

高電圧用ブスの短絡電流による電磁力

Electro Magnetic Forces of High Voltage
Buses by Short Circuit Current森 恒 夫* 橋 本 博 治** 岡 光 美**
Tsuneo Mori Hiroji Hashimoto Komi Oka

内 容 梗 概

チャンネル型および平型ブスは大電流容量を必要とする発変電主回路に使用されるが、その設計、布設にあたっては短絡電流に対する機械的強度が重要な問題となる。この問題を検討するためにバス系統の1スパンについて実験室的短絡試験を行い、電流と力との関係を振動の測定からもとめた。最大36,000 Aまでの試験ではバス自身あるいは支持碍子そのほかに特別な異常は認められず、バス自身の振動数は通電中および電流遮断後においてほとんど差はなく、固有振動数に一致している。以上の結果、短絡電流による電磁力の計算式を確立し、また、ブスの撓みは慣性モーメントのとり方が問題となるが概略的な評価が可能なおよびブスの振動状況に対して満足しうる結論をえた。さらに碍子の機械的強度から各スパン長さおよび線間距離における許容短絡電流を算出しこれを図で示した。

〔I〕 緒 言

昭和32年2月運転を開始した東京電力戸田変電所においては10 kV母線として平型ブスを使用した。本変電所で平型ブスを特に採用した主な理由は主要変圧器が140/60/10 kV, 100,000/110,000/50,000 kVAという記録的大容量器であり、その三次回路(電力用コンデンサ回路)の定格電流が2,750 Aにも達するためである。なお、大電流母線としてほかにも銅管あるいはチャンネルブスが考えられたが、ブスの配置において上下、曲折が比較的多く、また、付属金具の性能の点なども考慮して平型ブスに決定したものである。

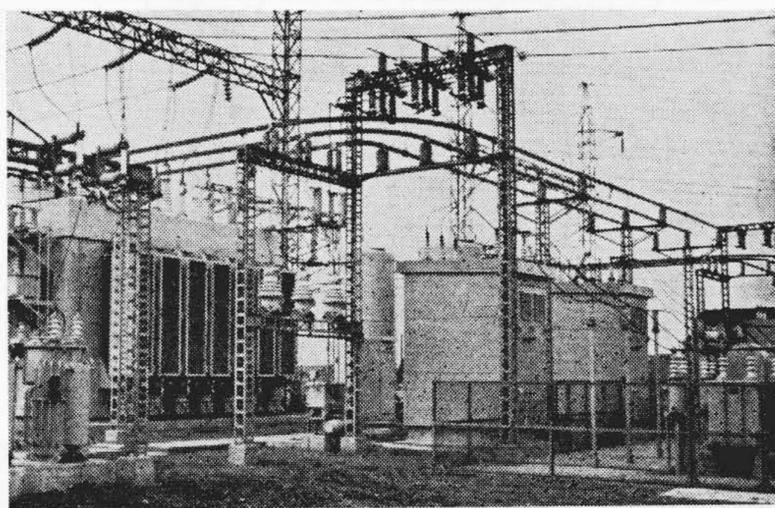
ブスは100mm×6mmの平型銅ブス3枚で、これを垂直配列とし各相は支持柱のビーム上に水平配列しているため、径間、相間隔、支持物構造などの設計にあたっては短絡時の機械的強度が最も問題となつた。すなわち、

- (1) 支持物の径間は屋外であるためできるだけ広げることが望ましく、かつ、本変電所では機器の配置から、各支持柱の中間(母線直下)にコンデンサ開閉所の空気遮断器キューピクルを設置する必要があり、また一方、短絡時機械力を考慮すると反対に径間はできるだけ狭くするのが得策なので種々検討の結果5.4 mとした。
- (2) 相間隔も広げたいが、限度があるので1.0 mとした。
- (3) 支持碍子は20号ラップ碍子を2個ずつ組合せて設置した。これは機械的強度を考慮したためである。

従来、平型ブスはほとんど屋内使用に限られており、支

* 東京電力株式会社

** 日立電線株式会社電線工場



第1図 戸田変電所に設置された10kV平ブス

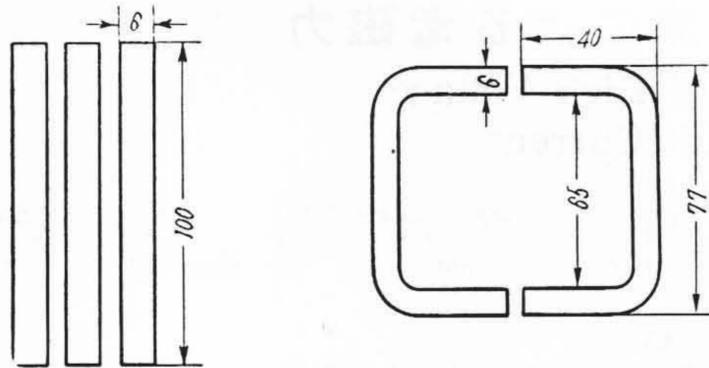
持間隔を狭くとれる上短絡電流もそれほど大きくないので短絡時の機械力の不安は比較的少ないが、戸田変電所のように一次変電所の主要変圧器三次側の場合は50,000 Aの短絡電流となることが予想され、屋外式長径間支持であるので設計上の主問題は機械的強度におかれた。ブス自身のインピーダンス、許容電流などの電気的問題についてはすでに筆者らが報告し、⁽¹⁾ また短絡時の振動に関する報告も二、三⁽²⁾⁻⁽⁴⁾ があるが、この種の条件における機械力については過去においてまだ十分検討されていない感があるので、今般東京電力株式会社、および日立電線株式会社が共同して短絡試験を計画し、今回の設計時の検討の裏付けを行うとともに将来の設計に資することを目的とした試験を実施した。

以下この試験結果について報告する。

〔II〕 試験および測定方法

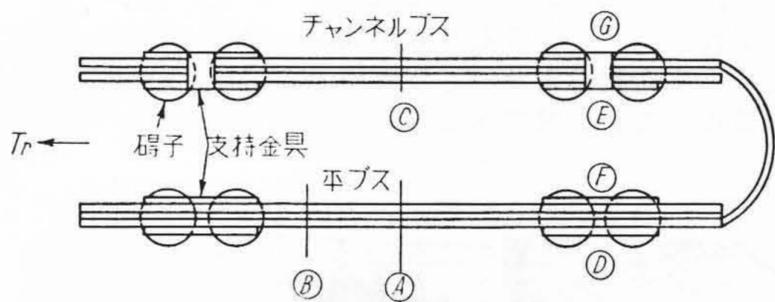
(1) 試料および配置

戸田変電所に使用されたブスの断面は第2図Aに示すとおりであり、変圧器三次巻線コンデンサ回路への主幹回路に用いられている。変電所内機器配置の関係から



A: 平バス B: チャンネルバス

第2図 試料の断面



- | | |
|-----------------------|---------------|
| A: 平バス中央点の振動測定 | ペン書きオシロ |
| B: 平バス1/4点の振動測定 | ペン書きオシロ |
| C: チャンネルバス中央点の振動測定 | ペン書きオシロ |
| D: 碍子頭部(平バス)の振動測定 | オートダイン容量法 |
| E: 碍子頭部(チャンネルバス)の振動測定 | オートダイン容量法 |
| F: 碍子歪の測定(平バス) | 抵抗線歪計, オシログラフ |
| G: 碍子歪の測定(チャンネルバス) | 抵抗線歪計, オシログラフ |

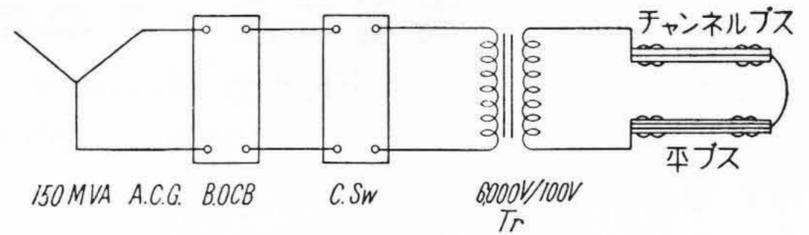
第3図 試料配置 (平面図)

5.4 m という支持間隔の必要に迫られ、短絡電流による機械力が問題となつたものである。実際に使用されたバスと比較するためこれとほぼ同断面積のチャンネルバス(第2図B)を対向させ、1スパンのみを実際と同様に20 kV用ラップ碍子2連で支持した。バスの配置は第3図に示すとおりであるが図中のアルファベットは各測定点を示す。平バスは剛性を増すために径間5.4 mの3等分点の2箇所にはスペーサーを設け3枚相互を固定した。チャンネルバスの方は中央点に同様のスペーサーを設けた。各バスの合計断面積はそれぞれ 1,800 mm² および 1,740 mm² で定常電流は 2,750A である。試験においてはリアクタンス分の減少を計るために一端を短いリード線に変圧器え、他端を短絡してある。

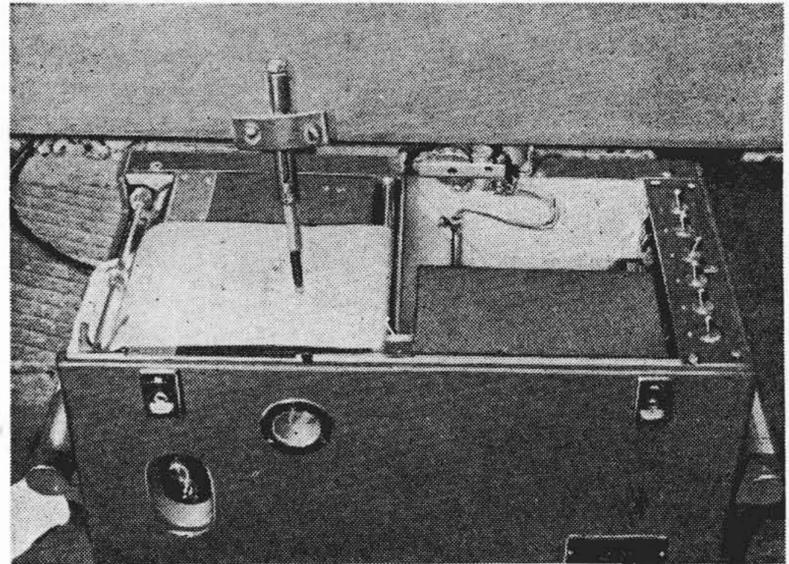
(2) 試験装置および測定方法

試験は日立研究所の150 MVA 短絡発電機を使用した。その回路図を示すと第4図のとおりである。

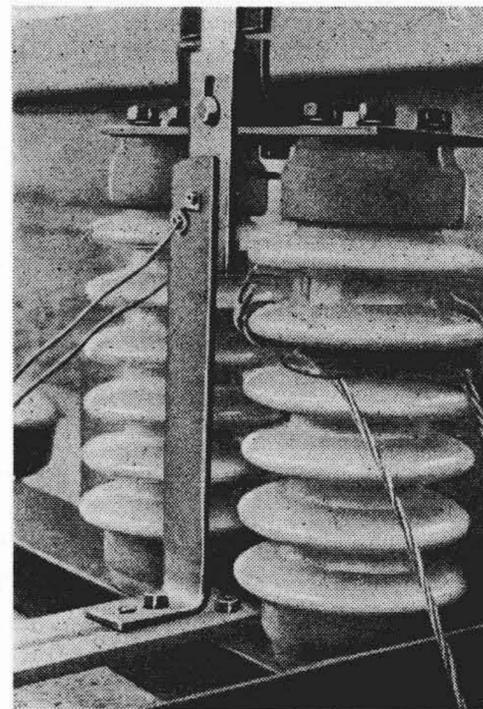
本試験の当初の目的は短絡電流による機械力を評価することおよび同時にバスの振動状況をとらえることにある。したがって機械力の瞬時値を測定する適当な方法がなかつたので振動状況を記録するに留めた。振動の記録には種々の方法があるが、今回の例では相当大きな振幅となることが予想されたので、バスに鉛筆を取り付けペン書きオシロ記録紙に直接記録させることにした。測定状況を示すと第5図のとおりであり、測定箇所は平ブ



第4図 試験回路



第5図 ペン書きオシログラフ



第6図 プローブ

スの中央、4等分点およびチャンネルバスの中央点である。

碍子頭の振動は相当小さいことが予想されたので容量変化を利用したオートダイン振動計を使用した。プローブの取り付け状況を示すと第6図のとおりである。そのほか、碍子歪の測定のために抵抗線歪計を碍子上部に取り付け歪計の出力、通電電流および端子電圧などの記録はすべて電磁オシロによつて時間的变化を記録するようにした。

〔III〕 試験結果

(1) 試験条件

本系統の短絡容量から計算される最大短絡電流は、

第1表 試験条件

試験番号	試験電圧 (V)	最大電流 (A)	波高値 I_p (A)	実効値 I_e (A)	通電時間 (s)
1	1,000	6,300	4,240	3,000	0.4
2	3,000	17,600	13,400	9,500	0.4
3	6,000	36,200	26,800	19,000	0.4
4	6,000	34,200	27,100	19,200	0.42
5	2,000	11,400	9,720	6,800	0.31
6	2,000	11,200	9,600	6,800	0.8
7	2,000	14,200	9,400	6,600	2.82
8	4,000	28,100	17,500	12,400	0.82
9	6,000	36,000	26,400	18,700	0.85
10	6,000	30,500	26,400	18,700	0.76
11	6,000	29,500	18,100	12,800	0.76
12	6,000	30,500	28,400	20,100	0.76

注：1. 試験電圧は変圧器一次側電圧を示す
2. 試験番号1～10まではバス間隔100 cm, 11, 12は75 cm

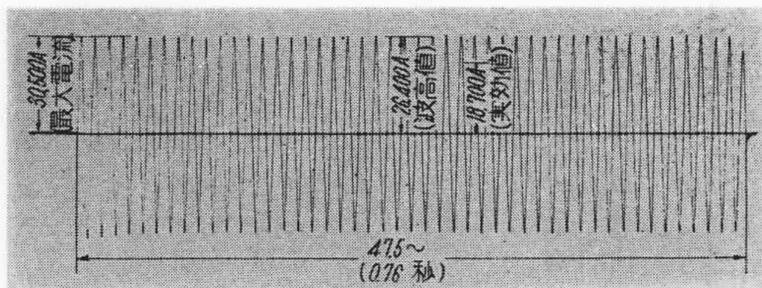
47,000 A となるが、試験の目的が力の計算方式の確立にあり、その電流値を必要とせず、また試験回路の制限もあつたので最大 36,200 A にとどめた。各試験時の条件は第1表に示すとおりであるが、最大電流は初期1サイクルの直流分をも含めた最高電流値を示し、波高値は通電時間の1/2における波高電流である。振動に参与する電流は最初の波高電流であるか、通電中の平均波高電流であるか後述の検討の対象となるがデータの整理上今後の短絡電流はすべて通電時間の1/2における電流値(波高値 I_p)で表わすことにする。

短絡電流波形の一例(試験 No. 10)を示すと第7図のとおりであるが本例は比較的直流分が少ない。直流分の大小は投入位相によつて変化し、各試験時においても異なる。また、遮断時間は0.4秒から1秒について行つたが通電中の振動状況を明瞭にするために試験 No. 7のように約3秒間通電した例もある。

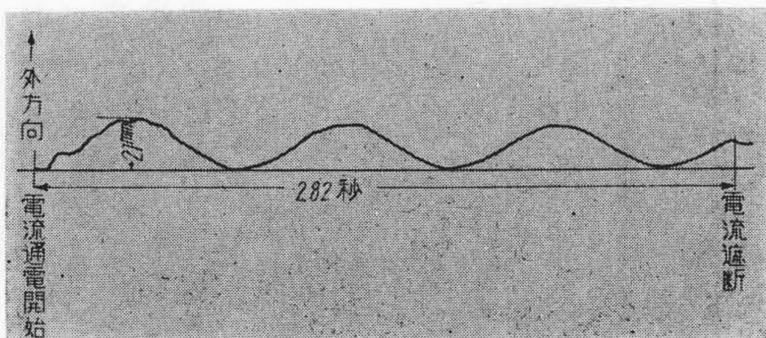
(2) ブスおよび碍子頭の振動

短絡電流によるブスの振動代表例を示すと第8, 9, 10図のとおりである。それぞれ平バス中央, 1/4点およびチャンネルバス中央の振動であるが電流通電中は外方向のみの振動となり、遮断後においては中心線に对称な自由振動を続け次第に減衰している。両者とも比較的単純な正弦波振動を示し、高調波分はほとんどみられない。試験 No. 7のように約3秒通電の例では通電中の振動は振幅が減少し、ある一定の偏位におちつく傾向を示している。電流遮断後の振動は第9図と同様な減衰振動である。平バス1/4点では各通電時における振動周期は一定でなく、またバス中央点の周期とも一致しない。その理由としてはバスをセットした場合の若干のたるみ、あるいは2箇所にもうけたスペーサーが振動における特異点となるなどが考えられるが詳細は不明である。

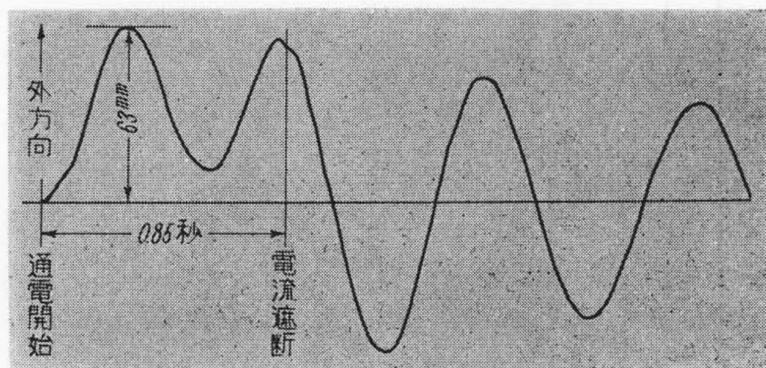
以上の結果をとりまとめて比較すると第2表のとおりであるが、表中試験 No. 1～4はチャンネルバス中央のスペーサーを設けない場合で、スペーサーを設けた場合



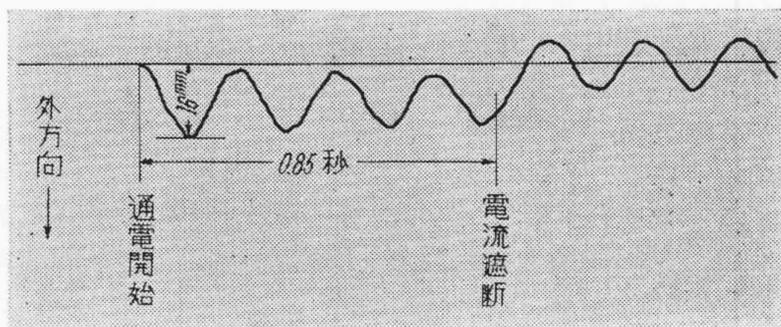
第7図 電流波形



第8図 中央部の振動状況(平バス)



第9図 1/4点の振動状況(平バス)



第10図 中央の振動(チャンネルバス)

に比較すると同一電流条件に対し振幅は非常に大きい。たとえば試験 No. 3 と No. 9 は最大電流および流通電流ともほぼ同一であるにもかかわらず振幅はそれぞれ 29 mm および 16 mm で非常に大きな差がある。それらの布設上の差は中央にスペーサーを設けただけであるにもかかわらず以上のような相違となることは注目する点である。さらに試験 No. 4 は流通電流が No. 3 よりも大きいにもかかわらず振幅は小さいが、これは第1表との対照で明らかのように No. 3 の方が直流分が大きいためであり、振幅に対しては電流の定常分のみでなく初期波高値の影響が大きいことが示されている。

第2表より、中央部最大偏位の実測値と電流との関係を示したのが第11図である。また、支持碍子頭部の振動およびバス端子電圧の変化の測定例を第12図に示したが、誘導そのほかのため不明瞭な振動を測定したにすぎ

第3表 電流による力の計算—実測の比較

試験番号	最高電流 (波高値) (A) ①	定常時の波高電流 (波高値) (A) ②	k ③	ブスの最大偏位を生ずる時の波高電流 (A) ④	力の計算値 (kg/cm)				力の実測値 (kg/cm)
					①の場合	②の場合	③の場合	④の場合	
8	28,100	17,500	1.15	18,550	0.161	0.0618	0.0719	0.0702	0.0568
9	36,000	25,400	1.015	25,400	0.265	0.132	0.134	0.132	0.17
10	30,500	26,400	1.06	26,500	0.19	0.142	0.151	0.143	0.23
11	29,500	18,100	1.16	18,200	0.169	0.0669	0.0776	0.0676	0.0946

注：(1) ④は6～目の電流値 (2) 力の計算値③の場合は定常電流の自乗にkを乗じて計算 (3) 試験番号11は線間距離75cm

ス自身の慣性モーメント，支持条件などが問題となるが前者に対してはブスの形状が複雑であり，またスペーサーがあるので一般的計算式ではもとめにくい。

一般に分布荷重による撓みの最大値は(1)式で表わされる。

$$\delta m = -\frac{\alpha f l^4}{384EI} \dots\dots\dots (1)$$

f: 荷重, l: スパン長, E: ヤング率, I: 慣性モーメント, αは支持条件による係数で両端固定に対しα=1, 自由に対しα=5となる。一方, 集中荷重の場合には

$$\delta m = -\frac{\alpha F l^3}{192EI} \dots\dots\dots (2)$$

となつてαは同様の値となる。今, 実際的なαを決定するために集中荷重試験をチャンネルバスについて行つたが, 実測から得られた値はα=1.3となり, 本試料では両端固定の条件に近いようである。

次に電流による力の計算式については M. Siegel氏⁽⁶⁾ O. R. Shurig⁽⁷⁾ 氏などがチャンネルバスおよび平バスに対してそれぞれ計算式を与えているが, 本例のように線間距離が比較的長い場合には(3)式のように集中電流間の力と考へてもほとんど差はない。この点は各計算式による比較によつて確められた。

$$f_0 = \frac{\mu_0 \mu_s I^2}{2\pi \Gamma h} \dots\dots\dots (N/m) \dots\dots\dots (3)$$

h: 線間距離 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

一方, 短絡電流は一般の場合には直流分を含むと同時に交流分自体も減衰するので, どの点の電流を対象とするかが問題となる。この点に関して D. W. Taylor 氏⁽³⁾ は定常電流にkなる補正係数を考慮すればよく一致すると報告している。すなわち(4)および(5)式である。

$$f_0 = \frac{M2kI_s^2}{h \times 10^7} \dots\dots\dots (4)$$

$$k = \frac{\sum I_p^2}{nI_s^2} \dots\dots\dots (5)$$

I_p : ブスの最大偏位を生ずるまでの各波高電流

I_s : 定常電流

一方, 力の時間的变化は

第4表 碍子頭部の振れ

試験番号	荷重 (kg)	平バス碍子の振れ		チャンネルバス碍子の振れ	
		バスに荷重をかけた場合 (mm)	碍子頭部にかけた場合 (mm)	バスに荷重をかけた場合 (mm)	碍子頭部にかけた場合 (mm)
1	32	0.01	—	—	—
2	43	0.02	—	—	—
3	34	0.18	—	—	—
4	70	0.30	—	—	—
5	90	0.36	—	—	—
6	21	—	0.08	—	—
7	73	—	0.34	—	—
8	90	—	0.42	—	—
9	43	—	—	0.03	—
10	70	—	—	0.06	—
11	95	—	—	0.09	—
12	43	—	—	—	0.107
13	70	—	—	—	0.16
14	95	—	—	—	0.216

$$f = f_0 \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} f_0 (1 - \cos 2\omega t) \dots\dots\dots (6)$$

となつて, 交流電流による力は $\frac{1}{2} f_0$ の直流分と2wの角速度の交流成分に分けられ, 後述のようにブスの固有振動数は力の交流分に比して非常に小さいから影響を及ぼすのは直流成分のみである。実測された振動は直流成分が急に加わつた場合の過渡振動であると考えられる。

結局比較されるのは $\frac{1}{2} f_0$ の力とブスの平均撓みである。実測によれば平バスの振動は非常に大きく(1)式の誘導条件に合致しないので, 振動の小さいチャンネルバスの結果に対して平均撓みからもとめた力(実測値)と電流値からもとめた力(計算値)を比較すると第3表のとおりである。表の結果によれば相当大きなバラツキはあるけれど定常電流による計算値あるいは D. W. Taylor 氏⁽³⁾ の計算方式による値とは一応一致するものとみてよろしい。

平バスではその振動が大きすぎることを, および通電しないときのたるみのため(1)式が適用できず以上のような比較を行うことができないけれども力に関する限りチャンネルバスと同様である。

(2) 碍子頭の偏位および力

短絡試験時に碍子頭部の振動測定を行つたが, この振幅と実際に碍子にかかつた荷重との関係をうる必要がある。今, 荷重系が1スパンのみである場合には碍子頭の

反力は(7)式で表わされる。

$$R = \frac{F}{2} \text{ あるいは } R = \frac{fl}{2} \dots\dots\dots (7)$$

この関係を明確にするためにブス中央に静荷重を与えた場合および碍子頭に直接与えた場合の碍子頭の偏位を測定した。力の測定は張力計により、偏位の測定はダイヤルゲージによつた。

第4表はその結果を示すが、試験 No.1~2は碍子をセットしてから最初の試験であり、No.3~8は100kgの荷重試験を2回繰り返した後の結果である。No.9~11はセット後最初の試験であり、No.12~14はそれに引続いて行つた試験である。以上の結果によると碍子頭の偏位はボルトの締め状態によつて非常に変化し、荷重試験の実施によつてさえも条件は変わるようである。したがつて碍子頭の偏位と力の関係を正確に定義することは困難のように思われる。試験 No.9~11とNo.12~14とを比較すれば碍子頭に直接荷重をかけた場合の振れはブス中央点に荷重をかけた場合の2.4~3.6倍となつており、荷重をかけたことによるボルトのゆるみを考慮すれば(7)式の関係がほぼ成立する。他方平ブスの場合にはNo.3~5とNo.6~8の振れが大体同じでこの関係は成立しない。これは主として平ブスの長さ方向の張力増大によるためと考えられる。以上の結果によれば短絡試験時の碍子頭の偏位から支持点に働く力の推定は困難であり、一応(7)式の関係による力の計算に信をおくこととした。

(3) ブスの振動

各短絡試験時のブスの中央、1/4点の振動記録から通電時の振動周期および電流遮断後の自由振動周期は第1表のとおりである。一方ブスの固有振動数の計算式(8)から平ブスおよびチャンネルブスの振動数はそれぞれ0.67 c/s および 5.13 c/s となる。

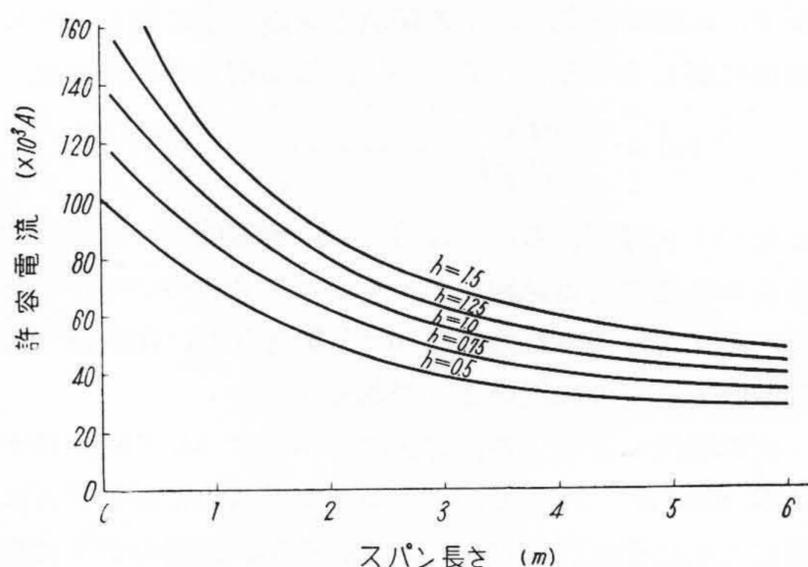
$$n = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}} \dots\dots\dots (8)$$

γ : 比重量, $g=980 \text{ cm}^2/\text{s}$, λ : 振動係数 (一次に対し 4.73), A : 断面積

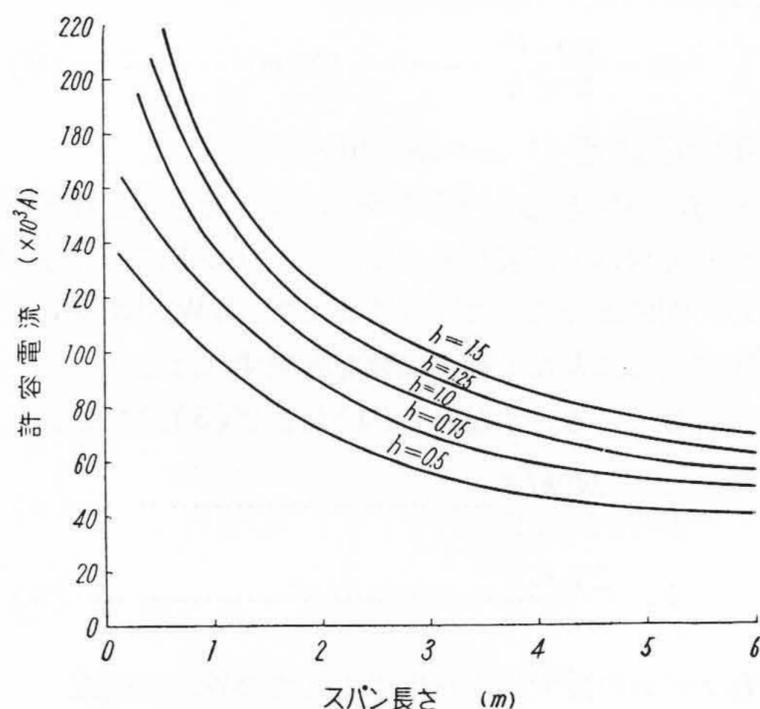
振動数の実測結果によると平ブス中央点と1/4点では若干異なるようであるが、通電時の観察結果では両端を節とする単純な振動ではないためと考えられる。その理由は最初のセット時のブスのゆるみ、あるいは2箇所に入れたスペーサがあげられる。しかしながら特異なデータをのぞけばブスの振動数は一応1.1 c/s, および6.6 c/sで計算結果に近い。以上の振動数は力の交流分の振動数に比して非常に小さいので交流分の影響は無視される。したがつて試験時にみられる振動は $1/2 f_0$ の力が急に加わつたときの過渡振動であり、電流遮断後においては初期偏位からの減衰自由振動である。

(4) 許容短絡電流

ブス回路において機械的に問題となるのは支持碍子、締付ボルトおよび支持金具などの強度である。したがつて許容短絡電流は電気的な問題(リアクタンスおよび温度上昇)を除けばこれらの機械的強度から決定される。碍子および金具などのボルトは1/2inであるのでその抗張荷重は衝撃比を考慮して3,000kgである。一方、碍子自身の衝撃破壊荷重は日本碍子株式会社の試験結果⁽⁸⁾によれば、1,000kgとなるので碍子の大きさによるボルト荷重の増加を考慮しても弱点は碍子自身にある。したがつて許容短絡電流は碍子の強度を基準にして考える必要がある。一般にこの種の計算においては安全係数を考慮することになつてはいるが、碍子に対しては3~5⁽⁹⁾という値が普通である。実系統ではスパンが多いことおよび直流分をも含めた最大電流に対する安全度を考慮して5とすれば、碍子頭部の許容荷重は1連に対し200kg, 2連に対し400kgとなるので(3)式から許容短絡電流は(9)お



第13図 許容電流—スパン長さの関係 (碍子1連, 安全係数5)



第14図 許容電流—スパン長さの関係 (碍子2連, 安全係数5)

よび(10)式として求められる。

$$I_1 \leq \sqrt{\frac{200 \times 2\pi \times 9.8}{\mu_0}} \sqrt{\frac{h}{l}} \quad (\text{A}) \quad \dots\dots (9)$$

碍子1連支持

$$I_2 \leq \sqrt{\frac{400 \times 2\pi \times 9.8}{\mu_0}} \sqrt{\frac{h}{l}} \quad (\text{A}) \quad \dots\dots (10)$$

碍子2連支持

これらの計算結果を示すと第13図および第14図のとおりであり、戸田変電所の例に対して60kApとなる。

〔V〕 結 言

以上の検討によれば短絡電流通電時のブスの振動は短絡時の通電定常電流によつて大略の評価が可能であること、碍子頭部の振動は電流による分布荷重以外に支持条件に左右されるが頭部の力はスパンにかかる力が両端に分けられるとの考えがほぼ正しいこと、およびブスの振動自身は直流的一方向の力が急に加わつたときの過渡振動および電流遮断後の減衰自由振動であることなどがたしかめられた。

短絡許容電流の決定においては20kV用ラップ碍子自身の破壊荷重と安全係数をそれぞれ1,000kgおよび5と

して求め、これを支持間隔および線間距離の函数として表示し、今後の使用に便ならしめた。

擧筆にあたり種々御指導にあずかつた東京電力株式会社高木課長、花形係長、門田氏に厚く御礼申し上げるとともに実験などに御援助いただいた日立製作所日立研究所の牧主任研究員、山崎主任、および日立電線株式会社内藤部長、久本、大和両副部長、杉山課長、相田氏に感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 今井, 岡, 橋本: 日立評論別冊15号20(昭31)
- (2) R. M. Meton, F. Chambers: A. I. E. E. (Power App. & Syst.) No.19 743 (1955)
- (3) D. W. Taylor, C. M. Stuehler: A. I. E. E. (Power App. & Syst.) No. 25 739 (1956)
- (4) J. B. Cotalda, N. Shackman: A. I. E. E. (Power Apparatus & Systems) No.23 95 (1956)
- (5) 宮沢, 依田, 橋本, 相田: 日立評論 39 929(昭32)
- (6) M. Siegel: T. A. I. E. E. 72 (Ⅲ) 522 (1952)
- (7) O. R. Schring: M. F. Sayre: T. A. I. E. E. 44 217 (1925)
- (8) 大島, 水野, 岡田; 日碍レビューNo.9 9 (1955)
- (9) 中部電気協会: 現場の手引 244. (昭30 コロナ社)

日立電線関係の論文紹介 (その5)

(第53頁より続く)

- (4) 621. 315. 212
本多誠一(茨大), 堀口二三男: 短尺同軸ケーブルの不均等性測定用パルス試験機, 日立評論 36 (11) 1701 (昭29-11)
- (5) 621. 315. 212: 621. 397. 53
堀口二三男, 庄司一男, 鈴木敏雄: テレビジョン伝送用アルミ被同軸ケーブル, 日立評論 別冊9号 7 (昭30-3)
- (6) 621. 397. 5: 621. 315. 212
今西久称, 角野正夫, 堀口二三男: 水力発電所における工業用テレビジョンの一方式, テレビジョン 9 (3) 74 (昭30-3)
- (7) 621. 315. 243. 052. 7
八田 達: メッセージャーワイヤ付通信ケーブルの一次定数, 日立評論 37 (5) 847 (昭30-5)
- (8) 621. 315. 243. 052. 7
八田 達: メッセージャーワイヤ付通信ケーブルの一次定数(続報), 日立評論 37 (8) 1187 (昭30-8)
- (9) 621. 315. 213. 14: 621. 3. 011. 2
八田 達: 鋼線に平行した星型カッドの抵抗およびインダクタンス, 信学誌 38 (10) 815 (昭30-10)
- (10) 621. 315. 213. 14
八田 達: ヒョウタン型通信ケーブルに関する静電的問題, 日立評論 38 (4) 623 (昭31-4)
- (11) 621. 315. 213: 621. 315. 242: 621. 3. 013. 72
八田 達: セルフサポータイングケーブルにおける吊線の静電遮蔽作用, 日立評論 38 (6) 833 (昭31-6)
吊線と伝送系とを一体化した構造のケーブルでその特長は、高圧線より受ける誘導障害に対して安定で、配電線添架電話線として使用する場合、吊線の接地で伝送系の対地アドミタンスを大きく取れ、誘導電圧を著しく軽減できる。吊線はケーブルの支持体の作用ばかりでなく静電遮蔽体の機能を果している。
吊線の静電遮蔽効果に関して定量的な取扱いを試み、このケーブルの設計の基礎を与えた。
普通構造のセルフサポータイングケーブルでも、電線の接地によつて伝送系にかかる電圧を5~10%程度軽減でき実用上危険がないことが確かめられた。
- (12) 621. 315. 213. 14: 621. 3. 011. 2+4: 621.315. 221. 8
八田 達: 誘電体シースで包囲された星型カッドの静電容量および漏洩コンダクタンス, 信学誌 39 (8) 715 (昭31-8)
- (13) 621. 372. 22
八田 達: 不均等線路における伝送方程式の解法, 日立評論 別冊15号 56 (昭31-10)
- (14) 621. 315. 2: 621. 395. 722
庄司一男, 鈴木敏雄: 各種局内ケーブルの諸特性, 日立評論 別冊15号 62 (昭31-10)

(第71頁へ続く)