

交流き電回路用故障点標定装置の開発

電力技術研究部 き電

主任研究員 安喰浩司

1. はじめに

交流き電回路では、電車線路における地絡故障および短絡故障箇所を特定するために、故障点標定装置により故障点を標定している。しかし現在使用されている故障点標定装置による標定値の誤差は 1km 程度であることから、故障点の探索と復旧に時間を要することがある。そのため故障点標定装置の標定精度向上が求められている。一般送電線では短絡・地絡故障時に電線路に発生し伝搬するサージ電圧を、故障点を挟む 2 箇所の電気所（変電所等）で検知し、検知した時間差から高精度で故障点を標定する手法が開発され、ケーブルを使用している回線に適用されている例がある⁽¹⁾。そこでき電回路における故障点標定装置の標定精度向上を目標として、故障時にトロリ線等の電線路に発生するサージ電圧を利用する故障点標定装置（サージ検知形ロケータ）の検討を行い、人工故障試験等により平均標定誤差が 30m～40m、最大標定誤差が 100m 程度となることを確認した。それらについて報告する。

2. サージ検知形ロケータの原理

交流電車線路における地絡故障は BT き電回路および AT き電回路とも、せん絡導線、保安器、および S 状ホーンにより短絡故障に移行する⁽²⁾。このため、地絡故障においても短絡故障と同様に故障点のトロリ線電圧には急峻な電位変化が生じ、サージ（進行波）として故障点を挟む両変電ポストへ伝搬していく。サージ検知形ロケータでは両変電ポストに、それぞれサージ電圧を検出する装置を置き、サージ電圧の両変電ポストへの到達時間差から故障点を標定する。図 1 に標定原理を示す。サージ検知形ロケータをき電回路に適用する利点の一つは、サージは電線路の最短経路を伝搬するため、距離とサージの伝搬時間の比例関係が崩れにくいという点である。反面、これまでにサージ検知形ロケータの適用実績のあるケーブル回線と異なり、き電回路には吸上変圧器等の機器が線路の途中に点在するため、サージの反射や減衰に注意する必要がある。

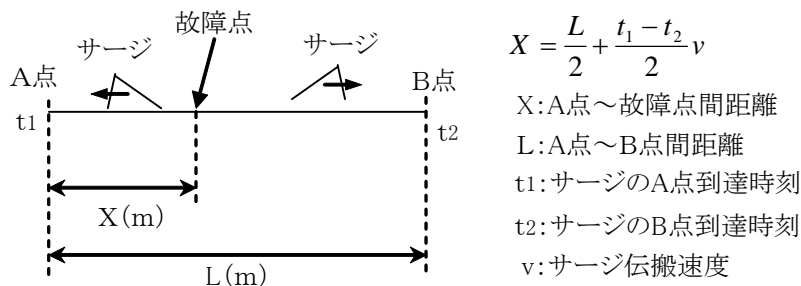


図 1 サージ検知形ロケータの原理

3. 電車線地絡時のサージ現象

3.1 サージ電圧波形

き電回路で地絡故障または短絡故障が生じたときに発生するサージ電圧波形は、これまでに測定されたことがない。サージ検知形ロケータを検討するにあたり、実際のサージ電圧波形の把握は基本的要素の一つであるので、き電回路で人工故障試験を実施し故障点で発生するサージ電圧波形の測定を行った。図2に人工故障試験回路を示す。試験はBT区間で実施し故障点

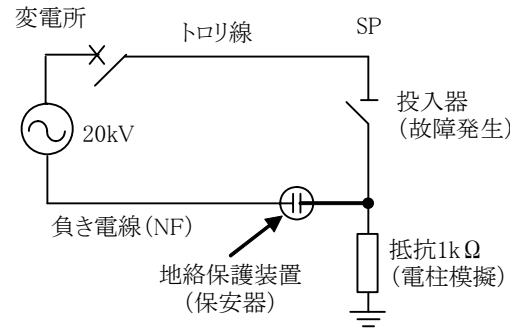
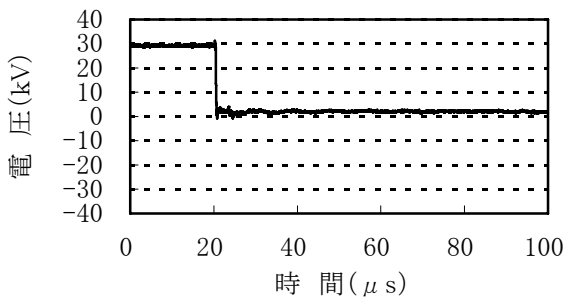


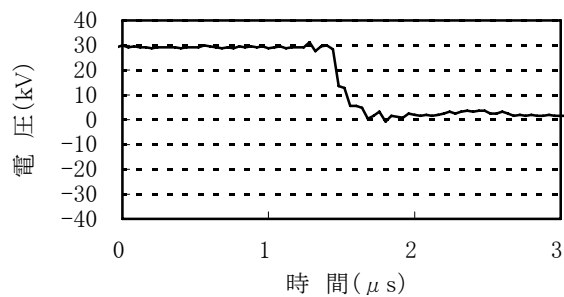
図2 人工故障試験回路

故障回路はコンクリート柱への地絡模擬として $1k\Omega$

の抵抗を介する地絡故障とした。また実際の地絡故障は鳥や飛来物の接触で起きることが多く、その際の故障時の放電は交流電圧波形の波高値付近で発生すると推測される。今回の試験ではそれを模擬するため、故障点で用いた故障発生用の投入器の電極が閉じる速度を遅くし、交流電圧の波高値付近で放電して故障が発生するようにした。故障点のサージ電圧波形(対地)を図3に、交流電圧波形(トロリ線~NF間)を図4に示す。これらの波形を見ると、トロリ線電圧は交流電圧波高値付近で放電し、波高値から急峻にほぼ $0V$ に変化しており、波高値から約 $0V$ に変化するのに要した時間は $0.24\mu s$ であった。したがってこの急峻な電位変化がサージ(進行波)として変電所およびSPに伝搬すると考えられる⁽³⁾。



(a) サージ波形全体



(b) 時間軸拡大

図3 故障点のサージ電圧波形(トロリ線~大地)

3.2 サージ伝搬速度

サージ検知形ロケータの標定精度は、サージ伝搬速度に影響される。そこで実態に合った伝搬速度を人工故障試験によるサージ電圧の到達時刻から求めた。試験はBT区間の変電所~SP間(約19km)で行い、変電所とSPにおいてサージ到達時刻を測定し、変電所~SP間の距離を変電所とSPのサージ到達時間差(伝搬時間)で割ることによりサージ伝搬速度を求めた。試験は9回行い、その平均値のサージ伝搬速度は $263.8m/\mu s$ となった。

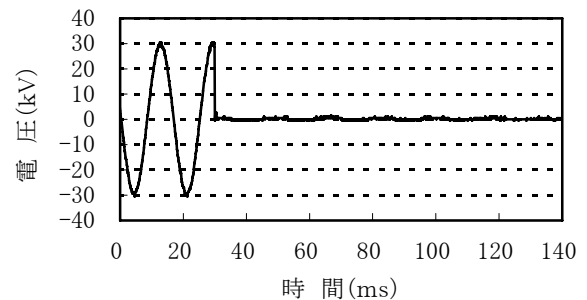


図4 故障点の交流電圧波形(トロリ線~NF間)

4. 試作サージ検知形ロケータ

サージ電圧検知による故障点標定方式の精度等を検証するため、本方式に基づくサージ検知形ロケータを試作した。図 5 にサージ検知形ロケータのシステムを示す。図 5 はサージ電圧検知に PT を用いた場合の例である。本システムでは、変電所と SP に設置した波形処理装置によりサージ到達時刻を検知し、その到達時間差から故障点を標定する。今回試作したのは波形処理装置である。試作したサージ検知形ロケータの外観を図 6 に示す。試作器の分解能は 12 ビット、サンプリング周波数は 10MHz である。なお試作器はサージ到達時刻の自動判別およびデータ転送機能は備えていない。

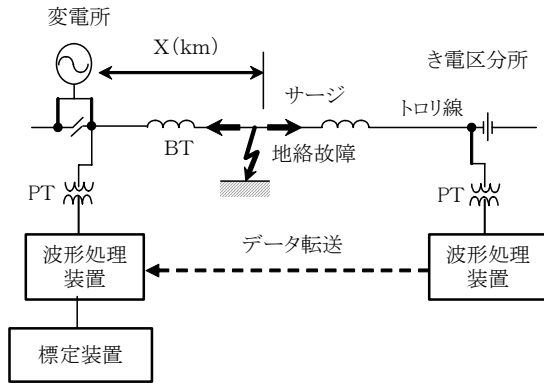


図 5 サージ検知形ロケータシステム



図 6 試作サージ検知形ロケータ(波形処理部)

5. 標定試験

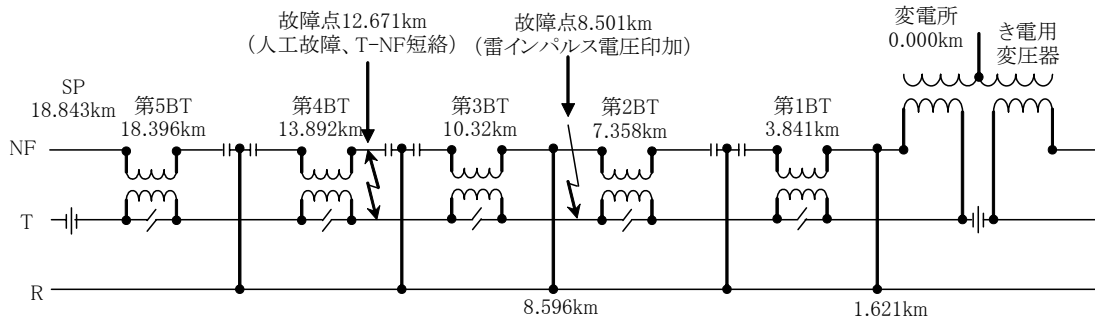
故障点の位置を図 7 に示す。試験は故障点におけるサージ電圧の模擬として約 20 kV の雷インパルス電圧を印加する方法と、人工故障による方法で実施した。

5.1 雷インパルス電圧印加による標定試験結果

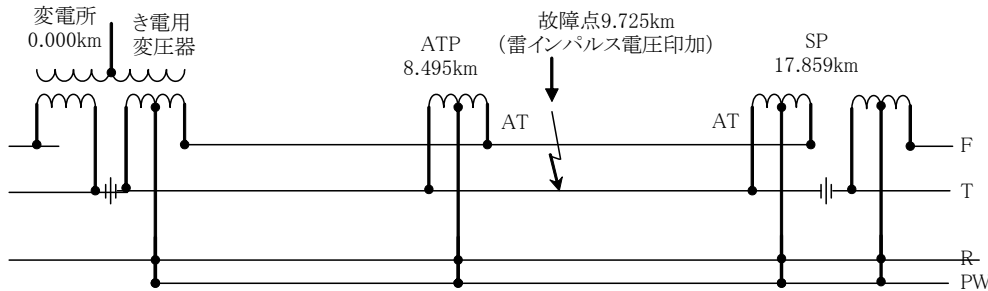
試験は BT 区間および AT 区間で行った。故障点では雷インパルス発生器により、約 20kV の雷インパルス電圧をトロリ線と大地間に印加した。変電所および SP に設置した試作ロケータで伝搬してきたサージを検知し、その到達時間差から故障点を標定した。サージ電圧検知要素は T 相電圧と PT 二次側電圧で、T 相電圧検知には周波数特性に優れた抵抗分圧器をセンサとして用い、PT 二次側電圧は直接試作ロケータに入力した。試験は BT 区間および AT 区間とも 14 回行った。T 相電圧検知による標定値と PT 二次側電圧検知による標定値に大きな差はなかった。PT 二次側電圧検知による標定誤差最大値は 122m で、誤差平均値は BT 区間で 30m、AT 区間で 41 mであった (表 1)。

5.2 人工故障試験による標定結果

BT 区間において電車線路でトロリ線と NF を短絡させる人工故障試験を実施し、標定値を求めた。故障点は図 7(a)に示した地点である。試作ロケータによる検知波形例を図 8 に、標定結果を表 2 に示す。試験は 4 回実施した。T 相電圧検知よりも PT 二次側電圧検知による標定値の方がやや誤差が大きい結果となったが、最大誤差は 110m であり雷インパルス電圧印加による標定値と同程度の誤差範囲であった。



(a) BT 区間



(b) AT 区間

図7 標定試験の故障点位置

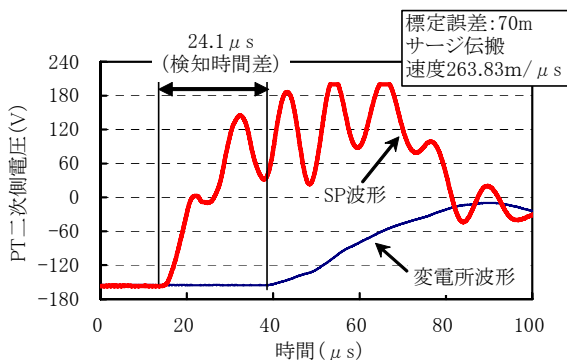


図8 ロケータ検知波形 (人工故障試験)

表1 標定誤差(雷インパルス電圧による標定結果)

	BT区間		AT区間	
	T相電圧検知	PT二次電圧検知	T相電圧検知	PT二次電圧検知
最大誤差	130m	122m	130m	99m
最小誤差	12m	3m	2m	7m
平均誤差	37m	30m	46m	41m

BT区間: 標定対象区間長18.843km、変電所～故障点距離8.501

AT区間: 標定対象区間長17.859km、変電所～故障点距離9.725

表2 標定誤差(人工故障による標定結果、BT区間)

	T相電圧検知	PT二次電圧検知
最大誤差	119m	110m
最小誤差	26m	70m
平均誤差	44m	87m

標定対象区間長18.843km

変電所～故障点距離12.671km

6. あとがき

本試験の結果、BT 区間および AT 区間とも平均誤差が 30m～40m、最大誤差が 100m 程度の標定精度が期待できると考えられる。今後は自動標定機能等の実用化に必要な技術を確認する予定である。

【参考文献】

- (1) 「超高压電力ケーブル用故障点標定システム」、フジクラ技報、第 99 号、2000 年 10 月
- (2) 安喰、森本、下川、酒井、佐々木、佐藤：「S 状ホーン補助ギャップによる交流電車線路地絡保護の信頼性向上」、電気学会論文誌 D、Vol.129. No.10、2009 年 10 月
- (3) 安喰、兎束、森本、森田、姫野、阿武、伊藤田、箕輪、内沼、徐、牧村：「交流電車線路人工故障によるサージ検知形ロケータの標定試験」、平成 21 年電気学会産業応用部門大会、No.3-33、2009 年 9 月