

圓筒形水槽構造物の液壓應力及び 温度應力計算數値表

正 員 北海道大學教授 工博 酒 井 忠 明

要 旨

下部固定または底盤が比較的厚くて下部固定とみなしうる円筒形水槽において、その壁厚が直線的变化をなす場合の液圧または土圧による応力及び温度変化による応力をただちに計算することのできる數値表を作製したものである。

1 液壓應力及び温度應力計算數値表 とその使用法

水槽の諸寸法の記号を 図-1 に示すごとくあらわし、また

E, ν : 壁体材料の弾性係数及びポアソン比

γ : 水槽中の液体の単位体積の重量

ε : 壁体材料の線膨脹係数

M_x, Q_x : 単位幅の壁体の水平断面に作用する曲げモーメント及び剪断力

N_φ, M_φ : 単位高の壁体の垂直断面に作用する引張周辺力及び曲げモーメント

とする。なお M_x, Q_x, N_φ 及び M_φ は図示の方向を正にとる。

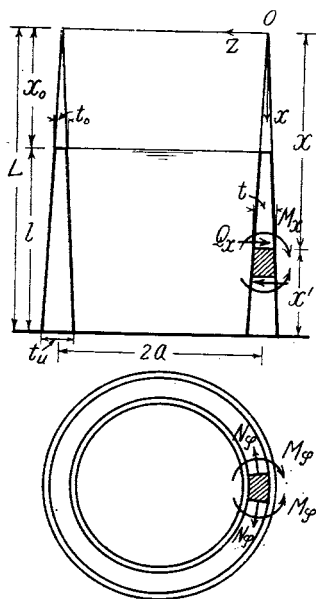


図-1

しかるとき液圧によるこれらの応力は

$$\left. \begin{aligned} M_x &= \gamma l^3 K_1 \\ Q_x &= \gamma l^2 K_2 \\ N_\varphi &= \gamma a l \left(1 - \frac{x'}{l} - K_3\right) \\ M_\varphi &= \nu M_x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_{M_0} + (K_{M_1} - K_{M_0}) \frac{l}{L} \\ K_2 &= K_{Q_0} + (K_{Q_1} - K_{Q_0}) \frac{l}{L} \\ K_3 &= K_{N_0} + (K_{N_1} - K_{N_0}) \frac{l}{L} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

又壁体が一様に温度が T 度上昇した場合生ずる温度応力は

$$\left. \begin{aligned} M_x &= E \varepsilon T l^2 \frac{t_u}{a} K_4 \\ Q_x &= E \varepsilon T l \frac{t_u}{a} K_5 \\ N_\varphi &= -E \varepsilon T t_u K_6 \\ M_\varphi &= \nu M_x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} K_4 &= K_{MT} + (K_{M_1} - K_{MT}) \frac{l}{L} \\ K_5 &= K_{QT} + (K_{Q_1} - K_{QT}) \frac{l}{L} \\ K_6 &= K_{NT} + (K_{N_1} - K_{NT}) \frac{l}{L} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

(2)及び(4)式中の $K_{M_0}, K_{M_1}, \dots\dots\dots K_{NT}$ は、

$$\frac{1}{\beta l} = \frac{1}{\sqrt[4]{3(1-\nu^2)}} \frac{a}{l} \sqrt{\frac{t_u}{a}} \dots\dots\dots (5)$$

とすると、この $1/\beta l$ と x'/l の函数であり、 $1/\beta l$ の諸種の値に対し、 x'/l が 0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3 1 なる壁体諸点におけるこれ等の K の値を表示したものが 表-1 である。なお普通的水槽構造物の寸法は大体 $1/\beta l$ が 0.20 以下であり、従つてこれ等の表には $1/\beta l$ が 0~0.20 に対するものを示してある。

壁厚一定の水槽構造物に対しては $l/L = 0$ であり従つて

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= K_{M_0}, K_2 = K_{Q_0}, K_3 = K_{N_0} \\ K_4 &= K_{MT}, K_5 = K_{QT}, K_6 = K_{NT} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

又壁体上端の厚さが0なる場合には $l/L = 1$ であり従つて

$$\begin{aligned} K_1 &= K_4 = K_{M_1}, K_2 = K_5 = K_{Q_1}, K_3 = K_6 \\ &= K_{N_1}, \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

地中埋設の水槽構造物において外周土圧による応力を求める場合にも 表-1 の数値表にそのまま使用できる。ただしこの場合には、ランキン土圧公式を用いるものとすれば(1)式中の r の代りに $-r(1-\sin\phi)/(1+\sin\phi)$ としこの式中の r としては土の単位重量をとりまた ϕ は土の摩擦角とする。

2 計算例-1

比較的 $1/\beta l$ の大なる場合の例として $\alpha = l$, $\alpha = 20t_u$, $t_0 = 0$, $\nu = 0$ なる鉄筋コンクリート水槽を考える。この例題においては $l/L = 1$, $1/\beta l = 0.17$ である。従つてまた $K_1 = K_{M_1}$, $K_2 = K_{Q_1}$, $K_3 = K_{N_1}$ であり 表-1 の応力計算数値表よりこれ等の値を求め液圧応力を見出せば 表-2 に示すごとくなる。

表-2

$\frac{x'}{l}$	M_x	Q_x	N_φ
0.	$1.263 \times 10^{-2} r l^3$	$1.498 \times 10^{-1} r l^2$	0
0.02	0.983	1.300	0.011
0.05	0.636	1.021	0.062
0.10	0.229	0.622	0.198
0.15	-0.003	0.322	0.352
0.20	-0.110	0.120	0.486
0.30	-0.122	-0.054	0.636
0.40	-0.055	-0.061	0.629
0.50	-0.012	-0.026	0.532
0.60	0.001	-0.004	0.412
0.80	0.0002	0.0006	0.1989
1	0	0	0

なおまたこの例題のごとく壁体頂端の厚さが0なる場合には $K_1 = K_4 = K_{M_1}$, $K_2 = K_5 = K_{Q_1}$, $K_3 = K_6 = K_{N_1}$ であり従つて壁体諸点における M_x と Q_x に関しては温度応力と液圧応力の比 k は

$$k = \frac{E \varepsilon T l^2 \frac{t_u}{a}}{r l^3}$$

となる。鉄筋コンクリート水槽において

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2, \varepsilon = 1 \times 10^{-5}, T = +15^\circ\text{C}$$

とし、又 $r = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ とすれば、この例題においては $t_u/a = 1/20$ であるので水槽の高さ l が 10 m, 15 m 及び 20 m の場合 k は夫々 1.575, 1.050, 0.787 となる。このように水槽構造物においてはその下端固定の場合温度変化による応力は極めて大となることに留意する必要がある。

3 計算例-2

$\alpha = 800 \text{ cm}$, $l = 1530 \text{ cm}$, $t_u = 50 \text{ cm}$, $t_0 = 25 \text{ cm}$, $\nu = 1/6$ なる鉄筋コンクリート水槽を考える。この例題においては $l/L = 1/2$, $1/\beta l = 0.10$ である。 l/L が $1/2$ であるから (2)及び(4)式の関係は次の如くなる。

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{1}{2} (K_{M_0} + K_{M_1}), K_2 = \frac{1}{2} (K_{Q_0} + K_{Q_1}) \\ K_3 &= \frac{1}{2} (K_{N_0} + K_{N_1}), K_4 = \frac{1}{2} (K_{MT} + K_{M_1}) \\ K_5 &= \frac{1}{2} (K_{QT} + K_{Q_1}), K_6 = \frac{1}{2} (K_{NT} + K_{N_1}) \end{aligned}$$

従つて応力計算数値表を用い $K_1 \sim K_6$ を求めれば表-3 に示すごとくなる。この計算において単位を cm と kg にとり又 $r = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ とすれば

$$\begin{aligned} r l^3 &= 1 \times 10^{-3} \times 1530^3 = 3.582 \times 10^6 \text{ kg-cm/cm} \\ r l^2 &= 1 \times 10^{-3} \times 1520^2 = 2.341 \times 10^3 \text{ kg/cm} \\ r \alpha l &= 1 \times 10^{-3} \times 800 \times 1530 = 1.224 \times 10^3 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

又 E , ε , T を前例題のごとくとれば

$$\begin{aligned} E \varepsilon T l^2 \frac{t_u}{a} &= 4.609 \times 10^6 \text{ kg-cm/cm} \\ E \varepsilon T l \frac{t_u}{a} &= 3.012 \times 10^3 \text{ kg/cm} \\ -E \varepsilon T t_u &= -1.575 \times 10^3 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

これ等の値に $K_1 \sim K_6$ の値をかけて、壁巾 1 cm に対する水平断面内の曲げモーメント M_x 及び剪断力 Q_x と高さ 1 cm に対する垂直断面内の水平引張周辺力 N_φ を求めうることとなりこの結果は表-4 に示すごとくなる。

表-3

$\frac{x'}{l}$	K_1	K_2	K_3	$1 - \frac{x'}{l} - K_3$	K_4	K_5	K_6
0	0.456×10^{-2}	0.939×10^{-1}	1.	0	0.481×10^{-2}	0.964×10^{-1}	1
0.02	0.288	0.743	0.948	0.032	0.308	0.767	0.956
0.05	0.106	0.481	0.791	0.159	0.119	0.501	0.805
0.10	-0.049	0.166	0.467	0.433	-0.044	0.179	0.483
0.15	-0.086	0.003	0.202	0.648	-0.085	0.009	0.213
0.20	-0.070	-0.054	0.043	0.757	-0.071	-0.052	0.049
0.30	-0.018	-0.037	-0.041	0.741	-0.019	-0.038	-0.040
0.40	0.002	-0.006	-0.018	0.618	0.001	-0.007	-0.018
0.50	0.002	0.002	-0.001	0.501	0.002	0.002	-0.001
0.60	0.001	0.001	0.001	0.399	0.001	0.001	0.001
0.80	-0.000	-0.000	0.000	0.200	-0.000	-0.000	0.000
1	0	0	-0.000	0	0	0	-0.000

表—1 円筒形水槽構造物

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{M_0}	K_{M_1}	K_{Q_0}	K_{Q_1}	K_{N_0}
0.01	0	0.0049×10^{-2}	0.0050×10^{-2}	0.0995×10^{-1}	0.0992×10^{-1}	1
	0.02	0.0009	0.0009	0.0057	0.0056	0.0655
	0.05	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	-0.0045
	0.10	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001
0.02	0	0.0196	0.0197	0.1980	0.1970	1
	0.02	-0.0023	-0.0020	0.0387	0.0381	0.5021
	0.05	-0.0023	-0.0020	-0.0131	-0.0124	-0.0176
	0.10	0.0002	0.0001	0.0004	0.0004	-0.0044
	0.15	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0007
	0.20	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.03	0	0.0436	0.0440	0.2955	0.2933	1
	0.02	0.0033	0.0041	0.1178	0.1159	0.7115
	0.05	-0.0092	-0.0082	0.0045	-0.0061	0.1643
	0.10	-0.0012	-0.0009	-0.0103	-0.0085	-0.0416
	0.15	0.0004	0.0003	0.0006	0.0007	-0.0044
	0.20	0.0000	0.0000	0.0003	0.0002	0.0016
	0.30	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000
0.04	0	0.0768	0.0776	0.3920	0.3882	1
	0.02	0.0176	0.0192	0.2063	0.2027	0.8114
	0.05	-0.0148	-0.0124	0.0332	0.0316	0.3513
	0.10	-0.0090	-0.0071	-0.0262	-0.0231	-0.0186
	0.15	-0.0004	-0.0001	-0.0075	-0.0050	-0.0322
	0.20	0.0007	0.0004	0.0008	0.0009	-0.0043
	0.30	-0.0000	-0.0000	0.0001	-0.0000	0.0007
0.05	0	0.1187	0.1203	0.4875	0.4816	1
	0.02	0.0407	0.0434	0.2977	0.2920	0.8654
	0.05	-0.0151	-0.0108	0.0942	0.0891	0.4928
	0.10	-0.0221	-0.0175	-0.0290	-0.0264	0.0606
	0.15	-0.0067	-0.0044	-0.0241	-0.0187	-0.0426
	0.20	0.0003	0.0005	-0.0057	-0.0028	-0.0251
	0.30	0.0004	0.0001	0.0012	0.0005	0.0017
	0.40	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0003
0.06	0	0.1692	0.1719	0.5820	0.5736	1
	0.02	0.0724	0.0763	0.3898	0.3816	0.8975
	0.05	-0.0085	-0.0018	0.1643	0.1577	0.5946
	0.10	-0.0369	-0.0286	-0.0139	-0.0132	0.1537
	0.15	-0.0200	-0.0138	-0.0392	-0.0322	-0.0196
	0.20	-0.0047	-0.0023	-0.0203	-0.0133	-0.0414
	0.30	0.0015	0.0006	0.0012	0.0012	-0.0042
	0.40	0.0001	-0.0000	0.0007	0.0001	0.0016
	0.50	-0.0000	-0.0000	0.0001	-0.0000	0.0001
0.07	0	0.2278	0.2322	0.6755	0.6642	1
	0.02	0.1124	0.1190	0.4818	0.4707	0.9180
	0.05	0.0057	0.0155	0.2420	0.2324	0.6681
	0.10	-0.0504	-0.0375	0.0171	0.0150	0.2546
	0.15	-0.0386	-0.0270	-0.0453	-0.0385	0.0270
	0.20	-0.0165	-0.0095	-0.0376	-0.0272	-0.0401
	0.30	0.0018	0.0012	-0.0035	-0.0002	-0.0173
	0.40	0.0011	0.0002	0.0019	0.0007	0.0011
	0.50	-0.0000	-0.0000	0.0003	-0.0000	0.0011
	0.60	-0.0001	0.0000	-0.0001	-0.0000	0.0000
0.08	0	0.2944	0.3009	0.7680	0.7535	1
	0.02	0.1605	0.1699	0.5733	0.5590	0.9318
	0.05	0.0276	0.0411	0.3233	0.3103	0.7222
	0.10	-0.0604	-0.0419	0.0607	0.0491	0.3405
	0.15	-0.0603	-0.0417	-0.0400	-0.0348	0.0892
	0.20	-0.0351	-0.0211	-0.0521	-0.0396	-0.0206
	0.30	-0.0014	0.0004	-0.0144	-0.0057	-0.0317
	0.40	0.0026	0.0007	0.0017	0.0014	-0.0040
	0.50	0.0006	-0.0000	0.0015	0.0001	0.0019
	0.60	-0.0001	-0.0000	0.0001	-0.0000	0.0007
	0.70	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0000

の 応 力 計 算 数 値 表

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{N_1}	K_{MT}	K_{QT}	K_{NT}
0.01	0	1	0.0050×10^{-2}	0.1000×10^{-1}	1
	0.02	0.0630	-0.0009	-0.0056	0.0667
	0.05	-0.0037	0.0000	0.0002	-0.0045
	0.10	-0.0001	-0.0000	-0.0000	-0.0001
0.02	0	1	0.0200	0.2000	1
	0.02	0.4980	-0.0022	0.0398	0.5083
	0.05	-0.0201	-0.0023	-0.0132	-0.0166
	0.10	-0.0023	0.0002	0.0004	-0.0045
	0.15	0.0004	-0.0000	0.0000	0.0007
	0.20	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001
0.03	0	1	0.0450	0.3000	1
	0.02	0.7081	0.0039	0.1210	0.7210
	0.05	0.1558	-0.0093	-0.0054	0.1699
	0.10	-0.0392	-0.0013	-0.0105	-0.0418
	0.15	-0.0021	0.0004	0.0006	-0.0045
	0.20	0.0011	0.0000	0.0004	0.0016
	0.30	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0001
0.04	0	1	0.0800	0.4000	1
	0.02	0.8087	0.0193	0.2129	0.8231
	0.05	0.3411	-0.0145	0.0361	0.3622
	0.10	-0.0232	-0.0092	-0.0263	-0.0166
	0.15	-0.0270	-0.0005	-0.0077	-0.0327
	0.20	-0.0014	0.0007	0.0008	-0.0045
	0.30	0.0002	-0.0000	0.0001	0.0007
0.05	0	1	0.1250	0.5000	1
	0.02	0.8631	0.0445	0.3037	0.8784
	0.05	0.4826	-0.0138	0.0994	0.5083
	0.10	0.0487	-0.0224	-0.0282	0.0667
	0.15	-0.0412	-0.0070	-0.0246	-0.0423
	0.20	-0.0183	0.0002	-0.0060	-0.0258
	0.30	0.0016	0.0004	0.0012	0.0017
	0.40	-0.0001	-0.0000	-0.0000	0.0003
0.06	0	1	0.1800	0.6000	1
	0.02	0.8956	0.0797	0.4063	0.9115
	0.05	0.5850	-0.0053	0.1753	0.6139
	0.10	0.1420	-0.0371	-0.0108	0.1699
	0.15	-0.0260	-0.0207	-0.0395	-0.0166
	0.20	-0.0359	-0.0075	-0.0210	-0.0282
	0.30	-0.0002	0.0015	0.0011	-0.0045
	0.40	0.0006	0.0001	0.0007	0.0016
	0.50	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0001
0.07	0	1	0.2450	0.7000	1
	0.02	0.9163	0.1248	0.5047	0.9328
	0.05	0.6593	0.0120	0.2589	0.6906
	0.10	0.2353	-0.0498	0.0238	0.2712
	0.15	0.0142	-0.0397	-0.0445	0.0357
	0.20	-0.0404	-0.0174	-0.0386	-0.0390
	0.30	-0.0085	0.0045	0.0040	-0.0068
	0.40	0.0016	0.0011	0.0019	0.0010
	0.50	0.0001	-0.0000	0.0004	0.0011
0.08	0.60	-0.0000	-0.0001	-0.0001	0.0000
	0	1	0.3200	0.8000	1
	0.02	0.9304	0.1798	0.6037	0.9473
	0.05	0.7141	0.0387	0.3473	0.7473
	0.10	0.3201	-0.0581	0.0723	0.3622
	0.15	0.0685	-0.0615	-0.0368	0.1004
	0.20	-0.0285	-0.0368	-0.0526	-0.0166
	0.30	-0.0207	-0.0019	-0.0154	-0.0327
	0.40	0.0007	0.0027	0.0015	-0.0045
	0.50	0.0007	0.0006	0.0016	0.0019
	0.60	-0.0001	-0.0001	0.0002	0.0007
	0.70	-0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0000

表 1

$\frac{1}{\beta l}$	x' l	K_{M_0}	K_{M_1}	K_{Q_0}	K_{Q_1}	K_{N_0}
0.09	0	0.3685×10^{-2}	0.3778×10^{-2}	0.8595×10^{-1}	0.8414×10^{-1}	1
	0.02	0.2164	0.2293	0.6642	0.6462	0.9416
	0.05	0.0571	0.0753	0.4066	0.3903	0.7627
	0.10	-0.0657	-0.0406	0.1136	0.1040	0.4145
	0.15	-0.0828	-0.0559	-0.0231	-0.0208	0.1530
	0.20	-0.0591	-0.0361	-0.0600	-0.0472	0.0127
	0.30	-0.0102	-0.0031	-0.0298	-0.0150	-0.0412
	0.40	0.0034	0.0014	-0.0022	0.0011	-0.0134
	0.50	0.0021	0.0003	0.0026	0.0007	0.0005
	0.60	0.0002	-0.0000	0.0010	-0.0000	0.0016
	0.70	-0.0001	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0004
	1	0	0	0	0	0
0.10	0	0.4500	0.4627	0.9500	0.9279	1
	0.02	0.2798	0.2969	0.7542	0.7322	0.9488
	0.05	0.0941	0.1177	0.4911	0.4703	0.7940
	0.10	-0.0653	-0.0327	0.1733	0.1595	0.4774
	0.15	-0.1042	-0.0676	0.0039	0.0024	0.2161
	0.20	-0.0869	-0.0529	-0.0597	-0.0482	0.0544
	0.30	-0.0257	-0.0100	-0.0472	-0.0267	-0.0430
	0.40	0.0015	0.0016	-0.0107	-0.0015	-0.0244
	0.50	0.0041	0.0007	0.0021	0.0014	-0.0039
	0.60	0.0014	-0.0000	0.0023	0.0001	0.0018
	0.70	0.0000	-0.0000	0.0006	0.0000	0.0012
	0.80	-0.0002	0.0000	-0.0001	-0.0000	0.0003
	0.90	-0.0001	0.0000	-0.0001	0.0000	-0.0001
	1	0	0	0	0	-0.0001
0.11	0	0.5384	0.5554	1.0395	1.0131	1
	0.02	0.3503	0.3726	0.8433	0.8170	0.9542
	0.05	0.1385	0.1685	0.5759	0.5508	0.8183
	0.10	-0.0590	-0.0177	0.2381	0.2195	0.5305
	0.15	-0.1231	-0.0755	0.0395	0.0337	0.2753
	0.20	-0.1170	-0.0697	-0.0509	-0.0419	0.1009
	0.30	-0.0481	-0.0205	-0.0638	-0.0387	-0.0364
	0.40	-0.0049	0.0004	-0.0233	-0.0067	-0.0343
	0.50	0.0054	0.0014	-0.0012	0.0016	-0.0111
	0.60	0.0035	0.0001	0.0032	0.0006	0.0001
	0.70	0.0008	-0.0000	0.0018	-0.0000	0.0019
	0.80	-0.0001	-0.0000	0.0003	-0.0000	0.0009
	0.90	-0.0001	0.0000	-0.0002	0.0000	0.0001
	1	0	0	0	0	-0.0004
0.12	0	0.6336	0.6557	1.1280	1.0970	1
	0.02	0.4250	0.4561	0.9315	0.9007	0.9583
	0.05	0.1899	0.2273	0.6608	0.6310	0.8376
	0.10	-0.0464	0.0046	0.3065	0.2829	0.5753
	0.15	-0.1385	-0.0785	0.0881	0.0715	0.3296
	0.20	-0.1468	-0.0854	-0.0339	-0.0287	0.1474
	0.30	-0.0770	-0.0342	-0.0777	-0.0496	-0.0225
	0.40	-0.0173	-0.0029	-0.0390	-0.0142	-0.0410
	0.50	0.0044	0.0019	-0.0081	0.0007	-0.0197
	0.60	0.0058	0.0005	0.0026	0.0014	-0.0038
	0.70	0.0026	0.0001	0.0030	0.0001	0.0016
	0.80	0.0005	-0.0000	0.0012	-0.0000	0.0017
	0.90	-0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006
	1	0	0	0	0	-0.0005
0.13	0	0.7351	0.7633	1.2155	1.1796	1
	0.02	0.5118	0.5471	1.0188	0.9830	0.9616
	0.05	0.2480	0.2940	0.7454	0.7107	0.8532
	0.10	-0.0276	0.0345	0.3774	0.3486	0.6133
	0.15	-0.1498	-0.0761	0.1411	0.1147	0.3786
	0.20	-0.1762	-0.0935	-0.0097	-0.0089	0.1936
	0.30	-0.1114	-0.0504	-0.0875	-0.0579	-0.0028
	0.40	-0.0363	-0.0037	-0.0562	-0.0235	-0.0434
	0.50	-0.0003	0.0018	-0.0186	-0.0017	-0.0233
	0.60	0.0075	0.0010	-0.0004	0.0016	-0.0095
	0.70	0.0041	0.0001	0.0037	0.0003	-0.0002
	0.80	0.0018	-0.0000	0.0025	-0.0000	0.0019
	0.90	0.0001	-0.0000	0.0007	-0.0000	0.0013
	1	0	0	0	0	0.0002

(つづき)

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{N_1}	K_{MT}	K_{QT}	K_{NT}
0.09	0	1	0.4050×10^{-2}	0.9000×10^{-1}	1
	0.02	0.9404	0.2448	0.7030	0.9575
	0.05	0.7561	0.0749	0.4386	0.7899
	0.10	0.3938	-0.0603	0.1314	0.4408
	0.15	0.1285	-0.0835	-0.0163	0.1699
	0.20	-0.0029	-0.0615	-0.0591	0.0205
	0.30	-0.0320	-0.0114	-0.0315	-0.0418
	0.40	-0.0035	0.0033	-0.0028	-0.0144
	0.50	0.0015	0.0001	0.0026	0.0054
	0.60	0.0001	0.0003	0.0006	0.0016
	0.70	-0.0000	-0.0002	0.0000	0.0004
	1	0	0	0	0
0.10	0	1	0.5000	1.0000	1
	0.02	0.9476	0.3199	0.8024	0.9651
	0.05	0.7871	0.1207	0.5323	0.8231
	0.10	0.4569	-0.0554	0.1988	0.5083
	0.15	0.1885	-0.1034	0.0158	0.2384
	0.20	0.0320	-0.0897	-0.0563	0.0667
	0.30	-0.0385	-0.0282	-0.0493	-0.0423
	0.40	-0.0107	0.0009	-0.0120	-0.0258
	0.50	0.0013	0.0042	0.0019	-0.0045
	0.60	0.0007	0.0015	0.0024	0.0017
	0.70	-0.0000	0.0000	-0.0006	0.0013
	0.80	-0.0000	-0.0002	-0.0001	0.0003
0.11	0	1	0.6050	1.1000	1
	0.02	0.9531	0.4049	0.9020	0.9707
	0.05	0.8120	0.1765	0.6274	0.8491
	0.10	0.5103	-0.0425	0.2723	0.5654
	0.15	0.2459	-0.1196	0.0578	0.3028
	0.20	0.0724	-0.1197	-0.0437	0.1188
	0.30	-0.0387	-0.0521	-0.0658	-0.0335
	0.40	-0.0193	-0.0065	-0.0255	-0.0357
	0.50	-0.0007	0.0053	-0.0019	-0.0122
	0.60	0.0012	0.0036	0.0032	-0.0003
	0.70	0.0001	0.0010	0.0019	0.0019
	0.80	-0.0000	-0.0001	0.0004	0.0010
0.12	0	1	0.7200	1.2000	1
	0.02	0.9573	0.4999	1.0017	0.9752
	0.05	0.8317	0.2419	0.7234	0.8697
	0.10	0.5560	-0.0212	0.3507	0.6139
	0.15	0.2992	-0.1307	0.1084	0.3622
	0.20	0.1152	-0.1484	-0.0217	0.1699
	0.30	-0.0324	-0.0827	-0.0789	-0.0166
	0.40	-0.0275	-0.0203	-0.0420	-0.0418
	0.50	-0.0047	0.0038	-0.0097	-0.0213
	0.60	0.0014	0.0060	0.0023	-0.0046
	0.70	0.0005	0.0028	0.0031	0.0014
	0.80	-0.0000	0.0006	0.0013	0.0017
0.13	0	1	0.8450	1.3000	1
	0.02	0.9606	0.6049	1.1015	0.9787
	0.05	0.8477	0.3174	0.8203	0.8864
	0.10	0.5947	0.0090	0.4328	0.6552
	0.15	0.3477	-0.1358	0.1661	0.4161
	0.20	0.1582	-0.1756	0.0090	0.2215
	0.30	-0.0203	-0.1187	-0.0869	0.0068
	0.40	-0.0338	-0.0414	-0.0598	-0.0430
	0.50	-0.0101	-0.0021	-0.0212	-0.0301
	0.60	0.0008	0.0075	-0.0013	-0.0108
	0.70	0.0009	0.0054	0.0037	-0.0007
	0.80	0.0000	0.0021	0.0027	0.0019
0.14	0	1	0.9700	1.4000	1
	0.02	0.9606	0.6049	1.1015	0.9787
	0.05	0.8477	0.3174	0.8203	0.8864
	0.10	0.5947	0.0090	0.4328	0.6552
	0.15	0.3477	-0.1358	0.1661	0.4161
	0.20	0.1582	-0.1756	0.0090	0.2215
	0.30	-0.0203	-0.1187	-0.0869	0.0068
	0.40	-0.0338	-0.0414	-0.0598	-0.0430
	0.50	-0.0101	-0.0021	-0.0212	-0.0301
	0.60	0.0008	0.0075	-0.0013	-0.0108
	0.70	0.0009	0.0054	0.0037	-0.0007
	0.80	0.0000	0.0021	0.0027	0.0019
0.15	0	1	1.1000	1.5000	1
	0.02	0.9531	0.4049	0.9020	0.9707
	0.05	0.8120	0.1765	0.6274	0.8491
	0.10	0.5103	-0.0425	0.2723	0.5654
	0.15	0.2459	-0.1196	0.0578	0.3028
	0.20	0.0724	-0.1197	-0.0437	0.1188
	0.30	-0.0387	-0.0521	-0.0658	-0.0335
	0.40	-0.0193	-0.0065	-0.0255	-0.0357
	0.50	-0.0007	0.0053	-0.0019	-0.0122
	0.60	0.0012	0.0036	0.0032	-0.0003
	0.70	0.0001	0.0010	0.0019	0.0019
	0.80	-0.0000	-0.0001	0.0004	0.0010
0.16	0	1	1.2300	1.6000	1
	0.02	0.9476	0.3199	0.8024	0.9651
	0.05	0.7871	0.1207	0.5323	0.8231
	0.10	0.4569	-0.0554	0.1988	0.5083
	0.15	0.1885	-0.1034	0.0158	0.2384
	0.20	0.0320	-0.0897	-0.0563	0.0667
	0.30	-0.0385	-0.0282	-0.0493	-0.0423
	0.40	-0.0107	0.0009	-0.0120	-0.0258
	0.50	0.0013	0.0042	0.0019	-0.0045
	0.60	0.0007	0.0015	0.0024	0.0017
	0.70	-0.0000	0.0000	-0.0006	0.0013
	0.80	-0.0000	-0.0002	-0.0001	0.0003
0.17	0	1	1.3600	1.7000	1
	0.02	0.9404	0.2448	0.7030	0.9575
	0.05	0.7561	0.0749	0.4386	0.7899
	0.10	0.3938	-0.0603	0.1314	0.4408
	0.15	0.1285	-0.0835	-0.0163	0.1699
	0.20	-0.0029	-0.0615	-0.0591	0.0205
	0.30	-0.0320	-0.0114	-0.0315	-0.0418
	0.40	-0.0035	0.0033	-0.0028	-0.0144
	0.50	0.0015	0.0001	0.0026	0.0054
	0.60	0.0001	0.0003	0.0006	0.0016
	0.70	-0.0000	-0.0002	0.0000	0.0004
	1	0	0	0	0

表 1

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{M_0}	K_{M_1}	K_{Q_0}	K_{Q_1}	K_{N_0}
0.14	0	0.8428×10^{-2}	0.8780×10^{-2}	1.3020×10^{-1}	1.2606×10^{-1}	1
	0.02	0.6022	0.6456	1.1051	1.0642	0.9642
	0.05	0.3128	0.3684	0.8295	0.7896	0.8659
	0.10	-0.0025	0.0720	0.4501	0.4160	0.6457
	0.15	-0.1564	-0.0675	0.1841	0.1622	0.4226
	0.20	-0.2039	-0.1082	0.0210	0.0166	0.2380
	0.30	-0.1502	-0.0681	-0.0923	-0.0629	0.0213
	0.40	-0.0622	-0.0172	-0.0733	-0.0335	-0.0413
	0.50	-0.0101	0.0007	-0.0321	-0.0053	-0.0356
	0.60	0.0075	0.0016	-0.0062	0.0015	-0.0165
	0.70	0.0079	0.0003	0.0032	0.0007	-0.0037
	0.80	0.0039	-0.0000	0.0039	0.0000	0.0013
	0.90	0.0009	-0.0000	0.0020	-0.0000	0.0021
	1	0	0	0	0	0.0018
0.15	0	0.9562	0.9996	1.3875	1.3410	1
	0.02	0.6986	0.7512	1.1904	1.1441	0.9663
	0.05	0.3837	0.4503	0.9131	0.8677	0.8764
	0.10	0.0287	0.1169	0.5241	0.4842	0.6734
	0.15	-0.1532	-0.0526	0.2410	0.2131	0.4619
	0.20	-0.2239	-0.1136	0.0572	0.0472	0.2798
	0.30	-0.1923	-0.0866	-0.0920	-0.0640	0.0453
	0.40	-0.0956	-0.0283	-0.0898	-0.0438	-0.0348
	0.50	-0.0258	-0.0019	-0.0478	-0.0116	-0.0408
	0.60	0.0041	0.0019	-0.0149	0.0007	-0.0240
	0.70	0.0098	0.0006	0.0008	0.0012	-0.0036
	0.80	0.0063	0.0000	0.0049	0.0001	-0.0005
	0.90	0.0019	-0.0000	0.0035	-0.0000	0.0027
	1	0	0	0	0	0.0042
0.16	0	1.0752	1.1280	1.4720	1.4199	1
	0.02	0.8006	0.8638	1.2748	1.2229	0.9680
	0.05	0.4606	0.5394	0.9960	0.9450	0.8851
	0.10	0.0658	0.1692	0.5989	0.5531	0.6971
	0.15	-0.1549	-0.0311	0.3007	0.2667	0.4969
	0.20	-0.2509	-0.1142	0.0982	0.0820	0.3187
	0.30	-0.2367	-0.1047	-0.0863	-0.0611	0.0770
	0.40	-0.1386	-0.0415	-0.1031	-0.0532	-0.0245
	0.50	-0.0432	-0.0063	-0.0647	-0.0186	-0.0435
	0.60	-0.0037	0.0018	-0.0263	-0.0011	-0.0311
	0.70	0.0099	0.0010	-0.0037	0.0015	-0.0147
	0.80	0.0083	0.0001	0.0049	0.0003	-0.0036
	0.90	0.0029	-0.0000	0.0049	-0.0000	0.0028
	1	0	0	0	0	0.0071
0.17	0	1.1993	1.2628	1.5555	1.4975	1
	0.02	0.9081	0.9831	1.3582	1.3004	1.9694
	0.05	0.5432	0.6356	1.0781	1.0212	1.8925
	0.10	0.1088	0.2288	0.6741	0.6222	0.7177
	0.15	-0.1464	-0.0029	0.3628	0.3223	0.5281
	0.20	-0.2693	-0.1096	0.1431	0.1205	0.3548
	0.30	-0.2824	-0.1218	-0.0756	-0.0541	0.1065
	0.40	-0.1778	-0.0553	-0.1140	-0.0612	-0.0110
	0.50	-0.0772	-0.0125	-0.0817	-0.0265	-0.0435
	0.60	-0.0170	0.0010	-0.0397	-0.0041	-0.0371
	0.70	0.0067	0.0013	-0.0105	0.0014	-0.0211
	0.80	0.0091	0.0002	0.0035	0.0006	-0.0075
	0.90	0.0036	0.0000	0.0059	0.0000	0.0020
	1	0	0	0	0	0.0098
0.18	0	1.3284	1.4038	1.6380	1.5739	1
	0.02	1.0207	1.1089	1.4406	1.3768	0.9707
	0.05	0.6311	0.7387	1.1589	1.0965	0.8987
	0.10	0.1573	0.2956	0.7493	0.6913	0.7355
	0.15	-0.1329	0.0326	0.4266	0.3795	0.5560
	0.20	-0.2839	-0.0993	0.1914	0.1621	0.3880
	0.30	-0.3286	-0.1371	-0.0601	-0.0432	0.1361
	0.40	-0.2269	-0.0727	-0.1216	-0.0673	0.0050
	0.50	-0.1131	-0.0206	-0.0983	-0.0348	-0.0407
	0.60	-0.0365	-0.0007	-0.0548	-0.0073	-0.0418
	0.70	-0.0005	0.0016	-0.0196	0.0009	-0.0276
	0.80	0.0080	0.0004	0.0001	0.0009	-0.0123
	0.90	0.0039	0.0000	0.0059	0.0001	0.0003
	1	0	0	0	0	0.0114

(つづき)

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_N	K_{MT}	K_{QT}	K_{NT}
0.14	0	1	0.9800×10^{-2}	1.4000×10^{-1}	1
	0.02	0.9633	0.7199	1.2013	0.9814
	0.05	0.8607	0.4027	0.9177	0.9001
	0.10	0.6279	0.0482	0.5178	0.6906
	0.15	0.3917	-0.1339	0.2296	0.4647
	0.20	0.2002	-0.1992	0.0476	0.2712
	0.30	-0.0035	-0.1589	-0.0889	0.0351
	0.40	-0.0373	-0.0698	-0.0772	-0.0390
	0.50	-0.0163	-0.0136	-0.0358	-0.0373
	0.60	-0.0011	0.0067	-0.0079	-0.0183
	0.70	0.0013	0.0081	0.0028	-0.0046
	0.80	0.0002	0.0043	0.0040	0.0011
	0.90	-0.0000	0.0011	0.0022	0.0022
0.15	1	0	0	0	0.0021
	0	1	1.1250	1.5000	1
	0.02	0.9654	0.8449	1.3011	0.9837
	0.05	0.8715	0.4980	1.0156	0.9115
	0.10	0.6562	0.0968	0.6053	0.7210
	0.15	0.4312	-0.1246	0.2982	0.5083
	0.20	0.2404	-0.2185	0.0930	0.3182
	0.30	0.0168	-0.2018	-0.0845	0.0667
	0.40	-0.0376	-0.1061	-0.0932	-0.0300
	0.50	-0.0225	-0.0317	-0.0525	-0.0418
	0.60	-0.0041	0.0021	-0.0178	-0.0261
	0.70	0.0013	0.0097	-0.0002	-0.0101
	0.80	0.0005	0.0067	0.0048	-0.0011
	0.90	-0.0000	0.0020	0.0038	0.0027
0.16	1	0	0	0	0.0047
	0	1	1.2800	1.6000	1
	0.02	0.9672	0.9800	1.4010	0.9856
	0.05	0.8805	0.6032	1.1139	0.9211
	0.10	0.6807	0.1547	0.6945	0.7473
	0.15	0.4666	-0.1074	0.3708	0.5474
	0.20	0.2784	-0.2324	0.1445	0.3622
	0.30	0.0397	-0.2461	-0.0735	0.1004
	0.40	-0.0347	-0.1470	-0.1052	-0.0166
	0.50	-0.0280	-0.0572	-0.0701	-0.0434
	0.60	-0.0080	-0.0077	-0.0269	-0.0333
	0.70	0.0007	0.0089	-0.0027	-0.0166
	0.80	0.0009	0.0085	0.0059	-0.0046
	0.90	0.0000	0.0031	0.0055	0.0026
0.17	1	0	0	0	0.0077
	0	1	1.4450	1.7000	1
	0.00	0.9687	1.1249	1.5008	0.9872
	0.05	0.8881	0.7184	1.2124	0.9292
	0.10	0.7020	0.2223	0.7853	0.7701
	0.15	0.4984	-0.0819	0.4469	0.5825
	0.20	0.3138	-0.2402	0.2014	0.4032
	0.30	0.0642	-0.2905	-0.0561	0.1350
	0.40	-0.0287	-0.1943	-0.1139	0.0004
	0.50	-0.0323	-0.0899	-0.0877	-0.0418
	0.60	-0.0124	-0.0237	-0.0452	-0.0391
	0.70	-0.0006	0.0043	-0.0136	-0.0235
	0.80	0.0011	0.0087	0.0024	-0.0091
	0.90	0.0001	0.0037	0.0059	0.0015
0.18	1	0	0	0	0.0103
	0	1	1.6200	1.8000	1
	0.02	0.9699	1.2800	1.6008	0.9885
	0.05	0.8946	0.8436	1.3112	0.9361
	0.10	0.7204	0.2994	0.8773	0.7899
	0.15	0.5269	-0.0477	0.5260	0.6139
	0.20	0.3468	-0.2414	0.2629	0.4411
	0.30	0.0896	-0.3339	-0.0325	0.1699
	0.40	-0.0201	-0.2460	-0.1183	0.0205
	0.50	-0.0350	-0.1300	-0.1041	-0.0368
	0.60	-0.0155	-0.0468	-0.0615	-0.0431
	0.70	-0.0026	-0.0051	-0.0241	-0.0302
	0.80	0.0012	0.0067	-0.0019	-0.0144
	0.90	0.0003	0.0037	0.0055	-0.0007
	1	0	0	0	0.0116

表 1

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{M_0}	K_{M_1}	K_{Q_0}	K_{Q_1}	K_{N_0}
0.19	0	1.4620×10^{-2}	1.5509×10^{-2}	1.7195×10^{-1}	1.6491×10^{-1}	1
	0.02	1.1380	1.2410	1.5221	1.4519	0.9717
	0.05	0.7242	0.8484	1.2400	1.1708	0.9041
	0.10	0.2111	0.3693	0.8248	0.7602	0.7518
	0.15	-0.1144	0.0739	0.4917	0.4379	0.5809
	0.20	-0.2945	-0.0832	0.2425	0.2063	0.4185
	0.30	-0.3746	-0.1499	-0.0401	-0.0286	0.1653
	0.40	-0.2798	-0.0895	-0.1254	-0.0713	0.0230
	0.50	-0.1555	-0.0304	-0.1135	-0.0431	-0.0354
	0.60	-0.0626	-0.0036	-0.0708	-0.0129	-0.0446
	0.70	-0.0126	0.0032	-0.0310	-0.0002	-0.0334
	0.80	0.0042	0.0006	-0.0054	0.0011	-0.0176
	0.90	0.0034	0.0000	0.0045	0.0001	-0.0025
	1	0	0	0	0	0.0115
0.20	0	1.6000	1.7039	1.8000	1.7231	1
	0.02	1.2598	1.3792	1.6025	1.5258	0.9726
	0.05	0.8220	0.9645	1.3197	1.2440	0.9087
	0.10	0.2701	0.4498	0.8999	0.8288	0.7649
	0.15	-0.0910	0.1224	0.5577	0.4970	0.6032
	0.20	-0.3011	-0.0612	0.2959	0.2525	0.4464
	0.30	-0.4199	-0.1596	-0.0161	-0.0106	0.1938
	0.40	-0.3356	-0.1064	-0.1256	-0.0729	0.0414
	0.50	-0.2037	-0.0414	-0.1269	-0.0510	-0.0277
	0.60	-0.0951	-0.0076	-0.0873	-0.0185	-0.0454
	0.70	-0.0300	0.0011	-0.0442	-0.0019	-0.0383
	0.80	-0.0025	0.0008	-0.0133	0.0011	-0.0230
	0.90	0.0021	0.0001	0.0015	0.0002	-0.0066
	1	0	0	0	0	0.0095

表-4

$\frac{x'}{l}$	液 圧 応 力			温 度 応 力		
	M_x (kg-cm)	Q_x (kg)	N_y (kg)	M_x (kg-cm)	Q_x (kg)	N_y (kg)
0	1.633×10^4	2.198×10^2	0×10^3	2.217×10^4	2.904×10^2	-1.575×10^3
0.02	1.032	1.739	0.039	1.420	2.310	-1.506
0.05	0.380	1.126	0.195	0.548	1.509	-1.268
0.10	-0.175	0.389	0.530	-0.203	0.539	-0.761
0.15	-0.308	0.007	0.793	-0.392	0.027	-0.335
0.20	-0.251	-0.126	0.927	-0.327	-0.157	-0.077
0.30	-0.064	-0.087	0.907	-0.088	-0.114	0.063
0.40	0.007	-0.014	0.756	0.005	-0.021	0.028
0.50	0.007	0.005	0.613	0.009	0.006	0.002
0.60	0.004	0.002	0.488	0.005	0.003	-0.002
0.80	-0.000	-0.000	0.245	-0.000	-0.000	-0.000
1.	0	0	0	0	0	0

4 應力計算数値表の作製理論

液圧応力に関する数値表の作製理論は土木学会誌第40巻第2号掲載の著者の報文を参照せられたい。又温度応力に関するものは近く土木学会誌に発表の予定である。こゝには普通用いられる壁厚一定の水槽の応力計算公式を記し参考に供する。(1)及び(3)式において壁厚一定の場合には

$$K_1, K_4 = \frac{1}{2\beta^2 l^2} [-A \sin \beta x \sinh \beta x + B (\cos \beta x \sinh \beta x - \sin \beta x \cosh \beta x)]$$

$$K_2, K_5 = \frac{1}{\beta l} [-\frac{1}{2} A (\cos \beta x \sinh \beta x + \sin \beta x \cosh \beta x) - B \sin \beta x \sinh \beta x]$$

$$K_3, K_6 = [-A \cos \beta x \cosh \beta x - B (\sin \beta x \cosh \beta x + \cos \beta x \sinh \beta x)] \quad (8)$$

この式において液圧応力を計算する場合、即ち K_1 , K_2 及び K_3 に対しては

$$A = \frac{1}{\beta l} \frac{(\cos \beta l \sinh \beta l + \sin \beta l \cosh \beta l) - 2 \cos \beta l \cosh \beta l}{\cos^2 \beta l + \cosh^2 \beta l}$$

(つづき)

$\frac{1}{\beta l}$	$\frac{x'}{l}$	K_{N_1}	K_{MT}	K_{QT}	K_{NT}
0.19	0	1	1.8050×10^{-2}	1.9000×10^{-1}	1
	0.02	0.9710	1.4450	1.7007	0.9897
	0.05	0.9001	0.9787	1.4101	0.9421
	0.10	0.7366	0.3863	0.9706	0.8076
	0.15	0.5525	-0.0047	0.6076	0.6422
	0.20	0.3774	-0.2353	0.3234	0.4761
	0.30	0.1153	-0.3752	-0.0032	0.2045
	0.40	-0.0093	-0.3010	-0.1177	0.0429
	0.50	-0.0360	-0.1770	-0.1185	-0.0287
	0.60	-0.0217	-0.0771	-0.0786	-0.0448
	0.70	-0.0052	-0.0201	-0.0370	-0.0360
	0.80	0.0009	0.0015	-0.0088	-0.0202
	0.90	0.0005	0.0029	0.0033	-0.0043
	1	0	0	0	0.0109
0.20	0	1	2.0000	2.0000	1
	0.02	0.9719	1.6200	1.8006	0.9906
	0.05	0.9049	1.1238	1.5092	0.9473
	0.10	0.7509	0.4530	1.0646	0.8231
	0.15	0.5755	0.0473	0.6913	0.6676
	0.20	0.4055	-0.2216	0.3975	0.5083
	0.30	0.1409	-0.4136	0.0316	0.2383
	0.40	0.0034	-0.3581	-0.1123	0.0661
	0.50	-0.0352	-0.2299	-0.1303	-0.0178
	0.60	-0.0253	-0.1147	-0.0958	-0.0440
	0.70	-0.0082	-0.0411	-0.0520	-0.0405
	0.80	0.0003	-0.0071	-0.0183	-0.0260
	0.90	0.0007	0.0010	-0.0007	-0.0091
	1	0	0	0	0.0076

$$B = \frac{(\cos \beta l \sinh \beta l - \sin \beta l \cosh \beta l) - \frac{1}{\beta l} \cos \beta l \cosh \beta l}{\cos^2 \beta l + \cosh^2 \beta l} \quad (9)$$

温度応力を計算する場合、即ち K_4 , K_5 及び K_6 に対しては

$$\left. \begin{aligned} A &= -\frac{2 \cos \beta l \cosh \beta l}{\cos^2 \beta l + \cosh^2 \beta l} \\ B &= \frac{\cos \beta l \sinh \beta l - \sin \beta l \cosh \beta l}{\cos^2 \beta l + \cosh^2 \beta l} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

しかし、 $1/\beta l$ が 0.2 以下の普通の水槽の壁体下半部の応力計算に対しては上式に

$$\begin{aligned} \cos^2 \beta l &\ll \cosh^2 \beta l \\ \cosh \beta l, \sinh \beta l &\doteq \frac{1}{2} e^{\beta l} \\ \cosh \beta x, \sinh \beta x &\doteq \frac{1}{2} e^{\beta x} \\ x' &= l - x \end{aligned}$$

なる関係を代入して

$$K_1 = \frac{1}{2\beta^2 l^2} e^{-\beta x'} \left[\left(1 - \frac{1}{\beta l}\right) \cos \beta x' - \sin \beta x' \right]$$

$$K_2 = \frac{1}{\beta l} e^{-\beta x'} \left[\left(1 - \frac{1}{2\beta l}\right) \cos \beta x' - \frac{1}{2\beta l} \sin \beta x' \right]$$

$$K_3 = e^{-\beta x'} \left[\cos \beta x' + \left(1 - \frac{1}{\beta l}\right) \sin \beta x' \right]$$

$$K_4 = \frac{1}{2\beta^2 l^2} e^{-\beta x'} (\cos \beta x' - \sin \beta x')$$

$$K_5 = \frac{1}{\beta l} e^{-\beta x'} \cos \beta x'$$

$$K_6 = e^{-\beta x'} (\cos \beta x' + \sin \beta x')$$

..... (11)

この研究は昭和 29 年度文部省 科学研究費補助による研究の一部として行つたものであることを付記する。

(30. 4. 2)