

最適化手法を用いた洞道温度予測システムの開発

適正な洞道冷却必要時期の把握による冷却設備投資抑制

The Development of a Tunnel Temperature Estimation System applying Optimization Techniques

Reducing the investment in tunnel cooling facilities by comprehending the appropriate installation timing

(基幹系統建設センター 技術G)

従来、超高圧地中送電線の冷却必要時期を予測するための洞道温度解析は、均一土壌への熱放散理論に基づいた熱等価回路にて算出している。しかし、実際の洞道は複雑な地中状況が関与するため、洞道温度解析値と実測値を比較すると誤差が生じる。そこで、適正な冷却設備必要時期の把握による設備投資の抑制を目的とし、制御分野における最適化手法を応用した高精度な洞道温度予測システムを検討している。

(Technical Section, Transmission & Substation Construction Office)

Tunnel temperatures have been analyzed with heat equivalent circuits based on the heat dissipation theory into homogeneous soil to estimate the installation timing of cooling facilities in extra-high voltage underground transmission lines. However, complex conditions in actual soils make differences between calculated values and measured values. Therefore, we are studying a high-precision estimation system of tunnel temperatures applying optimization techniques used in the control field so that we can comprehend the appropriate installing time of cooling facilities and reduce the investment in the facilities.

1 研究の背景と目的

当社の超高圧ケーブルは洞道内に布設されており、負荷電流によるケーブルの発熱により洞道周囲の土壤温度を上昇させるため、土壤温度がある範囲を超えると洞道を冷却する必要がある。このため、洞道内温度を予測し、洞道冷却必要時期を把握することは最適な設備構築を図る上で重要である。従来、冷却必要時期を予測するための洞道内温度解析は、電気協同研究¹⁾および日本電線工業会規格²⁾に規定されている均一土壌への熱放散理論に基づいた熱等価回路により算出している。しかし、これにより算出した解析値と実測値を比較すると、誤差が生じる。原因として、従来の熱等価回路は、均一な土壌や換気口の少ない洞道といった理想的な条件で成立するのに対し、実際の洞道は、不均一な土壌や空気の対流など、複雑な地中状況が関与するためである。そこで、本研究では、適正な冷却設備必要時期の把握による設備投資の抑制を目的として、制御分野における最適化手法を適用した洞道温度予測計算手法を検討している。

2 研究の概要

2.1 洞道温度解析に適用する最適化手法の絞込み

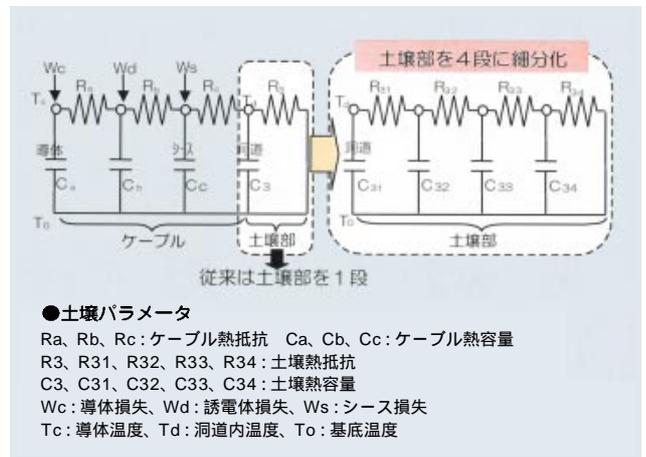
一般的な最適化手法について文献調査を行い、それらが今回の洞道温度予測解析に適用可能であるか評価を行った結果、第1表の3手法に絞ることとした。

2.2 最適化手法による洞道温度予測システム構成

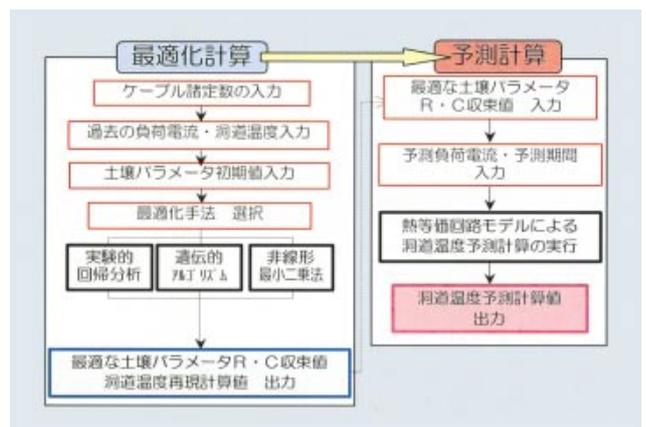
洞道温度の予測計算は、土壤部を細分化した第1図の熱等価回路モデルを用いて算出する。熱等価回路モデルに要する土壤パラメータを、より実現に合う値

第1表 最適化3手法の特徴

手法	特徴
実験的回帰分析法	実験計画法で利用されている直交表に評価する事象の各パラメータを割り当て、直交表から得られた各組み合わせについてパラメータを変化させて実現により近い最良解を求めるもの。 ^[3]
遺伝的アルゴリズム	評価する事象の各パラメータを遺伝子とみため、遺伝子情報を淘汰しながら実現により近い最良解を求めるもの。
非線形最小二乗法	評価する事象について非線形関数を定義し、関数より得られた計算値と実現の差異の二乗和を最小とするよう、定義した関数を補正するもの。



第1図 今回採用する熱等価回路モデル

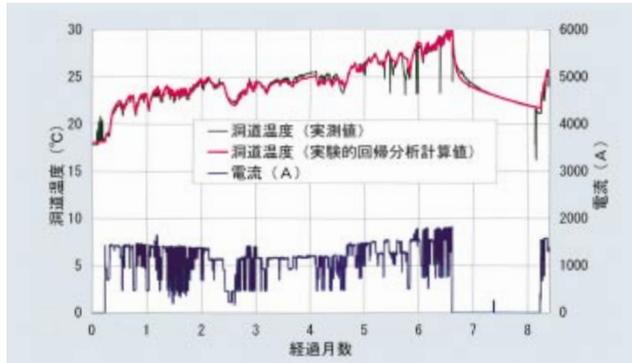


第2図 熱等価回路モデルによる予測計算システム

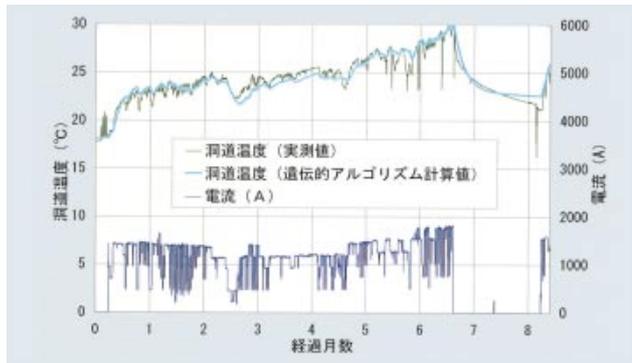
とするため、今回は第1表に示す最適化手法により算出し、これを用いて将来の洞道温度を予測するシステムを構成した。システムの構成概要は、第2図のとおりである。

2.3 実線路データを用いた洞道温度予測解析結果

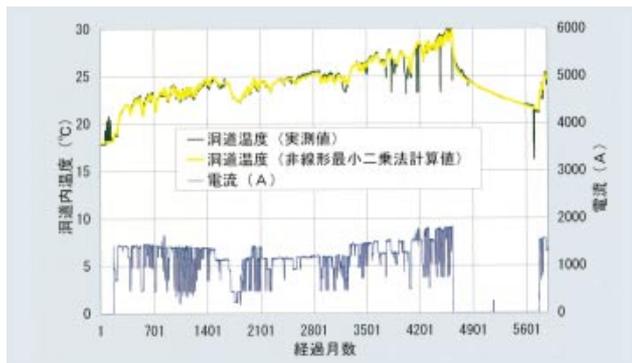
川越西名古屋線の洞道温度と負荷電流データ(運開



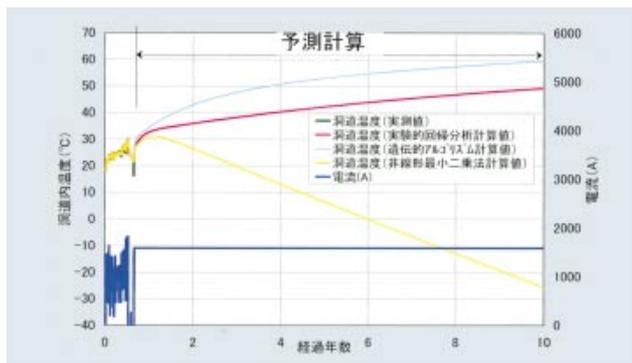
第3図 実験的回帰分析による再現計算結果



第4図 遺伝的アルゴリズムによる再現計算結果



第5図 非線形最小二乗法による再現計算結果



第6図 各3手法の長期予測洞道温度計算結果

第2表 川越西名古屋線8ヶ月間実測データを用いた最適化計算による土壌パラメータ収束値

土 壌 パラメータ	単 位	実 験 的 回帰分析法	遺 伝 的 アルゴリズム	非 線 形 最小二乗法
C ₃₁	×10 ⁶ J/K・m	2.989	9	2.4787
C ₃₂		0.3079	246	6.4052
C ₃₃		88.79	170	77.498
C ₃₄		1756	2170	- 831.1
R ₃₁	K・m/W	0.0128	0.049	0.0235
R ₃₂		0.0203	0.087	0.0057
R ₃₃		0.0571	0.067	0.0741
R ₃₄		0.1713	0.105	- 4.611

後約8ヶ月分)を使用し、3手法による洞道温度の再現計算および長期予測検証を行った。

第3、4、5図は、3手法による洞道温度再現計算結果を示す。これらより、3手法とも再現計算値は実測値とがほぼ近い結果が得られた。第6図は、3手法について、再現計算で得られた土壌パラメータを用いた際の洞道温度長期予測計算結果を示す。これより、非線形最小二乗法のみ計算値が減少傾向を示し、矛盾した結果となった。この原因としては、非線形最小二乗法の土壌パラメータ値R₃₄、C₃₄がマイナス値に収束し(第2表参照)熱回路的に矛盾している値のためと考えられる。マイナス値に収束した理由としては、非線形最小二乗法は計算値と実現象の差異の二乗和を最小とするよう土壌パラメータを収束計算させる手法であり、川越西名古屋線では、約1.5か月の停止期間があったため、この期間に下降した洞道温度に合った土壌パラメータに収束したためと考えられる。これらの結果から、非線形最小二乗法は長期予測に適さないと考えられる。

3 今後の展開

実線路データを用いた洞道温度の長期予測検証を行った結果、非線形最小二乗法については、長期予測には適さないと思われる。このため、今後は実験的回帰分析、遺伝的アルゴリズムの2手法にて、引き続き実測データを用いた長期温度予測検証を行い、長期予測に優れている手法を絞り込む。最終的には、土壌パラメータ初期値を入替えるだけで、他線路でも適用可能な予測検証システムを確立する予定である。

参考文献

- [1] 電気協同研究「地中送電線の送電容量設計」第53巻第3号、1998
- [2] 日本電線工業会「電力ケーブルの許容電流(その1)」JCS第168号E版、1995
- [3] 田口、他; ビジネスデータの分析 - 手法と実例 - 、丸善株式会社、1975



執筆/ 辻 節子
Tsuji.Setsuko@chuden.co.jp