

変電所接地装置健全性 確認試験器の開発



吉田 匡志**



出野 市郎*

直流変電所火災などのトラブル拡大原因のひとつとして、接地装置の誤接続がある。このため、接地装置の健全性を確認できる装置の開発ニーズが高まってきている。接地装置のメンテナンスは、通常、接地抵抗の測定値で良否を判定していたが、誤接続していないかという健全性までは確認できなかった。また、直流帰線ケーブルの絶縁劣化については、劣化傾向を把握する手段がなかった。

そこで、接地装置の健全性確認手法を検討し、現地にて容易に使用できる可搬型の簡易試験器を開発した。開発にあたって、①各接地装置間の接地抵抗値は 5Ω 以下であれば導通していないこと、②各接地装置を相互に活用すれば3電極法にて接地抵抗測定が可能であること、③レール対地電圧と機器接地電圧とその変動の相関から帰線ケーブルの劣化を判断できることを確認した。それらの原理を用いた試験器について、フィールドにて機能確認試験を実施し、有効性を確認した。

●キーワード：機器接地、遠制接地、基準接地、レール電位、接地抵抗測定、導通測定

1. はじめに

当社の首都圏の直流変電所には、図1に示すように機器接地、遠制接地、基準接地と3種類の接地装置を設置している。それらの接地装置が誤って相互に接続されていると絶縁協調が損なわれ、事故の拡大につながるおそれがある。また、変電所の帰線ケーブルが劣化してくると接地装置に不具合を及ぼす。そこで、接地装置や帰線ケーブルの健全性を確認できる簡易試験器が求められていた。

ここでは、接地装置健全性確認試験器の開発に至るまでの検討、および開発した製品での試験結果について紹介する。

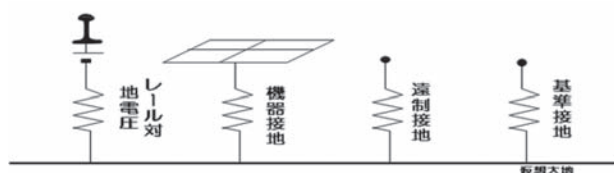


図1 首都圏の変電所の接地装置

2. 変電所接地装置のトラブル事例

2.1 接地装置誤接続によるトラブル

A変電所において、直流1,500Vの地絡が発生したとき、故障情報が電力指令へ伝わらないという事象が発生した。その後の調査で、図2に示すように遠制接地と機器接地が誤って接続されていたため、地絡時に弱電回路と強電回路との絶縁協調を図る保安器が機能しなかったばかりか、保安器内の避雷器や通信ケーブルが焼損した。

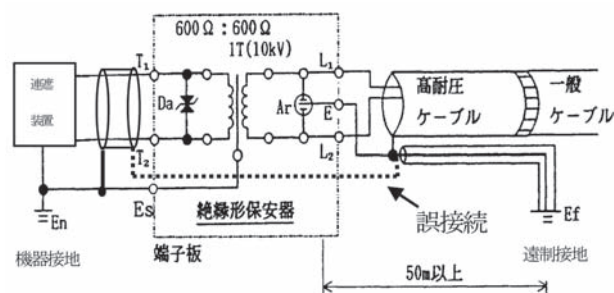


図2 A変電所における誤接続の状況

2.2 直流高圧接地継電器の誤動作によるトラブル

B直流変電所の運転を休止し、き電区分所状態で運用していたところ、付近を貨物列車が通過したときに、直流高圧接地継電器（以下64PB）のB（構内地絡を検出）の要素で、き電がトリップする事象があった。その後の調査により、原因は帰線ケーブルの劣化であることが判明した。

当社では、1998年5月と12月に京葉線C変電所と隣接するD変電所の直流高圧接地継電器64P（当時は構内、構外判定機能が付加されていない）が同時動作する事象が発生した。その不要動作原因は、アルミ風船がき電線とトンネル構造物間に介在した変電所構外での地絡事故であったことから、図3に示すとおり、基準接地を設け、構内と構外を判定する機能を付加した構内・構外判定機能付直流接地継電器（64PB）を首都圏に導入している。¹⁾

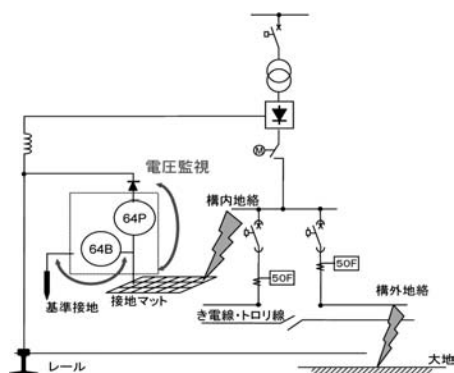


図3 構内・構外判定機能付直流接地継電器 (64PB)

直流高圧接地継電器の誤動作原因を調査するため、図4に示すB変電所の機器配置平面図の(ア)に示す位置に鉄電極を打設し、帰線との電位差(レール対地電圧)を高感度記録式電圧計で記録した。

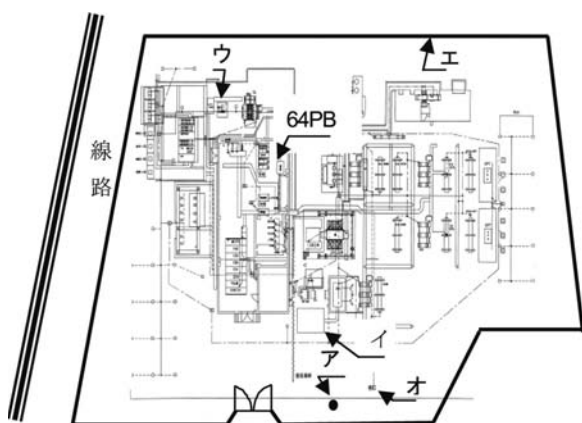


図4 B変電所機器配置平面図

その結果、機器接地装置に接続されているすべての電気設備の対地電位が図5に示すようにレール対地電圧と同じ電位変動を示した。このことは、図6に示すように帰線と機器接地装置が電氣的に接続状態にあることを示している。すなわち、直埋状態にある絶縁電線を用いた帰線ケーブルの劣化により、導通状態になっていたということである。

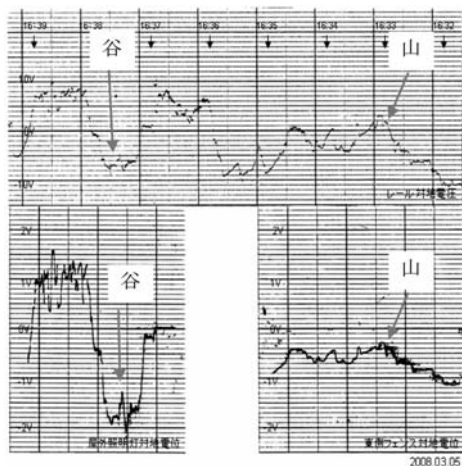


図5 原因調査時の測定チャート例

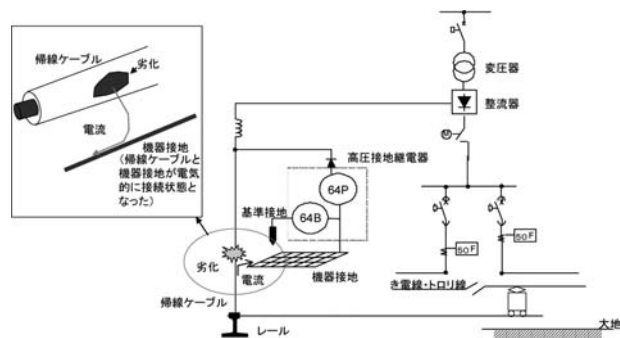


図6 トラブル発生原因

3. 従来の保全方法と課題

接地装置は、絶縁協調を図るうえで各々が独立している必要がある。また、当社では、機器接地は 5Ω 以下、遠利接地は 20Ω 以下、基準接地は 100Ω 以下という基準値で管理している。従来の保全方法は、図7に示すとおり、仮設電極を2本打設し、3電極法で接地抵抗測定を行い、基準値以内であれば「良」と判定していた。

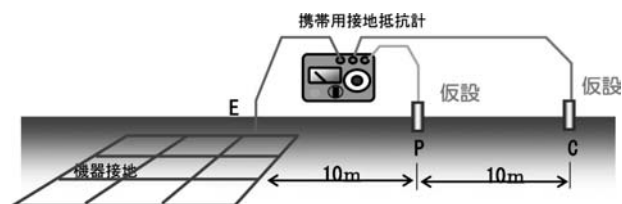


図7 従来の接地抵抗測定例 (3電極法)

ただし、①接地線の改良時にはブザーチェックによる導通試験であったため、各接地装置が接続状態にあっても、判定できない、②帰線ケーブルは劣化の判定が難しく、経年のみで判断して取替を実施している、という課題があった。

4. 開発した試験器

上記の課題を解決するための開発を行った。

4.1 開発のコンセプト

開発する装置は、仮設電極を打設せず接地抵抗測定と導通確認ができ、かつ、レール対地電圧と機器接地電圧を装置内で比較しその相関関係から帰線ケーブルの劣化を判断できるものとした。

4.2 開発品の概要と使用方法

開発した試験器の外形を図8に示す。この試験器を図9に示すように変電所の各接地装置に接続し、その後ボタン一つ押すだけで、自動的に接地装置の健全性を判定する。



図8 開発した変電所接地装置健全性確認試験器

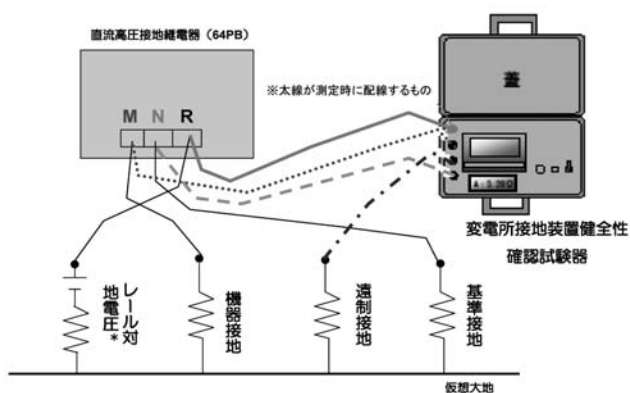


図9 測定配線図 (64PBに接続した場合)

4.2.1 導通測定

導通測定としては、機器接地、遠制接地と基準接地（または仮設電極）間の状態をチェックするものである。判定条件は、各端子間抵抗の導通有無の境界条件より、 5Ω 以上である場合は「導通あり」、 5Ω 未満の場合は「導通なし」で表示する。

導通測定：		
機器接地	— 遠制接地	： 導通なし
機器接地	— 基準接地	： 導通あり
遠制接地	— 基準接地	： 導通なし

図10 導通試験測定結果例

4.2.2 接地抵抗測定

各接地装置を相互に利用し3電極法により各々の接地装置の単独抵抗値を測定する。接地抵抗測定は、図11のように高調波や周囲の電波ノイズの影響を受けるため、同期整流法を用いて演算する回路とした。同期整流法とは、サイン波で入力された波形を図12のように方形波に変換し、ノイズを除去して出力するものである。

判定条件は各接地装置の抵抗値が先に述べた基準値と比較して、図13に示すように基準値以内である場合は「○」、基準値をはずれている場合は「×」を表示する。

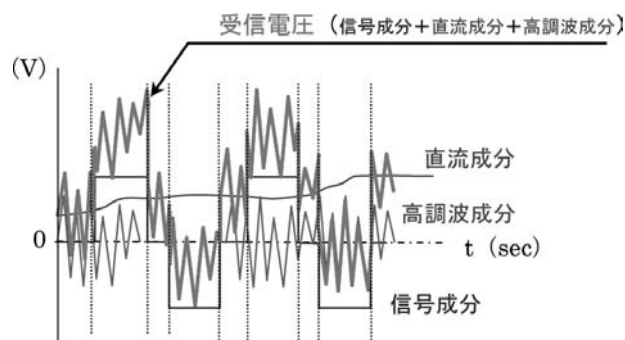


図11 ノイズを受けた入力波形

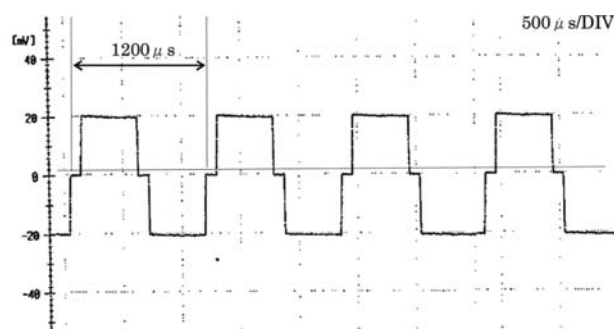


図12 同期整流後の出力波形

接地抵抗測定：		接地極判定
機器接地	： 6.01 Ω	×
遠制接地	： 1.06 Ω	○
基準接地	： 50.27 Ω	○

図13 接地抵抗測定結果例

4.2.3 対地電圧測定

接地装置の状態や帰線ケーブルの劣化は、基準接地を基準として、レール対地電圧と機器接地対地電圧を同時測定し、その相関から判定するものである。図14に示すように、正相関（レール対地電圧がプラスに振れたとき、機器接地対地電圧もプラスに振れる関係）、逆相関（レール対地電圧がプラスに振れたとき、機器接地対地電圧がマイナスに振れる関係）、および機器接地対地電圧の変動幅が $0.5V$ 以上の場合、電食調査「要」と表示する。 $0.5V$ 未満の場合や相関が見られない場合は、電食調査「不要」と表示する。

機器接地対地電圧測定：			
最大値	： 5.32V	最小値	： -1.52V
相関関係	： 正相関		
電食調査	： 要		

図14 対地電圧測定結果例

5. フィールド試験結果

開発品を用いて、2ヶ所の変電所で測定を行った。その結果の一例を以下に示す。

5.1 正常な変電所の試験結果

E変電所において、開発品を用いたときのレール対地電圧と機器接地対地電圧を図15に示す。レール対地電圧が変動していても機器接地対地電圧は370mV程度で一定を示し、機能は正常であること確認した。

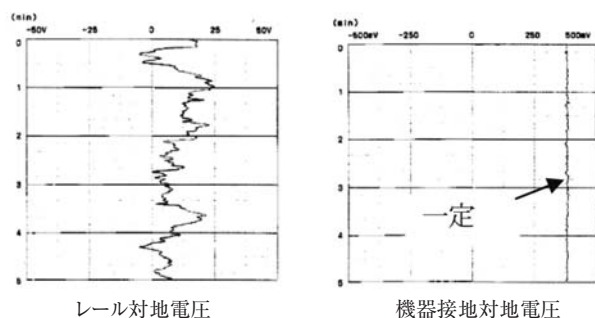


図15 正常な変電所

5.2 不具合があると思われる変電所の試験結果

不具合があると思われるB変電所にて機能確認試験を実施した。

5.2.1 接地抵抗測定の結果

接地抵抗測定結果を表1に示す。従来の簡易型接地抵抗計での測定とほぼ同等の結果を得ることができ、機能が正常であることを確認した。

表1 接地抵抗測定結果

	簡易型接地抵抗計(Ω)	開発品(Ω)
機器接地	1.30	1.54
遠隔接地	10.0	13.02
基準接地	18.5	19.29

5.2.2 対地電圧測定の結果

B変電所におけるレール対地電圧の測定結果を図16に示す。先述した図5と同様にレール対地電圧と機器接地対地電圧が正相関を示した。その後の試掘調査の結果、帰線ケーブルが劣化していたことがわかり、装置の機能が正常であること確認した。

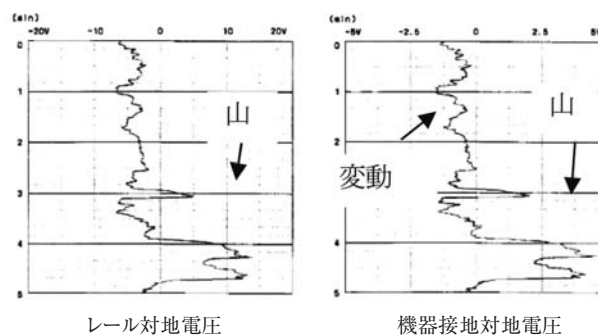


図16 不具合がある変電所

6. おわりに

変電所設備のメンテナンスで盲点となりがちな接地装置について、その健全性を容易に確認する試験器を開発し、フィールド試験でその有効性を確認した。今後、この試験器を活用することで、より信頼性の高い鉄道輸送を実現していきたい。

参考文献

- 1) 出野市郎：直流き電回路保護方式等の研究、(地絡故障の変電所構内・構外判定法) 研究開発テーマ報告、NoR51802 (1991年3月)、鉄道総合技術研究所
- 2) 出野市郎、井上一：「電鉄用変電所における制御伝送系の絶縁協調について」、交通・電気鉄道研究会、TER-91-15、pp51-59、1991.5