

旭式ボルトレススペーサの開発

神田 典明*

永田 泰次**

井上 充男***

1. まえがき

多導体架空送電線の素導体を一定間隔に保持するために使用されるスペーサの電線把持機構としては、従来より主としてボルト締付方式が採用されてきた。スペーサ関係で、これまで発生しているトラブルの多くは、締め付けミスも含めた“クランプゆるみ”による電線損傷である。クランプゆるみにまで至る主要因としては、電線などのクリープによる締付ボルト軸力低下に伴い把持力が低下し、これにサブスパン振動、ギャロッピングなどによる外力が重畳されて、ゆるみへと進展してくるものと考えられている。近年、送電線の大容量化に伴い信頼性、および保守点検の省力化が要望されており、スペーサも例外ではない。

当社としては、ボルト締付方式に代るものとして、コイルバネの反発力を利用した旭式ボルトレススペーサを開発し各種性能試験を進めてきた結果、充分、実用に供し得ることを確認できたので、その構造、試験結果などをわが国の4導体の設計の基本となった TACSR 410mm² 4導体を例として、以下に報告する。

2. スペーサの具備すべき機能

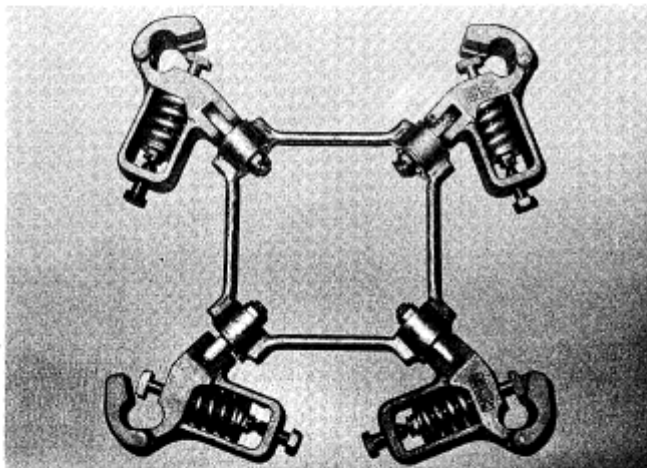
スペーサの基本的機能としては、多導体送電線の素導体を規定間隔に保持することであるが、送電線の動的現象により、スペーサには外力が加わるため機械的強度、ならびに耐久性が要求される。次に、定性的であるが、スペーサの具備すべき機能を列記する。

*かんだ のりあき 研究部 **ながた たいじ 研究部

***いのうえ みつお 研究部

- (1) 素導体を規定間隔に保持すること。
- (2) サブスパンオシレーション、ギャロッピングなどの電線の振動に対して、十分な強度、耐久性を有し、電線に損傷を与えないこと。
- (3) 短絡時に発生する求心力、および反発力に対して、十分な強度を有すること。
- (4) 電線の捻回に対して、復元性を有すること。
- (5) 不平衡張力による素導体の線路方向の動きに対して、追従可能であり電線に損傷を与えないこと。
- (6) 電線に取り付けた状態で、コロナ特性が良好であること。
- (7) 電線把持力は、経年変化後も電線の振動、捻回に対して充分であること。
- (8) 取り付けが容易で、確実にできること。また、取りはずしが可能であること。
- (9) 保守点検用宙乗器が、乗り越え可能であること。

3. 旭式ボルトレススペーサの構造

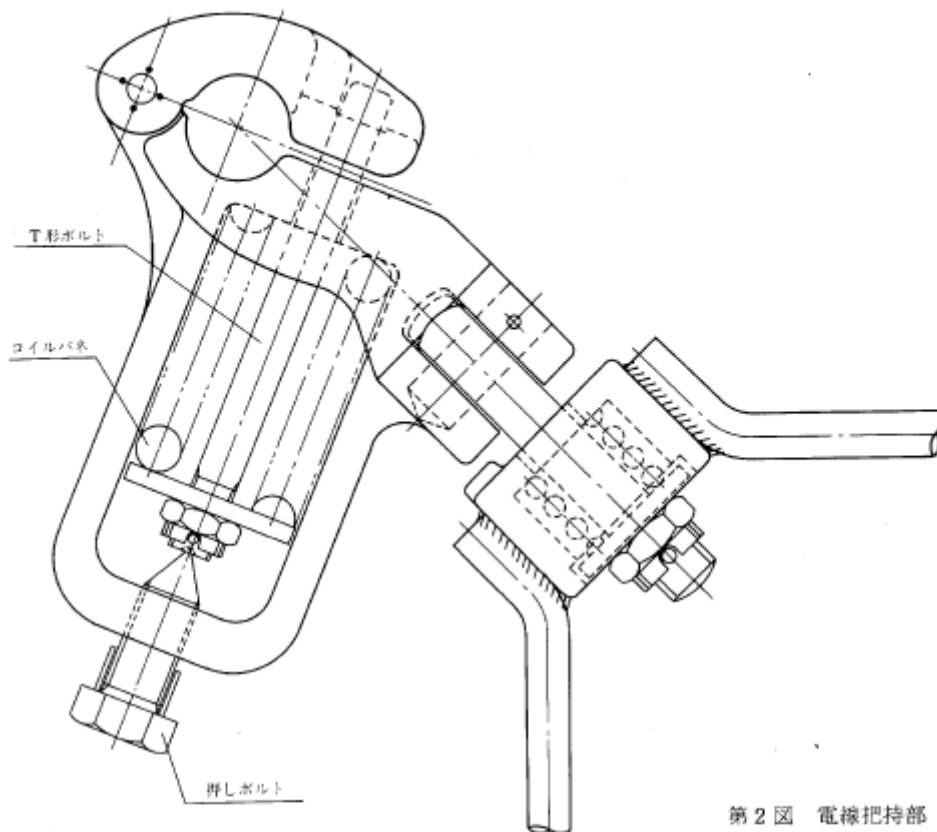


第1図 旭式ボルトレススペーサ
(TACSR410mm²4 導体)

500kV TACSR410mm²4
導体用に開発した旭式ボルトレススペーサを第1図に示す。電線把持部機構について説明すると、次の通りである。

- (1) 電線把持部は、クランプ、コイルバネ、T形ボルト、押しボルトより構成される。
- (2) 電線把持機構は、コイルバネの反発力をT形ボルトにより伝達し、このT形ボルトにより蝶番クランプを締め付けて電線把持力を得ている。
- (3) 押しボルトは、取り付け時までコイルバネを圧縮しておくための一種の工具であり、取りはずし工具ともなる。

以上の電線把持部構造が第2図に示してある。



第2図 電線把持部

4. 旭式ボルトレススペーサの特長

旭式ボルトレススペーサの主な特長としては、次の通りである。

- (1) 取り付け作業は、「T形ボルトを回して、押しボルトを抜き取る」という非常に単純な作業であるため、熟練を必要とせず誰でも同じように取り付けられる。
- (2) コイルバネの反発力を利用しているため、電線などのクリープによる把持力の低下は無視できる程度であり、安定した把持力が得られる。
- (3) ボルトゆるみの心配がなく、また使用材料がすべて金属であるため劣化の心配がなく、保守点検の省力化が期待できる。

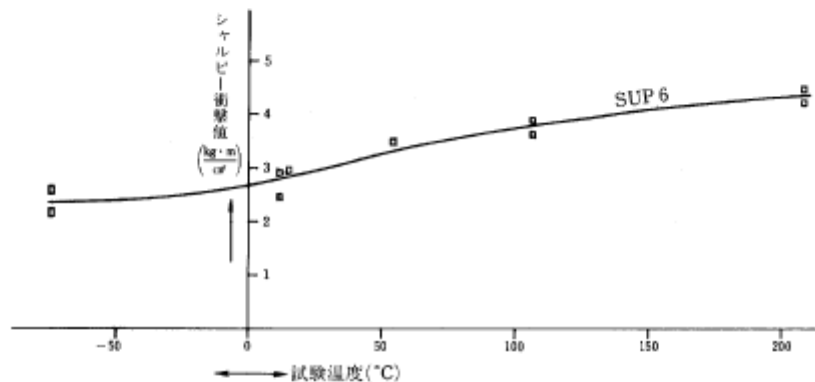
5. コイルバネの諸特性

旭式ボルトレススペーサの電線把持部の主要部品であるコイルバネの性能を調査するため、衝撃試験、疲労試験、温度繰り返し試験、を行ない実用上問題がないことを確認した。以下に、その概要を述べる。

〈5・1〉 衝撃試験

(1) シャルビー衝撃試験

コイルバネの脆性特性を調べる方法として、テストピースによるシャルビー衝撃試験がある。コイルバネに使用している材質(SUP6)の温度 $-75^{\circ}\text{C}\sim 210^{\circ}\text{C}$ で行なったシャルビー衝撃試験結果を第3図に示す。この結果より、送電線の使用温度範囲 ($-30^{\circ}\text{C}\sim 180^{\circ}\text{C}$) では、コイルバネの脆性破壊はないと考えられる。



第3図 シャルビー衝撃試験結果

(2) コイルバネの衝撃試験

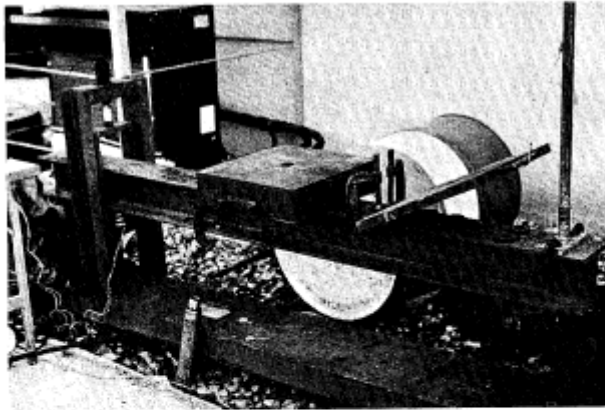
(1)ではテストピースによる衝撃試験結果より低温脆性のないことを述べたが、ここではコイルバネの状態での低温衝撃試験を行ない実用上問題ないことを確認した。試験状況を第4図に示す。

(試験条件)

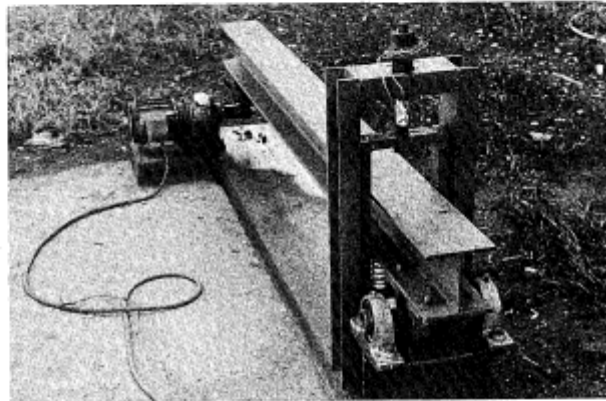
温度	室温, -30°C
衝撃荷重	150kg, 300kg, 600kg
試験回数	各 5回
試料数	各 2個

(試験結果)

○室温、 -30°C における各衝撃荷重に対する試験結果は、全数、全く異常が認められず低温脆性に関しては、問題がないことを確認した。



第4図 低温衝撃試験状況



第5図 疲労試験状況

<5・2> 疲労試験

微風振動、サブスパンオシレーションの模擬試験ではスパーサ把持部のコイルバネに外力は、ほとんどかからず後述するギャロッピング模擬試験により、若干のコイルバネ荷重変動が認められた。このギャロッピング模擬試験で得られた最大変動荷重を繰り返し荷重とし、コイルバネの疲労試験を行なった。試験状況を第5図に示す。

(試験条件)

初期圧縮荷重	設計荷重
繰り返し荷重	±50kg
周波数	2.5Hz
試験回数	7×10^6 回
試料数	3個

(試験結果)

○試験後に外観、自由高さ、バネ定数を調べたが、試験前と変わらず疲労は認められなかった。

<5・3> 温度繰り返し試験

(1) 高温繰り返し試験

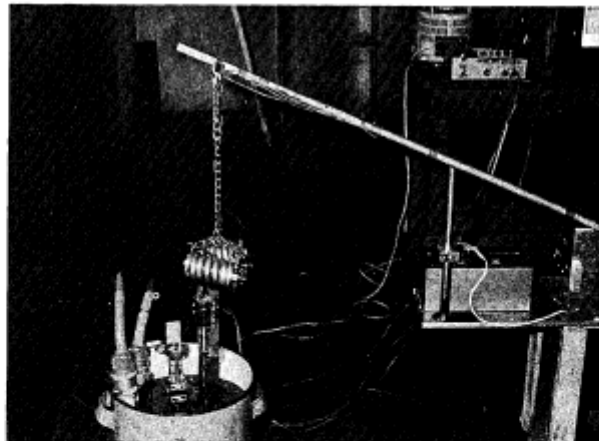
通電試験によりスペーサ把持部の各部の温度上昇を測定したところ、電線温度 180°Cの時のコイルバネ最高温度は、約100°Cであった。実架線の諸条件を考慮し、コイルバネを圧縮した状態で高温(200°C)、室温の繰り返し試験を行なった。試験状況を第6図に示す。

(試験条件)

温度	高温 200°C→室温
時間	高温 200°C×1時間、室温×1時間
試験回数	100回
試料数	3個

(試験結果)

○高温クリープにより若干の自由高さの変化(1%以下)が認められた程度であり、実用上、全く問題がない。



第6図 高温繰り返し試験状況

(2) 低温繰り返し試験

コイルバネを圧縮した状態で室温、低温(-30°C以下)の繰り返し試験を行なった。試験状況を第7図に示す。

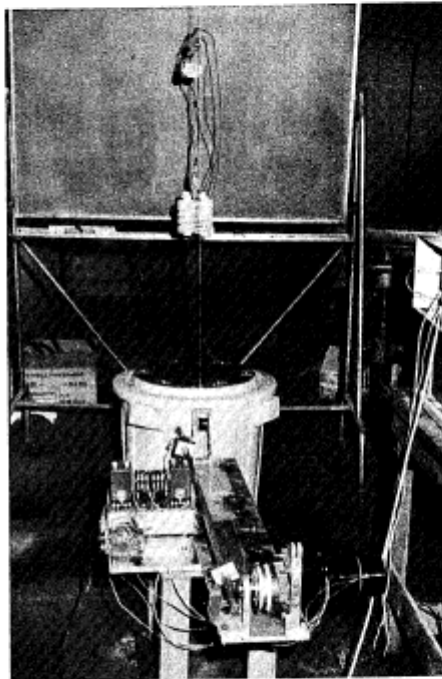
(試験条件)

温度	低温 -30°C以下↔室温
時間	低温 -30°C以下×1時間、室温×1時間
試験回数	100回
試料数	2個

(試験結果)

○試験後の自由高さ、バネ定数は試験前と全く変らなかった。

以上のコイルバネに関する試験結果より、送電線の苛酷な気象条件下においてもコイルバネの諸特性は変わらず、実用に際し問題がないことが確認された。



第7図 低温繰り返し試験状況

6. 旭式ボルトレススペーサの機械的性能

TACSR 410mm⁴ 4 導体用旭式ボルトレススペーサの機械的性能を確認するため、従来形（ボルト締付形）のスペーサで行われてきた試験、およびギャロッピングを模擬した衝撃試験を行ない、実用的に全く問題がないことを確認した。

〈6・1〉垂直方向振動試験

微風振動を模擬した試験であり、モータ加振方式により電線に振動を与えて試験を行なった。

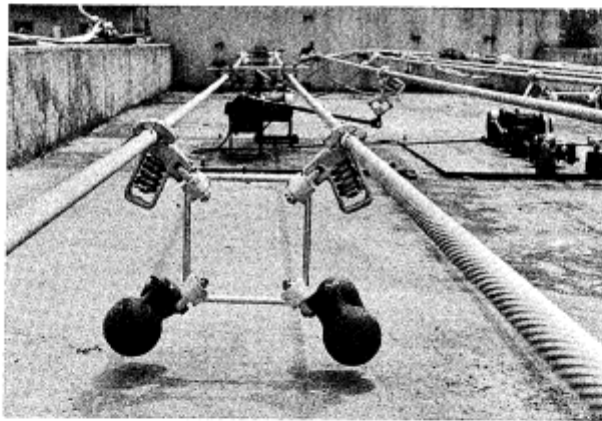
試験状況を第8図に示す。

(試験条件)

電線張力	3500kg/条
周波数	約40Hz
振巾	±1mm
垂直静荷重	10kg/把持部
試験回数	6.5×10^6 回

(試験結果)

- 把持部近傍の最大電線歪は、 $\pm 40 \times 10^{-6}$ であり、許容歪 $\pm 100 \times 10^{-6}$ 以下であった。
- 試験後、スパーサを捻回し、把持部に 5kg・m の捻回トルクを与えてもスリップは生じなかった。
- スパーサ可動部の摩耗量は、実用上問題にならない程度でありコイルバネなどに、なんら異常は認められなかった。



第8図 垂直方向振動試験状況

<6・2> 線路方向移動試験

着氷雪、および電線の動揺によって生じる荷重アンバランスの模擬試験として、2 導体相互移動試験を行なった。試験状況を第9図に示す。

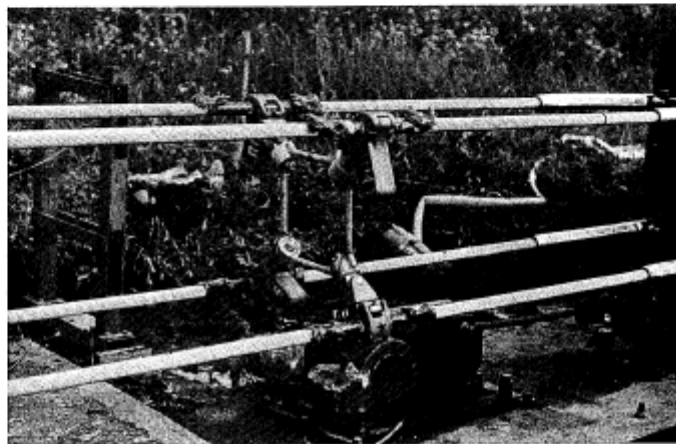
(試験条件)

電線張力	3500kg/条
線路方向移動量	±25mm
周波数	約2Hz

試験回数	7 × 10 ⁶ 回
垂直静荷重	10kg/把持部

(試験結果)

- 把持部近傍の最大電線歪は、 $\pm 65 \times 10^{-6}$ であり、許容歪 $\pm 100 \times 10^{-6}$ 以下であった。
- 試験後、スペーサを捻回し、把持部に 5kg・m の捻回トルクを与えてもスリップは生じなかった。
- スペーサ可動部の摩耗量は、実用上問題にならない程度でありコイルバネなどに、なんら異常は認められなかった。



第9図 線路方向移動試験状況

<6・3> 線路直角方向圧縮引張試験

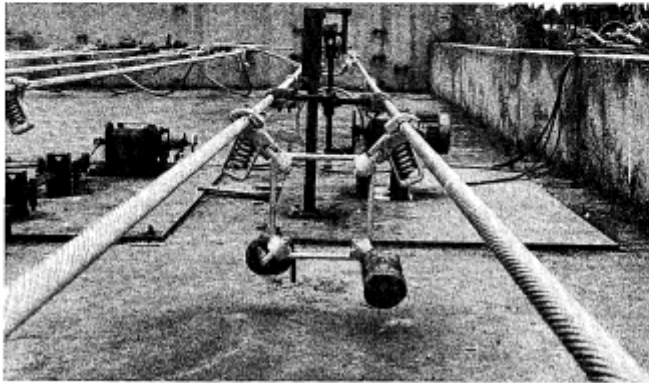
サブスパン振動により、スペーサに加わる圧縮引張荷重を模擬した試験として、電線を水平直角方向に変位させることにより、圧縮引張荷重をスペーサに与えて行なった。試験状況を10ページ第10図に示す。

(試験条件)

電線張力	3500kg/条
圧縮引張荷重	±10kg以上/把持部
周波数	約2 Hz
垂直静荷重	10kg/把持部
試験回数	7 × 10 ⁶ 回

(試験結果)

- 把持部近傍の最大電線歪は $\pm 80 \times 10^{-6}$ であり、許容歪 $\pm 100 \times 10^{-6}$ 以下であった。
- 試験後、スパーサを捻回し、把持部に $5 \text{ kg} \cdot \text{m}$ の捻回トルクを与えてもスリップは生じなかった。
- スパーサ可動部の摩耗量はほとんどなく、またコイルバネなどに全く異常は認められなかった。



第10図 線路直角方向圧縮引張試験状況

<6・4> 回転反復試験

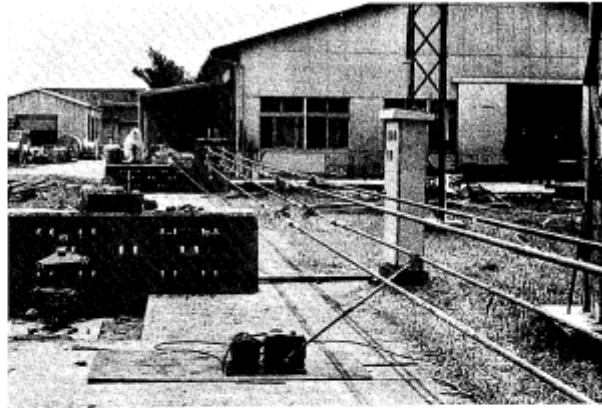
サブスパン振動、ギャロピンの回転反復を伴った電線振動を模擬した試験として、4導体の1条を外接円の接線方向に駆動することにより、回転反復を発生させ試験を行なった。試験状況を第11図に示す。

(試験条件)

電線張力	4500kg/条
回転角	$\pm 20^\circ$
周波数	約 1 Hz
試験回数	10 ⁴ 回

(試験結果)

- 把持部近傍の最大電線歪は $\pm 78 \times 10^{-6}$ であり、許容歪 100×10^{-6} 以下であった。
- 把持部のスリップはなくコイルバネなどに、なんら異常は認められなかった。
- スパーサ可動部の摩耗量は、実用上問題にならない程度であった。



第11図 回転反復試験状況

<6・5> 捻回試験

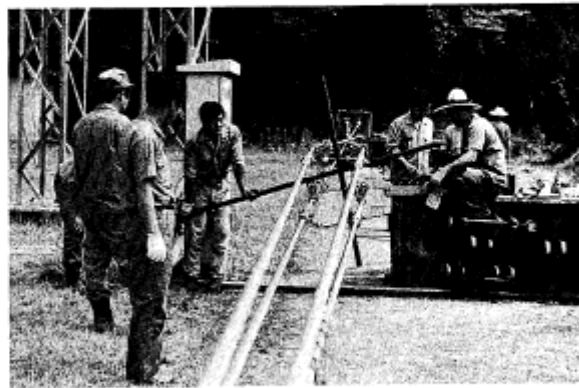
最小スペーサ間隔にてスペーサを直接捻回し、捻回試験を行なった。試験状況を第12図に示す。

(試験条件)

電線張力	4500kg/条
捻回角度	180°
試験回数	10回

(試験結果)

- 180°捻回時、把持部近傍の最大電線歪は 500×10^{-6} であった。
- 把持部のスリップはなく、スペーサ各部の変形は全く認められなかった。



第12図 捻回試験状況

<6・6> 把持力試験

多導体が捻回した場合、復元し、電線に損傷を与えないためには、把持部がスリップしないことが必要条件であり、半導体にて把持部すべり開始トルクを測定した。その結果を第1表に示す。

第1表 すべり開始トルク

No.	すべり開始トルク	180°捻回トルク ($l=20m$)
1	11.5 kg・m	5 kg・m
2	12.0 kg・m	
3	14.0 kg・m	
4	14.5 kg・m	

以上の結果より、180°捻回に対する把持力を充分満足していることがわかる。

<6・7> 短絡強度試験

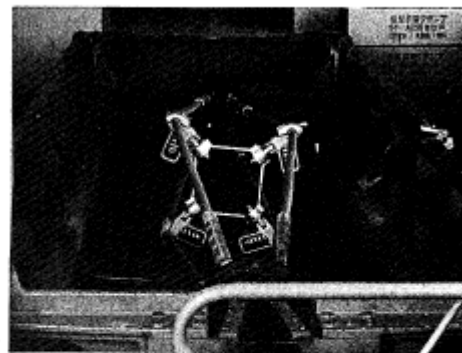
短絡時の求心衝撃荷重に代る試験として、求心静荷重試験を行なった。試験状況を第13図に示す。

(試験条件)

求心静荷重	1250kg
印加時間	1分間
試験回数	10回

(試験結果)

- 求心荷重1250kg時のスペーサ各部の最大歪は、 740×10^{-6} (間隔体)であり、許容歪 2400×10^{-6} 以下であった。10回試験後、さらに求心荷重を2000kgまで上昇させたが、スペーサ各部の永久変形は認められなかった。



第13図 短絡強度試験状況

- 求心荷重 2000kg でも電線損傷、コイルバネの異常は認められなかった。

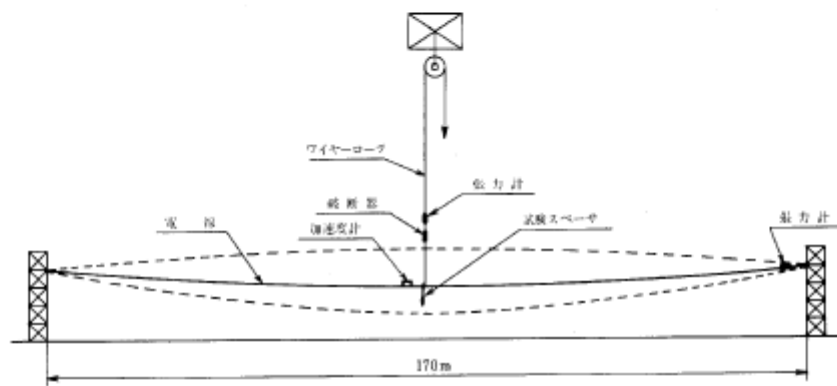
<6・8> 衝撃試験 (ギャロッピング模擬試験)

多導体架空送電線用ボルト締付形スペーサの把持部ボルトゆるみの原因のうち、大きな要因としてギャロッピングによる衝撃的外力が考えられる。このギャロッピングを模擬した試験として、

第14図に示すように単導体を張架し、スペーサ近傍を引き上げ後、落下させ電線に大振巾、張力変動を与える方法で試験を実施した。比較として、ボルト締付形スペーサについても同様な試験を行なった。試験状況を第15図に示す。

(試験条件)

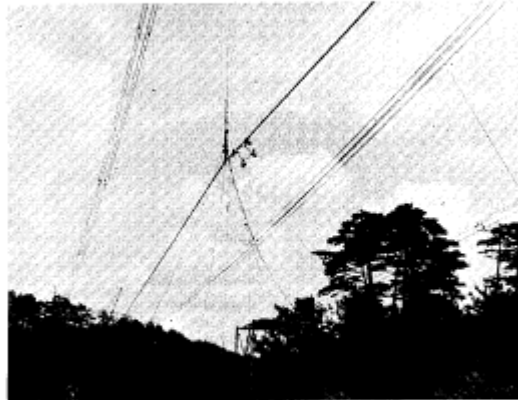
電線張力	4500kg
径間長	170m
引上荷重	600kg
試験回数	150回



第14図 衝撃試験装置

(試験結果)

- i) スペーサ把持部スリップの有無
試験前に電線と把持部間にマーキングし、スリップの有無を調査したがボルトレス・ボルト締付形両スペーサともにスリップはなかった。
- ii) 把持部の軸力変化
T形ボルト（ボルト締付形については、締付ボルト）に至ゲージを貼付し、軸力変化を測定した。



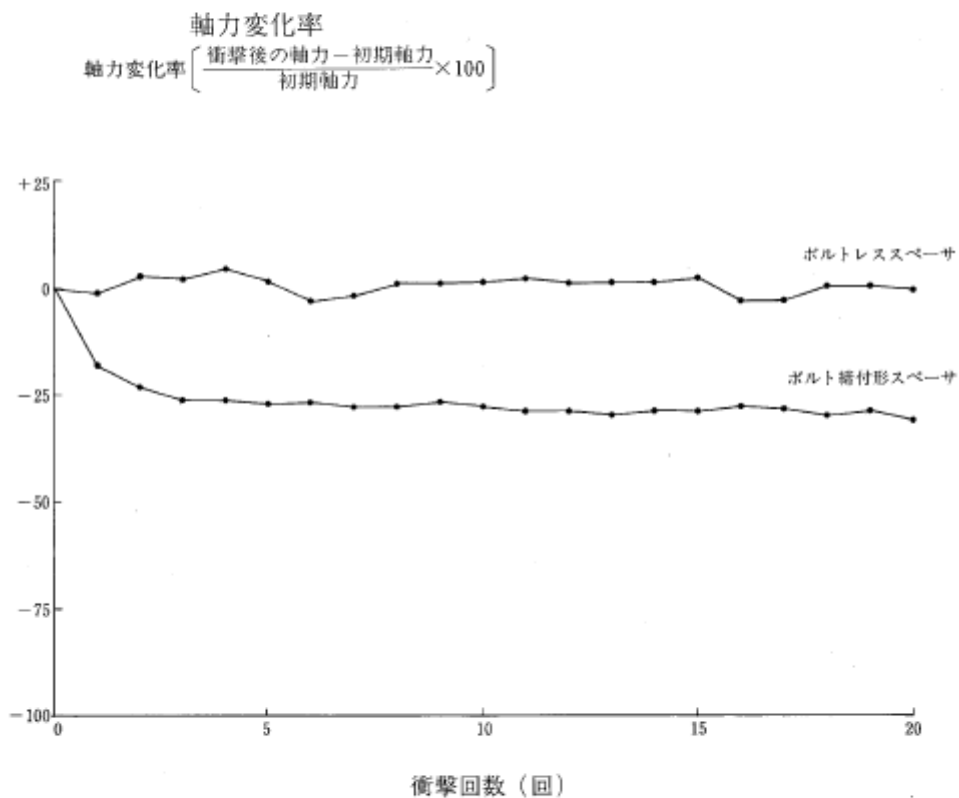
第15図 衝撃試験状況

○静的軸力変化

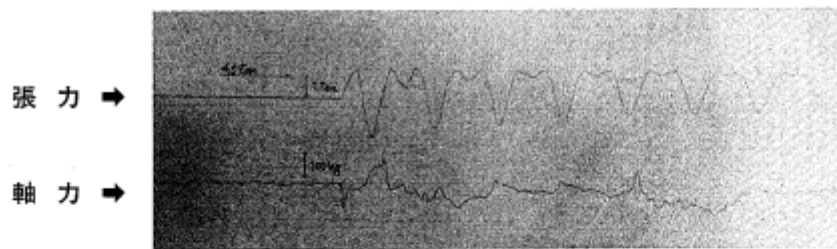
軸力低下率は、第16図に示すように、ボルトレス形の軸力低下はほとんど認められないが、ボルト締付形の場合は初期の数回で大きく低下し、その後も徐々に低下していく傾向にあった。ボルト締付形について試験後、締付トルクを調査したところ、200kg・cm に低下していた。(ボルトは M12 で、初期締付トルクは 450kg・cm)

○動的軸力変化

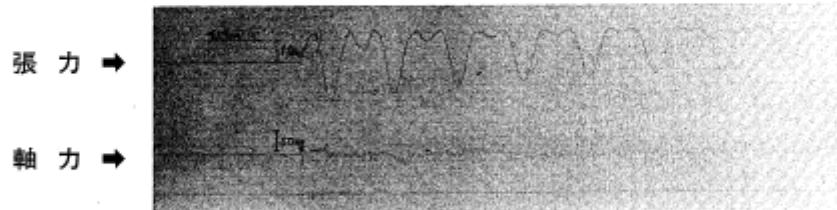
動的軸力変化の最大値は、ボルト締付形では 50～100kg(P-P)であり第17図に示すように比較的、規則的変化であるが、ボルトレス形の場合第18図に示すように不規則であり、50 kg (P-P) 以下であった。



第16図 静的軸力変化



第17図 ボルト締付形の動的軸力変化



第18図 ボルトレス形の動的軸力変化

iii) 電線張力変動値

電線の張力変動値は増加 3600kg, 減少 400kgであった。

iv) 振動数・振巾

振動数 0.53~0.59Hz

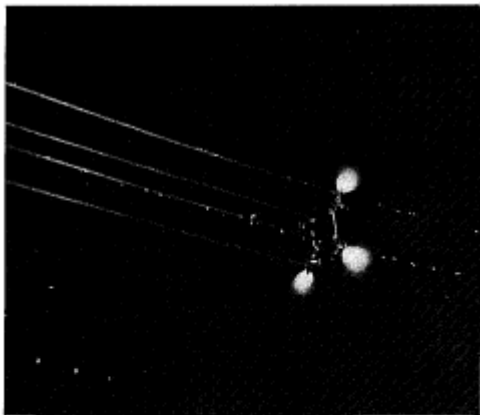
振巾(max) +3.0m, -1.5m

7. 旭式ボルトレススペーサの電気的性能

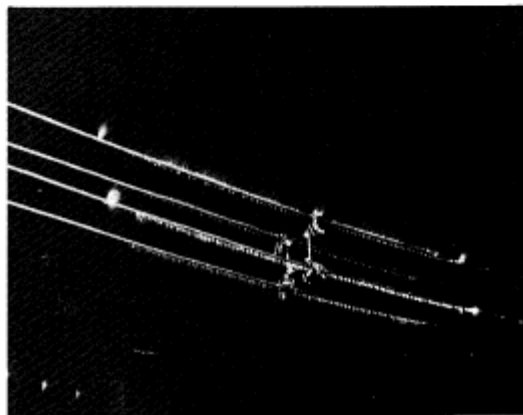
500kV TACSR410mm² 4 導体用旭式ボルトレススペーサの電気的性能を確認するため、コロナ試験を行なった。乾燥時、注水時の可視コロナ消滅電圧測定結果を第2表に示す。コロナ試験状況を第19図、第20図に示す。

第2表 可視コロナ消滅電圧

状態	試料	可視コロナ消滅電圧		コロナ発生箇所
		電圧	電線表面電位傾度	
乾燥	電線	350 kV	18.9 ^k V/cm	———
	ボルトレススペーサ	365 kV	19.7 ^k V/cm	蝶番部
注水	電線	120 kV	6.5 ^k V/cm	———
	ボルトレススペーサ	145 kV	7.8 ^k V/cm	蝶番部



第19図 コロナ試験状況(乾燥時, 対地430kV)



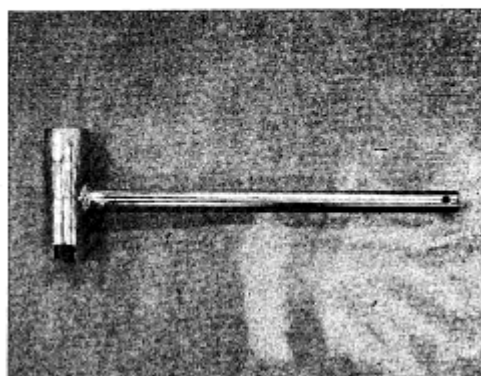
第20図 コロナ試験状況(注水時, 対地430kV)

以上の結果より、旭式ボルトレススペーサのコロナ特性は、電線と同等程度の性能を有していると考えられる。

8. 取付施工

旭式ボルトレススペーサの取り付け作業には、第21図に示すT形スパナが用いられる。

TACSR410mm²4 導体用旭式ボルトレススペーサ把持部の取り付け作業の手順を第22図に示す。取りはずす場合には、この逆を行なう。

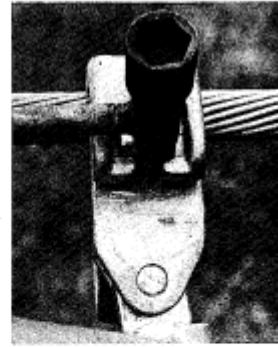


第21図 T形スパナ

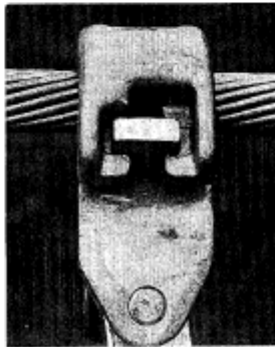
- (1) 把持部蓋をかぶせる。
- (2) T形ボルトをT形スパナで90°回転する。
- (3) T形ボルトが90°回転していることを確認する。
- (4) 押しボルトを抜き取る。



(1)



(2)



(3)



(4)

第22図 取り付け手順

9. むすび

旭式ボルトレススペーサの機械的、電気的性能について、各種の社内模擬試験により実用上に問題がないことを確認してきたが、現在、試験線においてもフィールド試験を実施しており、なら性能的に問題のない結果が得られている。

さらに、TACSR810mm² 4 導体、6 導体についても開発を進めており、近年の高信頼性を要求される送電線への適用、および保守点検の省力化に、その効果が期待できるものと確信している。最後に、スペーサの開発にあたって、いろいろとご指導をいただいた関係各位に深謝致します。