

石油灰を混入させた接地電極の 接地抵抗経年変化

Annual Variation of Grounding Resistance of Grounding Electrodes
Mixed with EP Ashes



かな たに けん いち
金 谷 賢 一*

キーワード：接地抵抗，経年変化，接地電極材，導電性コンクリート，接地抵抗低減剤

1. はじめに

電力設備等に施設される接地は、人体の安全や設備の安定稼働のため、低い抵抗値を長い期間維持することが求められる。接地抵抗は、季節や経年により変化することが報告されている¹⁾が、実態を示すデータは少ない。

当社グループでは、石油火力発電所から排出される石油灰(電気集塵器で捕集した原油、重油の燃焼灰、主成分は炭素)を混入させた接地電極材²⁾(導電性コンクリート、ホクデンEP-1)を用いた帯状接地電極の評価試験を実施している^{3), 4)}。今回、長期にわたり継続してきた約16年間の接地抵抗の測定結果に基づき、本接地電極の接地抵抗の経年変化を検討した結果について紹介する。

2. 評価試験に用いた接地電極

本検討のフィールドは、富山県内のA地点であり、礫混じり砂主体の土質である。冬に凍土とならず、地下水位が接地電極の埋設深さ約0.8mよりも低いことを確認している。接地電極は、幅0.5mの銅メッシュ電極を石油灰接地電極材で包んだ帯状電極である。評価試験に用いた接地電極の詳細を表-1に示す。接地電極の施工年月日は、2004年10月4日である。

3. 接地抵抗の測定結果

A地点の接地電極について、2005年1月から2020年12月までに測定した定常の接地抵抗と月平均気温を図-1に示す。同図には、電極長10mのNo.1及び電極

表-1 評価試験に用いた接地電極

電極数	電極 No.	接地電極	電極長	大地抵抗率
1	1	幅0.5mの銅メッシュ電極を石油灰接地電極材で包んだ電極	10m	148Ω・m
10	2～11		1m	183Ω・m

長1mの10極を代表してNo.7, No.10, No.11を示す。積雪により接地抵抗測定を行えなかった期間等は、測定データが欠落している。月平均気温は、測定地点に最も近い気象庁観測点のデータを用いている。

図-1より、全ての接地電極において、接地抵抗は季節により変化しており、その変化は月平均気温の変化と増減が逆であるが、良く対応している。この傾向は、図-1に示していないA地点の電極長1mの7極(No.2～No.6, No.8, No.9)についても同様であった。また、全ての接地電極において、接地抵抗は経年によって少しずつ上昇する傾向が見られる。

4. 接地抵抗経年変化の評価

接地抵抗の季節の変化と月平均気温や湿度、降水量等の気象データの相関を検討した文献⁵⁾では、接地抵抗と月平均気温の相関が最も強く、月平均気温のみで接地抵抗の季節の変化を推定できることが報告されている。この報告を参考にして、月平均気温 X_1 、経年 X_2 (施工日からの経過日数)を説明変数とする重回帰分析により、接地抵抗 Y を推定することを試み、経年の影響を検討した。重回帰式を(1)式に示す。

$$Y = R_0 + k_1 \times X_1 + k_2 \times X_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 R_0 は定数項、 k_1 は月平均気温の偏回帰係数、 k_2 は経過日数の偏回帰係数である。また、1年当たりに上昇する接地抵抗 ΔR は(2)式より求め、1年当たりの

* 北陸電力送配電(株)配電部

1982年10月生まれ、富山県出身。2007年京都大学大学院エネルギー科学研究科修了。同年北陸電力(株)入社。主に配電資機材の管理業務、配電線の雷害対策の研究に従事。

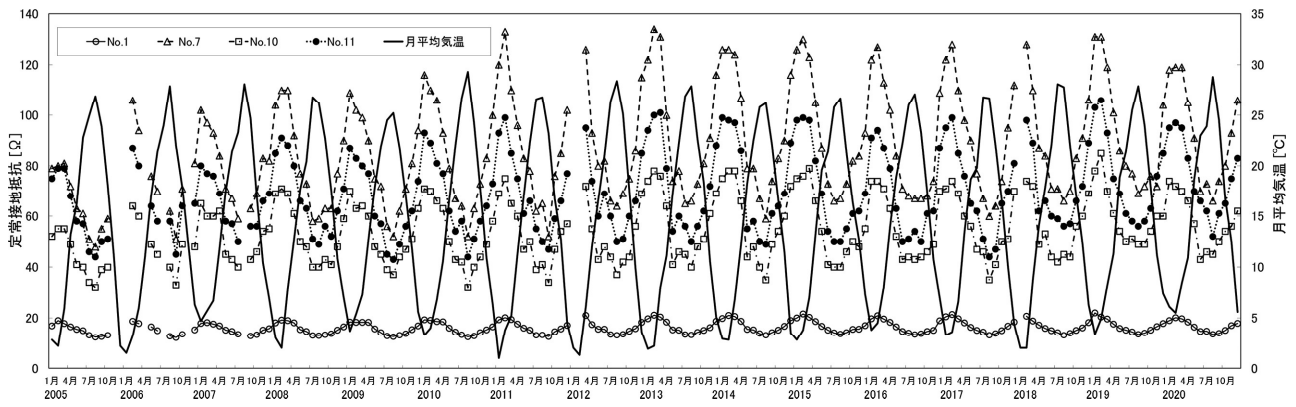


図-1 A地点の接地抵抗の測定結果
(2005年1月～2020年12月, 2004年10月4日施工)

接地抵抗の変化率 V (以下, 接地抵抗変化率)は(3)式より求まる。(3)式の接地抵抗の初期値 Y_0 は, (1)式において, X_1 を接地電極を施工した2005年の月平均気温の年平均値(15℃), X_2 を0として推定した。

$$\Delta R = k_2 \times 365 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$V = \frac{\Delta R}{Y_0} = \frac{\Delta R}{R_0 + k_1 \times X_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

A地点の全11接地電極について, 重回帰分析から求めた R_0 , k_1 , k_2 及び決定係数, (2), (3)式から求めた ΔR , V を表-2に示す。

表-2より, 月平均気温の偏回帰係数 k_1 は負の値であり, 接地抵抗と月平均気温の変化が逆であることを表している。経年の偏回帰係数 k_2 は絶対値が小さいものの正の値であり, 接地抵抗が経年により上昇していることを表している。月平均気温については, 各年の平均値がほぼ横這いで推移しており, 経年の変化は見られなかった。決定係数はいずれも0.7以上と良い相関を示しており, 月平均気温と経年から接地抵抗が推定できると考えられる。

接地抵抗変化率 V は, 電極長10m程度のNo.1と電極長1mのNo.2～No.11を比べても大差がなく, 平均値で1.32%となった。この結果を, 他の接地抵抗低減剤を用いた接地電極の測定結果(約3年間)から求められた1年当たりの接地抵抗変化率⁶⁾と併せて図-2に示す。表-2及び図-2より, 石油灰を混入させた接地電極材を用いた接地電極は, 他の接地電極よりも経年変化が小さく, 電極の大きさによらず安定した接地抵抗を維持できるものと考えられる。

表-2 接地抵抗の重回帰分析の結果

No.	定数項 R_0	偏回帰係数		決定係数 -	上昇接地抵抗/年 ΔR	抵抗変化率/年 V
		月平均気温 k_1	経過日数 k_2			
1	19.3	-0.27	0.00031	0.83	0.11	0.73%
2	94.4	-1.96	0.00291	0.86	1.06	1.63%
3	97.4	-2.07	0.00260	0.86	0.95	1.43%
4	75.5	-1.43	0.00179	0.85	0.65	1.21%
5	74.1	-1.53	0.00359	0.88	1.31	2.56%
6	81.3	-1.45	0.00138	0.82	0.50	0.84%
7	108.7	-2.28	0.00381	0.83	1.39	1.87%
8	104.8	-2.14	0.00141	0.74	0.52	0.71%
9	98.0	-2.02	0.00160	0.79	0.58	0.86%
10	67.7	-1.31	0.00194	0.82	0.71	1.48%
11	88.4	-1.72	0.00203	0.82	0.74	1.18%
平均値						1.32%

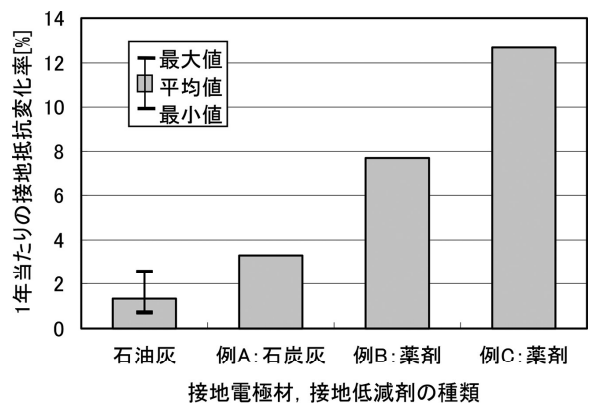


図-2 1年当たりの接地抵抗変化率

5. 新しい接地電極材の開発

地球温暖化問題への対応として, 電源の脱炭素化が推進されており, 今後, 石油火力発電所が稼働せず, 接地電極材の原料である石油灰が入手できなくなる可能性がある。そのため, 石油灰に替わり炭素を混入させ, 現行品と同等の性能を有する接地電極材を検討した。

現行品の石油灰の割合を100として, 炭素の割合を90, 100, 110と変化させた3種類の接地電極を試作し

た。炭素が増減した分はセメントで調整した。水配合比35%で混練した接地電極材を、縦4cm、横4cm、長さ16cmの絶縁容器に充填し、30日経過後に接地電極材の抵抗を測定し、(4)式より電気抵抗率を求めた。その結果を表-3に示す。

$$\rho = \frac{S}{L} \times R \cdots \cdots (4)$$

ここで、 ρ は電気抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$]、 S は試料の断面積 [cm^2]、 L は試料の長さ [cm]、 R は測定抵抗 [Ω]である。現行品と同じ配合割合の試料2の電気抵抗率が最も低くなり、現行品と比べても約30%低減する結果となった。

また、銅覆鋼棒を接地電極材で包み、電解質溶液中で直流電流を流して前後の腐食減量を求めて耐電食性を検討した文献7)と同様の方法で、今回の試料における腐食減量率を比較した。その結果を表-3に示す。通過電荷量は約12A・hであった。電極材で包まなかった裸電極では腐食減量率が約26%であったが、試料2は現行品と同様に0.01%と腐食減量がほとんどなく、耐電食性が高かった。これらの結果より、試料2の炭素の配合が最適と判断した。

なお、JIS R 5201-2015「セメントの物理試験方法」に基づいて圧縮強さ試験を実施し、試料2は現行品と同等の強度を有していることも確認した。

試料2の炭素の配合割合の接地電極材で、幅0.5mの銅メッシュ電極を包んだ長さ10m、埋設深さ約0.8mの带状電極を、富山県内のフィールド(礫混じり砂主体の土質、大地抵抗率188 $\Omega \cdot \text{m}$ 、地下水なし)に施工した。施工した2020年11月から2023年5月までの2年半の期間に測定した定常の接地抵抗を図-3に示す。今回の開発品と比較するため、同じ条件で施設した現行品の带状電極と、22mm²の銅線のみを埋設した電極を、開発品から各々3m程度離れた場所に施工した。開発品を用いた電極の接地抵抗は、現行品を用いた電極と銅線のための電極に比べて、測定期間の平均値でそれぞれ約67%(2/3)と約46%(1/2)に低減しており、開発品が有効となっている。

6. おわりに

石油火力発電所から排出される石油灰を混入させた接地電極材(導電性コンクリート)を用いた带状接地電極について、約16年間の定常接地抵抗を測定し、重回帰分析を用いて経年変化を検討した。その結果、本接地電極

表-3 試作した接地電極の試験結果(各3試料の平均)

接地電極	炭素割合	電気抵抗率 [$\Omega \cdot \text{cm}$]	腐食減量率 [%]
試料1	90	128.2	0.09
試料2	100	27.4	0.01
試料3	110	43.8	0.09
現行品	100(基準)	38.4	0.02
裸電極	-	-	25.96

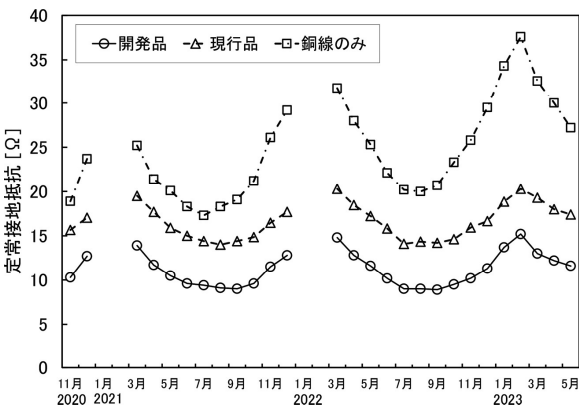


図-3 開発した接地電極の接地抵抗の測定結果
(2020年11月～2023年5月、2020年11月24日施工)

の接地抵抗は、経年変化が小さく、安定していることを確認した。

また、石油灰に替わり炭素を混入させた接地電極材を検討し、現行品と同等以上に電気抵抗率が低く、かつ、耐電食性を有する炭素の配合条件を見いだした。この炭素配合の接地電極材を実フィールドに施工し、接地抵抗を2年半測定したところ、現行品を用いた接地電極の接地抵抗の約67%(2/3)に低減し、有効であることを確認した。

参 考 文 献

- 1) 武馬宏幸、高橋健彦：「接地抵抗の季節変動に関する考察」、電気設備学会誌、Vol.22, No.8, pp.637-642(2002.8)
- 2) 酒井 勉、郷津寿夫、萩原利樹：「EP灰を利用した接地電極素材の開発」、電気現場技術、Vol.38, No.441, pp.12-16(1999)
- 3) 杉本仁志、戸栗和広、郷津宏之：「接地抵抗の経年変化に関する一考察-EP灰接地電極材を用いた接地電極-」、2010年電気設備学会全国大会、No.A-14, pp.29-30(2010.8)
- 4) 杉本仁志、金谷賢一、戸栗和広、郷津宏之：「石油灰接地電極材を用いた接地電極における接地抵抗の経年変化」、2018年電気設備学会全国大会、No.B-9, pp.77-78(2018.9)
- 5) 新庄一雄、戸栗和広、郷津宏之：「接地抵抗季節変動の要因分析」、平成20年電気学会全国大会、No.7-110, pp.171-172(2008.3)
- 6) 栗田 昂：「石炭灰を活用した接地抵抗低減剤の研究」、電気評論、Vol.88, No.1, pp.225-227(2003.1)
- 7) 島崎克彦、杉本仁志：「接地抵抗低減剤を用いた接地電極の耐電食性に関する検討」、2010年電気設備学会全国大会、No.A-13, pp.27-28(2010.8)