

XTAP 例題集		番 号	SLS-01A~W
例題名	標準変電所モデルの雷サージ解析		
分 野	発変電所の雷サージ解析，過電圧解析		
文 献	電力中央研究所 研究報告 H20014 「発変電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド（2021 年改訂版）」		
概 要	<p>送電線や発変電所機器の絶縁設計を行う上で，雷過電圧に対する耐雷設計は重要なファクタの一つとなっている。変電所の場合，雷過電圧に対する絶縁設計，すなわち，耐雷設計では，侵入する雷サージによって発生する雷過電圧を解析し，その過電圧に耐えるように避雷器の配置や機器の絶縁レベル LIWV（雷インパルス耐電圧試験電圧値：Lightning Impulse Withstand Voltage）を決定する。</p> <p>本例題では，「発変電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド（2021 年改訂版）」（以下，耐雷設計ガイド）記載の標準雷過電圧解析モデルを用いて，変電所に発生する雷過電圧を計算する。変電所の耐雷設計では，実用的な範囲で十分に過酷な雷撃として，変電所の第 1 鉄塔（変電所から見て，最初の鉄塔）に雷撃があった場合に，逆フラッシュオーバにより雷サージが電力線に侵入し，この雷サージによって変電所各部に発生する過電圧を計算する。標準雷過電圧解析モデルは公称電圧，母線絶縁方式等が異なる 23 変電所のモデルがあり，耐雷設計ガイドの回路記号 A~W に対応して，例題ファイル SLS-01A.xsf~SLS-01W.xsf として提供する。また，標準雷過電圧解析モデルの各要素については，部品カテゴリウインド「80 発変電所耐雷設計」として提供する。なお，各部品の定数は，標準雷過電圧解析モデルの入力値であるため，実際の変電所の雷サージ解析に使用する場合は，耐雷設計ガイドを参考の上，適宜，パラメータの修正が必要である。</p> <p>ここでは，500 kV 三相一括ガス絶縁変電所（回路記号 B）を代表例として，第 1 鉄塔雷撃時のサージ伝搬様相を計算する。</p>		

解析回路・解析条件

本例題では、変電所の第 1 鉄塔（変電所から見て最初の鉄塔）に雷撃があった場合に、逆フラッシュオーバにより雷サージが電力線に侵入し、これが伝搬して変電所内で発生する雷過電圧を計算する。具体的には、文献欄に記した耐雷設計ガイドの標準雷過電圧解析モデルの回路記号 B を例にとって説明を行う。図 1 に変電所の雷サージ伝搬の概念図を示す。以降、この図に沿って、雷撃電流が主変圧器に至るまでの現象を概説する。

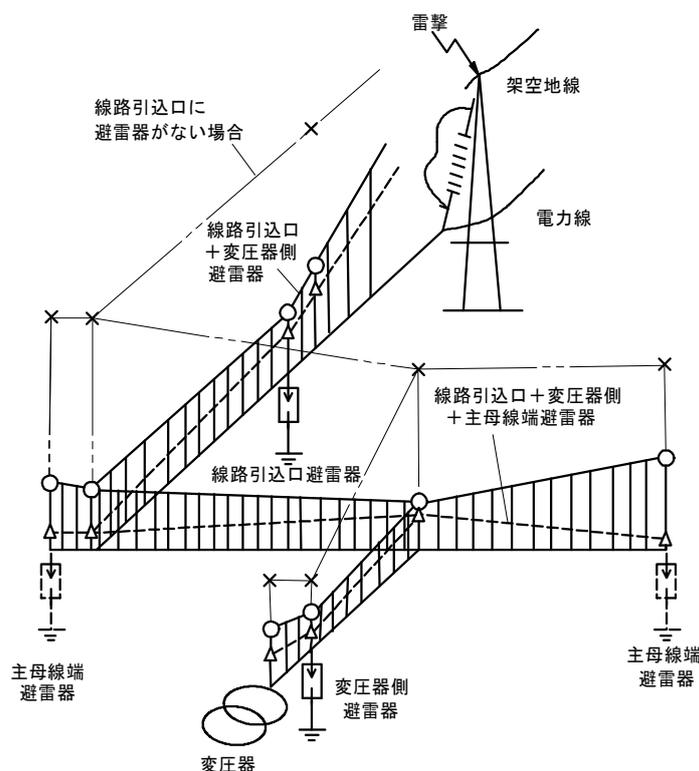


図 1 変電所の雷サージ伝搬の概念図

【逆フラッシュオーバ現象】

鉄塔に雷撃があると、鉄塔自身が有するインピーダンス（鉄塔のサージインピーダンスと呼ぶ）と塔脚接地インピーダンスにより鉄塔塔体の電位が上昇し、電力線の電位よりも高くなる。アークホーン間に大きな電圧が加わると、リーダと呼ばれる放電路が形成される。このリーダが進展し、アークホーン間を短絡すると絶縁破壊に至る。この現象を、フラッシュオーバと呼び、雷サージが電力線に侵入する。本来、高電圧側の電力線よりも接地側のアームの電位が高くなることでフラッシュオーバが生じるため、これを「逆」フラッシュオーバと呼ぶ。なお、架空地線にも雷サージが分流することにより、鉄塔に流入する雷サージが小さくなり鉄塔電位上昇が抑制される

とともに、架空地線に分流した雷サージの電磁誘導により電力線の電位が上昇することで、ホーン間電圧は小さくなる。また、第 1 鉄塔塔頂から変電所側の架空地線に分流した雷サージは、変電所入口の引留め鉄構で負反射し、その負反射によっても鉄塔の電位上昇は抑制させる。

雷サージ解析では、逆フラッシュオーバを模擬するために、アークホーン間電圧を精度良く計算するために、鉄塔は実測結果との対比をベースに作成された 4 段鉄塔モデルにより模擬する。接地抵抗は、過渡的な変化を模擬せず、過酷側の評価となる 10Ω の抵抗で模擬する。送電線は、第 1 鉄塔から第 5 鉄塔までの 4 径間の架空地線と電力線を多相の周波数依存線路モデルで模擬する。第 5 鉄塔より遠方は、送電線の特性インピーダンス（サージインピーダンス）に等しい多相抵抗でマッチング（整合）することにより、線路が無限に続いている状況を模擬する。この場合、第 5 鉄塔以遠にある鉄塔の影響は無視することになるが、第 5 鉄塔以遠の鉄塔での反射波は計算時間内に変電所に到達することはないため、無視しても解析結果に影響はない。また、マッチングのための多相抵抗を介して 3 相電圧源を接続することで、系統電圧を模擬する。この系統電圧は、上相ホーン間電圧に影響を与えるため、フラッシュオーバにも影響を与える。フラッシュオーバ現象は、ホーン間にインダクタンスとスイッチの組み合わせた回路によって、リーダの進展を考慮することができるリーダ進展モデルで模擬する。

【変電所でのサージ伝搬】

逆フラッシュオーバにより電力線に侵入した雷サージは、引込線を介して変電所に伝搬する。変電所内では、母線に避雷器、遮断器、計器用変圧器、計器用変流器、ブッシング等が接続されており、母線を伝搬する進行波はこれら機器のインピーダンスの影響を受けながら最終的に主変圧器に到達する。避雷器接続点では制限電圧以上となる雷サージ電圧が負反射し、母線の終端部では正反射する。また、計器用変圧器、計器用変流器、ブッシングなどでは静電容量により波形の急峻な部分のみが負反射するなど母線上で複雑な往復反射が生じる。

母線は一定定数線路モデルで模擬し、三相一括 GIS 母線の場合には相間の結合も考慮した 3 相線路、相分離 GIS 母線や気中母線の場合は、単相線路で模擬する。避雷器はその電圧-電流特性 ($V-I$ 特性) を有する非線形抵抗で模擬する。計器用変圧器、計器用変流器、ブッシング、主変圧器はその静電容量をキャパシタンスで模擬する。通常、変圧器はインダクタンスであるという印象を持つことが多いが、雷サージ解析のようにマイクロ秒オーダの解析を行う場合には、インダクタンスのインピーダンスである ωL が極めて大きな値となり、これに対して、対地間や相間の浮遊静電容量（キャパシタンス）のインピーダンスである $1/\omega C$ が比較的小さい値となるため、静電容量が支配的な要素となる。なお、このキャパシタンスをサージ侵入容量と呼ぶ。遮断器は、閉の状態であれば母線（GCB の場合は、GIS 母線）として取り扱い、開の状態であればその極間や対地間の浮遊静電容量をキャパシタンスで模擬する。引留め鉄鋼も分布定数線路として模擬する。

【モデルの詳細】

モデルの詳細については耐雷設計ガイドを参照されたい。

【解析条件】

解析条件は以下の通りとする。

- ・ 計算時間刻み 1.0 ns
- ・ 計算終了時間 10.0 μ s
- ・ 表示開始時間 0.0 μ s
- ・ 表示終了時間 10.0 μ s

【XTAP 入力例】

本例題を XTAP 上に作成した例を図 2 に示す。

解析結果

本例題を XTAP により実行した結果を図 3 に示す。変電所内部の過電圧は、避雷器の制限電圧 (10 kA 値) 870 kV 付近で振動する形となっていることが分かる。

備考

本例題解析では、耐雷設計ガイドの回路記号 B のケースの結果を示しており、例題ファイル SLS-01B.xsf として提供しているが、耐雷設計ガイド記載の回路記号 A ~ W のケースについても例題ファイル SLS-01A.xsf ~ SLS-01W.xsf として提供している。また、標準雷過電圧解析モデルの各要素については、部品カテゴリウインド「80 発変電所耐雷設計」として提供している。

以上

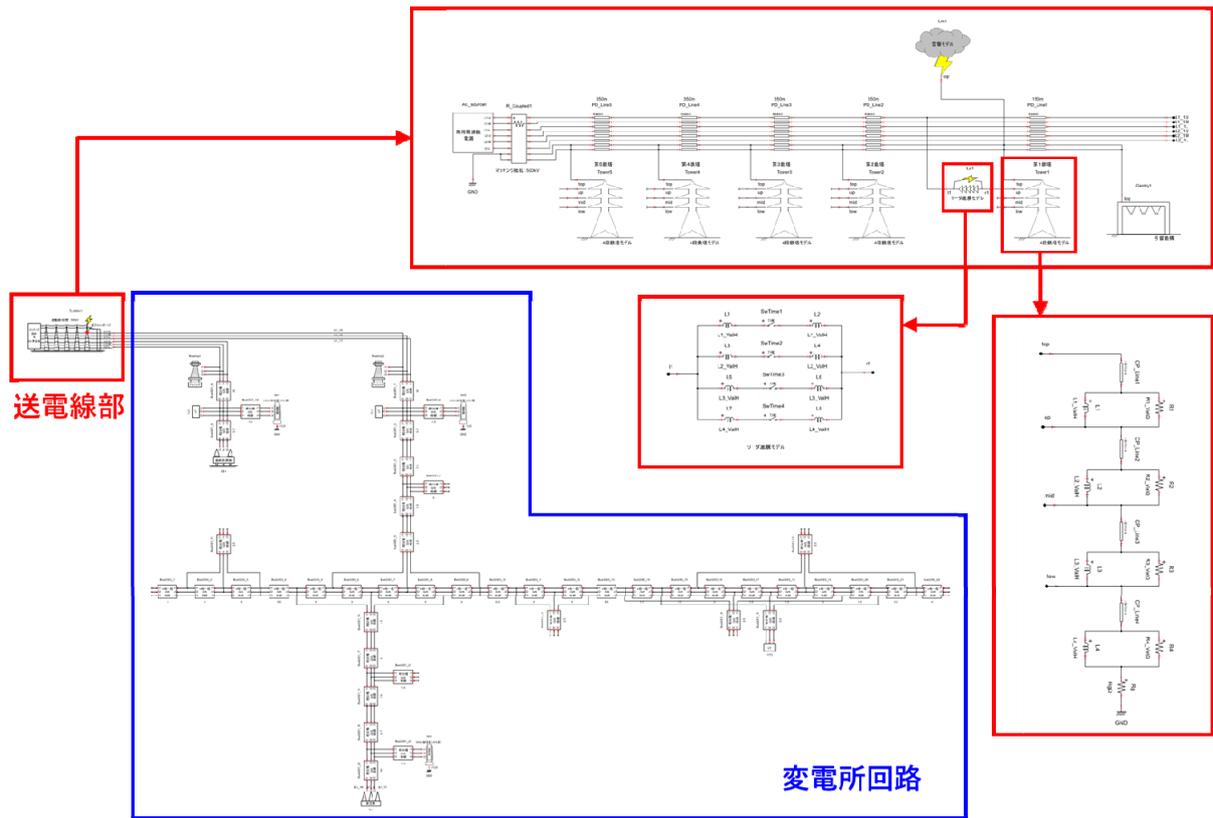
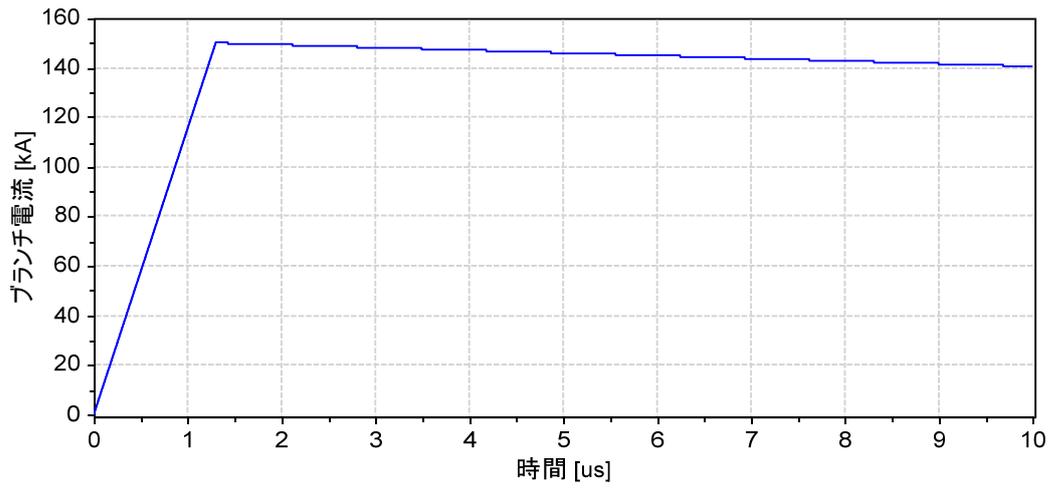
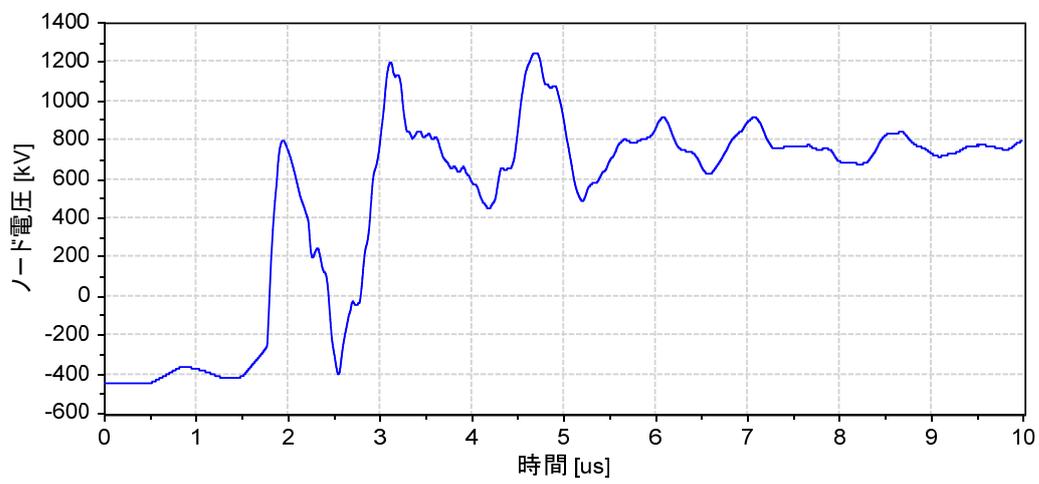


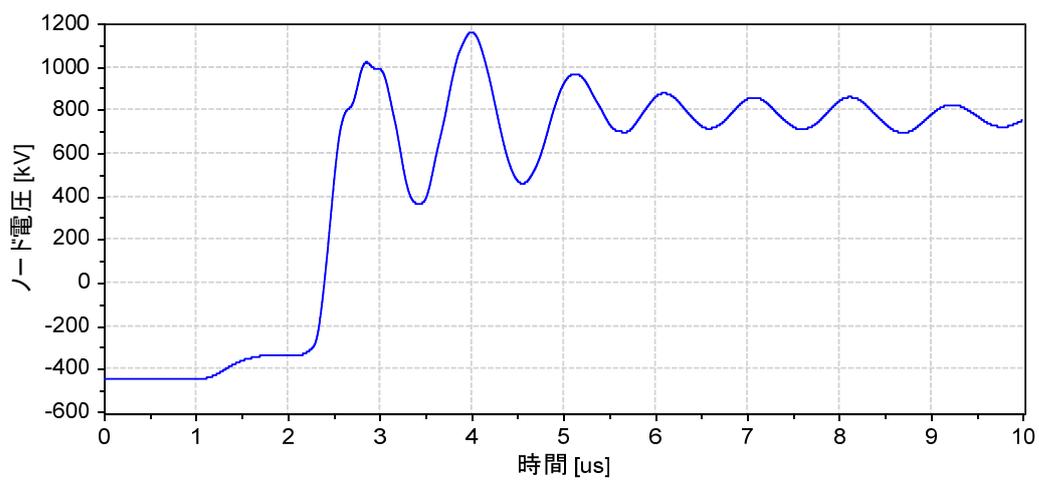
図2 XTAP 入力例



(a) 雷撃電流波形



(b) 変電所入口



(c) 母線電圧波形 (変圧器端)

図4 XTAPによる解析結果 (その2)

更 新 履 歴

日 付	例題ファイル バージョン	変 更 内 容
2023/11/16	2.2	XTAP Ver 2.50 および Ver 3.50 用に図を修正
2022/08/03	2.1	耐雷設計ガイドの改訂に合わせて，内容を修正。
2014/11/19	2.0	XTAP Ver. 2.00 用に修正 XTLC の変更に伴い，線路定数を再計算
2012/07/19	1.2	XTAP Version 1.20 用に修正
2011/12/15	1.1	解説を修正（回路記号 B～V のケースを追加）
2011/10/25	1.1	XTAP Version 1.11 用に修正
2010/07/16	1.0	初版作成（XTAP Version 1.10 用）