

ケーソン構造物の実用的近似解法と その実験について

正員 室蘭工業大学教授 工博 能 町 純 雄

正員 北海道土木部港湾課 技師 石 倉 建 治

緒 言

港湾工事において用いるケーソンの設計外力としては種々のものが考えられるが¹⁾、今は、主としてケーソンが浮揚時に受ける静水圧について考える。従来この種の解法に対し、三辺固定一辺自由の板としての解が種々試みられているが^{2),3),4),5)}、一般に、底面が正方形でなければ隅角部における水平方向モーメントが相等しくはならない。著者は、この矛盾を除くために、鉛直壁の水平方向ラーメン性と、鉛直方向カンティレバー性を同時に考慮して近似解法を求め、その数値計算例と模型実験値とを比較したものである。

第1章 理論式の誘導

§1 基本微分方程式

問題を解き易くするために、平板の基礎微分方程式における第二項、すなわち捩れモーメントの項を欠いた次式を用いる。

$$N = \left(\frac{\partial^4 w^{(1)}}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 w^{(1)}}{\partial y^4} \right) = q_{xy} = q \left(1 - \frac{y}{b} \right) \quad (1)$$

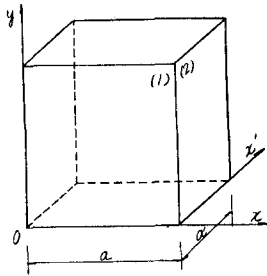


図-1

今

$$w^{(1)} = \sum_m Y_m f_m^{(1)}(x) \quad (2)$$

とをく。ただし、 Y_m は $y=0$ で固定され、 $y=b$ で自由な条件を満足する直交関数で

$$Y_m = \cos \beta_m \frac{y}{b} - \cosh \beta_m \frac{y}{b} - \left(\sin \beta_m \frac{y}{b} - \sinh \beta_m \frac{y}{b} \right) \times \left(\frac{\cos \beta_m + \cosh \beta_m}{\sin \beta_m + \sinh \beta_m} \right) \quad (3)$$

β_m は、 $\cos \beta_m \cosh \beta_m + 1 = 0$ の正の第 m 根で、次のとおりである⁶⁾。

m	1	2	3	≥ 4
β_m	1.875 10	4.694 10	7.854 76	$\frac{(2m-1)}{2} \pi$

以上の関係から (4) 式を得る。

$$\sum_m Y_m \left(\frac{\partial^4 f_m^{(1)}}{\partial x^4} + \frac{\beta_m^4}{b^4} f_m^{(1)} \right) = \frac{q}{N} \left(1 - \frac{y}{b} \right) \quad (4)$$

§2 荷重項の直交分解

任意の荷重は、 Y_m で直交分解されるから、(4) 式の右辺は次のように書くことができる。

$$\frac{q}{N} \left(1 - \frac{y}{b} \right) = \frac{q}{N} \sum_m A_m Y_m \quad (5)$$

今、 A_m を求めるために、(5) 式の両辺に Y_m をかけて 0 から b まで積分すると

$$\int_0^b \left(1 - \frac{y}{b} \right) Y_m dy = \sum_m A_m \int_0^b Y_m^2 dy \quad (a)$$

ここで Y_m を $\beta_m \frac{y}{b}$ で次々に微分したものを、 Y_m' 、 Y_m'' 、……であらわすと

$$\left. \begin{aligned} Y_m' &= -(\sin \beta_m \eta + \sinh \beta_m \eta) \\ &\quad -(\cos \beta_m \eta - \cosh \beta_m \eta) \times N_m \\ Y_m'' &= -(\cos \beta_m \eta + \cosh \beta_m \eta) \\ &\quad +(\sin \beta_m \eta + \sinh \beta_m \eta) \times N_m \\ Y_m''' &= (\sin \beta_m \eta - \sinh \beta_m \eta) \\ &\quad +(\cos \beta_m \eta + \cosh \beta_m \eta) \times N_m \end{aligned} \right\} \quad (b)$$

ここで

$$\eta = \frac{y}{b}, \quad N_m = \frac{\cos \beta_m + \cosh \beta_m}{\sin \beta_m + \sinh \beta_m}$$

この記号を用いれば、(a) 式の左辺は

$$\int_0^b \left(1 - \eta \right) Y_m dy = \left[\frac{b}{\beta_m} Y_m'' \right]_0^b - \left[\frac{y}{\beta_m} Y_m''' \right]_0^b + \left[\frac{b}{\beta_m^2} Y_m'' \right]_0^b \quad (c)$$

このとき板の境界条件は、自由端で

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w^{(1)}}{\partial y^2} &= 0, & \frac{\partial^3 w^{(1)}}{\partial y^3} &= 0 \\ \therefore (Y_m'')_{y=b} &= 0, & (Y_m''')_{y=b} &= 0 \end{aligned} \quad (d)$$

固定端では、(b) 式より

$$\left. \begin{aligned} (Y_m'')_{y=0} &= -2 \\ (Y_m''')_{y=0} &= 2 N_m \end{aligned} \right\} \quad (e)$$

また (a) 式右辺の積分は

$$\int_0^b Y_m^2 dy = \frac{b}{4} (Y_m^2)_{y=b} \quad (f)$$

(f) 式を計算すると

$$(Y_m^2)_{y=b} = \frac{4 (\sin \beta_m \cosh \beta_m - \cos \beta_m \sinh \beta_m)^2}{(\sin \beta_m + \sinh \beta_m)^2} \quad (g)$$

よつて、(c)~(g) 式の関係から A_m を得る。

$$A_m = -2 \left(\frac{\sin \beta_m + \sinh \beta_m}{\sin \beta_m \cosh \beta_m - \cos \beta_m \sinh \beta_m} \right) \times \left(\frac{N_m}{\beta_m} - \frac{1}{\beta_m^2} \right) \quad (6)$$

§3 方程式 $f_m^{(1)}(x)$ の解

(4), (5) 式から、次の (7) 式を得る。

$$\frac{\partial^4 f_m^{(1)}}{\partial x^4} + \frac{\beta_m^4}{b^4} f_m^{(1)} = \frac{q}{N} A_m \quad (7)$$

ここで、境界条件の一つは、 $x=0$, $x=a$ で撓みがないから

$$(w^{(1)})_{x=0} = 0 \quad \therefore (f_m^{(1)})_{x=0} = 0$$

である。この条件を満足し、かつ (7) 式を満足する式は

$$f_m^{(1)}(x) = \frac{qa^4}{N} \cdot \frac{A_m}{\pi^4 c_m^4} (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - \frac{B_m a^2}{\pi^2 c_m^2} \cdot P_m^{(1)}(\xi) \quad (8)$$

ここで、 $\pi c_m = \frac{a}{b} \beta_m$, $\xi = \frac{x}{a}$ であるから (8) 式は

$$f_m^{(1)}(x) = \frac{qb^4}{N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^4} (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - \frac{B_m b^2}{\beta_m^2} \cdot P_m^{(1)}(\xi) \quad (9)$$

となる。これを (2) 式に入れれば

$$w^{(1)}(x) = \sum_m Y_m \left\{ \frac{qb^4}{N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^4} (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - \frac{B_m b^2}{\beta_m^2} \cdot P_m^{(1)}(\xi) \right\} \quad (10)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} P_m^{(1)}(\xi) &= \frac{\sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi + \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi)}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \\ Q_m^{(1)}(\xi) &= \frac{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi + \cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi)}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \end{aligned} \right\} \quad (h)$$

今、途中の計算に必要なため次の公式をかかげる。

$$\left. \begin{aligned} (P_m(\xi))' &= -\frac{\beta_m}{\sqrt{2} b} \times \frac{1}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \\ &\times \left[\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi - \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi - \cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) + \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \right] \\ (P_m(\xi))'' &= -\frac{\beta_m^2}{b^2} Q_m(\xi) \\ (Q_m(\xi))' &= -\frac{\beta_m}{\sqrt{2} b} \times \frac{1}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \\ &\times \left[\sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi + \cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi - \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) - \cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1-\xi) \right] \\ (Q_m(\xi))'' &= \frac{\beta_m^2}{b^2} P_m(\xi) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

これより x および y 方向曲げモーメントはおのの

$$M_x^{(1)} = -N \frac{\partial^2 w^{(1)}}{\partial x^2} = \sum_m Y_m \left\{ qb^2 \cdot \frac{A_m}{\beta_m^2} \cdot P_m^{(1)}(\xi) - B_m Q_m^{(1)}(\xi) \right\} \quad (12)$$

$$M_y^{(1)} = -N \frac{\partial^2 w^{(1)}}{\partial y^2} = -\sum_m Y_m \left\{ qb \cdot \frac{A_m}{\beta_m^2} (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - B_m P_m^{(1)}(\xi) \right\} \quad (13)$$

§4 方程式 $f_m^{(2)}(x)$ の解

全く同様にして、その隣りの側面に対しても論ぜられるから、その x' 方向の辺長を a' とすれば

$$w^{(2)}(x') = \sum_m Y_m f_m^{(2)}(x') = \sum_m Y_m \left\{ \frac{qb^4}{N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^4} (1 - Q_m^{(2)}(\xi')) - \frac{B_m b^2}{\beta_m^2} \cdot P_m^{(2)}(\xi') \right\} \quad (14)$$

$$M_{x'}^{(2)} = -N \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial x'^2} = \sum_m Y_m \left\{ qb^2 \cdot \frac{A_m}{\beta_m^2} \cdot P_m^{(2)}(\xi') - B_m' Q_m^{(2)}(\xi') \right\} \quad (15)$$

$$M_{y'}^{(2)} = -N \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial y'^2}$$

$$= - \sum_m Y_m'' \left\{ qb^2 \cdot \frac{A_m}{\beta_m^2} (1 - Q_m^{(2)}(\xi')) \right. \\ \left. - B_m' P_m^{(2)}(\xi') \right\} \quad (16)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} P_m^{(2)}(\xi') &= - \frac{\sinh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} (1 - \xi') \sin \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} \xi' + \sinh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} \xi' \sin \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} (1 - \xi')}{\cosh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}}} \\ Q_m^{(2)}(\xi') &= - \frac{\cosh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} (1 - \xi') \cos \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} \xi' + \cosh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} \xi' \cos \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} (1 - \xi')}{\cosh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}}} \\ \pi c_m' &= \frac{a'}{b} \beta_m, \quad \xi' = \frac{x'}{a'} \end{aligned} \right\} \quad (h')$$

§5 未知数 B_m, B_m' の決定

以上の式中 B_m, B_m' は積分未知数で、両側面が相合う辺で両側面の slope とモーメントが等しいという条件から求められる。

(i) 両側面のモーメントが相等しい

$$B_m = B_m'$$

(ii) 両側面の slope が相等しい

$$\left. \begin{aligned} \frac{df^{(1)}}{dx} &= \frac{qb^2}{\sqrt{2}N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^3} (U^{(1)}(\xi) + V^{(1)}(\xi)) \\ &\quad + \frac{b}{\sqrt{2}} \cdot \frac{B_m}{\beta_m} (U^{(1)}(\xi) - V^{(1)}(\xi)) \\ \frac{df^{(2)}}{dx'} &= \frac{qb^2}{\sqrt{2}N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^3} (U^{(2)}(\xi') + V^{(2)}(\xi')) \\ &\quad + \frac{b}{\sqrt{2}} \cdot \frac{B_m}{\beta_m} (U^{(2)}(\xi') - V^{(2)}(\xi')) \end{aligned} \right\} \quad (i)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} U^{(1)}(\xi) &= \frac{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1 - \xi) \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi - \cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1 - \xi)}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \\ V^{(1)}(\xi) &= \frac{\sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1 - \xi) \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi - \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \xi \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} (1 - \xi)}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \end{aligned} \right\} \quad (j)$$

ところで

$$\left(\frac{\partial w^{(1)}}{\partial x} \right)_{x=a} = \left(\frac{\partial w^{(2)}}{\partial x'} \right)_{x'=0}$$

であるから

$$\left(\frac{df^{(1)}}{dx} \right)_{x=a} = \left(\frac{df^{(2)}}{dx'} \right)_{x'=0}$$

となる。したがって (i), (j) 式より

$$B_m = \frac{qb^2}{N} \cdot \frac{A_m}{\beta_m^2} \cdot \frac{K_0^{(1)} + K_0^{(2)}}{K_1^{(1)} + K_1^{(2)}} \quad (k)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} K_0^{(1)} \left\{ \begin{aligned} &= \frac{\sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \end{aligned} \right. \\ K_1^{(1)} \left\{ \begin{aligned} &= \frac{\sinh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} + \sin \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}}}{\cosh \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m'}{\sqrt{2}}} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \quad (l)$$

§6 曲げモーメント M_x, M_y の公式

以上の結果により、(1), (2) 面の各曲げモーメントは

$$M_x^{(1)} = qb^2 \sum_m Y_m \frac{A_m}{\beta_m^2} \left\{ P_m^{(1)}(\xi) - K_m Q_m^{(1)}(\xi) \right\} \quad (17)$$

$$M_y^{(1)} = - qb^2 \sum_m Y_m'' \frac{A_m}{\beta_m^2} \left\{ (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - K_m P_m^{(1)}(\xi) \right\} \quad (18)$$

$$M_x^{(2)} = qb^2 \sum_m Y_m \frac{A_m}{\beta_m^2} \left\{ P_m^{(2)}(\xi') - K_m Q_m^{(2)}(\xi') \right\} \quad (19)$$

$$M_y^{(2)} = - qb^2 \sum_m Y_m'' \frac{A_m}{\beta_m^2} \left\{ (1 - Q_m^{(2)}(\xi')) - K_m P_m^{(2)}(\xi') \right\} \quad (20)$$

ここに

$$K_m = \frac{K_0^{(1)} + K_0^{(2)}}{K_1^{(1)} + K_1^{(2)}} \quad (m)$$

(17), (19) 式より $x=a$ における M_x , すなわち (1), (2) 両面の相合う辺における M_x は

$$M^{(1)}_{x=a} = M^{(2)}_{x'=0} = - qb^2 \sum_m Y_m \frac{A_m}{\beta_m^2} \cdot K_m \quad (21)$$

この式は、三辺固定一辺自由の板に対する、本理論による解と一致する。

§7 セン断力 S_x, S_y の公式

S_x, S_y は M_x, M_y をそれぞれ x, y について一回偏微分したもので

$$\left. \begin{aligned} S_x^{(1)} &= \frac{\partial M_x^{(1)}}{\partial x}, & S_y^{(1)} &= \frac{\partial M_y^{(1)}}{\partial y} \\ S_x^{(2)} &= \frac{\partial M_x^{(2)}}{\partial x'}, & S_y^{(2)} &= \frac{\partial M_y^{(2)}}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

である。今、面 (1) の $x=0, y=0$ におけるセン断力を求めれば

$$S^{(1)}_{x=0} = \frac{qb}{\sqrt{2}} \sum_m Y_m \frac{A_m}{\beta_m} \times \frac{1}{\cosh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \cos \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}}} \times \left\{ \sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} + K_m \left(\sinh \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} - \sin \frac{\pi c_m}{\sqrt{2}} \right) \right\} \quad (23)$$

$$S^{(1)}_{y=0} = -2qb \sum_m \frac{N_m \cdot A_m}{\beta_m} \left\{ (1 - Q_m^{(1)}(\xi)) - K_m P_m^{(1)}(\xi) \right\}$$

第2章 模型実験

§1 概 説

さきに室蘭工大で、学生の卒論として、銅製の模型で実験を行なつたが、著者はその経験から今回は厚さ 1.4 mm の真鍮で製作した模型を用いた。歪の測定は、模型に水を入れ、または出すごとに読みをとり、その実験値よりモーメント係数を計算し、理論値との比較を行なつた。

§2 供 試 体

種 別	長さ (cm)	巾 (cm)	高さ (cm)	厚さ (mm)
A	30	30	30	14
B	37.5	30	25	14

上の 2 個について実験を行なう予定であつたが、今のところ一応終つたのは A のみである。

隅角部ラメン性を模型の上に正確に再現することについて予め考慮されたが、模型製作上のことも考えて、図-2 のように

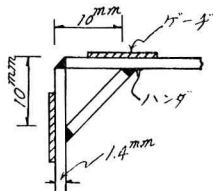
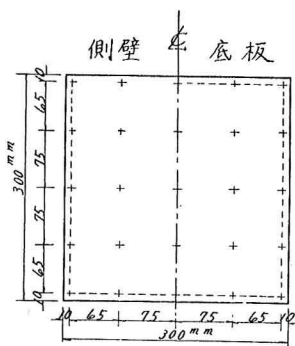


図-2

した。これは、ケーソンを真上から見たもので、図のように真鍮梁をすべての隅角部にとりつけたのである。

§3 ゲー ジ



註 + がゲージの位置で、点線は隅角部に挿入した真鍮梁の位置をあらわす

図-3

水平および垂直の二方向の歪を測定するために Ro-sette gauge: KR-4¹⁵⁾ を使用した。ゲージの貼り方は図-2 および 3 のとおり、その荷重のかけ方は、写真-1 のとおりである。

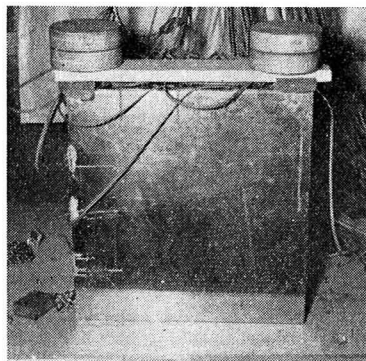


写真-1

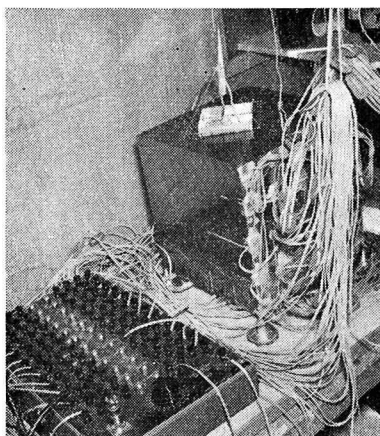


写真-2

§4 温度補償¹⁵⁾

ゲージの抵抗値は温度変化の影響を極めて鋭敏に受ける。例えば、100 W の電燈が 1 m 位の距離にあれば、ゲージはその副射熱の影響を受ける。このことはインディケータの針を 0 に完全に調整することができないことから知れる。そこで、これを完全にする方法として、写真-2 に示すような小箱をこしらえた。これは模型のケーソンと同質同厚で、寸法は 10 cm × 10 cm × 2 cm である。この小箱の内面に Dummy gauge (温度補償用ゲージ) を測定用ゲージと同様に貼り、更に同材質の針金で編んだ籠の中に入れ、天井から吊し、ケーソンに水を入れるときはこれもその水に浸らせた。この結果、温度補償については完全であることが確かめられた。

§5 供試体の支持方法

- 四辺で単純支持
- 四隅で単純支持

の二つがまづ考えられる。学生の卒論では (i) により、

本実験においては主として(ii)によつた。

(ii)は(i)に比し、ケーソンの据付は容易であるが、支点反力の影響があるように思われるので、据付方法を改良すれば(i)の方がよいと考える。

§6 測定方法

ケーソン内に水を入れ、またはだすごとにその歪を少なくとも2回測り、その行程を一方方向に対し、底板については2回以上、鉛直壁については3回繰返した。

§7 実験値

以上による実測結果を、Chauvenet 氏の棄却限界¹⁰⁾により、整理したものが次の諸表である。

(i) 底 板 $\frac{b}{a}=1.0$

1, x 方 向 表-1 ($\times 10^{-6}$)

$\eta \backslash \xi$	1	0.5	0	0.5	1.0
1	- 1.8	+ 2.5	+ 11.1	+ 5.6	- 5.4
0.5	-114	+ 26.8	+ 77.3	+ 31.4	-124.6
0	-202.1	+ 49.7	+121.3	+ 55.0	-222.7
0.5	-118	+ 31.4	+ 73.4	+ 26.1	-125.6
1	- 0.5	+ 8.7	+ 16.6	+ 4.3	- 4.9

2, y 方 向 表-2 ($\times 10^{-6}$)

$\eta \backslash \xi$	1	0.5	0	0.5	1.0
1	- 2.5	-103.7	-173.6	-102.1	- 1.3
0.5	+ 10.1	+ 33.0	+ 45	+ 30.8	+ 9.6
0	+ 22.5	+ 74.8	+114.7	+ 75.3	+ 12.5
0.5	+ 6.0	+ 28.0	+ 44.3	+ 32.8	+ 14.2
1.0	- 3.7	-123.3	-184.3	-124.7	- 2.0

3, x, y 方向の平均 表-3 ($\times 10^{-6}$)

$\eta \backslash \xi$	1	0.5	0
1	- 2.9	+ 7.8	+ 16.2
0.5	- 122.3	+ 32.3	+ 75.7
0	- 199	+ 48	+ 118.8

底板は正方形であるから、その対称性から、表-1, 2の平均値を更に求めれば、表-3になる。

なお、以上の表の軸のとり方は、図-4のとおりである。

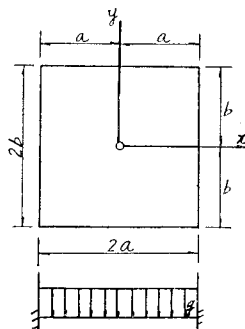


図-4

(ii) 側 壁 $\frac{a}{b}=1.0$

表-4 ($\times 10^{-6}$)

方向	$\eta \backslash \xi$	0	0.25	0.5	0.75	1.0
x	1.0	- 21.4	- 1.5	+ 31.5	+ 5.5	- 23.1
	.75	- 94.1	+ 18.2	+ 74.2	+ 17.9	- 94.1
	.50	-109	+ 30.8	+ 77	+ 33	-132.8
	.25	- 65.4	+ 24.4	+ 45	+ 16.1	- 82.9
	0	- 2.8	- 7.6	- 0.9	- 6.8	+ 7.8
y	1.0	+ 4.1	- 3.2	- 14.5	- 2.9	+ 1.8
	.75	+ 6.9	+ 11.6	+ 28.7	+ 10.7	- 5.4
	.50	0	+ 23.4	+ 59.9	+ 29.9	+ 11.1
	.25	+ 7.1	+ 20.1	+ 37.1	+ 24.6	- 3.3
	0	- 22.6	-121.4	-225.5	-121.7	- 19.8

$\xi=0.5$ において、軸対称であるから、表-4より更に平均値を求めれば、表-5を得る。なお、本表の荷重と、軸のとり方は、図-5のとおりである。

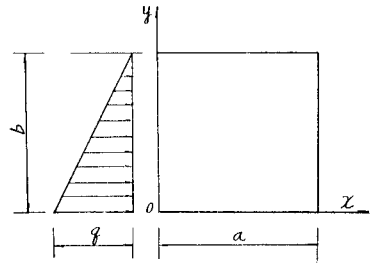


図-5

$\frac{a}{b}=1.0$

表-5

$\eta \backslash \xi$	0		0.25		3.5	
	水 平	鉛 直	水 平	鉛 直	水 平	鉛 直
1	- 21.7	+ 2.1	- 1.4	- 3.1	+31.5	- 14.5
0.75	- 93.8	0	+18.4	+ 11.1	+74.2	+ 28.7
.50	-121.2	+ 5.5	+31.2	+ 29.3	+77	+ 59.9
.25	- 74.3	+ 2.2	+20.2	+ 21.7	+45	+ 37.1
0	+ 2.8	-23.8	6.6	-121.5	- 0.9	-225.5

第3章 モーメント係数

§1 実験値をモーメント係数に換算

平板に関する諸応力係数表の作成が、本研究の動機であつたので、実験値と理論値の比較をモーメント係数でやつてみる。そこで、次のようにして実験値をモーメント係数に換算する。

応力、歪およびヤング係数の間には次の関係がある。

$$\sigma = \varepsilon \times E$$

今、 ε_0 をインディケータの読みとすれば、実際の歪 ε は、 $\varepsilon = \varepsilon_0 \times 10^{-6}$ であるから、これと真鍮のヤング係数を 10^6 kg/cm^2 として上式に代入すれば

$$\sigma = \varepsilon_0$$

となる。次に、応力とモーメントおよび断面係数の間には

$$M = \sigma \cdot W$$

の関係があるが、今モーメントが次式をもつてあらわされるものとする。

$$M = C(\text{coef.}) \times qb^2$$

$$(i) \frac{a}{b} = \frac{a'}{b} = 1.0 \text{ の場合 } (M = C \times qb^2)$$

表-6

$\frac{a}{b}$ または $\frac{a'}{b}$		ξ	0		0.25		0.50	
		M	M_x	M_y	M_x	M_y	M_x	M_y
1.0	1.0	1.0	-0.0103	0	0.0005	-0.0000	0.0050	-0.0000
	.75		-.0249	0	.0026	.0025	.0125	.0042
	.50		-.0329	0	.0042	.0057	.0156	.0107
	.25		-.0239	0	.0036	.0048	.0081	.0064
	0		0	0	0	-.0214	0	-.0343

$$(ii) \frac{a}{b} = 1.2, \frac{a'}{b} = 1.4 \text{ の場合 } (M = C \times qb^2)$$

表-7

$\frac{a}{b}$ または $\frac{a'}{b}$		ξ	0		0.25		0.50	
		M	M_x	M_y	M_x	M_y	M_x	M_y
1.2	1.0	1.0	-0.0316	0	-0.004	-0.0000	0.0097	-0.0000
	.75		-.0378	0	.0002	.0022	.0152	.0027
	.50		-.0428	0	.0037	.0108	.0154	.018
	.25		-.0244	0	.0032	.0047	.0072	.0063
	0		0	0	0	-.0234	0	-.0372
1.4	1.0	1.0	-0.0316	0	0.0092	-0.0000	0.0274	-0.0000
	.75		-.0378	0	.0089	.0021	.025	.0055
	.50		-.0428	0	.0046	.0101	.0186	.0161
	.25		-.0244	0	.0046	-.0009	.0072	-.0033
	0		0	0	0	-.0369	0	-.0564

§3 モーメント係数比較図表

以上により、 $a/b = a'/b = 1.0$ の場合における理論値と実験値、ならびに三辺固定一辺自由の板に対するハンド

実験に用いたケーソンの寸法から

$$W = \frac{1 \times 14^2 \times 10^{-4}}{6} = \frac{98}{3} \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$q = 0.03 \text{ kg/cm}$$

以上の諸式から

$$C = \varepsilon_0 \times 1.2099 \times 10^{-4}$$

を得る。

§2 モーメント係数表

第1章の理論式 (17)~(20) を用いての数値計算例が表-6, 7である。ただし、表-6は級数の $m=4$ まで、表-7は $m=3$ までである。

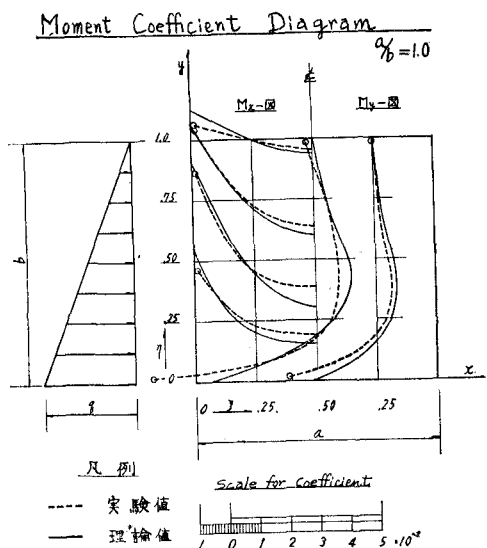
ブックの値⁵⁾とを比較すれば、表-8, ならびに図-6のとおりである。

$$\frac{a}{b} = \frac{a'}{b'} = 1.0$$

表-8

η	比較	M	ξ		0		0.25		0.50	
			M_x	M_y	M_x	M_y	M_x	M_y	M_x	M_y
1	実験値	—	0.005*	0.000	—	0.000	0.000	0.000	0.004	— 0.002
	理論値	—	.011	0	.000	— .000	.000	.000	.005	— .000
	ハンドブック	—	.018	0	.002	0	.002	0	.009	0
0.75	実験値	—	.023*	0	.002	.001	.002	.001	.009	.004
	理論値	—	.025	0	.003	.002	.003	.002	.012	.004
	ハンドブック	—	.028	— .005	.003	+	0	.011	.002	.002
.50	実験値	—	.029*	.001	.004	.004	.004	.004	.009	.007
	理論値	—	.033	0	.004	.006	.004	.006	.016	.011
	ハンドブック	—	.029	— .006	.005	.005	.005	.005	.013	.009
.25	実験値	—	.018*	.000	.002	.003	.002	.003	.005	.005
	理論値	—	.024	0	.004	.005	.004	.005	.008	.006
	ハンドブック	—	.029	— .004	.004	.005	.004	.005	.008	— .008
0	実験値	.001*	— .006*	— .001	— .001	— .029*	— .000	— .000	— .054*	— .034
	理論値	0	0	0	0	— .021	0	0	— .034	— .035
	ハンドブック	0	0	— .006	— .006	— .022	— .007	— .007	— .035	— .035

註 *は、隅角部のゲージが示した歪は、実際の 1/2 以上と考えて、2 倍したものである。



註 実験値の○印の位置がづれているのは、隅角部または上縁に貼ったゲージの位置をあらわす。

図-6

次に、底板について、表-3の実験値を第3章§1により計算したものと、図-4のような四辺固定板の厳密解による M_y 係数¹¹⁾を比較すれば、表-9のとおりである。

表-9 ($M = C \times qb^2$)

y/b	比較	x/a	1	0.5	0
1	実験値	—	0.0004	— 0.0148	— 0.0482*
	理論値				— .0513
0.5	実験値		.0009	.0039	.0058
0	実験値		.0020	.0092	.0144
	理論値				.0229

註 *は前表の註参照。

結 語

実験はまだ完全なものとはいえないが、本理論による近似解法はよく実験値と合い、実用上充分の精度を有するものと考えられる。なお本理論によるケーソン構造物の一般解から(21)式のような End moment を計算すれば、平板に対するモーメント分配法も近似的に可能となる。

付 記

本実験には、室工大学生諸氏の卒論は大変参考になった。学生の実験を指導された室工大助手志村氏に感謝す

る。また、札幌土木現業所港湾実験室の高橋千尋氏には終始非常にお世話になった。

なお、本研究は、漁港修築費の中の港湾実験費の一部を使わせて戴いたものである。

参 考 文 献

- 1) 日本港湾協会：港湾工事設計要覧，p. 118.
- 2) 水野高明・吉村芳男：三辺固定一辺自由短形版の計算およびその応用，土木学会誌第36巻第4号.
- 3) 横田道夫：三辺固定一辺自由な短形床版の応力，建築学会研究報告，18号，昭27.5.
- 4) 成岡昌夫外4名：三辺固定一辺自由な短形板が等分布荷重および等変分布荷重を受ける場合のタワミおよび曲げモーメントについて，土誌，第44巻，第7号.
- 5) ハンドブック：四角形水槽の理論的解法 p. 584.
- 6) 岡本舜三：地震力を考えた構造物設計法，p. 129.
- 7) Timoshenko：Vibration problems in engineering p. 329.
- 8) 能町純雄：弾性基礎上四辺，四隅共完全に自由なる板の曲げについて，室工大研究報告，第1巻，第4号，昭28年12月
- 9) 能町純雄：平板および平面弾性問題に対する有限なフーリエ変換の応用，室工大研究報告，第2巻，第2号別刷，昭31年12月
- 10) 山田陽清：最小自乗法.
- 11) 坪井善勝：平面構造論，p. 120.
- 12) 酒井清二：「短形コンクリート槽設計計算について」土木工学，第3巻，第3，4，5号.
- 13) 能町純雄・石倉建治：ケーソンの新しい設計法について，第4回全国漁港建設技術研究発表会.
- 14) 共和無線研究所：SM型抵抗線歪測定器取扱説明書
- 15) 共和無線研究所：ストレインゲージ取扱説明書.