の撚り戻り現象 Untwining Phenomenon of Aluminium Cable Steel Reinforced for Wiring

福田 重穂\* 小形 猛 美\*  
Shigeho Fukuda Takemi Ogata

## 内 容 梗 概

ACSR のような撚線は張力の作用によつてトルクを生じ自由端は回転する。この現象は架設工事の延線時に見られるが、この際 ACSR としては回転のしにくいもの、すなわちトルクの小さいものが望ましい。そこでトルク棒と抵抗線ひずみ計による測定装置をつくり、現在用いられている  $610\text{mm}^2$  ACSR その他の線種のトルクおよび回転角を測定した結果を報告する。得られた主な結果は

- (1) 低荷重域を除くと荷重とトルクは比例し直線関係にある。
- (2) ピッチあるいは撚り合せ方向を適当に選ぶことによりトルクを大幅に減少できる。ただしピッチの選択に当つて突いに対する影響をさらに検討する必要がある。
- (3)  $610\text{mm}^2$  ACSR の最小抗張荷重の  $1/5$  に当る荷重(約  $3.67\text{t}$ )におけるトルクと回転角の値はそれぞれ  $202\sim 275\text{kg}\cdot\text{cm}$  および  $3^\circ/\text{m}$  である。

## 1. 緒 言

わが国における送電線路の超高压化はここ数年目ざましい躍進をとげ、関西電力株式会社の丸山幹線、電源開発株式会社の佐久間幹線などが完成したが、なお現在引続いて奥只見幹線、本名一仙台線および東京東幹線など電源開発、東北電力および東京電力株式会社の手によつて建設計画が進められている。これらはいずれも  $610\text{mm}^2$  ACSR の単導体方式が採られているかあるいは  $330\text{mm}^2$ 、 $240\text{mm}^2$  ACSR の多導体方式が予定されており、これに関連した機械的諸問題<sup>(1)(2)</sup>が山積している。

ACSR の張力による撚り戻り現象もその一つであり、架線時に共通した問題である。すなわち、ドラムから引き出された電線は延線車にひとたび巻きつけられた後、エンジン車より繰り出されたワイヤロープによつて鉄塔上の釣車に引き上げられていく。この際、電線には延線車のブレーキにより後方張力が与えられるのでトルクを生じ、電線先端は普通最外層の撚りのゆるむ方向に自転しようとする。架線の現場ではこのトルクに釣り合う重錘を吊して電線が回転するのを防止しているが、このため架線作業ははなはだ面倒なものとなる。電線の回転は突いを招き荷重分担もきわめて不均一になる恐れがあるので、無張力の下でも撚り戻りのない電線が望まれるのはもちろんであるが、さらに張力の加わつた状態でも回転の少ない電線が要求される。

また最近の傾向である多導体方式においては平行に並んだ電線相互の捻回が重要視されているが、この捻回時の復元現象を理解する上にも電線の振り剛性とならんで張力によつて生じるトルクがどの程度であるかを知ることが必要である。

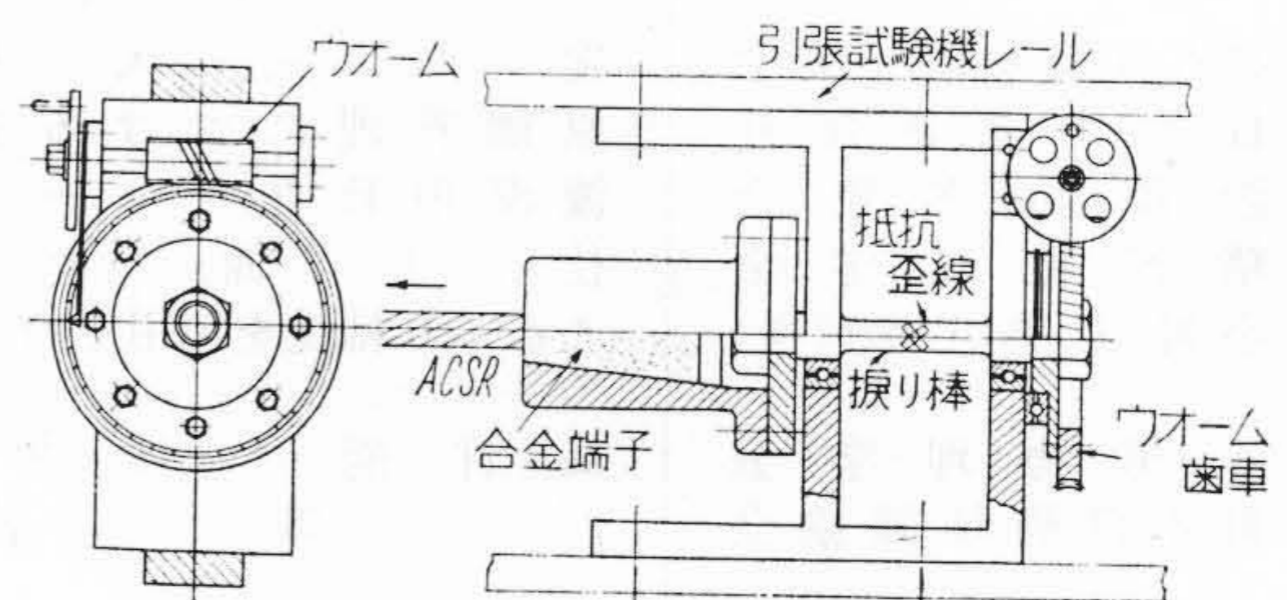
そこで電線の撚り戻りを表示する量としてトルクおよ

び回転角を選び、 $610\text{mm}^2$  ACSR を始め、現在広く用いられている各線種の ACSR について測定したので、その結果について報告する。

## 2. トルク測定装置および実験方法

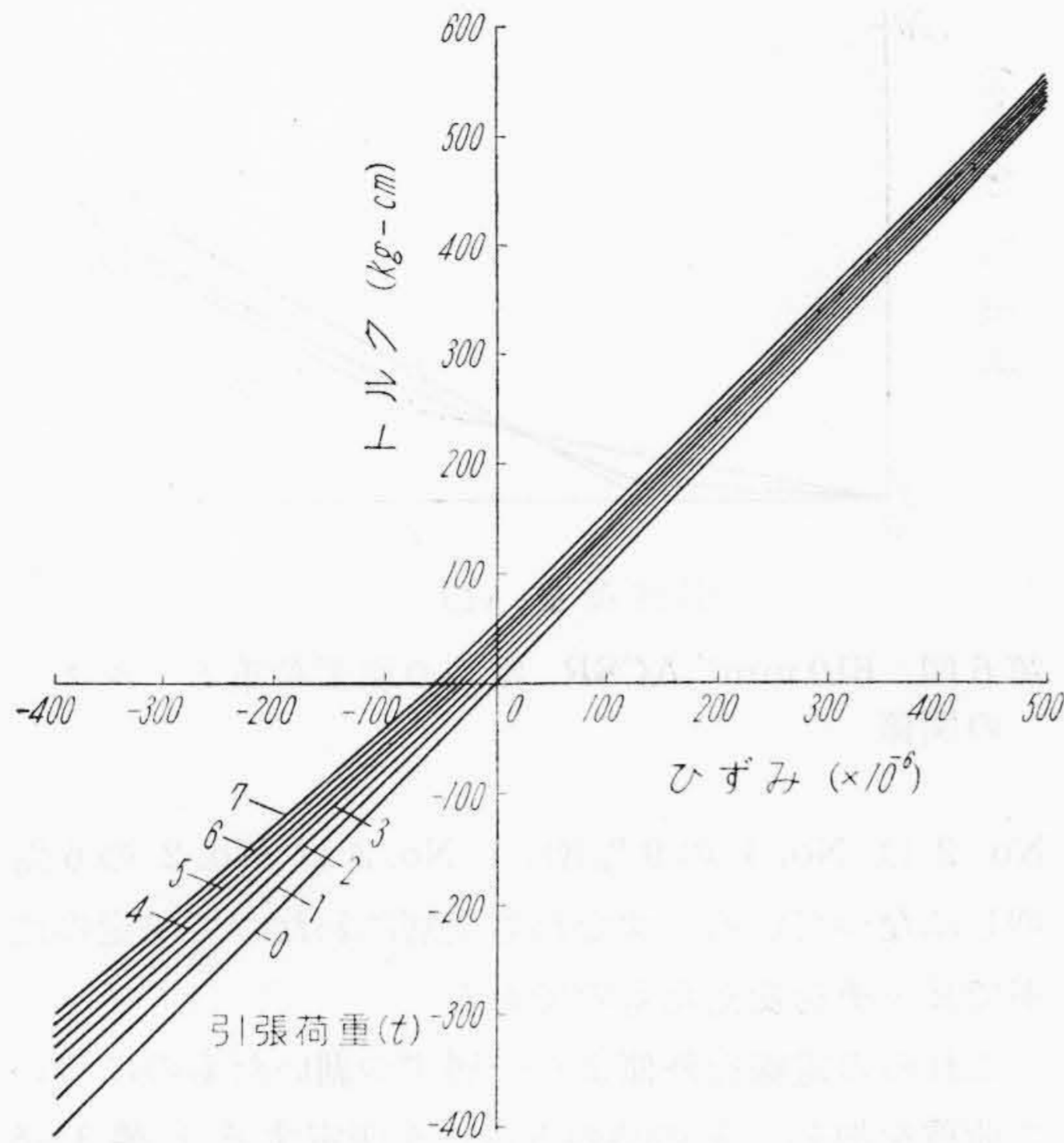
### 2.1 トルク測定装置

トルクの測定には一般にワイヤロープの試験によく使われているように引張荷重を直接スラストベアリングに受ける方法かあるいは油圧で浮かしたピストン・シリンダで受ける方法が考えられる。しかしいずれの場合も回転方向の摩擦力が大きくなるため、張力の増加に対して段階的にトルクが観測される心配がある。それゆえこれを避けるため第1図に示すように、ACSR の張力をトルク棒で受けもたせ、生じたトルクによる振りひずみを抵抗線ひずみ計で読みとる方法を採用した。よく知られているように4個のゲージを軸の表面の45度のらせん上に沿つて配置し、電橋は曲げモーメントおよび引張荷重に対しては不平衡にならず、振りモーメントが作用する場合のみ指示するよう組んである<sup>(3)</sup>。この装置は30tアムスラ横型引張試験機のレールにとりつけられ、機構が簡単で摩擦の影響がないこととトルク棒の強度を適当にすれば ACSR 破断時のトルクまで測定できる特長がある。



第1図 ACSR トルク (回転角) 測定装置

\* 日立電線株式会社電線工場



第2図 トルク測定装置の校正曲線

## 2.2 トルクの測定

まずトルク棒のひずみと実トルクの関係をあらかじめ校正しておかねばならない。原理的には張力によるトルク棒のひずみはひずみ計に現われないわけであるが、正確にゲージを貼ることはむずかしい。よつて張力を変えてそれぞれの場合について別に振りトルクを加えて校正した。なお張力はトルクに対して自由な鎖を通して与えた。第2図が校正した結果で、ゆきかえりのひずみとトルクの関係は良く一致していた。

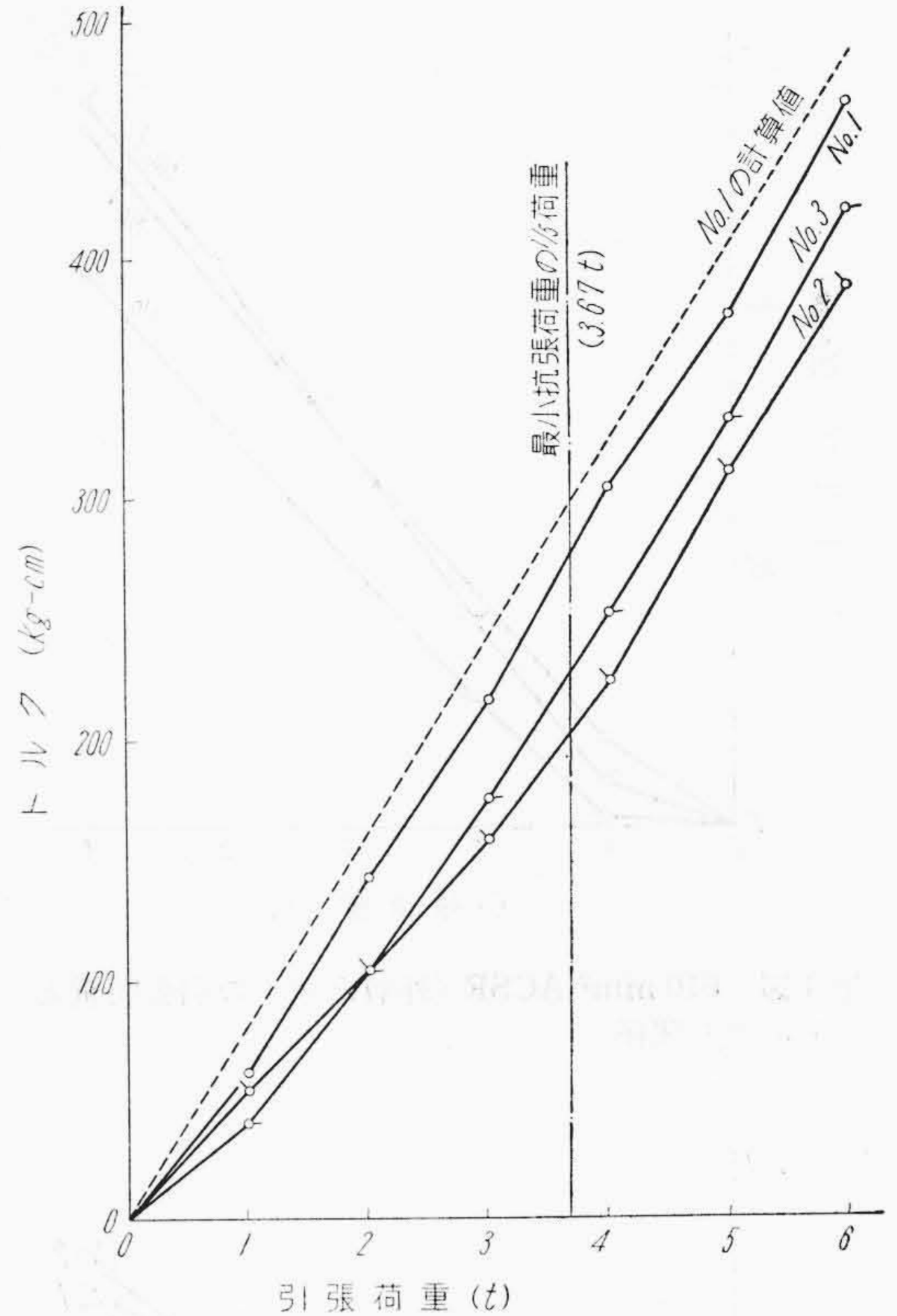
そこで ACSR のトルクを測定するには、まず両端を合金端子に仕上げ、これを試験機にとりつけた後、張力を上げながらトルク棒のひずみを読みとればよい。

## 2.3 回転角の測定

一端が自由な ACSR に張力を加えると回転を起しその張力に応ずるある角度に達するまで回る。この回転角は換言すれば発生したトルクが電線の回転によつて次第に減少しその値が零になる角度に相当する。したがつて測定方法としてはまず張力を加えた後、第1図に示すようにウォームをトルク零に相当するひずみ計指示 (第2図参照) まで回し、この時トルク棒が回転した角度をウォーム歯車に刻んだ目盛で読みとる。また、回転を元にもどすことなく、この状態のまま張力をさらにあげて次の回転角を測定することにした。

## 2.4 実験試料

供試試料は 610 mm<sup>2</sup> ACSR

第3図 610 mm<sup>2</sup> ACSR (完成品) の引張荷重とトルクの関係

およびそのほかの線種でピッチを若干変え、外側より一層ずつ剥いでトルクおよび回転角を測定して各層の影響を検討することにした。

また試料長については予備実験によつて 610 mm<sup>2</sup> ACSR では 3 m 以上あればトルクおよび回転角に影響がないことを確かめたので実験はすべて長さ 3 m のものについて行つた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 張力とトルクの関係

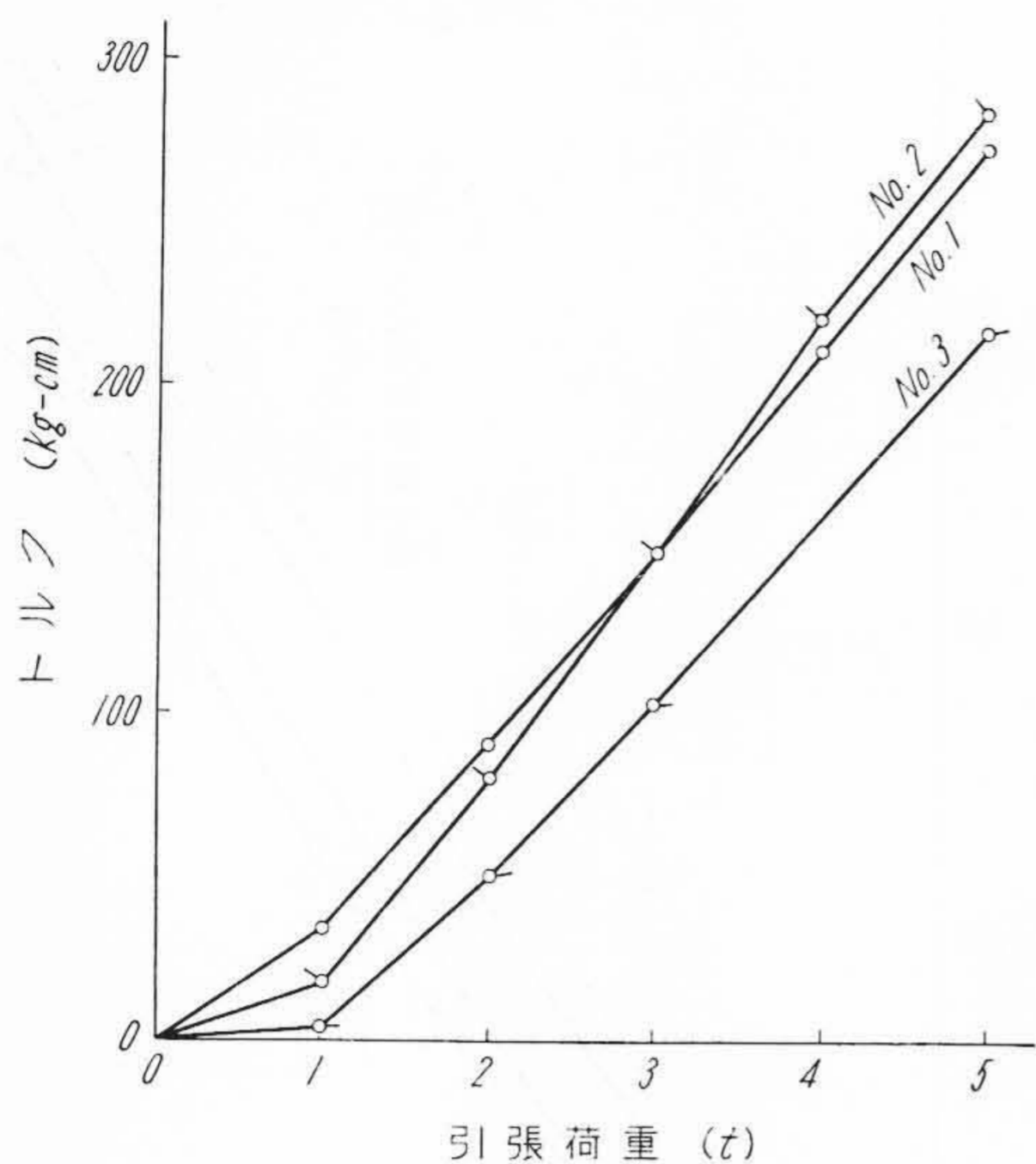
#### 3.1.1 610 mm<sup>2</sup> ACSR

まずピッチの影響を調べるため、第1表に示すよう

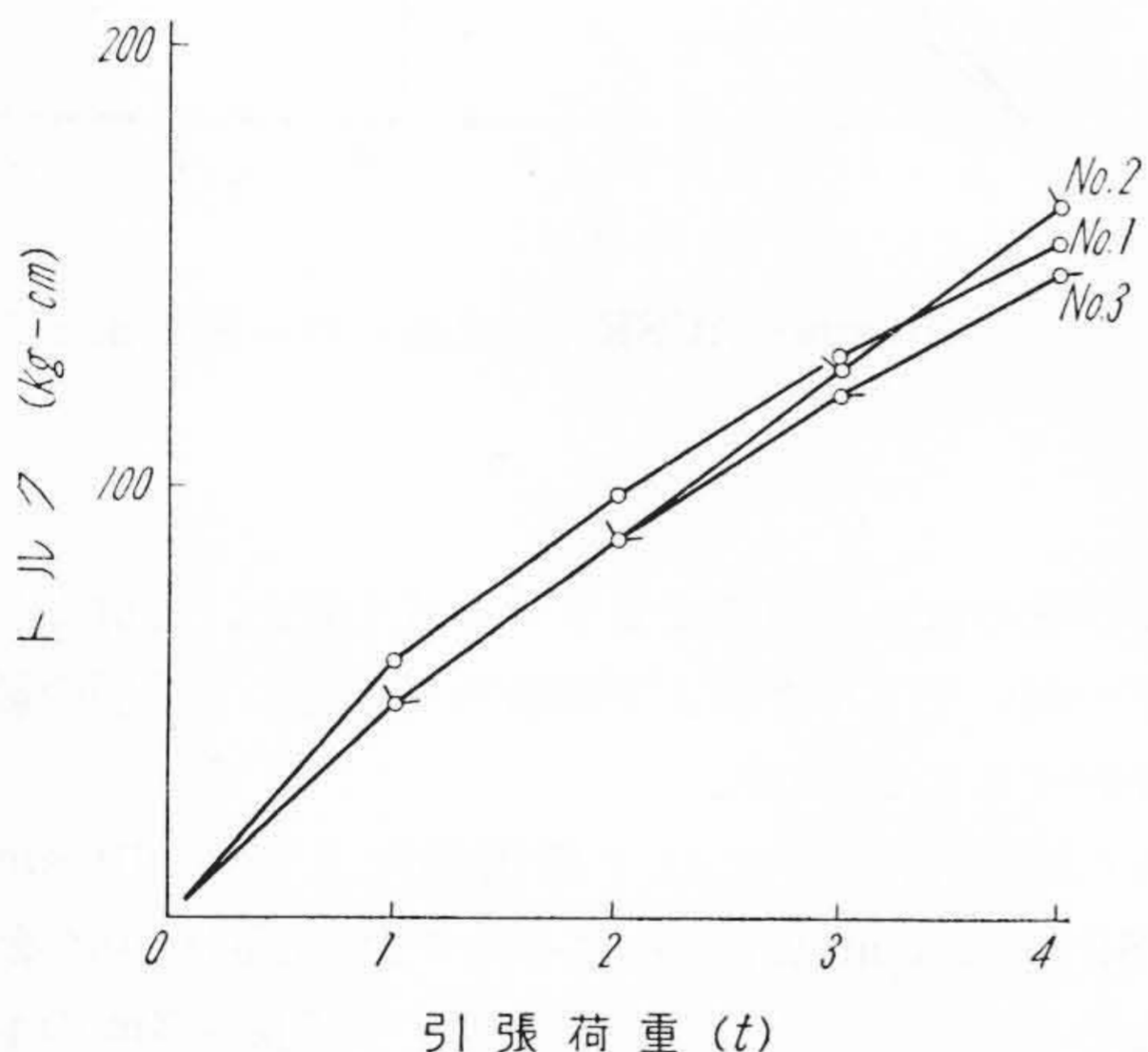
第1表 610 mm<sup>2</sup> ACSR のピッチ表

層番号 (No.)	素線数 /素線径 (mm)	ピッチ ダイヤ D (mm)	ピッチ倍数 (P/D)						
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
1 (鋼層)	6/3.8	7.6	29.2 (Z)	31.8 (Z)	33.7 (Z)	30 (Z)	29.2 (Z)	30 (Z)	20 (Z)
2 (アルミ 内層)	12/3.8	15.2	14.6 (S)	15.9 (S)	16.8 (S)	16.5 (S)	14.6 (Z)	20 (S)	20 (S)
3 (アルミ 中間層)	18/3.8	22.8	12.2 (Z)	13.3 (Z)	14.1 (Z)	12.5 (S)	12.2 (Z)	11 (Z)	10.2 (Z)
4 (アルミ 外層)	24/3.8	30.4	10.5 (S)	11.5 (S)	12.2 (S)	12.5 (S)	10.5 (S)	20 (S)	20 (S)

注: ( ) 内は撚り方向



第4図 610 mm<sup>2</sup> ACSR (外層剥ぎ) の引張荷重とトルクの関係



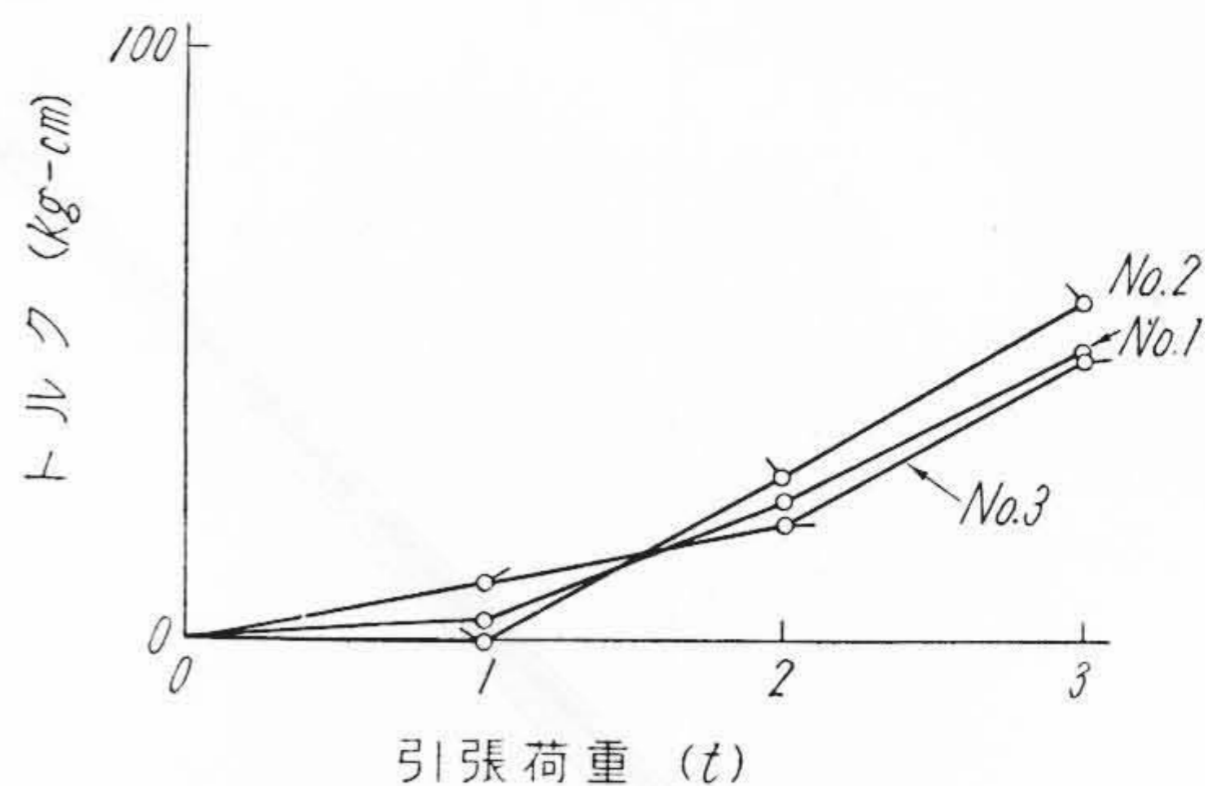
第5図 610 mm<sup>2</sup> ACSR (中間層剥ぎ) の引張荷重とトルクの関係

に若干ピッチの長さを変えた No. 1~No. 3 までの3種の ACSR を製造した。それらのピッチの割合は

第2表 各種 ACSR ピッチ表

線種	構成 素線数/素線径 (mm)	ピッチ (ピッチ倍数) (mm)			
		1 層	2 層	3 層	4 層
120 mm <sup>2</sup> ACSR	30+7/2.3	128 (27.8)	153 (16.6)	168 (12.2)	—
160 mm <sup>2</sup> ACSR	30+7/2.6	144 (27.7)	169 (16.3)	191 (12.2)	—
200 mm <sup>2</sup> ACSR	30+7/2.9	159 (27.4)	193 (16.6)	210 (12.1)	—
240 mm <sup>2</sup> ACSR	30+7/3.2	174 (27.2)	209 (16.3)	235 (12.2)	—
290 mm <sup>2</sup> ACSR	54+7/2.6	197 (37.9)	187 (18.0)	246 (15.8)	269 (12.9)
320 mm <sup>2</sup> ACSR	30+7/3.7	189 (25.5)	250 (16.9)	265 (12.0)	—
510 mm <sup>2</sup> H-Al	37/4.2	202 (24.0)	297 (17.7)	310 (12.3)	—

注: 1層は鋼層を示し順にアルミ外層に至る。



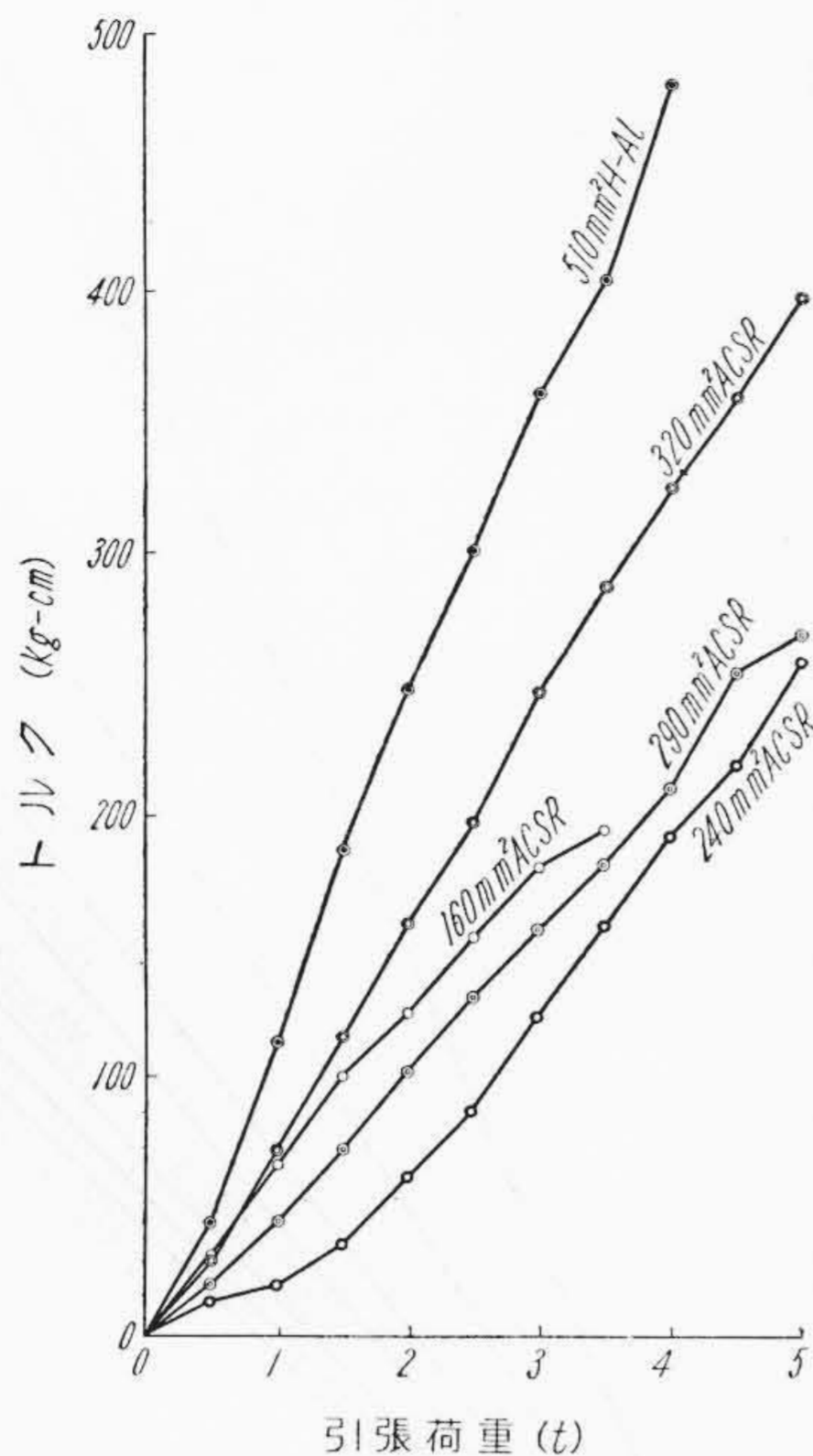
第6図 610 mm<sup>2</sup> ACSR 鋼心の引張荷重とトルクの関係

No. 2 は No. 1 の9%増し, No. 3 は No. 2 の6%増しになっている。すなわち全層にわたって一定の比率でピッチを変えたものである。

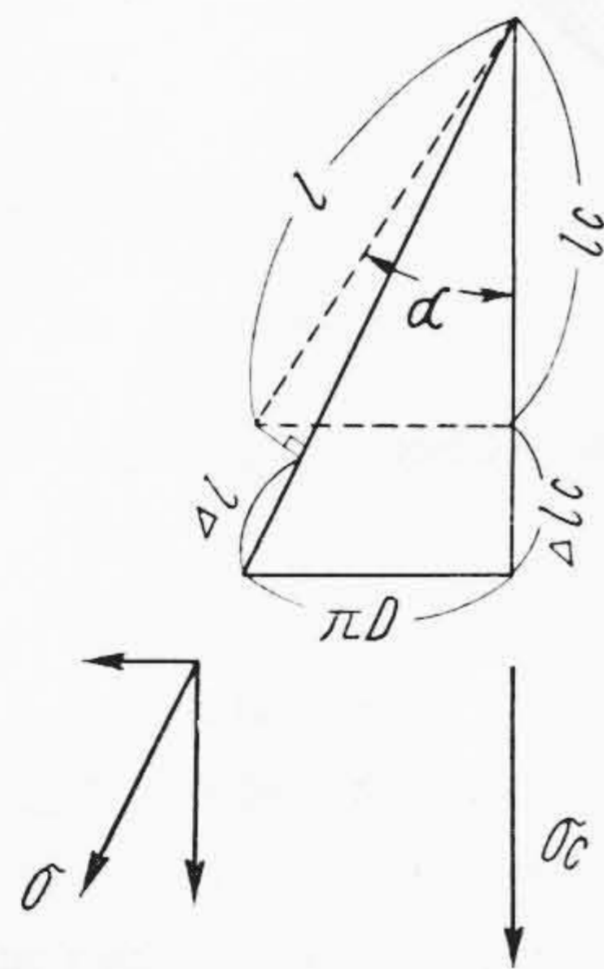
これらの電線を外側より一層ずつ剥いだものについて荷重を加え, その時のトルクを測定すると第3~6図のようになる。図中のトルクは ACSR 内に発生したトルクであつてその向きはすべての場合最外層の撚りのゆるむ方向である。完成品では最小抗張荷重の1/5の荷重(約3.67 t)で202~275 kg-cm 程度である。

荷重とトルクの関係は低荷重近傍を除くといずれもほぼ比例し直線的である。トルクの値は層を剥くごとに急速に小さくなり, 低荷重域では曲線は多くは下に凸, 上に凸のもみられる。前者は試料採取の際その撚線の外層にゆるみが生じたためと考えられる。第3, 4図でわかるように, 試料 No. 2 および No. 3 には外層のゆるみ, No. 3 は中間層にもゆるみがある。次に上に凸の場合は第5図に示される。この場合は下層(外層とは逆撚りになっている)にゆるみがあることを意味する。すなわち第6図で明らかなように鋼心はいずれも低荷重のところでトルクが低い。

以上ピッチを変えて実験を行つた結果, ピッチの最も短い試料 No. 1 の完成品において大きなトルクを示した以外は差異が認められなかつた。この原因としてピッチを一率にかえ, しかもその変え方が小さすぎたことと, 構成素線の撚り締りが均一でなかつたこと



第7図 各種 ACSR の引張荷重とトルクの関係



第8図 コアと撚線の伸び (応力)

があげられる。したがって試料は十分長い条長のものから注意深く採取することが肝要である。なおこれらの実験中荷重のゆきかえりのトルクの値はほぼ一致していた。

### 3.1.2 その他の線種

次に 610 mm<sup>2</sup> ACSR 以外の線種として第2表に示したもののうち 160, 240, 290, 320 mm<sup>2</sup> ACSR および 510 mm<sup>2</sup> 硬アルミ撚線について荷重トルク線図を求めた。その結果を第7図に示す。

### 3.1.3 トルクの計算

ACSR は直線状の線心 (コア) を中心として各層が同心状にしかも交互に撓り合せられている。このよ

うな撚線に引張荷重が加えられた場合のコアとらせん状素線の分担応力あるいは撚線トルクについてはすでに F. H. Hruska氏<sup>(4)(5)</sup>によつて簡単に求められている。

第8図はらせん状素線1ピッチの長さ  $l$  とコアの長さ  $l_c$  の荷重負荷前後の伸びを示したものである。撚線の回転が阻止される場合は撓り角  $\alpha$  の変化は無視してさしつかえないから図よりただちに

$$\Delta l = \Delta l_c \cos \alpha$$

が得られる。コアの弾性係数を  $E_c$ 、撓り合された素線の弾性係数を倍数  $m$  で表わすと弾性域内では各応力は

$$\sigma_c = E_c \cdot \Delta l_c / l_c, \quad \sigma = m E_c \cdot \Delta l / l$$

となる。それゆえこれらの応力間には

$$\sigma = m \cos^2 \alpha \cdot \sigma_c$$

の関係がある。この応力の軸方向成分  $\sigma \cos \alpha$  と直角成分  $\sigma \sin \alpha$  は撚線に加えられる総合荷重  $P$  とその時生じるトルク  $T$  を与える。

今同一素線径  $d$  より構成され、 $n$  層 (内層を第1層と呼び順に外層に至る) からなる ACSR について求める。式中に添字  $n$  を用いてその層に関する量を示すものとすればピッチダイヤ  $D$  は  $2nd$ 、その層の断面積は  $6n \cdot \frac{\pi}{4} d^2$  で表わされるから、荷重およびトルクとして

$$P = \frac{\pi}{4} d^2 \sigma_c \left( 1 + \sum_1^n 6nm_n \cos^3 \alpha_n \right)$$

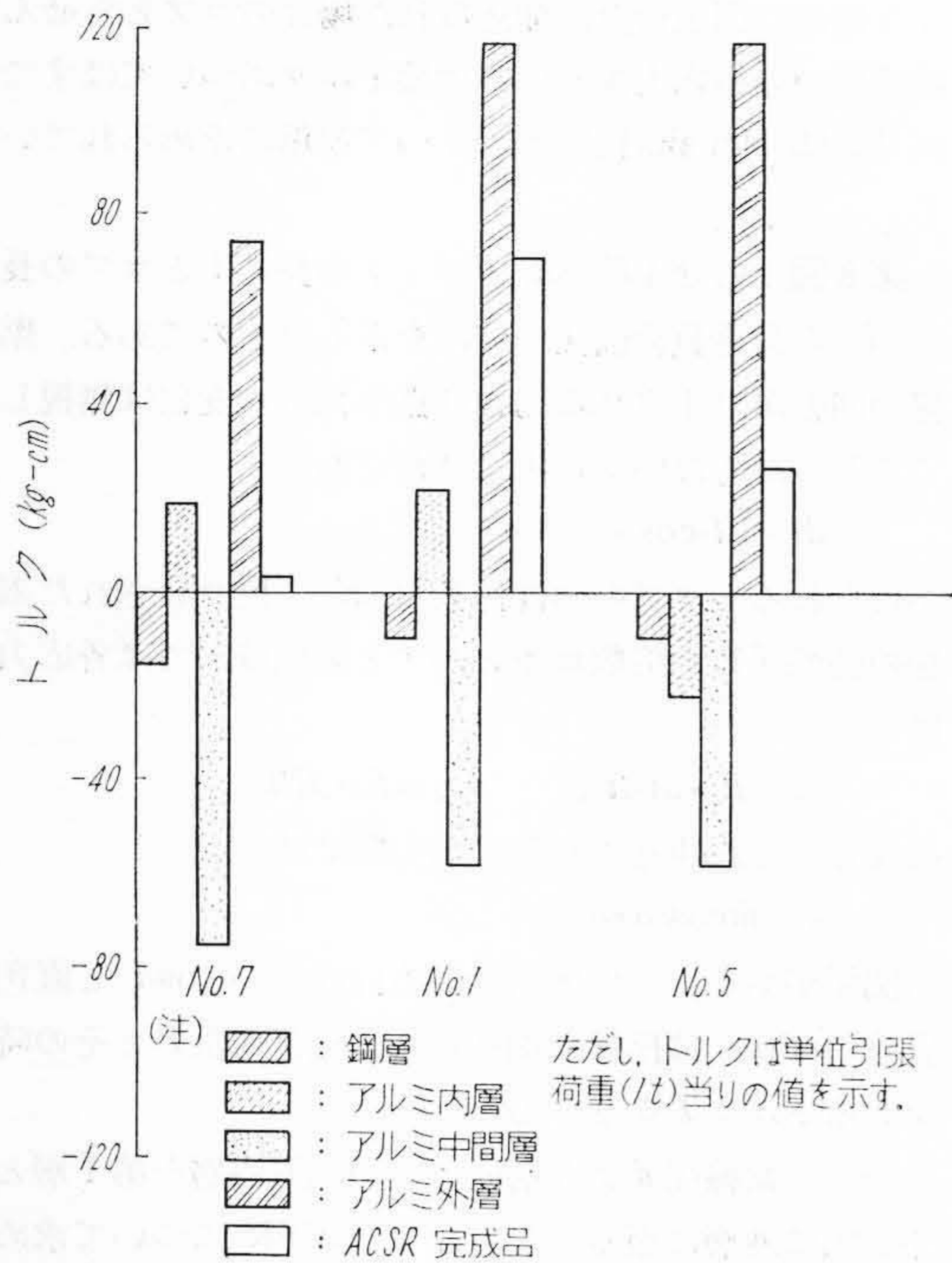
$$T = \frac{\pi}{4} d^3 \sigma_c \sum_1^n (-1)^n 6n^2 m_n \cos^2 \alpha_n \sin \alpha_n$$

が得られる。よつて荷重とトルクの関係は

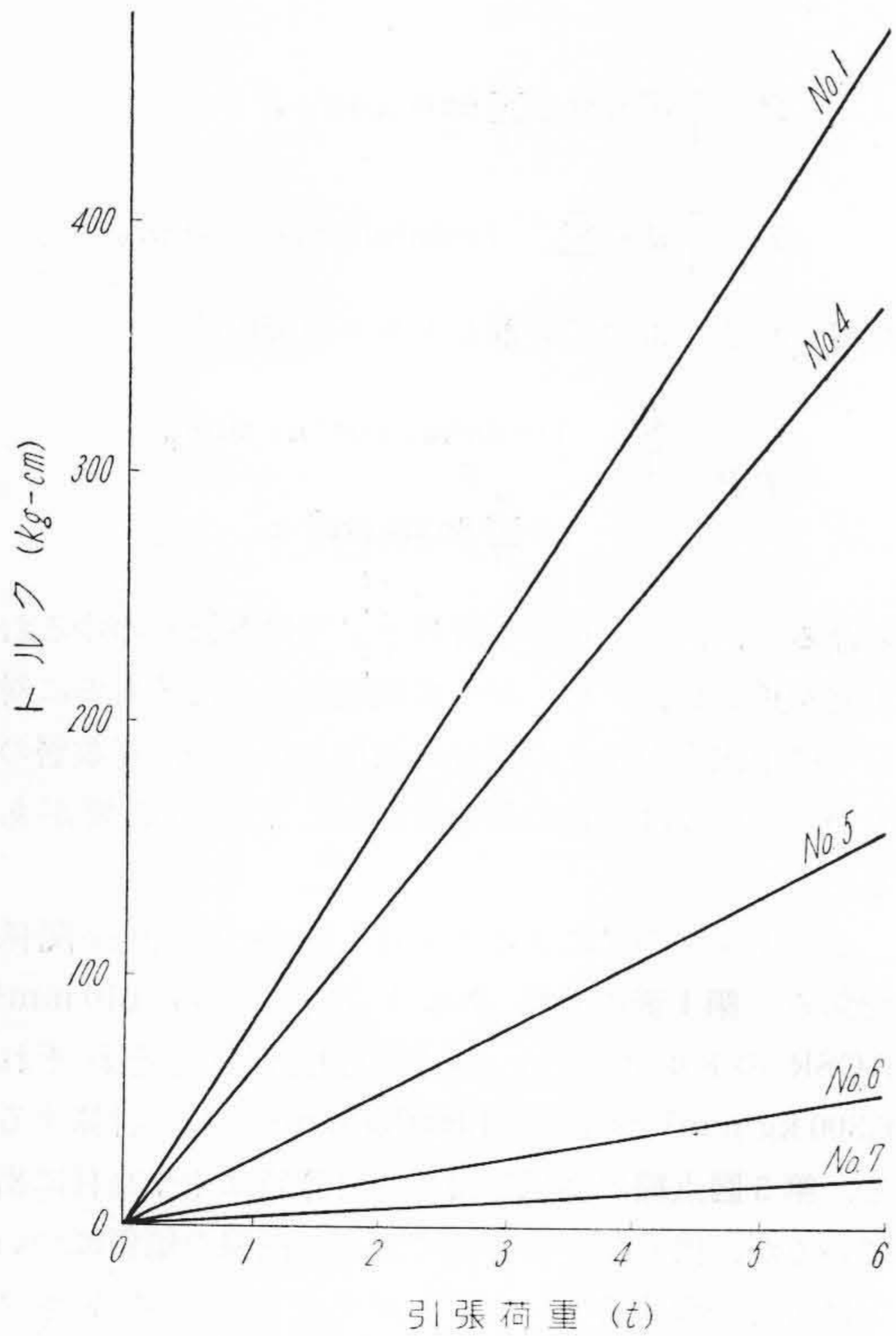
$$T/P = \frac{\sum_1^n (-1)^n 6n^2 m_n \cos^2 \alpha_n \sin \alpha_n}{1 + \sum_1^n 6nm_n \cos^3 \alpha_n}$$

となる。ただしトルクの符号としてはS撓りのゆるむ方向を正とした。したがつて偶数層よりなるものに対しては上式そのままの符号が適用されるが、奇数層のものについては正負の符号を逆にしてやる必要がある。

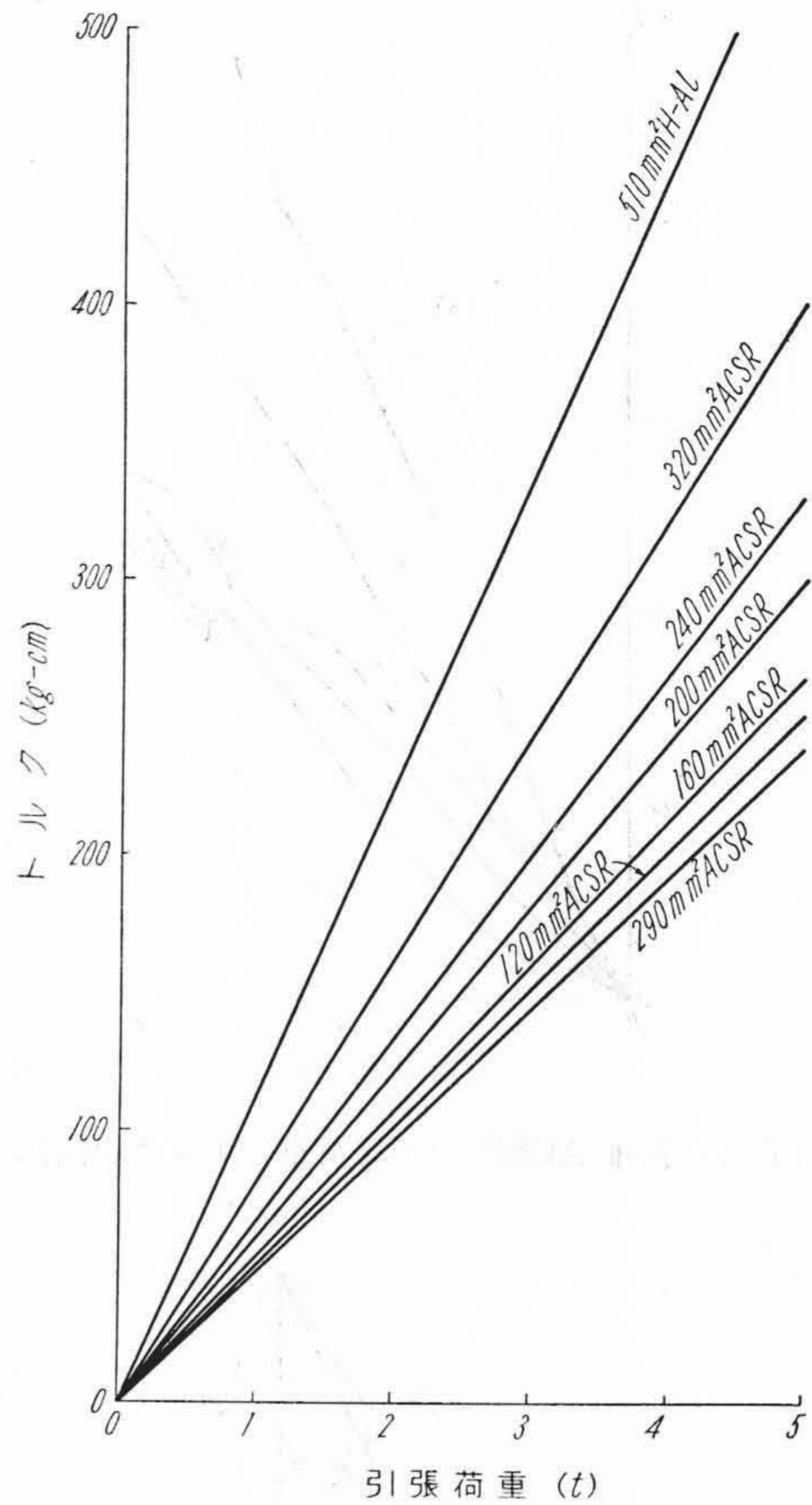
このトルクの式によると荷重とトルクは直線関係である。第1表の試料 No. 1 に相当する 610 mm<sup>2</sup> ACSR のトルクをアルミと鋼の弾性係数をそれぞれ 6,300 kg/mm<sup>2</sup> および 21,000 kg/mm<sup>2</sup> として計算すると、第3図点線の関係を得る。計算値はやや高目に出ているが、撓り締りの影響である。曲線の傾斜についてはよく一致するということができる。このトルクを分けて層別に示すと第9図のとおりになる。同図 No. 1 よりわかるようにトルクの大勢は外側の層によ



第 9 図 610 mm<sup>2</sup> ACSR 各層のトルクの分担 (計算値)



第 10 図 610 mm<sup>2</sup> ACSR (完成品) のトルクに及ぼすピッチの影響 (計算値)



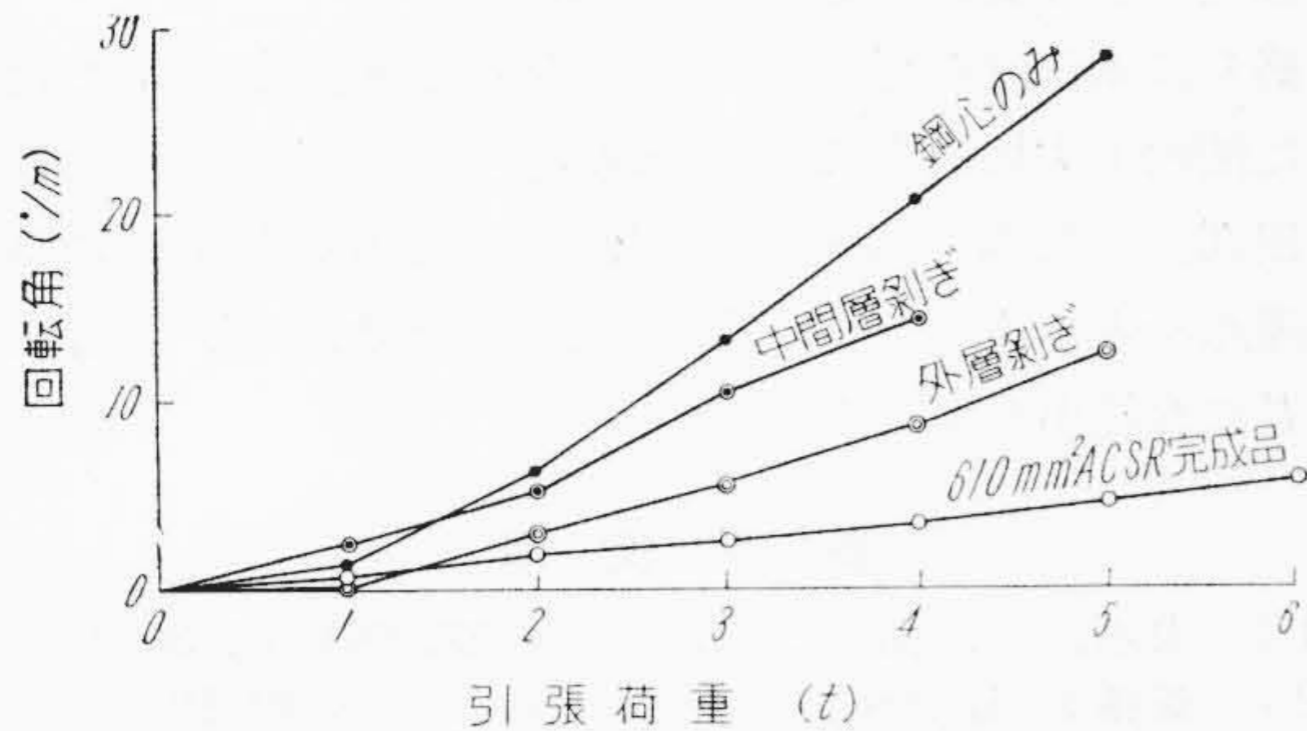
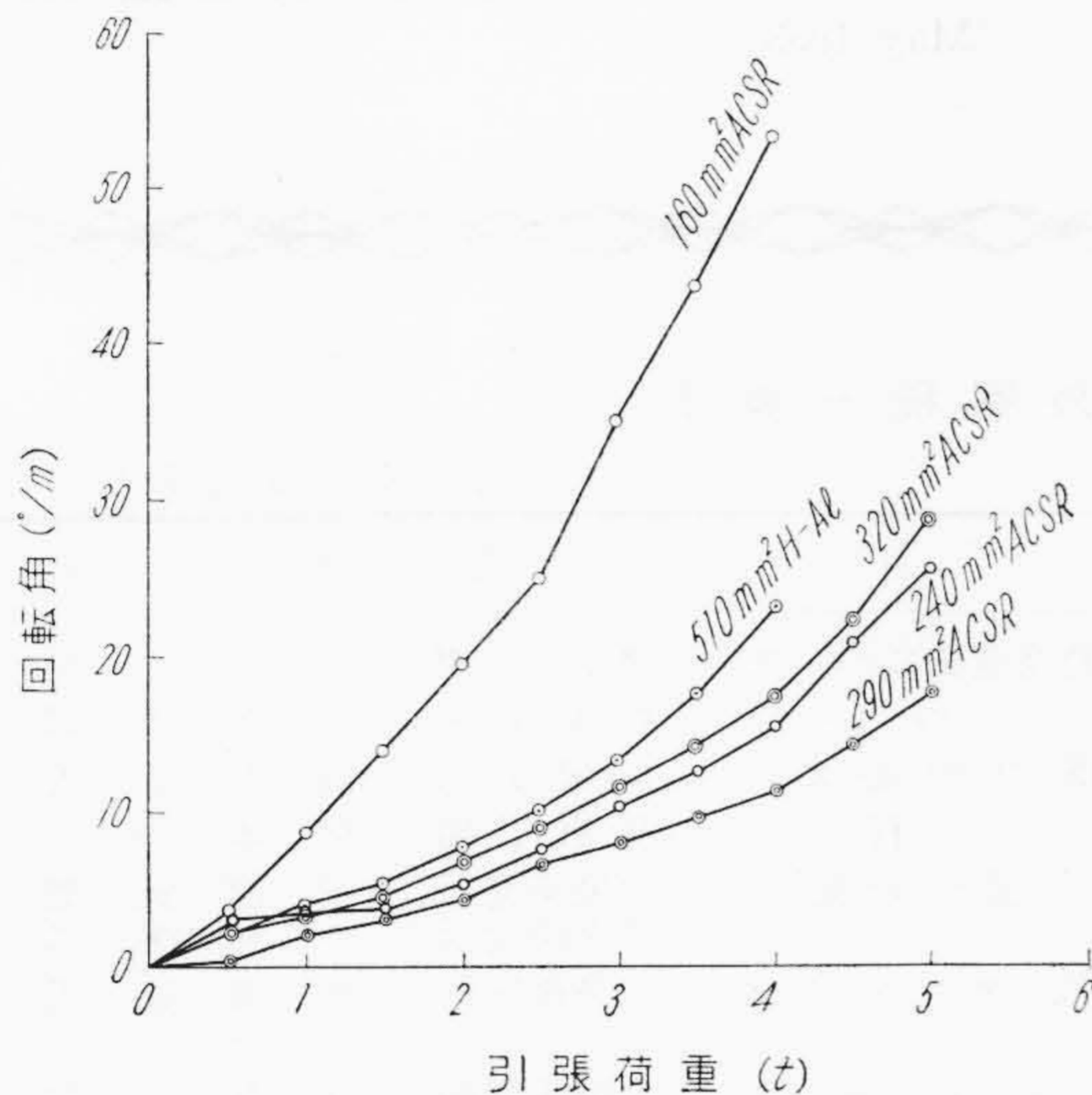
第 11 図 各種 ACSR の引張荷重とトルクの関係 (計算値)

つて支配されていることを知る。

トルクを小さくする最も簡単な方法は撚り合わせ方向を変えることである。すなわち同図に示した No. 5 は No. 1 とまったく同じピッチ(第 1 表のとおり)であるが、ただ第 2 層(アルミ内層)の撚りを逆にしただけである。トルクはかなり減少する。

次にトルクを小さくする方法は正のトルクの頭をたたき、負のトルクの先端をのぼすことができればよい。前述したトルクの式によると実用ピッチの程度では密に巻けばトルクは大きく、粗く巻けば小さくなる。それゆえ、トルクの生じない無回転の ACSR もつくるのが可能である。

しかし ACSR のピッチについては普通最外層および鋼層のピッチ倍数  $p/D$  の値を指定しておりそれぞれ前者は 20 以下、後者は 20~40 以内とされている。また一方素線を隙間なく巻ける最小ピッチが存在する。すなわちこれより密に巻けば線同志が重なってしまうという限界である。最も簡単な計算によるとこの

第12図 610mm<sup>2</sup> ACSR の引張荷重と回転角の関係

第13図 各種 ACSR の引張力と回転角の関係

値は  $p/D$  にして約 10.1 (厳密にはこれより若干大きい) となる。これらのピッチの制限内でトルクを小さくした極端な例をつくると第9図 No.7 のようになる。また第1表のピッチ表に従って 610mm<sup>2</sup> ACSR のトルクを計算し、第10図にまとめてみた。同図の No.4 および No.6 の鋼層の  $p/D$  はほぼ現行どおりの 30 にした。すなわちトルクを減ずるため  $p/D$  を小にすると引張分担荷重まで減少して鋼線本来の目的を失うと考えたからである。また No.4 の場合は外層に向う層の  $p/D$  ほど小さく仮定したが、このように中心部は粗らめに、外側に向つて細かく撚り合わせると笑いが発生しにくくなると考えられる。また曲げモーメントに対しても外層の応力を小さく押えることができると思われる。

第11図にはその他の線種のトルクを計算したものを示した。

### 3.2 張力と回転角の関係

以上張力によつて ACSR 内に生じるトルクについて

第3表 ACSR の張力による回転角

線種	最小抗張荷重 (kg)	使用荷重 (抗張荷重の 1/5) (kg)	回転角 (°/m)
160mm <sup>2</sup> ACSR	6,990	1,400	13.0
240mm <sup>2</sup> ACSR	10,210	2,040	5.5
290mm <sup>2</sup> ACSR	12,170	2,430	5.0
320mm <sup>2</sup> ACSR	13,630	2,730	10.0
510mm <sup>2</sup> H-Al	7,460	1,490	5.5
610mm <sup>2</sup> ACSR	18,350	3,670	3.0

論じたが、一端が自由であればこのトルクは ACSR を回転駆動させる。実験によるとその回転方向は外層の撚り方によつてきまり、その撚りがゆるむ方向である。したがつて回転を続けるとこのトルクは減少する一方、構成素線の振り、曲げの変形による抵抗モーメントが増大し、ついには釣合つて回転は停止する。すなわち素線が軸に平行にならぶ前にとまることになる。

この撚線が停止するまでの回転角度は笑いの点より小さい方が望ましい。第12図に 610mm<sup>2</sup> ACSR の実験結果を示す。各層は交互に撚られているため実際のトルクは層を剥ぐごとにその方向が逆に出てくるが図では符号に関係なく絶対値のみを示した。またその他の線種の回転角は第13図のとおりである。回転角は荷重に伴つて増大している。今これらの図より最小抗張荷重の 1/5 に当る引張荷重を標準にして回転角を読みとると第3表のとおりになる。単位長さ当りの回転角は奇数層の場合大きくなり、電線寸法の小さい方が大きくなつていく。

## 4. 結 言

以上電線の撚りを戻す作用をするトルクとその時生じる回転角を測定したが、その結果を総括すると、

- (1) トルク棒と抵抗線ひずみ計の組合わせによつて張力下の ACSR のトルクおよび回転角が測定できた。また荷重の往復によるトルクの値はほぼ一致した。なお本装置によれば ACSR 破断時までのトルク測定が可能である。
- (2) トルクを分担する割合は最外層で最も大きく、中心に向つて急速に減少する。したがつてまた回転は最外層の撚りのゆるむ方向に起る。このことは架線時においてメッセンジャーであるワイヤロープの回転も含めて十分考慮する必要がある。
- (3) 実験によると低荷重近傍を除いては荷重とトルクはほぼ直線関係である。トルク値を 610mm<sup>2</sup> ACSR で示すと、最小抗張荷重の 1/5 の引張荷重(約 3.67 t) では 202~275 kg-cm であつた。
- (4) ピッチを一率に短くするとトルクは大きくなる。ただ 610mm<sup>2</sup> ACSR の実験においては撚り締りの不均一なためとピッチの変化が小さすぎたため差異を明瞭にできなかつた。それゆえ試料は十分長い条長の

ものから撚りがゆるまないように採取する必要がある。

(5) トルクの計算値は荷重—トルク曲線の傾斜について実験値とよく一致する。撚り締りのためトルクの実測値は低目に出る。

(6) ピッチおよび撚り合せ方向を適当に選ぶと、トルクをかなり減少できる。無回転の ACSR も得られるが、ピッチは笑いについての影響も十分考慮の上選択する必要がある。

(7) 回転角は荷重とともに増加し、回転角の値は偶数層よりなる ACSR の方が小さい。610mm<sup>2</sup> ACSR では最小抗張荷重の1/5の引張荷重で1m当り3度である。

(8) トルクおよび回転角の測定は撚線の撚り締りの

程度をよく表わすものとする。

終りに本研究を行うに当つて御指導、御鞭撻をいただいた関西電力株式会社神谷送電課長、日立電線株式会社岩田部長、久本、山本両博士ならびに結柴、岡両氏に厚く謝意を表するとともに実験に協力された仲沢、西野宮両君にお礼申し上げる。

参考文献

- (1) 山本, 岡, 福田: 日立評論 37, 661 (昭 30-4)
- (2) 斎藤: 日立評論 別冊 21号, 1 (昭 32-12)
- (3) 三宅, 加藤訳: 電気抵抗歪計 108(昭 28 丸善)
- (4) F. H. Hruska: Wire & Wire Prod. 26, 766 (Sept. 1951)
- (5) F. H. Hruska: Wire & Wire Prod. 28, 455 (May 1953)

日立製作所社員社外寄稿一覧表

(第87頁より続く)

(昭和33年5月受付分)

寄稿先	題 目	所 属	執 筆 者
青森県 X線技師会 鑄造技術委員会 日本事務能率協会 新 亜 通 信 社 日 本 電 気 協 会	コンデンサ式 X線装置における自動充電法について S.B. "Automiller" の 特 性 に つ い て 人事事務改善の指標—3S を中心に— テレビジョンの利用 日立アナログ計算機と電力問題への応用	亀戸工場 栃木工場 戸塚工場 茂原工場 中央研究所 日立研究所 中央研究所	石橋正男 大津圭三郎 溝井正人 橋本一二雄 三浦武雄 小林栄二 繁田道男
科学技術社 応用物理	コッククロートワルトン型加速装置, ファンデグラフ型加速装置同位元素分離装置 原子炉実時間シミュレータ ベータトロンについて (電子線用ドーナツの研究)	中央研究所 中央研究所 亀戸工場 中央研究所 中央研究所 中央研究所	嶋井章 大島裕之助 繁田道男 梶原真塩 北川公一 北川公一 福元一郎 柴田則夫
原子力産業会議 原子力産業会議 日本金属学会	酸化トリウム泥漿中の放射線分解ガスの再結合触媒 ウラン水溶液 (均質炉燃料としての) 合金, 白鑄鉄初晶中の Ni, Cr 濃度	中央研究所 中央研究所 中央研究所	北川公一 北川公一 福元一郎
工業技報社 電気学会編集課	金属防蝕新聞発刊の挨拶 On Computing Errors of an Integrator For a Slow Type Electronic Analog Computer (低速型アナログ計算機用積分器の演算誤差について)	中央研究所 中央研究所	北川公一 三浦武雄 阿部善右衛門 永田稷
高分子学会編集部 鉄道協会 産業機械工業会 日本経済新聞社 日本食品協会 鉄鋼と金属社 日刊工業新聞社	高分子の酸化の研究 (第4報) ブラシ動作不良の原因と対策 シ ョ ン ベ ル 電気冷蔵庫にも鍵を 電気冷蔵庫の話 最近の分塊およびスラブミル用電気品 比色法による濃度測定	中央研究所 日立研究所 本社 本社 本社 本社 本社	川松俊治 一木利信 柴田研治 三宅正雄 橋本正雄 井上清二 藤本祐達 長島千夫
株式会社農材弘報社 日本産業機械工業会	有線放送電話の計画と設計について 大型可逆式四重冷間圧延機, 薄板コンビネーションシステムセンジマール	本社 本社	青野正躬 富山繁人
日本産業機械工業会 荷役機械化協会 特殊鋼倶楽部	フィッシュポンプによる魚の荷役について フィッシュポンプによる魚の荷役について 日本鉄板株式会社納め ZR-22-50 型センジミア式延機冷間圧	本社 本社 本社	堀田正雄 堀田正雄 本田春生