U.D.C. 621. 315. 23. 017. 71: 536. 24]. 001. 24: 519. 635-37

不均質土壌や外部熱源を考慮した 電力ケーブルの許容電流

Ampacity Calculation of Power Cables with Particular Reference to Non-homogeneous Soil and External Heat Sources or Sinks

最近,都市部の地下は輻そうしており,ケーブルを布設するスペースを確保する のは日増しに困難となっている。これらの困難を克服し必要最小スペースの算出, あるいはケーブル導体サイズの節減を図るためには正確な許容電流計算が不可欠と なってきた。このような問題に対処するため,電力ケーブルを含む熱系の解析手法 を開発した。この手法はポアソンの方程式より解くものであり,特別な仮定や近似 は不必要である。但し,電子計算機の計算時間を少なくするため加速緩和法を用い た。また,この手法を日常の設計業務に手軽に使えるようにするため,種々くふう を凝らしている。この手法により,例えば温水管,地下鉄トンネル,地下水,特殊 バックフィルなどの問題が簡単,且つ正確に解けるようになった。

天 野 隆	: 喜*	Amano Takayoshi
小石原	進*	Koishihara Susumu

1 緒 言

電力ケーブルの許容電流計算に正確さを期待することは, 最近とみに難しくなってきている。すなわち,地下の輻そう から布設スペースが制約され,温水管やトンネルの近傍にケー ブルを布設したり,経済設計をねらって地下水の影響を考慮 したり,特殊バックフィルを施したりする場合が増え,計算 条件がますます複雑化してきているうえに従来から内外で広 く使用されているケネリーの式では,これらを正確,且つ簡 単に解くことができないという欠点がある。このような現状 から,より正確な許容電流の計算方法の必要性が高まってき ている。 ように複雑な熱放散系では、何らかの仮定や近似が必要となり、運用面と同時に精度の面でも問題が出てくる。

定常状態では,熱放散系においてケーブルを含むどの境界 をとってみても,その境界から外へ放散される熱量は,ケー ブルの発生熱量と同じである(ポアソンの式)。よってこの原 理を利用してケーブルを含む一般的な熱放散系の解析を電子 計算機によって行なう手法を開発した。

この手法は大胆な仮定や近似によらず,問題を伝熱現象の 根本原理に立脚して解くものであるため,非常に複雑な布設 条件におけるケーブル系の許容電流解析も正確,且つ容易に 行なうことができる。

本稿は、この手法及びこれによる代表的な計算例を従来法 と比較しながら紹介し、ユーザーの参考に供しようとするもの である。

2 従来の計算方法

従来地下埋設ケーブルのケーブル表面,あるいは管路内面 から地表までの熱抵抗は,ケネリーの式を用いて計算されて きた。これは地表面を対称軸としてケーブルとちょうど正反 対の位置に,ケーブル発熱量に相当する吸熱源を鏡像として 仮定して解く方法である。この方法は系が均質であり,且つ 吸熱源が地表面に限られている単純な熱放散系を前提として ケネリーの式によって,土壤熱抵抗(R₅)は(1)式⁽¹⁾のように 表わされる。

$$R_{5} = \frac{g \cdot \eta}{2\pi} \left\{ \log_{e} \frac{4L_{0}}{d} + \sum_{m=1}^{N-1} \log_{e} \sqrt{\frac{4L_{0}L_{m}}{Xm^{2}} + 1} \right\} \quad (^{\circ}\mathrm{C} \,\mathrm{cm}/\mathrm{W}) \cdots \cdots \cdots (1)$$

- 但し g :土壤の固有熱抵抗($^{\circ}C cm/W$)
 - **η**:土壤熱抵抗の低減率
 - Lo:熱抵抗を求める注目ケーブルの地表面より
 - ケーブル中心までの深さ(mm)
 - $L_m: m$ 番目ケーブルの地表面からの深さ(mm)
 - X_m:注目ケーブルとm番目ケーブルとの中心距

离隹(mm)

d: ケーブル外径(mm)

ケーブルの総発生熱量と上記の土壤熱抵抗 R_5 からケーブル表面温度 $T(^{\circ}C)$ は、

- 但し W: ケーブル総発生熱量(W/cm)
 - T_a :基底温度(°C)

によって計算される。

この従来法に対して、次節以下に述べる本稿の手法はケーブ ルの総発生熱量(W)と基底温度(T_a)が与えられたとき、どの ような複雑な系でも電子計算機の助けを借りて正確なケーブ ル表面温度Tが容易に求められるところに特長がある。また、 ケーブル表面温度Tが求まれば、これより導体温度は簡単な 式によって求められる。換言すれば、ケーブル表面温度を仲 介として、通電電流と導体温度の関係が求められることに なる。

49

3 本手法の原理の説明

成り立つ計算方法であるので、この前提が当てはまる簡単ないま図1に示すようにケーブルが布設されているとする。 場合には便利であり、また精度も良いが、温水管がある場合、このケーブルに電流を流せば、大ざっぱにいってケーブルは 地下水を考慮する場合、特殊バックフィルを施す場合などの電流の2乗に比例して発熱することになる。この発生熱は、

* 日立電線株式会社日高工場

390 日立評論 VOL. 58 No. 5(1976-5)



図 | 地中布設ケーブルと熱流 境界内にケーブルが存在すれば、境界から外に逃げる熱量はケーブルの発生熱に等しい(境界A, B, C)。

同図のように地中の各部を通って地表まで到達する。任意の

閉じた境界(同図の境界A, B, C)を考えたとき, この境界 の中にケーブルが存在するときは, この境界を通ってケーブ ル発生熱量と同じ熱量が外へ逃げることになる(ポアソンの方 程式)。一方, もし境界(同図の境界D, E)の中にケーブルが 存在しなければ, この境界を通って外に出る熱量の合計は0 である(ラプラスの方程式)。

同図を細かくメッシュに分けて考える。メッシュに図2に 示すような番号を付け、 $\#_{i,j}$ のメッシュに注目することにす る。ここで熱は縦、横いずれかの方向に流れ斜め方向には流 れないものとする。各メッシュをメッシュの中点で代表する ことにすれば、メッシュ $\#_{i,j}$ より $\#_{i-1,j}$ への熱の流れは、

 $W_{i,j+1} = (T_{i,j} - T_{i,j+1})/R_{i,j+1} \cdots (6)$ となる。

但し $W_{i-1,j}$: メッシュ $\#_{i,j}$ より $\#_{i-1,j}$ への熱流 $T_{i,j}$: メッシュ $\#_{i,j}$ の温度

 $R_{i-1,j}$: メッシュ $\#_{i,j}$ と $\#_{i-1,j}$ 間の熱抵抗 従って、メッシュ $\#_{i,j}$ より外へ流出する熱量を $W_{i,j}$ とすれば、

 $W_{i,j} = W_{i-1,j} + W_{i+1,j} + W_{i,j-1} + W_{i,j+1} \cdots \cdots \cdots (7)$ となる。メッシュ # *i*, *j* の内にケーブルが含まれていれば, $W_{i,j} = W$ であり、ケーブルが含まれていなければ $W_{i,j} = 0$ で ある。(7)式に(3)、(4)、(5)、(6)式を代入し T_{ij} について解くと、

$$T_{i,j} = \frac{\frac{T_{i-1,j}}{R_{i-1,j}} + \frac{T_{i+1,j}}{R_{i+1,j}} + \frac{T_{i,j-1}}{R_{i,j-1}} + \frac{T_{i,j+1}}{R_{i,j+1}} + W_{i,j}}{\frac{1}{R_{i-1,j}} + \frac{1}{R_{i+1,j}} + \frac{1}{R_{i,j-1}} + \frac{1}{R_{i,j+1}}} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (8)$$

が得られる。

50

[1 0 t 0]	1: · · ·	(+ + a)	(:11:-0)	1:10:01	(110 : 0)
(1-2, 1-2)	(1-1, 1-2)	(1,]-2)	(1+1,]=2)	(1+2,]-2)	(1+3, 1-2)
(<i>i</i> -2, <i>i</i> -1)	(i-1 i-1)	(<i>i</i> , <i>i</i> -1)	(i+1 i-1)	(i+2, i-1)	(i+3 i-1)
(* 2,) 1)	R	$T_{i, j-1}$	注目 メッシュ		
(<i>i</i> −2, <i>j</i>)	$(i-1, j)_{Ri-1},$ $Ti-1, j \qquad $	j ^(i, j) Ti, j	(i+1, j) Ri+1, j Ti+1, j Wi+1, j	(<i>i</i> +2, <i>j</i>)	(i+3, j)
(<i>i</i> −2, <i>j</i> +1)	(i-1, j+1) (i 1	(j+1) (i, j+1) (i, j+1) (i, j+1) (i, j+1)	(<i>i</i> +1, <i>j</i> +1)	(<i>i</i> +2, <i>j</i> +1)	(<i>i</i> +3, <i>j</i> +1)
(i-2,j+2)	(<i>i</i> -1, <i>j</i> +2)	(i, j+2)	(<i>i</i> +1, <i>j</i> +2)	(i+2, j+2)	(<i>i</i> +3, <i>j</i> +2)

図2 小さく分割されたケーブル熱系の一部 図1を小さなメッシュに分割した一部を示す。各メッシュ間の熱の授受について(1), (2), (3), (4)式の関係が成り立ち, これより系の温度分布が求められる。

実際の計算は電子計算機を用いて繰返し計算を行なっており, 加速緩和法を使って収束を早めるようにくふうされている。

無限遠境界の取扱い方

地下埋設ケーブルのような熱放散系は,地表面の温度を一 定とした半無限の系である。すなわち,地表面を25℃とする と,実際の系を模擬するためには図3のL,R,D方向の無 限遠点で25℃となるようなモデルを考える必要がある。とこ ろが,電子計算機のメモリは有限であるため,無限にメッシ ュを切ることはできない。そこで,ケーブルの近傍は細かい メッシュを,遠くは粗いメッシュを用いて電子計算機のメモ リを節約しつつ広領域をカバーできるようくふうした。 ここで,「無限遠境界をどれだけ正確に取り扱えたか」につい

(8)式は,注目メッシュの周囲のメッシュ温度と,注目メッシュ自身の発熱量が分かれば,注目メッシュの温度が求められることを意味している。

(8)式をすべてのメッシュについて特定の境界条件のもとに解けば、図2のすべての点の温度が分かり、これよりケーブル表面に相当する部分の温度も簡単に求められることになる。



図3 無限遠境界の近似 大地は地表を境として半無限である。L, R, D 方向の無限遠点では温度は一定であり、ケーブルの発生熱によって影響される こと(この点の温度が変わること)はない。

て次の検討を行なった。

ケーブルより発生した熱量は、100%地表面に到達することに注目すれば、図3において $W_U/(W_U+W_D+W_R+W_L)$ ×100

った計算例では、ほぼ100%が得られており十分正確な取扱い 方ができているものと考えられる。

ケーブル近傍の正確な温度分布を求めるためには、上記の ように広領域をカバーする少し粗いメッシュで計算を行なっ たのち、ケーブル近傍に新しい境界を想定し、この境界の温 度をこの広領域の計算結果より求め、新しい境界内を更に細 かいメッシュに切って計算すればよい。これによって、ある いは更にこの方法を繰り返すことによってケーブル近傍の正 確な温度分布を容易に求めることができる。

5 ケーブル表面温度の求め方

前述のケーブル近傍の正確な温度分布をもとにして、ケーブル表面温度を求める方法について述べる。

ケーブル表面温度は、ケーブルの外周円を忠実に再現でき るよう細かくメッシュを切れば、ケーブル表面に相当するメ ッシュ温度よりおのずと明らかになる。

しかし,実際には毎回このような煩雑な手順を踏むわけに はいかないので,次の簡便方法によってケーブル表面温度を 求めることにする。いま簡便方法の妥当性を調べるために,

第1Step: 適当なモデルを仮定(ケーブルを1×1メッシ

ュとした場合)

第2Step:第1Stepの結果をもとにケーブル近傍を3倍 に拡大して計算(ケーブルを3×3メッシュと

が100%に近ければ近いほど,換言すればケーブル発生熱量の うち上方境界を通って外に出る熱量(Wv)の割合が100%に近い ほど,実際に合った取扱いができたことになる。筆者らが行な

した場合)

第3Step:第2Stepをもとに,更に3倍に拡大(ケーブ ルを9×9メッシュとした場合)

30.7 30.2 31.1 31.4 31.6 31.8 1.8 1.1 32.5 32.8 33.0 33.2 33.4 33.6 33.7 33.0 34.0 34.0 34.0 35.7 33.0 33.7 33.0 33.4 33.2 33.6 32.8 32.5 32.8 32.5 32.8 31.8 31.8 31.4 31.1 30.9 30.7 30.8 51.0 31.3 31.5 31.8 3/0 32.3 32.0 32.0 32.0 33.1 33.3 53.0 33.0 34.2 34.3 34.5 34.5 34.5 34.5 34.3 35.2 33.8 33.6 33.3 33.1 32.8 32.0 32.8 32.0 31.9 31.9 31.8 31.0 30.8 31.0 31.2 31.5 31.7 32 0 32.3 32.5 32.8 33.1 33.4 33.7 33.9 34.2 34.4 34.7 34.8 35.0 35.1 35.1 35.1 35.1 34.4 34.2 23.9 33.7 33.4 33.1 32.8 32.5 32.3 22.0 31.7 31.5 31.2 31.0 31.1 31.3 31.6 31.9/32.2 32.5 32.8 33.1 33.4 33.7 34,6 34.3 34.6 34.4 35.2 35.4 35.7 35.7 35.7 35.7 35.2 34.9 34.6 34.3 34.0 33.7 33.4 33.1 32.8 32.5 32.2 31.9 31.0 31.3 31.1 31.2 31.5 31.8 3/0 32.4 32.7 33.0 33.3 34,0 34.4 34.7 35.1 35.4 35.7 30.0 30.2 30.3 36.4 36.3 50.2 40.0 35.7 35.4 35.1 34.7 34.4 34.0 33.7 35.3 35.0 32.7 32.4 34.0 31.8 31.2 31.3 31.0 31.9 32.2 32.5 32.9 33.2 33.6 33.9 34.3 44.7 35.1 35.5 35.9 30.3 30.0 36.9 37.1 37.1 35.9 30.0 30.3 25.9 35.5 35.1 34.7 34.3 2.4 33.6 33.2 32.4 32.5 32.2 31.9 31.6 31.3 31.4 31.7 32/0 32.3 32.7 33.0 33.4 33.8 /34.2 34.0 35.1 35.5 30/0 30.5 37.0 37.4 37.7 37.4 37.0 36.5 30.0 35.5 35.1 34.0 34.2 33.8 33.4 33.0 32.7 32.3 34.0 31.7 31.4 31.5 31.8 2.1 32.5 32.0 33.2 33.0 34/0 34.4 34.9 35.4 35.4 35.4 35.4 37.1 37.0 30.2 38.6 39.0 39.1 39.0 39.1 39.0 35.4 34.9 34.4 34.0 34.4 34.0 33.0 33.2 32.8 32.5 32.4 31.8 31.5 32.2 32.6 32.9 33.3 33.7 p4.2 34.7 35.2 35.7 /36.3 37.0 37.6 /38.3 39.0 39.7 40.3 40.5 40.5 37.0 35.2 35.7 35.2 44.7 54.2 33.7 35.8 32.9 32.6 32.2 31.9 31.6 31.6 31.0/ 31.7 32 32.4 32.7 33.1 33.5 34.0 34.5 35.0 35.0 6.2 36.0 57.7 38.0 39.1 40.9 47.3 43.7 44.1 43.7 47.3 40.9 19.7 38.6 17.7. 30.9 30.2 35.0 35.0 34.5 34.0 33.5 33.1 32.7 32.4 34.0 31.7 31.7 32.3 32.4 32.8 33.2 33.6 34 0 34.5 35.1 35.7 30.3 57.1 37 9 39.0 40.2 41.7 43.7 40.2 39.0 57.9 37.1 36.5 35.1 34.5 34 0 33.0 33.2 32.8 32.4 32 0 31.7 31.7 32.1 32.4 32.8 33.2 33.6 34.0 34.5 35.1 35.7 30.4 37.1 38.0 39.1 40.5 41. 44.1 46.8 46.8 44.1 4.9 40. 39.1 38.0 37.1 30.4 35.7 35.1 34.5 34.0 33.6 33.2 32.8 32.4 32.1 31.7 31.7 32.2 32.4 32.8 33.2 33.6 34 0 34.5 35.1 35.7 40.3 57.1 37 0 39.0 49.2 41.7 43.7 40.2 40.3 37 4 37 9 37.1 30.3 55.7 35.1 34.5 34 0 33.0 33.2 32.6 32.6 32.0 31.7 32.7 32 32.4 32.7 33.1 33.5 34.6 34.5 35.0 35.6 80.2 30.9 37.7 38.6 39.7 40.9 42.3 43.7 44.1 43.7 47 40.0 10.7 38.6 \$7.7 36.0 30.2 55.0 35.0 34.5 34.0 33.5 33.1 32.7 32.4 32.0 31.7 32.0 32.7 33.0 33.4 33.9 34.3 34.8 35.4 36.0 35.4 36.0 35.4 36.0 35.4 36.0 35.4 35.0 35.4 40.8 34.3 15.0 32.7 32.3 \$2.0 31.0 31.0 31.9 32.2 32.0 32.9 33.3 33.7 34.2 34.7 35.2 35.7 30.3 37.0 37.0 39.7 40.2 40.3 40.2 39.7 39.0 38.3 17.6 37.6 37.6 35.2 34.7 34.2 33.7 33.3 32.9 32.6 32.2 31.0 31.0 31.5 31.8 12.1 32.5 32.8 35.2 33.6 340 34.4 34.9 35.4 35.4 35.4 35.4 35.4 35.4 34.0 39.1 39.0 39.1 39.0 39.1 39.0 39.1 39.0 35.4 34.9 34.4 34.6 35.2 32.6 32.5 32.4 31.8 31.5 31.4 51.7 52 0 32.3 32.7 35.0 33.4 33.8 34.2 34.6 35.1 55.5 30.0 30.5 37.0 37.4 37.7 37.4 37.0 30.5 30.6 35.5 35.1 34.6 34.2 / 55.8 35.4 35.0 42.7 32.3 24.0 31.7 31.4 31.3 31.0 31.9 32.2 32.9 33.2 33.0 33.2 33.0 33.2 34.3 34.7 35.1 35.5 35.2 30.6 36.9 37.1 37.1 35.9 36.5 36.3 16.0 35.5 35.1 34.7 34.5 1.0 33.2 32.9 32.5 32.2 1.0 31.6 31.3

31.2 31.5 31.8 32 32.4 32.7 33.0 33.3 33.7 32 34.4 34.7 55.1 35.4 35.7 35.2 36.3 36.4 36.3 35.2 35.7 35.4 35.7 35.4 34.6 34.6 34.7 53.3 53.0 32.7 32.4 32/0 31.8 31.5 31.2

31.1 31.3 51.6 51.9 32.2 32.5 32.8 33.1 33.4 33.7 34	34.3 34.0 34.9 35.2 35.4 35.0 35.7 35.7 35.7 35.0 35.4 35.2 34.9 34.0 34.5 34.6 33.7 33.4 33.1 32.8 32.5 32.2 31.9 31.0 31.3 31.1	図4 ケーブル近
31.0 31.2 51.5 31.7 32. 32.5 32.5 32.8 33.1 33.4 33.7	33. 14.2 34.4 34.7 34.8 35.0 35.1 35.1 35.1 35.1 35.0 34.8 34.7 34.4 34.2 36.9 35.7 33.4 33.1 52.8 32.5 32.5 32.5 32.8 31.7 31.5 31.7 31.6	傍の温度分布(第2
30.8 31.8 31.3 31.5 31.8 32 32.3 32.6 32.8 33.1 33.3	33.0 33.8 The 14.2 34.3 34.5 34.5 34.5 34.5 34.5 34.5 34.2 34.2 34.2 34.2 34.8 33.0 33.1 32.8 32.8 32.8 32.8 32.8 31.8 31.8 31.8 31.8 31.8 31.8	Stepの計算結果)
30.7 30.9 31.1 31.4 31.6 31.8 32.1 32.3 32.5 32.8 33.0	1 33.2 33.4 33.0 33.7 33.0 34.0 34.0 34.0 34.0 34.0 33.7 33.0 33.7 33.0 33.2 33.0 32.8 32.8 32.8 32.8 31.0 31.0 31.0 31.1 30.9 30.7	拡大した計算。図の数
30.5 30.7 30.9 31.2 31.4 31.6 31.8 32.4 32.5 32.5 32.7	12.9 13.0 13.2 13.3 13.4 13.5 13.0 13.6 13.6 13.5 13.5 13.5 13.2 13.0 12.7 12.5 12.5 12.5 13.0 11.0 11.0 11.0 11.7 10.0 10.7 10.5	字は, その地点の温度 を示す。

51

392 日立評論 VOL. 58 No. 5(1976-5)

の計算を行なってみた。各Stepの計算結果の代表例として、 第2Stepの計算結果を図4に示す。これよりケーブル近傍の 各メッシュ温度を図示すると、図5に示すようになる。同図 でケーブル表面に相当する位置の温度は、

第1Stepの計算:45.5℃

第2Stepの計算:45.1°C

第3Stepの計算:45.2°C

となる。また、第2Stepと第3Stepのカーブはほとんど重なっており、両者がよく一致することを示している。以上の結果からケーブル表面温度は、第1Stepの計算においてケーブル中心を通る断面の温度から作図により求めてもその誤差は 0.4℃以下であると推定される。

6 本手法による計算例

前述のように、本手法は温水管、トンネル、地下水など外部に発熱吸熱源がある場合、又は特殊バックフィルの使用な ど不均質土壌としての取扱いが必要な場合に、極端な仮定や 近似を必要とせず、直接的に計算できるところに特長がある。 ここでは、現実に遭遇する複雑な布設条件の幾つかを取り上 げて、本手法による計算例を紹介する。

6.1 ケーブル近傍に温水管がある場合

工場内には蒸気管,温排水溝などが至るところに存在するため,これらの熱的影響によってケーブルの許容電流が制限



図6 温水管がある場合のケーブルの熱放散 温水管の温度を50°C 一定と考えた場合の計算例を示す。発生熱量を一定とした計算も同様にできる。 温水管によって温度分布がひずんでいる。

される場合が多い。図6にケーブル近傍に温水管が存在する 場合の計算例を示す。従来の計算方法では、温水管をケーブ ルに見立てたときの等価発熱量(W_Q)、及びケネリーの式より 計算される温水管とケーブルの間の相互土壤熱抵抗(R_m)を求 め、これらの積($W_Q \times R_m$)を温水管が存在することによるケー ブルの位置の温度上昇とみて、この値だけ基底温度を上積み して考えてきた。同図の布設例の場合、上述の従来の計算方 法によってケーブル表面温度を求めると65.5℃となるが、本 手法による計算結果では63.5℃となり、両者の間に2℃の差 がある。温水管の径が大きい場合や、温排水溝のようにその 一部が地表に出ている場合などでは、従来方法の適用はます ます困難になり、いきおい安全側の近似をする結果、実際と



の差が大きくなってくる。

6.2 ケーブル近傍にトンネルがある場合

東京,大阪のような大都市では地下鉄などのトンネルのす ぐ近くにケーブルが布設される場合も出てくる。この場合, トンネルの存在がケーブルにとって熱的に好ましいものかど うかは,本手法によって容易に検討することができる。図7 に地下鉄トンネルの近くにケーブルを布設した場合の計算例 を示す。同図の例では,等温線の分布が示すようにトンネル の存在はケーブルにとって好ましいものとなっている。

トンネル内部も土で満たされているとして従来どおりの計 算を行なった結果,中央部管路の内壁の温度は72.9℃となっ た。一方,本手法による計算値は69.0℃である。この差3.9℃ は、ケーブルの許容温度上昇分60℃(85℃-25℃)のなんと6.5 %に相当する値であり、実際の布設条件に合った許容電流計 算を行なうことによって、更に経済的な設計ができることを 示唆するものである。

6.3 ケーブル表面温度に対する地下水位の影響

地下水は定温度吸熱源とみることができる。154kV 1×800 mm^2 を例にとり、本手法を用いて地表面から地下水位までの深 さLを変えた場合のケーブル表面温度を計算してみた。図8に その結果を示す。Lが10mを超える場合には地下水の影響は ほとんど認められないが、Lが5mより小さくなるとその影 響は急激に大きくなる。L=10mの場合のケーブル表面温度 は58℃であるが、L=3mの場合には54℃と大幅に下がる。 この温度差4℃は、ケーブルの許容温度上昇幅60℃(85℃-25 ℃)の6.7%に相当する。従って、800mm²の導体が必要な場合で も本検討によれば750mm²でよいことになる。このような地下水 位の影響は、従来は電界解析などによる検討以外に方法がな

図5 ケーブル表面温度の図式解法 ケーブル表面近傍の温度は、メ ッシュの大きさに関係なくほとんど同じである。 かったが、本手法を用いることによって、導体サイズ、布設 間隔などの選定において、従来に比べて大幅な改善が期待で きる。
6.4 特殊バックフィルを使用する場合 ケーブル ルートに局部的に土壤熱抵抗の大きい場所がある 場合、あるいは土壤が乾燥したとき土壤熱抵抗が極度に大き

52

不均質土壤や外部熱源を考慮した電力ケーブルの許容電流 393



図7 地下鉄トンネルがある場合のケーブルの熱放散 本例の場合 トンネルは若干冷却の役割を果たしている。 図8 地下水位のケーブル表面温度に及ぼす影響 Lがケーブル埋設深さの2倍近くになると、地下水の影響は急激に大きくなる。

地表面:25°C

D↑を大きくすれば、gを3割程度改善することができる。

項	目	ケーブル表面温度 (°C)	土 壤 熱 抵 抗 (ケーブル表面温度-基底温度) 発生損(°C cm/W)	ドックフィル後 の実効土壌固有 熱抵抗 g (°C cm/W)
バックフィルカ	なしの場合	66.5	222	150
バックフィルを 使用した場合	$D \uparrow = 139 \\ D \downarrow = 139$	61.7	206	139
	$D \uparrow = 161 \\ D \downarrow = 139$	59.7	199	134
	$D \uparrow = 751 D \downarrow = 139$	46.8	156	105

バタバタバタバタ バタイタイタイター アクション 周囲土壌: $g_2 = 150^{\circ}C \text{ cm/W}$ ケーブル発生損: 0.3W/cm/条

くなるおそれのある場合には、ケーブル近傍の土壤を熱抵抗 の低い土壤に入れ替えて熱条件を改善する方法がある。これ は特殊バックフィルと呼ばれ、海外では広く使用されている 方法である。

図9に示すように、周囲土壌の固有熱抵抗 $g_2(150^{\circ}Ccm/W)$ の土壌中にケーブルを布設するとき、ケーブルの近傍だけを $g_1(100^{\circ}Ccm/W)$ の土壌に入れ替えた場合の計算例を表1に示す。土壌熱抵抗の改善の程度は入れ替える土壌の量によって変わるが、本例では7~30%の改善ができることを示している。

従来は、このような不均質土壌の場合には、アナログ的手 法による近似計算が行なわれていたが⁽²⁾、本手法によれば、こ れらの場合も正確且つ手軽に解くことができると同時に、土 壌の固有熱抵抗が温度とともに変化する場合、又は固有熱抵 抗の異なる数種類の土壌で構成された系の場合でも、簡単に 解くことができる。 図9 特殊バックフィルを使用したケーブル布設法 ケーブル周囲 だけg=g1の低熱抵抗土壌で埋め戻し,熱抵抗の改善を図る。

な極端な仮定や近似は不要である。

また本手法は、種々のくふうにより日常の設計業務に対し 手軽に使用できる形で完成されたものである。

これによって、布設スペースの節約、導体サイズの節減など、従来より進んだ経済設計が可能となった。

今後,温水管,地下鉄トンネル,地下水,特殊バックフィル,日射,不均質土壤などの条件が絡みあった,複雑な系の 温度分布と許容電流の計算がますます必要になるものと予想 され,本手法は,これらの解析に大いにその効果を発揮する

ものと期待される。

7 結 言

本稿で紹介した電力ケーブルの許容電流計算法は,電子計 算機を使用して,ポアソンの方程式を実際の条件のもとに直 接解くものである。 従って,どのような複雑な系においても,従来方式のよう

参考文献

 JCS 168 C 日本電線工業会規格「電力ケーブルの許容電流」
 L.H.Fink, J.J.Smerke II: "Control of the Thermal Enviroment of Buried Cable Systems——Part II". AIEE, June 1958

53