

# 大電流母線の接続に関する基礎実験

北村 岩雄, 池田 長康, 有村 文宏, 澤田 邦男\*  
橋本 吉昭\*, 河村 晃一\*, 北村 利博\*

## 1. ま え が き

現在, 我々は家庭ではさまざまな電化製品に囲まれて生活をし, 職場では空調設備からビル管理システムが導入された建物や自動化の進んだ生産工場で行っており, これらは全て電気を消費している。また, 公共施設も電気鉄道をはじめ, 高速道路の管理, 照明などにも電気を使っており, 今後, ますます電気の需要が増えるものと予想される。このような時代の傾向にあつて, 受電設備, 各配電盤も省エネルギー化, コンパクト化が要求されている。しかも, 母線の大電流化の方向にある。我々は高電流母線の温度上昇に関する基礎実験<sup>1)</sup>を行つて来たが, これら高電流母線の接続も温度上昇に劣らず重要な問題であり, 母線の接続を設計するに際して不明な点があつた。これらの点を明確にするため, 接点に関する基礎実験を行つたので報告する。

## 2. 従来の考え方<sup>2),3)</sup>

接続点の接触抵抗は1) 集中抵抗と2) 境界抵抗とに分けられる。

### 1) 集中抵抗

この抵抗は図1に示すように, 眞の接触面積は実際の面積の数100分の1から数10000分の1で極めて小さい<sup>4)</sup>。電流はこの眞の接触面を通して流れるため, 電流の通路が絞られる。集中抵抗はこのように導体内部に生ずる電位差による。これは

$$R = \frac{1}{4}(\rho_A + \rho_B) \sqrt{\frac{\pi f}{nF}} \quad [\Omega]$$

で与えられる。ここで $\rho_A, \rho_B$ はA母線, B母線それぞれの抵抗率 $[\Omega\text{cm}]$ であり,  $n, F$ はそれぞれ接点の数, 接触圧 $[\text{kg}]$ ,  $f$ は弾性限界 $[\text{kg}/\text{cm}^2]$ である。

### 2) 境界抵抗

この抵抗は接触面における表面被膜の存在によるものである。金属の表面には図2に示すように, 金属母材があり, その上に加工硬化層があり, 更に酸化膜,

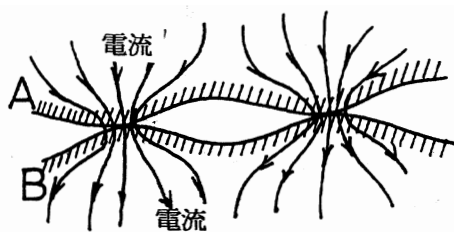


図1

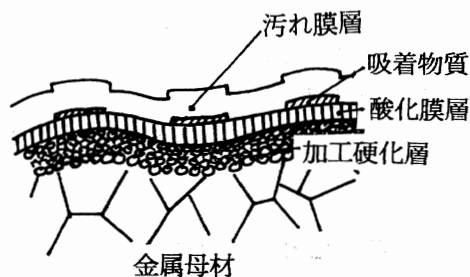


図2

\* 別川製作所

気体吸着膜があり、その上に汚れの膜が着いているという構造をしている。このように被膜が10nm以上の厚い場合、このままでは電流が流れず、絶縁膜を挟んだと同じである。従って、この被膜を接触力で機械的に破壊するか、あるいは電氣的に破壊する（電圧がある電圧までは $\sim M\Omega$ であるが、この電圧に達すると急激に数 $\Omega$ に下がる。これをコヒーラ現象と言う）かのいずれかである。

このように接触抵抗は二つの因子からなるが、それぞれに問題がある。集中抵抗を減らすにはその接点 $n$ を増加し、接点面積を大きくすれば良いが、これには柔らかい物質が接触面に良くなじみ、適していると考えられる。しかし、大きな接触圧を加えることが出来ない。更に、一般に被膜は硬い酸化物であるので被膜の機械的な破壊には適しない。一方、硬い物質を用いて接触させる場合を考えると、その表面には当然微視的な凹凸があり、凸凸の部分の一部は真の接触するであろうが、他の部分は全く接触しない可能性がある。これから、

- 1) 見掛けの接触面積を大きくすることは真の接触面積の増大になるのか。
- 2) 接触圧をどれだけ大きくするのが妥当か
- 3) 硬い物質で接触させるべきか、柔らかい物質で接触させるべきか

という基本的な問題が残っておるように思われる。我々はこの問題を明らかにするための基礎的な実験を行った。

## 2. 実験装置と測定方法

導体の接触抵抗のみを測定することは極めて難しい。それゆえ、我々は測定試験片の形状を決め、一定の直流を流し、接続部を含む2点間の電位差を測定することにより行った。

試験片の形状は次の2種類である。

- 1) 幅30mm、厚さ3mm、長さ180mmの銅板、2枚で、電流供給点は300mmの間隔で、電圧測定点は110mm離れている。これを図3に示す。
- 2) 幅50mm、厚さ6mm、長さ300mmで、電流供給点は270mmの間隔で、電圧測定点は100mm離れている。

1)の実験では直流電源は汎用品で10Aまでのものを用い、電圧測定には10Aを流し、デジタルマルチメータを用いた。

2)の実験では電圧測定には100Aを流し、同じようにデジタルマルチメータで測定した。

次に、大電流を流した場合の影響を調べるために、2種類の実験を行った。

1)の実験の試験片では既報1)に述べた電源で1000Aの電流を流し、試験片の温度が室温に戻った後、抵抗測定を行った。

2)の実験の試験片では800Aの電流を流し、表面温度の測定を行った。

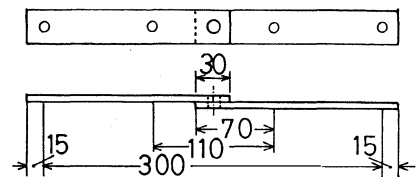


図3

## 3. 抵抗測定実験の結果

### 3.1 接続抵抗の締め付けトルク依存性

まず、接続抵抗が締め付けトルクによっていかに変化するかを調べた。この結果を図4に示す。

従来の考え方からは、締め付けトルクと接触圧とが比例するとすれば $1/2$ 乗に比例することになる。この実験結果は締め付けトルクに対して反比例の関係にあることが分かる。この図において点線は計算による抵抗 ( $18.3\mu\Omega$ ) であり、1点鎖線と2点鎖線はそれぞれ接続点を全面銀ろう付けした試験母線の抵抗 ( $19.2\mu\Omega$ ) と全面半田付けしたものの抵抗 ( $20.6\mu\Omega$ ) である。

### 3.2 接続抵抗の接触面積依存性

a) 真の接触面積を調べるために、図5に示すように $0.5 \times 0.5\text{mm}$ の微小銅片からなる接触片を接続面に挟み、この個数と締め付けトルクを変化させて接続抵抗を調べた。

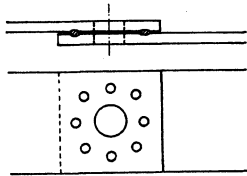


図5

この結果を図6のIに示す。微小銅片4個でも比較的小さい締め付けトルクで抵抗値が小さくなり、既に見掛けの全面接触とほぼ等しい値が得られていることを示している。また、単位面積当たりの締め付けトルクで整理をすると図7のもうにほぼ一定の抵抗値を示す。

b) 幅50mm、厚さ6mmの試験母線についても挿入した微小銅片線の太さ、長さ、個数を変え、放射状やリング状の配置につき、抵抗値を調べた。締め付けトルクは $400\text{kgf}\cdot\text{cm}$ で一定である。800Aを通電し、通電前後の抵抗値を測定した。この時の見掛けの重ね合わせ面積は $50 \times 50\text{mm}$ である。この結果を図8に示す。この試験母線はa)の母線に比べ、厚く、幅が広いいため抵抗値は低いがいずれの場合も $17 \sim 18\mu\Omega$ とほぼ一定の値を示している。また、通電前後の抵抗値もほとんど変化していない。同図には上昇した温度差も示す。これもほぼ同じ値を示す。

### 3.3 接続抵抗の金属結合接続の特性

我々は接続面を酸化させないようにある程度

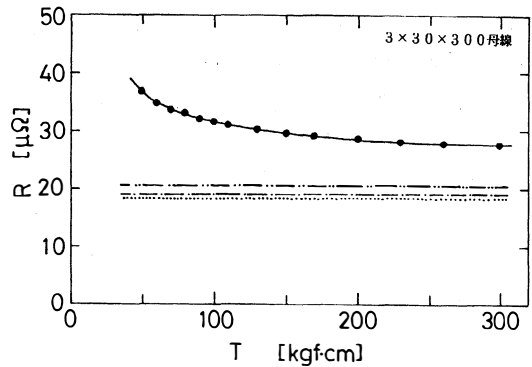


図4

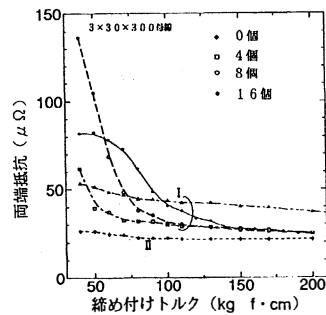


図6

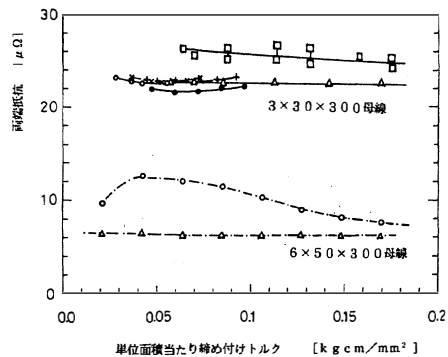


図7

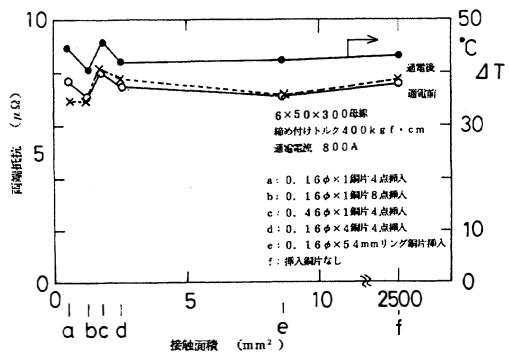


図8

の締め付け力のもとで摩擦し、接続面において金属結合をさせると、劇的に抵抗値が下がることを見付けた。再現性を確かめるため、幾つかの実験を行った。

a) 30mm 幅母線の接続点において接続面の摩擦による締め付けトルク依存性

摩擦の方法は母線の接続点において数10度曲げ、再び元に戻すことにより行い、一部が金属結合をしたと考えられる。このときの締め付けトルク依存性は図6のIIに示すように、ほとんど見られない。

b) 30mm 幅母線において接続面の摩擦による見掛けの接続面積依存性

見掛けの接続面積は図9のように、この面積を少しづつ減らして接続抵抗を測定した。この結果を図10に示す。

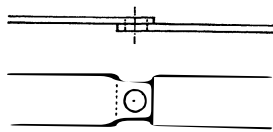


図9

c) テーパーピンによる金属結合接続

上述べたような低抵抗が金属結合による接続で得られたので、銅のテーパピンを接続点の中間金属として図11に示すように押し込むことにより、良好な接続が可能になるのではないかと試みた。接続母線の間は絶縁をし、ピン以外には電流が流れないようにした。

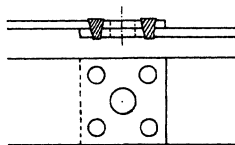


図11

図12にこの結果を示す。抵抗値は4本で $23.2\mu\Omega$ まで下がっており、良好な金属結合接続がなされていると考えられる。

d) 一本のテーパピンによる金属結合接続

図13のように一本のテーパピンを接続母線の間打ち込み、テーパピンの中心に孔をあけ、この孔の径を次第に大きくし、テーパピンの中を流れる電流の分布効果を調べた。接続部はピン以外は絶縁されているため、電流はピン以外には流れない。この結果を図14に示す。孔の径を次第に大きくしても抵抗値は変わらずほぼ一定である。

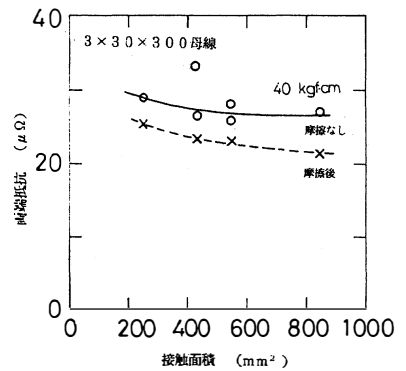


図10

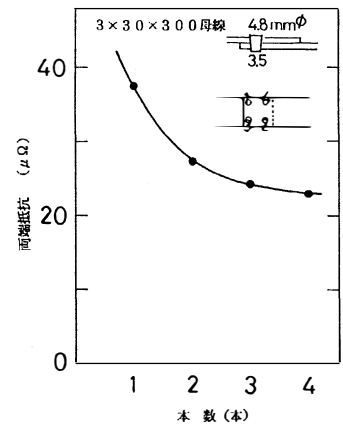


図12

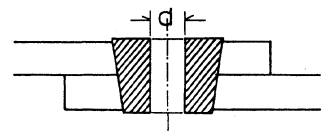


図13

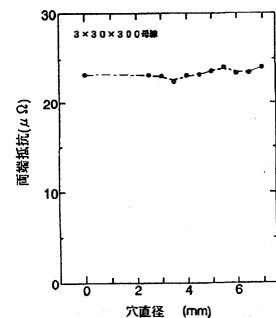


図14

#### 4. 通電実験の結果

図8に示したように幅50mm、厚さ6mmの試験母線について800Aを通電した前後の抵抗値は全く変化が無い。

また、図15に示すように幅30mm、厚さ3mmの試験母線について、一本のテーパピン（孔の径7mm）による金属結合接続の場合、1kA1時間通電したとき、通電前後の抵抗値はそれぞれ $25.5\mu\Omega$ と $24.9\mu\Omega$ で誤差の範囲内で一定である。この図でテーパピン付近の温度が $\sim 30$ 度近く低いのはテーパピン中心の径7mmの孔を通して流れる空気の流れ冷却によるものと考えられる。

これらの結果から、通電時にも金属結合接触が確保維持されていて、接触部が酸化などの化学的な汚損を受けなければ抵抗値は変化しないことが言える。

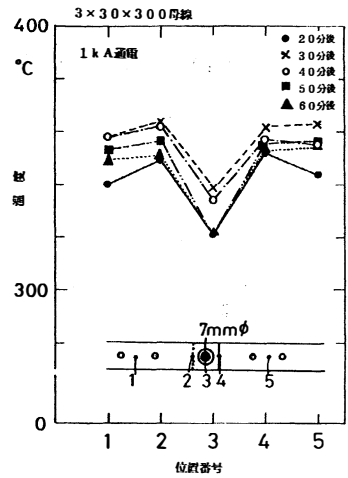


図15

#### 5. 結 び

この実験から、次のような結論を得た、

- 1) 接続点で金属結合接触がなされておれば、締め付けトルクに無関係に良好な接続が達成されている。従って、金属結合接触のない場合、見掛けの接触面積の増大は真の接触面積の増大には直接つながらない。
- 2) 金属結合接触がなされておれば、接触圧に無関係であり、軟らかい金属や硬い金属を介在させて接触させようということ自体意味をなさない。
- 3) この金属結合接触には種々の方法が考えられるが、ここで行った実験は
  - a) ある程度締め付けた後、ボルトを中心に回転させ、接続点をこする。
  - b) 数個のテーパ状のリベットを打ち込む。
  - c) 接続ボルトの周りにテーパ状のリベットを打ち込む。
 などであるが、いずれも金属結合接触が達成され、極めて低い抵抗値となった。
- 4) 500Aから1000Aの通電実験でも金属結合接触がなされている接続点が酸化しなければ低い抵抗値のままで不変であることが分った。
- 5) 母線の接続に関して基本的な問題は接続点において如何に金属結合状態を広く達成するかということに帰すると考えられる。模式的に2本の母線の金属結合接触を描けば図16のようになるであろう。

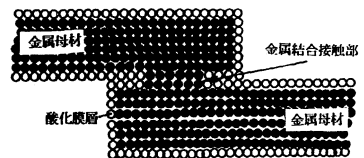


図16

#### 参 照 文 献

- 1) 池田, 北村, 澤田ら, 富山大学紀要, 第44巻 p.5, 1993
- 2) 電気学会編, 電気工学ハンドブック, 1978
- 3) 土屋金弥, 電気接点, 総合電子出版社, 1980
- 4) 曾田範宗, 「摩擦の話」岩波新書, 1979

## Fundamental experiments on the connection of high current buses

Iwao Kitamura, Nagayasu Ikeda, Fumihiro Arimura,  
and

Kunio Sawada\*, Yoshiaki Hashimoto\*, Koichi Kawamura\*, Toshihiro Kitamura\*  
(\*Betsukawa Seisakusho Co. Ltd)

Electric power demands are increasing at present in many fields such as domestic homes, automation product systems at almost factories, maintenance and administration systems of buildings and infrastructure systems for public use. It is important to decrease the electric power loss and to design the electric system to compact one. Fundamental experiments on the metal contact of a high current bus are carried out for this reason. It is found from the experiments that the contact pressure is not essential, but the real metal contact with metal bond structure is essential for the low electric resistance in bus connection and the contact with the metal bond structure is able to almost attain to the value of resistance of metal bus with no connection part.

[英文和訳]

### 大電流母線の接続に関する基礎実験

北村 岩雄, 池田 長康, 有村 文宏, 澤田 邦男\*,  
橋本 吉昭\*, 河村 晃一\*, 北村 利博\*  
(\*別川製作所)

現在、電力需要は一般家庭、殆どの工場における自動生産システム、ビルの維持、管理システムや公共の基盤システムなどの多くの分野で増加しつつある。電力損失を減らし、コンパクトにシステムを設計することは重要である。このような理由から、大電流母線の接続に関する基礎的な実験を行った。この実験から金属結合構造をもった真の金属接触は電氣的母線の接続にとって本質的であり、接触圧はそうでは無い。そして、この金属結合構造をもった真の金属接触がなされれば、接続部をもたない金属母線と抵抗がほぼ同じ値にまですることが可能であることが分かった。