

400kV 級超高压送電線（4導体）の短絡実験

Experiments on the Shortcircuit of 400 kV Class Extra-High Voltage Transmission Line (4 conductors)

山 本 三 郎* 福 田 重 穂**
Saburo Yamamoto Shigeho Hukuda
星 野 弘 之** 永 野 宏 郎**
Hiroyuki Hoshino Hiroo Nagano

内 容 梗 概

諸外国においてはすでに 400 kV 級送電線が運転にはいり、そのため国内においてもこの種送電線路として 3～4 導体を考え、種々の調査が開始された。われわれとしてはすでに 2～3 導体送電線の短絡時における機械的な諸問題に関して報告してある。今回は引続いて 240 mm² ACSR 4 導体送電線を径間 350 m の引留鉄塔に架線し、短絡時ならびにスリットジャンプ時の導体相互の衝撃力、スペーサ応力、スペーサの運動および電線の振動状況などについて実験的検討を行い、4 導体の設計、建設に必要な機械的問題を明らかにした。

1. 緒 言

最近の電力需要は世界的にますます増大する傾向にある。このため大電力の経済的送電を目標に各国では超高压大容量送電の研究が盛んに行なわれている。

この結果送電電圧は年々上昇のみちをたどり、ヨーロッパ特にドイツでは Rommerkirchen-Hoheneck 間 340 km にわたり 4 導体送電線 (4 × 236 mm²)⁽¹⁾ が建設され、1957 年末 380 kV の送電が開始された。また周知のようにソ連においてもすでに Kuibyshev-Moskau 間 850 km にわたり 3 導体送電線 (3 × 480 mm²)⁽²⁾ による 400 kV 送電が運転されている。

一方国内においては東京電力株式会社の西東京幹線、電源開発株式会社の只見幹線などの 275 kV 級複導体送電線が開始された。その後東北電力の東北幹線(本名一仙台間)および関西電力など各所に複導体の建設が行われている。

このように複導体による送電がいとぐちについた段階であるにもかかわらず、近時急速に 400 kV 級送電に対する関心が高まり、このための専門委員会が組織され、設計、建設に必要な調査が盛んに行われ、近い将来国内においても 3～4 導体による 400 kV 級送電が実現するものと考えられるに至った。

以上のような状況より 400 kV 級多導体送電線に関する技術的諸問題の究明、特にわが国の気象条件そのほかを合わせ考えると多導体方式の機械的究明をすることが必要である。

短絡時の機械的問題に関する研究は従来より 2 導体については各方面で種々の規模の試験線^{(3)~(5)}によって行なわれてきたが 400 kV 級線路に適した 3～4 導体についての実験はきわめてまれである。

幸に日立製作所日立研究所の援助により 150,000 kVA の短絡発電機を運転し短絡実験を行うことができたので、前に報告した 2～3 導体⁽⁶⁾ に引続いて 350 m の実径間による 4 導体送電線の短絡実験および模擬スリット落下実験を行った。以下これらの測定結果について述べる。

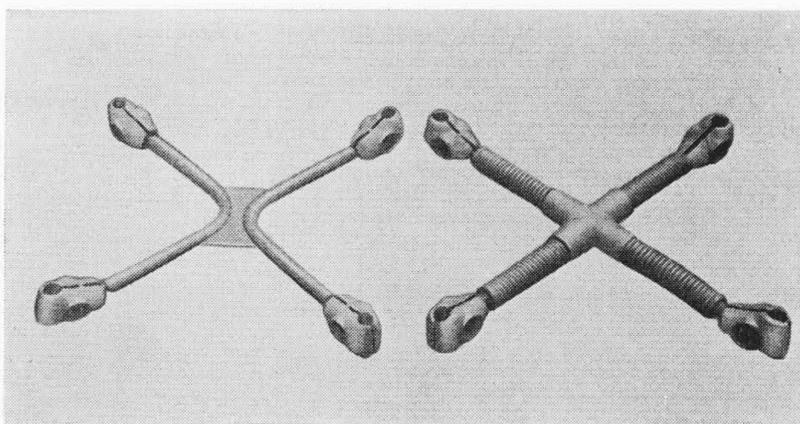
2. 実験設備および実験条件

2.1 実験設備

アメリカ⁽³⁾ フランス⁽⁷⁾ などの諸外国においても短絡実験は実際規模の試験送電線を利用して行われている。たとえば 2 × 483 mm² ACSR、径間 120 m、電流(対称値) 18,500 A、5 サイクル程度のも

* 日立電線株式会社電線工場 理博

** 日立電線株式会社電線工場



左: ボールソケット形スペーサ 右: スプリング形スペーサ
第1図 導体用スペーサ

のである⁽³⁾。わが国においても 2 × 240 mm² ACSR、径間 200 m、電流 15,000～18,000 A (直流部を含む実効値) 8 サイクル程度の実験が行われている⁽⁴⁾。

この種実験は完全な縮小模型実験が困難であることと、また 3～4 導体の平均径間は 400 m 前後と想定されることから、今回も日立製作所国分工場に建設された 2 基の引留用鉄塔を利用した。

使用した送電線は 240 mm² ACSR、導体間隔 400 mm の正方形配列の 4 導体送電線である。径間は 350 m、架線張力は 1 線当り 1.6 t (温度 15°C) 支持点の地上高は 15.5 m である。

がいしには 2 連耐張がいし (10" 標準がいし × 23 個) を使用した。またスペーサとしては第 1 図に示すようなボールソケット形スペーサまたはスプリング形スペーサの 2 種を用い、これらを 40, 80, 120 m の等間隔にそれぞれ配置した。

短絡電源は 150,000 kVA の短絡発電機 (周波数 62.5 サイクル) で最高約 24,000 A (第 1 波波高値) の電流 (ただし最終波波高値約 17,000 A) を 9～11 サイクル通電した。

2.2 実験条件

短絡電流は最終波波高値にして 10,000～16,800 A、通電時間は 9～11.5 サイクルで電線の衝突直前において電流は切れる。短絡条件と実験項目は第 1 表のとおりである。実験番号 No. 1～5 までは電流を変化した場合、No. 6～10 は各導体の振動軌跡を測定するため、夜間反復繰返したものである。No. 11～14 はスペーサの取付間隔の影響をみるためのもの、No. 15～17 はスプリング形スペーサを使用した実験である。

3. 短絡実験

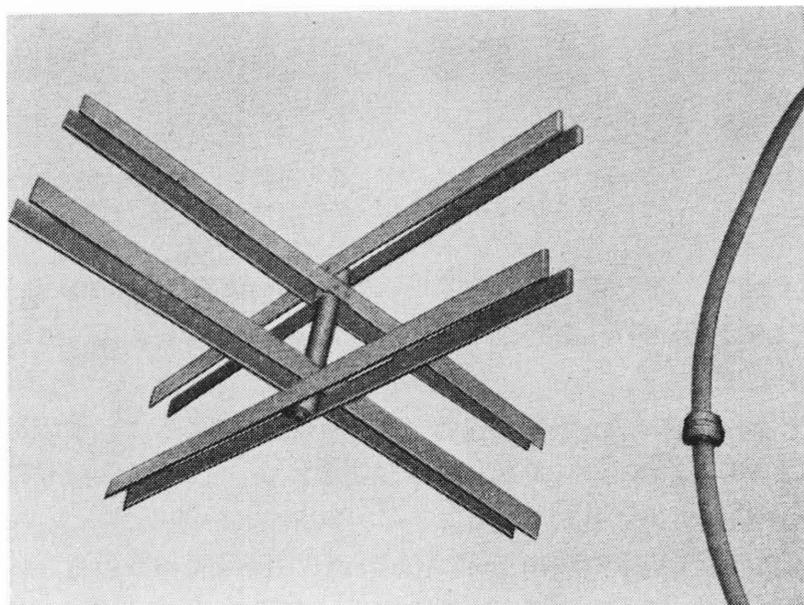
3.1 電線の衝撃力

多導体送電線の各導体間の衝撃は導体表面にコロナ損上有害な傷

第 1 表 短絡実験条件と測定項目

実験番号 (No.)	スパン (m)	スペーサ間隔 (m)	スペーサ形式	電圧 (V)	電流 (A)			通電時間 (サイクル)	測定項目	
					第 1 波高値	3 サイクル後の対称値	最終波高値			
1	350	80	ボールソケット形	6,500	15,700	7,520	10,000	9.5	衝撃力 スペーサ応力 およびスペーサボールソケットの運動	
2	350	80	ボールソケット形	7,500	17,400	8,350	10,800	9.5		
3	350	80	ボールソケット形	8,500	20,400	9,750	12,800	11		
4	350	80	ボールソケット形	9,700	21,200	11,700	15,000	10		
5	350	80	ボールソケット形	10,800	24,200	12,900	16,800	9		
6	350	80	ボールソケット形	10,800	20,400	12,900	16,800	9		導体の振動軌跡
7	350	80	ボールソケット形	10,800	23,800	12,600	16,400	9		
8	350	80	ボールソケット形	10,800	20,400	12,500	16,300	10		
9	350	80	ボールソケット形	10,800	21,200	12,800	16,700	9.5		
10	350	80	ボールソケット形	10,800	19,100	12,600	16,400	9		
11	350	40	ボールソケット形	8,500	17,000	9,600	12,500	11		衝撃力 スペーサ応力 およびスペーサボールソケットの運動
12	350	40	ボールソケット形	10,800	22,300	12,100	16,000	11		
13	350	120	ボールソケット形	10,800	21,800	12,100	15,800	11		
14	350	120	ボールソケット形	8,500	16,700	9,800	12,500	11		
15	350	80	スプリング形	10,800	19,500	12,600	16,300	10.5		
16	350	80	スプリング形	10,800	20,700	12,200	16,500	11.5		
17	350	80	スプリング形	8,500	16,900	9,500	12,500	11		

発電機周波数 62.5 Hz, 3 サイクル後の対称値は実効値。



左：案内金具と衝撃銅片 右：ハンマ
第 2 図 4 導体衝撃力測定金具

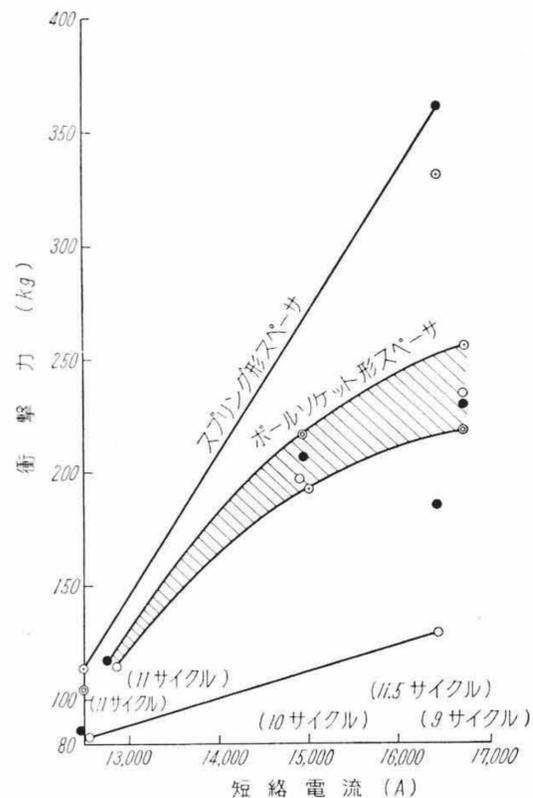
を与える心配がある。BPA (Bonneville Power Administration) によると $2 \times 403 \text{ mm}^2$ ACSR 径間 274 m, 導体間隔 400 mm の結果では、3 箇月間スペーサを用いない場合には風による衝突 (Sticking) がたびたび起り、電線はハンマで打たれたように短時間でへこみ、あるいは最外層がすり減ったむね報告⁽⁸⁾されている。したがって短絡時のようにかなり強い衝突が起る場合の電線の衝撃力の大きさを明らかにしておくことが必要である。

3.1.1 実験方法

衝撃力の測定としては 2 ~ 3 導体⁽⁶⁾において求めた方法をそのまま用いた。すなわち、第 2 図に示す X 状の案内金具を連結した軟銅棒 (25 $\phi \times 100$) を 4 導体の中央に与え、これを各導体に取り付けた鋼製リング状ハンマでたたく方式を採用した。衝突後生じた凹痕の深さから衝撃力を求めるもので、衝突後導体の反発によって案内金具は衝撃銅片とともに脱落し、二重打ちがさけられる。案内金具はジュラルミン製で重量は 1 kg 以下である。この方法は軟金属の塑性を利用するため、大電流下の測定に適していることと、これまで行った 2 ~ 3 導体配列の結果と比較することができる利点がある。

第 2 表 4 導体送電線短絡時の衝撃力

実験番号 (No.)	衝撃力 (kg)			
	上線		下線	
	東	西	東	西
3	—	—	113	116
4	193	218	199	208
5	258	220	237	232
12	101	114	87	158
13	308	281	178	171
14	106	136	83	85
15	281	128	232	192
16	335	366	129	186
17	114	104	83	85



第 3 図 短絡電流と衝撃力の関係

3.1.2 実験結果

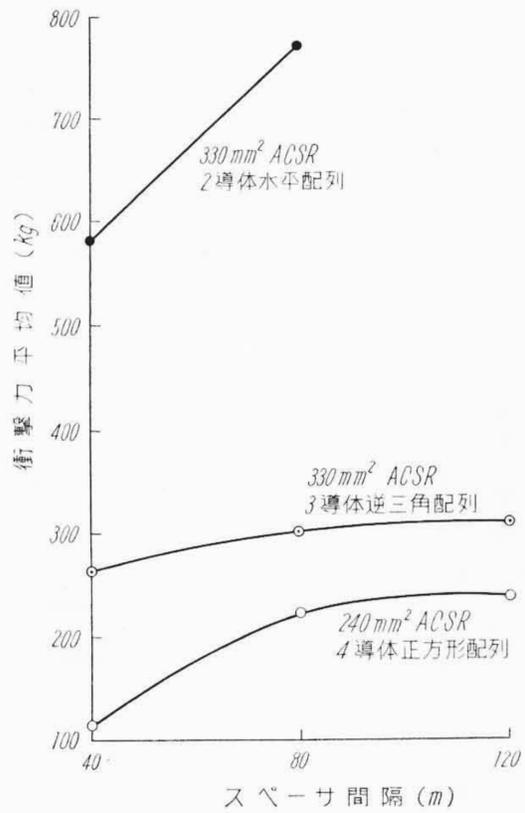
電流およびスペーサ間隔を変えて実験を行った。第 2 表は各素導体について求めた衝撃力を示す。スペーサとしては主としてボールソケット形スペーサを用い、スプリング形スペーサはスペーサ間隔 80 m の場合についてだけ使用した。

第 2 表よりボールソケット形スペーサを 80 m の等間隔に取付けた場合の電流と衝撃力の関係を示すと第 3 図のようになる。同図の記号は上線、下線および東側、西側の各導体別に示したものである。第 15 図に準じて、以下すべてこの記号で統一した。また短絡電流としては第 1 表に示す最終波高値電流でまとめることにした。第 3 図よりボールソケット形スペーサ使用の場合電流 10,800 A では導体の接触はなく、12,800 A, 11 サイクルで下線の衝突が始まることがわかる。全導体が衝突を行うのは 15,000 A, 10 サイクルである。

スプリング形スペーサの場合導体の完全な衝突は 12,500 A, 11 サイクルですでに行われている。スプリング形スペーサの場合にはスペーサの取付け部でスプリングの変形のため導体が近寄り、衝突が早く始まる。

衝撃力は電流とともに増大するが、各導体間には図示のとおりばらつきがあり、スプリング形スペーサの場合には特に著しい。

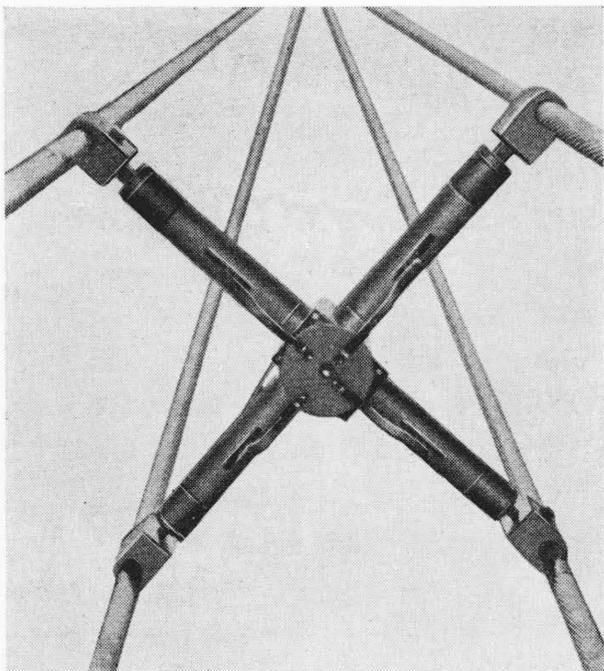
次にスペーサ取付間隔の影響をみるため、短絡電流約 16,000 A, 11 サイクルの場合について図示すると第 4 図のようになる。同図の衝撃力は各導体の平均値で示されている。スペーサ間隔が大きいほど衝撃力も大きくなるが、スペーサ間隔が 80 m をこすとほとんど変化しなくなり、衝撃力は 235 kg 程度となる。なお同図



注：短絡条件（電流（最終波高値），通電時間）

導体配列形式	スぺーサ間隔		
	40 m	80 m	120 m
2 導 体	13,300 A, 9.2サイクル	13,200 A, 9サイクル	—
3 導 体	13,800 A, 9.5サイクル	14,000 A, 9.5サイクル	14,000 A, 10サイクル
4 導 体	16,000 A, 11サイクル	15,900 A, 9.5サイクル	15,800 A, 11サイクル

第 4 図 導体配列形式によるスぺーサ間隔と衝撃力の関係



第 5 図 4 導体用スぺーサ応力測定装置

にはさきに報告した 2 導体、3 導体の衝撃力の測定結果を掲げてあるが、短絡電流がほぼ同一の場合には、明らかに導体数が増すほど個々の導体に働く衝撃力は小さくなる。したがってスウェーデンにおいては 380 kV 送電を 2 導体水平配列によって行っているが電線の衝突に関しては 4 導体によるほうが有利であるものと考えられる。

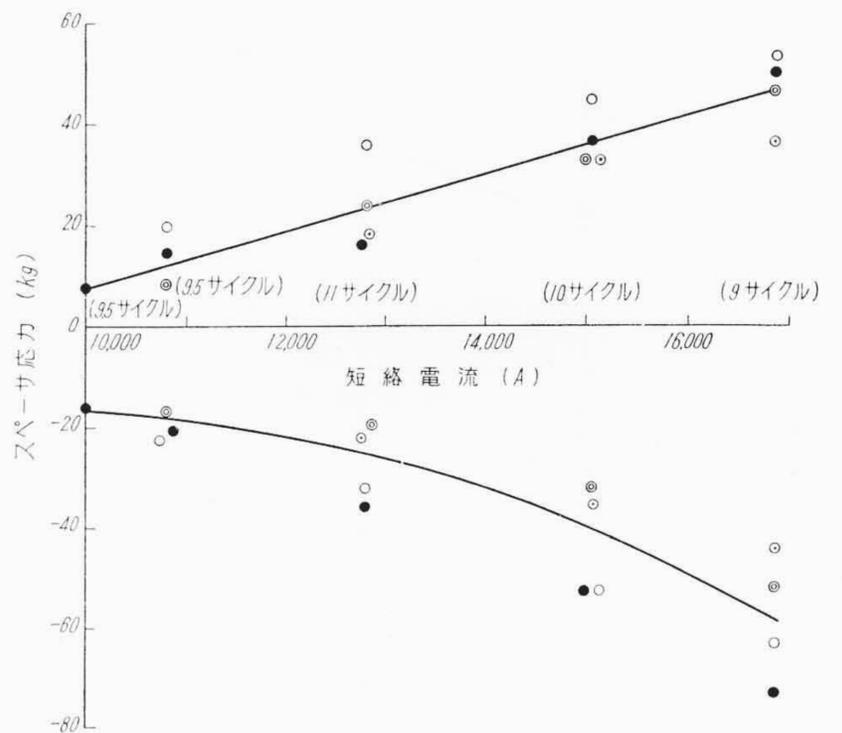
3.2 スぺーサ応力

3.2.1 実験装置

スぺーサに異状な力が加わる場合の一つに短絡現象がある。スぺーサの強度設計の上からスぺーサ応力の測定が盛んに行われている。測定方法としては抵抗線ひずみ計によるもの、リングの弾性変位によるものが普通使われている⁽³⁾⁽⁵⁾。われわれとしては前回と同様に高電圧下に適した機械的測定を採用した。

第 3 表 4 導体送電線短絡時のスぺーサ応力

実験番号 (No.)	応力の種類	スぺーサ応力 (kg)			
		上 線		下 線	
		東	西	東	西
1	圧縮 引張	— —	— —	— —	15.5 8
2	圧縮 引張	— —	17 9	20.5 19.5	19.5 14.5
3	圧縮 引張	21.5 17.5	19.5 23.5	31.5 36	36 15.5
4	圧縮 引張	35 32	32 33	52.5 44.5	53 36
5	圧縮 引張	43.7 36.7	51.7 45.7	62.7 52.7	72.7 49.7
11	圧縮 引張	21.5 29	16 22.5	18 13	29.5 31
12	圧縮 引張	54 65	69.5 57	57.5 47	80 49.5
13	圧縮 引張	39 43	48.5 44	42.5 45.5	49.5 54.5
14	圧縮 引張	14 18	18.5 23.5	14 16	25.5 23
15	圧縮 引張	21.5 17.5	19.5 14	31.5 36	36 15.5
16	圧縮 引張	21.5 19	29.5 28	40.5 35	50.5 32



注：スパン：350 m，ボールソケット形スぺーサ使用
(スぺーサ間隔 80 m)

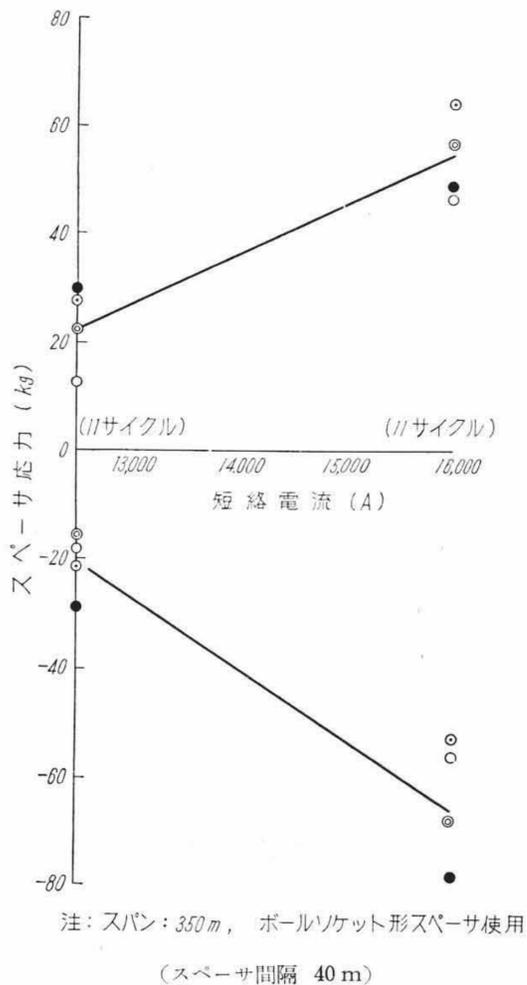
第 6 図 短絡電流とスぺーサ応力の関係

第 5 図に示すように各腕に相当する部分にバネを差込み、このバネの弾性変位を中央に設けた記録板の円周上に記録する。バネはバネ定数 70 kg/cm のものでアルミ蒸着ガラス板に記録針で引きかきぎずを残す方法を取り、試験後これを拡大して測定する。

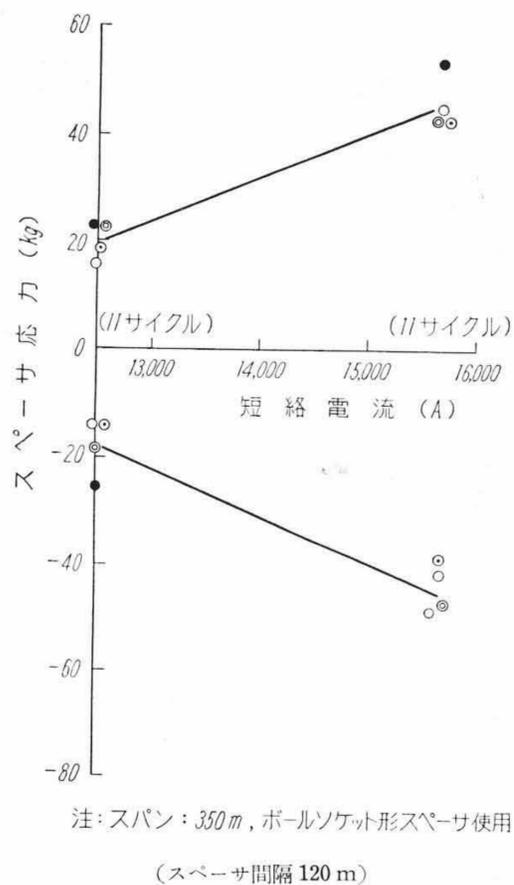
記録板はセルフタイマにより 1 周 20 秒で回転し、通電直前地上よりひもで動作させ、各導体に相当するスぺーサ応力の波形が記録できる。本応力測定器を径間中央のスぺーサの代りに差込んで測定した。

3.2.2 実験結果

実験結果は第 3 表に示すとおりであり、圧縮側および引張側の最高荷重を示してある。スぺーサ応力は短絡電流とともに増大し、その模様は第 6 図に示される。スぺーサ間隔 80 m の場合で



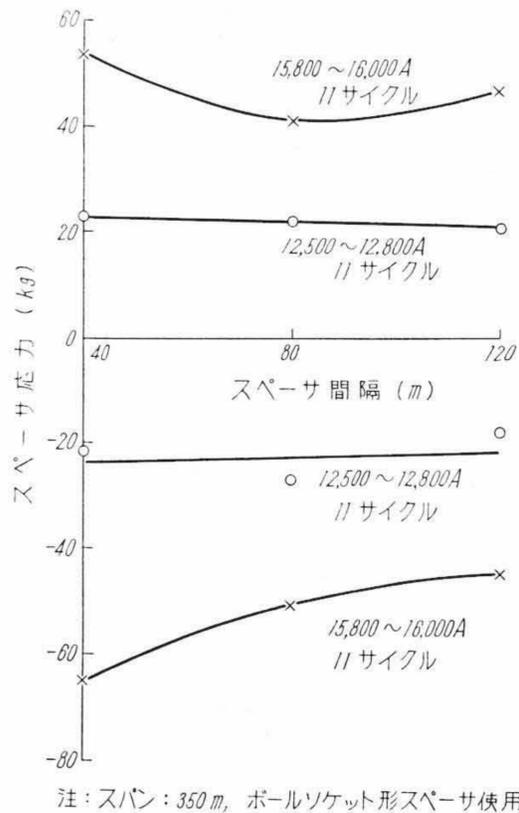
第 7 図 短絡電流とスペーサ応力の関係



第 8 図 短絡電流とスペーサ応力の関係

ある。同様にスペーサ間隔 40, 120 m の場合を第 7, 8 図に示す。各導体間には第 6 図に示すとおり、スペーサ応力にかなりのばらつきがある。これらの平均値を結ぶ曲線は電流とともに増大し、圧縮荷重はほぼ電流の 2 乗以上の割合で増大することがわかる。スペーサに加わる荷重は各腕ごとに等しくないため、腕には曲げモーメントが働くはずであるが今回はこの量は測定しなかった。

次にスペーサ間隔の影響をみると第 9 図のようになる。同図も平均値で示されている。一部スペーサ間隔が大きいと荷重が減少する傾向が見受けられるが、2~3 導体の結果とくらべるとスペーサ間隔に差異があると認めることができないようである。



第 9 図 スペーサ間隔とスペーサ応力の関係

導体衝突時の圧縮側スペーサ応力は反発時の引張側スペーサ応力より若干大きく、電流の小さい場合には同じ大きさであることが認められる。2 導体および 3 導体のスペーサ応力の測定結果と比較すると、

- (i) 2 導体
 - 圧縮側 75 kg
 - 引張側 62 kg
- (ii) 3 導体
 - 圧縮側 57 kg
 - 引張側 52 kg
- (iii) 4 導体
 - 圧縮側 66 kg
 - 引張側 54 kg

となる。なお短絡条件は第 4 図(注)と同じである。2 導体に比較してスペーサ応力は低いようであるが、4 導体に関する本実験で測定された最大スペーサ応力は第 3 表に示すとおり、スペーサ間隔 40 m において圧縮側 80 kg, 引張側 65 kg とかなり上回る値を得たことと、これと並んでスペーサの各腕にかなり不均一な荷重が加わるために、曲げモーメントの影響もあり、スペーサの強度設計も 2 導体と同様に取扱う必要がある。

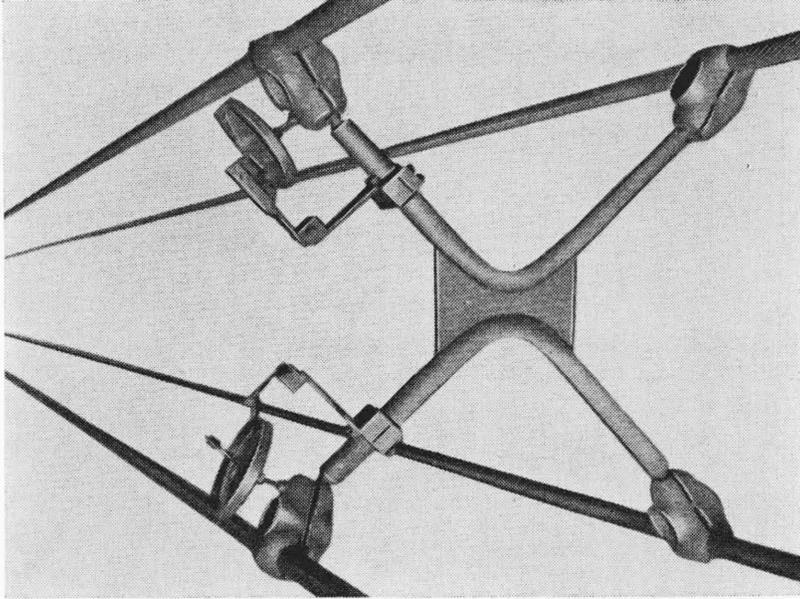
3.3 ボールソケット形スペーサの首振り運動

3.3.1 実験装置

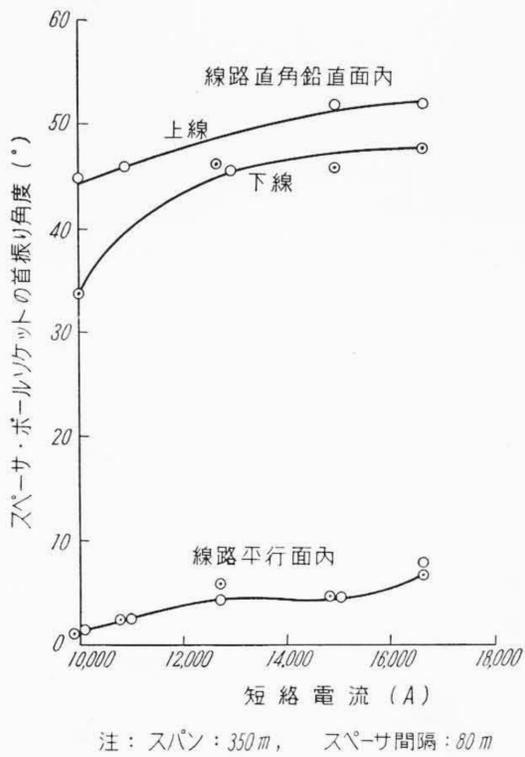
スペーサの首振り角度の測定には第 10 図に示す方法で行った。すなわちボールと同心の球面をなすアルミ蒸着時計皿をソケット側につけ、スペーサ保持部より触針を出してこれらの間の相対的動き量を引かききずとして記録した。同図は東側導体の上線および下線にとりつけたもので、同装置の着脱はすべて脚立上より行った。

3.3.2 実験結果

スペーサ・ボールソケット部の首振り全角と短絡電流との関係は第 11 図のようである。首振り角度は電流とともに若干増加し、線路に直角な鉛直面内の動きが、平行面内の動きよりはるかに大きいことがわかった。前者の最大角度は 52 度、後者は 8 度で上線より下線にとりつけたボールソケットの動きが大きくなる。短絡時の下線の動揺は上線より大きい結果からもいえることである。



第 10 図 ボールソケット形スペーサの首振り運動測定装置



第 11 図 短絡電流とスペーサボールソケットの首振り運動

第 12 図はスペーサ間隔との関係であり、斜線の範囲にある最大の首振り角度はスペーサ間隔に特に関係がないようであった。

3.4 電線の振動図形

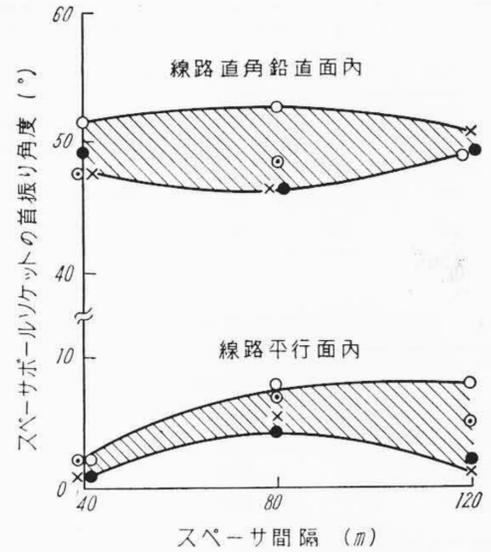
3.4.1 実験方法

短絡時の導体の衝突過程、反発後の振動振幅を求めるため、第 13 図に示す光学装置を試作して使用した。測定方法としてはスパン中央の最低弛度点の導体に豆ランプをとりつけ、その軌跡を夜間装置によって撮影した。一般の光学系レンズに円筒レンズを入れ、豆ランプの一振動面についてのみ集光できるようになっている。

第 13 図に示すように片側の筒には 45 度傾いたプリズムが差込まれてあり、豆ランプの振動面を 90 度回転させ、上下左右両成分の動きを連続的な波形としてオシロペーパーに記録される。線路にはボールソケット形スペーサを 80 m の等間隔にとりつけ、短絡電流を 16,300~16,700 A、9~10 サイクル通電した。3 導体⁽⁶⁾において行ったように振動図形に良い再現性を得たので短絡を反復繰返して各導体ごとに動きをとらえることにした。

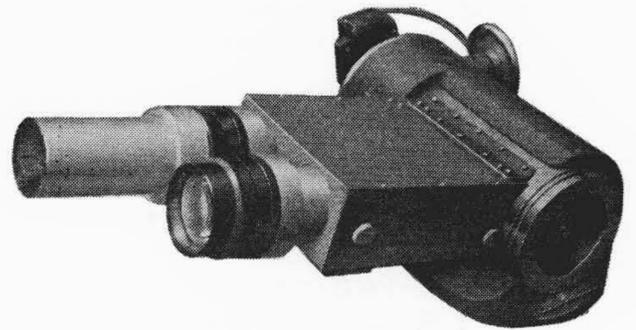
3.4.2 実験結果

各導体について求めた振動波形より衝突時の振動図形をかくと第 14 図のとおりになる。記入した番号は電線の動く順番を示すとともに単位を 0.1 秒にとり通電開始時からの経過時間を表わし

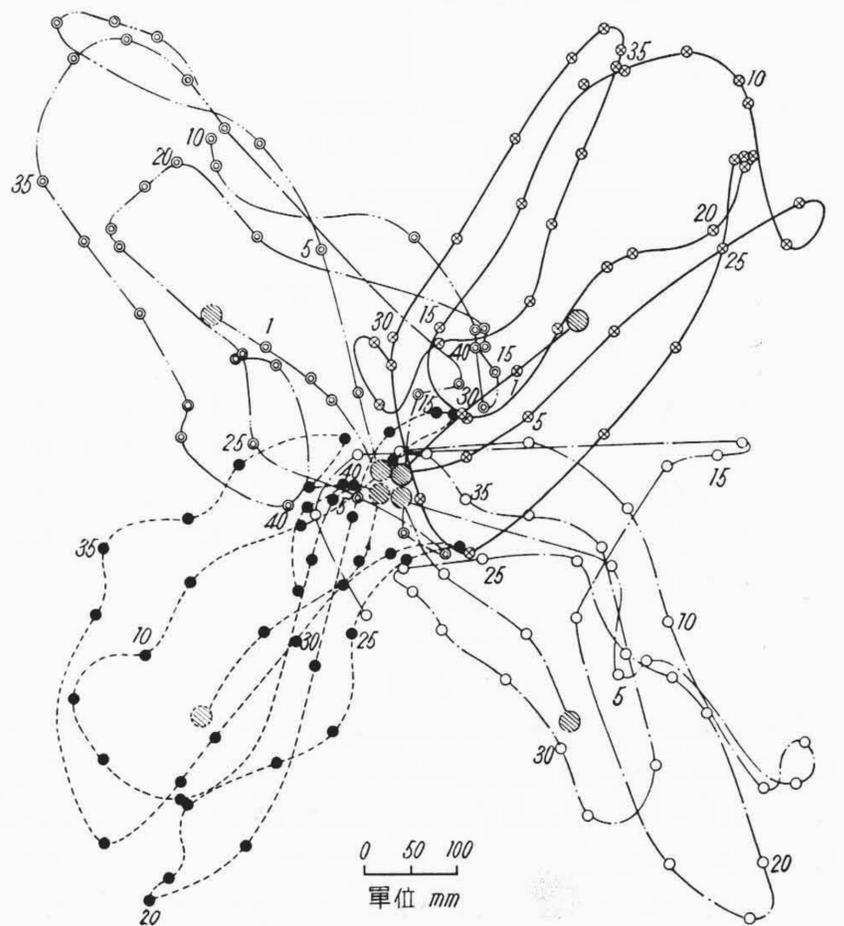


注：スパン：350 m
短絡電流 12,500 ~ 12,800 A 東側上線 ×
下線 ●
15,800 ~ 16,000 A 東側上線 ○
下線 ◇

第 12 図 スペーサ間隔とスペーサボールソケットの首振り運動の関係



第 13 図 振動測定用光学装置



第 14 図 導体短絡時の振動図形

ている。図は短絡後約 4 秒の間に現われた導体の動きである。その最大振幅は第 4 表のようである。

導体の動きとしては弛度の減少する上向きのものが大きいことがわかる。衝突の位置は 3 導体と同様⁽⁶⁾に正方形図心より若干上

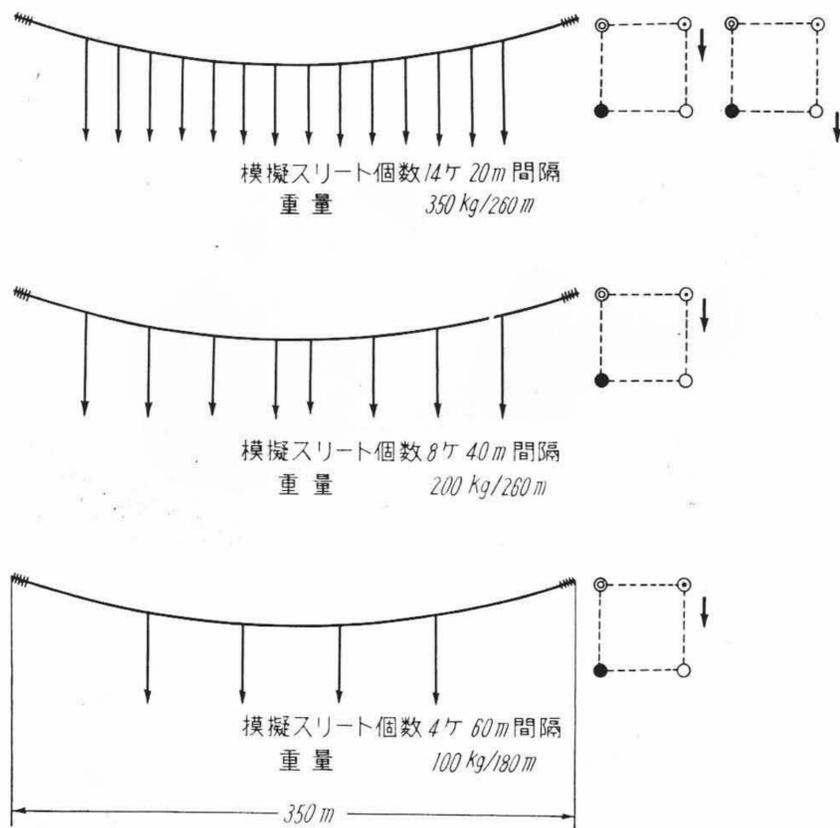
第 4 表 短絡時 4 導体の各導体の運動

運動方向	上下動 (mm)			水平動 (mm)			
	上方向	下方向	全振幅	東方向	西方向	全振幅	
上線	東	310	245	555	262	232	494
	西	322	198	520	312	196	508
下線	東	290	204	494	262	282	544
	西	296	192	488	268	158	426

第 5 表 各種多導体の短絡時の導体振動振幅

全振幅	上下動(mm)	水平動(mm)
330 mm ² 2 導体	620	1,180
330 mm ² 3 導体	600	790
240 mm ² 4 導体	560	540

注：各導体の振幅のうち最大なものを探る
 短絡条件 2×330 mm², 短絡電流 12,500 A, 9.5 サイクル
 3×330 mm², 短絡電流 13,300~13,800 A, 9.5~10 サイクル
 4×240 mm², 短絡電流 16,300~16,700 A, 9~10 サイクル



注：模擬スリット重量 25 kg/個

第 15 図 模擬スリットの配置状況

方にあり、衝突時間は 0.2~0.3 秒内にある。通電時間は 0.16 秒程度であるから電流が切れた後衝突が行われている。短絡故障時の導体のクリアランスとしては第 4 表の値が参考になる。第 5 表には 2~3 導体の結果を比較したが、2 導体の場合より全振幅は少ないことが認められる。

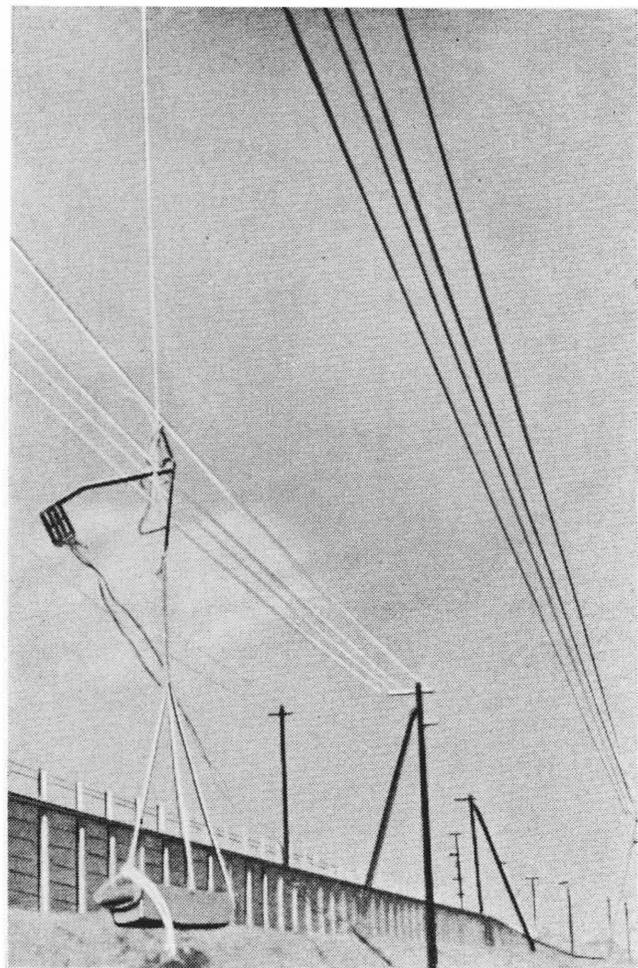
4. 模擬スリット落下実験

氷雪の脱落による電線の跳躍は線間短絡あるいは支持構造物へ異状張力を及ぼすので有力な事故原因の一つである。そのため単導体についてはスリットジャンプについて理論的あるいは模型および実際の線路についての実験的多くの検討^{(6)(9)(10)~(12)}がなされてきた。しかし多導体においては現象が複雑になり、スペーサのねじれ、スペーサ応力など電線跳躍時に検討する問題が多いため、これを縮小模型でとり扱うのは困難なので、径間 350 m の実径間送電線で模擬スリット落下実験を行うことにした。

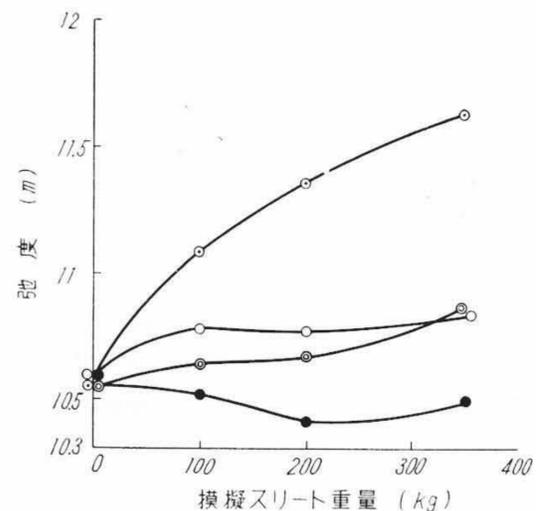
4.1 実験方法

まずスリットの取付け方としては

- (1) 全線について氷雪が一せいに脱落する場合



第 16 図 模擬スリット取付状況



第 17 図 模擬スリット取付けによる弛度の増加

- (2) 一部の線の氷雪がさきに落下する場合

- (3) 一部の線に残存していた氷雪が落下する場合

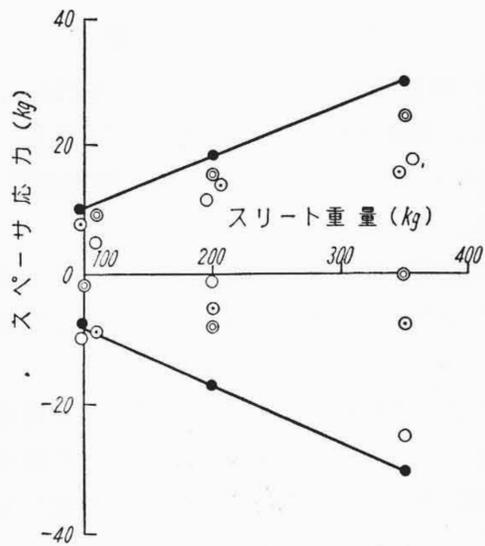
などが考えられる。(1)の場合は主として上下振動を誘発し、単導体のスリットジャンプからほぼ推定できる。(2)の場合はスペーサ応力にとって最も厳しい条件であるが、実際設備の関係上(3)の方式をとることにした。第 15 図のとおり、東側上線あるいは下線に荷重を取付けた。次にスリットの量であるが、最高 350 kg とし、25 kg の鉛塊を 14 個、20 m 間隔に 260 m にわたって取付けた。

2 導体 330 mm² ACSR の場合のここ 2~3 年の観測結果によると最悪状態では着氷量は 3.25 kg/m×2 と報告されており⁽¹³⁾本実験の 1 kg/m (単線についての荷重係数 1.9)では過小であるが、しかし量を変え、傾向をつかむことができるようにした。

スペーサはボールソケット形スペーサを用い、80 m 等間隔とし、いっせいに鉛塊を脱落させた。なお鉛塊の脱着には電磁石とてこを併用し、麻ひもで電線に垂下して行った。第 16 図は鉛塊垂下時の状況である。

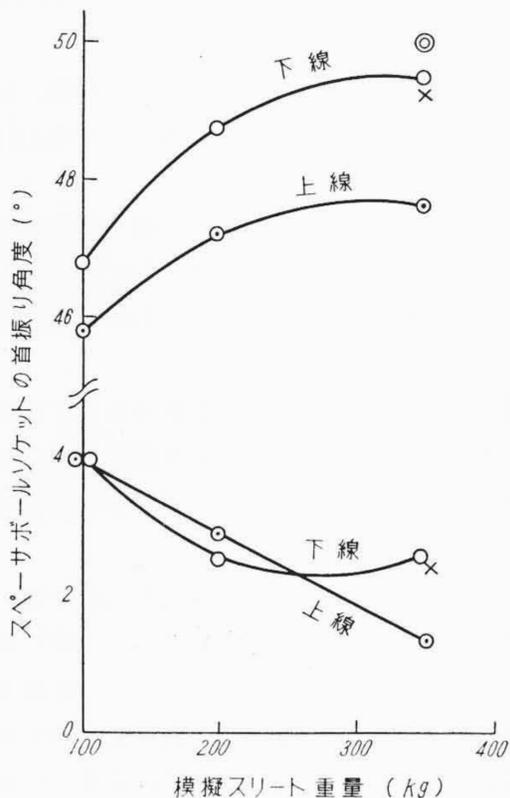
4.2 スペーサ応力およびボールソケット部の首振り運動

模擬スリット取付けによる各導体の弛度の増加は第 17 図のと



注：スペーサ応力の基準：荷重取付け前

第 18 図 スリットジャンプ時のスペーサ応力

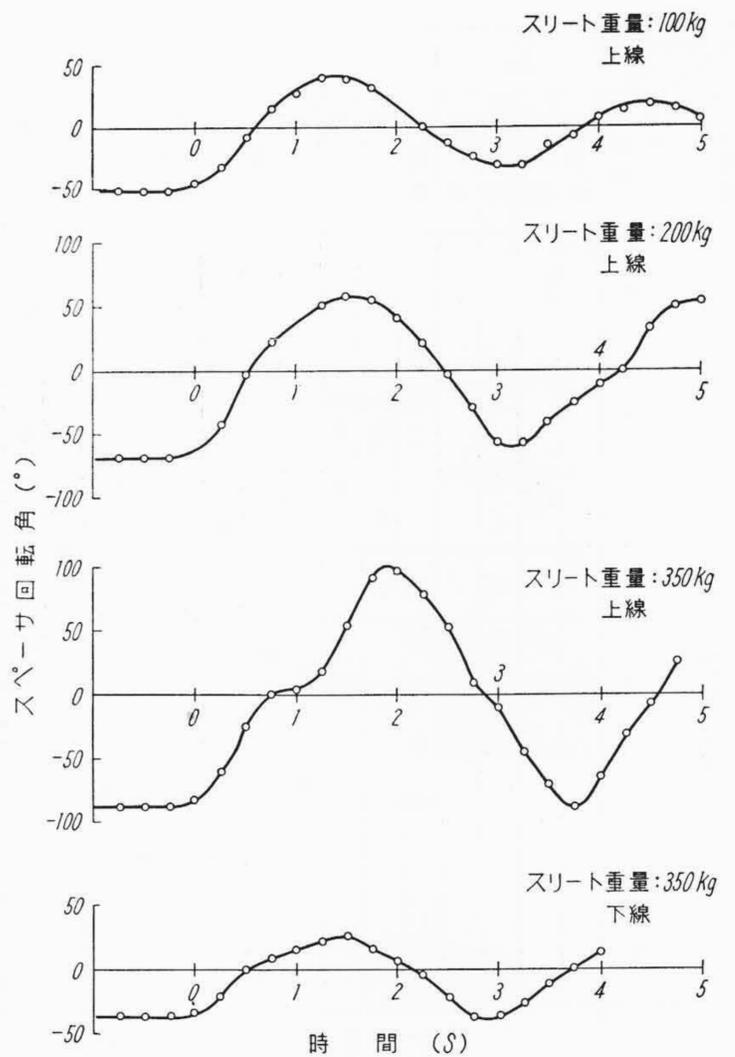


注：スパン：350 m
時差なし
模擬スリット取付位置
上線に取付 ⊙ (上), ○ (下)
下線に取付 × (上), ⊗ (下)

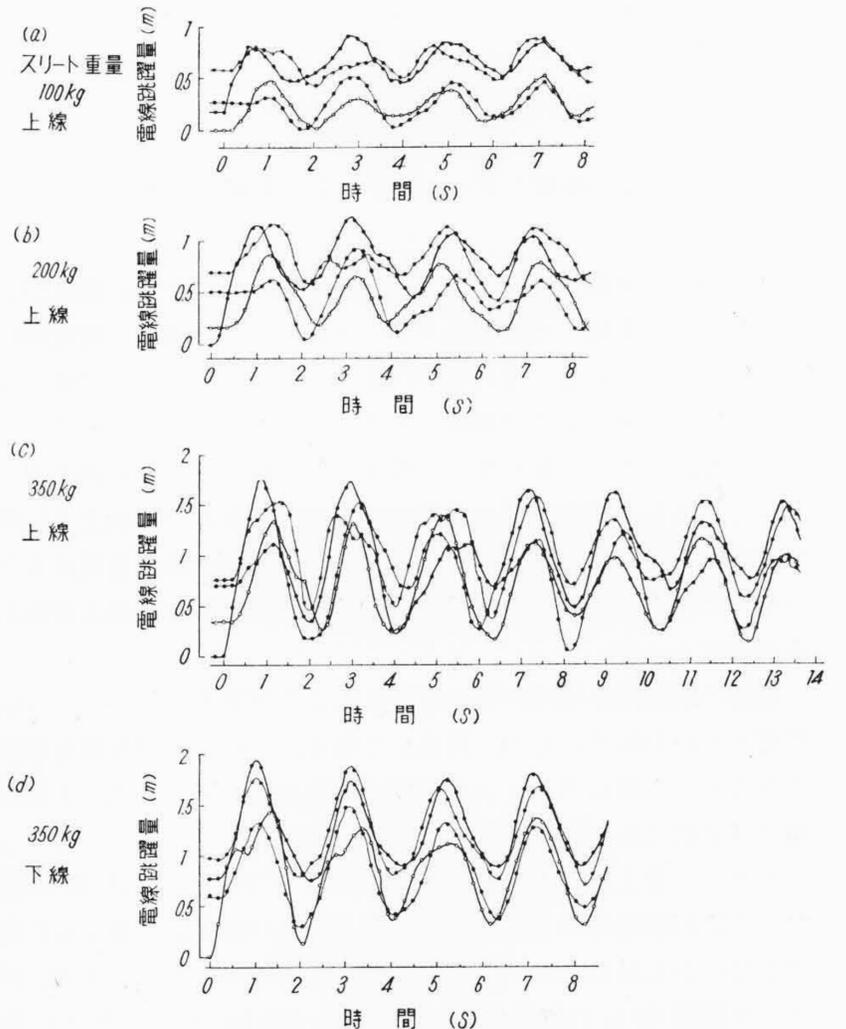
第 19 図 スリットジャンプ時のスペーサボールソケットの首振り運動

おりで、東側上線の弛度の変化が最も大きく、荷重 350 kg で約 1 m 増大した。これらの状態から鉛塊をいっせいに落下させた場合のスペーサ応力の変化を第 18 図に示す。各導体によってその値は異なるが、最大荷重変化を結ぶとほぼ直線の関係を示す。圧縮側および引張側荷重は等しく、スリット重量 350 kg でスペーサ応力は約 31 kg であった。短絡時の応力とくらべるとかなり低い値である。

次にスリットジャンプ時のスペーサボールソケット部の首振り角度を第 19 図に示す。短絡時の場合と同様、線路に直角な鉛直面内の動きが大きく、首振り全角で約 50 度、これに対し平行面内の動きは 4 度以下で少ない。以上は電線把持部のボールソケットの動きであるが、スペーサ自体の運動は第 20 図に示すような回転振動を行った。下線より上線にスリットをつけた場合のほうが大きい動きを示した。荷重 350 kg ではスリットの取付けで -89 度、スリットの脱落で +98 度の回転を行った。したがって導体自



第 20 図 模擬スリット落下によるスペーサ回転運動



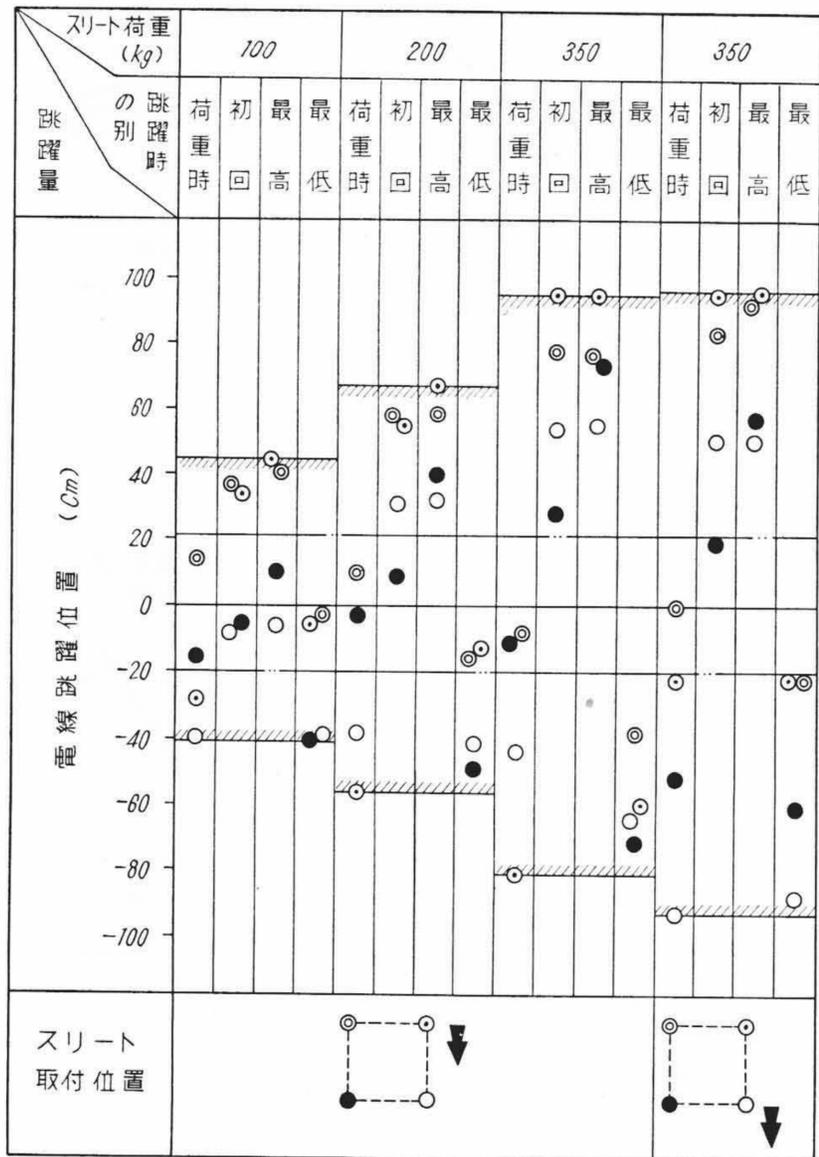
注：スパン：350 m, スペーサ間隔 80 m, ボールソケット形スペーサ使用, 時差なし

第 21 図 模擬スリット落下時の電線の跳躍

体もスリットの落下によってはげしく動揺することがわかるが、本実験においてはいわゆるねじれ現象は生じなかった。

4.3 スリットジャンプ

模擬スリット落下時のスパン中央の導体の跳躍運動を撮影し、その結果をまとめると第 21 図のようになる。これらの振動波形



(注) ———— 荷重前の位置
 荷重前の弛度は上線 10.56m
 下線 10.59m

第 22 図 模擬スリット落下による電線の跳躍量

より各導体の運動範囲を示すと第 22 図のようになる。荷重がごく少ない場合を除いては当然スリットを付加した導体が荷重時には最低位置を占める。また第 21 図 (a), (b) のように荷重が少なく導体の全体としての回転が大きい割合を占める場合にはジャンプの際、スリットを付加した導体の対角線上の導体の動きが最もおくれることがわかる。またこの場合には初回のはね上り以降に最高位置に達することが認められた。最高の位置は荷重の大きい場合には上線が占め、電線の振動は周期約 2 秒の比較的規則ある振動であった。

電線の跳躍は単導体の場合は荷重による弛度増加量の 2~3 倍程度⁽⁹⁾といわれているが、荷重した導体について同様な値を求めてみると、上線にスリットを取付けた場合は 1.5~1.7 倍、下線の場合は 2 倍であった。

スリットを上線に取付けた場合のスリットジャンプは第 20 図のように回転運動が大きくなり、上下方向の跳躍量が減少したのではないと思われる。複導体 240 mm² ACSR、径間 350 m、スペーサ間隔 80 m の場合について片線に 425 kg (荷重係数 2.1) 垂下した実験によると荷重による弛度増加量の 2 倍、2.35 m 跳躍した。

導体数が増すとスリットジャンプの程度は若干少なくなることが認められた。しかし厳密には多導体にした場合の着氷状態ならびに脱落状況をどのように想定するかによって比較しなければならぬので、今後の観測、研究が期待される。なおボールソケット形スペーサを使用した本実験においてはねじれ現象はまったく生じなかった。

5. 結 言

以上 400 kV 級送電線として 240 mm² ACSR の 4 導体を径間 350 m に架線し、短絡実験(電流 10,000~17,000 A, 9~11 サイクル)および模擬スリット落下実験を行った。実験結果を総括すると、次のようである。

(1) 導体が衝突を開始する電流はボールソケット形スペーサ 80 m 間隔取付の場合は 12,800 A, 11 サイクル以上を必要とし、スプリング形スペーサはこれより早く始める。

(2) 短絡による電線衝突時の衝撃力は 2~3 導体に比較して低く、電流およびスペーサ間隔とともに増大する傾向がある。しかしスペーサ間隔 80 m をこえるとほとんど増加しないことが認められた。

(3) 短絡時のスペーサ応力は電流によって増大する。スペーサ間隔と明らかな関係がなかった。電流の大きい場合は圧縮側が引張側より若干大きく、電流のほぼ 2 乗以上で増大することが認められた。同一条件の場合には 2 導体にくらべて平均したスペーサ応力は低いことがわかった。

(4) スリットジャンプ時のスペーサ応力は引張、圧縮ともに 31 kg (スリット重量 350 kg) で荷重とスペーサ応力は直線的に増加する。

(5) スペーサ、ボールソケット部の首振り角は線路に直角な鉛直面内の動きが平行面内の動きよりはるかに大きく、短絡時は約 52 度、ジャンプ時は約 50 度であることがわかった。線路平行面内の首振り全角は 8 度以内であった。

(6) 短絡時の径間中央の振動図形を求めることができた。衝突位置は導体の形成する正方形の図心より若干上方にあり、振幅として第 4 表を得た。2~3 導体に比べて小さい振幅であることを認めた。

(7) スリットジャンプについては荷重を上線片側につけた場合は加重時の弛度増加量の約 1.7 倍跳躍する。下線片側の場合は約 2.0 倍であり、クリアランス決定の資料として第 22 図を得た。

(8) スリットジャンプ時の電線の振動周期は約 2 秒、スペーサの動揺は上線に荷重を加えた場合が下線に荷重した場合より大きい、実験中スペーサのねじれ現象はまったく見られなかった。

終りにご指導、ご激励をいただいた日立製作所日立研究所牧部長、当工場岩田、久本両部長、実験に協力された日立研究所山崎主任以下関係者、当工場研究部の柿崎、沼尻、小形、設計課の岡主任、大和田、田中の諸君に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) H. Glöyer T. Uogelsang: ETZ-A 79 202 (1958)
- (2) A. A. Akopian: Elektrichestvo (11) 73 (1957)
- (3) A. L. Malmstrom, L. G. Gifford, J. O. Smith: E. E. 77 724 (Aug. 1958)
- (4) 榊井: 住友電気彙報 48号 18 (昭 28-8)
- (5) 武藤, 津田, 関村, 大島, 揖斐: 昭 31 電三連大 434 (昭 31)
- (6) 林, 山本, 電学誌 79 (844) 45 (昭 34-1)
林, 鈴木, 山本, 山崎: 日立評論 別冊 28号 3 (昭 33-12)
- (7) P. Ailleret, H. Caillez: CIGRE No. 415 (1958)
- (8) R. J. Mather, A. R. Hard: T. A. I. E. E. 77 823 (Oct. 1958)
- (9) 荘田: 電力 38, 244 (昭 29-2)
- (10) 武藤, 津田, 堀, 大島, 揖斐: 電力 40 (4) 668 (昭 31-4)
- (11) 武藤, 津田, 堀, 大島, 揖斐: 電力 40 (5) 762 (昭 31-5)
- (12) 七里, 松林: 住友電気 送電線特集号 173, 185 (昭 33-5)
- (13) 林, 島田: 住友電気 送電線特集号 222 (昭 33-5)