

S 形 アース棒 の 諸 特 性

Various Properties of "S-Type" Ground Rod

守 道 喜 春* 山 路 賢 吉**
Yoshiharu Morimichi Kenkichi Yamaji

内 容 梗 概

日立電線株式会社の開発した銅被鋼条を素材とし、株式会社日本動力安全機製作所の特許による S 形アース棒について、その諸特性に関する簡単な実験を行なった。その結果から S 形アース棒の特長を列挙すると次のようになり、従来より使用されている他の形式のアース棒に比べて、数多くのすぐれた利点を持っていることが明らかとなった。

- (1) 大地との接触抵抗が小さい。
- (2) 耐用年数が長い。
- (3) 座屈強度が大きい。
- (4) 施工方法や取扱いが簡便である。
- (5) 軽量で運搬が容易である。
- (6) 安価である。

1. 緒 言

接地工事については近來負荷の増大、回路の複雑化にしたがい保守の確実性と安全の確保がますます要求されている。このため使用されるアース棒としても、次の諸条件を満足していることが望ましい。

- (1) 電氣的に良導体であること
- (2) 機械的に必要な強度をもっていること
- (3) 耐食性が良好なこと
- (4) 施行方法や取扱いが簡便なこと
- (5) 経済的に有利なこと

ひるがえって考えてみると従来よりアース棒としては、その用途、目的に応じて銅または軟鋼の板、管、棒、線のほかに、黒鉛、炭素を主体とする板または棒が使用されてきた。しかしながら上記の条件から考えてみると、鉄鋼および亜鉛メッキ鉄鋼材料では耐食性に乏しく、黒鉛または炭素材料では導電性に欠けるきらいがある。また銅そのものの使用は、材料的強度および経済性に難点がある。ここに銅被鋼材の登場をうながす理由がある。

アース棒として銅被鋼材を利用する場合は、その製造法ならびに形状、寸法について考える必要がある。銅被鋼棒の製造法としては、鋳ぐるみ法、めっき法およびとも引き法が採用されている。鋳ぐるみ法は、カッパーウエルド(Copper weld)法⁽¹⁾で代表されるもので、鋳塊製造時に鋼棒の周囲に溶銅を鋳造した後、加工する方法である。めっき法は、鋼棒の上に銅めっきする方法で、この方法はアース棒としては、わが国では種々の理由から実用化されていない。とも引き法は、アース棒としては、わが国では最も広く利用されている方法で、鋼棒を銅パイプに引き込み、ダイス引きして両者を一体にする方法である。しかしながらこの方法では、銅と心となる軟鋼棒を冶金学的に完全に一体とすることは困難で、その結合状態は機械的なものといえる。このため打ち込み先端の形状をせん頭形にした場合、打ち込み途中で被覆した銅がまくれあがる問題を発生する場合がある。また引き抜き法を用いる関係上、チャック先端および後端のロスはやむを得ないもので、経済的ではない。

矢板式 S 形アース棒⁽²⁾は、上記の欠点を除去したもので銅被鋼条(日立電線製 CFC クラッド材)を S 字形に曲げ強度を保持し、大地と

の接触面積を広くするように加工したもので、同種丸形アース棒に比べて多くのすぐれた特長を持っている。

本論文は、矢板式 S 形アース棒の諸性能について実験ならびに実用的試験を行なった結果について報告する。

2. S 形アース棒に用いる CFC クラッド材の諸特性

S 形アース棒は、その要求される性能から考えても容易にわかるように、材質的問題が最も重要である。すなわち使用する銅、鋼の材質、板厚およびそれらの板厚比、結合状態が問題である。使用している銅条は、電気銅そのものであり(純度: 99.95% 以上)、鋼材としては富士製鉄株式会社製の軟鋼である。鋼材の座屈強度からいえば、炭素含有量のなるべく多いものが望ましいが、S 形曲げ加工および端末処理から考えて上記のものを選んだ。その板厚は打ち込み時の機械的強度から考えて、14 mmφ 銅被鋼棒に対応するものとして S 形曲げ加工前の板幅を 40 mm、板厚を 1.6 mm とした。また銅と鋼との板厚比は、その比抵抗から考えて 1:8:1 とした。したがって板厚 1.6 mm の場合、銅被覆厚は片側 0.16 mm、板厚 1.2 mm の場合は 0.12 mm となる。これらの値は土壌中の耐食性を考えると特別の場合(有機物質を多く含む土壌、強アルカリ性土壌、その他)を除き、ほぼ十分な銅被覆厚といえる⁽³⁾。

クラッド材の製造法は、各種の方法が開発され、その特許も数百年にのぼるが、長尺板材製造法としては、熱間圧延法と冷間圧延後拡散加熱する方法とがある⁽⁴⁾。銅—銅—銅クラッド材の製造には両者の方法が利用できるが、前者の方法では銅と鋼の界面に酸化物、ガス、異物の介在を完全には防ぎ得ない。また圧延回数が多くなるため長尺、薄板の製造は経済的ではない。これに対し後者の方法は本目的の場合にはいずれの点でも有利と考えられる。著者の一人は冷間圧接⁽⁵⁾⁽⁶⁾の応用としてクラッド材の製造研究に着手し、東北大学金属材料研究所田中教授ご指導のもとに冷間圧延法を利用した新しいクラッド材製造方式を確立した⁽⁷⁾⁽⁸⁾。この方法によれば銅と鋼との界面には原子の相互拡散が発生し完全に一体化する。

第 1 図は S 形アース棒の横断面を示す。また第 2 図は銅と鋼との接着界面の顕微鏡組織を示す。この図から銅と鋼との相互の結晶粒が界面をよこぎっており、完全に一体化していることがわかる。

第 3 図および第 4 図は接着強度をみるために行なった試験で、前者はねん回後も端面に異常のないことを示し、後者は密着曲げにも十分耐えることを示している。

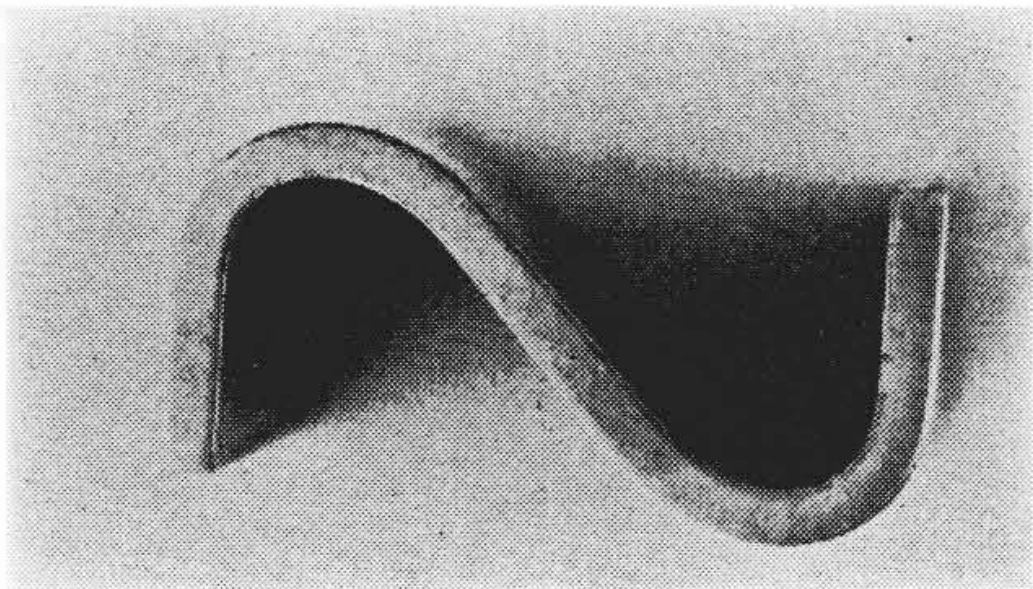
* 株式会社日本動力安全機製作所 取締役

** 日立電線株式会社日高工場 工博

第1表 S形と丸形アース棒の諸性能比較

供 試 材		外 径 (mmφ)	被覆銅厚 (公称) (mm)	単位重量 (kg/m)	銅表面積 (cm ² /m)	か た さ(Hv500g)		比 抵 抗 (μΩ-cm)	導 電 率 (IACS%)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	坐屈荷重 (kg)
						銅	鋼					
丸 形	A 社 製	10	0.5	0.63	314	148	194	6.72	25.7	51.9	18.0	53
	B 社 製	10	0.5	0.63	314	130	241	6.48	26.6	77.6	9.0	65
	B 社 製	14	0.5	1.26	440	137	197	7.46	23.1	60.4	9.4	178
	C 社 製	14	0.5	1.26	440	130	170	7.06	24.4	47.3	20.0	137
S	形	(板 厚) 1.6mm)*	0.16	0.52	864	91	231	5.29	32.6	47.5	19.0	160** 130***

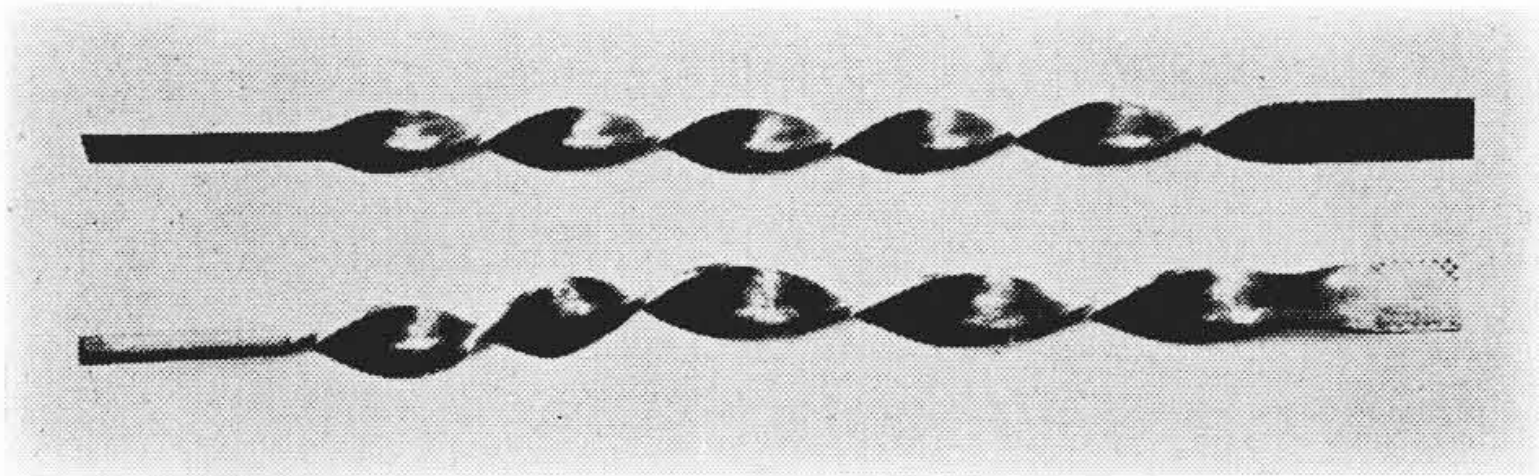
(注) * 幅40mmのCFC材をS形に成形したもの
 ** 荷重方向は第10図(a)の場合
 *** 荷重方向は第10図(b)の場合



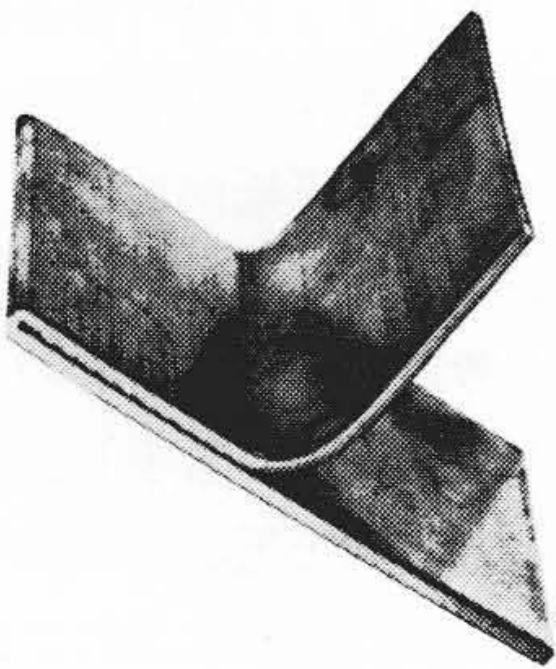
第1図 S形アース棒の横断面 (×1.75)



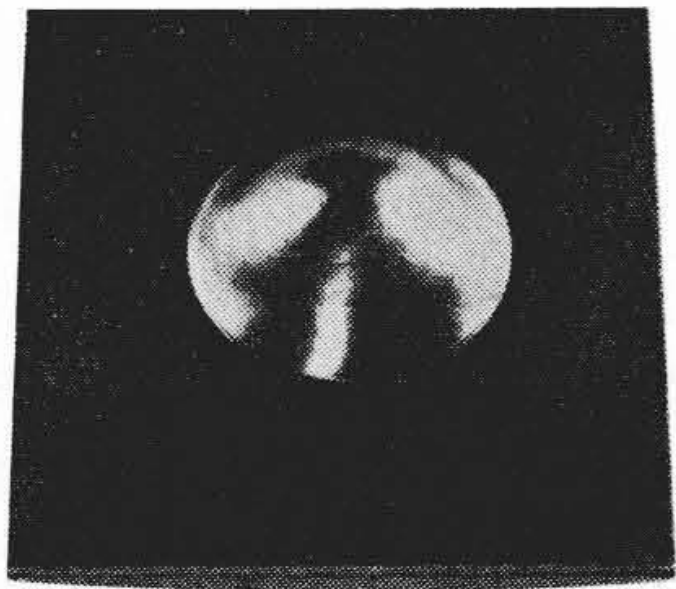
第2図 CFCクラッド材の銅と軟鋼の接着界面 (×100)



第3図 CFCクラッド材のねじり試験後の外観

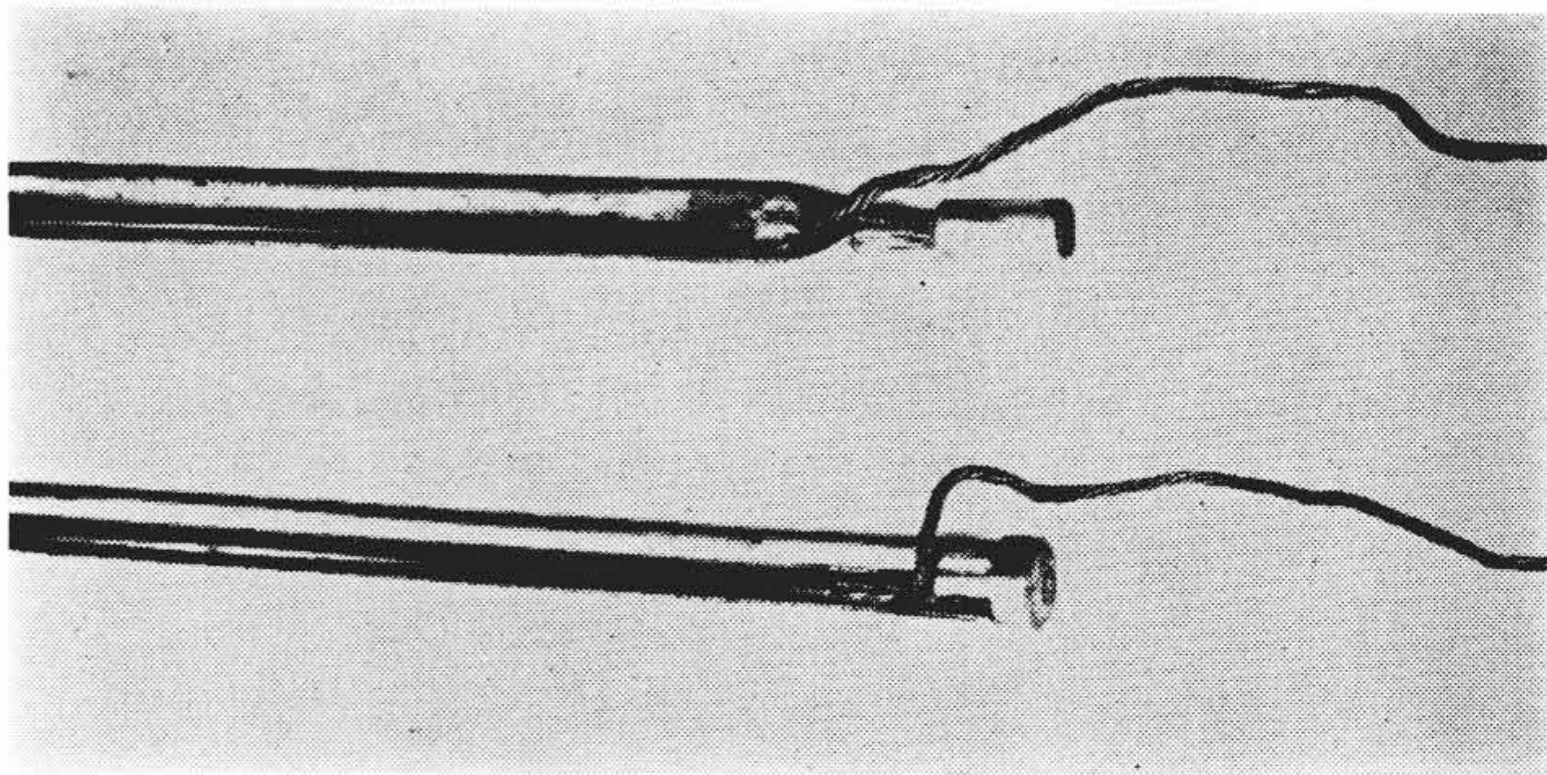


第4図 CFCクラッド材の密着曲げ試験後の外観

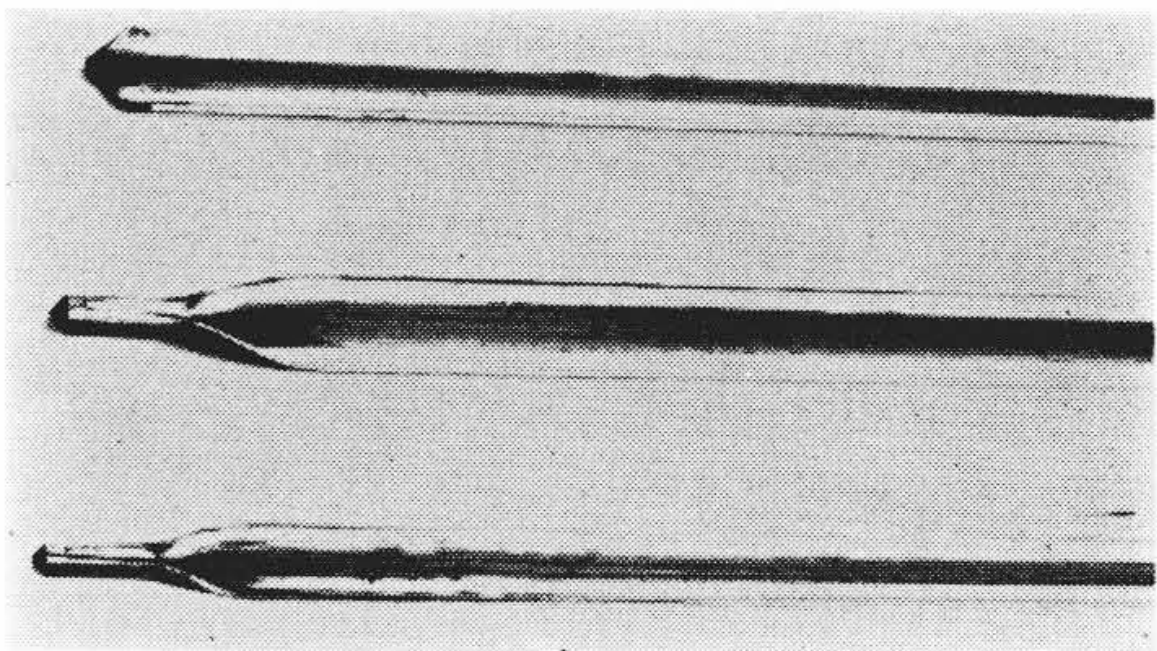


第5図 CFCクラッド材のエリクセン試験後の外観

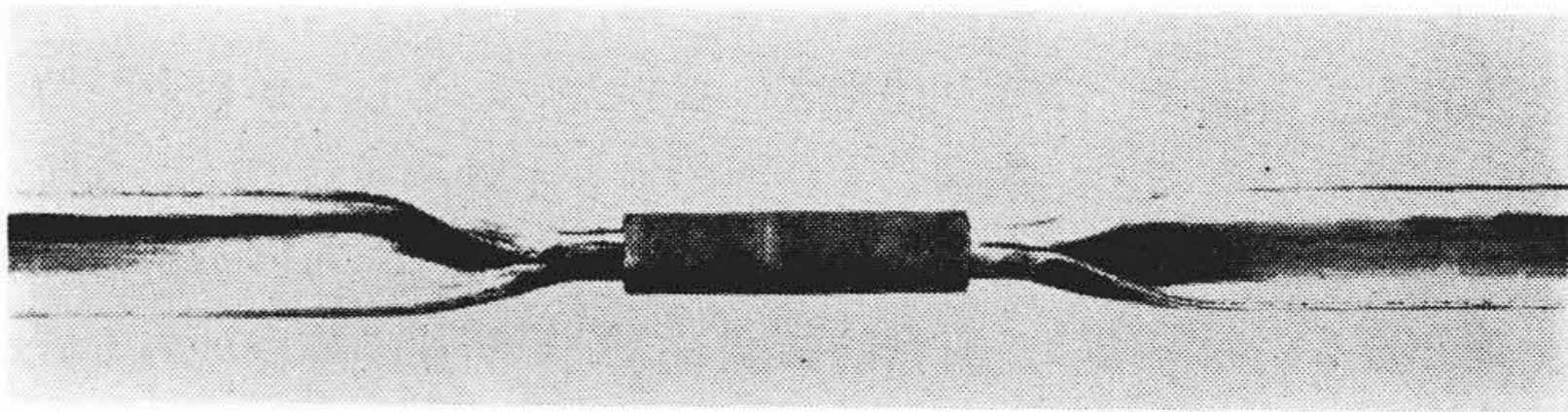
第5図は深絞り性をみるため行なったエリクセン試験後の外観を示したものである。供試材は板厚1.6mmで、エリクセン値は、8～9で表面の肌荒れもほとんどなく、良好な深絞り性を有することがうかがわれる。



第6図 S形アース棒の各種打ち込み端



第7図 S形アース棒の各種先端形状



第8図 S形アース棒の連結部

3. S形アース棒の諸性能

S形アース棒は、上記CFCクラッド材をS形に成形した後、端末の絞り加工、先端加工、リード線の取付けなどを行なったものである。

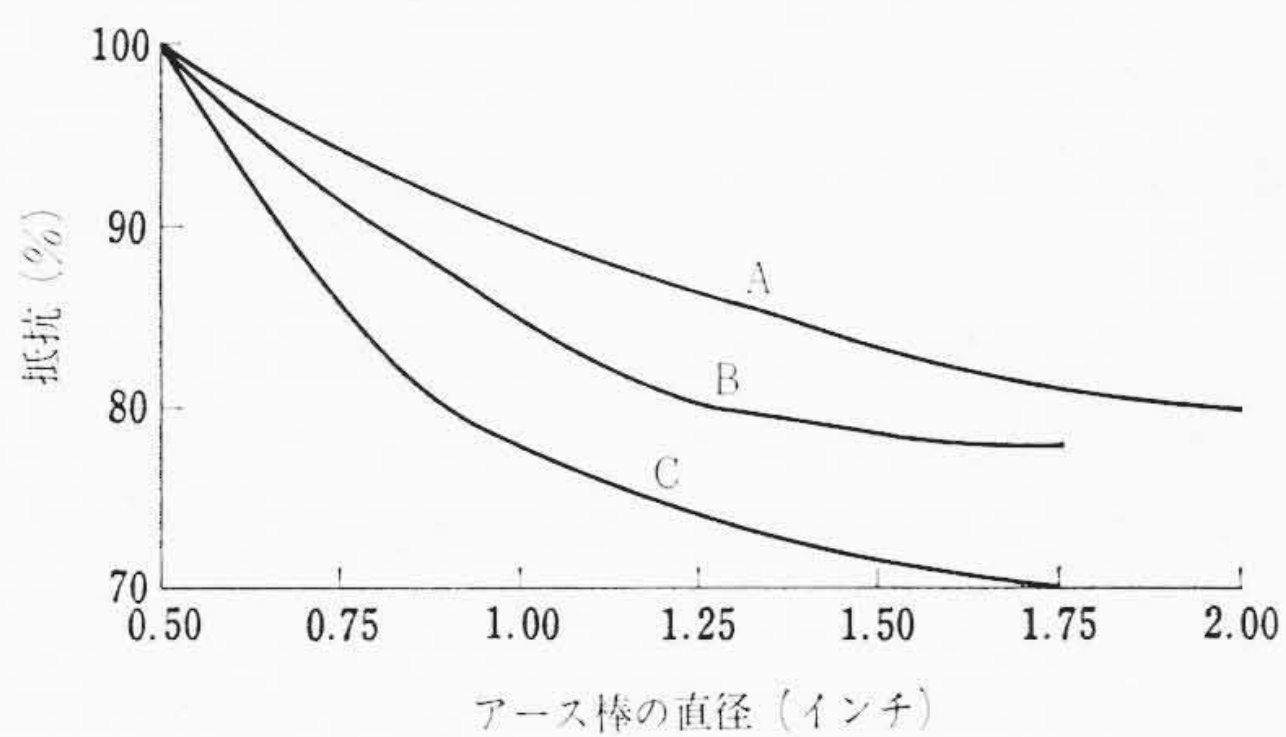
第6図はS形アース棒の各種打ち込み端を、第7図はその各種先端形状を示す。また第8図は直列打ち方式を取る場合の連結部を示す。連結具は内面銅、外面鋼よりなる2重管に銅めっきしたものである。

第1表はS形と丸形アース棒について諸性能を比較した結果（それぞれ5本の平均値）を示す。ただし丸形とは銅被鋼棒を意味するものである。この表に示したS形は14mmφの丸形アース棒にその比抵抗を対応させて製造しているものであるが、単位重量で1/2以下、単位長さ当たりの表面積で約2倍の値を示している。この事実は軽量で大地との接触面積が大きいことを意味する。

第2表は各種土壌の抵抗を示す⁽⁹⁾。この表よりわかるように土壌の抵抗は2～3,000Ωの広範囲にわたる変化を示すものである。これは土壌の化学成分および土壌中の湿度により抵抗は著しく変化する

第2表 各種土壌の抵抗⁽¹⁰⁾

土 壌 の 種 類	抵 抗 (Ω)		
	平 均	最 小	最 大
多かれ少なかれ灰や石炭がらなどのような廃物を含む盛土や土壌	14	3.5	41
粘土、頁岩、石や砂利を含まないローム（砂と有機質などの混合物）	24	2.0	98
粘土、砂や砂利、石などを含むローム	93	6.0	800
砂、石、または粘土やロームをほとんど含まない砂利	554	35	2,700



(0.5"径のアース棒の抵抗を100%とする)
 A: Bureau of Standard のデータ
 B: シカゴにおける試験
 C: ピッツバーグにおける試験

第9図 アース棒の抵抗に及ぼす直径の影響⁽¹⁰⁾

ためである。アース棒は大地との接触抵抗がいちばん問題であるから、この点については特に考慮を払う必要がある。

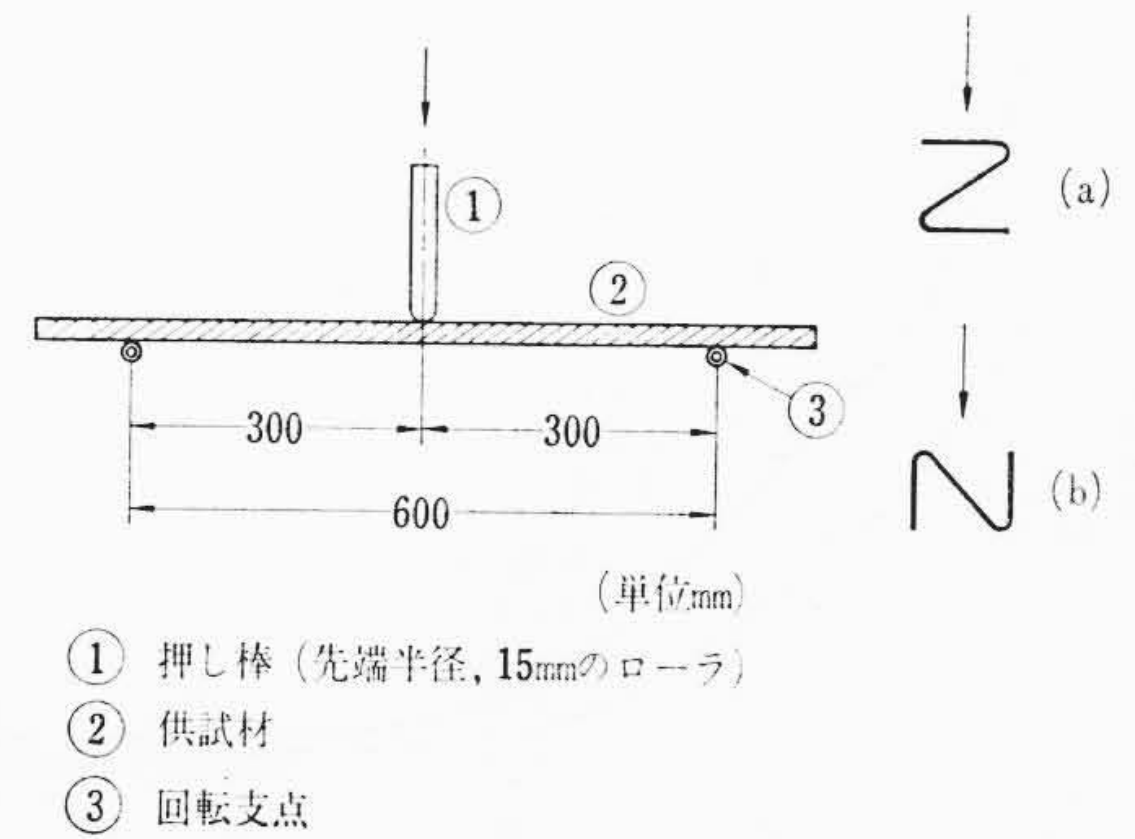
アース棒の大地との接触抵抗を考える場合には、土壌中の湿度および温度の影響、深さの影響および電極の寸法などが重要な因子となる。湿度の影響は約20%以下の範囲できわめて影響が大きく、たとえば、10%の湿度を含む粘土の抵抗は20%湿度の場合の30倍ある。また温度の影響としては20℃以下で抵抗が大きくなり、土壌が凍ると電極の有効面積が減少し、したがって深さを必要とすることになる。アース棒を深く埋め込む利点は、深くなるほど土壌の湿度が増大することによる。一般に2m以上深く打ち込むことが望ましい⁽¹⁰⁾。

第9図は、丸形電極の寸法と抵抗との関係を示したものである。この図より電極の直径を大きくしても抵抗の減少はあまり大きくないことがわかる。たとえば直径が2倍すなわち表面積が4倍になっても抵抗の減少率はわずか10%にすぎない。しかしながら上述の各種因子がからみあっている場合は、この寸法の影響も無視できない場合がある。

アース棒としては、雷撃に対し十分な電流容量を有することは申すまでもないが、打ち込みやすさ、打ち込み強度上からその寸法、形状を決定することがたいせつである。したがってアース棒の機械的性質としては、その坐屈強度を重視しなければならない。

第1表に示した坐屈強度は、第10図に示す方法で測定したものである。試験機としては島津製作所製のリーレ形万能試験機を用い、曲げ荷重とたわみとの関係を求めその坐屈荷重を得た。S形アース棒の場合は、第10図右に示すように荷重方向が2種考えられる。いずれの場合もその形状よりわかるように、荷重を加えてゆくとねじれるようなことになるので、このような場合は、アース棒本体の強度を見る方法としては適当でない。したがってS形アース棒の場合は、荷重点のS形部にエポックシを充てんしてその坐屈強度を求めた。第1表に示すようにS形アース棒の機械的強度はきわめて良好である。

なお、アース棒とリード線との接続部の抵抗は、リード線の抵抗



((a), (b))は曲げ方向を示す

第10図 曲げによる坐屈強度測定装置説明図

より小さく、その接続強度もすぐれていて問題とはならない。

4. S形アース棒の耐食性

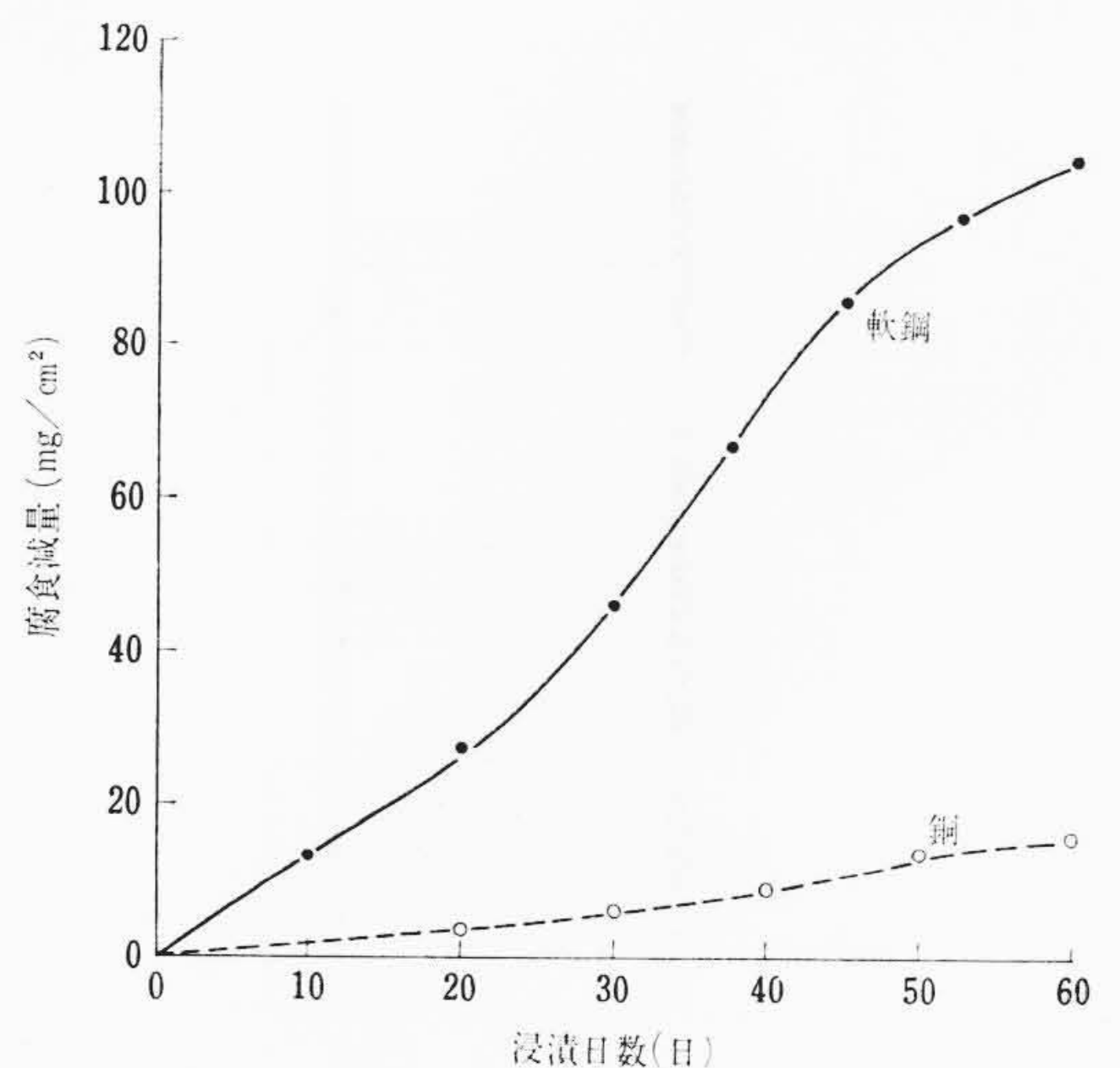
S形アース棒は銅と鋼の複合体であるので、単体金属それぞれの耐食性を調べるとともに異種金属の接触腐食について研究する必要がある。

第11図は人工海水(5.85% NaCl+0.3% H₂O₂)中に浸漬した場合の銅および軟鋼の腐食減量を示す。この図より銅の耐食性はきわめて良好なことがわかる。

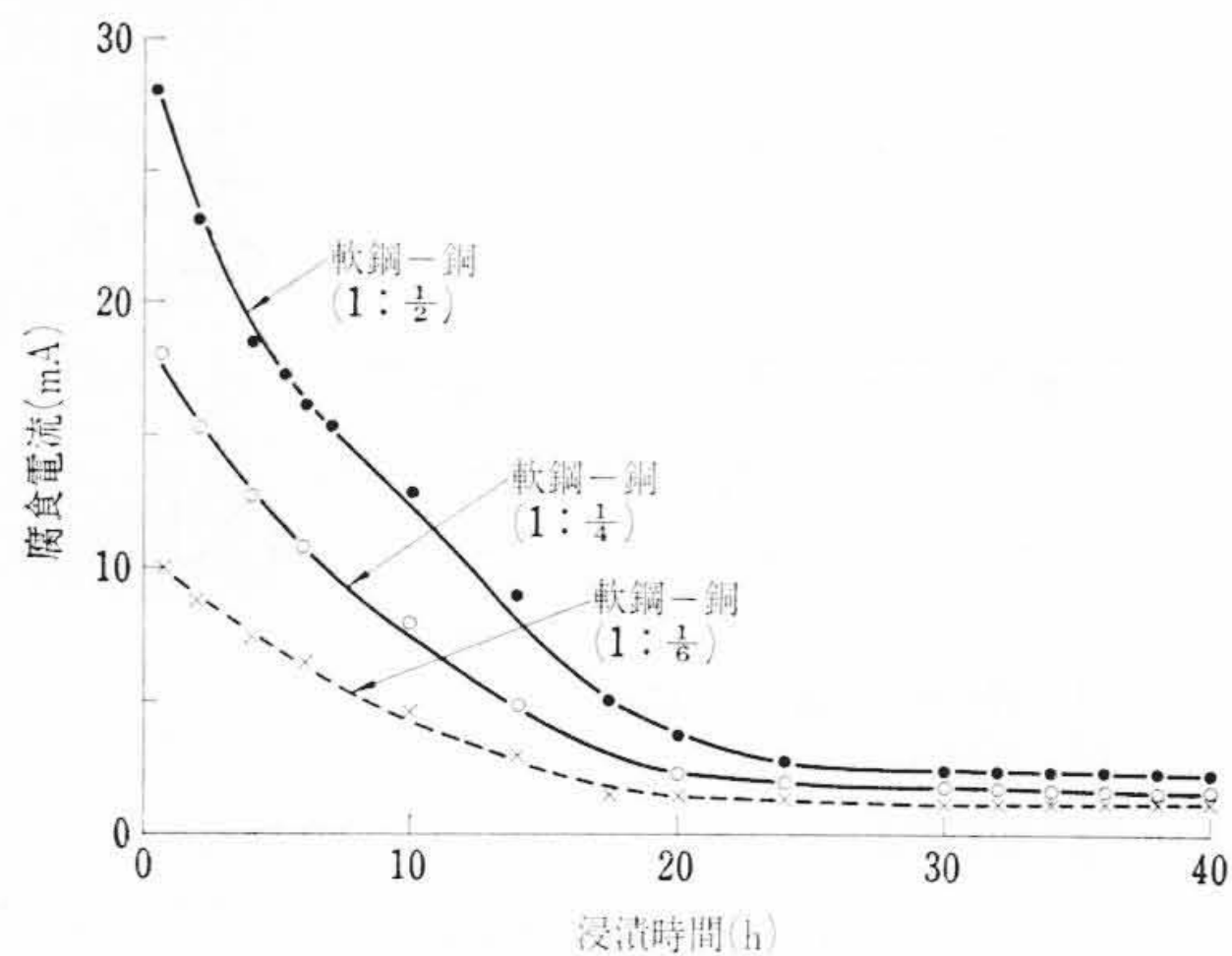
0.1N甘汞電極に対する銅および軟鋼の電極電位を測定してみると、それぞれ-0.20Vおよび-0.58Vとなる。したがって電解質溶液中にS形アース棒が存在する場合は、腐食電流は銅より軟鋼に向って流れ、軟鋼から溶液を通して銅にかえる。電流が銅から溶液に流れる際、軟鋼は陽極となり、電子を失ってイオン化され液中に溶出する。すなわち腐食されることになる。これに対して液から電流が流れる際には銅は陰極となって逆に腐食が抑制される。この場合、問題となるのは両者の面積が腐食電流に関係することである。したがって両金属の面積比によって腐食状況も異なってくる。

第12図は軟鋼と銅との面積比を変化させた場合の腐食電流と浸漬時間との関係を示す。この図に示すとおり腐食電流は銅の面積が増加するほど大きくなっている。この現象は陰極である銅の面積が面積によって異なるからである。また経過時間につれて腐食電流が漸次低下しているのは分極作用によるためである。

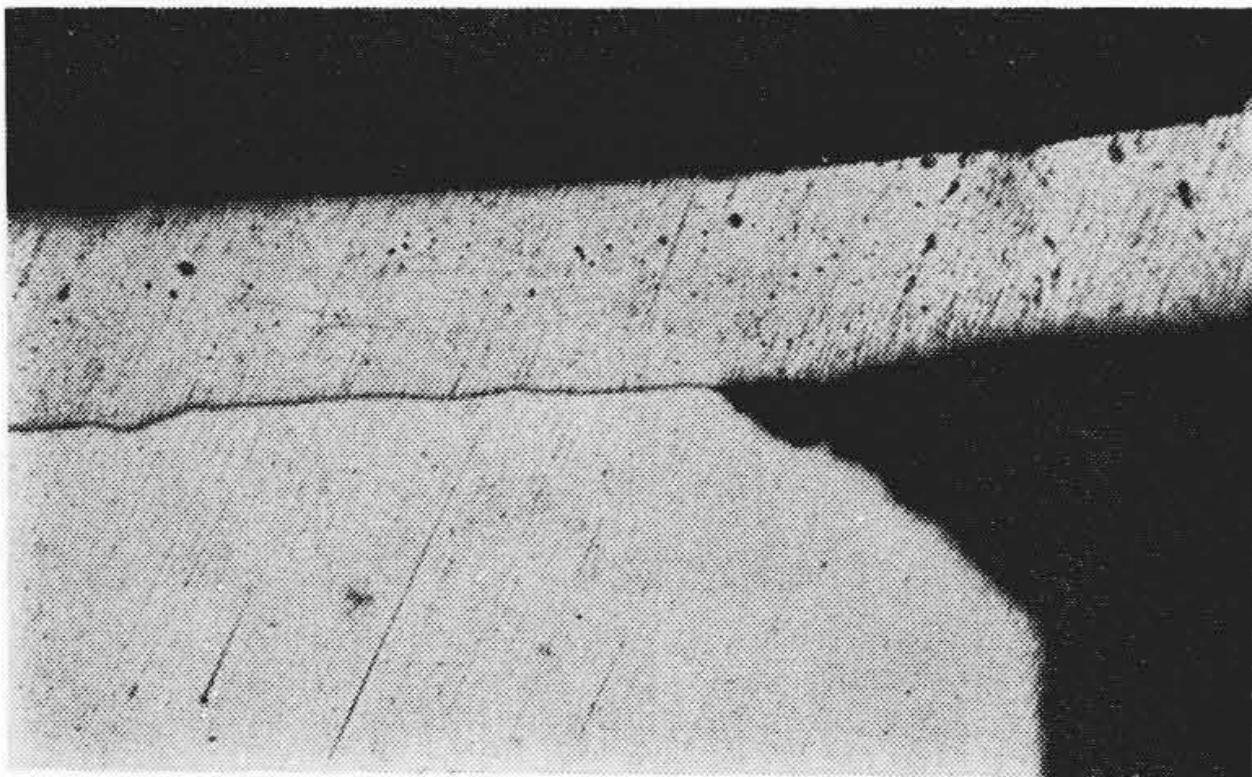
一般に腐食電流の大きさは、腐食量に関係するから本実験でもわかるとおり、銅の軟鋼に対する面積比が大きいほど軟鋼の腐食が大きいと考えられる。一方銅のほうは逆に保護作用を受けることにな



第11図 人工海中における銅、軟鋼の腐食減量



注：（ ）内は面積比を示す
第12図 軟鋼と銅との面積比を変えた場合の腐食電流と浸漬時間との関係



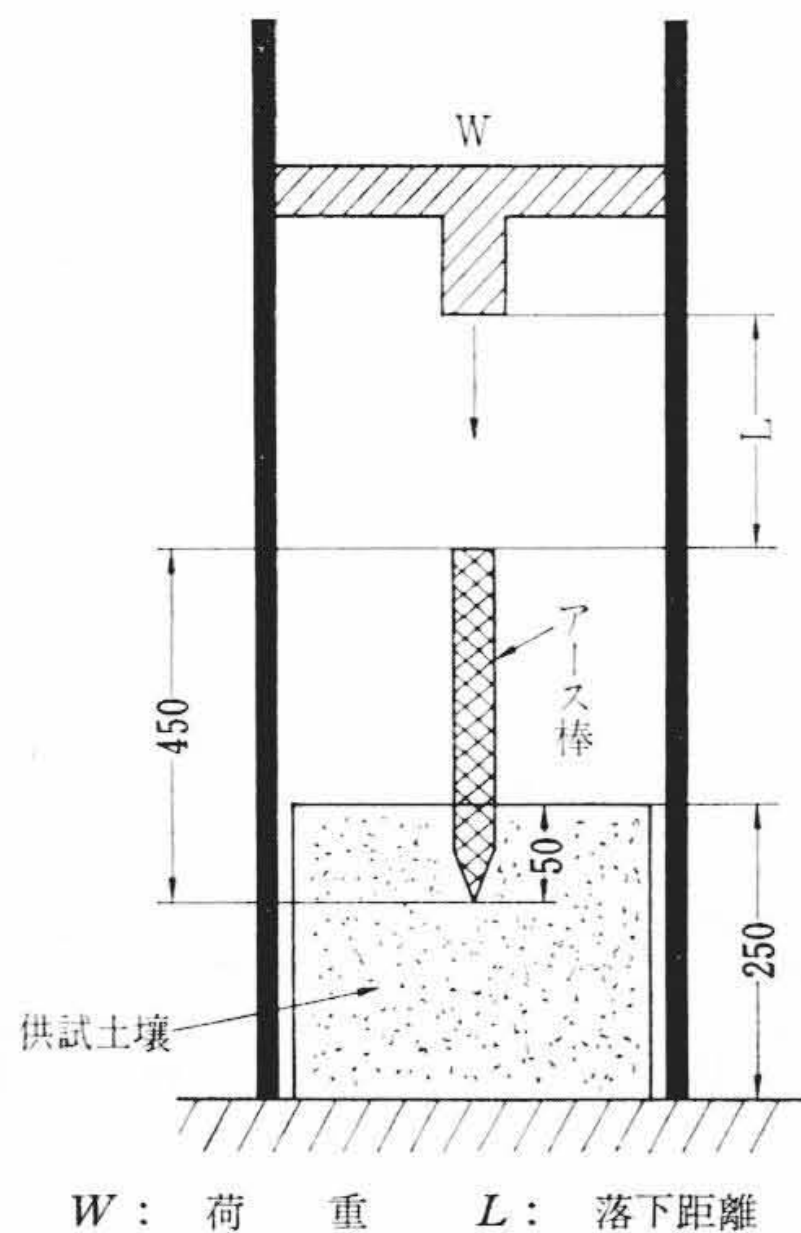
第13図 打ち込み後2年間経過したS形アース棒の端面 (×100)

りほとんど腐食されなくなる。S形アース棒の場合、その端面の軟鋼と銅との面積比は1:1/4であるが、実際には切断の際片側の銅がだれて軟鋼面をおおうためその面積比は1:1/2ぐらいになる。したがって心材である軟鋼の存在のため、接地上重要な銅面の腐食は著しく防止されることになる。

第13図は、比較的水分の多い有機質を含む土壌中に2年間打ち込んでおいたS形アース棒の端面の顕微鏡組織である。局部電池作用の結果は明らかで軟鋼の部分は、0.3mm ぐらい浸食されていたが、銅はきわめて正常な状態を示していた。なお接続部には異常なかった。

5. 各種アース棒の打ち込み試験および実用試験結果

アース棒は上述したように銅被覆の場合は、その打ち込みが容易で座屈しないことがたいせつである。ところが相手が大地である関



W: 荷重 L: 落下距離
第14図 打ち込み試験装置の説明図 (単位: mm)

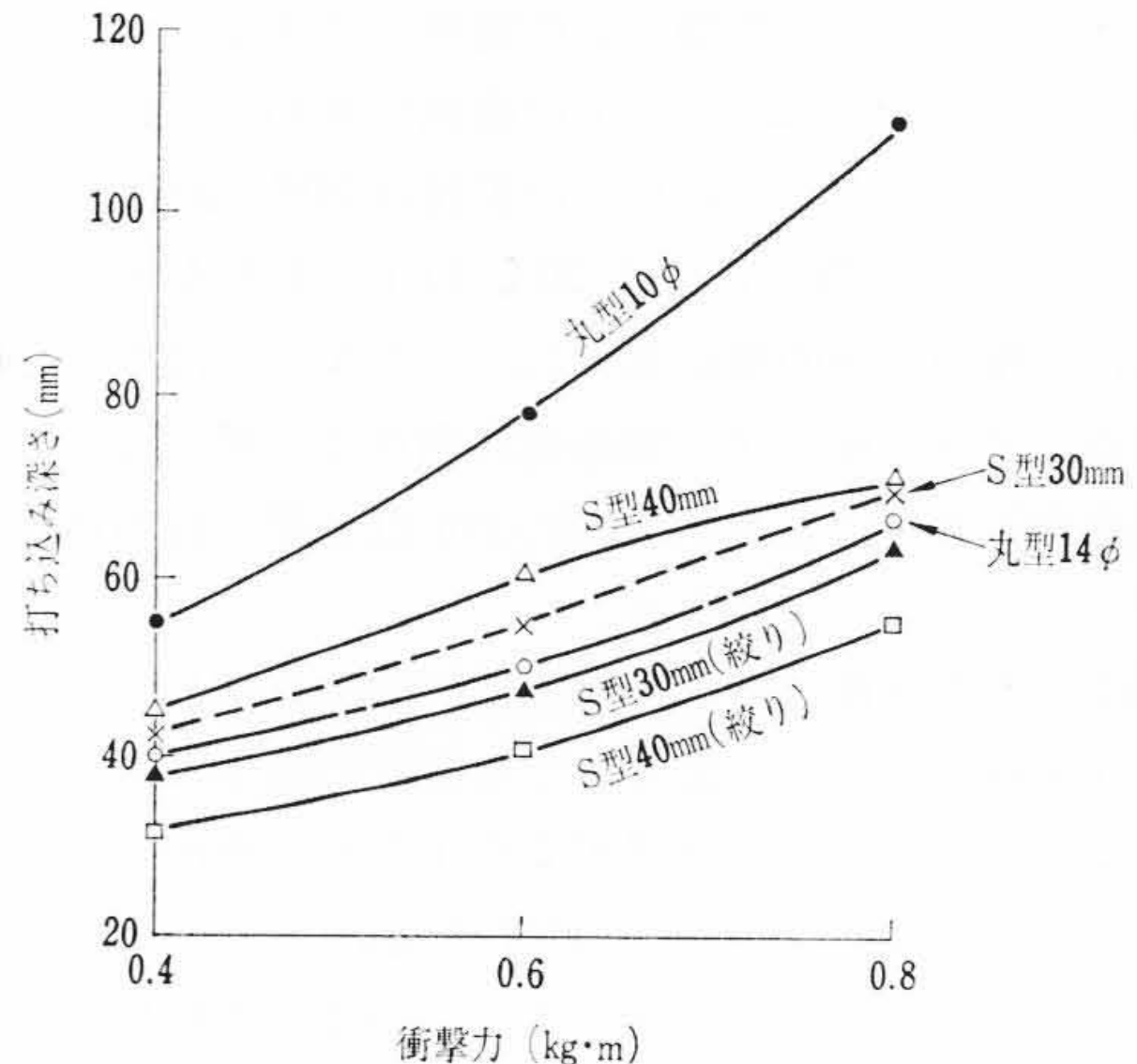
係上、土質によって打ち込みやすさは大きく変化し、理論的に取り扱うことは困難であるので、その目安を得るため簡単な実験を行った。

第14図は実験装置を示す。装置は島津製作所製の衝撃試験機を利用したもので、土中に50mmの深さにアース棒を立て衝撃荷重を加えた後の打ち込み深さを測定した。供試材は、せん頭形先端を有する10, 14φの丸形アース棒および1.6mm厚のS形アース棒4種合計6種である。S形の4種とは、曲げ加工前の板幅が30, 40mmのものについてそれぞれ先端形状を絞った場合(第7図中、下)と絞らない場合(第7図上)のものである。

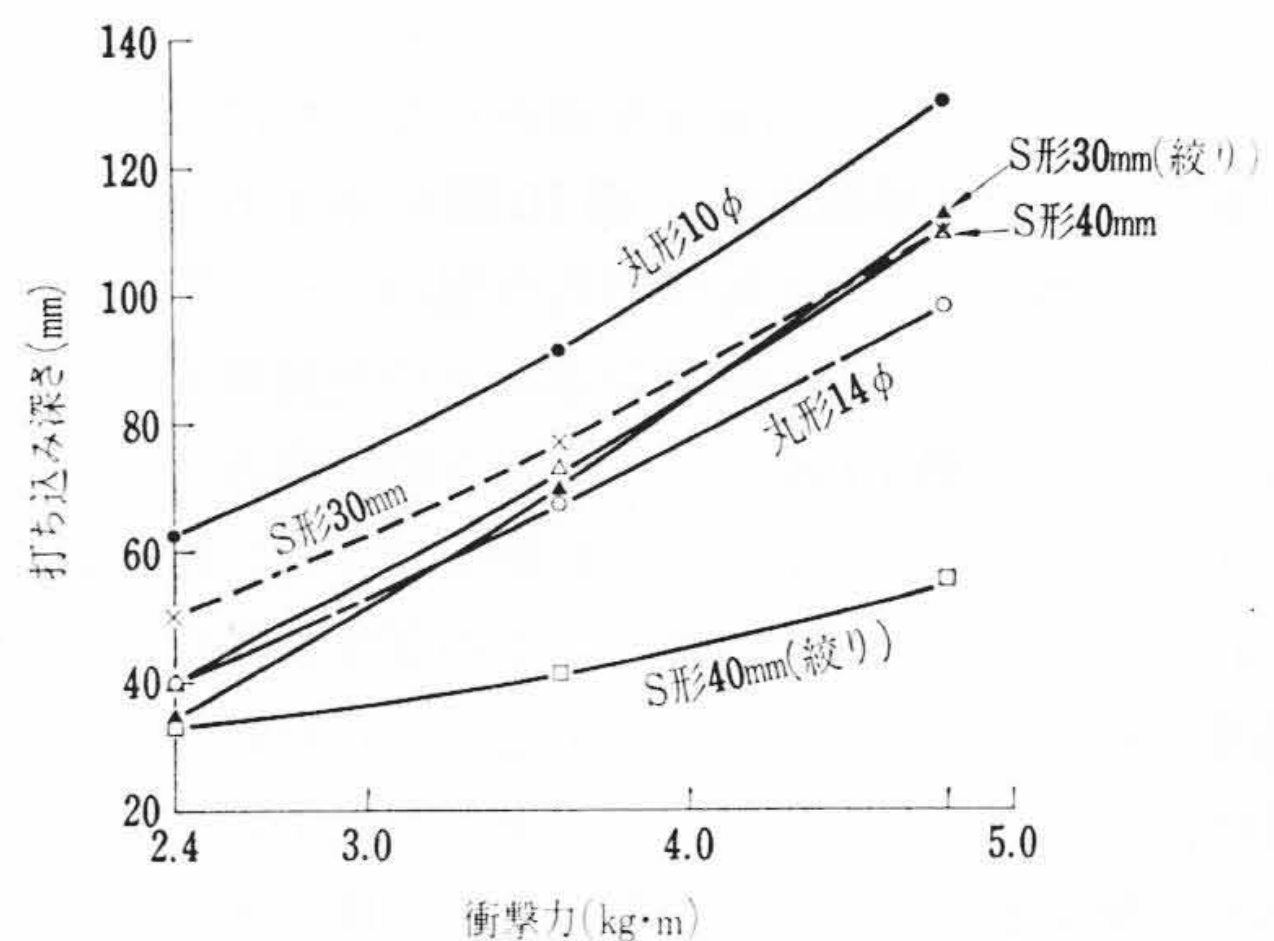
供試土壌としては、砂、盛土および粘土を用い、いずれの場合も一定の条件で押し固めた。衝撃力の加え方としては、第14図で荷重Wを4, 8 kg, Lを100~600 mmに変化させて自然落下方式をとった。

第15~17図は、衝撃力と打ち込み深さとの関係をそれぞれ砂、盛土、粘土の場合について実験した結果である。一定衝撃力による打ち込み深さは、アース棒の先端形状、断面形状および表面積に関係する。したがって丸形の場合は、先端形状がだいたい同じであるからその表面積すなわち摩擦面積に関係する。丸形の場合14 mmφと10 mmφの表面積比は第1表からわかるようにほぼ1.4である。第15~17図より両者の打ち込み深さの逆数比をとると、いずれの場合も1.3~1.5の値を示す。この事実は上記の考えを裏付けるものであるが、S形の場合はこのような単純な推定を許さない。この理由はS形の間げきにはいりこむ土質が影響してくるためであろう。

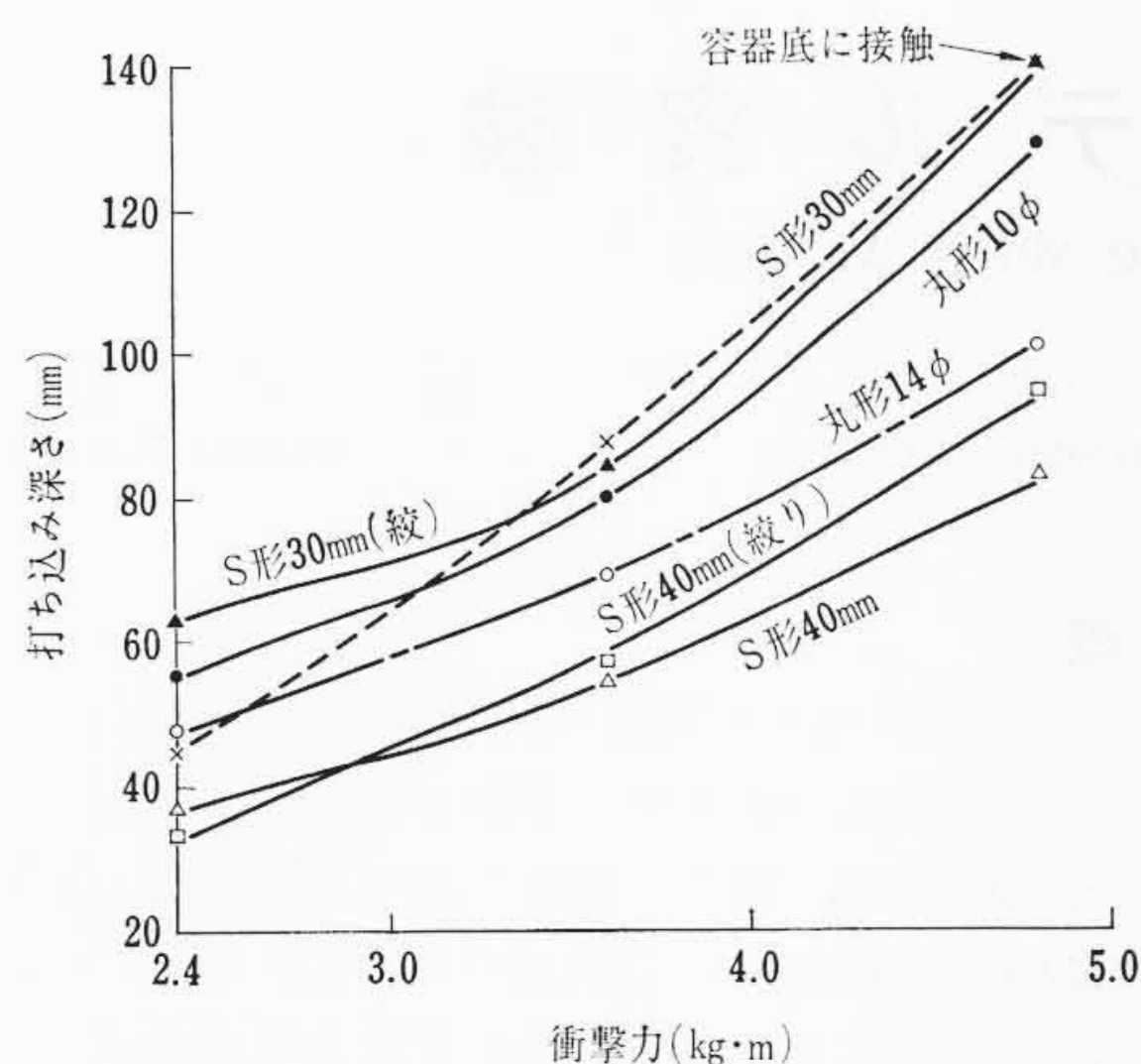
試験結果によれば、打ち込みやすさの順位は土質によって変化し、土壌との摩擦面積が大きいS形が必ずしも打ち込みにくいとは



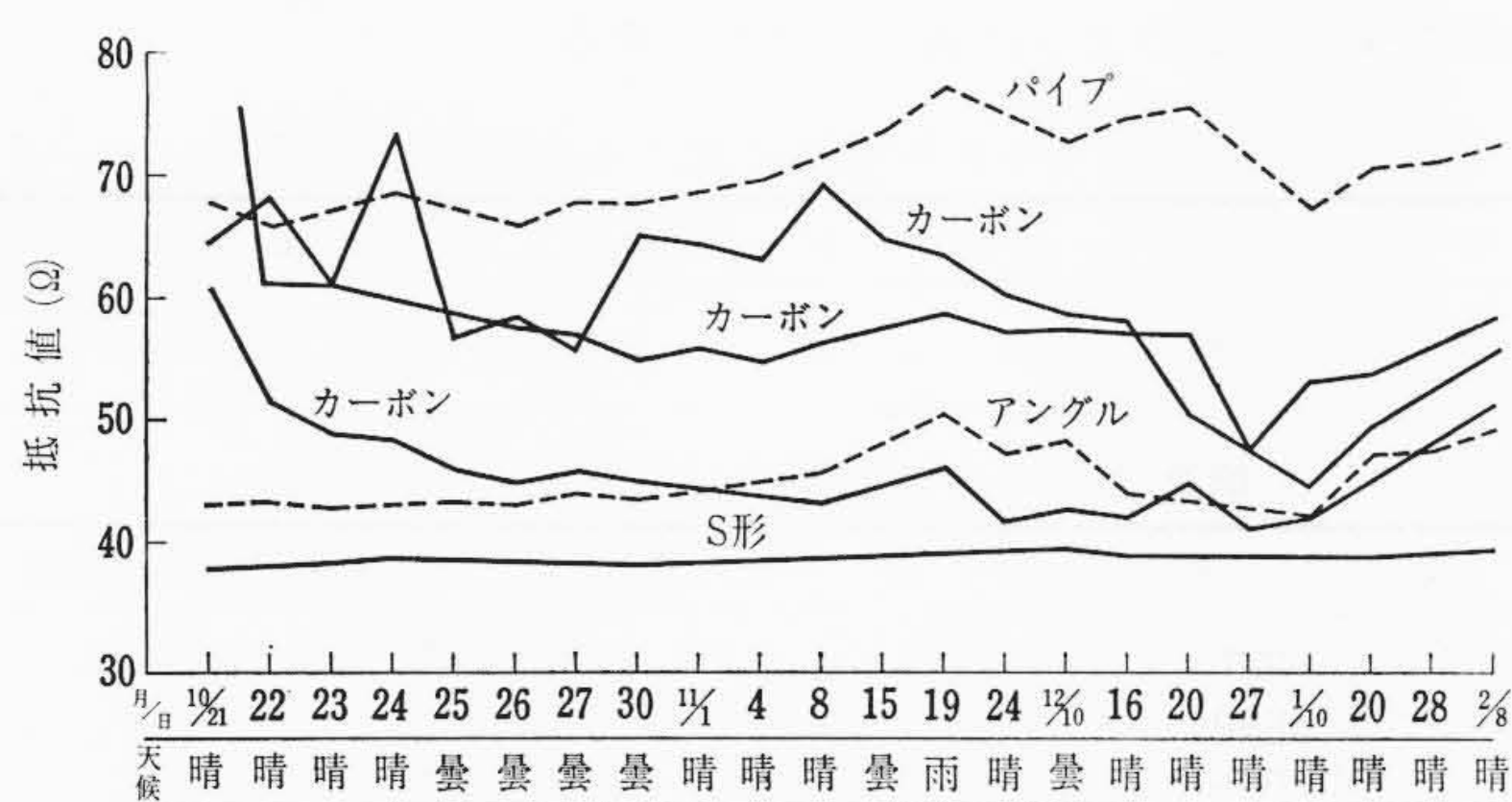
第15図 各種アース棒の衝撃力と打ち込み深さとの関係 (土質: 砂)



第16図 各種アース棒の衝撃力と打ち込み深さとの関係 (土質: 盛土)



第17図 各種アース棒の衝撃力と打ち込み深さとの関係 (土質: 粘土)



第18図 各種アース棒の接地抵抗比較
(昭和30年10月21日～31年2月8日 国鉄大宮駅構内)

いえないようである。これは先端形状、断面形状の差異が影響しているためと考えられる。しかしながらいずれの場合でもアース棒の坐屈強度は大きいから、通常の土質では打ち込みやすいといえるようである。

第18図は各種アース棒の接地抵抗を比較したものである。この図からS形アース棒の抵抗値は、供試アース棒の中でもっとも小さく、またもっとも安定していることがわかる。なお図においてアンゲル、パイプとは、亜鉛メッキした軟鋼材を使用したものである。

6. S形アース棒の特長

S形アース棒は、株式会社日本動力安全機製作所の特許にかかるもので、日立電線株式会社の研究開発にかかる銅被鋼条 (CFC クラッド材) を素材とし、これに独特の成形方法により、アース棒としての望ましい性能を具備せしめた製品である。したがって従来使用されていたほかの形式のアース棒に比べて下記のようなすぐれた特長を有するものである。

(1) 大地との接触抵抗が小さい

構造上銅板が両面に強固に被覆されているから、表面の銅はきわめて有効に利用され、また銅条の純度が良好なため大地との接触抵抗は小さい。

(2) 耐用年数が長い

銅被鋼条を使用しているため、その端面は銅と鋼が接触して露出されている。この場合、両者の電極電位より容易に考えられるように、鋼は銅に比べて卑であるため、鋼は銅の腐食に対して防

護的作用をし、その結果アース棒としての耐用年数を増大せしめる。

(3) 坐屈強度が大きい

S形に成形されているため坐屈強度が大きく、打ち込み中坐屈するようなことはない。

(4) 打ち込みやすい

同等の性能を有する丸形アース棒に比べて打ち込みが容易で、2ポンドぐらいの手ハンマで簡単に打ち込める。

(5) 運搬が容易である

同等の性能を有する丸形アース棒に比べて軽量であるため運搬が容易である。

(6) 連結が容易である

直列打方式の場合連結が問題となるが、連結金具は圧縮はめ込み式で簡便、容易で接続は完全である。

(7) 安価である

他の形式のアース棒に比べて性能を同じに考えるならば安価である。

7. 結 言

従来からアース棒として使用されている製品には種々の材質、形状の組合せがあるが、著者らは銅被鋼条 (CFC クラッド材) を断面形状がS形になるように成形し末端を絞ったS形アース棒 (矢板式S形アース棒) について種々実験を行なった。

得られた結果を要約するとつぎのようになる。

- (1) S形アース棒に用いる CFC クラッド材は、冷間圧延後拡散加熱する新しい方法により製造されたもので、銅と鋼との接着は完全であり、板厚比の変動がほとんどない (曲げ、絞り) ので加工性が良好である。
- (2) S形アース棒の機械的強度はすぐれており、比抵抗を同等にした丸形アース棒 (銅被鋼棒) に比べて単位重量は 1/2、表面積は 2 倍の値を示す。
- (3) S形アース棒の端面は銅と軟鋼が接触して露出することになるが、局部電池作用により軟鋼の存在は重要な表面の銅の耐食性を増大させる。
- (4) 各種アース棒の打ち込み試験を行なった結果、S形アース棒は、丸形アース棒と同等の打ち込みやすさを示した。
- (5) S形アース棒の接地抵抗を長期間にわたり測定した結果、その抵抗値は小さく、きわめて安定していることがわかった。

終わりに臨み、本実験に協力された日立電線株式会社研究部第4研究室のかたがた、特に角川、大内の両氏に深謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 金属: 22, 668 (1952-9)
- (2) 特許番号: 423050, 471911, 426121, 500752, 406244
- (3) H. H. Uhlig: The Corrosion Handbook. p. 67 (1955)
- (4) G. Durst: J. of Metals. 8, 328 (1956-3)
- (5) 斎藤, 山路: 熔接学会誌 30, 3 (1961-1)
- (6) 斎藤, 山路: 熔接学会誌 30, 70 (1961-2)
- (7) 田中, 福田, 山路, 吉田, 角川: 日本金属学会昭和 39 年度春期大会発表
- (8) 特許番号: 400985
- (9) Bureau of Standards Technologic Paper, 108
- (10) Copper weld Steel Co.: "Practical Grounding"