U.D.C. 621.315.21 : 621.39

ヘリカルヒョウタン形通信ケーブルの機械的特性

Mechanical Characteristics of Helical Gourd Shaped Communication Cables

福田重穂* 鈴木敏雄* 伸沢亮二*
Shigeho Fukuda Toshio Suzuki Ryôji Nakazawa

内　容　梗　概

最近日立電線株式会社で開発したヘリカルヒョウタン形ケーブルは，従来より振動防止上きわめて有効と認められてきたねん回架設の必要がなく，クランプ近傍のくび部切り離し工法も容易にできる構造を，製造時にすでに付与した自己支持形ケーブルであり，架設時傾斜地でもより合わせピッチがずれず，架設上，保守上多くの利点を持っている。機械的特性上重要と思われる二，三の点について実験的検討を行なった結果は次のとおりである。

（1） ヘリカルヒョウタン形ケーブルの抗力係数は約 0.59～0.68 の間にあり，ヘリカル構造による空気抵抗の減少はおよそ 1/2 である。

（2） 同ケーブルの架線実験において，揚力の減少に伴い，強風時の振動が非常に減少することが認められた。

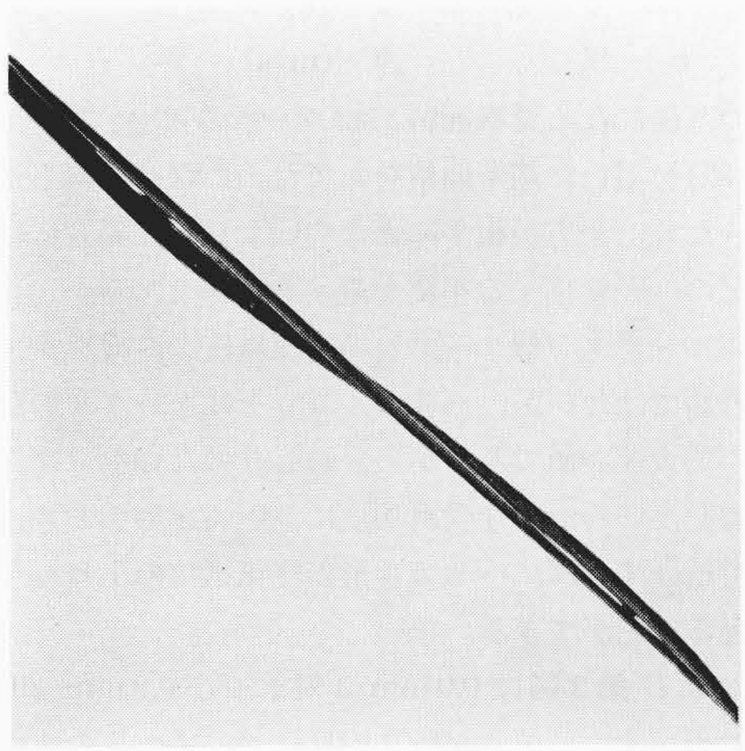
（3） 張力がますと，荷重分担が心線側から吊(つり)線側にますます移行する有利な傾向を認めた。

1. 緒　　言

自己支持形の架空通信ケーブル(以下ＳＳケーブルと略称する)としてヒョウタン形ケーブルが日立電線株式会社の手によって誕生以来，満 10 年になり，さらにこれを発展させた新製品ハンガおよびスリットヒョウタン形ケーブルをあわせると現在までに延べ 12,000 km を越える量が使用されている。このように好評を得た理由はもちろん，吊線と通信線が同時押出しによる共通プラスチックシースで一体化し，そのためＲＤワイヤあるいはラッシング形のＳＳケーブルに比較して架設工事や保守が容易であるところにある。

しかし長期にわたる使用実績は，長所が広く認識される一方，軽量でヒョウタン形という特殊形状の断面を持つため，強風に吹きさらされる場所で振動しやすいという短所も現われたため，この問題に対する解決策[1]が積極的にとられ，くび部切離しクランプ方式，ねん回架設工法[1][2]，およびハンガ，スリット形ケーブルなどの開発が行なわれ，実用上の障害をとり除くことができた。

ヘリカルヒョウタン形ケーブルは以上の長い年月にわたって明らかになったＳＳケーブルに必要な条件をすべて盛り込んだ構造を持つもので，最近製造に成功するとともに，顧客の間に急速に使用されはじめたケーブルである。すなわち，構造的にはスリットヒョウタン形ケーブルと同様，共通プラスチックシースとスリットを有し，吊線に通信線が一定ピッチでまきついた形をとり，すべてこれらが製造工程中で行なわれる。本ケーブルの特長をあげると，まずヘリカル形であるため，普通ヒョウタン形ケーブルにとって振動防止にねん回架設が非常に有効であるように強風地帯の使用に適しており，架線後のねん回工事という余分の工数を必要としない。また同時にスリット形でもあり，吊線金具近傍のくび部の切離し工事を容易かつ確実にできる。共通シースの連絡はくび部だけであるので製造時に通信線心を吊線よりいくぶん長めに入れることが効果的に行なわれやすく，それがまたヘリカル形としているため，外観上の均一性を保つことが可能である。またケーブル架設時の金車通過や傾斜地の架設に際して，従来の２個より形ＳＳケーブルのように通信線のまきつけピッチの乱れや，たれ下がりなどの障害が発生せず，８字取り延線作業とか接続作業も共通プラスチックシースのため能率的に行なえるのは大きな特色の一つである。



第１図　ヘリカルヒョウタン形ケーブルの架線状況

以上，日立電線株式会社で開発実用化したヘリカル形ヒョウタン形ケーブルは架設上，保守上多くの利点を持っているが，その製造および構造上からくる最も問題と思われる機械的特性，すなわち風圧抵抗，振動ならびに吊線と通信線心線に分担されるひずみについて，他形式のＳＳケーブルと比較検討した結果を述べる。

2. ヘリカルヒョウタン形ケーブルの風圧振動

ヘリカルヒョウタン形ケーブルは製造時にすでに第１図に示す形状外観を持ったケーブルである。このように通信線本体が吊線の周りに一定ピッチとあるすき間を設けて，まきついた構造は風圧振動に対して著しい防振効果があることが，従来より架線現地において実証されている。

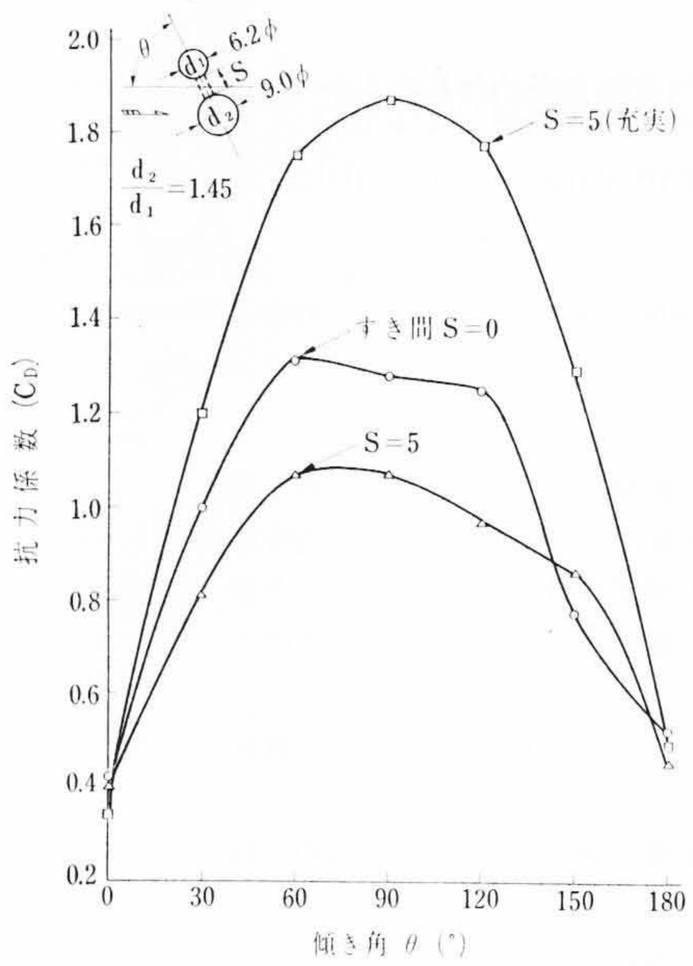
2.1 抗力係数および揚力係数

ケーブルの単位面積当たりの風圧荷重，すなわち抗力と揚力は一般に次式で示される。

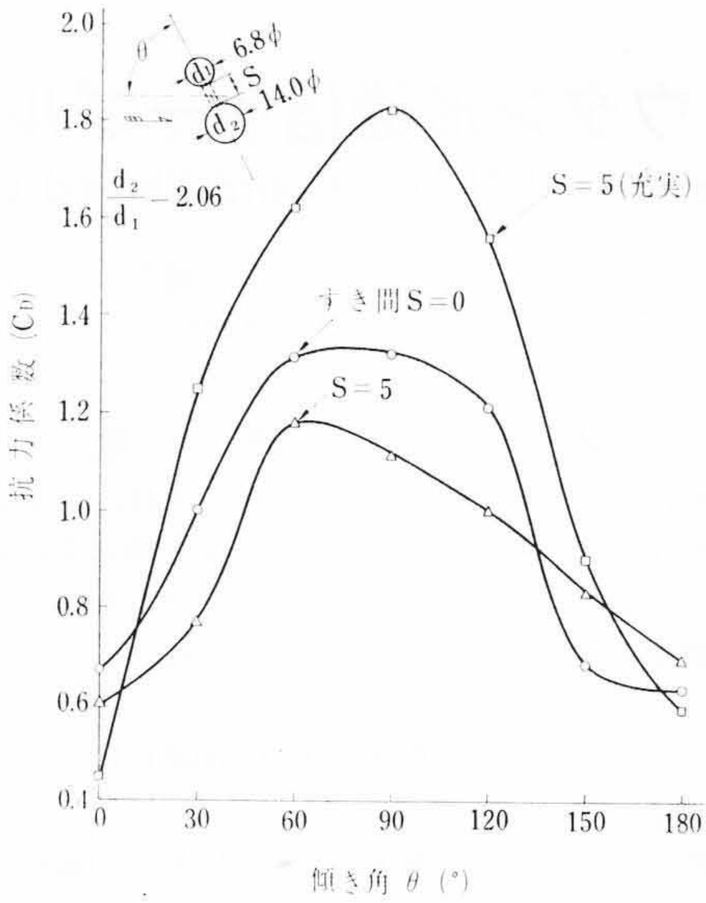
$$D=\frac{1}{2}C_D\rho v^2,\quad L=\frac{1}{2}C_L\rho v^2$$

ここで，
D：抗　　力　(kg/m²)
C_D：抗力係数
L：揚　　力　(kg/m²)
C_L：揚力係数

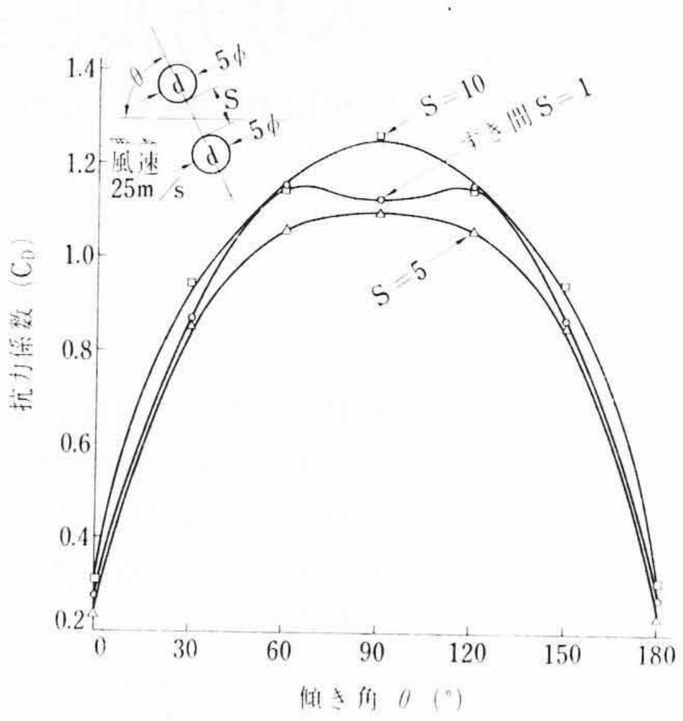
* 日立電線株式会社日高工場



第2図　傾き角と抗力係数の関係



第3図　傾き角と抗力係数の関係



第4図　傾き角と抗力係数の関係

ρ：空気密度　(kg-s^2/m^4)
v：風速　(m/s)

荷重計算の基礎になる受風面積にはケーブルの高さとして d_1+d_2 (**第2図**参照)を用いた基準面積をあてた。これは吊線と通信線の間隔で異なったり，一方が相手にまきついたりした場合には，実際受風面積がそのつど変化する不便を避けるためである。

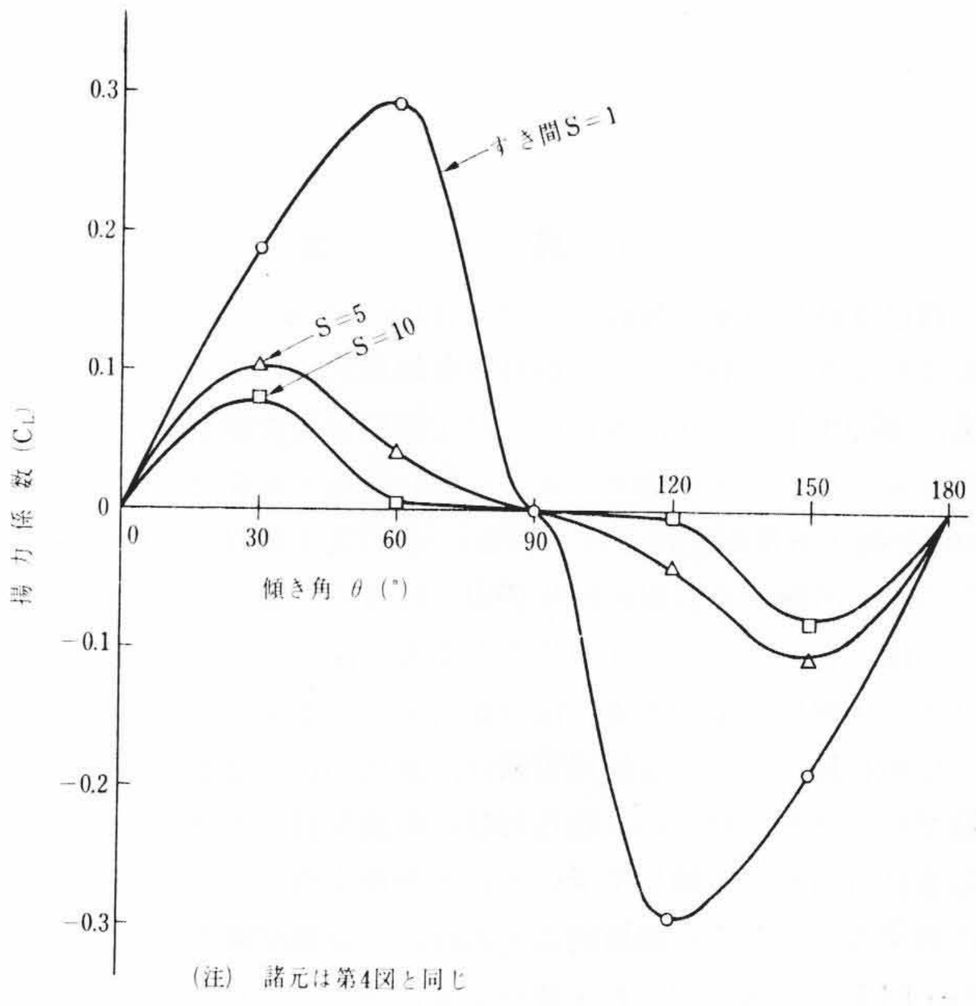
ヘリカルヒョウタン形ケーブルの空気抵抗を直接風洞で求めるのは実験上容易ではないが，ヘリカルピッチはケーブルの高さに比較してきわめて大きい値であるから，ねじりのないケーブルの抗力あるいは揚力を，いろいろな受風角度について求めておき，それを角度について積分すれば，ヘリカル形の空気抵抗の1ピッチ当たりの平均値を得ることができる。

第2図および**第3図**は0.9 mm 3対および0.9 mm 20対の製品に寸法的に相当するモデル平行2円柱について，そのすき間，風に対する傾き角を変え，風速12～48 m/sの範囲の風洞実験により測定した抗力係数[3]を表わしたものである。そこでこれらの図に基づいて傾き角θについて積分し，ヘリカルヒョウタン形ケーブルとしての平均的な抗力係数を求めると**第1表**が得られる。**第2図**および**第3図**の傾き角θ=90度の場合がヘリカル形にしない構造のもので，それらの抗力係数と比較すると，ヘリカル形は約47～56%の間にあり，空気抵抗が著しく減少することがわかる。ヒョウタン形ケーブルはねん回によって幾何学的な受風面積が約75%に減少するが，ヘリカルにするとそれを上回る抵抗の減少があり，いわば流線形に近づけた効果をもたらすということができる。なお**第1表**よりわかるように吊線と通信線にすき間があるほうが抗力係数が低いが，ヘリカルであるため，すき間の大きさの影響はそれほど大きくない。

第1表　ヘリカルヒョウタン形ケーブルの抗力係数

ケーブルの寸法 (mmφ) / すき間 s (mm)	吊線部＋ケーブル本体	
	6.2+9.0	6.8+14.0
0	0.68	0.65
5	0.59	0.62
5（充実）	0.94	0.86

注：受風面積：$(d_1+d_2)\times$(長さ)
最下欄は普通ヒョウタン形ケーブルのねん回架設に相当。



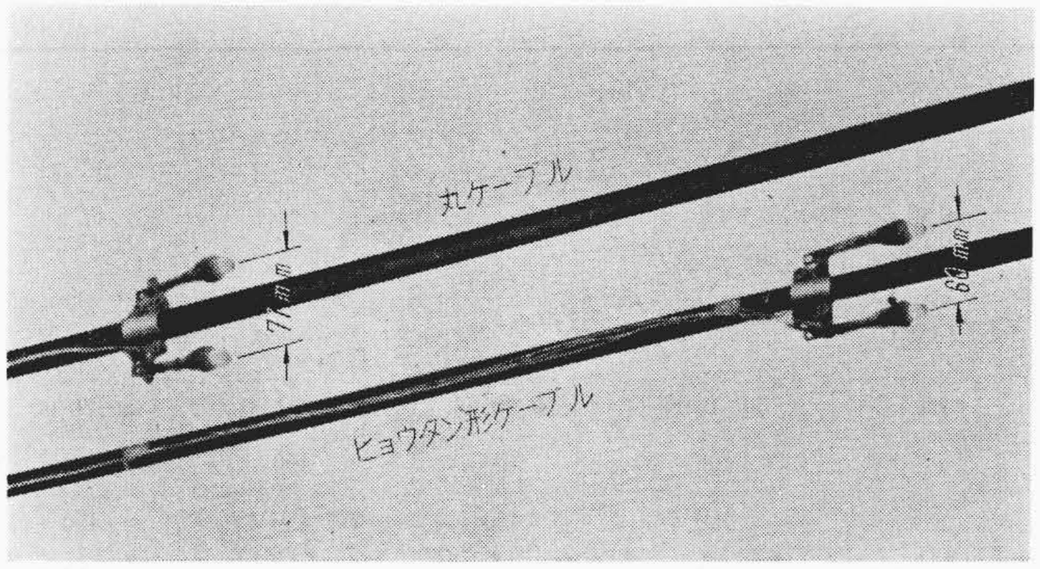
(注)　諸元は第4図と同じ

第5図　傾き角と揚力係数の関係

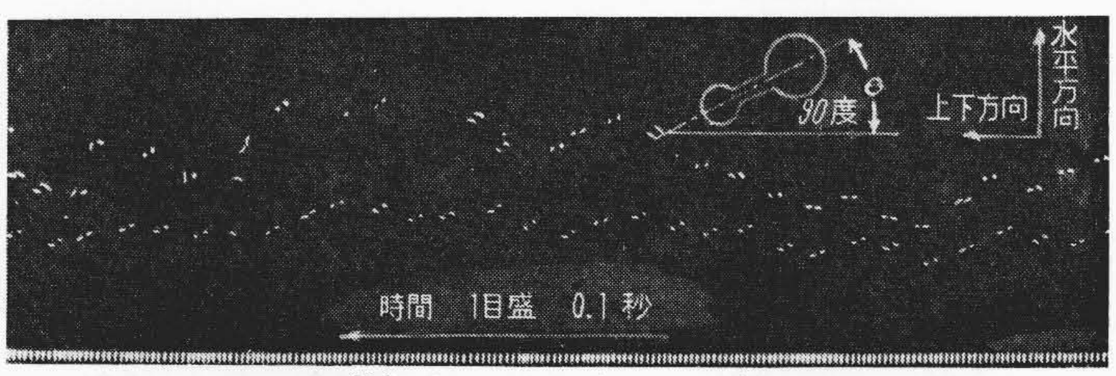
以上の実験はケーブルモデルに作用する風圧荷重を直接ばねばかりで測定したものであるが，たがいに等しい直径をもつ平行2円柱のうちの1個の鋼管（外径5 mmφ）の管壁に0.3 mmφの孔をあけ，この圧力孔を風に対して回転して円柱まわりの圧力分布を求め，その積分値より抗力係数と揚力係数を求めた結果[4]を示すと**第4図**および**第5図**のようになる。このうち**第5図**に示した揚力がとくにこの種架空ケーブルのダンシング現象に関係が深いが，吊線と通信線のすき間が小さいほど揚力の値が大きく，その極値の位置もヒョウタン断面が垂直な姿勢をとる傾き角θ=90度の位置に近づいてくる。ヘリカルヒョウタン形ケーブルの揚力は，同図の傾き角に関する積分ということになり，理論上は零であるといえ，実際上は部分的な揚力の絶対値そのものが小さいほうが好ましいから，その点吊線と通信線のすき間が大きいほうが振動上有利であると考えられる。

2.2　実架線による振動実験

無ねん回のヒョウタン形ケーブルはその特殊な断面のため，強風にさらされる地形のところで振動を発生することがある。これは**第5図**に示した翼と同じ作用の揚力を生じ，それがケーブル自体の運動，とくにねじり振動と結ばれてさらに助長される一種の自励振動であると考えられる。



（a）豆電球のとりつけ状況



（b）オシログラム例

注：　風速：96 m/s　　上：ヒョウタン形ケーブル
　　下：丸ケーブル　19.5φ

第6図　ねじり振動の測定方法

そこでまずねじり振動を測定してみた。対象を 0.9 mm 2対ポリエチレン絶縁ビニルシースヒョウタン形ケーブル無ねん回のものとし，83 m 1径間の台風時の観測を行なった。方法は**第6図**に示すように，ケーブルの垂直上下にとりつけた2個の豆電球の動きを 36 度の窓をあけた回転円板シャッタを通してフィルムに記録したもので，同図に平均風速 9.6 m/s の場合のオシログラム例を示した。そのねじり振動の測定結果は**第7図**に示すとおりである。なお本実験の測定箇所は木柱より 1/4 径間のところであった。同図よりおよそケーブルの姿勢は，とくにはずれた点を除くと傾き角にして 50～100度，約 0.45 c/s の間で振揺していることが認められた。この場合の上下方向の全振幅は 201 mm で丸ケーブルの2倍，振動数は 0.5c/s であり，上下振動とねじり振動がかなり密接な関係にあることがうかがわれる。特にヒョウタン形ケーブルのように吊線と通信線の間が充実になっているものは，そのねじりの振動の姿勢範囲が**第5図**から明らかなように揚力の大きい範囲にまたがっているため，上下振動を誘発しやすいことが理解される。この事実からスリットを設けて揚力の絶対値を小さくしヘリカル構造にしてこの揚力を，さらにうち消すことをねらったヘリカルヒョウタン形ケーブルが振動に対して適切な構造を持っているということがいえよう。

次にヘリカルヒョウタン形ケーブルの振動抑止効果について実径間 40m，1径間による確認実験を行なった。使用ケーブルは 0.9 mm 2対ポリエチレン絶縁ビニルシースヒョウタン形ケーブルで，無ねん回の普通形とヘリカル形を平行に同時架線し，中央部分の振幅を 8 mm シネで記録した。試験条件および結果は**第8図**に示すとおりである。普通ヒョウタン形は半波長 13m，振動数 2c/s，全振幅 240 mm であったのに対し，ヘリカルヒョウタン形は全振幅 80 mm で約 1/3 に振幅が減少した。そのうえ，明白な振動数を認められないほどかなり不規則な振動であり，共振状態からはずれていたことは同ケーブルの防振効果が顕著であることを示すものと判断される。

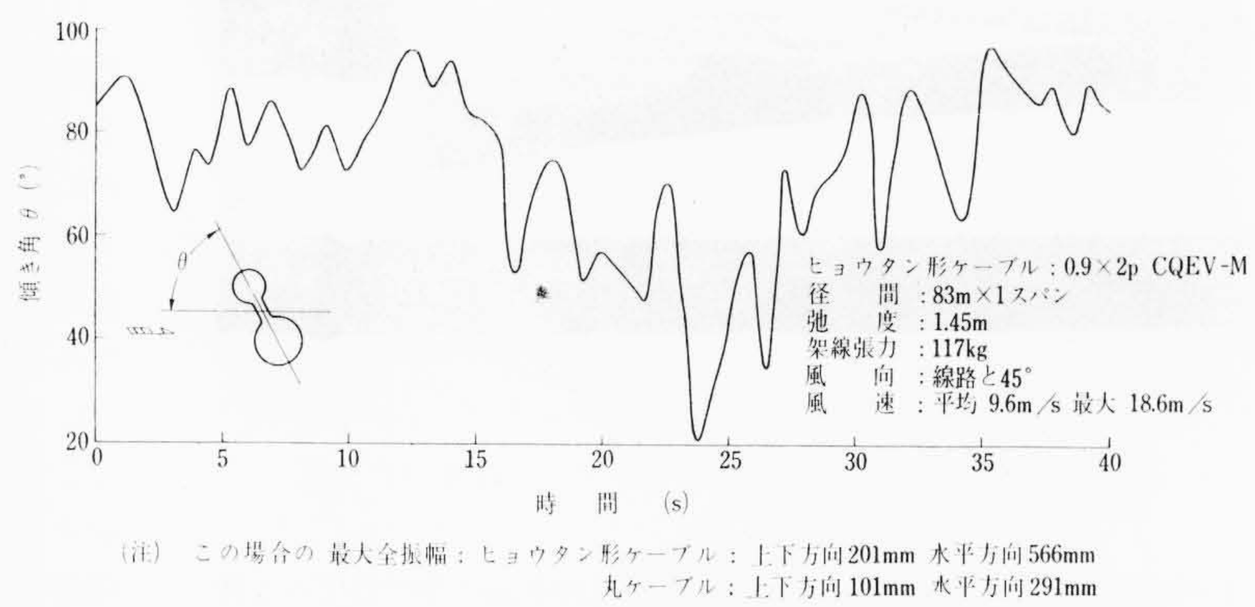
3. ヘリカルヒョウタン形ケーブルの分担ひずみ

ＳＳケーブルにおいては張力を吊線が主として分担し，できるだけ通信線の心線にひずみを加えないことが，導体の疲労，ポリエチレン絶縁および分岐作業上望ましい。しかし，従来の2個より形のＳＳケーブルではより合わせピッチのずれを防ぐためにも通信線の本体に相当大きい張力を与えて吊線にまきつける必要があり，また普通ヒョウタン形ケーブルにおいても，振動防止上ねん回架設を要する場合があり，心線に若干の応力が加わるのは現状では避けがたいところである。その程度ではもちろん，実用上の支障はないが，以上のケーブルと比較しながら，ヘリカルヒョウタン形ケーブルの架設時に，吊線と通信線に分担されるひずみについて実験的検討を行なった。

3.1　供試ケーブルとひずみの測定方法

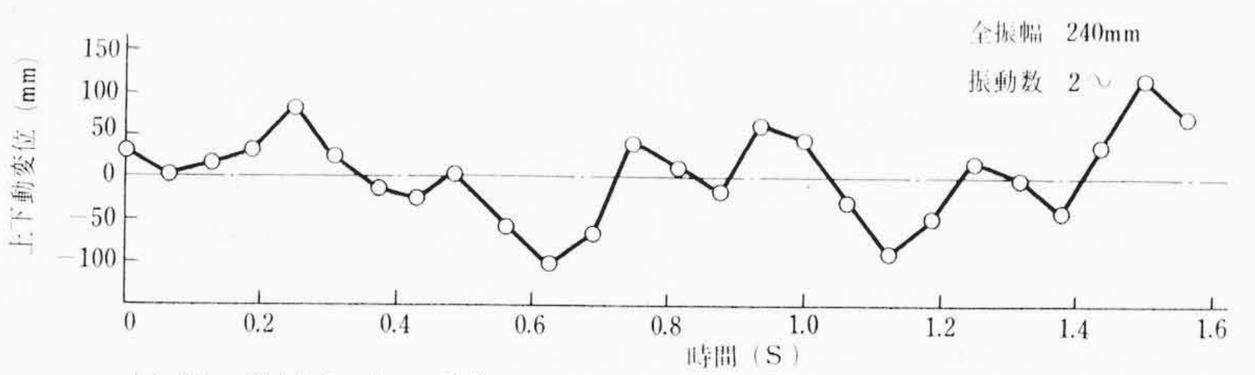
実験に使用したケーブルは８通りで，諸元の詳細は**第2表**に示すとおりである。試番①～④は 0.9 mm 2対で，⑤～⑧はおもに金属テープで遮へいした 0.9 mm 15 対である。構造的にはヘリカルヒョウタン形，ハンガヒョウタン形とそれをねん回架設したもの，さらに吊線に通信線が一定ピッチでまきついた形の2個より形ＳＳケーブルについて比較した。

これらケーブル各試料 4.5 m の両端を吊線と通信線別に，それぞれシース上から鋼スリーブで圧縮し，両者を金具で締めて一体化した。荷重はこの圧縮スリーブからさらに外方に出ている吊線の7個より鋼線を合金端末処理した部分に加えることにした。次にひずみの測定にはストレンゲージ（長さ 3 mm，幅 2 mm，120Ω）2枚

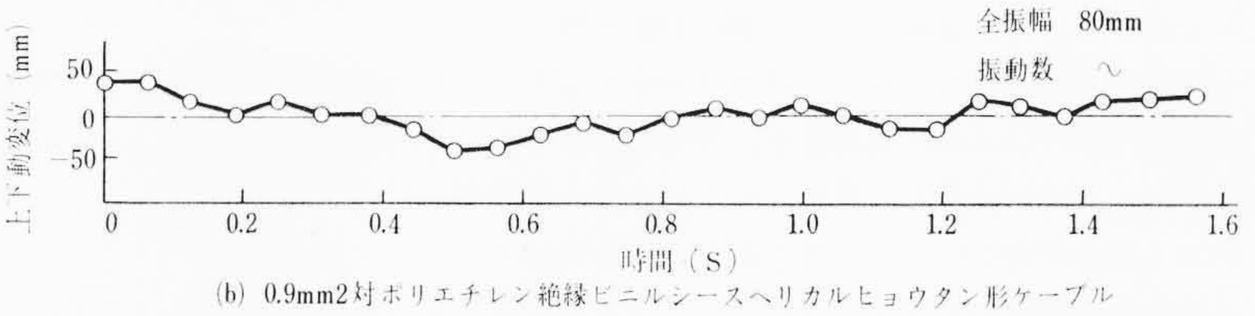


（注）　この場合の 最大全振幅：ヒョウタン形ケーブル：上下方向201mm 水平方向566mm
　　丸ケーブル：上下方向101mm 水平方向291mm

第7図　ヒョウタン形ケーブルのねじり振動



(a) 0.9mm2対ポリエチレン絶縁ビニルシースヒョウタン形ケーブル　(0.9×2p CQEV-M)



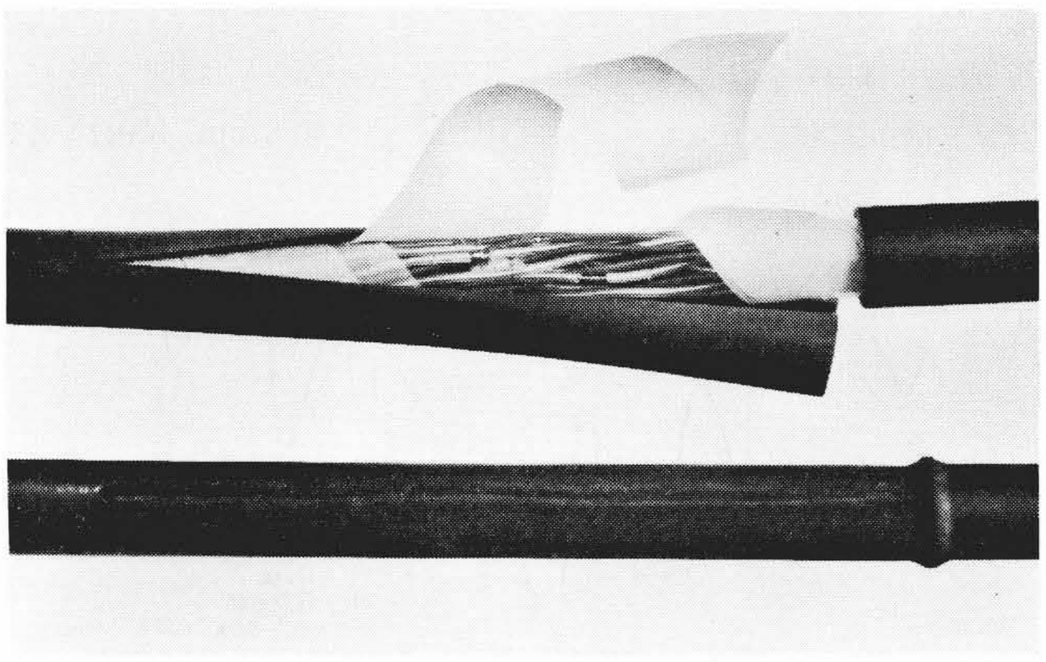
(b) 0.9mm2対ポリエチレン絶縁ビニルシースヘリカルヒョウタン形ケーブル

（注）　径間：40m×1スパン　弛度：0.196m（径間の約0.5%相当）
　　風速：14～15m/s（1分間の平均風速）　風向：線路に対して80°

第8図　ヘリカルヒョウタン形ケーブルの振動

第2表 ひずみ測定用供試SSケーブル

部分	項目＼試番＼ケーブルの形＼対数	0.9×2p ポリエチレン絶縁ビニルシース市内星ケーブル				0.9×15p ポリエチレン絶縁ビニルシース市内対ケーブル			
		ヘリカルヒョウタン形	ハンガヒョウタン形		2個より形	ヘリカルヒョウタン形		2個より形	
			無ねん架	ねん架		銅テープ遮へい	アルミテープ遮へい	銅テープ遮へい	遮へいテープなし
		1	2	3	4	5	6	7	8
ケーブル本体	対，カッドよりピッチ(mm)	80（右）	80（右）	80（右）	80（右）	50,70,90（左）	50,70,90（左）	50,70,90（左）	50,70,90（左）
	集合よりピッチ(mm) 第1層	—	—	—	—	400（左）	400（左）	400（左）	400（左）
	集合よりピッチ(mm) 第2層	—	—	—	—	450（右）	450（右）	450（右）	450（右）
	コア上り外径（mmφ）	4.6	4.6	4.6	4.6	14.0	14.0	14.0	14.0
	押え巻き，遮へいテープ（厚×幅，mm）	ポリエチレンテープ：0.15t×2枚	ポリエチレンテープ：0.15t×2枚	ポリエチレンテープ：0.15t×2枚	ポリエチレンテープ：0.15t×2枚	ポリエチレンテープ：0.2t×2枚 軟銅テープ：0.1t×1枚 PVC引綿テープ：0.25t×1枚	ゴムテープ：0.5tたて沿い 押え巻き糸：デリレン コルゲートつきアルミテープ：0.2tたて沿い	試番5に同じ	ポリエチレンテープ：0.2t×2枚
	ビニルシース仕上り径×厚さ（mm）	9.0φ×1.8t	9.0φ×1.8t	9.0φ×1.8t	9.0φ×1.8t	20.0φ×2.0t	21.5φ×2.0t	20.0φ×2,0t	19.0φ×2.0t
吊線	鋼素線　本数/直径（mm）	7/1.2φ	7/1.2φ	7/1.2φ	7/1.2φ	7/2.0φ	7/2.0φ	7/2.0φ	7/2.0φ
	ビニルシース仕上り径（mm）	5.6φ	5.6φ	5.6φ	5.6φ	8.0φ	8.0φ	8.0φ	8.0φ
ハンガー部	厚さ×幅×長さ（mm）	2×2×20	2×5×20	2×5×50	—	2×2×20	2×2×20	—	—
	間隔（mm）	550	550	550	—	1,000	1,000	—	—
まきつけピッチ（mm）		1,000	—	5,000	400	3,000	3,000	900	900



第9図　ケーブル心線へのストレンゲージはりつけ状況

を吊線素線および通信線の最外層の心線導体表面に曲げひずみを除けるようにそれぞれ貼(は)りつけて行なった。通信線のゲージ貼りつけ状況を示したのが**第9図**で，開腹部はただちに溶着し，ゲージのリード線には隣りの心線を用いた。なお荷重5kgを零荷重とみなして荷重を100kgとびに増加，減少したときのひずみを測定した。

3.2　ひずみ測定結果とその検討

吊線素線と通信線心線のひずみを測定した結果を**第10図**および**第11図**に示した。これらの図から明らかなようにケーブルの種類によって吊線のひずみはほとんど変わらず，心線のひずみより大きく，当然ながら荷重の大部分を吊線が分担していることがわかる。そこでいま荷重の増加の場合について，心線のひずみを吊線のひずみを基準とした百分率で示すと**第12図**が得られる。

まず2対ケーブルにおいてはヘリカルヒョウタン形ケーブル①は心線対吊線のひずみ比が高荷重，すなわちひずみの絶対値が大きくなるにしたがい減少し，荷重分担がますます吊線側に移行する傾向がある点は好ましい。ヘリカル形の場合は普通ヒョウタン形ケーブルのねん回架設のピッチより短いヘリカルピッチであるから，荷重が増すとともにスリットの存在もあり，通信線本体が吊線に接近し，そのため軸方向の長さに余裕が出るためと思われる。これに対してハンガヒョウタン形ケーブル②，③は，はじめのひずみ比が低く，荷重とともに高くなるが，吊線と通信線本体が平行かもしくはねん回ピッチが長いため前述の効果が寄与しないからであろう。2個より形ケーブルは2対の場合のひずみ比が，荷重とともに若干上がり気味であり，相当大きい値である。

15対ケーブルにおいても，ヘリカルヒョウタン形ケーブル⑤，⑥は荷重とひずみ比の関係は2対と同様であったが，ひずみ比の値は2対の場合より若干高めである。これは2対の場合無遮へいであるのに対し，15対は金属テープ遮へい付きであるためと考えられる。2個より形⑦，⑧のひずみ比はヘリカル形より大きく，増加傾向を認めたが，これは通信線が吊線に密着して強い張力でまかれているためと考えられる。

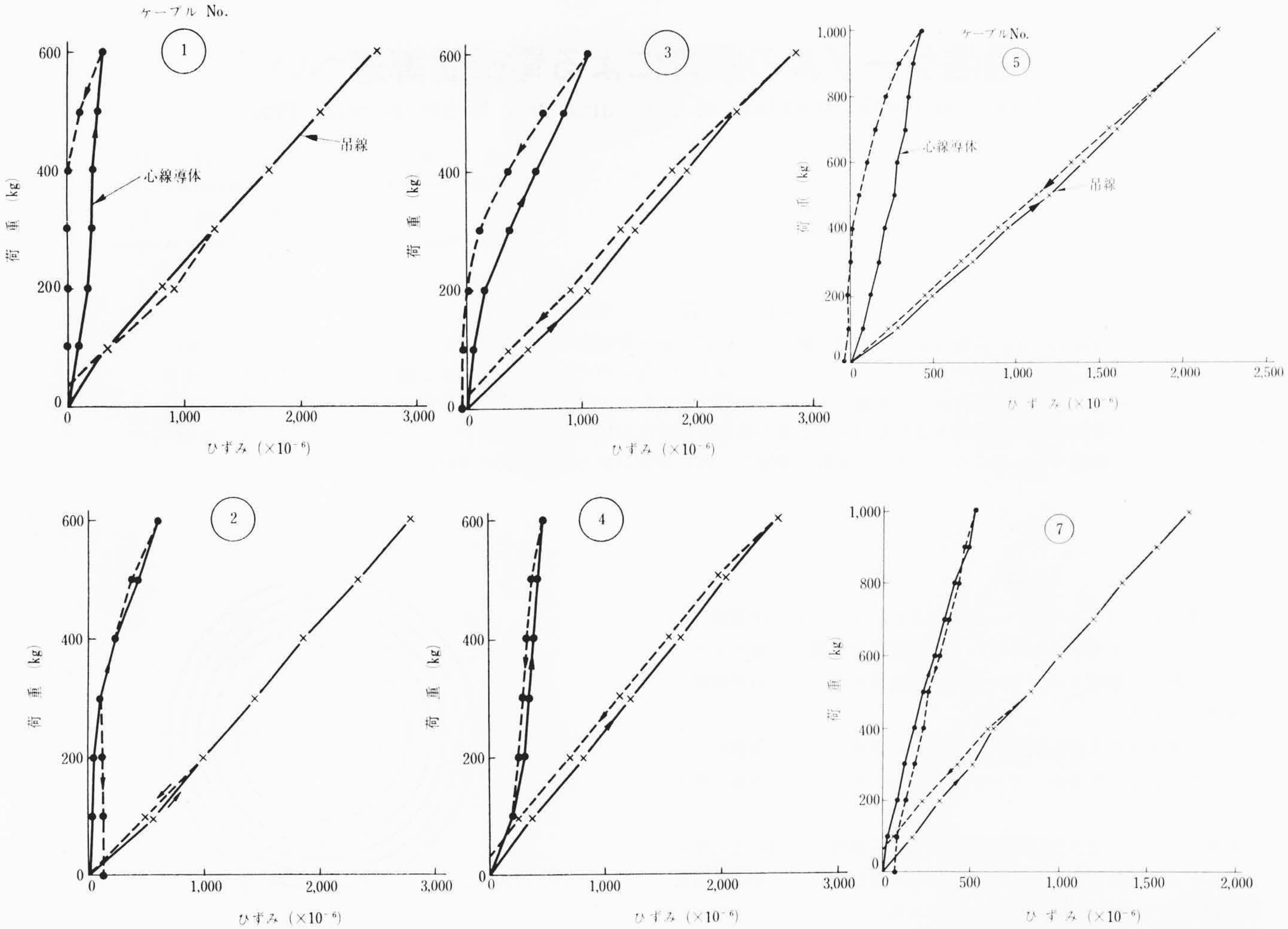
以上は荷重をあげてゆく場合であったが，減少の際にはヘリカルヒョウタン形ケーブルはおしなべて**第10図**および**第11図**の点線が示すように心線導体のひずみが急速に減少することが認められた。荷重を増加してゆく際には，さきに述べたように通信線が距離的に吊線に接近する過程で，プラスチックその他の非復元的な変形を伴い，荷重減少時は，そのためにでた通信線の実質的な長さ増分により，通信線と吊線の荷重分担比が変わり，通信線の荷が軽くなった結果と思われる。このように荷重増加および減少時のひずみ比の減少は長い期間きびしい荷重条件で使用される場合，心線ひずみが軽減してゆく傾向がある点は，ヘリカルヒョウタン形ケーブルの一つの特長であると考えられる。

4. 結　　言

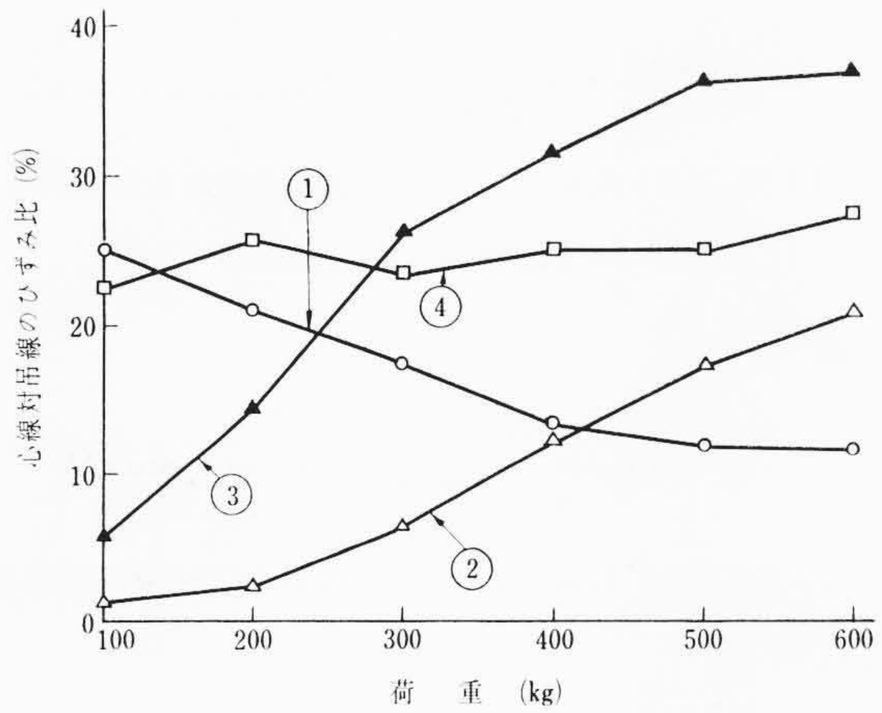
以上新たに開発したヘリカルヒョウタン形ケーブルの機械的特性の二，三について検討した結果を述べたが，これを要約すると次のようになる。

（1）　ヘリカルヒョウタン形ケーブルの抗力係数 C_D は約0.59～0.68(**第1表**)であり，それぞれの風に対して直角な断面姿勢の抗力係数のおよそ1/2に減少することがわかった。

（2）　ヘリカルヒョウタン形ケーブルの1ピッチ当たりの平均揚力は理論上零であるが，吊線と通信線にすき間があるため，部分的揚力の値も小さい。またすき間が大きいほど揚力係数が小さくなることを認めた。

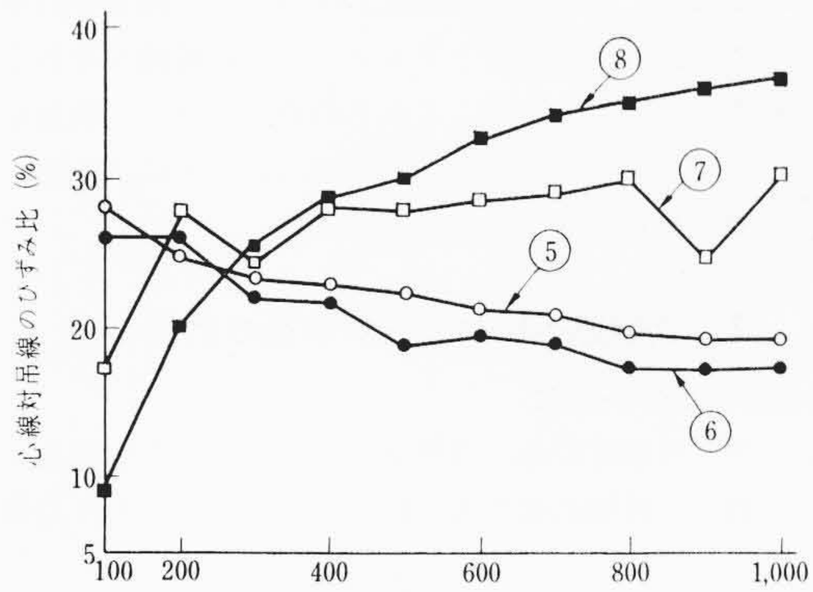


第 10 図　0.9 mm 2 対ケーブルのつり線
および通信線心線の分担ひずみ



(a) 0.9mm 2対

第 11 図　0.9 mm 15 対ケーブルのつり線
および通信線心線の分担ひずみ



(b) 0.9mm 15対

第 12 図　心線対つり線のひずみ比

（3）普通ヒョウタン形ケーブルのねじり振動になる断面姿勢は傾き角 θ にしてほぼ 50～100 度の範囲にあり，揚力の大きい領域にまたがり，上下振動と密接な関係があることが認められた。

（4）ヘリカルヒョウタン形ケーブルは架線実験の結果でも上記揚力の減少に伴い，強風時の振動が減少することが確認された。

（5）ヘリカルヒョウタン形ケーブルは心線対吊線の分担ひずみ比が低荷重，すなわちひずみが小さいうちより，むしろひずみが大きく高荷重で使用されるほど減少し荷重分担が吊線側にますます移行する傾向があることがわかった。

終わりにケーブルの空気抵抗に関する風洞実験による貴重なデータを寄せられた日立製作所中央研究所堀主任研究員ならびに本研究にご指導，ご激励をいただいた日立電線株式会社日高工場杉山，山本両部長，星，堀口両課長をはじめ，関係者各位に厚くお礼申しあげる。

参　考　文　献

（1）福田，堀口，堀：日立評論 **45**, 1321（昭 38-8）
（2）J. Bluring, H. F. Snow : P. O. E. E. J., **52**, 54 (Apr. 1959)
（3）堀：日本機械学会前刷集（23）510（昭 35-4）
（4）堀：第 9 回応用力学連合講演会前刷集 226（昭 34-8）