頻度等に無関係に気ほう発生点数 n と熱伝達係数 α との関係を見ても、第 6 図⁽¹⁵⁾のごとくなる。この図には M. Jakob⁽¹⁶⁾の実験値も記入してある。この図を見ると気ほう発生点数 30 以上ではややこう配が大となる傾向を有するもののごとくであるが、だいたい平均として $\alpha \propto n^{1/3}$ と考えてよからう。

要するに、沸騰液体の熱伝達に対しては、伝熱面熱負荷あるいは伝熱面表面と液体との温度差でなく、伝熱面上の気ほう発生点数⁽¹⁷⁾が熱伝達係数をおさえる大きな因子となっていることがわかる。

5. 結 論

- (1) 発生気ほうの型式により温度境界層の液体の流速および流動状態の乱度が大いに異なり、また隣接ほうの干渉、不連続ほうの発生によっても流動状態が異なる。
- (2) 伝熱面熱負荷 9 800 kcal/m²h 以下は気ほうかく乱効果の大きくない自由対流域で、伝熱面熱負荷 15 000 kcal/m²h 以上は気ほうかく乱効果が大局を支配する強制対流域であり、その中間に自由対流域より強制対流域への遷移領域がある。
- (3) 沸騰液体の熱伝達に対しては、伝熱面熱負荷あるいは伝熱面表面と沸騰液体との温度差でなく気ほうの かく乱効果 という流体力学の問題が熱伝達係数をおさえる大きな因子である。

第 6 図 熱伝達係数と気ほう発生点数との関係
(直径 10 cm の水平伝熱板)

なお、本研究は文部省科学研究費によって行ったものである。

注：一

- (1) 昭和 26 年 4 月 4 日 第 28 期定時總會講演會において講演，原稿受付 昭和 26 年 4 月 5 日。
- (2), (3), (4), (5) 正員，九州大學。
- (6), (10) M. Jakob: Mech. Engg. (1936) p. 648.
- (7), (8), (11) 山縣，平野，西川，松岡，機械學會論文集，17 卷 62 號 (昭 26)，163 ページ。
- (9) 本誌 47 ページ参照
- (12) O. Klüsener: Forschung, Bd. 5 (1934) S. 118.
- (13) 山縣，平野，西川，松岡：「沸騰水の熱伝達係数測定について」昭和 25 年 12 月 1 日 九州大學工學部研究發表會において發表。
- (14), (15) 第 5 圖においては高熱負荷で流速の測定困難なため，傳熱面熱負荷 17 500 kcal/m²h にまでのデータを記入した。
- (16) M. Jakob und Fritz: Forschung, Bd. 2 (1930) S. 435.
- (17) 本報告でのべた気ほう発生点数 n についての関係は直径 10 cm の水平圓板の場合に適用されることを注意しておく。

536.21:551.525.4

熱 伝 導 の 近 似 計 算 (第 1 報)⁽¹⁾

「埋設管による地中温度分布」

井 村 定 久⁽²⁾

Approximate Calculation of the Conduction of Heat (1st Report)

On the temperature distribution of the infinite solid with circular hollow

by Sadahisa IMURA

Even if the exact solution of the conduction of heat is obtained by the analytical method, the numerical calculations are laborious, especially in the case of radial flow of heat.

The author has studied Takahashis' method and has succeeded to extend his method to the cases of the radial flow of heat, i.e. temperature distribution of the infinite solid with a circular hollow, where the temperature is constant or varies as time.

1. 緒 言

一次元⁽³⁾ならびに二次元⁽⁴⁾熱伝導問題に対し、高橋喜彦氏は直接熱伝導の微分方程式を積分する代りに、はるかに簡単な積分式を平均化現象という考え方から誘導し、これを用いて同等の結果を得ている。著者はこの高橋氏の方法を拡張し、一次元円柱熱流への解析の可能性について提案し、ここに「埋設管による地中温度分布」の近似計算を例示する。

2. 計算の基本式

いま固体が第1図のごとく円柱 $r=a$ の穴を有するものとし

時刻 t の
温度分布
が $\theta(r, t)$
であると
する。こ
の時刻に
たとえば
半径 r_1
の温度
 $\theta(r_1, t)$ は

第 1 図

微小な τ 時間後において、その附近の温度と平均して一様な温度となると考えられる。すなわち半径 r_1 の温度は r_1-s より r_1+s の範囲の各点の温度が一様に平均し、これが時刻 $t+\tau$ における半径 r_1 の温度を表わすと考えることができる。したがって一般に

$$\theta(r, t+\tau) = \frac{1}{2sr} \int_{r-s}^{r+s} \lambda \cdot \theta(\lambda, t) d\lambda - \frac{s^2}{6r} \cdot \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{あるいはまた} = \frac{1}{2sr} \int_{-s}^s (r+\xi) \cdot \theta(r+\xi, t) d\xi - \frac{s^2}{6r} \cdot \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \dots \dots \dots (1)'$$

が成り立つ。ただし第2項は補正項である。距離 s は τ 時間内に他の部分に影響を与えると見なされる距離であって、時間 τ および温度伝播率 κ に比例することは当然で、これらの間の関係は次のごとくに求められる。すなわち (1)' 式の左右両辺をそれぞれ展開すれば

$$\begin{aligned} \theta(r, t+\tau) &= \theta(r, t) + \frac{\tau}{1!} \cdot \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial t} \\ &\quad + \frac{\tau^2}{2!} \cdot \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial t^2} + \dots \dots \dots \\ &= \frac{1}{2sr} \int_{-s}^s (r+\xi) \cdot \theta(r+\xi, t) d\xi - \frac{s^2}{6r} \cdot \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \\ &= \theta(r, t) + \frac{s^2}{2!r} \cdot \frac{\partial^2}{\partial r^2} \left\{ r \cdot \theta(r, t) \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{s^4}{4!5r} \cdot \frac{\partial^4}{\partial r^4} \left\{ r \cdot \theta(r, t) \right\} \\ &+ \dots \dots \dots - \frac{s^2}{6r} \cdot \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \end{aligned}$$

をうる。両辺を等しいと置き、なお τ^2 および s^4 以上の項を無視するものとすれば、次式をうる。

$$\frac{\partial \theta(r, t)}{\partial t} = \frac{s^2}{6\tau} \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \right\}$$

いま $\kappa = s^2/6\tau$, すなわち $s = \sqrt{6\kappa\tau}$ と置けば上式は

$$\frac{\partial \theta(r, t)}{\partial t} = \kappa \left\{ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta(r, t)}{\partial r^2} \right\}$$

となり、(1)式または(1)'式を用いて時刻 t における温度分布を知って、それより τ 時間後の温度分布を求めることは、以上省略せる程度の誤差を許すものとすれば、熱伝導の微分方程式を解くと同等なるを知り、距離 s , 温度伝播率 κ および時間 τ との間には次の関係あるを知る。

$$s = \sqrt{6\kappa\tau} \dots \dots \dots (2)$$

実際に積分式(1)または(1)'式を用いて数値積分する場合、第1項は Simpson 1/3 則を、第2項は次の関係

$$\begin{aligned} s \cdot \frac{\partial \theta(r, t)}{\partial r} &= \frac{\theta(r+s, t) - \theta(r-s, t)}{2} \\ &\quad - \frac{s^2}{3!} \cdot \frac{\partial^3 \theta(r, t)}{\partial r^3} \dots \dots \dots \end{aligned}$$

を用いれば、次のごとくに簡単になる。すなわち

$$\begin{aligned} \theta(r, t+\tau) &= \frac{1}{6r} \left\{ \left(r + \frac{s}{2} \right) \theta(r+s, t) \right. \\ &\quad \left. + 4r \cdot \theta(r, t) + \left(r - \frac{s}{2} \right) \theta(r-s, t) \right\} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

3. 計 算 例

次に二三の実際問題について数値積分を行って見る。ただし便宜上 $s=0.1$ とする。したがって $\tau=0.01/\kappa$ ごとの温度分布が得られることになる。

計算例(その1)——半径 $r=1$ なる円柱の穴を有する無限固体の表面 $r=1$ の温度が一定温度(単位温度)に保たれ、初温度が0なる場合。

本例は既に理論的に解が得られているが⁽⁵⁾, これを用いて数値計算をすることは非常に困難と思われるので、本法を用いて近似計算を行って見た。その結果を第1表に示す。ただし表は $10\tau=0.1/\kappa$ ごとの計算結果のみを示し、途中の結果はこれを省略してある。

計算例(その2)——半径 $r=1$ なる円柱の穴を有する無限固体の表面 $r=1$ の温度が周期的に変化し、固体の初めの温度が0なる場合⁽⁶⁾。

この一例として表面 $r=1$ の温度が正弦的に変化する場合を取るものとすれば、上例は次の条件すなわち

第 1 表 $r=1, \theta=1, (t>0); t=0, \theta=0, (r>1)$

$r \setminus t$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000
12	10000	01591	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
22	10000	02652	00254	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
32	10000	03403	00593	00041	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
42	10000	03963	00946	00122	00007	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
52	10000	04398	01285	00234	00024	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
62	10000	04747	01600	00366	00054	00005	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
72	10000	05034	01888	00510	00096	00012	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
82	10000	05276	02151	00659	00148	00024	00003	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
92	10000	05483	02391	00810	00209	00040	00006	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
102	10000	05663	02610	00959	00276	00061	00010	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
202	10000	06708	04069	02212	01070	00458	00173	00058	00017	00004	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
302	10000	07204	04862	03057	01783	00962	00478	00218	00091	00035	00012	00004	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
402	10000	07510	05316	03655	02351	01428	00816	00439	00222	00105	00047	00019	00008	00002	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
502	10000	07721	05743	04103	02807	01836	01146	00681	00385	00207	00106	00052	00024	00010	00003	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
602	10000	07879	06022	04453	03180	02188	01449	00923	00564	00331	00186	00100	00051	00025	00011	00004	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00	00
702	10000	08003	06243	04737	03491	02494	01724	01153	00745	00466	00281	00164	00092	00050	00025	00012	00004	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00	00
802	10000	08103	06424	04973	03754	02759	01972	01370	00924	00605	00385	00238	00142	00082	00045	00024	00012	00004	00001	00000	00	00	00	00	00	00	00
902	10000	08187	06576	05174	03981	02993	02191	01572	01096	00745	00494	00318	00200	00122	00073	00042	00022	00012	00005	00001	00000	00	00	00	00	00	00
1002	10000	08259	06706	05346	04180	03201	02400	01759	01261	00883	00604	00404	00263	00168	00103	00062	00037	00021	00017	00004	00001	00000	00	00	00	00	00
1102	10000	08320	06818	05497	04356	03388	02585	01934	01416	01016	00714	00493	00332	00218	00141	00089	00055	00032	00019	00010	00004	00001	00000	00	00	00	00
1202	10000	08373	06917	05631	04512	03556	02754	02095	01564	01146	00824	00582	00402	00273	00181	00119	00075	00047	00029	00016	00008	00002	00000	00	00	00	00
1302	10000	08422	07006	05750	04653	03709	02909	02246	01704	01271	00933	00672	00475	00330	00224	00150	00098	00064	00039	00024	00013	00006	00002	00000	00	00	00
1402	10000	08464	07085	05858	04780	03947	03052	02386	01836	01391	01037	00761	00549	00390	00272	00187	00126	00083	00054	00034	00020	00011	00004	00001	00000	00	00
1502	10000	08503	07156	05955	04886	03975	03185	02517	01960	01504	01138	00848	00623	00450	00322	00226	00155	00104	00069	00044	00028	00016	00008	00003	00000	00	00
1602	10000	08537	07220	06044	05003	04093	03308	02639	02078	01614	01237	00935	00696	00511	00372	00266	00185	00128	00087	00057	00037	00022	00012	00005	00002	00000	00

第 2 表 $r=1, \theta=\sin t, (t>0); t=0, \theta=0, (r>1), \tau=\pi/20, \kappa=1/30\pi$

$t \backslash r$	1'0	1'1	1'2	1'3	1'4	1'5	1'6	1'7	1'8	1'9	2'0	2'1	2'2	2'3	2'4	2'5	2'6	2'7	2'8	2'9
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1τ	0.1564	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2τ	0.3090	0.0249	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3τ	0.4540	0.0658	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4τ	0.5878	0.1168	0.0132	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5τ	0.7071	0.1737	0.0276	0.0025	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6τ	0.8090	0.2331	0.0466	0.0061	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7τ	0.8910	0.2922	0.0694	0.0116	0.0013	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8τ	0.9511	0.3487	0.0949	0.0191	0.0028	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9τ	0.9877	0.4003	0.1223	0.0284	0.0050	0.0007	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10τ	1.0000	0.4453	0.1504	0.0394	0.0080	0.0013	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15τ	0.7071	0.5277	0.2685	0.1074	0.0351	0.0095	0.0021	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20τ	0.0000	0.3405	0.2847	0.1599	0.0715	0.0268	0.0086	0.0024	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
25τ	-0.7071	0.0200	0.1737	0.1577	0.0954	0.0464	0.0192	0.0069	0.0022	0.0006	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30τ	-1.0000	-0.3500	-0.0089	0.0951	0.0902	0.0575	0.0298	0.0132	0.0052	0.0019	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
35τ	-0.7071	-0.4605	-0.1626	0.0033	0.0561	0.0534	0.0352	0.0191	0.0090	0.0038	0.0014	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40τ	0.0000	-0.2898	-0.2016	-0.0678	0.0106	0.0355	0.0328	0.0220	0.0123	0.0060	0.0027	0.0010	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45τ	0.7071	-0.0603	-0.1063	-0.0800	-0.0221	0.0135	0.0238	0.0208	0.0140	0.0080	0.0042	0.0020	0.0008	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50τ	1.0000	0.3830	0.0651	-0.0284	-0.0247	-0.0015	0.0131	0.0165	0.0136	0.0091	0.0053	0.0028	0.0013	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
55τ	0.7071	0.4882	0.2104	0.0547	0.0026	-0.0011	0.0067	0.0116	0.0117	0.0091	0.0060	0.0035	0.0018	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60τ	0.0000	0.3133	0.2428	0.1189	0.0423	0.0134	0.0078	0.0090	0.0096	0.0084	0.0062	0.0040	0.0023	0.0012	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
65τ	-0.7071	-0.0308	0.1424	0.1252	0.0701	0.0321	0.0152	0.0101	0.0088	0.0071	0.0061	0.0043	0.0028	0.0016	0.0007	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70τ	-1.0000	-0.3650	-0.0332	0.0689	0.0683	0.0435	0.0240	0.0139	0.0096	0.0075	0.0060	0.0043	0.0028	0.0017	0.0009	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
75τ	-0.7071	-0.4722	-0.1818	-0.0781	0.0374	0.0403	0.0286	0.0180	0.0116	0.0082	0.0060	0.0043	0.0028	0.0017	0.0009	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
80τ	0.0000	-0.2490	-0.2771	-0.0885	-0.0055	0.0235	0.0258	0.0198	0.0136	0.0093	0.0065	0.0045	0.0029	0.0017	0.0009	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
85τ	0.7071	0.0528	-0.1190	-0.0947	-0.0360	0.0024	0.0169	0.0179	0.0143	0.0102	0.0071	0.0049	0.0032	0.0020	0.0011	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
90τ	1.0000	0.3768	0.0545	-0.0409	-0.0368	-0.0174	0.0065	0.0131	0.0130	0.0104	0.0076	0.0053	0.0036	0.0020	0.0012	0.0005	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
95τ	0.7071	0.4829	0.2014	0.0439	0.0080	0.0101	0.0003	0.0080	0.0105	0.0097	0.0077	0.0056	0.0038	0.0025	0.0014	0.0007	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
100τ	0.0000	0.3088	0.2352	0.1095	0.0330	0.0050	0.0017	0.0053	0.0081	0.0085	0.0074	0.0057	0.0041	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
105τ	-0.7071	-0.0436	0.1358	0.1171	0.0617	0.0246	0.0094	0.0064	0.0069	0.0074	0.0069	0.0056	0.0041	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
110τ	-1.0000	-0.3683	-0.0389	0.0618	0.0610	0.0369	0.0187	0.0102	0.0076	0.0069	0.0063	0.0053	0.0044	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
115τ	-0.7071	-0.4750	-0.1868	-0.0243	0.0308	0.0342	0.0236	0.0145	0.0095	0.0073	0.0062	0.0052	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
120τ	0.0000	-0.3044	-0.2215	-0.0912	-0.0115	0.0179	0.0211	0.0163	0.0114	0.0083	0.0065	0.0052	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
125τ	0.7071	0.0506	-0.1228	-0.0898	-0.0415	0.0028	0.0124	0.0145	0.0121	0.0091	0.0070	0.0053	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
130τ	1.0000	0.3748	0.0510	-0.0455	-0.0477	-0.0161	0.0023	0.0089	0.0109	0.0093	0.0073	0.0055	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
135τ	0.7071	0.4872	0.1983	0.0398	-0.0025	-0.0145	0.0036	0.0049	0.0084	0.0085	0.0072	0.0055	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
140τ	0.0000	0.3073	0.2324	0.1058	0.0289	0.0009	0.0020	0.0024	0.0060	0.0071	0.0067	0.0055	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
145τ	-0.7071	-0.0460	0.1332	0.1137	0.0579	0.0208	0.0060	0.0035	0.0048	0.0060	0.0060	0.0052	0.0040	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
150τ	-1.0000	-0.3696	-0.0443	0.0587	0.0575	0.0333	0.0154	0.0075	0.0055	0.0055	0.0055	0.0048	0.0039	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
155τ	-0.7071	-0.4763	-0.1891	-0.0272	0.0276	0.0370	0.0206	0.0119	0.0074	0.0058	0.0052	0.0046	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
160τ	0.0000	-0.3026	-0.2236	-0.0838	-0.0145	0.0148	0.0183	0.0138	0.0094	0.0068	0.0054	0.0045	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
165τ	0.7071	0.0495	-0.1249	-0.1023	-0.0443	-0.0057	0.0098	0.0122	0.0101	0.0076	0.0059	0.0046	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
170τ	1.0000	0.3738	0.0492	-0.0478	-0.0444	-0.0188	-0.0002	0.0077	0.0089	0.0078	0.0062	0.0048	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
175τ	0.7071	0.4802	0.1966	0.0388	-0.0105	-0.0159	-0.0059	0.0028	0.0066	0.0070	0.0061	0.0048	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
180τ	0.0000	0.3067	0.2316	0.1054	0.0285	0.0000	-0.0035	0.0005	0.0042	0.0057	0.0056	0.0048	0.0037	0.0027	0.0016	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000

$$r=1, \quad \theta=\sin t, \quad (t>0)$$

$$t=0, \quad \theta=0, \quad (r>1)$$

となる。この場合の結果はこれを第2表に示す。ただし $\kappa=1/30\pi$ とする。したがって時間間隔は $\tau=\pi/20$ となる。

計算例(その 3)——相異なる固体から成る異層固体において、初めの温度が共に 0 で、 $r=1.0$ より $r=1.5$ までは 1 物質 (記号に添字 1 を附す) より成り、 $r=1.5$ 以上は他の物質 (添字 2 を附す) より成る異層固体において、表面 $r=1$ は一定温度(単位温度)に保たれている場合の不定常熱伝導。

本例はいまだ理論的には解が得られていないが、本法を用いれば、計算例(その 1)の結果から簡単に解を求めることができる。すなわち、たとえば $\kappa_2/\kappa_1=4$ とすれば、 $s_2=\sqrt{6\kappa_2\tau}=2\sqrt{6\kappa_1\tau}=2s_1=0.2$ となり、したがって τ 時間後の平均距離は物質 2 については物質 1 に対するよりも 2 倍に取って計算すれば所要の温度

分布を求めることができる。その結果はこれを第2図に示す。

4. 結 言

本論文においては、円柱形の穴を有する固体に対する不定常熱伝導の近似計算を、高橋氏の方法を拡張して行った。その基本式として式(1)を導き、これを式(3)の形に変形して実際計算に使用した。円柱形の穴を有する無限固体の不定常熱伝導は、理論的に解が得られたとしても、それは非常に複雑となり、これを簡単に計算することは容易ではない。本法を適用すれば近似的ながら非常に簡単に、だいたいの傾向は知ることができる。

本論文では差し当り、一次元円柱熱流についてのみ検討したが温度が半径 r のみならず、長さ z のかん数である場合に対しても解くことは可能であり、また球の場合には高橋氏の提案せる一次元平均式⁽⁷⁾にて容易に解が得られることを附言して置く。

注:—

- (1) 昭和 24 年 4 月 5 日 第 26 期定時總會講演會において講演、
原稿受付 昭和 26 年 5 月 14 日。
- (2) 正員、都立機械工業専門學校。
- (3) 高橋、氣象集誌、第 2 輯、19 卷 (昭 16)、p. 321。
- (4) 高橋、氣象集誌、第 2 輯、19 卷 (昭 16)、p. 418。
- (5) Goldstein, Proc. London Math. Soc. (2) XXXIV. p. 53 (1932)。
- (6) Carslaw & Jaeger, Phil. Mag., 26, (1938) p. 473. ただし
表面 $r=1$ における周期的温度變化は $\theta=\cos t$ の形で與えている。
- (7) 注(3)参照。

621-59-71:536.2

ブレーキの温度上昇に関する一計算⁽¹⁾

樋 口 健 治⁽²⁾

A Calculation on the Temperature Rising of Brake

by Kenji HIGUCHI

As to the brake of rotating machines, it must be sure that the work done in braking action transforms into heat energy. Therefore, if the generated heat is dispersed by temperature rising of brake and reflection from the outer surface, this phenomenon is a problem of heat conduction in solid bodies.

By way of the severe example, heating of automobile brakes is the most suitable. And in the case of this calculation, since the ratio (radius and thickness of brake) is probably small, the effect of curvature and edge effect may be ignored and the equation for plane faces used.

According to a numerical evaluation it has been found that the rising tendency in temperature of the working surface is extremely high when the car stops.