

富士山測候所雷対策適用上の調査と対策方法

安本勝¹、佐々木一哉¹、高橋浩之¹、中村安良²、大胡田智寿³、土器屋由紀子³

1. 東京大学、2. 茨城県立土浦工高、3. NPO 法人「富士山測候所を活用する会」

1. はじめに

富士山測候所を活用する会では富士山測候所の特徴を生かした様々な観測・研究を実施している。その充実をはかるため、通年の安定な電源確保は必要であり、そのため、山麓からの通常電源以外に太陽光発電等自然エネルギーも活用した電源確保を予定している。将来的には全てを自然エネルギーで賄う予定である。しかし、富士山測候所の落雷頻度は高く、安定な太陽光発電等の電源確保のため、また安定な観測・研究を可能にするためにも外部観測機器等への落雷対策は必須である。

一昨年は、雷対策上の問題点を明らかにし対策方法を提案した。昨年はファラデーケージ破れと外部に使用するケーブルへの対策の提案を行った。今年度は、雷対策具体化のために接地系と部材間の接続状況の調査を行った。それを元に現状の測候所に適したファラデーケージの破れ対策方法を提案する。また雷対策具体化のために雷電流の実態を知ることは重要であるので次年度の雷電流観測具体化の調査検討を行った。これは主な雷電流路になる山麓からの電源・接地線に流れる電流を測定可能にすることで可能である。また雷電流だけではなく他の新たな情報の測定可能性についての検討も行った。

2. インダクタンスを考慮した接続状況調査

2-1 接地線路のインダクタンス

各分電盤の接地端子は、機器類のアースとして利用されるため、ファラデーケージを破って導入されたケーブル接地線が接続される場所になり、雷電流が侵入しやすい個所になる。侵入雷電流によるサージ電圧は、侵入点インダクタンスと雷電流との積になるので接地線循環路インダクタンスを知ることは、侵入サージ電圧を知るため、重要である。

循環路が大きければインダクタンスは大きくなる。例えば長方形の循環路縦0.4 m で一定にし、横長さを変えた場合のインダクタンス変化を図1に示す。理論的にも予測されることであるが、インダクタンスは循環路面積に比例して大きくなる。また線径により変化し径が大きくなるとインダクタンスは小さくなる。一般的にも言われているが、この結果からもインダクタンスは①できるだけ循環路の面積を小さくする、および②線径を大きくすることで、小さくできる。後者の方法は、線を幅広にし、実効径を大きくする方法があり一般的にも多く適用されている。

また、0.4 m×1.6 m の循環路の一边をファラデーケージ部分として、破って導入した接地導入線の位置を変化させたときのインダクタンス変化を測定し、図2に示す結果が得られた。

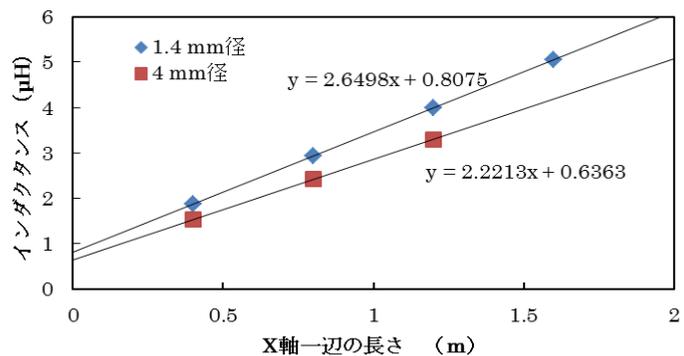


図1 線径によるY軸0.4 mの長方形循環路インダクタンス

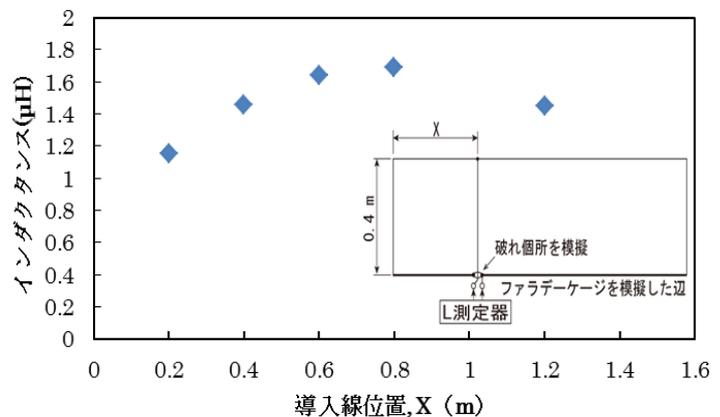


図2 1.6 m×0.4 m循環路導入線位置によるインダクタンス

循環路に雷電流が侵入する経路インダクタンスは、図1から切断する場合は約 $5 \mu\text{H}$ であるが、破って導入した接地線位置では中央が最も大きく循環路の約 $1/3$ になる。

2-2 接地線の経路調査

接地線の経路を確認する場合、導通の有無によりつながりの確認はできるが、循環路が構成されているかどうかの確認はできない。もしインダクタンスが測定可能であれば、①循環路を構成しているかどうか分かる、また②循環路の大きさが推測できる、ことからより正確な経路の確認が可能になる。そのため、インダクタンス測定はテスターのように容易に適用できると一層便利になる。

測候所の現在の接地線配線状況は、図面からだけでは正確に読み取ることができず、調査確認することが必要であった。今回の調査では、目視による確認、導通状態、さらに新たな方法であるインダクタンス測定による調査を行った。目視による経路調査は、主に山麓側からの引込み口周辺について行なった。また、インダクタンス測定を1号庁舎、4号庁舎、および3号庁舎の接地線について実施した。測定結果は表1にまとめた。この結果の番号に対応する接地系統配線図測定箇所を図3に示した。

高圧ケーブル引き込み口の侵入サージ電圧に関係する、山麓から受電室に引き込んだ接地線と受電室分電盤接地との間は $20 \mu\text{H}$ であった。このインダクタンスの値に侵入雷電流を微分した値を掛けることで侵入サージ電圧が得られる。

主接地線は $73 \mu\text{H}$ であった。循環路は1号庁舎南端から2号庁舎の北端まで建物導電性構造物と接続部が無い大きな循環路を構成していることが分かった。途中分電盤に分岐しているが、それより先で他の接地系統、あるいは接地系統に繋がる導電性構造物に接続されていない。

山麓から測候所への接地線は、高圧ケーブルに含まれる接地線だけではない。記録によると高圧ケーブルと並行して 80mm^2 裸銅線と旧ケーブルが接地線として埋設配線されていることになっている。それぞれの接地線は測候所外に設けられた山麓側接地極に接続されてから受電盤共通接地端子に接続されている。

高圧ケーブルの接地線は山麓側接地極に接続されているがその経路で測定したインダクタンス(⑧)は大きく、ケーブル出力端で接地線はケーブル架台にも接続しているが、それが構造体と電氣的に接続されている場合に予測される循環路インダクタンスより大きいため、ケーブル架台は接地線による接続以外は浮いて絶縁された状態にある。この値は、馬の背接地点との循環路インダクタンスと推測している。

過去の資料から得た情報に今回の調査結果を反映させた測候所の接地経路は図4になる。

番号	被測定接地線位置	測定電気定数			備考
		抵抗(Ω)	インダクタンス(μH)	静電容量(μF)	
1	1号庁舎1階A	0.14	25		循環路
2	1号庁舎1階B	0.07	3.22		
3	1号庁舎1階C	0.25	73		循環路(主接地線)
4	1号庁舎1階D	0	1.03		循環路
5	1号庁舎1階E	0.25	73		循環路(主接地線)
6	1号庁舎2階A	0.09	30		循環路
7	4号庁舎A	0.14	20		循環路
8	4号庁舎B	1	88		ケーブル接地線が作る循環路
9	4号庁舎C	130		0.14	接地導線の循環路は構成しない。
10	外部山肌への垂れ線	690		0.15	接地(循環路は構成しない)。
11	外部山肌への垂れ線	710		0.06	接地(循環路は構成しない)。
12	接地線接続箱	0.07	26		循環路
13	3号庁舎北端ラック上	0.24	73		循環路(主接地線)
14	3号庁舎北端ラック上	0.19	41		循環路
15	3号庁舎北端ラック上	-	-		循環路を構成していない。
16	3号庁舎北端ラック上	530		0.06	循環路を構成していない。
17	3号庁舎配水管	-	-		ファラデーケージが破れている。

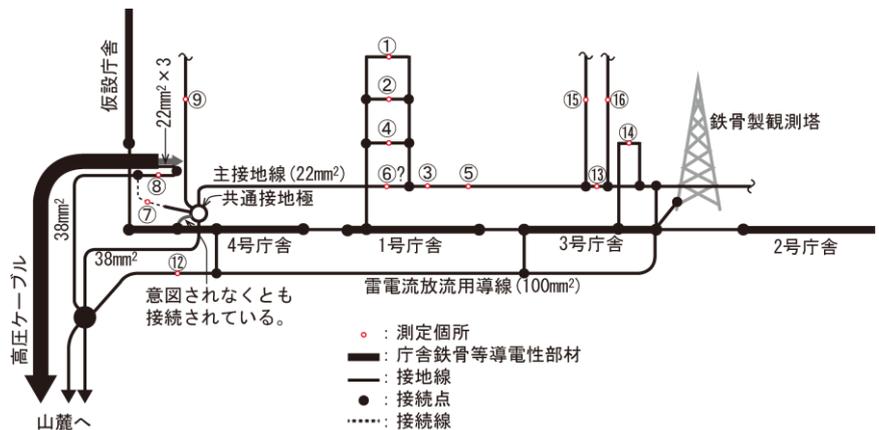


図3 富士山測候所の接地線の電気定数測定から推測される循環路測定箇所番号は表1の番号と対応している。

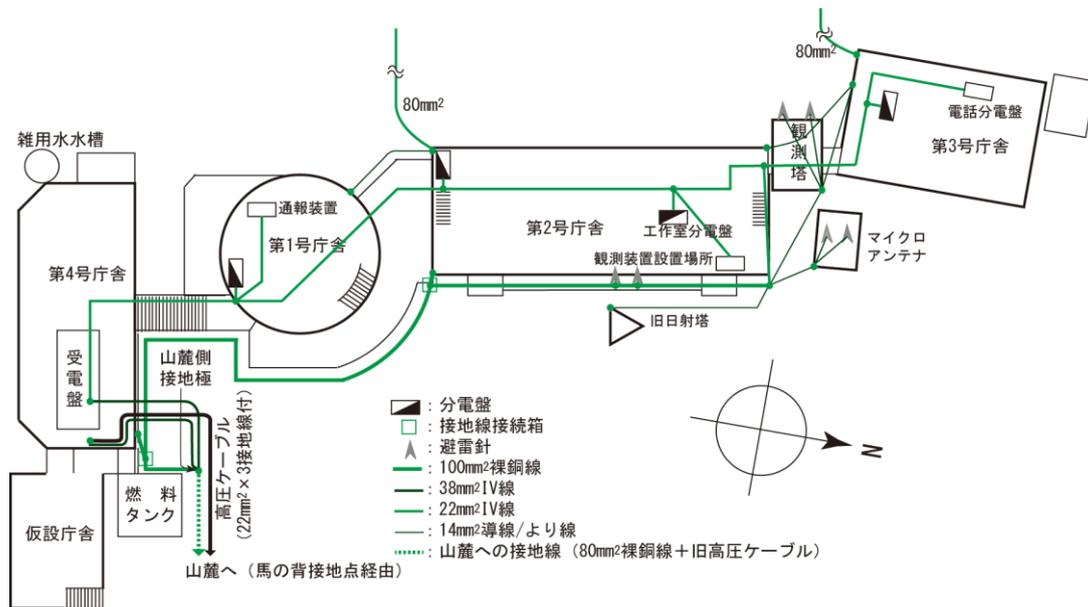


図4 富士山測候所接地系統の概要
 接地系統の過去の資料、調査、および提供情報からまとめたものに、2011年調査による修正を加えた。

3. ファラデーケージの破れ

富士山測候所の外観は金属製覆い(屋根・壁)で覆われておりファラデーケージとしては最適な構成に見られるが、鉄骨と金属製覆いとの間は分厚い断熱材で構成され、それが電気的な絶縁物でもあるため、鉄骨、導電性内装材、および金属製覆いそれぞれの間の電気的な接続は必ずしも良好では無い。調査結果でもドア、階段、および内装の導電性部材は断熱材に固定され電気的に絶縁された状態にあるものがあるなど、電気的接続が良好で無い導電性部材が多く存在していると推測される。

測候所外観は図5に示す。各庁舎外表面は、第1庁舎は鉄板、瓦棒葺き、および金属板を重ねた構造が混在、第2と第3庁舎はモノコック、第4庁舎と仮設庁舎は屋根・壁とも瓦棒葺きになっている。

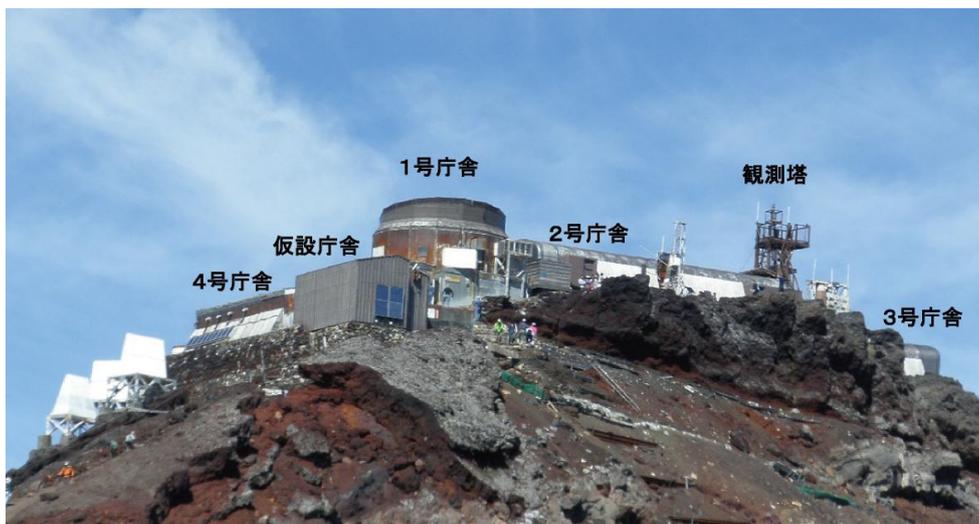


図5 富士山測候所外観 1号庁舎:鉄板壁・瓦棒葺き・鉄板の重ね屋根が混在、
 2号庁舎・3号庁舎:モノコック、4号庁舎・仮設庁舎:屋根・壁とも瓦棒葺き

図6は聞き取り調査で測候所内に生じた現象の原因を推測したものである。いずれも、持続性がある現象であり、測候所が帯電した雷雲中にあるために生じた現象と推測される。(a)は導入された洗面台金属配管にファラデーケージの破れがあり、集電荷により接地電位に保たれた分電盤との間に大きな電位差を生じ放電したものと考えられる。(b)は屋内で髪の毛が逆立つ現象を生じた原因である。屋根など上部の部材に電氣的に浮いている個所があり、それが帯電雷雲により帯電した結果高電位になり、接地電位に保たれた床面との間に高電界を生じたものと推測される。後者は導電性部材間の電氣的接続が良くないことで生じたものである。いずれの現象もファラデーケージの破れがあることが原因である。

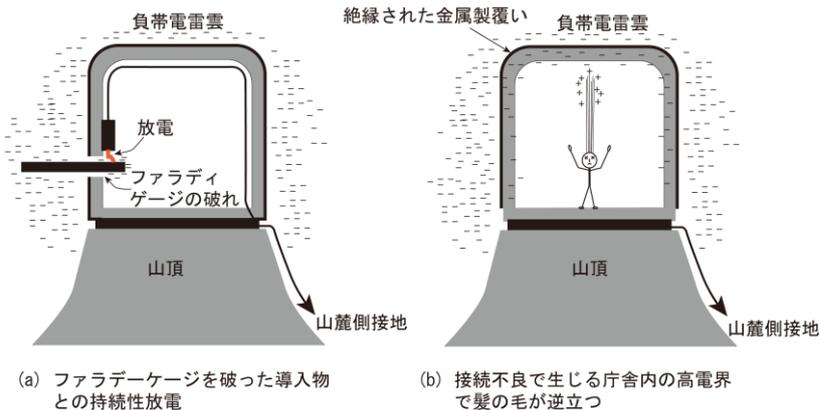


図6 富士山測候所内への雷雲電位の侵入の推測されるメカニズム

図7は接地線コネクターボックス内の放電の痕跡である。この原因は、4号庁舎外壁と2号庁舎基礎鉄骨に溶接接続した放流用導線と接地線コネクターボックスを固定し電氣的接続のある燃料タンク接続外壁との電氣的な接続が不良で、後者ボックスと電氣的接続がある部材(燃料タンク部分か)に落雷があり、それが接地線コネクターボックス内接地線に放電して生じた可能性が高い。

一般的な建物と同様に導電性部材の電氣的接続が意図されていなかったことに加えて、さらに極めて厳しい環境下に耐えられるように分厚い断熱材を使用しているため、屋根・壁等の表面部材や鉄骨との間に電氣的接続不良個所が存在しているものと推測される。

ファラデーケージの破れは、上記の部材間の接続不良によるものだけではなく、ケーブルや金属製配管等の導入個所でも生じている。ケーブルの電磁シールドや金属製配管等がファラデーケージになる金属製屋根・壁等の外表面と閉じた接続がされていない個所が多数ある。

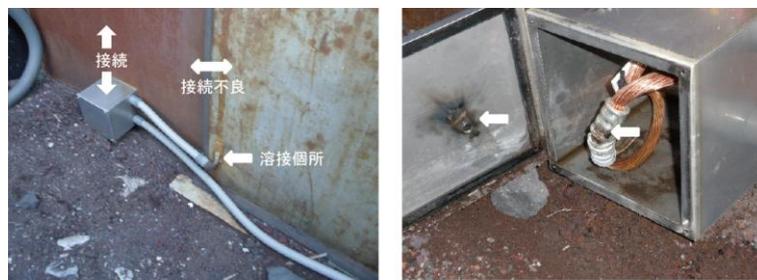


図7 金属外壁間接続が絶縁、あるいは接続不良による放電痕跡。コネクターボックスを固定している外壁に繋がる個所に落雷があったものと推測される。

2号庁舎鉄骨基礎と3号庁舎鉄骨基礎、また2号庁舎鉄骨基礎と1号庁舎鉄骨それぞれの間は接地線で接続されているが、線断面積が小さいため抵抗が十分小さくできないことと、多点での線接続でないため、庁舎間のインダクタンスが小さくできず、インピーダンスの観点から適切では無い。

4. 雷対策

4-1 基本的な雷対策方法

落雷電流は山麓側接地極に流れるが、現在の測候所の場合、図8(a)のように測候所の被雷電流だけでは無く、避雷針の被雷電流も独立の避雷導線で無いため、測候所内接地線にも流れるようになっているなど好ましくない。基本的な雷対策方法は、図8(b)のように避雷針や引き下げ接地線は専用の避雷導線で山麓側接地極に流すようにする。測候所の被雷電流は測候所内に侵入しないように、抵抗率の著しく小さな接地線を測候所周囲に配置し、導電性の屋根・壁から被雷電流を集めるようにして山麓側接地極に流すようにすることである。

測候所への落雷個所は、厳しい気象条件下、特に冬季の風雪下では測候所全体を保護下に置く避雷針を設けることが難しく、測候所全体になる。従って測候所のどこに落雷があっても測候所内には問題が生じないように測候所全体をファラデーケージに近づけて等電位化をはかる必要がある。この実現には以下の対策が求められる。

- (1) 避雷針のように誘雷を前提にするものの被雷頻度は高いと考えられ、被雷電流は測候所内を流さず専用の避雷導線を通して山麓側の統合接地極に流す。
- (2) 測候所周囲に低抵抗の接地線（以下、測候所周囲接地線）を配置し、測候所の屋根壁導電性部材と多点接地することで測候所全体を低インピーダンス化する。測候所被雷電流は屋根・壁から測候所周囲接地線に集めて山麓側の統合接地極に流す。
- (3) ファラデーケージの破れを無くし内部への侵入を防止する。
- (4) 外部使用ケーブルから雷サージ電圧を内部に侵入しないようにする。すでに測候所に考案した雷対策ケーブルを使用することで侵入しないようにすることができる。

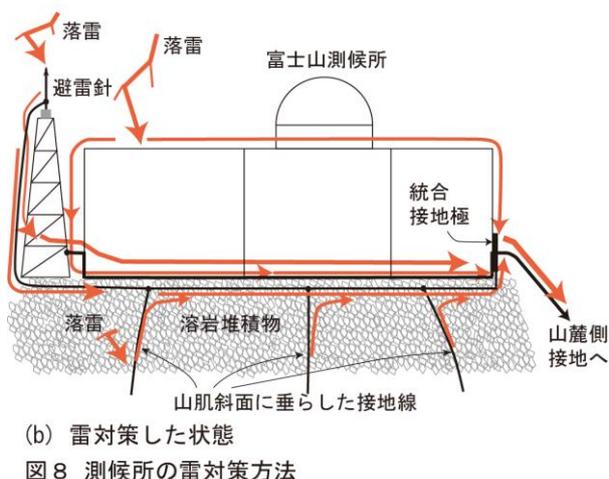
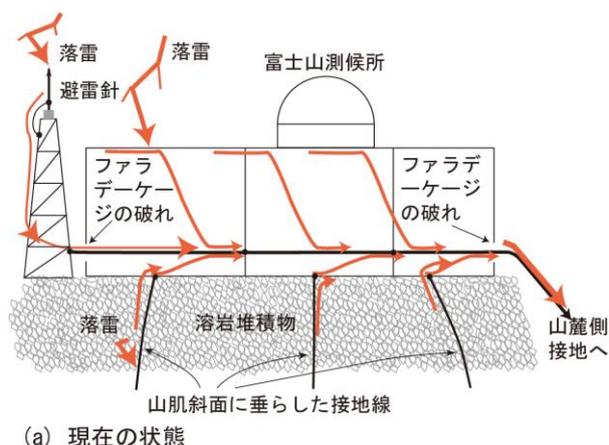


図8 測候所の雷対策方法

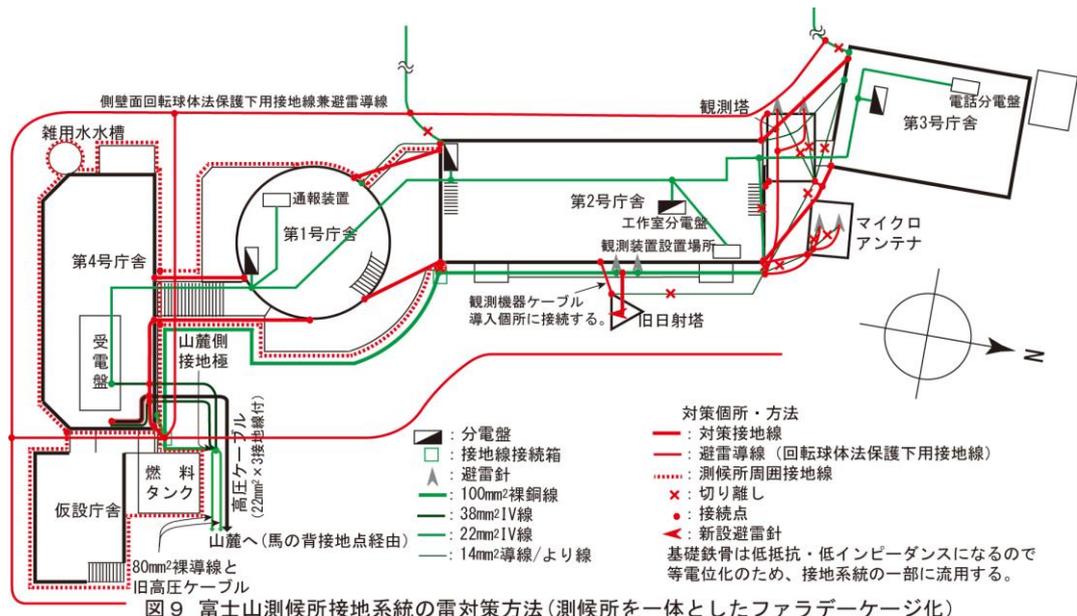
4-2 測候所を一体としたファラデーケージ化と雷保護

基本的な方法は一昨年の提案内容と変わらない。測候所周囲接地線を配置し外殻導電性部材と多点で接地することで測候所全体を低インピーダンス化することである。さらに、測候所への落雷電流の大半が、山麓側接地線に流れることを考慮して、この電流路になる測候所周囲接地線のインピーダンス電圧降下をできるだけ小さくすることである。

具体化には現状を考慮した対策が必要である。2号庁舎と3号庁舎は、鉄骨基礎は低インピーダンスであり、また外殻金属は鉄骨基礎に一体接続されたモノコック構造になっておりファラデーケージとしては理想的な構成である。従って両者には測候所周囲接地線は省略でき、両者間を外周部分を含む多点接続により接続を良好にし、3号庁舎南端外周部分は測候所周囲接地線に接続するだけで良い。他の1号、4号、および仮設の各庁舎は鉄骨部分の導電性は良好であるが、外表面部材との電気的な接続は必ずしも良好でない。測候所周囲接地線を配置し、それぞれの庁舎外表面部材と多点接続し、外表面部材に落雷した雷電流を接地線に集めるようにする必要がある。

落雷頻度が高い避雷針の被雷電流は、測候所周囲接地線に流すべきではなく、独立の避雷導線に流すようにすべきである。この避雷導線は測候所から山麓側接地極に測候所から一定間隔、一定高さで配線することで、また配線途中に該当しない部分については、別に配置することで、測候所側面に設置する観測機器類を回転球体法保護下に置くことができ、側方雷からの被雷を避けるものとして利用が可能になる。

図9が以上をまとめた対策になる。



4-3 ケーブル導入部の簡易破れ対策

導入部にはファラデーケーシング外表面部にケーブル電磁シールド部が電氣的に接続できるコネクターを介して手軽に着脱ができるようにする必要がある。共同利用のようにケーブル交換が頻繁な場合や既存ケーブルへの対策などファラデーケーシング外表面に専用のコネクターを固定して設けることが難しい場合、簡易に設ける方法もある。図10に示すように多線接続することで低インダクタンス低インピーダンスを実現できるインターフェースである。まずケーブル導入箇所周囲に周囲のファラデーケーシングと電氣的に接続できる線と大電流を流せる周囲接地線からの接続線を確保する。ケーブル等の導入箇所は図11のインターフェース器具によりケーブル接地線と接続できるシールドコネクターのインターフェースを使用する、あるいはそのまま内部までケーブルを導入せざるを得ない場合は分割型のリターン電磁シールドソケットを使用できるようにしてリターン電磁シールドで内部機器接地点と導入接地点とを接続することで等電位を確保できる構成にする方法である。この構成は木造建物のように非導電性部材が多用される建築物にも適用でき、例えば図12のようにケーブル導入部が対策しやすくなるだけでなく等電位化の確保もできる。今後、太陽電池が広く普及することを考えると、その被雷対策や雷サージ侵入対策にも適用できる方法である。

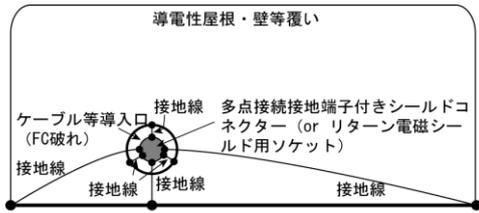


図10 ケーブル等導入口の多点接続によるファラデーケーシング (FC) 破れ対策

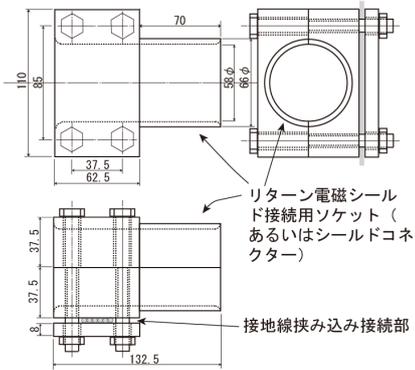


図11 ファラデーケーシング構成用リターン電磁シールド用コネクター(あるいはシールドコネクター)

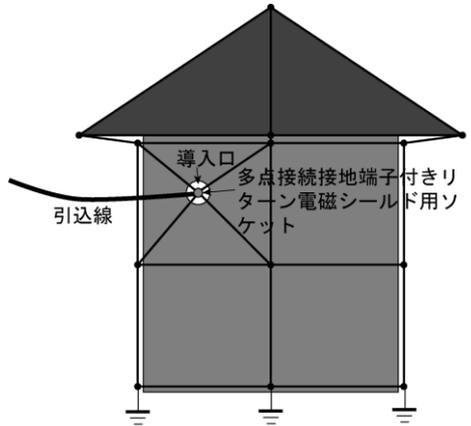


図12 木造建物へのファラデーケーシング近似方法
屋根は露出接地線、壁部の接地線は美観上埋込みでも可能である。

4-4 電源ラインへの対策

避雷器はただ入れれば良いというわけには行かない。接地系統に雷電流が流れ、それによって生じる電圧降下を考慮することが必要である。これを考慮しないと避雷器を入れたことでその個所での電源と接地線との異常電位を防止できても接地系統に生じた電圧降下を電源に侵入させることになり、他の電源使用機器の電源と接地間に異常電圧をもたらす。

電源ラインの電位は、電源が変圧器電源2次側でB種接地されているため、その共通接地端子の電位になっている。そのため接地線経路に雷電流が侵入し異常電圧を発生した場合、その侵入個所接地と電源との間に異常電圧を発生する。電源と接地線との間を避雷器で接続することは、両者に異常電圧を生じて小さくできる。従って、電源ラインに雷サージが侵入した場合、雷サージを接地側に逃がすことができる。しかし、接地線側から雷サージが侵入した場合、電源側に雷サージを侵入させることになる。測候所のように雷電流が流れる接地線経路に無視できないインピーダンス電圧降下が見込まれる場合、このようなことがあるため、電源は耐雷変圧器を介して使用し、二次側使用電源を避雷器で保護する必要がある。現状には適用しやすい方法であるが、対策漏れを生じる可能性がある。

別の方法として、電源線と対になる接地線は、電源線を被覆する構造にして同相インピーダンスを高める構成にすることで測候所内部の接地系統に侵入する雷サージ電圧と同じ電圧降下を電源線に生じさせるため、電源の電位分布は共通接地端子までの接地線電位分布と同様の電位分布に近くなり両者の電位差を小さくすることができる。この方法は測候所内配線を全面的に電磁シールドケーブルに交換する必要がある。費用の点等で全面的に適用することは難しいのではないかと考えている。

5. 雷電流測定の検討

5-1 山麓からのケーブル・接地線の活用はできないか

一昨年、富士山測候所の落雷対策調査で、富士山測候所には山麓から接地線と高圧電源が来ており、測候所接地抵抗値は山麓側接地抵抗値で決まっていることを知った。山麓から接地線で繋がる、富士山頂に富士山測候所という電極が存在していることになる。この接地線に流れる電流を観測することで何らかの検出手段に使えないだろうか検討してみた。可能性としては、三つ考えられる。先ず①富士山測候所の落雷電流の観測である。測候所の落雷頻度は高く、落雷モニターが可能になると、富士山頂の雷電流の特徴が分かる。次に②電離電流から富士山頂の電離状態の観測が出来ないか、最後に③連続的な地抵抗測定により異常の前兆現象を捉えられないか、の三つである。①は10MHz以上の広帯域測定が可能である必要がある。一方、②、③は周波数成分は低くても良いが高い検出感度が求められる。いずれも有用性はあるが、短期実現の可能性が高く、差し迫っている問題として、落雷電流測定に着目した。落雷実態が分かることで、雷対策に反映させ、また対策に弾みを付けることができる。次年度予備測定を可能にするため、検討準備をしている。

5-2 測候所落雷電流の測定方法

測候所の接地は、測候所での接地、および山麓側接地で構成されている。後者には、測候所と山麓を繋いで得ている山麓の接地、および山麓と繋ぐ接地線の途中途中で行われている接地がある。測候所の接地抵抗は、測候所が低い導電率の溶岩堆積物上にあるため、大きく、一方山麓側の接地は小さく、従って山麓側の接地抵抗値で決まっている。

このことから測候所の落雷電流の大半が山麓側に流れることになる。もし、測候所の接地と山麓側接地の等価回路の電気定数が決まり、その変化が無視できれば山麓側に流れる電流を測定することで測候所の落雷電流を知ることが可能になる。この実現は、図13に示す測定で可能になる。避雷針の被雷電流を知り、同時に山麓側接地に流れる電流を知ること、それぞれの接地回路の電気定数を決めることができ、山麓側接地線に流れる電流から測候所の落雷電流を知ることができる。

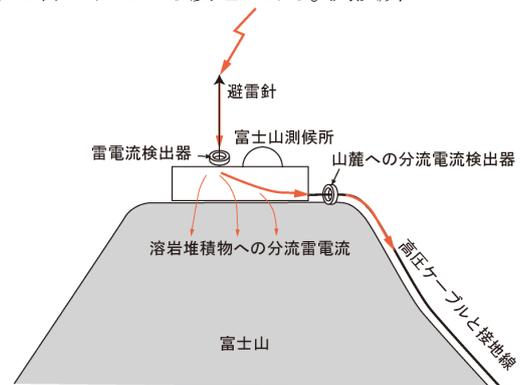


図13 山麓に分流した電流から落雷電流を知る方法

測候所の等価回路は図 14 に示す回路で表すことができると考えている。測候所の静電容量と抵抗値、および山麓接地極の抵抗値は気象条件、季節、および経年(以下、気象条件)によって変化し、また場所が測候所と山麓との違いによる気象条件変化もあると推測されるが、影響が十分小さいことが保証できる範囲の変化であれば、その条件は満たされ一定であると考えている。本検討ではその条件は成立すると仮定した。

山麓側に流れる全電流測定は、図 14(a)のように高压ケーブルと全接地線に流れる電流を測定する必要がある。しかし、次年度の具体化には接地線回路修正が困難な事情もあり、(a)の測定を間に合わせることは困難であるので(b)のようにケーブルのみに流れる電流測定という便宜的対応をとらざるを得ない。

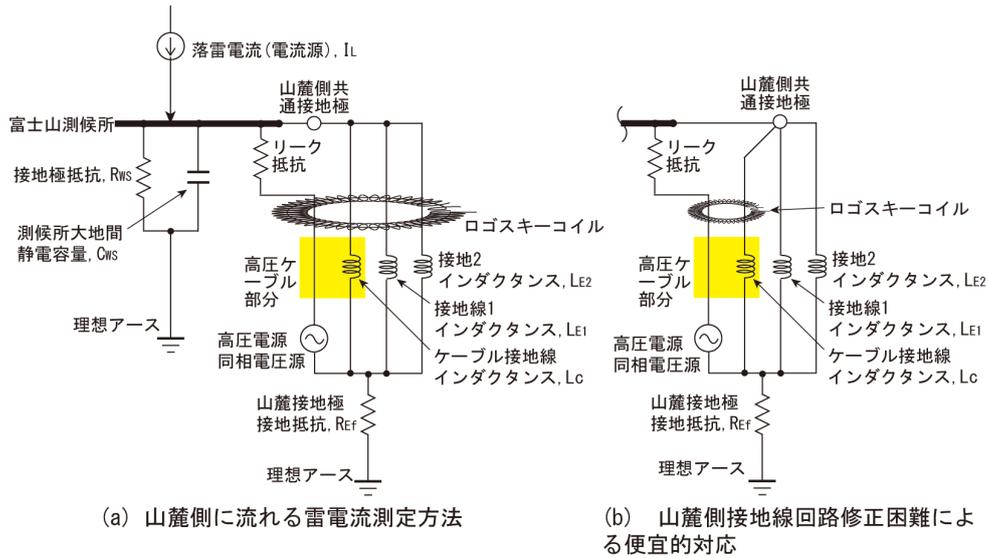


図14 富士山測候所落雷電流の等価回路と山麓側測定箇所

等価回路を決める同時測定のため、雷電流検出器は 2 箇所には設ける必要がある。一つは山麓からの接地線と高压電源線を挟み込んで磁路を構成し、接地線と高压電源線に流れる電流によって生じる磁路磁束をコイルで検出し、山麓側に分流して流れる雷電流を正確に測定するものである。もう一つは避雷針に落雷させ正確な落雷電流測定を可能にするもので前者の測定結果と併せて等価回路を決定するために用いるものである。前者については既設のケーブルに挟み込み適用できるものとして図 15 に示すロゴスキーコイルを用いた検出系を使用する予定である。

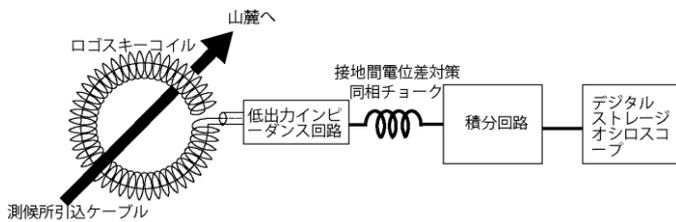


図 15 落雷電流の山麓側ケーブルへの分流電流測定系

後者については、前者と同じ検出器でも良いが、外乱の侵入し難い検出器として、図 16 に示す抵抗での電圧降下を求めるものを予定している。いずれも信号伝送路の接地間の電位差を吸収する共通モードチョークを使用することとインピーダンス整合をとることが必要である。

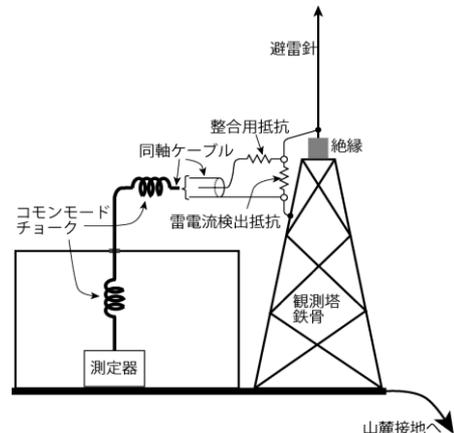


図 16 校正のための真の落雷電流測定方法

5-3 山麓側接地線とケーブルを流れる電流の特徴

5-3-1 山麓側接地線

山麓側接地線は、高圧ケーブル内接地線とケーブルに並行して埋設されている 80mm² 裸銅線と旧高圧ケーブル(接地線に転用)の3経路である。山麓から引込んでいる高圧ケーブルは、架橋ポリエチレン絶縁ポリエチレンシース1重鉄線外装ポリエチレン防食ケーブル(以下鉄線外装ケーブル)を使用して測候所内変電室に引き込まれている。ケーブルの接地線は 22mm² が3線、高圧線も3相で 22mm² が3線が配置されている。各高圧線には導電性の遮蔽層があり接地線と接触している。従って遮蔽層は積極的に接地端末処理をしていなくともケーブル接地線が測候所の接地と接続することで遮蔽層も測候所接地と接続することになる。ケーブルは鉄線外装が施されており、これは2つの対策、外力からの保護と落雷保護のためと推測される。これは片端接地になっており、測候所端末で絶縁されている。ケーブルの3接地線は引き込み端末で1つにまとめられてから、2つに分岐され、1つは鉄製ケーブル架台(絶縁されている)に接続され、もう1つはケーブルに抱かせて外部の山麓側接地極にもどしている。他の2経路も山麓側接地極に接続されている。変電室受電盤の共通接地端子は外部の山麓側接地極からとった接地線に接続されている。

使用している鉄線外装高圧ケーブルの同相成分に対するインダクタンスを知るため、1 m 長さの鉄線外装ケーブルを模擬してインダクタンスを測定し、図 17 の結果を得た。富士山測候所に引き込んでいる高圧電源経路は、責任分界点から 10903.2 m で、その内架空線が 3773.2 m、埋設ケーブル部分が 6760 m である。従って、高圧ケーブル全長のインダクタンスは、ケーブルを模擬測定して得たインダクタンス 350 nH/m (at 10 kHz) を採用することで、2.4 mH になる。

実際には山麓側の接地線は所々接地されていることを考慮する必要がある。その接地箇所では3系統の接地線が接続状態にあることを考慮すると、測候所から 295 m の位置にある最初の山麓側馬の背接地点以降山麓までを 1 つに、また測候所から馬の背接地点までの接地系統もまとめることができる。便宜的対応ではケーブル接地線は別になり、この区間のインダクタンスは 103 μH (at 10 kHz) になる。このことを考慮した山麓側接地系統の等価回路は図 18 になる。

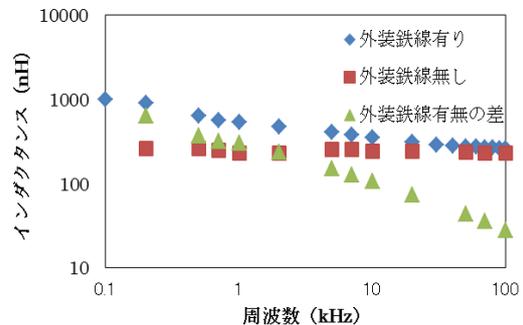


図17 模擬ケーブルインダクタンスの周波数特性

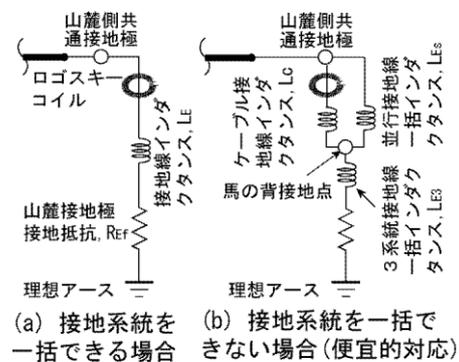


図18 山麓側接地系統等価回路

5-3-2 ケーブルを流れる電流

測候所の被雷電流は、測候所接地と山麓側接地に分流される。山麓側接地に分流された電流は、さらに高圧ケーブル内接地線とケーブルに並行して埋設されている 80mm² 裸銅線と旧高圧ケーブル(接地線に転用)の3経路に分流して山麓側に流れる。このうち高圧ケーブルを流れる避雷電流の一部は、通常、ケーブル内接地線に流れるが、高圧線と接地線間に異常電圧が生じる現象が生じたとき、接地線だけでは無く避雷器を通して高圧線にも流れることになる。また、測候所1次側高圧系統からの漏洩電流も高圧線に同相電流として流れる。この漏洩電流は高電圧電源線と接地線とをまとめて測定することで相殺でき、通常無視できるものになると考えている。落雷電流以外での測定に際しても商用周波数成分として現れるので 50Hz 狭帯域フィルターで抑制することが可能である。また、小さなものになるが、山麓側の落雷電流の一部が富士山測候所に逆流する電流も予想される。

落雷は、太平洋側では一般的に負極性であるが、正極性もあると考える必要がある。また、山麓側から負極性雷が逆流した場合は見かけ上は正極性になる。従って、落雷電流は、正負両極性の落雷電流の観測を可能にする必要がある。

測候所の電離電流は大気の電離電流密度と測候所表面積から最大で $0.1 \mu\text{A}$ が見込まれる。図6のように測候所が電離雲の中ではさらに大きな電離電流になることが推測される。それがケーブルに流れることになる。電流の周波数成分は抵抗依存域と考えられる。そのため、山麓側の接地線は三つの経路の抵抗値は小さく、決めることは困難なため、分流割合を決めることが難しく、一つにまとめて測定することが必要になる。

6. おわりに

以上をまとめると以下のようなことになる。

- (1) インダクタンス測定という新しい評価手法を取り入れて接地線の経路調査を行ない今までよりも正確な経路調査ができた。インダクタンス測定による評価手法の有効性を確認した。
- (2) 雷侵入電圧に関係する導入部接地線のインダクタンス評価を行った。
- (3) 接地システムをより明確にできた。
- (4) 測候所雷対策の実効的な具体的方法を提案できた。
 - ① 測候所を一体としたファラデーケーシング化の方法
 - ② ケーブル導入部のファラデーケーシング破れに対する簡易な対策方法
 - ③ 避雷針と引き下げ接地線専用の避雷導線の確保
- (5) 山麓からのケーブル・接地線を活用した雷電流測定方法を明らかにし、次年度測定を具体化するための提案を行った。

7. 謝辞

資料や情報提供等で調査にご協力頂いた西濱孝典・東京管区気象台技術専門官、NPO 法人富士山測候所を活用する会・岩崎洋および越生正文・山頂班長、山頂班の方々、および事務局員の方々、小志度前孝史・関電工静岡支店電力技術部公務チーム所長、忠地駿・農工大、池田敦・筑波大学、測定にご協力頂いた宮田雄作・日置電機ソリューション営業部販売企画課の各位に感謝する。

なお、この研究の一部は新技術振興渡辺記念会からの委託研究「富士山頂における東アジア越境オキシダント監視システム構築に関する研究」によっている。また、一部「郵便事業株式会社のカーボンオフセット年賀寄付金配分及び地球温暖化防止活動事業助成」を受けた。記して感謝申し上げる。

参考文献

- 電気学会：「電気工学ハンドブック 1967」，電気学会，p. 83 (1973)
- 北川信一郎、河崎善一郎、三浦和彦、道本光一郎(1996)大気電気学、東海大学出版会
- 電気・電子機器の雷保護検討委員会(委員長横山茂)：「電気・電子機器の雷保護」，電気設備学会(2011-8)
- 高橋健彦：「接地・等電位ボンディング設計の実務知識」，オーム社(2003)
- 安本勝，佐々木一哉，土器屋由紀子。(2010) 富士山測候所の雷対策調査と対策の提案。平成21年度富士山測候所利活用に関する成果報告会、14-19
- 安本勝，佐々木一哉，高橋浩之，中村安良，大胡田智寿，土器屋由紀子。(2011) 富士山測候所落雷対策のための雷サージ抑制効果評価実験。平成22年度富士山測候所利活用に関する成果報告会、26-33
- 安本勝，佐々木一哉，高橋浩之，中村安良，大胡田智寿，土器屋由紀子。(2011) 富士山測候所のための落雷対策方法の評価。平成23年度電気学会基礎・材料・共通部門大会，VIII-1, 200-205(2011年9月)。
- 安本勝。(2000)ケーブルに柔構造接地システムを適用する場合の考慮点。第9回東大原子力研究総合センター技術発表会技術報告、36-43

*連絡先:安本勝(Masaru YASUMOTO)、Yasumoto@n.t.u-tokyo.ac.jp