

る。ここで、住宅基礎の縮尺モデルは、3種類①～④、⑥～⑦、⑨は 1/125, 1/150, 1/175。⑤、⑧、⑩は 1/100, 1/125, 1/150)を製作した。これらの基礎の形状は布基礎とした。

表 1 戸建住宅の概要

モデル	基礎の形状	1階床面積(m ²)	代表的寸法(m)
①		111.45	12.60
②		124.00	13.62
③		123.98	14.18
④		164.97	17.80
⑤		98.35	14.18
⑥		79.64	15.75
⑦		158.36	18.23
⑧		68.30	10.26
⑨		152.9	9.23
⑩		81.03	9.18

住宅基礎の根入り深さは、一般的には 240mm 以上という規定がある¹⁰⁾。そこで、今回の実験では、根入り深さを 300mm とし、模型の縮尺に合わせた厚さの銅板を貼り付けた。

2. 2 接地効果面の違いによる接地抵抗の比較

戸建住宅基礎は、基礎の種類によるが、いくつかの面で大地と接触している。接地抵抗を推測するためには、どの面がどの程度の接地抵抗に影響を与えるかを知る必要がある。そこで、モデル電極を製作し、水槽実験を行った。

(1) 実験概要

実験装置は半径 $r=0.75\text{m}$ のステンレス製半球状水槽を使用し、水道水で満たし、図 2 のように、水槽の真中にモデル電極を設置した。この水槽自体をリターン電極として、接地シミュレーション

を行った。電源は商用電源 (50Hz, 100V) をスライダックによって電圧を調整し、電流を 50mA で一定に保ち、オームの法則により接地抵抗を求めた。

(2) モデル電極

戸建住宅の基礎を模した木製の模型を作り、その側面 (以下側面(外)) と木枠の内側(以下側面(内))、底面に銅板を貼り付けた。また、その際には表面積が等しくなるように銅板の電極の厚さを変えて貼り、リード線を付けた。

モデル電極は側面(外)、側面(内)、底面、側面(外)+側面(内)、側面(外)+底面、側面(内)+底面、全面の場合を製作し、その接地抵抗を測定した。

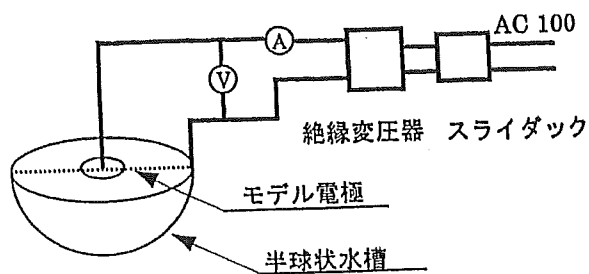


図 2 水槽モデル実験回路図

(3) 実験結果と考察

測定結果と全面に銅板を貼り付けた抵抗を 1 とした割合を表 2 に示す。

表 2 測定結果

	抵抗 [Ω]	割合
側面(外)	430.4	1.17
側面(内)	526.0	1.43
底面	410.6	1.11
側面(外)+側面(内)	398.0	1.08
側面(外)+底面	382.4	1.04
側面(内)+底面	395.4	1.07
全面	369.0	1.00

まず側面(外)、側面(内)、底面を比較すると最も抵抗値が高かったのは側面(内)であった。これは側面(外)や底面に比べて電極が内部にあるため電流の流れが拡散し、外に流れにくくなったからで

あると推測できる。また、底面の抵抗値が最も低い結果であった。これは深さが関係していると推測できる。つまり、側面(外)や側面(内)に比べて底面の電極は模型の下部にあるために抵抗が低くなったものと推測できる。側面(外)+側面(内)、側面(外)+底面、側面(内)+底面の抵抗値の違いはこれらによるものと考えられる。また、全ての抵抗値を見ればわかるように、多くの面で接している方が低い接地抵抗を得るには有利であることがわかる。しかし、内側の側面は接地電流の拡散の観点からも接地抵抗の低減は期待できない。また、住宅基礎の下には割栗石等が敷いてあり、底面の接地効果も期待できない。

2. 3 形状係数法による接地抵抗の推定²⁾

(1) 形状係数法の原理

接地抵抗は本来、接地電極の周囲の大地の中に含まれており、厳密には無限遠方まで考える必要がある。ところが、接地シミュレーションにおいては水槽(ここではリターン電極)の大きさが有限であるため、接地抵抗が打ち切られてしまう。有限の水槽に対しては、無限小の電極によらなければ真の接地抵抗値は得られない。しかし、無限小の電極は現実には作れない。そこで、形状係数法は、形状が相似で縮尺率の異なる複数の接地電極があった場合、それらの接地抵抗 R は、媒質の抵抗率 ρ に比例し、代表的寸法 ℓ に反比例する。すなわち次式で示すことができる。

$$R = K \frac{\rho}{\ell} \quad \dots (1)$$

K : 形状係数

ρ : 媒質の抵抗率 ($\Omega \cdot m$) (本実験では、水の抵抗率)

ℓ : 代表的寸法 (m)

ここでの K は電極の形状によって定まる定数で、「形状係数」と呼ぶことにする。また、 K は無時限の定数であり、電極を無限小にしてもその電極に特有の電流分布のパターンは維持している。したがって、この K は電極の形状による特性値である。形状係数法による接地シミュレーションの原理を図3に示す。

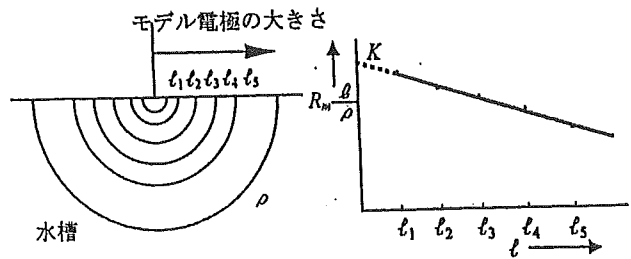


図3 形状係数法の原理

図3に示すように、 x 軸に代表的寸法 ℓ 、 y 軸に $R_m \cdot \ell / \rho$ をプロットし、最小二乗法により直線回帰する。このようにして求めた式において、 $\ell = 0$ における y の値が形状係数 K となる。

形状係数を導入することによって、解析解のない電極の接地抵抗を式(1)より精度良く推定することができる。

(2) 水槽実験の概要とモデル電極

図2に示した回路で形状係数を求める実験を行った。戸建住宅基礎の模型を接地極としてみなすために銅板を貼り付けるが、2.2(3)で述べたように、全ての面である程度の接地効果はみられる。安全側、つまり、接地抵抗から得られる面のみを考慮して、接地効果面を外側の側面のみとした。

形状係数法の原理に基づき、モデル電極を3ヶ製作した。

(3) 実験結果と考察

表1に示した住宅基礎モデル10パターンの実験の測定結果を最小二乗法により直線回帰を行い、形状係数 K を求めた結果の一部を図4に示す。

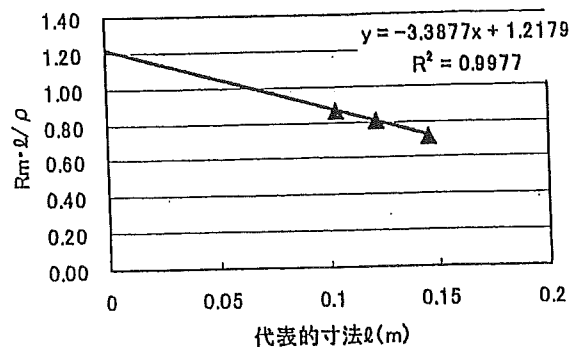


図4 戸建住宅基礎の形状係数(モデル⑦)

この図より、最小二乗法による直線回帰の決定係数 R^2 値は1.0に近い値で良好である。①~⑩の

すべてのモデルにおいて R^2 値は良好であった。①～⑩の形状係数法によるシミュレーション実験の結果を表3に示す。また、形状係数を用い、(1)式より求めた推定接地抵抗値 R_k も同表に示す。

推定接地抵抗値 R_k は大地抵抗率 ρ によっても変化するが、概ね接地抵抗 R_k は、 $0.0611 \cdot \rho \sim 0.0743 \cdot \rho \Omega$ の間であることが確認できた。

表3 戸建住宅の形状係数及び推定接地抵抗

モデル	代表的寸法(m)	形状係数K	推定接地抵抗値 R_k
①	12.60	0.87	$0.0694 \cdot \rho$
②	13.62	0.92	$0.0673 \cdot \rho$
③	14.18	0.94	$0.0663 \cdot \rho$
④	17.80	1.17	$0.0658 \cdot \rho$
⑤	14.18	1.02	$0.0718 \cdot \rho$
⑥	15.75	1.11	$0.0702 \cdot \rho$
⑦	18.23	1.22	$0.0667 \cdot \rho$
⑧	10.26	0.76	$0.0743 \cdot \rho$
⑨	9.23	0.56	$0.0611 \cdot \rho$
⑩	9.18	0.66	$0.0721 \cdot \rho$

2. 4 住宅面積と接地抵抗の関係

表3の推定抵抗値において、大地抵抗率 ρ を $100 \Omega \cdot m$ とした場合の、接地抵抗値と住宅の床面積との関係を図5に示す。この図より、住宅の規模が大きくなると接地抵抗値は減少することがわかった。

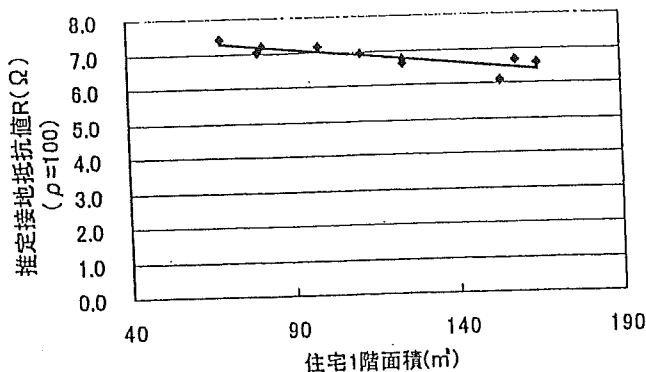


図5 推定接地抵抗 ($\rho=100$ の場合) と床面積の関係

2. 5 鉄筋量を考慮した推定接地抵抗

水槽実験で得られた接地抵抗推定値は、住宅基礎が完全導体として仮定した場合であり、本来の接地抵抗を推定するうえでは、鉄筋コンクリートの電気的特性を考慮に入れて推測する必要がある。基礎を代用接地極とみなすのは、基礎の中に鉄

筋が入っている場合のみであるが、基礎の中にどの程度の鉄筋量が入っているかは、具体的な数値や規定がない。しかし、一般戸建住宅の基礎の形状及び大きさが示してある文献¹⁰⁾から布基礎の形状及び鉄筋の形状、本数を調べ、コンクリート基礎内部の鉄筋量を判断すると、約0.54%である。鉄筋量 β は、次式において定義した。

$$\beta = \frac{V_t}{V_0} \times 100[\%] \quad \dots (2)$$

V_t : 鉄筋の体積 (m^3)

V_0 : コンクリートの体積 (m^3)

また、文献(1)に示したモルタルブロック中の鉄筋がしめる割合の鉄筋量 β を表4¹⁾に示す。

表4 モルタル中の鉄筋量 β ¹⁾

		鉄筋の体積 (m^3)	モルタルの体積 (m^3)	鉄筋量 β (%)
鉄筋の本数	1本	1.57×10^{-5}	8.98×10^{-3}	0.175
	2本	3.14×10^{-5}	8.97×10^{-3}	0.350
	3本	4.71×10^{-5}	8.95×10^{-3}	0.526
	4本	6.28×10^{-5}	8.94×10^{-3}	0.702

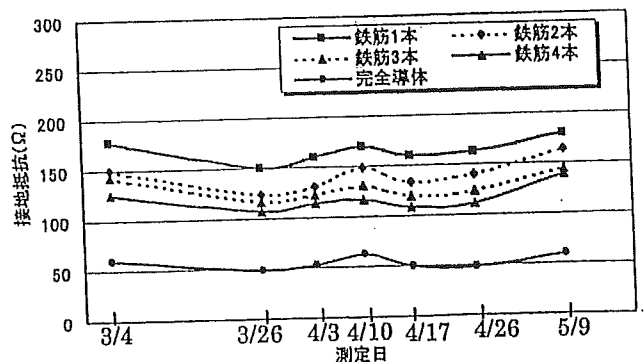


図6 鉄筋1～4本と完全導体の接地抵抗の比較¹⁾

モルタルブロックを完全導体(鉄筋量 100%)とした時の接地抵抗より、鉄筋量を考慮した接地抵抗を推定する。図6¹⁾に鉄筋1～4本と完全導体の接地抵抗を比較したものを示す。また、完全導体の接地抵抗を1とした場合の鉄筋1～4本の接地抵抗の比率をプロットし、鉄筋の本数ごとに平均値を求め、その平均値を累乗近似したものを図7に示す。ここで、鉄筋量 β に対する R/R_0 の値を鉄筋係数と定義する。ただし、 R は鉄筋コンクリ

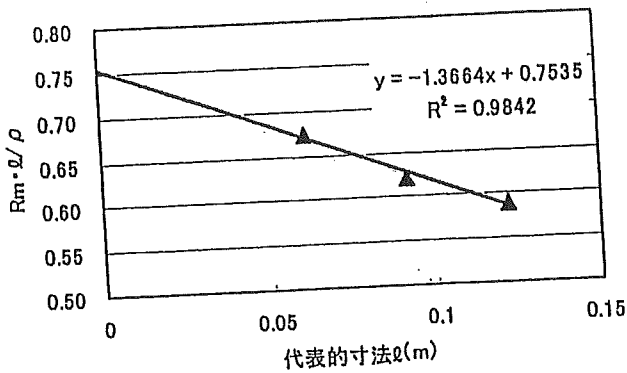


図 11 住宅基礎 A の形状係数

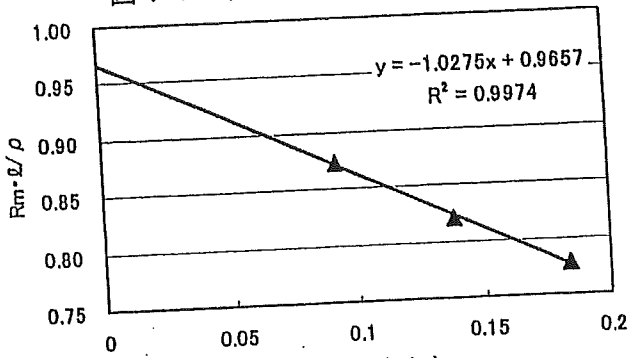


図 12 住宅基礎 B の形状係数

地抵抗推定値 R_0 は R_k を 2.32 倍することにより求まる。その結果表 5 のようになった。

表 5 に示すように、住宅基礎 A, B の実測値と推定接地抵抗値は近似している。

表 5 接地抵抗実測値と推定接地抵抗値の比較

モデル	接地抵抗実測値 (Ω)	接地シミュレーションの場合			推定接地抵抗値 R_0 (Ω)
		代表的寸法 (m)	形状係数	推定接地抵抗値 R_k (Ω)	
A	3.3	9.2	0.754	1.72	3.99
B	2.7	13.8	0.966	1.41	3.27

4. 住宅基礎の代用接地極としての評価

4. 1 鉄筋コンクリートの抵抗率を考慮した場合の接地抵抗

住宅基礎は鉄筋コンクリート造であるが接地抵抗を推定する際、コンクリートの湿潤、乾燥状態をみきわめなければならないが、それらの状態の定量化は困難である。そこで、半球モデルによってシミュレーションを行ってみる。

(1) シミュレーションモデル

鉄筋コンクリート造の物体を半球モデルの体積置換法でシミュレーションできることは既に確認されている。そこで、住宅基礎を半球状電極に置換したモデルを図 13 に示す。 r_1 は住宅基礎内に含まれる鉄筋の体積を半球状に置換した場合の等価半径であり、 r_2 は住宅基礎の体積を半球状に置換した場合の等価半径である。

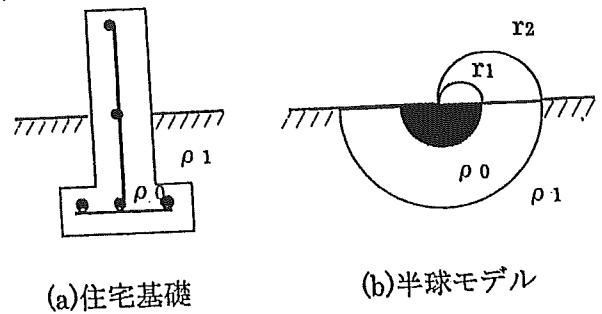


図 13 シミュレーションモデル

(2) シミュレーションモデルの接地抵抗計算式
図 13 に示した半球状電極の接地抵抗計算式は次式で表される。

$$R = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho_0}{2\pi x^2} dx + \int_{r_2}^{\infty} \frac{\rho_1}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_0 r_2 + (\rho_1 - \rho_0) r_1}{2\pi r_1 r_2} \dots (3)$$

(3) 式によると、接地抵抗はコンクリートの抵抗率 ρ_0 と大地抵抗率 ρ_1 に左右される。そこで、 ρ_0 と ρ_1 の大きさによる接地抵抗の変化をみる。 $\rho_0 / \rho_1 < 1$ の場合は、大地の ρ_1 に比べてコンクリートの ρ_0 が小さい場合であり、つまりコンクリートが湿潤状態である。それに対して $\rho_0 / \rho_1 > 1$ の場合は、コンクリートの ρ_0 が大きい場合で、いわゆる乾燥状態である。

表 6 シミュレーションモデルの等価半径

代表的寸法 l (m)	鉄筋量の等価半径 r_1 (m)	基礎の等価半径 r_2 (m)
18.23	0.257	1.501
9.12	0.204	1.191

例として、表 1, 表 3 より、形状係数 K が最も大きな住宅基礎の形状であるモデル⑦をもとに推定してみる。(3) 式における諸元の中で、 r_1 と r_2 は表 6 に示す値を用い、 ρ_1 の値は $100 \Omega \cdot m$ とする。実寸法である $l = 18.3$ と、その半分大きさの形状 ($l = 9.13$) の住宅基礎の接地抵抗を試算し

てみると図14のようになる。同図の接地抵抗は、モデル⑦の住宅基礎の外周の側面の接地効果のみを考慮したもので、接地抵抗としては最も高めに出る場合である。

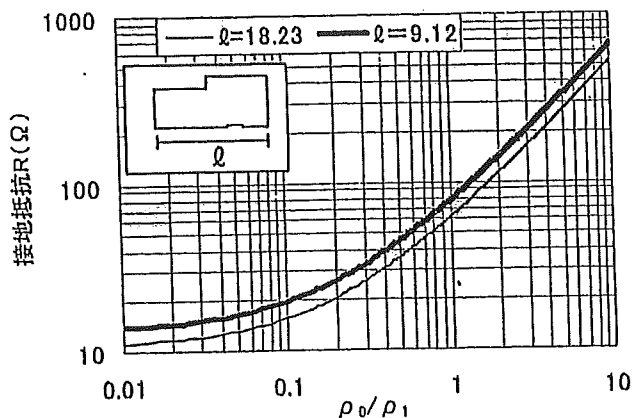


図14 大地の状況と接地抵抗の関係

また、図14において $\rho_0/\rho_1=1$ の接地抵抗を1とした場合、 $\rho_0/\rho_1 < 1$ 、 $\rho_0/\rho_1 > 1$ に対する接地抵抗の比を湿乾係数と定義する。 ρ_0/ρ_1 と湿乾係数の関係を図15に示す。

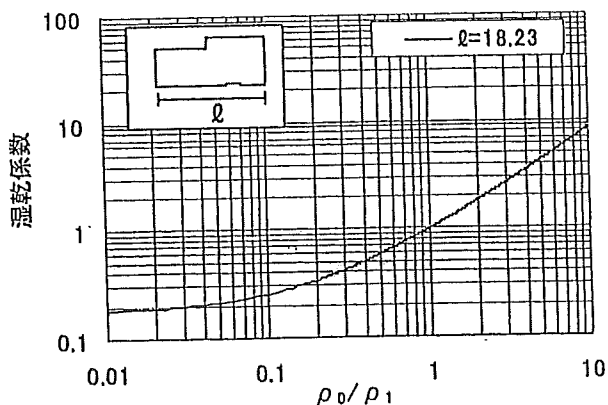


図15 ρ_0/ρ_1 と湿乾係数の関係

文献(1)において、コンクリートの電気特性についての検討を行っている。それによると、湿潤状態のコンクリートの抵抗率は、乾燥状態の約1/4倍の値(7Ω/25Ω)で一定になっている。このことは、乾燥状態のコンクリートの抵抗率は、最大で湿潤状態の約4倍になることを示している。よって、図15より、乾燥状態 $\rho_0/\rho_1=4$ の場合におけるy軸の値(3.5)が住宅基礎の湿乾係数の最大値と考えることができる。

4.2 住宅基礎の接地抵抗の推定方法

既に述べてきたように、住宅基礎の形状を模した電極を作成し、接地シミュレーションによって、形状係数を求め接地抵抗を推定することができる。この推定接地抵抗を R_k としたとき、 R_k は完全導体の場合である。住宅基礎は鉄筋コンクリート造であり、鉄筋量を考慮して接地抵抗を推定しなければならない。鉄筋量と鉄筋コンクリートの接地抵抗(R)との関係は、図7に示したようになっている。さらに、鉄筋コンクリートの ρ_0 を考慮した場合、大地の ρ_1 に対して、湿潤状態である場合は何ら問題はない。しかし、最も懸念される乾燥状態の場合、前述したように、湿乾係数は約3.5である。そこで、住宅基礎の接地抵抗 R_B は次式で推定することができる。

$$R_B = R_k \times (\text{鉄筋係数}) \times (\text{鉄筋コンクリートの湿乾係数}) \quad \dots (4)$$

表7 戸建住宅基礎の推定接地抵抗

モデル	基礎の形状 (形状係数)	1階床面積(m ²) 代表的寸法(m)	推定接地抵抗 (最大値)(Ω)
①	0.87	111.45	56.4
		12.60	
②	0.92	124.00	54.7
		13.62	
③	0.94	123.98	53.9
		14.18	
④	1.17	164.97	53.4
		17.80	
⑤	1.02	98.35	58.3
		14.18	
⑥	1.11	79.64	57.0
		15.75	
⑦	1.22	158.36	54.2
		18.23	
⑧	0.76	68.30	60.3
		10.26	
⑨	0.56	152.9	49.6
		9.23	
⑩	0.66	81.03	58.5
		9.18	

4. 3 住宅基礎の接地抵抗の目安値

(4) 式によって、表 1 に示した戸建住宅基礎の接地抵抗の最大値を算定してみる。ここで、鉄筋係数は 2.32 とする。また、鉄筋コンクリートの湿乾係数は 3.5 とし、大地抵抗率は $\rho_1=100\Omega\cdot m$ とする。

算定結果を表 7 に示す。 $\rho_1=100\Omega\cdot m$ とした時、接地抵抗は 49.6~60.3 Ω であり、非常に良好な接地抵抗を得ることができた。

5. あとがき

本論では、戸建住宅基礎の接地抵抗を推定するために、住宅基礎の形状を模した電極を作成し、形状係数法を用い接地抵抗を推定した。また、鉄筋量を考慮した接地抵抗の推定も行った。さらに、鉄筋コンクリートの湿潤、乾燥状態を考慮した場合の接地抵抗を推定した。その結果、以下のことがわかった。

(1) 形状係数法による接地シミュレーションで完全導体の場合の接地抵抗が推定できる。

(2) 鉄筋コンクリート造である場合、鉄筋量をもとに、接地抵抗が推定できる。標準的な鉄筋量に対して鉄筋係数は 2.32 である。

(3) さらに、鉄筋コンクリートの湿乾状態を考慮した場合、湿乾係数を導入することで接地抵抗を推定できる。実際の土壌中の鉄筋コンクリートの湿乾係数を求めることは不可能であるが、シミュレーションの結果から、湿乾係数は最大でも 3.5 であると予想される。したがって、最も懸念されるコンクリートの乾燥時であっても、住宅基礎の場合は、接地抵抗の安全サイドを考慮して湿乾係数を 3.5 と提案する。

(4) (1), (2), (3) をもとに、戸建住宅基礎の接地抵抗算定式を提案した。

(5) 実際に建設される全電化住宅の基礎を例にとった場合、大地抵抗率が $\rho=100\Omega$ の場合、接地抵抗は 49.6~60.3 Ω の値であることがわかった。

住宅基礎の接地抵抗の推定方法は、まず形状・寸法を考慮した形状係数を求め、鉄筋係数、湿乾係数をもとに推定することが可能であることを明らかにした。今後、代用接地極として実用化するためには、実測データを集める必要があるが、現実には困難を伴うことが多い。関係各位のご理解、ご協力をお願いしたい。

本研究は、平成 16 年度厚生労働科学研究費補助を受けていることを付記する。

参考文献

- 1) 右田理平, 高橋健彦:「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌論文号 Vol.24, No.4, pp.296~301, 2004 年
- 2) 高橋健彦, 川瀬太郎:「接地電極の形状係数法の推定法」, 電気学会論文誌 Vol.103-B, No.12, pp.854, 1983 年
- 3) 右田理平, 高橋健彦:「導体を入れたモルタルブロックの接地抵抗」, 第 21 回電気設備学会全国大会 A-18 pp.43~44, 2003 年
- 4) 右田理平, 高橋健彦:「信頼性を考慮した住宅の接地設備」, 電気設備学会テーマ付研究会, GB03-5-3, pp.11~16, 2003 年
- 5) 高橋健彦:「住宅における接地設備の課題」, 電気設備学会誌, Vol.23, No.2, pp.116~120, 2003 年
- 6) 中村秀親, 高橋健彦:「代用接地極としての木造住宅の基礎」, 第 16 回電気設備学会全国大会, E-16, pp.163~164, 1998 年
- 7) 中村秀親, 高橋健彦:「鉄筋コンクリート代用接地極の導電性」, 第 17 回電気設備学会全国大会, E-12, pp.147~148, 1999 年
- 8) 鈴木秀典, 中村秀親, 高橋健彦:「戸建住宅基礎の代用接地極としての評価」, 第 18 回電気設備学会全国大会, E-10, pp.173-174, 2000 年
- 9) 鈴木秀典, 高橋健彦:「戸建住宅の接地抵抗」, 電気設備学会テーマ付研究会, GB02-2-6, pp.25~29, 2002 年
- 10) 住宅金融公庫:「木造住宅工事共通仕様書」, (財)住宅金融普及協会, pp.20, 2003 年
- 11) W.Rudolph:「EMV nach VDE100」, VDE-verlag, 1996 年

形状係数法による接地抵抗の推定

○ 山川修平 (関東学院大学工学研究科), 高橋健彦 (関東学院大学)

Estimation of the earthing resistance by the shape factor method
 Shuhei Yamakawa (Graduate school of Engineering, Kanto-gakuin University)
 Takehiko Takahashi (Kanto-gakuin University)

キーワード: 接地抵抗, 形状係数法, 形状係数, 接地抵抗算定

1. まえがき

接地は電力・通信・雷保護などの分野で重要な技術である。大地との電氣的ターミナルとして接地極が用いられるが、その形状は棒状・板状などの小規模なものから、環状、網状などの大規模なものまで、多種多様ある。

接地設計を行う際、電位上昇の指標としての接地抵抗を知る必要がある。回転だ円体電極系などの特殊な形状の電極を除く接地抵抗の厳密な解析解は得られていない。棒状や板状などの電極の接地抵抗は解析解を近似した計算式によって計算されている。

解析解のない形状の接地抵抗を推定する方法としては、水槽モデル実験法やラプラス方程式の数値解析 (例えば有限要素法) などの接地シミュレーションがあるが、本稿では接地極の形状に着目した形状係数法による接地シミュレーションを行い、得られた接地抵抗を解析解および算定式等で比較検討した結果を示す。

2. 形状係数法の原理

接地抵抗は本来、接地電極の周囲の大地の中に含まれており、厳密には無限遠方まで考える必要がある。ところが、接地シミュレーションにおいては水槽 (あるいはリターン電極) の大きさが有限であるため、接地抵抗が打ち切られてしまう。有限の水槽に対しては無限小の電極によらなければ真の接地抵抗が得られない。しかし、無限小の電極は現実には作れない。そこで、真の接地抵抗を得るために、電極の形状係数の概念を導入した接地抵抗の推定法を次に示す。¹⁾

(1) 打ち切り抵抗の定義

いま図1に示すような半球状電極 (半径 r_0) を考える。電流 I が電極を通過して大地 (抵抗率 ρ)

へ放射状に流出しているとする。この場合の接地抵抗 R は $R = \rho / 2\pi r_0$ であり、これを真の抵抗とする。半球状電極の中心から距離 r のところに半径 r の半球面を仮想する。この半球面は等電位面の一つである。この半球を金属水槽に置換すれば、水槽の外側に分布する抵抗分 $\Delta R = \rho / 2\pi r$ は測定されない。すなわち、ここに水槽の有限性によって測定されない抵抗分が存在する。これを「打ち切り抵抗 ΔR 」と定義する。

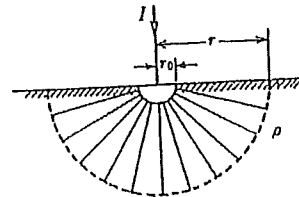
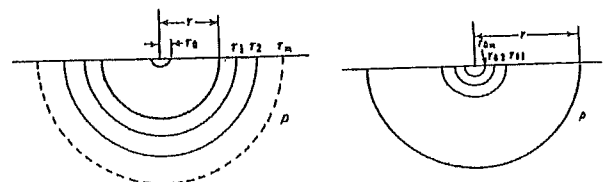


図1 半球状電極と水槽の関係

(2) 水槽モデル実験の等価性

ここで、水槽を無限大にした場合と電極を無限小にした場合の等価性について考えてみる。図2(a)において、水槽の大きさが r のときは ΔR である。水槽を r_1, r_2, \dots, r_m と大きくしたとき、 $\Delta R \rightarrow 0$ になり、測定される接地抵抗は真値に近づく。一方、同図(b)において、水槽の大きさは r で固定しているから ΔR は変わらない。しかし、電極の大きさを $r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0m}$ と小さくしたとき、測定値 R_m は無限大に近づき、 ΔR は無視できるようになる。すなわち R_m は真値 R に近づく。したがって、(a)と(b)の操作は等価であると考えられる。



(a) 水槽を無限大にした場合 (b) 電極を無限小にした場合

図2 水槽モデル実験の等価性

(3) 形状係数の定義

真の接地抵抗を R , 水槽の有限性によって生じる測定されない接地抵抗を ΔR , シミュレーションによって測定 (あるいは計算) して得られる接地抵抗を R_m とすると

$$R_m = R - \Delta R \quad \dots(1.1)$$

となる。一方, 形状が相似で縮尺率の異なる電極があった場合, その接地抵抗は媒質の抵抗率 ρ に比例し, 代表的寸法 L に反比例する。すなわち,

$$R = K \cdot \rho / L \quad \dots(1.2)$$

(1.1), (1.2)式より次式を得る。

$$R_m \cdot L / \rho = K - \Delta R \cdot L / \rho \quad \dots(1.3)$$

ここで, K は電極の形状によって定まる定数で「形状係数」と定義する。

(4) 半球状電極の形状係数

解析解のある半球状電極 (半径 r_0) を例にとり, 接地シミュレーションによる形状係数の推定法を述べる。水槽の形状が半球状 (半径 r_0) である場合, 得られる接地抵抗 R_m は

$$R_m = \int_{r=r_0}^{r=r_c} \frac{\rho}{2\pi r^2} dr = \frac{\rho}{2\pi r_0} - \frac{\rho}{2\pi r_c} \quad \dots(1.4)$$

ここで, (1.1)式に対応させると, $R = \rho / 2\pi r_0$, $\Delta R = \rho / 2\pi r_c$ である。一方, 半球状電極の理論式を(2)式に対応させると

$$R = \rho \cdot 1/2\pi \cdot 1/r_0 \quad \dots(1.5)$$

になる。 $1/2\pi$ は電極の形状を指定している, いわゆる形状係数である。 $1/r_0$ は電極の寸法を指定している。

水槽の大きさ (半径) を $r_0=0.7$ [m] とし, 半球状模型電極の代表的寸法 (L) である半径を複数個 ($r=0.01 \sim 0.05$ [m]) 選び, それらの接地抵抗 R_m と L の積を求め, x 軸に L/ρ , y 軸に $R_m \cdot L/\rho$ をプロットして, 最小二乗法により直線回帰する。このようにして実験式 [(1.3) と同形] を求め, $x=0$ における y の値を求めれば, K が決定される。シミュレーションによる結果を図3に示す。推定した形状係数 K は 0.15915 である。

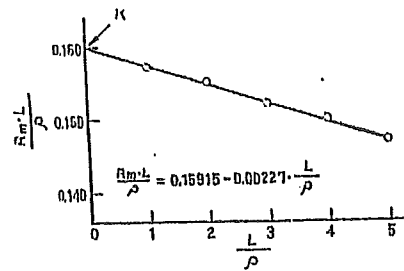


図3 半球状電極の形状係数

(5) 接地抵抗の推定

電極の実寸法 (代表的寸法 L) を用い, 施工する場所の大地抵抗率 (ρ), 接地シミュレーションで得られた K を用いて接地抵抗 (R) は次式で推定できる。

$$R = K \frac{\rho}{L} \quad \dots(1.6)$$

3. 接地シミュレーションによる形状係数の推定

3.1 接地シミュレーションの方法

形状係数を求めるため, 図4に示すようにステンレス製の半球状水槽 (半径 0.75 [m]) を用いて接地シミュレーションを行う。半球状水槽には水道水で満たし, 同図に示す回路でスライダックによって電流を一定にして実験を行う。電源は安全のため絶縁変圧器を介すことにする。

形状係数法では最低3個の相似形の電極を必要とする。このため実験では相似形のモデル電極を銅板で製作し, 半球状水槽の中央に固定して測定をする。

実験では代表的な接地極の形状である棒状・板状電極, 解析解のある円板状電極および円柱状電極の形状係数を求めた。

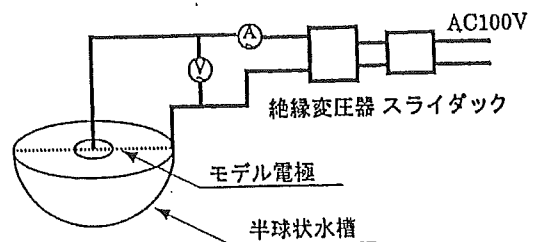


図4 接地シミュレーションの回路図

3. 2 棒状電極

(1) 実験条件

棒状接地極の一般的な形状である半径0.0075[m]、高さ1.5[m]を参考に、直径：高さ=1:100のモデル電極を製作した。製作したモデルの寸法を表1に示す。表では直径=a、高さ=bとした。

表1 棒状電極の寸法

棒状電極 比率a:b=1:100	
接地極の寸法[m]	
a	b
0.0005	0.05
0.001	0.10
0.002	0.20

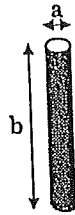


図5 棒状電極

(2) 実験結果

実験結果を表2に示す。形状係数法で接地抵抗を推定するためには、接地電極の代表的寸法 L [m]が必要である。表中の代表的寸法 L [m]は棒状電極の高さの寸法を用いた。 ρ は半球状水槽に満たした水道水の抵抗率で、測定を行うごとに導電率計を用いて計測し、 ρ を算出した。 R_m は実験で得られた電極の抵抗値である。表2の測定結果をもとに、代表的寸法 L と $R_m \cdot L / \rho$ との関係を表したグラフを図6に示す。このグラフ中でデータを最小二乗法により直線回帰して得られた線と y 軸との交点が棒状電極の特性値である形状係数である。データを処理した結果、棒状電極 ($a:b=1:100$)の形状係数は0.914となり $R^2=0.983$ であった。ここで、水道水の ρ は54.59[$\Omega \cdot m$]である。

3. 3 板状電極

(1) 実験条件

板状接地極の一般的な寸法である縦0.9[m]、横0.9[m]を参考に、縦：横=1:1のモデル電極を製作した。製作したモデルの寸法を表3に示す。表中の a 、 b は銅板の縦、横の寸法である。埋設深さは0[m]とした。

(2) 実験結果

実験結果を表4に示す。測定値をグラフ化したものを図8に示す。

測定データを最小二乗法により直線回帰した結

果、板状電極($a:b=1:1$)の形状係数は0.299という結果であり $R^2=0.995$ と良好な値を得た。ここで、水道水の ρ は61.58[$\Omega \cdot m$]である。

表2 棒状電極の測定結果

	接地極の寸法[m] a,b		
	0.0005, 0.05	0.001, 0.10	0.002, 0.20
L [m]	0.05	0.10	0.20
R_m [Ω]	988	486	238
$R_m \cdot L / \rho$	0.905	0.891	0.873

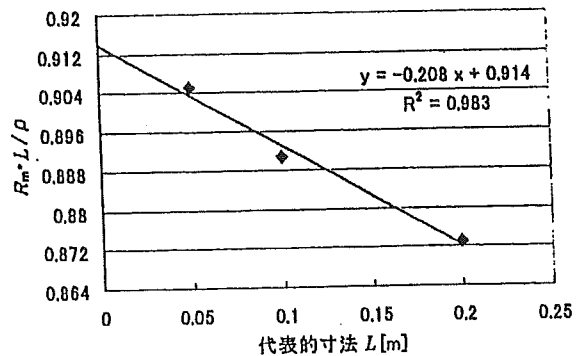


図6 棒状電極の形状係数

表3 板状モデル電極の寸法

板状電極 比率a:b=1:1	
接地極の寸法[m]	
a	b
0.03	0.03
0.06	0.06
0.09	0.09

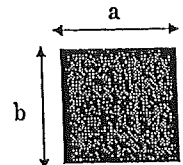


図7 板状電極

表4 板状電極の測定結果

	接地極の寸法[m] a,b		
	0.03, 0.03	0.06, 0.06	0.09, 0.09
L [m]	0.03	0.06	0.09
R_m [Ω]	603	297	194
$R_m \cdot L / \rho$	0.294	0.289	0.283

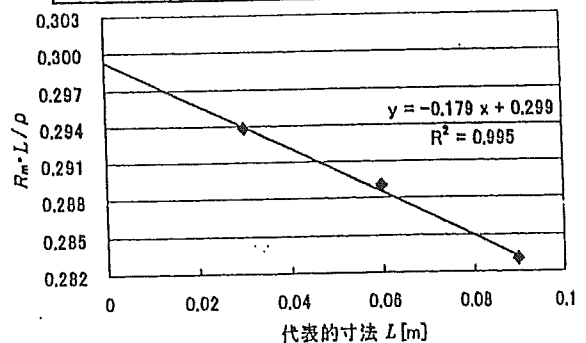


図8 板状電極の形状係数

3. 4 円板状電極

(1) 実験条件

円板状電極は、表5の寸法でモデル電極を製作した。表中の a は円板の直径寸法[m]である。円板は底面のみが水面に接触するように設置した。

表5 円板状電極の寸法

円板状電極 接地極の寸法 a [m]
0.05
0.10
0.15

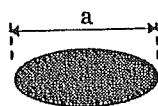


図9 円板状電極

(2) 実験結果

実験結果を表6に示し、測定値をグラフ化したものを図10に示す。

測定データを最小二乗法により直線回帰した結果、板状電極($a:b=1:1$)の形状係数は0.520という結果であり $R^2=0.999$ と良好な値を得た。ここで、水道水の ρ は $57.54[\Omega \cdot m]$ である。

表6 円板状電極の測定結果

	接地極の寸法 a [m]		
	0.05	0.10	0.15
L [m]	0.05	0.10	0.15
R_m [Ω]	591	292	192
$R_m \cdot L / \rho$	0.514	0.507	0.501

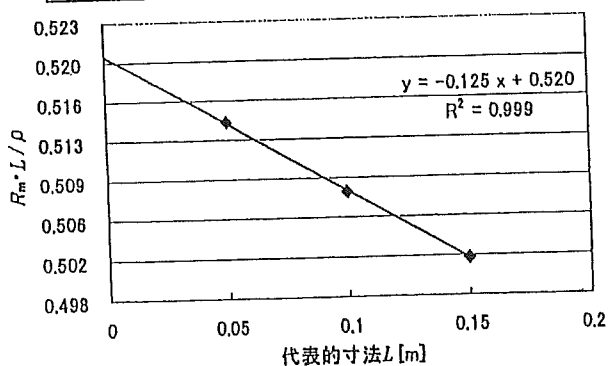


図10 円板状電極の形状係数

3. 5 円柱状電極

円柱状電極は棒状電極と円板状電極の中間的な形状である。このため実験では図11のように縦が長い形状の場合と横が長い形状の2種類を製作し、それぞれ比率を変えて測定を行った。

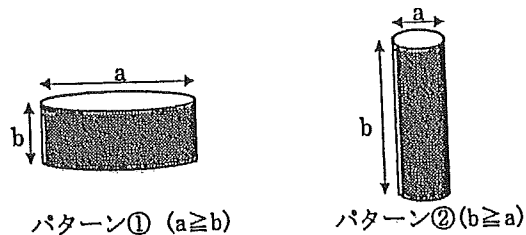


図11 円柱型電極

(1) 実験条件パターン① ($a \geq b$ のとき)

実験は $a:b$ を $1:1 \sim 5:1$ まで比率を変化させて円柱状モデル電極を製作した。棒状や板状電極の場合と同様にそれぞれの比率ごとにモデル電極を3個ずつ製作し、水槽を用いて測定を行った。

(2) 実験結果パターン① ($a \geq b$ のとき)

実験結果とデータ処理例を表7および図12に示す。測定結果から各比率の形状係数を求め、まとめたものを表8に示す。いずれの比率の場合も形状係数を求める際の近似式の R^2 は 0.99 以上と良好であった。ここで、水道水の ρ は約 $58.0[\Omega \cdot m]$ である。

表7 円柱状電極 (パターン①) の測定結果

各モデルの比率(a:b)	L [m]	R_m [Ω]	$R_m \cdot L / \rho$
1:1	0.01	1287	0.221
	0.02	612	0.210
	0.03	390	0.201
2:1	0.02	757	0.263
	0.04	372	0.259
	0.06	244	0.255
3:1	0.03	582	0.299
	0.06	282	0.291
	0.09	184	0.284
4:1	0.04	463	0.320
	0.08	227	0.314
	0.12	149	0.309
5:1	0.05	393	0.340
	0.10	191	0.331
	0.15	124	0.322

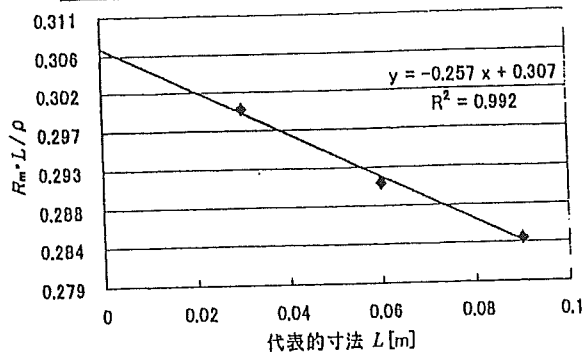


図12 円柱状電極 (パターン①) の形状係数 ($a:b=3:1$)

表 8 円柱状電極 (パターン①) の形状係数

a:b	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
形状係数K	0.231	0.267	0.307	0.326	0.349

(3) 実験条件パターン② (b ≥ a のとき)

実験は a:b を 1:2~1:5 まで比率を変化させて円柱状モデル電極を製作し、それぞれの場合の形状係数を調べた。

(4) 実験結果パターン② (b ≥ a のとき)

実験結果とデータ処理例を表9および図13に示す。測定結果から各比率の形状係数を求め、まとめたものを表10に示す。いずれの比率の場合も形状係数を求める際の近似式の R² は 0.98 以上であった。ここで、水道水の ρ は約 57.1[Ω・m]である。

表 9 円柱状電極 (パターン②) の測定結果

各モデルの比率(a:b)	L[m]	R _m [Ω]	R _m ・L/ρ
1:2	0.02	757	0.277
	0.04	377	0.276
	0.06	250	0.275
1:3	0.03	648	0.335
	0.06	319	0.330
	0.09	209	0.325
1:4	0.04	538	0.374
	0.08	266	0.370
	0.12	174	0.363
1:5	0.05	460	0.401
	0.10	226	0.394
	0.15	149	0.389

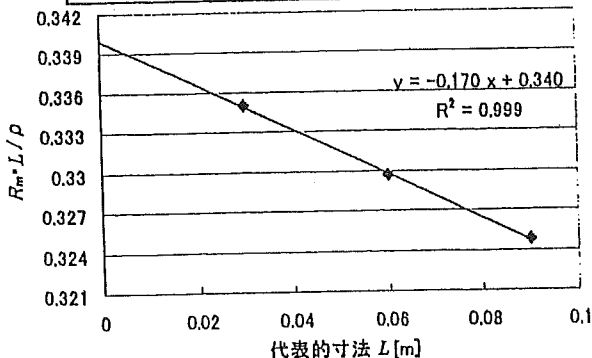


図 13 円柱状電極 (パターン②) の形状係数 (a:b=1:3)

表 10 円柱状電極 (パターン②) の形状係数

a:b	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5
形状係数K	0.231	0.279	0.340	0.381	0.407

4. 接地抵抗の推定

棒状・板状・円板状・円柱状電極の形状係数を求めたが、これをもとにしてそれぞれの接地抵抗の推定を行ってみる。

4. 1 推定方法

前述したように、接地抵抗 R は形状係数 K をもとに次式で求めることができる。

$$R = K \frac{\rho}{L} \quad \dots (4.1)$$

ここで、L は代表的寸法[m]、ρ は大地抵抗率(Ω・m)である。各電極の計算条件を表11に示す。条件の中で円板状接地極は、通常用いられる例がほとんどなく、一般的な寸法が定まっていない。そのため便宜的に直径 a=0.30[m]とした。

ここで、代表的寸法(L)は棒状電極は長さ、板状は横、円板は直径とした。

表 11 電極の計算条件と接地抵抗

寸法[m]	棒状		板状	円板状
	直径	長さ	横・縦	直径
	0.015	1.5	0.9	0.30
比率 a:b	1:100		1:1	—
形状係数 K	0.914		0.299	0.520
接地抵抗推定値	0.61・ρ		0.33・ρ	1.73・ρ

4. 2 推定結果と考察

形状係数法で作られた接地抵抗と解析解のある円板状電極、近似計算式のある棒状、板状電極の接地抵抗を比較してみる。その結果を表12に示す。同表に示すように比較してみるとほぼ良好な一致をみた。

表 12 接地抵抗の推定結果の比較 (ρ=100[Ω・m]の場合)

	形状係数法	計算式	誤差率
棒状電極	61 Ω	64 Ω	4.7%
板状電極	33 Ω	35 Ω	5.7%
円板状電極	173 Ω	167 Ω	3.6%

一方、円柱状電極の場合は解析解および近似算定式が存在しないため、半球状電極をもとに等価表面積、等価体積置換法による比較を試みる。その結果を表13に示す。形状係数法で得られた接地抵抗と比較してみると等価表面積置換法による結果が概ね一致していることがわかる。

誤差率は、解析解と形状係数法との差を解析解で除して求めた。

表 13 円柱状接地極の接地抵抗の比較
($\rho=100[\Omega \cdot m]$ の場合)

パターン①

半径[m]	長さ[m] (代表的寸法L)	形状係数K	推定接地抵抗[Ω]		
			形状係数法	等価表面積置換法	等価体積置換法
0.50	1.0	0.231	23	20	22
1.00	1.0	0.267	13	13	14
1.50	1.0	0.307	10	10	10
2.00	1.0	0.326	8	8	9
2.50	1.0	0.349	7	7	7

パターン②

半径[m]	長さ[m] (代表的寸法L)	形状係数K	推定接地抵抗[Ω]		
			形状係数法	等価表面積置換法	等価体積置換法
0.50	1.0	0.231	23	20	22
0.50	2.0	0.279	14	15	17
0.50	3.0	0.340	11	12	15
0.50	4.0	0.381	10	11	14
0.50	5.0	0.407	8	10	13

等価表面積と体積置換法による違いについて述べる。JIS-A-4201の構造体基礎の接地抵抗を推定する方法として等価表面積置換法を用いている。一方、等価体積置換法はわが国ではあまり用いられていないが、ヨーロッパにおいて、近似計算方法のひとつとして採用されている。ここでは参考として2つの置換法を用いて比較してみた。

5. あとがき

解析解のない形状の接地抵抗を推定する方法として形状係数法による接地シミュレーションについて検討した。その結果、解析解のある円板状電極に対しては誤差率3.6%、近似計算式のある棒状、板状電極に対しては誤差率4.7~5.7%であった。さらに、円柱状電極に対しては等価表面積置換法による結果と良好な一致をみた。

このことは、形状係数法の有用性を確認できるものである。この方法は簡便であり、あらゆる形状の応用範囲は非常に広い。

今後、更に精度を高める工夫(例えば半球状水槽の大きさ、モデル電極の加工)を検討し、接地抵抗の推定手法のひとつとして確立していくつもりである。最後に、本研究は平成16年度厚生労働科学研究費補助を受けていることを付記する。

参考文献

- 高橋健彦, 川瀬太郎:「接地電極の形状係数法の推定法」, 電気学会論文誌 Vol.103-B, No.12, pp.854, 1983

付録: 接地抵抗計算式

接地極の種類	施工形態	接地抵抗計算式
棒状電極		$R = \frac{\rho}{2\pi} \ln \frac{2l}{r}$ $r = \text{半径} \quad l = \text{長さ}$
板状電極		$R = \frac{\rho}{8r} + \frac{\rho}{4\pi} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{r^2}{a^2} + \frac{99}{320} \frac{r^4}{a^4} \right)$ $r = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \quad t = 2t$ $a = \text{長さ} \quad r = \text{埋設長さ}$
円板状電極		$R = \frac{\rho}{4r}$ $r = \text{半径}$

200V 配電電圧における感電災害について

富田一*、 本山建雄(産業安全研究所)、 中田健司(テンパール工業)

Electric shock hazards in 200V distribution voltage

Hajime Tomita, Tatsuo Motoyama(National Institute of Industrial Safety), Kenji Nakata(Tempearl Co., LTD)

1. まえがき

日本での低圧の配電電圧は 100V を主とし、単相 3 線式、三相 3 線式などが使用されている。主配電電圧を 100V 台としている国は米国、カナダ、北朝鮮など少数であり 200V 配電電圧が主流となっている。

周知のように 100V に比較して 200V 配電電圧の方が送電ロスが少なく、省エネルギーに貢献するとともに、ヒーター、エアコンなど 200V を必要とする機器も増大傾向にある。

200V 配電方式としては単相 3 線式があるが、動力系統では三相 3 線式が必要とされる。今後、三相 3 線式の 200V 配電電圧の普及が予想されることから、200V における感電災害を調査した。

2. 保安統計からの傾向

原子力安全・保安院より出されている電気保安統計においては、100V、200V、400V、高圧の分類がなされている。1991～2001 年について、作業者に係る感電死傷件数を図 1 に示す。全般的に 100V に比較して 200V における死傷件数が多い傾向となっている。

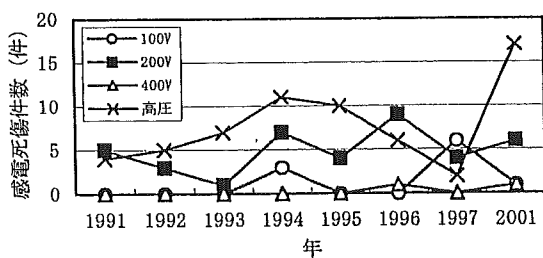


図 1 作業者の感電死傷件数の推移 (電気保安統計)

3. 感電による労働災害からの検討

<3・1> 電圧別の死亡者数 1995～2001 年の 7 年間における感電による死亡労働災害について、65 件の災害を調査した結果を図 2 に示す。100V 以下の死亡者が 17 人、200V

が 22 人であって、両者に大きな偏りは見られない。100V 以下については、交流アーク溶接機による死亡者が 10 人と大きな割合を占めている。これは作業中に充電された溶接棒が露出状態となることや、交流アーク用自動電撃防止装

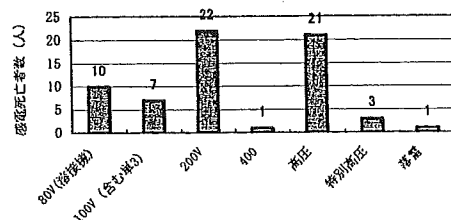


図 2 感電死亡労働者数

置の装着されないアーク溶接機の使用などが災害発生の要因と考えられる。

アーク溶接作業を除いた 100V 以下での死亡者については、7 人と半減している。溶接作業時の死亡者を除いた死亡者数で見ると、200V が 100V の約 3 倍となり、200V での感電死亡者が 100V より明確に多い。

<3・2> 事故の機器 図 2 の死亡労働災害において、災害に結びついた機器を 100、200V の場合について表 1 に挙げる。

これらの機器について、人的要因を除いた災害発生原因をみると、漏電が主であり、絶縁不良、誤配線といったケースも見られた。また人的要因からみると、誤って接触したケースが多く、作業前の十分な対策、作業手順の励行など基本的な対策が不十分であることが多く見られた。

100V、200V 配電電圧における感電災害を調査したが、200V での発生件数が多いことから見て、低圧であっても 200V における感電災害防止には特に配慮が必要と考えられる。

表 1 100、200V 配電電圧での災害の機器

原因	漏電	絶縁不良	誤配線	作業ミス
100V	扇風機、電動ポンプ (2人)	移動電線 (1人)		作業灯、キュービクルの充電部、配電盤、電子レンジ (4人)
200V	バルバー、ポンプ、モータ (2)、クレーンスイッチ、洗浄機 (6人)	サーモスタット、軸受け温度計、研磨機 (3人)	型ばらし機、シャープペンチ、クレーンスイッチ (3人)	電源表示灯、コントロールボックス、配線 (2)、ニクロム線、シリンドラ分解装置、クレーントロリー線 (2)、クレーン集電装置、攪拌機 (10人)

100/220V における感電危険性の比較

— IEC 479-1 Third edition 1994-09 に基づいた一考察 —

本山建雄*, 富田 一, 崔 光石 (産業安全研究所), 中田健司(テンパール工業)

Differences between 100V/220V on Electric shock hazards

Tatsuo Motoyama, Hajime Tomita, Choi Kwang-seok (National Institute of Industrial Safety), Kenji Nakata (Tempearl Co., LTD)

1. まえがき

日本での配電電圧は 100V を主とし、それに加えて単相 3 線式、三相 3 線式などが使用されている。主配電電圧を 100V 台としている国は米国、カナダなど少数であり世界的には 200V 台の配電電圧が主流となっている。国内でも、国際化に合わせて、また、地球温暖化防止に向けて 200V 台の配電電圧が提案されており、(社)日本電機工業会では配電電圧昇圧のための提言¹⁾をまとめている。その中で省エネ効果は CO₂ 換算で 300 万トンが期待できるとしている。このような状況のもとで、仮に、対地電圧 200V 台の電圧が工場、事務所そして一般家庭で使用されるようになった場合を想定して 100/220V の感電危険性について IEC 479-1 Third edition 1994-09 をもとに通電部位とインピーダンス、人体通過電流を算出し、人体の感電危険性について検討を行ったので報告する。なお、感電時の危険性は算出した値の他に靴、衣服などの抵抗を含めて評価する必要がある。

2. 算出方法

IEC 479-1 1994-09 には「大きな接触面積に対する交流 50/60Hz、手から手の電流路の場合の全身体インピーダンス」が表として示されている。また、人体の各部位間による差異、及び心室細動に及ぼす比率等も示されている。

図 1 は、これらを元に算出した数値のグラフであり、全身体インピーダンスとしては平均ではなく危険側の 5% の人のデータ「母集団の 5%」を採用している。また、皮膚のインピーダンスは、接触電圧にほとんど依存しないインピーダンス（「漸近値」）を全身体インピーダンスから除いた値としている。なお、皮膚の抵抗が小さい場合のインピーダンスは「漸近値」とした。

3. 結果及び検討

図 1 に示す通り、220V における人体の各部位間のインピーダンスは 100V の場合よりも小さく、結果として、人体を通過する電流は大きくなるのがわかる。感電の影響は電流の大きさと持続時間によって異なるが、皮膚が濡れるなどにより、皮膚の抵抗が減少した場合には、IEC 479-1 に示される筋肉の自由がきかない範囲、さらには、危険な心室細動の領域に入る場合もあり、220V の場合に危険性が高いことを示している。

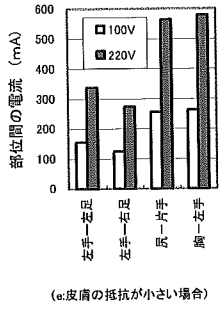
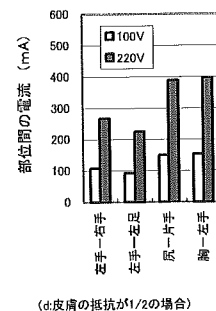
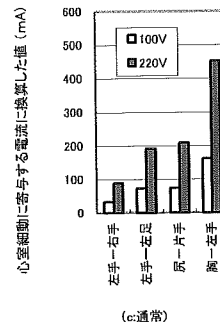
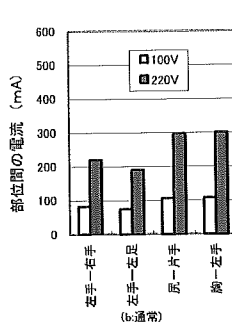
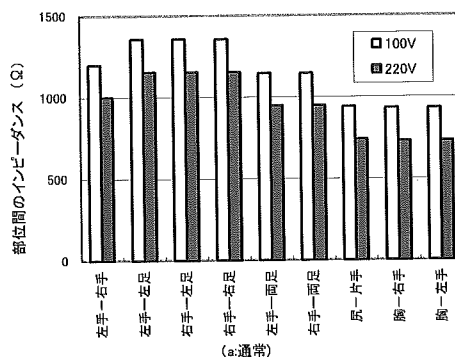


図 1 100/220V 電路における感電危険性の比較

参考文献

1) 配電電圧昇圧と電線地中化推進のための提言、「電線地下埋設等検討委員会」活動報告、2001年3月、(社)日本電機工業会

D-17

シリコン加工砂利の抵抗率

○ 坂間 博樹 (関東学院大学大学院工学研究科), 鈴木 幸治((株)グラスノン)

高橋 健彦 (関東学院大学)

Resistivity of Silicon Coated Gravel

Sakama Hiroki

Suzuki kouzi

(Graduate School of Engineering, kanto-gakuin University) (grassnon Co.,Ltd.)

Takahashi Takehiko(kanto-gakuin University)

キーワード:シリコン加工砂利, 抵抗率

1. まえがき

液体や粘土のような物体の抵抗率を測定するのは容易であるが、固体の抵抗率の測定は困難である。そこで、体積比濃度の原理でシリコン加工砂利(玉砂利)等の抵抗率測定を試みたので以下に報告する。ここで、物理系では固有抵抗, 比抵抗という表現もあるが、本稿では抵抗率と表現する。

2. 抵抗率測定の原理

測定装置を図1に示す。アクリル製水槽の両端に銅製の電極板(100×100mm)を置き、商用電源を印加し、回路電流と電極板の両端の電圧により抵抗を測定する。この抵抗(R)は次式で表される。

$$R = \rho L / A \cdots (1)$$

ここで、 ρ : 水槽の媒質の抵抗率

L: 水槽の長さ

A: 電極板の面積

図1に示した測定装置の寸法を(1)式に代入し、抵抗率を逆算すると次式になる。

$$\rho = RA / L = 0.05 \cdot R \cdots (2)$$

液体や粘土であれば、媒質を水槽の中に入れ、抵抗を測定することで抵抗率が容易に推定できる。しかし、砂利の場合は隙間が生じるため、直接的な測定が不可能である。

そこで、水槽の中に入れる媒質の量を体積比濃度で換算する。体積比濃度(γ)の定義は次式による。

$$\gamma = (V_s / V_0) \cdot 100(\%)$$

ここで、 V_s : 媒質の体積

V_0 : 水槽の体積

媒質である砂利の体積比濃度が100%になることはあり得ないため、外挿法によって100%とみなしたときの抵抗率を推定する。

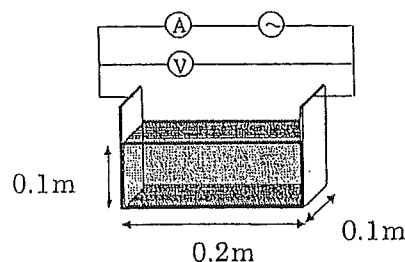


図1 測定装置

3. 実験手法の有効性の確認

前述した抵抗率測定の原理の有効性を確認するために媒質として、砂を用いて実験を行った。

図1に示す測定装置に商用電源(10V)を加え、水槽に水道水を満たし、砂を入れた。その際、水槽からあふれる水(つまり砂の体積)を測定し、あわせて電流を測定し抵抗を求め、(2)式の逆算式により抵抗率を求めた。その結果を図2に示す。ここで、水槽に乾燥した砂を満したした場合、つまり、体積比濃度(γ)100%の抵抗率を測定した結果、 $7000 \Omega \cdot m$ となった。

図2に示した実験結果より,Mathcad(2001)を用いて指数回帰によるデータ解析を行った。解析を行う際、砂の抵抗率(y)と体積比濃度(x)の関係は次式のように仮定した。

$$y = a e^{bx} + c \cdots (3)$$

解析した結果、次の定数となった。

$$a = 4.36 \times 10^{-3}, \quad b = 0.14, \quad c = 58$$

ちなみに、体積比濃度 $x=0$ の場合は、 $y = c = 58$ となり、水槽の水の抵抗率となる。また、体積比濃度 $x=100$ の場合は、 $y = 7000$ となり、砂の抵抗率となる。

4. 測定結果

シリコン加工砂利とはシリコン溶剤を普通の砂利に焼付けたもので、撥水性、非保水性に優れた砂利である。

前述したように、実験方法の有効性を確認し、砂の場合の抵抗率と体積比濃度の関係式を見出した。そこで、3と同様な方法で砂利とシリコン加工砂利の抵抗率を推定する実験を行った。測定結果を図2に示す。

砂利やシリコン加工砂利の場合は隙間が生じるため、体積比濃度が60%程度である。そこで、砂の場合の実験式を参考にして、指数回帰曲線の定数aを推定した。ここで、(3)式のb、cは一定とした。

まず、砂利の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率111Ω・mをもとにaを求めるとa=0.010となった。同様にシリコン加工の場合の体積比濃度60%のときの抵抗率137Ω・mをもとにaを求めるとa=0.015となった。

これらの作業によって砂利とシリコン加工砂利の実験式の定数を求めることができた。まとめて表1に表す。

5. 抵抗率の推定

砂利やシリコン加工砂利の場合は、体積比濃度100%にはなりえない。そこで(3)式に示した、実験式を用い、外挿法によって体積比濃度100%、つまりそれ自体の抵抗率を推定することにした。

(3)式において、x=100として表1に示した定数を代入すると、砂利は16000Ω・mとなり、シリコン加工砂利は24000Ω・mとなった。つまり、これらの値が抵抗率である。

6. 砂利、シリコン加工砂利の含水特性

図1に示した測定装置に水道水を満たし、抵抗率の経時変化、つまり含水特性をみた。結果を図3に示す。

砂利の場合は、水を含み抵抗率が減少する傾向を示したが、シリコン加工砂利は水を含まず、抵抗率が一定である。

7. あとがき

本稿で述べた実験によって、以下の知見が得られた。

1) 普通の砂利の初期抵抗率は16000Ω・mであるが水分を含むことによって、約20%の抵抗率の減少がみられた。

2) シリコン加工砂利の初期抵抗率は24000Ω・mであり、撥水性があるため、抵抗率の減少はみられない。

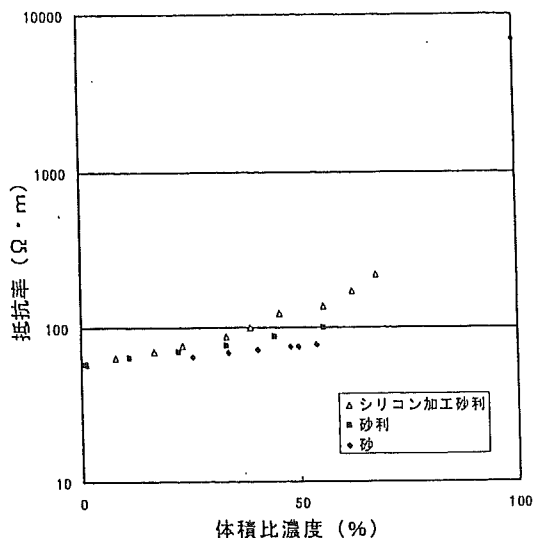


図2 シリコン加工砂利、砂利、砂の抵抗率比較

表1 実験式の定数

	a	b	c
砂利	0.010	0.143	58
シリコン加工砂利	0.015	0.143	58

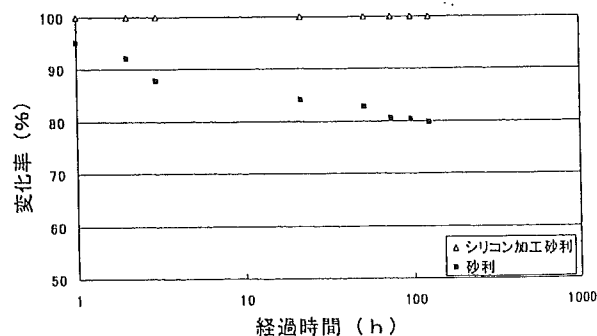


図3 砂利、シリコン加工砂利の含水特性

8. 今後の課題

変電所等では人体に印加される歩幅、接触電圧を低減するため砂利を敷くことがある。今後、砂、砂利等を用いた歩幅・接触電圧低減についてのモデル実験を行うつもりである。

本研究は、平成17年度厚生労働科学研究費補助を受けていることを付記する。

参考文献

1) 右田理平, 高橋健彦: 「戸建住宅基礎の代用接地極に関する基礎的検討」, 電気設備学会誌論文号 Vol24, No.4, pp.296~301, 2004年



NIIS

電気事故における日韓の比較

～ 配電電圧昇圧化による電気火災・感電事故への影響 ～

本山建雄, 富田 一, 〇 崔 光石 (産業安全研究所), 中田健司 (テンパール工業)

Comparison of Electric Accidents between JAPAN and KOREA

T. Motoyama, H. Tomita, K.S. Choi (NIIS), K. Nakata (Tempearl Industrial Co., Ltd.)

1. はじめに

電気火災および感電事故について、100Vが主流である日本と、従来の単相100Vから三相4線式(220V/380V)昇圧化がすすんで来た。現在220Vが主流となった韓国との比較を行い、昇圧化した場合の電気安全について考察した。

2. 電気火災

● 日本:
- 推移: 80年代の5000件台から近年では7000件台に増加(図1)。
- 原因: 使用電力量の増加(図2)や人口の増加など。
● 韓国:
- 推移: 80年代の2000件台から近年では10000件台を超えており、約5倍に増加。
- 原因: 昇圧率の増加(図1)、使用電力量の増加(図2)、家電機器の大型化、老朽設備の継続使用。

● 日韓の比較:
(1) 日本の電気火災増加率は韓国と比べると低く、電気火災件数はほぼ横ばい。
(2) 韓国の増加率は高く、91年以降は日本の件数を超え、人口に対する割合も高い。

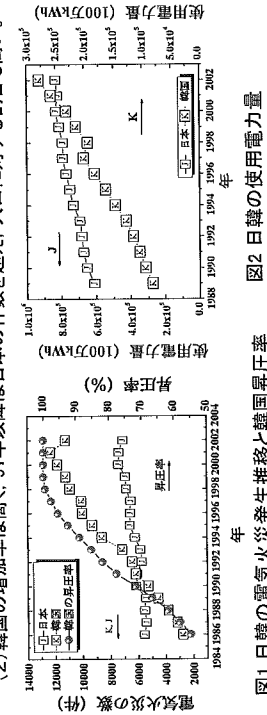


図1 日韓の電気火災発生率と韓国昇圧率

2.2 電気火災の主な原因

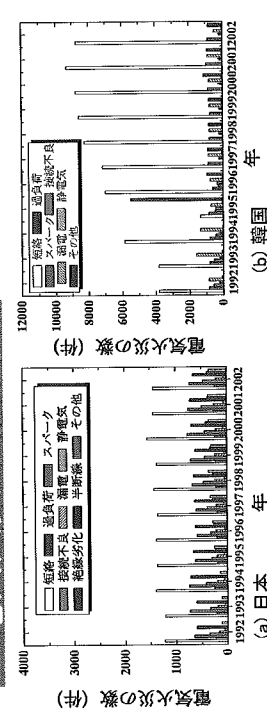


図2 日韓の電気火災発生率と韓国昇圧率

● 日本:
(1) 電気火災全体の約30%が短絡を原因として発生(図3(a))。
(2) 屋内配線、交通機関内配線、配線器具、電気機器、電気装置のいずれの場合においても電気火災の主な原因は短絡。
● 韓国:
(1) 電気火災のほとんどが短絡を原因として発生(図3(b))。
(2) 特に屋内配線および照明装置ではその割合が高い。
(3) 短絡を原因とする件数の増加率が高く、電気火災全体に占める割合も高い。
(4) 短絡を原因とする件数は使用電力量および昇圧率の増加に伴って増加する傾向。

2.3 電気火災の月別発生原因

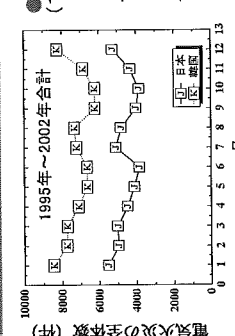


図4 日韓の月別電気火災発生推移

3.3 感電事故の月別発生原因

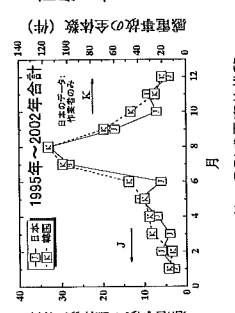


図7 日韓の月別感電事故推移

● 日韓両国:
両国の発生件数に違いはあるものの夏季に感電事故が増加(図7)。
- 原因:
(1) 高温多湿の雰囲気により配線・電気機器の絶縁が低下。
(2) 発汗により人体のインピーダンスが低下。
(3) 寝装によって肌が露出。
(4) 暑さから絶縁保護具の使用を怠りやすい。
(5) 作業時に集中力が低下。

3. 感電事故 3.1 感電事故の推移

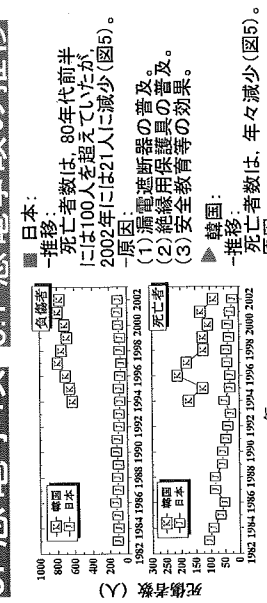


図5 日韓の感電事故死傷者推移

● 日本:
- 推移: 死亡者数は、80年代前半には100人を超えていたが、2002年には21人に減少(図5)。
- 原因:
(1) 漏電遮断器の普及。
(2) 絶縁用保護具の普及。
(3) 安全教育等の効果。
● 韓国:
- 推移: 死亡者数は、年々減少(図5)。
- 原因:
(1) 漏電遮断器設置義務化。
(2) 漏電遮断器の普及。

3.4 感電事故の電気設備別発生原因

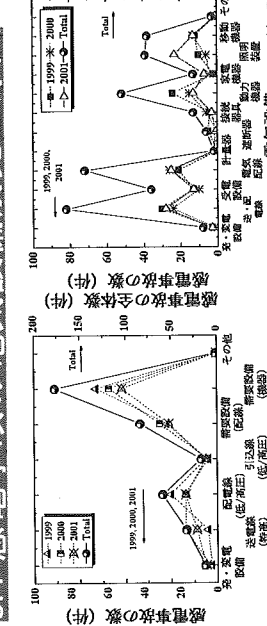


図8 電気設備別感電事故

● 日本:
(1) 需要設備の配線及び機器における感電事故が多い(図8)。
(2) その他の設備は、一般に公衆が近く可能性は少なく、作業者の感電がほとんどであるため感電事故数は少ないが、電圧が必要設備の場合に比べて高いため、死亡に至るケースが多い。
● 韓国:
(1) 分類項目は多少異なるものの、日本と同様に需要設備における感電事故が多い(図8)。
(2) 移動機器は、屋外で接地を怠りがちになることから死亡に至るケースが多い。

4. まとめ

- 1) 韓国: 配電電圧の昇圧の進展と感電による死者数には相関性が見られる。その主な原因は漏電ではなく短絡と考えられることから、今後、この点について対策が必要になる。
- 2) 配電電圧の昇圧の進展と感電による死者数には相関性が見られる。これは、漏電遮断器の普及が影響したと考えられるが、配電電圧を昇圧した影響がどの程度あるかを検討する必要がある。
- 3) 日韓のいずれにおいても、200Vあるいは220Vにおける感電死者数が多いことから漏電遮断器設置の義務化とともに等電位ボンディングなどの安全対策も必要と推察される。

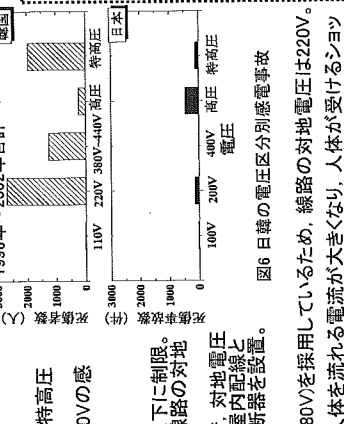


図6 日韓の電圧区分別感電事故

● 日本:
(1) 高圧の感電事故が電圧区分の中で最も多く、次いで200V(図6)。
(2) 200Vの感電事故は、100Vの場合に比べて約3倍多い(図6)。
● 韓国:
(1) 220Vの感電事故が最も多く、次いで特高圧(図6)。
(2) 99年に昇圧化が完了したことから220Vの感電事故が多く、110Vは少ない(図6)。

● 日本の場合:
(1) 屋内配線の対地電圧は原則150V以下に制限。
(2) 電灯線は、単相3線式で100, 200V線路の対地電圧は100V。
(3) 動力線は、主に三相3線式(200V)で、対地電圧は200Vとなるが、電気機械器具は、屋内配線と直接接続して施設し、電路に漏電遮断器を設置。

● 韓国の場合:
(1) 低圧配電方式に三相4線式(220V/380V)を採用しているため、線路の対地電圧は220V。
(2) 対地電圧が高い場合には、感電時に人体を流れる電流が大きくなり、人体が受けるショックは予想以上に増す危険性があり、転倒や転落などの二次要因につながる傾向。

日韓の電気事故に関する一考察

独立行政法人産業安全研究所

○ 崔 光石, 富田 一, 本山建雄

テンパール工業

中田健司

Comparative Studies in Electric Accidents between JAPAN and KOREA

Kwang-Seok CHOI, Hajime TOMITA, Tatsuo MOTOYAMA

National Institute of Industrial Safety

Kenji NAKATA

Tempearl Industrial Co.,Ltd.

キーワード：電気事故，電気火災，感電，日本，韓国

Keywords: Electric Accidents, Electric Fires, Electric Shock, Japan, Korea

1. はじめに

地球温暖化を防止するためには，エネルギーを効率的に使用して二酸化炭素などの温室効果ガスの排出量を削減することが必要である。将来，我が国において 20kV 級/400V 配電方式を採用し，低圧電路を三相 4 線式（230V/400V）に昇圧することは，配電時のエネルギー損出を低減し，設備・資材を削減できることから注目されているが¹⁾，昇圧化にあたっては，電気安全について十分に検証しておかなければならない。そこで筆者らは，昇圧化した場合の電気火災および感電事故について，100V が主流である日本と，単相 100V から三相 4 線式（220V/380V）に昇圧化し，現在 220V が主流となった韓国を比較し報告を行ってきた²⁾。今回は，さらに詳細なデータや新項目を追加して考察を行った。

2. 電気火災

2.1 電気火災の推移

日韓の電気火災発生数の推移を図 1 に示す^{3~5)}。図に示す電気火災データは，建物，林野，車両，船舶，航空機，その他で発生した件数の合計である。日本における電気火災は，1980 年代の 5000 件台から近年では 7000 件台に増加している。電気火災が増加した原因は，使用電力量の増加（図 2），老朽設備の使用などが考えられる。一方，韓国における電気火災は，1980 年代の 2000 件台から近年では 10000 件台を超えており，約 5 倍に増加している。韓国の電力需要戸数，昇圧戸数，昇圧率の推移を図 3 に示す^{4, 5)}。三相 4 線式（220V/380V）への昇圧化は，1973 年に開始され⁶⁾，1980 年代に 50% を超え，1999 年にほぼ 100% に達し，2005 年 10 月に完了した。ただし，昇圧化開始当初の需要戸数は少なかったため，電灯の普及も昇圧化と同時に進んできた。電気火災が増加した原因は，使用電力量の増加（図 2），需要戸数および昇圧率の増加（図 3），家電機器の大型化，老朽設備の使用などが考えられる。特に昇圧前の老朽化した電路を昇圧後も継続して使用する場合が多く見られ，これも電気火災の発生に影響を与えたと考えられる。日本の電気火災の増加率は韓国と比べると低く，電気火災件数は微増であるのに対し，韓国の電気火災の増加率は高く，1991 年以降は日本の件数を上回っている他，人口に対する割合も高い。

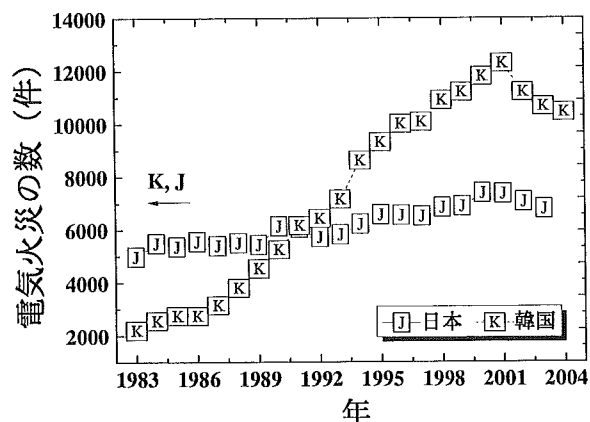


図 1 日韓の電気火災発生推移

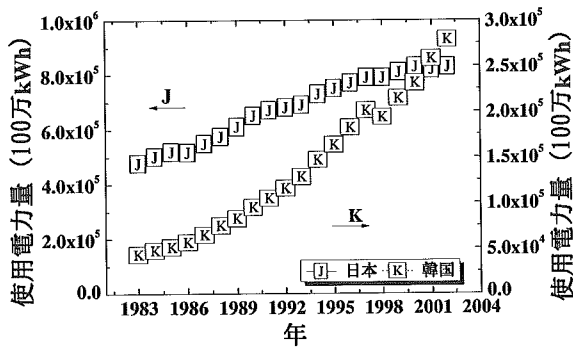


図 2 日韓の使用電力量

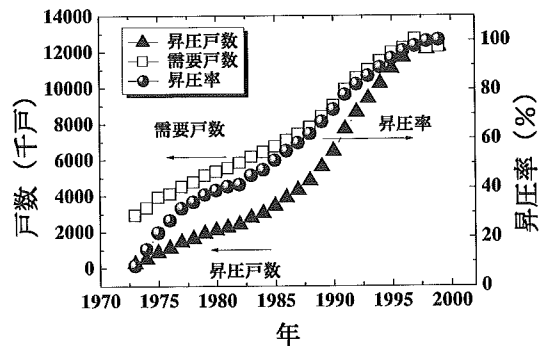
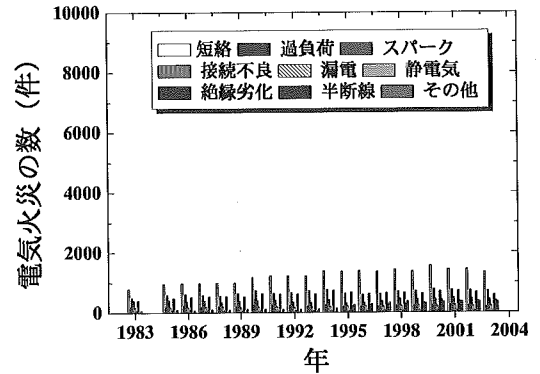


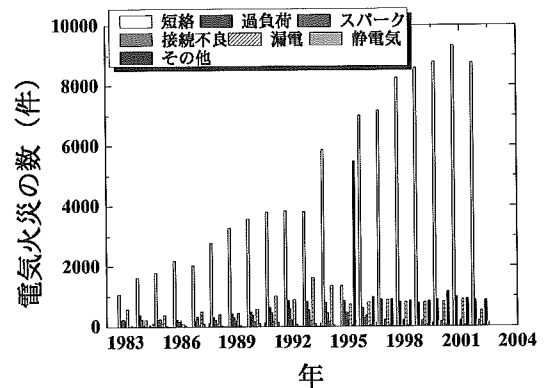
図 3 韓国の需要戸数と昇圧戸数及び昇圧率

2.2 電気火災の主な発火要因

日韓の原因別電気火災発生推移（1983年～2002年）を図4に示す³⁻⁵。ただし、日本の1984年のデータは入手できておらず、また、韓国の「絶縁劣化」のデータは「漏電」の項目に含めている。日本においては、電気火災全体の約30%が「短絡」を原因として発生しており、屋内配線、交通機関内配線、配線器具、電気機器、電気装置のいずれの設備においても主な原因となっている。他の原因として、「絶縁劣化」、「スパーク」などがある。韓国においては、電気火災のほとんどが「短絡」を原因として発生しており、特に屋内配線および照明装置ではその割合が高い。電気火災の件数は年々増加しているが、特に「短絡」を原因とする件数の増加率が高く、電気火災全体に占める割合も高くなっている。「短絡」を原因とする火災件数の増加は、使用電力量、需要戸数および昇圧率の増加の影響が考えられる。また、韓国において火災原因が短絡と推定される場合や不明の場合は、「短絡」の項目に含める傾向があるため、その影響も考えられる。なお、1995年は例年と異なり、原因が短絡と確定された場合のみ「短絡」の項目に含めている。



(a) 日本



(b) 韓国

図 4 日韓の原因別電気火災発生推移

2.3 電気火災の発火場所

日韓の発火場所（建築物）別電気火災（1997年～2002年）を図5に示す³⁻⁵。図に示す電気火災データにおいて、住宅の項目はアパート（マンション）、工場は作業場、ホテルは旅館の件数をそれぞれ含んでいる。日韓両国とも件数に違いはあるものの住宅での電気火災が最も多い。火災全体の件数も同様の傾向であることから、住宅の戸数が他の建築物に比べて多いことが影響したと考える。一方、火災全体に対する電気火災の割合を比較すると、韓国の場合が日本に比べ2倍以上多い傾向にあり、特に韓国においては、店舗、飲食店、市場（屋台）の火災の約50%が電気火災となっている。これらの建築物の電気火災は、老朽設備の継続使用、電気機器の未点検などの保守不良によって多くなっていると考えられる。また、日韓両国とも工場、店舗、事務所、ホテルなど、人が多い場所や使用電力量が多い場所での電気火災の割合が高いことが特徴である。百貨店、ホテルなど不特定多数の人が出入りする場所における火災は、人命被害や財産被害も大き