

# 港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF  
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 24 April, 1966

水平力をうける多段面鋼管杭の変位および

曲げモーメントの計算について ..... 御 巫 清 泰

昭和 41 年 4 月

運輸省港湾技術研究所



水平力をうける多段面鋼管杭の変位および  
曲げモーメントの計算について

目 次

1. ま え が き.....	1
2. フランスにおける計算法.....	1
3. Changの方法による計算法および計算図表.....	3
4. 計算法の比較.....	34
5. 設 計 計 算 例.....	36
6. あ と が き.....	38

# 水平力をうける多段面鋼管杭の変位および 曲げモーメントの計算について

御 巫 清 泰 \*

## 1. まえがき

最近、フランスの港湾では、tube Manesmann (マネスマン社製鋼管) tube souple (可撓性鋼管) tube à inertie variable (多断面鋼管) などの名でよばれる大口径の多断面鋼管を用いて、ドルフィンあるいは船舶の接岸用ガイド杭などの建設が行われている。

これは断面を変化させてあるので、杭頭部の撓みが多くなり、大きなエネルギーを吸収できること、鉄量を少なくできること、従って安いこと、施工が早いことなどの利点を有し、他方では設計が複雑なこと、製作が特別注文になること現場溶接が困難であると同時に陸上輸送も困難であること、場合によっては施工が困難なことなどの難点があげられている。

製作は特別注文によるのは、普通の鋼管のように、同一形状のものが多量に使用されるというわけではないので当然のことであるが、技術的には製作に問題はないようである。また、施工現場が海中であるため、現場までえい航運搬が可能であり、工場溶接した長尺ものでも輸送が困難であるという障害は除かれると思う。

自重10~50 t、全長20~40mと重量、寸法の面ではかなり取扱にくいものではあるが、フランスでは現実に施工が行われていること、またわが国における港湾工事施工技術あるいは施工機械の優秀さからみて、施工は充分可能である。

結局、製作、輸送、施工に問題は残るにしても、設計が容易に行えるならば、経済的なごく手軽な構造物である。ドルフィンに、あるいはけい船ブイに代るけい船柱などに利用できるものと考え、本計算図表の作製にあたったのである。

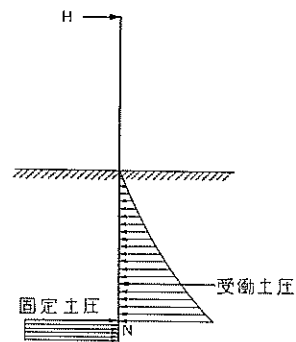
また、わが国においてはこの種の構造物が建設されたことを聞かないが、前座の欠点と同時に安いコスト早い工期その上、単純で確実な構造物であって、大きな水平反力がとれ、また大きな変位が許せるので、ねばさのある

構造物が作れるなど利点も多く有し、欠点を適当に処理した場合には非常に有利な構造物を作ることが出来る。

例えば、後述の設計例のようなドルフィンの場合、普通鋼管による頭部固定の直杭式ドルフィンで建設する場合に比べて、鉄量、防玄材量ともに半分程度であり、その上、頭部コンクリートも必要でないなどの利点を数えることができる。

## 2. フランスにおける計算法

フランスのルアーブル、ボルドー、ブローニュ、カレーなどの港では、最近、大口径の多段面鋼管が、ドルフィンあるいは船舶の接岸用ガイドとして利用され、工費のやすさ、施工の簡便さなどの点で港湾技術者の注目を集めている。設計法も1~2あるようであるが、筆者が在仏中にみることを許された設計書のうちから、H. Courbot 社で行っている方法を紹介して、後節における筆者の方法との比較検討の便に供したいと思う。



図—2. 1

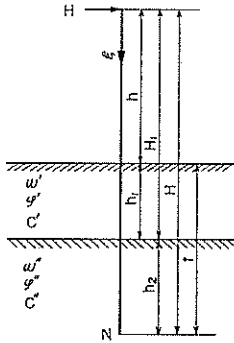
仮定

- 1) 固定土圧 (Contrebutée) は、同じ深さの点における受働土圧と同じ土圧強度をもつものとする。
- 2) 固定土圧はN点に集中荷重として作用する。

\* 設計基準部主任 研究官

3) 土層は2層よりなるものとする。

記号は図-2.2に示すとおりとし、土圧は Blum の計算法を使用して次式による。\*



$w', w''$  単位体積重量  
 $\phi', \phi''$  内部摩擦角  
 $c', c''$  粘着力

図-2.2

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq h_1 \\ b = \omega' b_1' x \left( a + \frac{3}{2} m' x \right) + a (b_2' + b_3') \\ 0 \leq z \leq h_2 \\ b = \omega' b_1'' z \left( a + \frac{3}{2} m' h_1 \right) + \omega'' b_1'' z \\ \left( a + \frac{3}{2} m'' z \right) + a (b_2'' + b_3'') \end{aligned} \quad \dots(2-1)$$

ここに

a : 杭巾

$b_1'$  : 受働土圧係数

$$m' = \frac{2}{3} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$H = \frac{C}{\tan \phi}$$

$$b_2' = H \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \exp \left\{ 2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi \right\} \cos \phi$$

$$b_3' = -H$$

簡略のために

$$\alpha_3 = a \cdot \frac{b_2' + b_3'}{2} \quad A_3 = a \cdot \frac{b_3'' + b_3''}{2}$$

$$\beta^2 = \omega' \cdot \frac{a \cdot b_1'}{6} \quad B^2 = \omega'' \frac{a b_1''}{6}$$

$$\gamma = \omega' \cdot \frac{m' \cdot b_1'}{8} \quad C = \omega'' \frac{m'' \cdot b_1''}{8}$$

$$\delta^3 = \frac{\omega' \cdot b_1'}{2} \left( a + \frac{3}{2} m' h_1 \right) h_1$$

... (2-2)

とおくと、次のように書きかえられる。

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq h_1 \\ b = 2\alpha^3 + 6(\beta^2 n + 2\gamma n^2) \\ 0 \leq z \leq h_2 \\ b = 2(A^3 + \delta^3) + 6(\beta^2 z + 2Cz^2) \end{aligned} \quad \dots(2-3)$$

これよりモーメントを求めると

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq h_1 \\ M = p\xi - \int_0^x (2\alpha_3 + 6\beta^2\sigma + 12\sigma^2)(x-a)d\sigma \\ = p\xi - (\alpha^3 x^2 + \beta^2 x^3 + \gamma x^4) \\ 0 \leq z \leq h_2 \\ M = p\xi - \int_0^{h_1} (2\alpha^3 + 6\beta^2\sigma + 12\gamma\sigma)(x-\sigma)d\sigma \\ - \int_0^z [2(A^3 + \delta^3) + 6(\beta^2\sigma + 2C\sigma^2)](z-\sigma)d\sigma \\ = p\xi - (2\alpha^3 h_1 + 3\beta^2 h_1^2 + 4\gamma h_1^3)x \\ + \alpha^3 h_1^2 + 2\beta^2 h_1^3 + 3\gamma h_1^4 - (A^3 + \delta^3)z^2 \\ - B^2 z_3 - Cz^4 \end{aligned} \quad \dots(2-4)$$

最大曲げモーメントを求めると

$$\frac{dM}{d\xi} = 0 \quad \text{より}$$

$$P = 2\alpha^3 x + 3\beta^2 x^2 + 4\gamma x^3 \quad (\xi \leq H_1) \dots \dots \dots (2-5)$$

が得られ、

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq h_1 \\ M = 3\gamma x^4 + (2\beta^2 + 4\gamma h)x^3 + (3\beta^2 h + \alpha^3)x^2 + 2\alpha^3 h x \\ 0 \leq z \leq h_2 \\ M = (4\gamma - C)z^4 \\ + [4\gamma(H_1 + 3h_1) + 3\beta^2 - B^2]z^3 \\ + [2\alpha^3 + 3\beta^2(H_1 + 2h_1) + 12\gamma h_1(H_1 + h_1) - A^3 \\ - \delta^3]z^2 \\ + [2\alpha^3 + 6\beta^2 h_1 + 12\gamma h_1^2]H_1 z \\ + \alpha^3 h_1(H_1 + h) + \beta^2 h_1^2(2H_1 + h) + \gamma h_1^3(3H_1 + h) \end{aligned}$$

$\xi \geq H_1$  の場合には

$$\begin{aligned} P = 2\alpha^3 h_1 + 3\beta^2 h_1^2 + 4\gamma h_1^3 + 2(A^3 + \delta^3)z \\ + 3B^2 z^2 + C4z^3 \dots \dots \dots (2-7) \end{aligned}$$

\* 杭などのように巾のせまい構造物が受働土圧をうける際に、杭の前面だけでなく、ななめ前部の土塊も受働土圧に関すると考えたのが Blum の土圧計算法であるが、杭径が 1.0m 以上もあるようなものが対象である場合には、実際とよく適合するか否かについては問題点もあり、単にこのような土圧の計算が行われているという紹介にとどめた。

$$0 \leq x \leq h_1$$

$$M = (4C - \gamma)x^4 + [4C(h - 3h_1) + 3B^2 - \beta^2]x^3 + [2(A^3 + \delta^3) + 3B^2(h - 2h_1) - 12Ch_1(h - h_1) - \alpha^3]x^2 + [2(A^3 + \delta^3)(h - h_1) - 3B^2h_1(2h - h_1) + 4Ch_1(3h - h_1) + 2\alpha^3h_1 + 3\beta^2h_1^2 + 4\gamma h_1^3]x + [2h_1(\alpha^3 - A^3 - \delta^3) + 3h_1^2(\beta^2 + B^2) + 4h_1^3(\gamma - C)]h \quad \dots(2-8)$$

$$0 \leq z \leq h_2$$

$$M = 3Cz^4 + (2B^2 + 4CH_1)z^3 + (A^3 + \delta^3 + 3B^2H_1)z^2 + 2(A^3 + \delta^3)H_1z + \alpha^3h_1(H_1 + h) + \beta^2h_1^2(2H_1 + h) + \gamma h_1^3(3H_1 + h)$$

固定点Nでは  $M(H) = 0$ , (2-4)式より

$$PH = (\alpha^3h_1^2 + \beta^2h_1^3 + \gamma h_1^4) - (2\alpha^3h_1 + 3\beta^2h_1^2 + 4\gamma h_1^3)h_2 - (A^3 + \delta^3)h_2^2 - B^2h_2^3 - Ch_2^4 = 0$$

これを書きなおして

$$Ch_2^4 + B^2h_2^3 + (A^3 + \delta^3)h_2^2 + (-P + 2\alpha^3h_1 + 3\beta^2h_1^2 + 4\gamma h_1^3)h_2 + \alpha^3h_1^2 + \beta^2h_1^3 + \gamma h_1^4 - PH_1 = 0$$

とすれば、これより、固定点の深さ  $h_2$  を知ることができる。

杭頭変位  $f$

カスティリヤノの定理により

$$W = \frac{1}{2} \int_0^H \frac{M^2}{EI} \delta \xi$$

を求めれば

$$f = \frac{dW}{dP}$$

と杭頭変位を求めることができる。

$$f = \int_0^t \frac{[P(h+x) - (\gamma x^4 + \beta^2 x^3 + \alpha^2 x^2)](h+x)}{EI(x)} dx + \int_0^h \frac{P\xi^2}{EI(\xi)} d\xi$$

ここに  $t$  は根入長であり、次により求める。

$\Sigma H = 0$  より

$$P - \int_0^{h_1} [2\alpha^3 + 6(\beta^2 x + 2\gamma x^2)] dx - \int_0^{h_2} [2(A^3 + \delta^3) + 6(B^2 z + 2Cz^2)] dz + \int_h^l [2(A^3 + \delta^3) + 6(B^2 z + 2Cz^2)] dz = 0$$

$$4cl^3 + 3B^2l^2 + 2(A^3 + \delta^3)l - 2\alpha^3h_1 - 3\beta^2h_1^2 - 4\gamma h_1^3 - 4(A^3 + \delta^3)h_2 - 6B^2h_2^2 - 8Ch_2^3 + P = 0$$

これを解いて、根入長  $l$  を求めることができる。

### 3. Changの方法による計算法および計算図表

#### 3-1 計算法

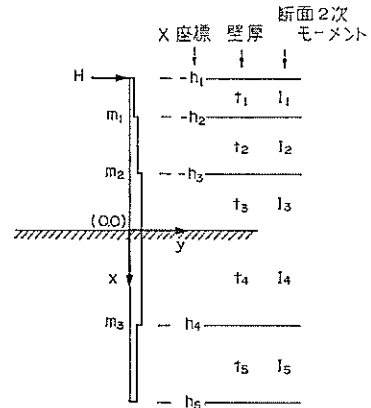


図-3. 1

鋼管は図-3.1に示すように4つの異なる断面をもつものとして、その接続部  $m_1, m_2, m_3$  のうち  $m_1, m_2$  は地上に、そして  $m_3$  は地中にあるものとする。

解法は、地盤については Y. L. Chang の仮定が成り立つとし、次に示す弾性梁のたわみの微分方程式をとくことによる。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -E_s \cdot y$$

地盤弾性係数  $E_s$  については、主として計算上の便宜から Chang の仮定、すなわち

$$E_s = k \cdot B = \text{Const.}$$

が成立つとしたが、後の検討結果からも判るとおり、実用的には十分な妥当性をもっていると考えられる。

計算は便宜的に地中部と空中部に分けて行い、境界条件としては、地中部の計算を行う場合には、 $x = h_1$  において水平力  $H$  が働くものとし、地上部の場合には  $x = 0$  において、変位  $y_0 = 0$  たわみ角  $y_0' = 0$  の仮定をおいている。このようにすれば、地中部地上部ともに、変位、たわみ角、モーメント、せん断力は、水平力  $H$  に比例する量としてとらえられ、計算図表の作成上に便利である。

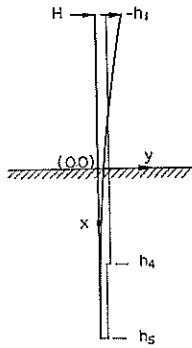


図-3. 2

(1) 地 中 部

弾性方程式

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s \cdot y = 0 \quad \dots\dots (3-1)$$

境界条件

$x=0$  :

$$M = -EI_4 \frac{d^2 y_4}{dx^2} = h_1 H \quad \dots\dots (3-2)$$

$$S = -EI_4 \frac{d^3 y_4}{dx^3} = -H \quad \dots\dots (3-3)$$

$x=h_1$  :

$$y_4 = y_3 \quad \dots\dots (3-4)$$

$$y_4' = y_3' \quad \dots\dots (3-5)$$

$$I_4 y_4'' = I_3 y_3'' \quad \dots\dots (3-6)$$

$$I_4 y_4''' = I_3 y_3''' \quad \dots\dots (3-7)$$

$x=\infty$  :

$$y_3 = 0 \quad \dots\dots (3-8)$$

$$y_3' = 0 \quad \dots\dots (3-9)$$

微分方程式 (3-1) の一般解は

$$\left. \begin{aligned} y &= \exp(\beta x) \cdot (A \cos \beta x + B \sin \beta x) \\ &+ \exp(-\beta x) \cdot (C \cdot \cos \beta x + D \sin \beta x) \\ \beta &= \sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3-10)$$

与えられるので、積分定数 A, B, C, D を境界条件 (3-2) ~ (3-9) を用いて求めてやれば、次式により任意点の変位、たわみ角、曲げモーメント、せん断力を求めることができる。

変 位  $y = y$   
 たわみ角  $y' = y'$   
 曲げモーメント  $M = -EI y''$   
 せん断力  $S = -E y'''$

一般解は、x の範囲によって次のように定められる。

$0 \leq x \leq h_1$ ,

$$y_4 = \exp(\beta_4 x) \cdot (A_4 \cos \beta_4 x + B_4 \sin \beta_4 x) + \exp(-\beta_4 x) \cdot (C_4 \cos \beta_4 x + D_4 \sin \beta_4 x)$$

$h_1 \leq x < \infty$

$$y_5 = \exp(\beta_5 x) \cdot (\bar{A}_5 \cos \beta_5 x + B_5 \sin \beta_5 x) + \exp(-\beta_5 x) \cdot (C_5 \cos \beta_5 x + D_5 \sin \beta_5 x)$$

一般解の 1 次, 2 次, 3 次導関数を求めると,

$$y' = [\beta \exp(\beta x) \cdot \{(A+B) \cos \beta x + (-A+B) \sin \beta x\} + \exp(-\beta x) \cdot \{(-C-D) \cos \beta x + (-C-D) \sin \beta x\}]$$

$$y'' = 2\beta^2 [\exp(\beta x) \cdot (B \cos \beta x - A \sin \beta x) + \exp(-\beta x) \cdot (-D \cos \beta x + C \sin \beta x)]$$

$$y''' = 2\beta^3 [\exp(\beta x) \cdot \{(B-A) \cos \beta x + (-B-A) \sin \beta x\} + \exp(-\beta x) \cdot \{(C+D) \cos \beta x + (-C+D) \sin \beta x\}]$$

となる。

(3-8), (3-9) より  $A_5 = B_5 = 0$  が求まり、他の未知係数は、その他の境界条件より連立方程式をたてることによって求めることができる。

(3-2), (3-3) より,

$$-EI_4 \cdot 2\beta_4^2 \{B_4 - D_4\} = h_1 H \quad \dots\dots (3-11)$$

$$-EI_4 \cdot 2\beta_4^3 \{(B_4 - A_4) + (C_4 + D_4)\} = -H \quad \dots\dots (3-12)$$

(3-4) より,

$$\begin{aligned} &\exp(\beta_4 h_1) \cdot (A_4 \cos \beta_4 h_1 + B_4 \sin \beta_4 h_1) \\ &+ \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (C_4 \cos \beta_4 h_1 + D_4 \sin \beta_4 h_1) \\ &= \exp(-\beta_5 h_1) \cdot (C_5 \cos \beta_5 h_1 + D_5 \sin \beta_5 h_1) \quad \dots\dots (3-13) \end{aligned}$$

(3-5) より

$$\begin{aligned} &\exp(\beta_4 h_1) \cdot \beta_4 \{(A_4 + B_4) \cos \beta_4 h_1 + (-A_4 + B_4) \sin \beta_4 h_1\} \\ &+ \exp^5(\beta_4 h_1) \cdot \beta_4 \{(-C_4 - D_4) \cos \beta_4 h_1 \\ &+ (-C_4 + D_4) \sin \beta_4 h_1\} \\ &= \exp(-\beta_5 h_1) \cdot \beta_5 \{(-C_5 + D_5) \cos \beta_5 h_1 \\ &+ (-C_5 + D_5) \sin \beta_5 h_1\} \quad \dots\dots (3-14) \end{aligned}$$

(3-6) より

$$\begin{aligned} &\frac{I_4}{I_5} \cdot \frac{\beta_4^2}{\beta_5^2} [\exp(\beta_4 h_1) \cdot (B_4 \cos \beta_4 h_1 - A_4 \sin \beta_4 h_1) \\ &+ \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (-D_4 \cos \beta_4 h_1 + C_4 \sin \beta_4 h_1)] \\ &= \exp(-\beta_5 h_1) \cdot (-D_5 \cos \beta_5 h_1 + C_5 \sin \beta_5 h_1) \quad \dots\dots (3-15) \end{aligned}$$

(3-7) より

$$\begin{aligned} &\frac{I_4}{I_5} \cdot \frac{\beta_4^3}{\beta_5^3} [\exp(\beta_4 h_1) \cdot \{(B_4 - A_4) \cos \beta_4 h_1 \\ &+ (-B_4 - A_4) \sin \beta_4 h_1\} \\ &+ \exp(-\beta_4 h_1) \cdot \{(C_4 + D_4) \cos \beta_4 h_1 \\ &+ (C_4 - D_4) \sin \beta_4 h_1\}] \\ &= \exp(-\beta_5 h_1) \cdot \{(C_5 + D_5) \cos \beta_5 h_1 \\ &+ (-C_5 + D_5) \sin \beta_5 h_1\} \quad \dots\dots (3-16) \end{aligned}$$

未知係数,  $A_4, B_4, C_4, D_4, C_5, D_5$  に関する連立

方程式の係数を  $\alpha_{ij}$  とすれば、(3-11) ~ (3-16) の6式よりその値を次のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= 0 \\ \alpha_{12} &= 1 \\ \alpha_{13} &= 0 \\ \alpha_{14} &= -1 \\ \alpha_{15} &= 0 \\ \alpha_{16} &= 0 \\ \alpha_{21} &= -1 \\ \alpha_{22} &= 1 \\ \alpha_{23} &= 1 \\ \alpha_{24} &= 1 \\ \alpha_{25} &= 0 \\ \alpha_{26} &= 0 \\ \alpha_{31} &= \exp(\beta_4 h_1) \cdot \cos \beta_4 h_1 \\ \alpha_{32} &= \exp(\beta_4 h_1) \cdot \sin \beta_4 h_1 \\ \alpha_{33} &= \exp(-\beta_4 h_1) \cdot \cos \beta_4 h_1 \\ \alpha_{34} &= \exp(-\beta_4 h_1) \cdot \sin \beta_4 h_1 \\ \alpha_{35} &= -\exp(-\beta_5 h_1) \cdot \sin \beta_5 h_1 \\ \alpha_{36} &= -\exp(-\beta_5 h_1) \cdot \cos \beta_5 h_1 \\ \alpha_{41} &= \beta_4 \exp(\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{42} &= \beta_4 \exp(\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 + \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{43} &= \beta_4 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (-\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{44} &= \beta_4 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{45} &= -\beta_5 \exp(-\beta_5 h_1) \cdot (-\cos \beta_5 h_1 - \sin \beta_5 h_1) \\ \alpha_{46} &= -\beta_5 \exp(-\beta_5 h_1) \cdot (\cos \beta_5 h_1 - \sin \beta_5 h_1) \\ \alpha_{51} &= -k_1 \exp(\beta_4 h_1) \cdot \sin \beta_4 h_1 \\ \alpha_{52} &= k_1 \exp(\beta_4 h_1) \cdot \cos \beta_4 h_1 \\ \alpha_{53} &= k_1 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot \sin \beta_4 h_1 \\ \alpha_{54} &= -k_1 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot \cos \beta_4 h_1 \\ \alpha_{55} &= -\exp(-\beta_5 h_1) \cdot \sin \beta_5 h_1 \\ \alpha_{56} &= \exp(\beta_5 h_1) \cdot \cos \beta_5 h_1 \\ \alpha_{61} &= k_2 \exp(\beta_4 h_1) \cdot (-\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{62} &= k_2 \exp(\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{63} &= k_2 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 - \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{64} &= k_2 \exp(-\beta_4 h_1) \cdot (\cos \beta_4 h_1 + \sin \beta_4 h_1) \\ \alpha_{65} &= -\exp(-\beta_5 h_1) \cdot (\cos \beta_5 h_1 - \sin \beta_5 h_1) \\ \alpha_{66} &= -\exp(-\beta_5 h_1) \cdot (\cos \beta_5 h_1 + \sin \beta_5 h_1) \end{aligned}$$

乙乙乙

$$k_1 = \frac{I_4}{I_5} \cdot \frac{\beta_4^2}{\beta_5^2}, \quad k_2 = \frac{I_4}{I_5} \cdot \frac{\beta_4^3}{\beta_5^2}$$

A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	D <sub>5</sub>	Const
$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{14}$	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$	$-h_1 H / (EI_4 \cdot 2\beta_4^2)$
$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$	$\alpha_{24}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{26}$	$H / (EI_4 \cdot 2\beta_4^3)$
$\alpha_{31}$	$\alpha_{32}$	$\alpha_{33}$	$\alpha_{34}$	$\alpha_{35}$	$\alpha_{36}$	0
$\alpha_{41}$	$\alpha_{42}$	$\alpha_{43}$	$\alpha_{44}$	$\alpha_{45}$	$\alpha_{46}$	0
$\alpha_{51}$	$\alpha_{52}$	$\alpha_{53}$	$\alpha_{54}$	$\alpha_{55}$	$\alpha_{56}$	0
$\alpha_{61}$	$\alpha_{62}$	$\alpha_{63}$	$\alpha_{64}$	$\alpha_{65}$	$\alpha_{66}$	0

この連立方程式を解いて、A<sub>4</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>4</sub>, D<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, D<sub>5</sub> を求め、曲げモーメントを求めて図化したのが図-4(1)~(9)であり、さらに地表面すなわち x=0 における変位 y<sub>0</sub> を計算し図化したのが図-3(1)~(3)である。これらは全て H=100t の場合についての値であるので、その他の値の場合には、その比率を図から読みとった値にかけてやればよい。例えば、図から読みとられた y<sub>0</sub> 値を 6cm とした場合、実際のけが 50t であるならば、実際の y<sub>0</sub> 値は  $6\text{cm} \times \frac{50}{100} = 3\text{cm}$  ということになる。

## (2) 地上部

弾性方程式

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = 0 \dots \dots \dots (3-17)$$

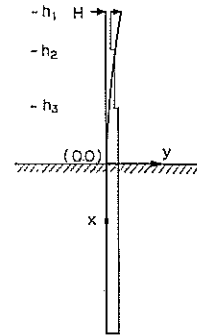


図-3. 3

一般解

$$\begin{aligned} -h_1 \leq x \leq -h_2 \\ y_1 &= a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \\ -h_2 \leq x \leq -h_3 \\ y_2 &= b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 \\ -h_3 \leq x \leq 0 \\ y_3 &= c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3 \end{aligned} \dots \dots \dots (3-18)$$

境界条件

$$x = -h_1 : \quad M = -EI_1 \quad y_1'' = 0 \dots \dots \dots (3-19)$$

$$S = -EI_1 \quad y_1''' = -H \dots \dots \dots (3-20)$$

$$x = -h_2 : \quad y_1 = y_2 \dots \dots \dots (3-21)$$

$$y_1' = y_2' \dots \dots \dots (3-22)$$

$$M = -EI_2 y_2'' = H(h_1 - h_2) \quad (3-23)$$

$$S = -EI_2 y_2''' = -H \quad (3-24)$$

$x = -h_3 :$

$$y_2 = y_3 \quad (3-25)$$

$$y_2' = y_3' \quad (3-26)$$

$$M = -EI_3 y_3'' = H(h_1 - h_3) \quad (3-27)$$

$$S = -EI_3 y_3''' = -H \quad (3-28)$$

$x = 0 :$

$$y_3 = 0 \quad (3-29)$$

$$y_3' = 0 \quad (3-30)$$

(3-20) より

$$a_3 = \frac{H}{6EI_1}$$

(3-24) より

$$b_3 = \frac{H}{6EI_2}$$

(3-28) より

$$c_3 = \frac{H}{6EI_3}$$

(3-19) より

$$-EI_1(2a_2 - 6a_3 h_1) = 0$$

$$a_2 = 3a_3 h_1 = \frac{Hh_1}{2EI_1}$$

(3-23) より

$$-EI_2(2b_2 - 6b_3 h_2) = H(h_1 - h_2)$$

$$b_2 = -\frac{H(h_1 - h_2)}{2EI_2} + 3b_3 h_2 = \frac{-H(h_1 - h_2) + Hh_2}{2EI_2}$$

$$= \frac{Hh_1}{2EI_2}$$

(3-27) より

$$-EI_3(2c_2 - 6c_3 h_3) = H(h_1 - h_3)$$

$$c_2 = -\frac{H(h_1 - h_3)}{2EI_3} + 3c_3 h_3 = \frac{Hh_1}{2EI_3}$$

(3-29), (3-30) より

$$c_0 = c_1 = 0$$

(3-26) より

$$b_1 - c_1 - 2h_3(b_2 - c_2) + 3h_2^2(b_3 - c_3) = 0$$

$$b_1 = c_1 + 2h_3(b_2 - c_2) - 3h_2^2(b_3 - c_3)$$

(3-22) より

$$a_1 - b_1 - 2h_2(a_2 - b_2) + 3h_2^2(a_3 - b_3) = 0$$

$$a_1 = b_1 + 2h_2(a_2 - b_2) - 3h_2^2(a_3 - b_3)$$

(3-25) より

$$b_0 - c_0 - h_3(b_1 - c_1) + h_3^2(b_2 - c_2) - h_3^3(b_3 - c_3) = 0$$

$$b_0 = c_0 + h_3(b_1 - c_1) - h_3^2(b_2 - c_2) + h_3^3(b_3 - c_3)$$

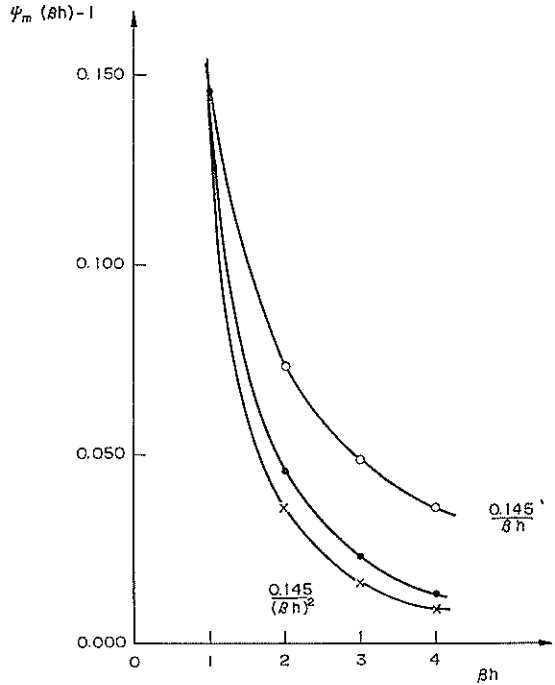


図-3.4

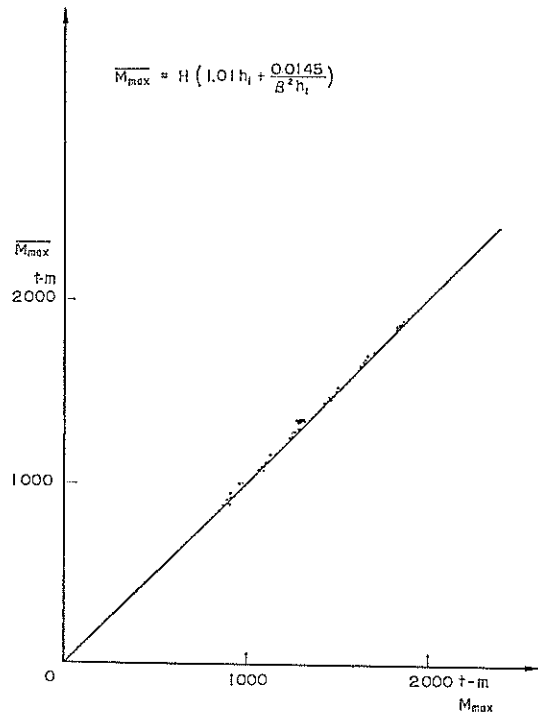


図-3.5



(3-21) より

$$a_0 - b_0 - h_2(a_1 - b_1) + h_2^2(a_2 - b_2) - h_2^3(a_3 - b_3) = 0$$

$$a_0 = b_0 + h_2(a_1 - b_1) - h_2^2(a_2 - b_2) + h_2^3(a_3 - b_3)$$

以上によって求めた係数値を、一般解 (3-18) に代入して、 $H=100t$  に対して杭頭変位すなわち

$$\Delta' = y_1(x_2 - h_1) = a_0 - a_1 h_1 + a_2 h_1^2 - a_3 h_1^3$$

を計算することができる。

### (3) 最大曲げモーメント

断面一定の場合の最大曲げモーメント  $M_{max}$  は Chang の仮定に従えば次式で与えられる。3)

$$M_{max} = -Hh\varphi_m(\beta h)$$

$$\varphi_m(\beta h) = \frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2 + 1}}{2\beta h} \cdot \exp\left[-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right]$$

$\varphi_m(\beta h) - 1$  の値を  $\beta h = 1.0 \sim 4.0$  に対応してプロットしてみたのが 図-3.4 であり、近似的に

$$\varphi_m(\beta h) - 1 \approx 1/(\beta h)^2$$

が成立つといえるようであり、これより類推して、実際に  $M_{max}$  の推定値  $\bar{M}_{max}$  を

$$\bar{M}_{max} = H(1.01h_1 + 0.0145/\beta^2 h_1) \dots\dots\dots (3-31)$$

で計算し、 $M_{max}$  および  $\bar{M}_{max}$  をプロットしたのが 図-3.5 であり、多少安全側に見込んではいいるが、この計算範囲内ではよく合うことが判る。

### (4) 許容水平力および許容水平変位

地上部の断面変化は、十分曲げモーメントをカバーするように行っているので(表-1 参照)許容水平反力は、地中部の最大曲げモーメントで押えられることになる。

$$M_{max} \leq \frac{\sigma_a I}{y}$$

$$\bar{M}_{max} = H\left(1.01h_1 + \frac{0.0145}{\beta^2 h_1}\right) \dots\dots\dots (3-33)$$

$M_{max} = \bar{M}$  とおいて、

$$Ha = \frac{\sigma_a \cdot I}{y} \left/ \left(1.01h_1 + \frac{0.0145}{\beta^2 h_1}\right) \right. \dots\dots\dots (3-34)$$

$$\Delta a = y_0(Ha) + y_0'(Ha) \times h_1 + \Delta'(Ha) \dots\dots\dots (3-35)$$

の2式を導くことができる。

(3-34) によって許容水平力を計算したのが、図-1(1)~(2)であり、(3-35) によって杭頭の許容変位を計算したのが 図-2(1)~(3)である。

地表面変位  $y_0$  および地表面傾斜  $y_0'$  は、地盤反力係数  $k$  の変化に対してかなり割合で変化する。すなわち、 $y_0, y_0'$  に対する  $k$  の要因効果が大いなのに対して、 $Ha$  に対する  $k$  の要因効果は無視できるほどに近いことは、図-4(1)~(9)のモーメント分布あるいは(3-33)式でモーメントが推定されることより明らかであり、図-1(1)~(2)は  $k=1000 \sim 5000t/m^3$  の範囲に使用可能である。

この計算にした鋼材の曲げに対する許容応力は

$$\sigma_a = 2400 \text{kg/cm}^2$$

という仮の値を使用しているの、実際にこれらの図により、許容水平力  $Ha$  を求める際には、使用鋼の材質に応じ、また責任技術者の判断によって許容応力  $\sigma_a$  を定め、図よりよみとった値を次式によって比例的に修正する必要がある。

$$Ha = Ha' \times \frac{\sigma_a}{2400}$$

$Ha'$ : 図-1(1)~(2)より読んだ許容水平力 (t)

$\sigma_a$ : 設計に使用する曲げの許容応力度 (kg/cm<sup>2</sup>)

さらに 図-2(1)~(3)によれば、その  $Ha$  に対応した杭頭の許容変位  $\Delta a$  を求めることができる。

許容変位  $\Delta a$  は、 $Ha$  の一次関数であるので、 $Ha$  と同様に  $\sigma_a$  により比例的に修正することができる。

$$\Delta a = \Delta a' \times \frac{\sigma_a}{2400}$$

$\Delta a'$ : 図-2(1)~(3)よりよんだ許容水平変位 (m)

一方、許容応力のみではなく、設計上の仮定である Chang の仮定が成立するためにも、あるいは、地中部の変位が大きい場合の杭の挙動がよく判っていないという意味においても、許容水平力あるいは許容水平変位が地表面の変位量によって規制されるのは明らかであろう。このために利用できるのが 図-3(1)~(3)であって、一定の条件 ( $B, t, h_1$  など) のもとに水平力  $H=100t$  がかった場合の地表面変位  $y_0$  が計算されている。これらの値は  $H$  に比例するので  $H$  が  $100t$  以外の場合は、図からよみとった値に  $\frac{H}{100}$  をかければよい。

地表面変位量が数cm以下であれば問題はないが、これが大きな値をとるような場合には、適宜、許容水平力あるいは許容吸収エネルギー量を下げることが必要となる。

$$Ha = Ha' \times \frac{y_0 \cdot \max}{y_0}$$

$$\Delta a = \Delta a' \times \frac{y_0 \cdot \max}{y_0}$$

### (5) 許容吸収エネルギー

地表面変位量が許容範囲内である場合には、上でもとめた  $Ha, \Delta a$  を使って、多段面鋼管本体による許容吸収エネルギーは次式によって計算される。

$$E_p = \frac{1}{2} \Delta a Ha$$

一方、鋼管前面にゴム防玄材をとりつけた場合には、その防玄材の反力吸収エネルギー曲線によって、 $Ha$ , 防玄材の使用量、防玄材のとりつけ方に応じて、防玄材に

よるエネルギー吸収量 $E_r$ を求めることができる。

従って、全吸収エネルギー量 $E$ は $E_p$ と $E_r$ との和になり、 $E = E_p + E_r$ と表すことができる。

### (6) 断面変化

壁厚は図-3.1に示すパターンをもって、地上部を3断面、地中部を2断面と変化させ、 $t_1, t_2, t_3$ の組合せは、表-3.1に示すように一定として計算を進めている。

なお、 $t_4 = t_3, t_5 = t_2$ である。

$h_2, h_3$ のレベルは、直線的に変化する地上部の曲げモーメントをカバーするように次式によって求めてあり、その計算した値は表-1

$$h_3 = \frac{I_3 - I_2}{I_3} h_1 + 0.5 \quad (m)$$

$$h_2 = \frac{I_2 - I_1}{I_3} h_1 + h_3 \quad (m)$$

のとおりである。

地中部における断面変化のモーメントその他に及ぼす影響は小さいので、全ての場合が $h_4 = 5m$ で計算してある。従って実際に断面を変化させる位値は、図-4(1)~(9)を利用してモーメントの分布を求め、それを十分にカバーするように定めなければならない。

### (7) 根入長

根入長 $l$ は、図-4(1)~(9)よりよみとった曲げモーメント=0になる深さを $l_{m1}$ とすると、有効長の概念に従って次式によって決める<sup>1)</sup>。

$$l \geq 1.5 l_{m1}$$

### 3-1 設計計算図表

#### (1) 図-1, (1)~(2) 許容水平力 $H_a$

杭の許容曲げ応力度 $\sigma_a$ 、(kg/cm<sup>2</sup>) また、地表面変位が過大である場合はその許容できる最大値 $y_{0max}$ によって修正しなければならない。

$$H_a = H_a' \times \frac{\sigma_a}{2400} \times \frac{y_{0max}}{y_0}$$

表-3.1 壁厚 $t_i$ の組合せ

case	$t_1$	$t_2$	$t_3$
	mm	mm	mm
1	40	32	28
2	32	25	20
3	30	22	18
4	28	20	16
5	25	18	14

#### (2) 図-2(1)~(3) 許容杭頭水平変位 $\Delta a$

杭の許容応力からきまる船舶の衝撃高における水平許容変位であって、 $H_a$ と同様に $\sigma_a$ および $y_{0max}$ によって修正しなければならない。

$$\Delta a = \Delta a' \times \frac{\sigma_a}{2400} \times \frac{y_{0max}}{y_0}$$

#### (3) 図-3(1)~(3) 地表面変位 $y_0$

杭頭に加る水平力 $H = 100t$ に対する地表面の変位量であるので、実際に加る水平力 $H(t)$ によって修正しなければならない。

$$y_0 = y_0' \times \frac{H}{100}$$

#### (4) 図-4(1)~(9) 地中部の曲げモーメント分布図

地中部で断面の変る×座標のモーメント分布に及ぼす影響は図-3.6にみられるとおりの小さいので、全ての計算は $h_4 = 5.0m$ で行っている。また図示してあるのは、 $t_3 = 40mm$  および  $t_3 = 25mm$  の2とおりの場合についてであり、その他 $t_3 = 32, 30, 28mm$  というような場合については、適宜、内挿して求めている。

また、水平力は載荷高 8.0 ~ 18.0m の範囲について

#### \* 誤差の推定

$$H_a = \frac{Ma}{1.01h_1 + \frac{0.0145}{\beta^2 h^2}}$$

$$1.01h_1 \gg \frac{0.0145}{\beta^2 h^2}$$

なることより

$$\begin{aligned} H_a &\approx \frac{Ma}{1.01h_1} \left\{ 1 - \frac{0.0145}{1.01\beta^2 h^2} \right\} \\ &= \frac{Ma}{1.01h_1} \left\{ 1 - \frac{0.0145}{1.01h_1} \sqrt{\frac{4EI}{B}} \cdot \frac{1}{\sqrt{k}} \right\} \\ &= \frac{Ma}{1.01h_1} \left( 1 - \frac{\alpha}{\sqrt{\beta \cdot k_0}} \right) \end{aligned}$$

$B = 1.01 \sim 2.00m, t_3 = 40 \sim 25mm$  では

$$\sqrt{\frac{4EI}{B}} = 10 \sim 20 \times 10^2$$

程度となり、 $h_1 = 8.0 \sim 18.0m, k = 1000 \sim 5000t/m^3$  の範囲で変動するとしたとき、 $k = 1000t/m^3$  の値で計算した $H_a$ に対してどれだけの誤差があるかをみると

$$\varepsilon = \frac{\alpha \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)}{\sqrt{k_0 - \alpha}} \times 100 (\%)$$

$\alpha = 0.45 \sim 0.045, \beta = 0.5 \sim 1.0 \sim 10.0$

なることより

$$\varepsilon_{max} \approx 1.0\%$$

\*\* 計算に使用した $\sigma_a = 2400kg/cm^2$ の値は日本建築学会の高層建築技術指針によるHT55級の高張力鋼の長期曲げ荷重に対する許容応力度に相当する。

H=100t としているので、実際の水平力Hに応じて、モーメントを修正しなければならない。

$$M = M' \times \frac{H}{100}$$

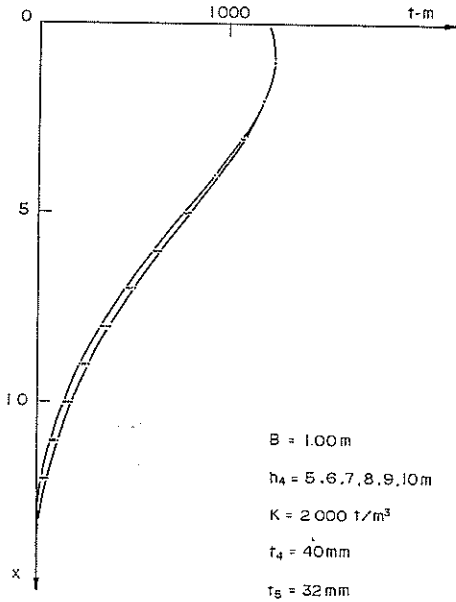


図-3.6  $h_4$ のモーメントに及ぼす効果

(5) 表-1 壁厚の変化高上,  $h_2, h_3$

$h_2, h_3$  は地上部の曲げモーメントを十分カバーできるように計算されている。

(6) 表-2  $\beta$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kB}{4EI}}$$

を求めたもので、必要な場合に利用できる。

(7) 表-3 抵抗モーメント

断面二次モーメント I および抵抗モーメント  $Ma$  を次式により求めたものである。

$$I = \frac{\pi}{64} \left\{ (B+2t)^4 - B^4 \right\}$$

$$Ma = \frac{I\sigma_a}{y} = \frac{2I\sigma_a}{B+2t}$$

(8) 表-4 単位長重量

鋼の比重を  $7.85\text{g/cm}^3$  として m 当り重量を算出したものである。

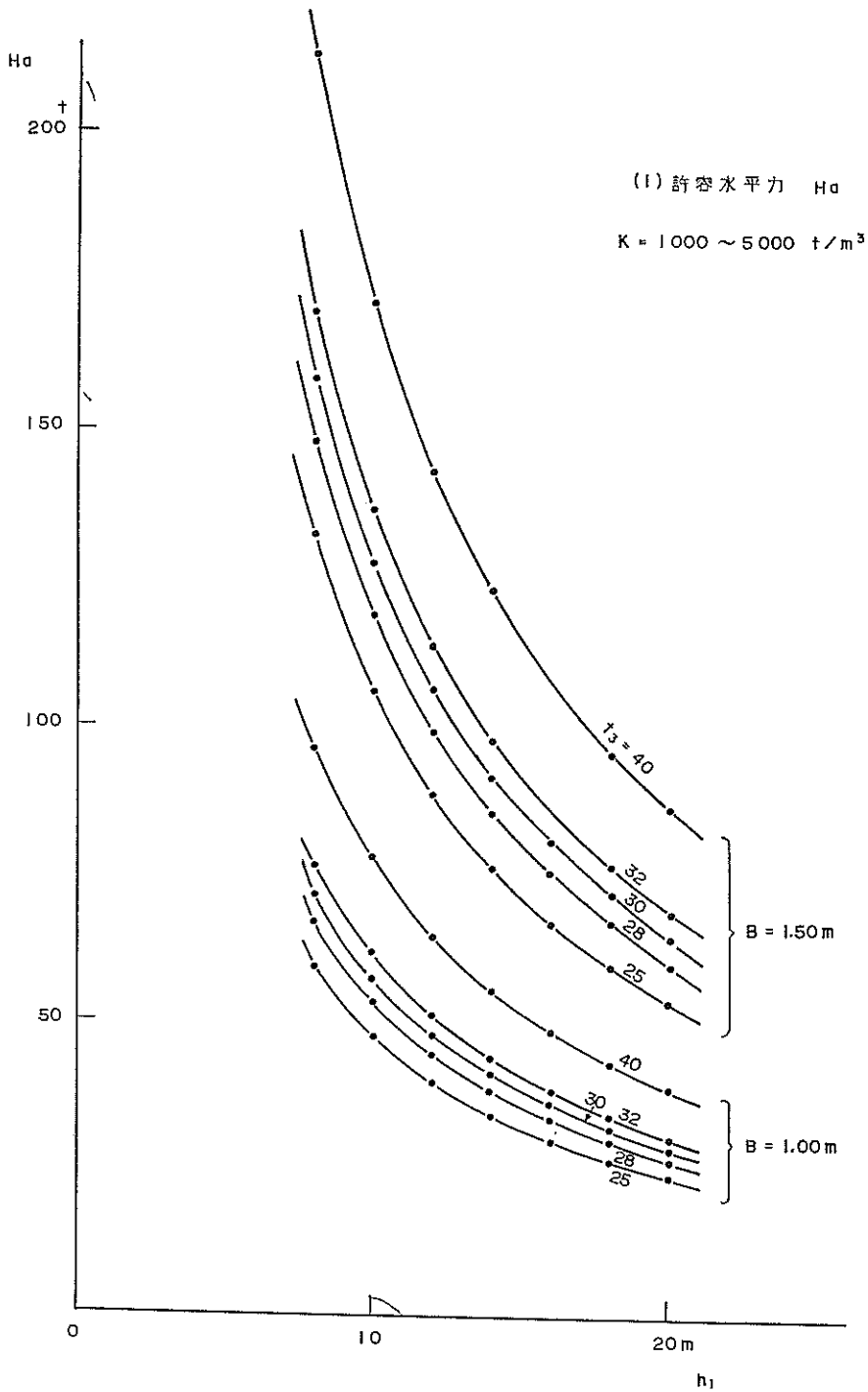
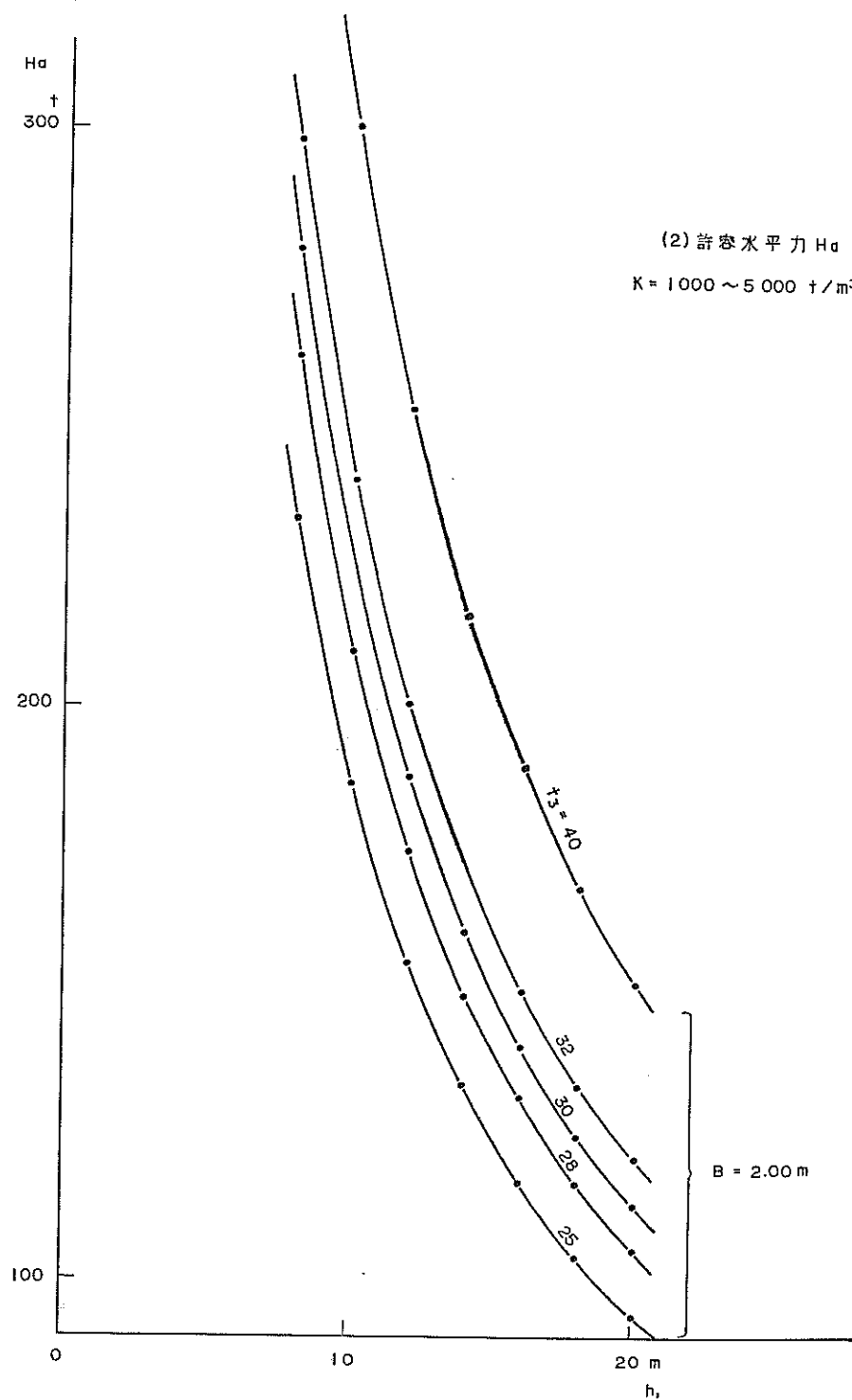


図-1 (1)



圖—1 (2)

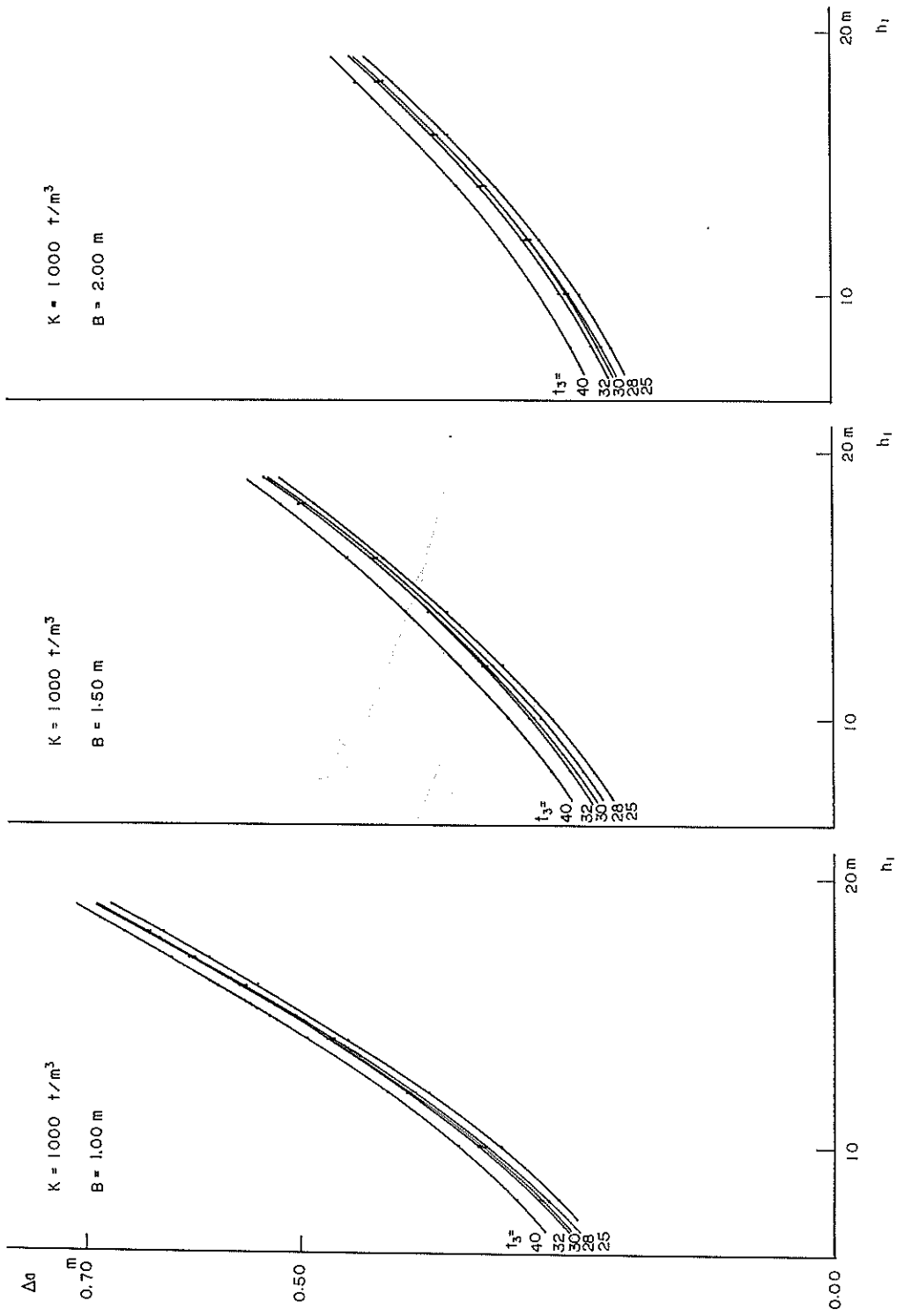
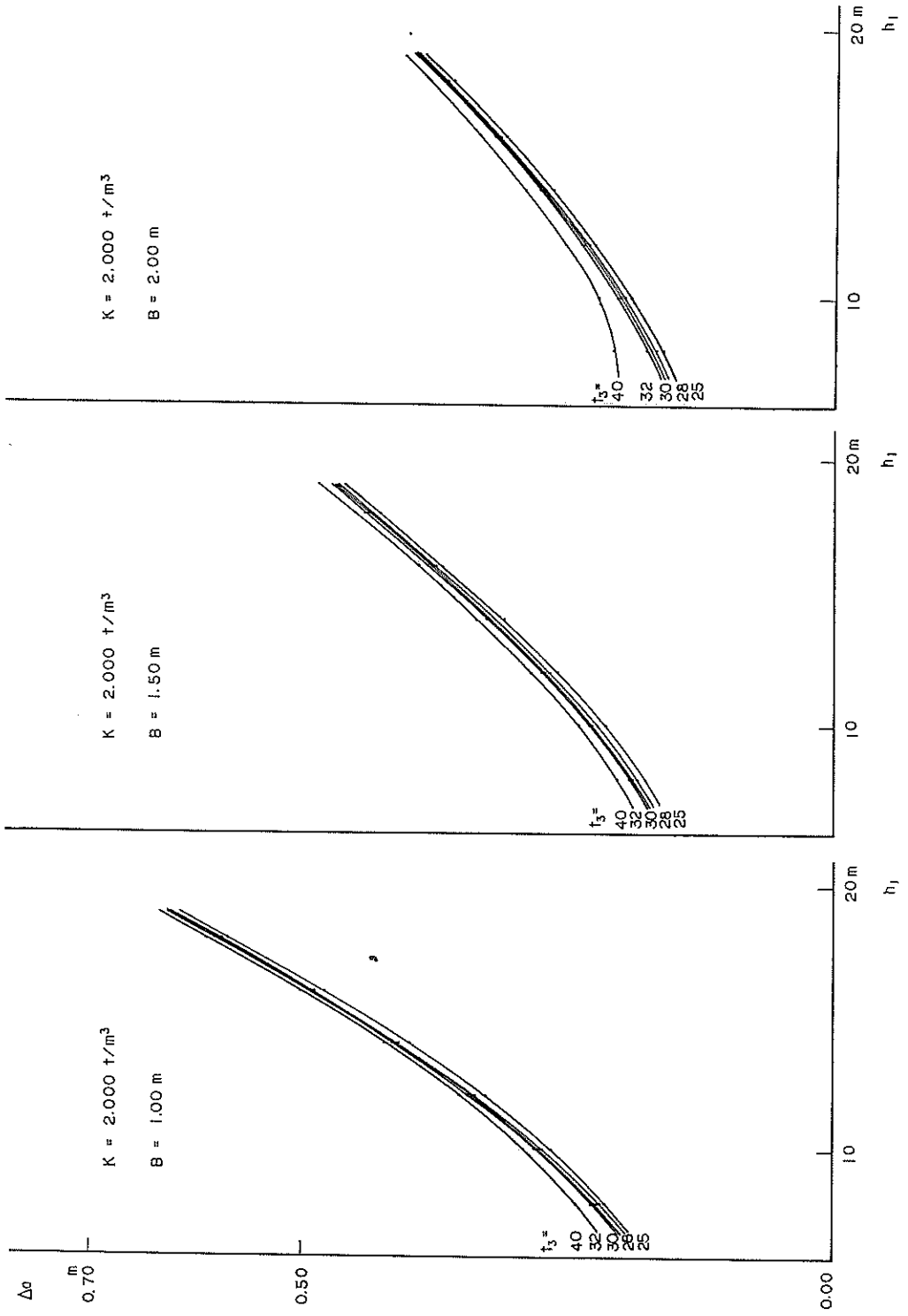
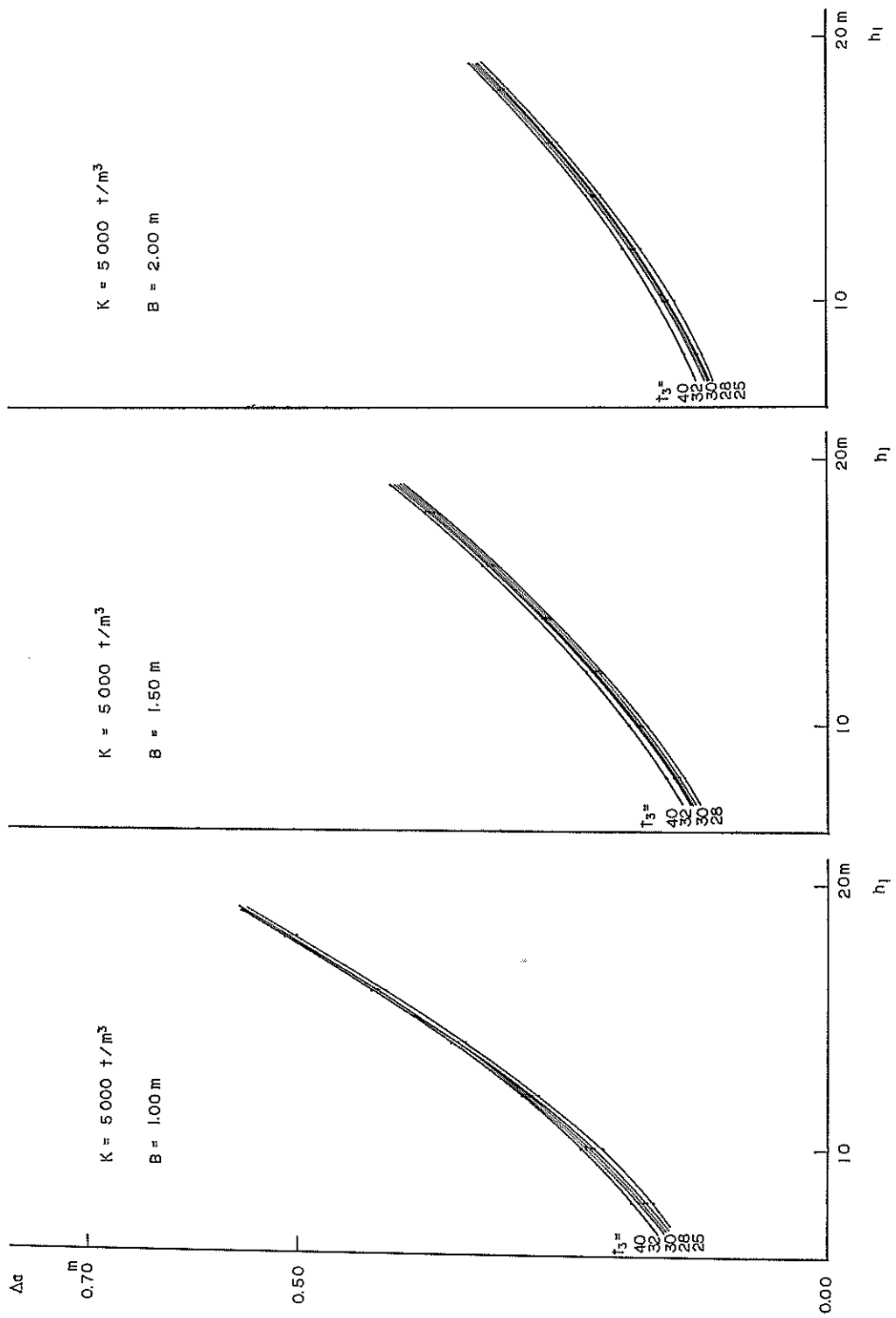


图-2 (1) 杭頭許容變位



图—2 (2) 杭頭許容变位



圖—2 (3) 杭頭許容變位



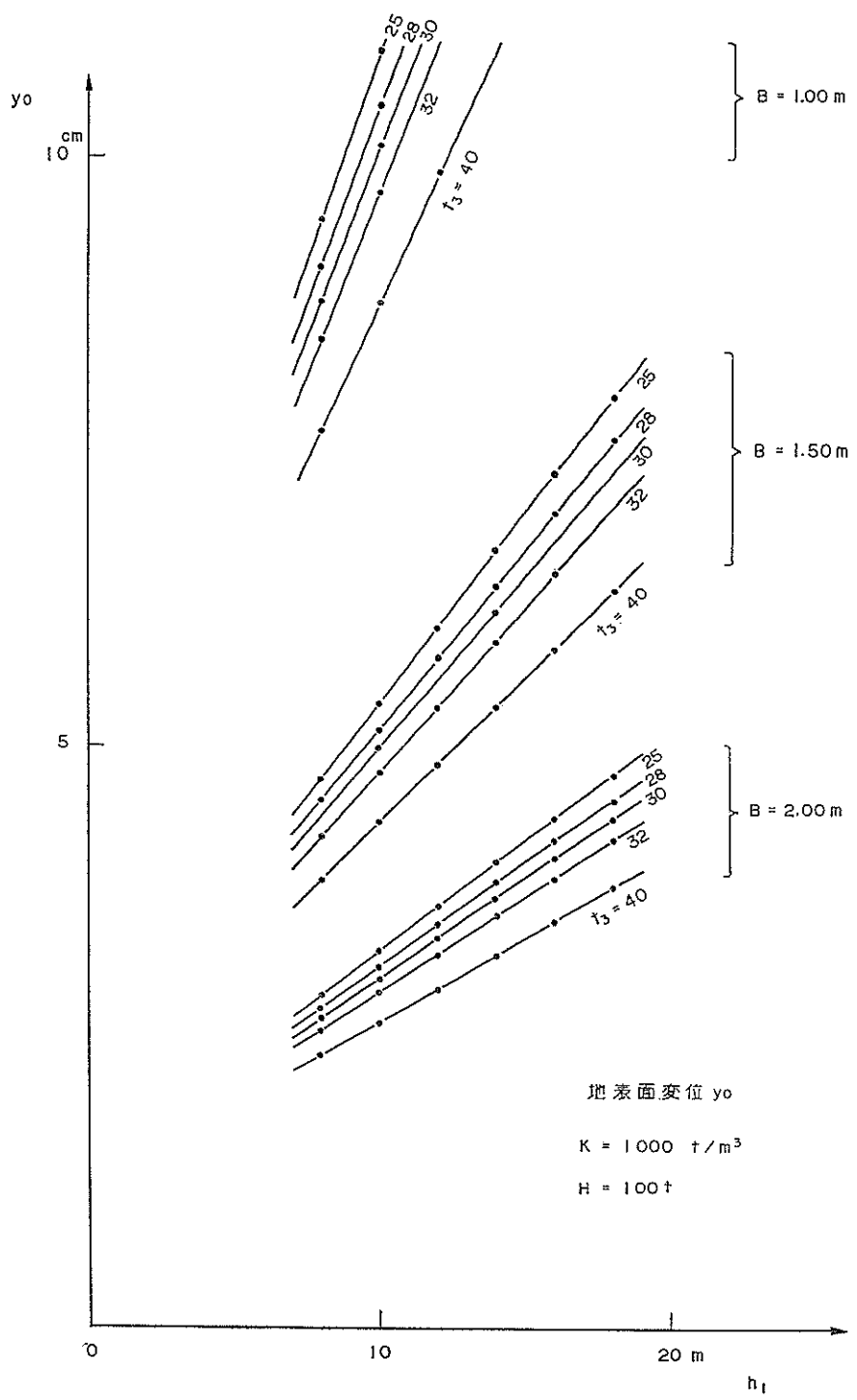
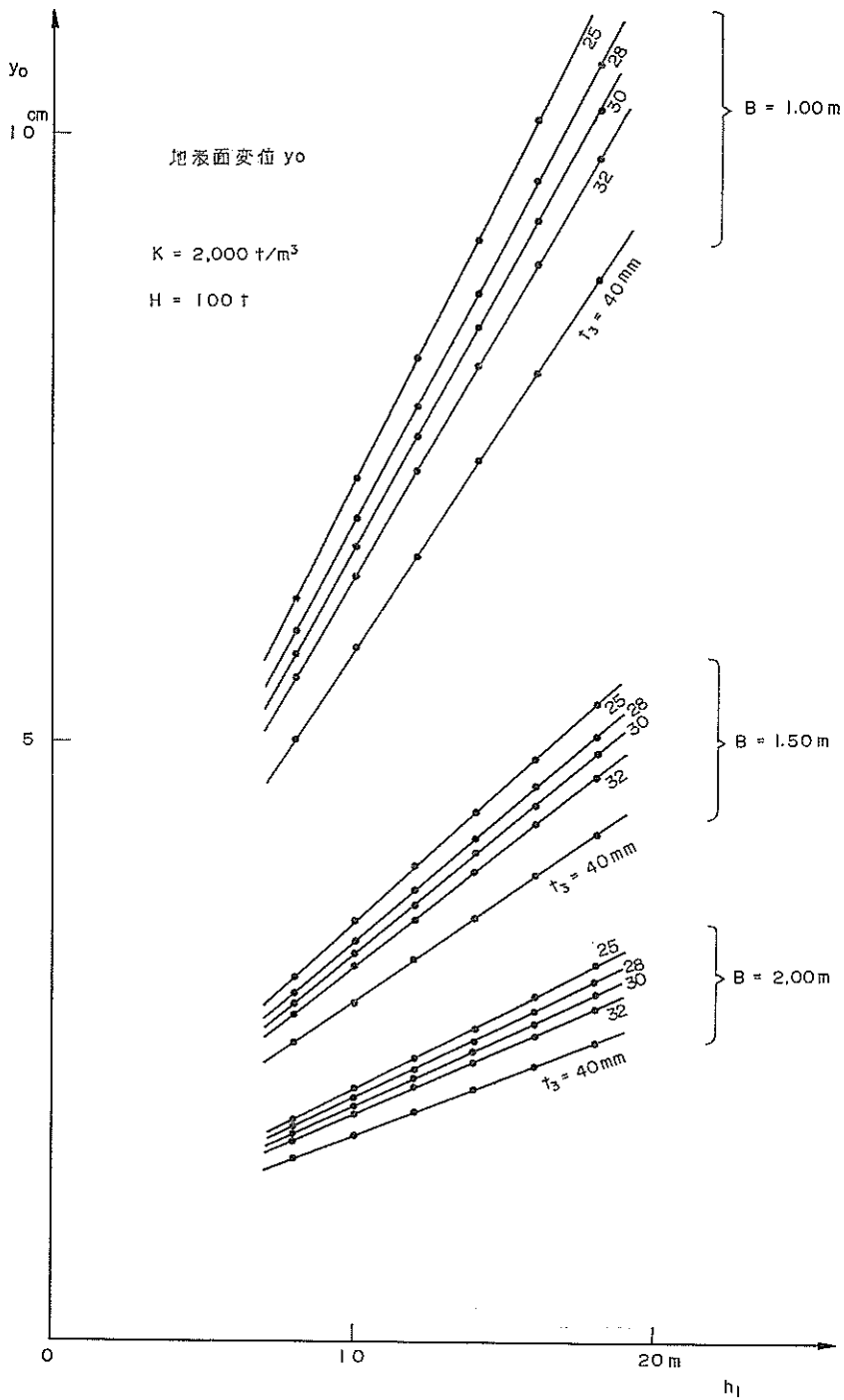
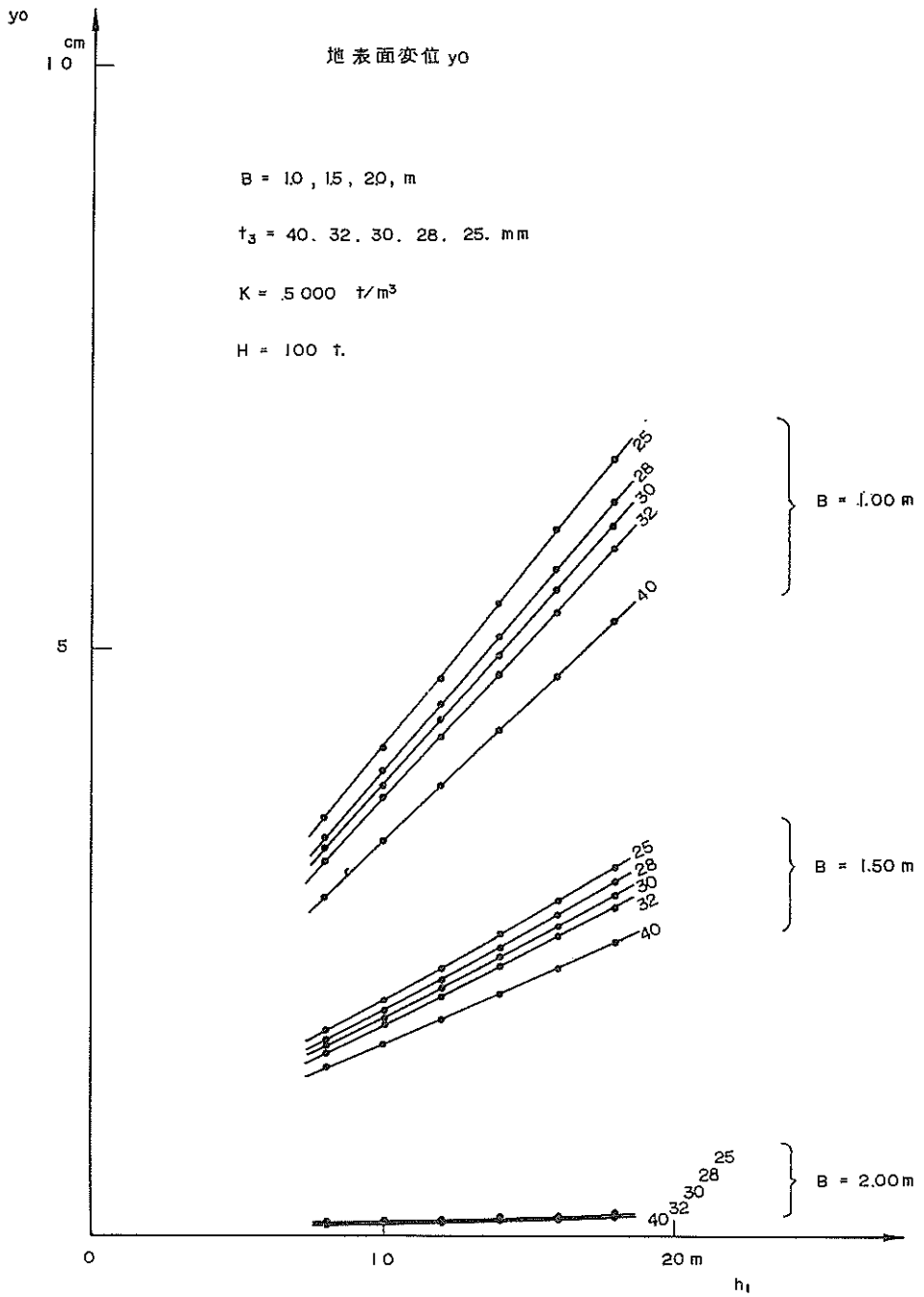


图-3 (1) 地表面变位



图—3 (2) 地表面変位



图—3 (3)

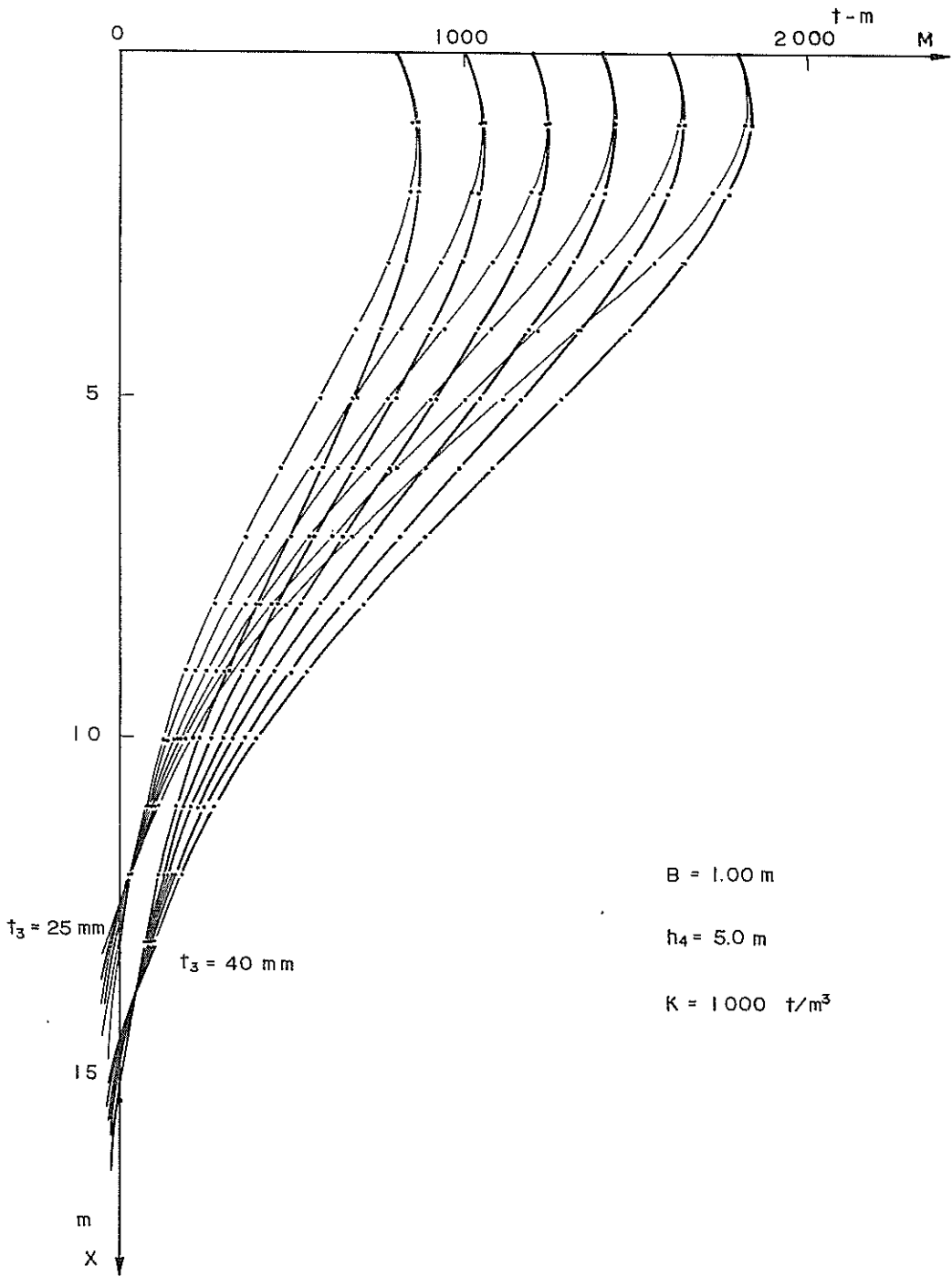


図-4 (1) モーメント図

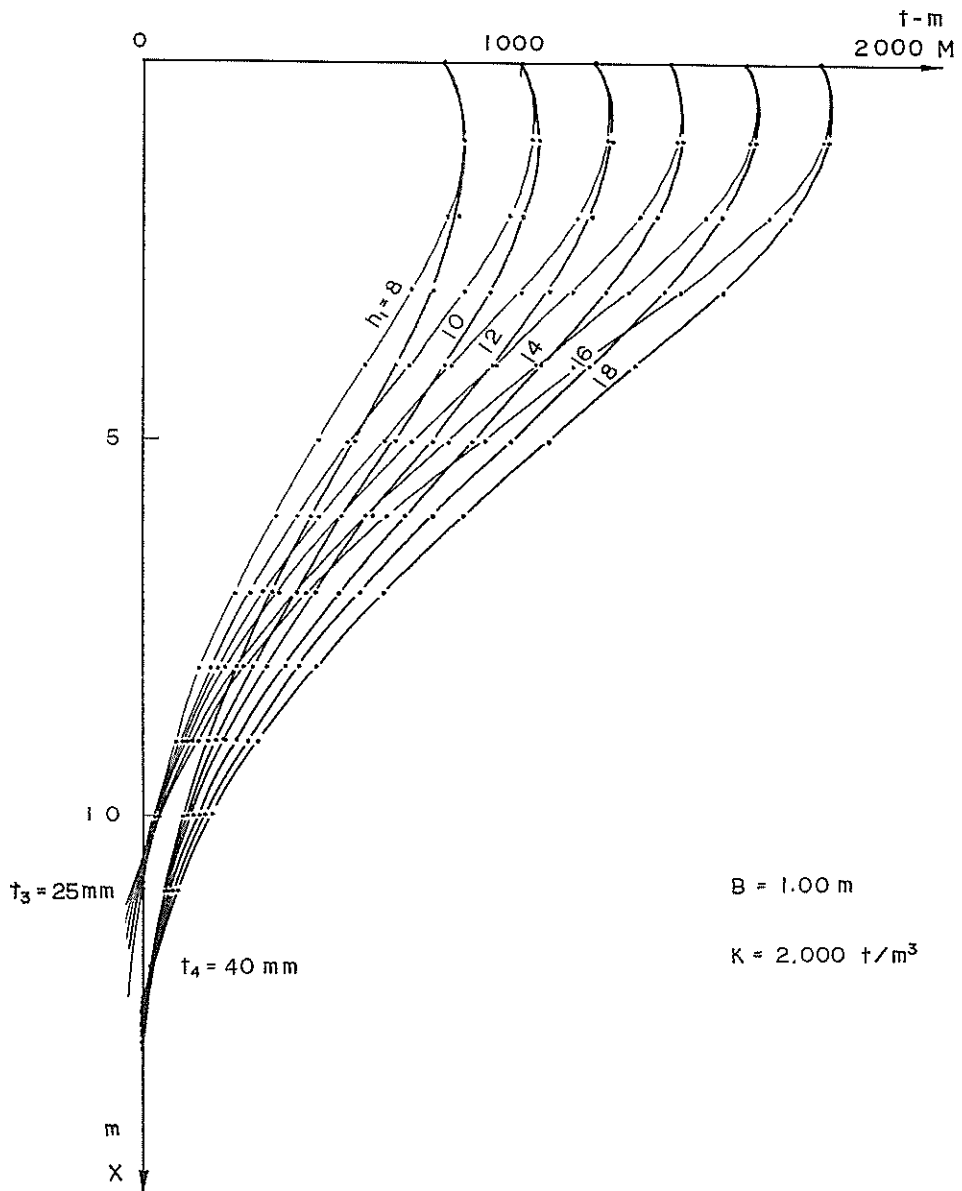


図-4 (2) モーメント図

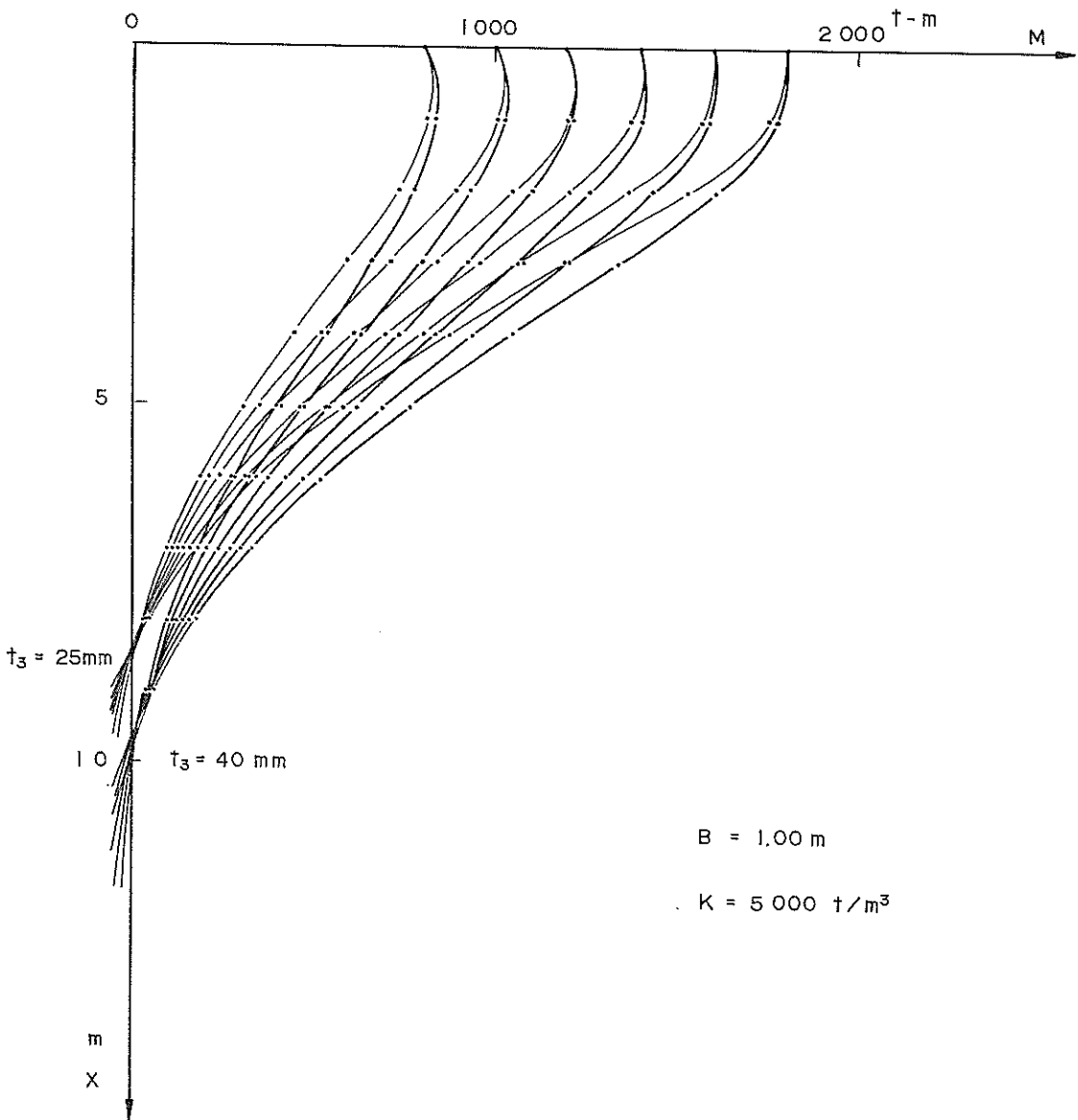


図-4 (3) モーメント図

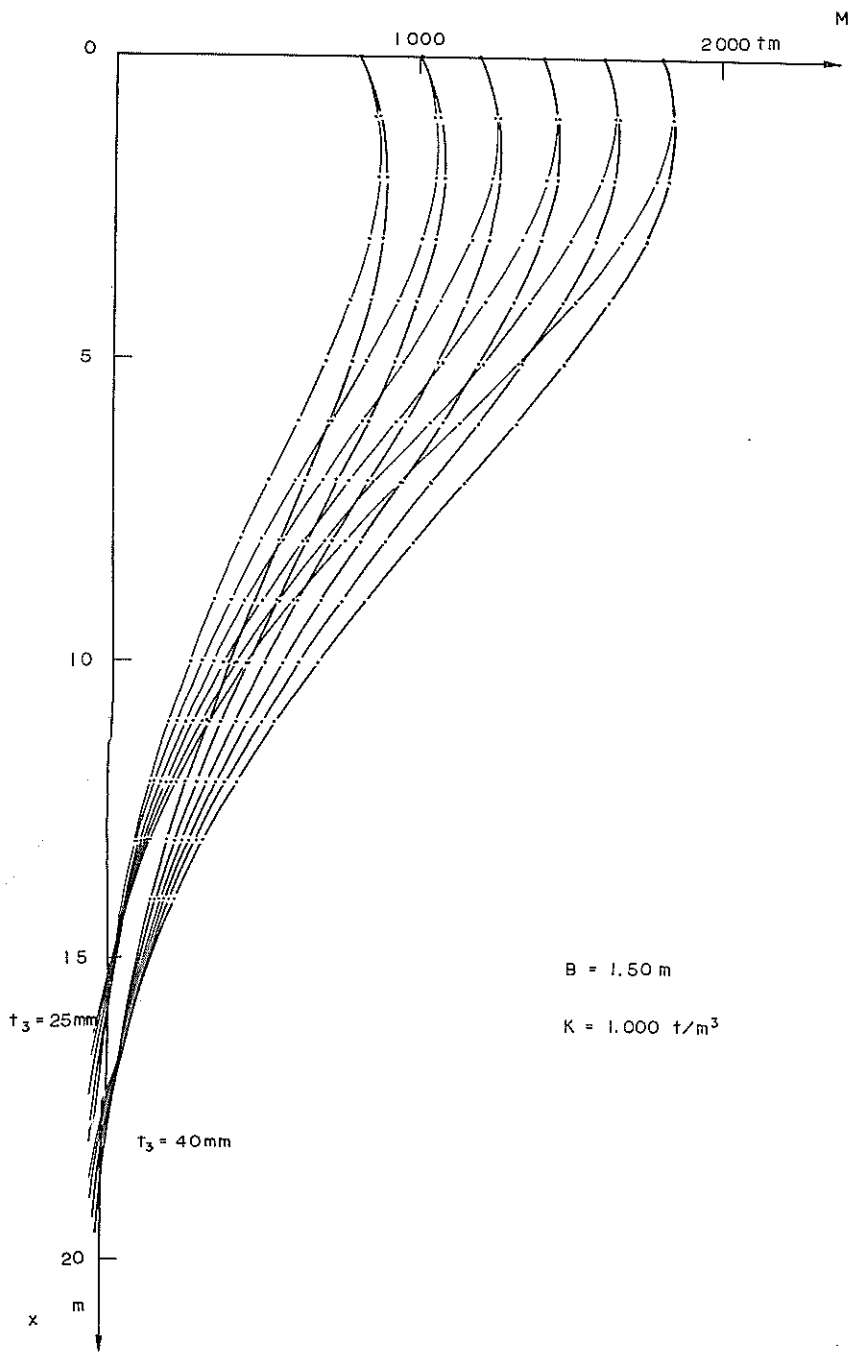


図-4 (4) モーメント図

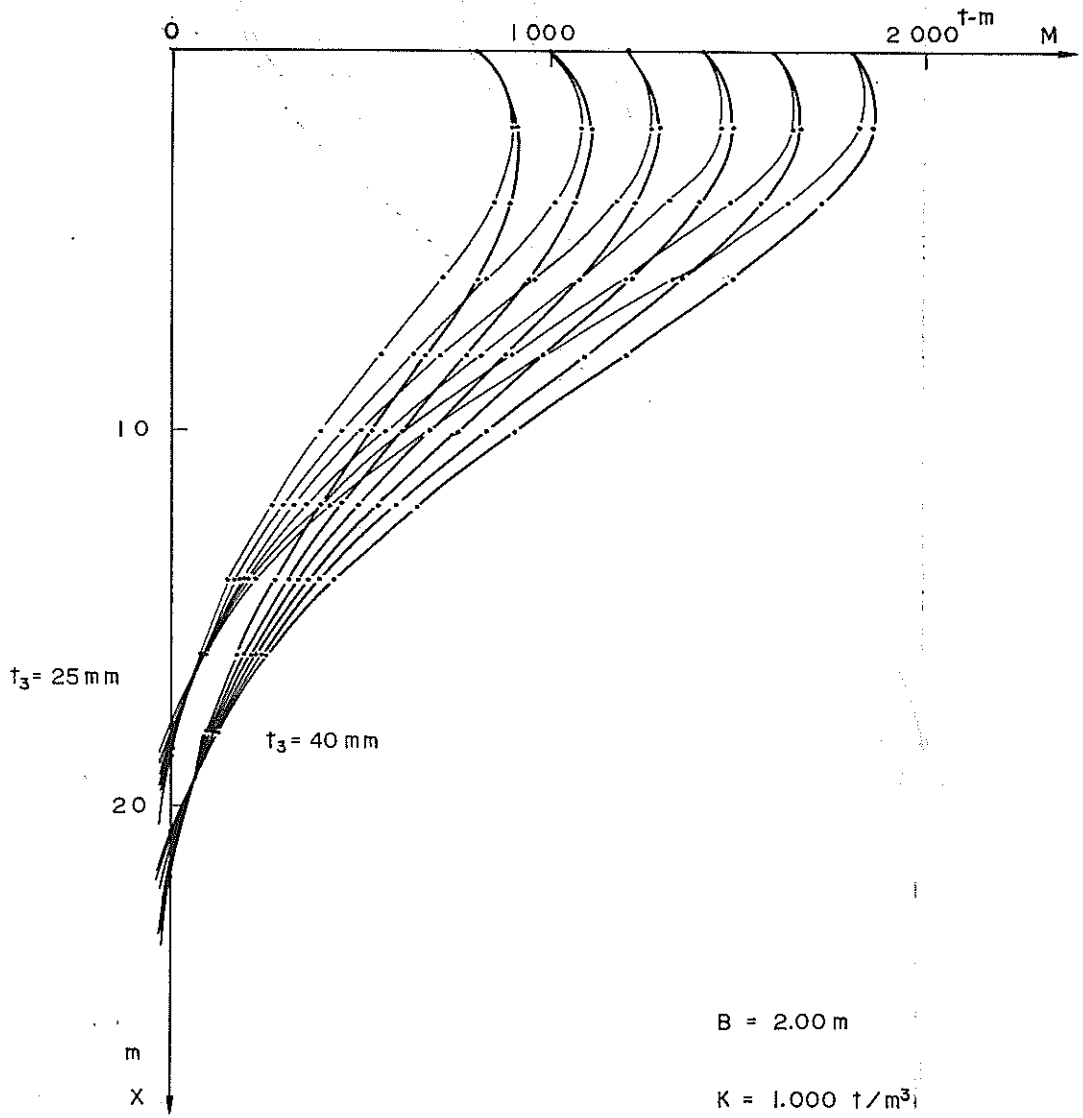


図-4 (7) モーメント図



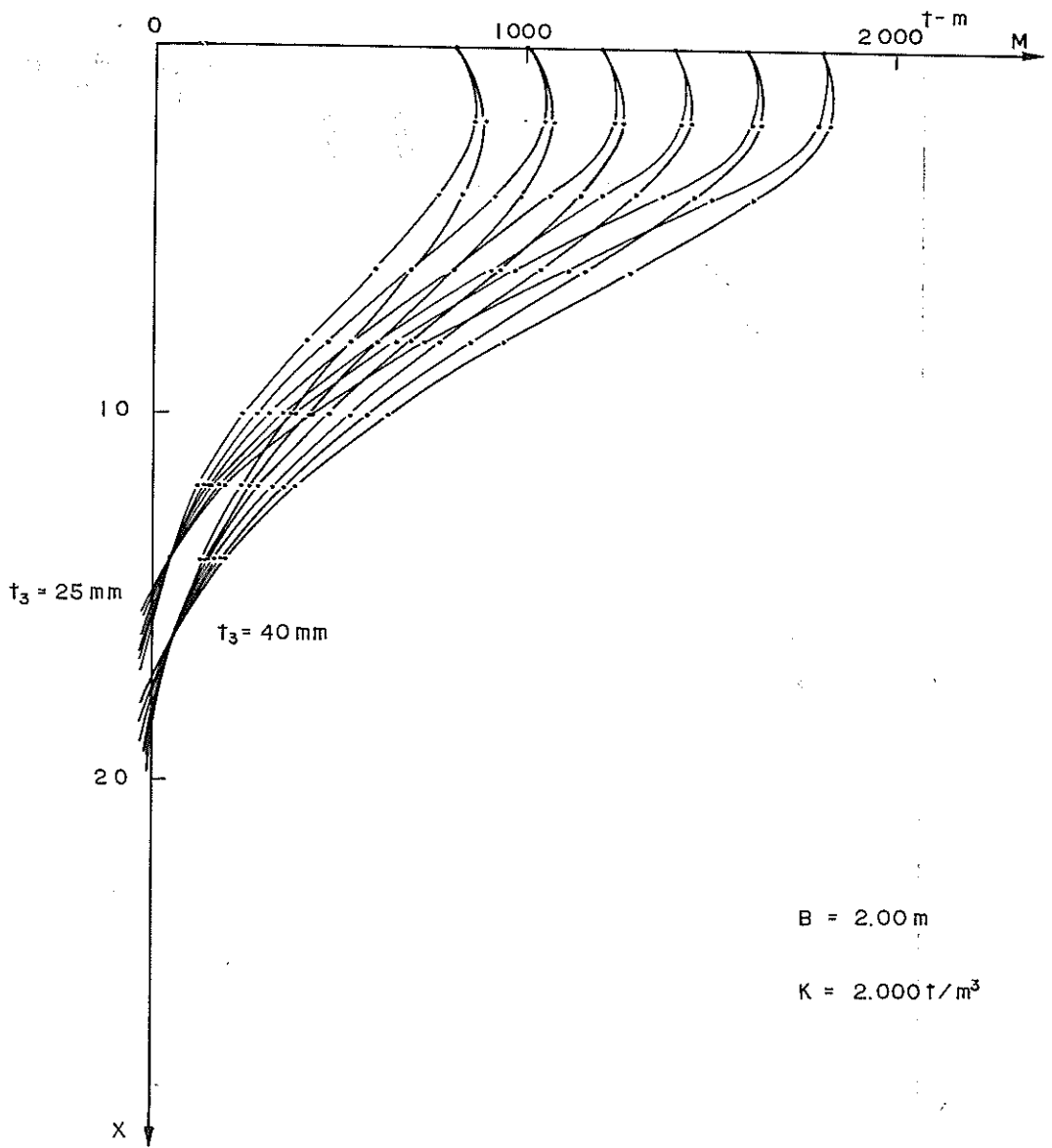


図-4 (8) モーメント図

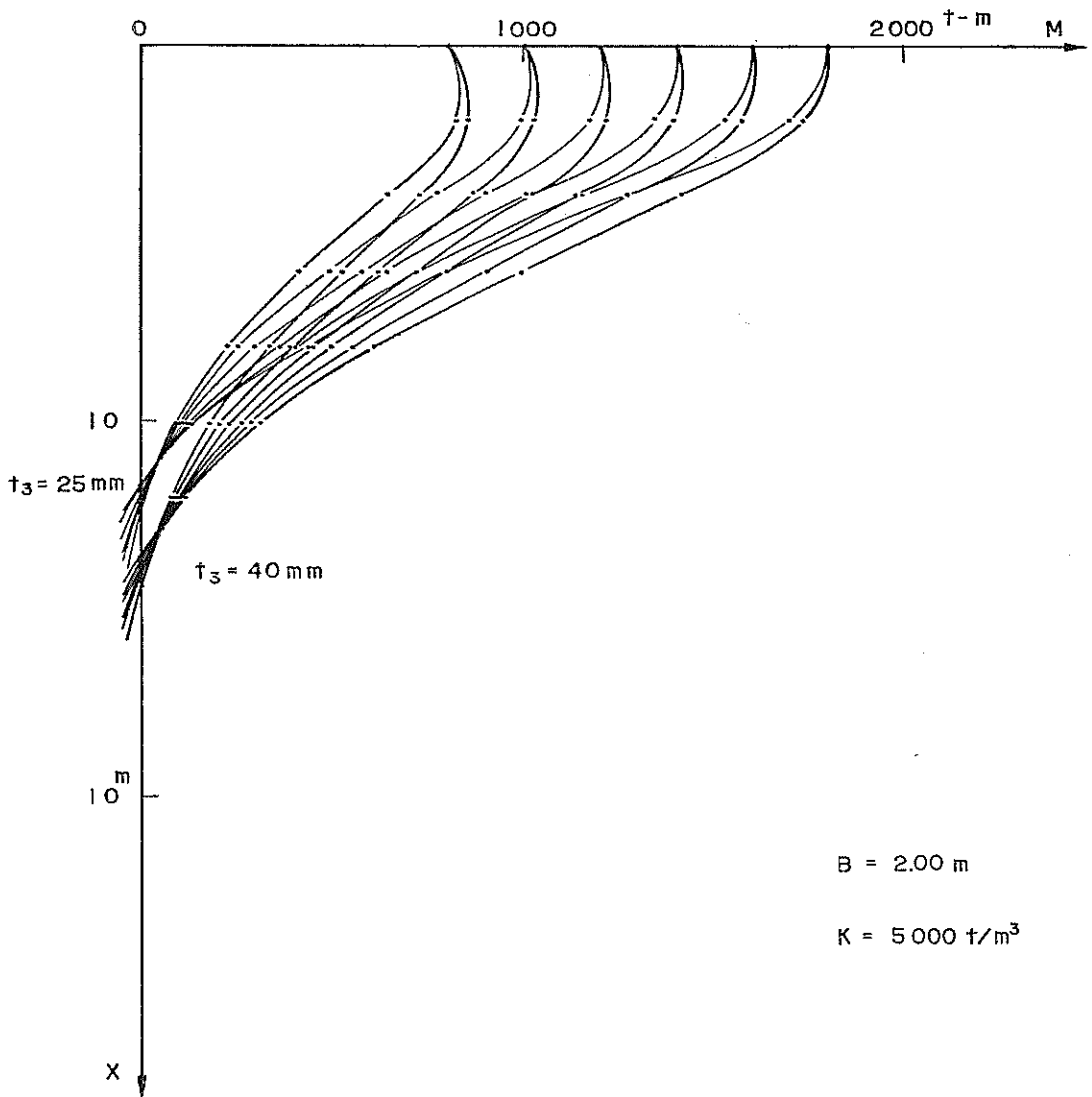


図-4 (9) モーメント図

表-1-1

杭内径 (m)	壁 厚 (m)			変化高さ (m)			杭内径 (m)	壁 厚 (m)			変化高さ (m)		
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>
1.00	0.028	0.032	0.040	8.00	3.10	0.25	1.00	0.018	0.022	0.030	15.00	6.82	4.76
1.00	0.028	0.032	0.040	9.00	3.42	2.47	1.00	0.018	0.022	0.030	16.00	7.24	5.04
1.00	0.028	0.032	0.040	10.00	3.74	2.69	1.00	0.018	0.022	0.030	17.00	7.66	5.33
1.00	0.028	0.032	0.040	11.00	4.07	2.91	1.00	0.018	0.022	0.030	18.00	8.08	5.61
1.00	0.028	0.032	0.040	12.00	4.39	3.12	1.00	0.018	0.022	0.030	19.00	8.50	5.89
1.00	0.028	0.032	0.040	13.00	4.72	3.34	1.00	0.018	0.022	0.030	20.00	8.92	6.18
1.00	0.028	0.032	0.040	14.00	5.04	3.56	1.00	0.018	0.022	0.030	21.00	9.34	6.46
1.00	0.028	0.032	0.040	15.00	5.37	3.78	1.00	0.016	0.020	0.028	8.00	4.09	2.92
1.00	0.028	0.032	0.040	16.00	5.69	4.00	1.00	0.016	0.020	0.028	9.00	4.54	3.22
1.00	0.028	0.032	0.040	17.00	6.02	4.22	1.00	0.016	0.020	0.028	10.00	4.99	3.53
1.00	0.028	0.032	0.040	18.00	6.34	4.44	1.00	0.016	0.020	0.028	11.00	5.43	3.83
1.00	0.028	0.032	0.040	19.00	6.66	4.66	1.00	0.016	0.020	0.028	12.00	5.88	4.13
1.00	0.028	0.032	0.040	20.00	6.99	4.87	1.00	0.016	0.020	0.028	13.00	6.33	4.43
1.00	0.028	0.032	0.040	21.00	7.31	5.09	1.00	0.016	0.020	0.028	14.00	6.78	4.74
1.00	0.020	0.025	0.032	8.00	3.68	2.38	1.00	0.016	0.020	0.028	15.00	7.23	5.04
1.00	0.020	0.025	0.032	9.00	4.07	2.61	1.00	0.016	0.020	0.028	16.00	7.68	5.34
1.00	0.020	0.025	0.032	10.00	4.47	2.85	1.00	0.016	0.020	0.028	17.00	8.13	5.64
1.00	0.020	0.025	0.032	11.00	4.87	3.08	1.00	0.016	0.020	0.028	18.00	8.58	5.95
1.00	0.020	0.025	0.032	12.00	5.26	3.32	1.00	0.016	0.020	0.028	19.00	9.02	6.25
1.00	0.020	0.025	0.032	13.00	5.66	3.55	1.00	0.016	0.020	0.028	20.00	9.47	6.55
1.00	0.020	0.025	0.032	14.00	6.06	3.79	1.00	0.016	0.020	0.028	21.00	9.92	6.85
1.00	0.020	0.025	0.032	15.00	6.45	4.02	1.00	0.014	0.018	0.025	8.00	4.16	2.86
1.00	0.020	0.025	0.032	16.00	6.85	4.26	1.00	0.014	0.018	0.025	9.00	4.62	3.15
1.00	0.020	0.025	0.032	17.00	7.25	4.49	1.00	0.014	0.018	0.025	10.00	5.08	3.45
1.00	0.020	0.025	0.032	18.00	7.64	4.73	1.00	0.014	0.018	0.025	11.00	5.54	3.74
1.00	0.020	0.025	0.032	19.00	8.04	4.96	1.00	0.014	0.018	0.025	12.00	6.00	4.04
1.00	0.020	0.025	0.032	20.00	8.44	5.20	1.00	0.014	0.018	0.025	13.00	6.45	4.33
1.00	0.020	0.025	0.032	21.00	8.83	5.43	1.00	0.014	0.018	0.025	14.00	6.91	4.63
1.00	0.018	0.022	0.030	8.00	3.87	2.77	1.00	0.014	0.018	0.025	15.00	7.37	4.92
1.00	0.018	0.022	0.030	9.00	4.29	3.06	1.00	0.014	0.018	0.025	16.00	7.83	5.22
1.00	0.018	0.022	0.030	10.00	4.71	3.34	1.00	0.014	0.018	0.025	17.00	8.29	5.51
1.00	0.018	0.022	0.030	11.00	5.13	3.62	1.00	0.014	0.018	0.025	18.00	8.74	5.81
1.00	0.018	0.022	0.030	12.00	5.55	3.91	1.00	0.014	0.018	0.025	19.00	9.20	6.10
1.00	0.018	0.022	0.030	13.00	5.97	4.19	1.00	0.014	0.018	0.025	20.00	9.66	6.40
1.00	0.018	0.022	0.030	14.00	6.39	4.47	1.00	0.014	0.018	0.025	21.00	10.12	6.69

表一—2

杭内径 (m)	壁 厚 (m)			変化高さ (m)			杭内径 (m)	壁 厚 (m)			変化高さ (m)		
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>
1.50	0.028	0.032	0.040	8.00	3.03	2.20	1.50	0.018	0.022	0.030	15.00	6.71	4.67
1.50	0.028	0.032	0.040	9.00	3.35	2.41	1.50	0.018	0.022	0.030	16.00	7.13	4.95
1.50	0.028	0.032	0.040	10.00	3.66	2.63	1.50	0.018	0.022	0.030	17.00	7.54	5.23
1.50	0.028	0.032	0.040	11.00	3.98	2.84	1.50	0.018	0.022	0.030	18.00	7.95	5.51
1.50	0.028	0.032	0.040	12.00	4.30	3.05	1.50	0.018	0.022	0.030	19.00	8.37	5.79
1.50	0.028	0.032	0.040	13.00	4.61	3.26	1.50	0.018	0.022	0.030	20.00	8.78	6.06
1.50	0.028	0.032	0.040	14.00	4.93	3.48	1.50	0.018	0.022	0.030	21.00	9.20	6.34
1.50	0.028	0.032	0.040	15.00	5.25	3.69	1.50	0.016	0.020	0.028	8.00	4.04	2.88
1.50	0.028	0.032	0.040	16.00	5.56	3.90	1.50	0.016	0.020	0.028	9.00	4.48	3.17
1.50	0.028	0.032	0.040	17.00	5.88	4.11	1.50	0.016	0.020	0.028	10.00	4.92	3.47
1.50	0.028	0.032	0.040	18.00	6.20	4.33	1.50	0.016	0.020	0.028	11.00	5.36	3.77
1.50	0.028	0.032	0.040	19.00	6.51	4.54	1.50	0.016	0.020	0.028	12.00	5.80	4.06
1.50	0.028	0.032	0.040	20.00	6.83	4.75	1.50	0.016	0.020	0.028	13.00	6.25	4.36
1.50	0.028	0.032	0.040	21.00	7.15	4.96	1.50	0.016	0.020	0.028	14.00	6.69	4.66
1.50	0.020	0.025	0.032	8.00	3.62	2.34	1.50	0.016	0.020	0.028	15.00	7.13	4.95
1.50	0.020	0.025	0.032	9.00	4.01	2.57	1.50	0.016	0.020	0.028	16.00	7.57	5.25
1.50	0.020	0.025	0.032	10.00	4.40	2.80	1.50	0.016	0.020	0.028	17.00	8.01	5.55
1.50	0.020	0.025	0.032	11.00	4.79	3.02	1.50	0.016	0.020	0.028	18.00	8.46	5.85
1.50	0.020	0.025	0.032	12.00	5.18	3.25	1.50	0.016	0.020	0.028	19.00	8.90	6.14
1.50	0.020	0.025	0.032	13.00	5.57	3.48	1.50	0.016	0.020	0.028	20.00	9.34	6.44
1.50	0.020	0.025	0.032	14.00	5.96	3.71	1.50	0.016	0.020	0.028	21.00	9.78	6.74
1.50	0.020	0.025	0.032	15.00	6.35	3.94	1.50	0.014	0.018	0.025	8.00	4.12	2.82
1.50	0.020	0.025	0.032	16.00	6.74	4.17	1.50	0.014	0.018	0.025	9.00	4.57	3.11
1.50	0.020	0.025	0.032	17.00	7.13	4.40	1.50	0.014	0.018	0.025	10.00	5.02	3.40
1.50	0.020	0.025	0.032	18.00	7.52	4.63	1.50	0.014	0.018	0.025	11.00	5.47	3.69
1.50	0.020	0.025	0.032	19.00	7.90	4.86	1.50	0.014	0.018	0.025	12.00	5.93	3.98
1.50	0.020	0.025	0.032	20.00	8.29	5.09	1.50	0.014	0.018	0.025	13.00	6.38	4.27
1.50	0.020	0.025	0.032	21.00	8.68	5.32	1.50	0.014	0.018	0.025	14.00	6.83	4.56
1.50	0.018	0.022	0.030	8.00	3.81	2.73	1.50	0.014	0.018	0.025	15.00	7.28	4.85
1.50	0.018	0.022	0.030	9.00	4.23	3.00	1.50	0.014	0.018	0.025	16.00	7.73	5.14
1.50	0.018	0.022	0.030	10.00	4.64	3.28	1.50	0.014	0.018	0.025	17.00	8.19	5.43
1.50	0.018	0.022	0.030	11.00	5.06	3.56	1.50	0.014	0.018	0.025	18.00	8.64	5.72
1.50	0.018	0.022	0.030	12.00	5.47	3.84	1.50	0.014	0.018	0.025	19.00	9.09	6.01
1.50	0.018	0.022	0.030	13.00	5.88	4.12	1.50	0.014	0.018	0.025	20.00	9.54	6.30
1.50	0.018	0.022	0.030	14.00	6.30	4.40	1.50	0.014	0.018	0.025	21.00	9.99	6.59

表-1-3

杭内 径 (m)	壁 厚 (m)			変 化 高 さ (m)			杭内 径 (m)	壁 厚 (m)			変 化 高 さ (m)		
	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>
2.00	0.028	0.032	0.040	8.00	3.00	2.18	2.00	0.018	0.022	0.030	15.00	6.66	4.63
2.00	0.028	0.032	0.040	9.00	3.31	2.39	2.00	0.018	0.022	0.030	16.00	7.07	4.91
2.00	0.028	0.032	0.040	10.00	3.62	2.59	2.00	0.018	0.022	0.030	17.00	7.48	5.18
2.00	0.028	0.032	0.040	11.00	3.94	2.80	2.00	0.018	0.022	0.030	18.00	7.89	5.46
2.00	0.028	0.032	0.040	12.00	4.25	3.01	2.00	0.018	0.022	0.030	19.00	8.30	5.73
2.00	0.028	0.032	0.040	13.00	4.56	3.22	2.00	0.018	0.022	0.030	20.00	8.71	6.01
2.00	0.028	0.032	0.040	14.00	4.87	3.43	2.00	0.018	0.022	0.030	21.00	9.12	6.28
2.00	0.028	0.032	0.040	15.00	5.19	3.64	2.00	0.016	0.020	0.028	8.00	4.01	2.85
2.00	0.028	0.032	0.040	16.00	5.50	3.85	2.00	0.016	0.020	0.028	9.00	4.45	3.15
2.00	0.028	0.032	0.040	17.00	5.81	4.06	2.00	0.016	0.020	0.028	10.00	4.89	3.44
2.00	0.028	0.032	0.040	18.00	6.12	4.27	2.00	0.016	0.020	0.028	11.00	5.33	3.74
2.00	0.028	0.032	0.040	19.00	6.44	4.48	2.00	0.016	0.020	0.028	12.00	5.76	4.03
2.00	0.028	0.032	0.040	20.00	6.75	4.69	2.00	0.016	0.020	0.028	13.00	6.20	4.32
2.00	0.028	0.032	0.040	21.00	7.06	4.90	2.00	0.016	0.020	0.028	14.00	6.64	4.62
2.00	0.020	0.025	0.032	8.00	3.59	2.31	2.00	0.016	0.020	0.028	15.00	7.08	4.91
2.00	0.020	0.025	0.032	9.00	3.97	2.54	2.00	0.016	0.020	0.028	16.00	7.52	5.21
2.00	0.020	0.025	0.032	10.00	4.36	2.77	2.00	0.016	0.020	0.028	17.00	7.96	5.50
2.00	0.020	0.025	0.032	11.00	4.75	3.00	2.00	0.016	0.020	0.028	18.00	8.40	5.80
2.00	0.020	0.025	0.032	12.00	5.13	3.22	2.00	0.016	0.020	0.028	19.00	8.84	6.09
2.00	0.020	0.025	0.032	13.00	5.52	3.45	2.00	0.016	0.020	0.028	20.00	9.27	6.38
2.00	0.020	0.025	0.032	14.00	5.91	3.68	2.00	0.016	0.020	0.028	21.00	9.71	6.68
2.00	0.020	0.025	0.032	15.00	6.29	3.90	2.00	0.014	0.018	0.025	8.00	4.09	2.80
2.00	0.020	0.025	0.032	16.00	6.68	4.13	2.00	0.014	0.018	0.025	9.00	4.54	3.09
2.00	0.020	0.025	0.032	17.00	7.06	4.36	2.00	0.014	0.018	0.025	10.00	4.99	3.37
2.00	0.020	0.025	0.032	18.00	7.45	4.58	2.00	0.014	0.018	0.025	11.00	5.44	3.66
2.00	0.020	0.025	0.032	19.00	7.84	4.81	2.00	0.014	0.018	0.025	12.00	5.89	3.95
2.00	0.020	0.025	0.032	20.00	8.22	5.04	2.00	0.014	0.018	0.025	13.00	6.34	4.24
2.00	0.020	0.025	0.032	21.00	8.61	5.26	2.00	0.014	0.018	0.025	14.00	6.79	4.52
2.00	0.018	0.022	0.030	8.00	3.79	2.70	2.00	0.014	0.018	0.025	15.00	7.24	4.81
2.00	0.018	0.022	0.030	9.00	4.20	2.98	2.00	0.014	0.018	0.025	16.00	7.69	5.10
2.00	0.018	0.022	0.030	10.00	4.61	3.25	2.00	0.014	0.018	0.025	17.00	8.14	5.39
2.00	0.018	0.022	0.030	11.00	5.02	3.53	2.00	0.014	0.018	0.025	18.00	8.58	5.67
2.00	0.018	0.022	0.030	12.00	5.43	3.80	2.00	0.014	0.018	0.025	19.00	9.03	5.96
2.00	0.018	0.022	0.030	13.00	5.84	4.08	2.00	0.014	0.018	0.025	20.00	9.48	6.25
2.00	0.018	0.022	0.030	14.00	6.25	4.36	2.00	0.014	0.018	0.025	21.00	9.93	6.54

表 — 2

杭内径 (m)	壁厚 (m)	地盤反力係数 (t/m <sup>3</sup> )	$\beta$ (m <sup>-1</sup> )	杭内径 (m)	壁厚 (m)	地盤反力係数 (t/m <sup>3</sup> )	$\beta$ (m <sup>-1</sup> )
1.0	0.040	1000	0.1611	1.5	0.030	4000	0.2028
1.0	0.040	2000	0.1915	1.5	0.030	5000	0.2145
1.0	0.040	3000	0.2120	1.5	0.028	1000	0.1461
1.0	0.040	4000	0.2278	1.5	0.028	2000	0.1737
1.0	0.040	5000	0.2408	1.5	0.028	3000	0.1922
1.0	0.032	1000	0.1713	1.5	0.028	4000	0.2066
1.0	0.032	2000	0.2037	1.5	0.028	5000	0.2184
1.0	0.032	3000	0.2254	1.5	0.025	1000	0.1505
1.0	0.032	4000	0.2423	1.5	0.025	2000	0.1790
1.0	0.032	5000	0.2562	1.5	0.025	3000	0.1980
1.0	0.030	1000	0.1743	1.5	0.025	4000	0.2128
1.0	0.030	2000	0.2073	1.5	0.025	5000	0.2250
1.0	0.030	3000	0.2295	2.0	0.040	1000	0.1156
1.0	0.030	4000	0.2466	2.0	0.040	2000	0.1375
1.0	0.030	5000	0.2607	2.0	0.040	3000	0.1521
1.0	0.028	1000	0.1776	2.0	0.040	4000	0.1635
1.0	0.028	2000	0.2113	2.0	0.040	5000	0.1728
1.0	0.028	3000	0.2338	2.0	0.032	1000	0.1226
1.0	0.028	4000	0.2512	2.0	0.032	2000	0.1458
1.0	0.028	5000	0.2656	2.0	0.032	3000	0.1613
1.0	0.025	1000	0.1832	2.0	0.032	4000	0.1734
1.0	0.025	2000	0.2178	2.0	0.032	5000	0.1833
1.0	0.025	3000	0.2410	2.0	0.030	1000	0.1247
1.0	0.025	4000	0.2590	2.0	0.030	2000	0.1483
1.0	0.025	5000	0.2739	2.0	0.030	3000	0.1641
1.5	0.040	1000	0.1328	2.0	0.030	4000	0.1763
1.5	0.040	2000	0.1579	2.0	0.030	5000	0.1864
1.5	0.040	3000	0.1748	2.0	0.028	1000	0.1269
1.5	0.040	4000	0.1878	2.0	0.028	2000	0.1509
1.5	0.040	5000	0.1986	2.0	0.028	3000	0.1670
1.5	0.032	1000	0.1410	2.0	0.028	4000	0.1795
1.5	0.032	2000	0.1677	2.0	0.028	5000	0.1898
1.5	0.032	3000	0.1855	2.0	0.025	1000	0.1307
1.5	0.032	4000	0.1994	2.0	0.025	2000	0.1555
1.5	0.032	5000	0.2108	2.0	0.025	3000	0.1720
1.5	0.030	1000	0.1434	2.0	0.025	4000	0.1849
1.5	0.030	2000	0.1706	2.0	0.025	5000	0.1955
1.5	0.030	3000	0.1887				

表—3—1

杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)	杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sub>1</sub> <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)
1.00	0.040	12000	0.01769	393	1.00	0.020	30000	0.00834	481
1.00	0.040	18000	0.01769	590	1.00	0.020	36000	0.00834	577
1.00	0.040	24000	0.01769	786	1.00	0.018	12000	0.00746	173
1.00	0.040	30000	0.01769	983	1.00	0.018	18000	0.00746	259
1.00	0.040	36000	0.01769	1180	1.00	0.018	24000	0.00746	346
1.00	0.032	12000	0.01382	312	1.00	0.018	30000	0.00746	432
1.00	0.032	18000	0.01382	468	1.00	0.018	36000	0.00746	518
1.00	0.032	24000	0.01382	624	1.00	0.016	12000	0.00659	153
1.00	0.032	30000	0.01382	780	1.00	0.016	18000	0.00659	230
1.00	0.032	36000	0.01382	936	1.00	0.016	24000	0.00659	307
1.00	0.030	12000	0.01288	292	1.00	0.016	30000	0.00659	383
1.00	0.030	18000	0.01288	438	1.00	0.016	36000	0.00659	460
1.00	0.030	24000	0.01288	583	1.00	0.014	12000	0.00573	134
1.00	0.030	30000	0.01288	729	1.00	0.014	18000	0.00573	201
1.00	0.030	36000	0.01288	875	1.00	0.014	24000	0.00573	268
1.00	0.028	12000	0.01195	272	1.00	0.014	30000	0.00573	335
1.00	0.028	18000	0.01195	408	1.00	0.014	36000	0.00573	402
1.00	0.028	24000	0.01195	543	1.50	0.040	12000	0.05741	872
1.00	0.028	30000	0.01195	679	1.50	0.040	18000	0.05741	1308
1.00	0.028	36000	0.01195	815	1.50	0.040	24000	0.05741	1744
1.00	0.025	12000	0.01058	242	1.50	0.040	30000	0.05741	2180
1.00	0.025	18000	0.01058	363	1.50	0.040	36000	0.05741	2616
1.00	0.025	24000	0.01058	484	1.50	0.032	12000	0.04520	694
1.00	0.025	30000	0.01058	604	1.50	0.032	18000	0.04520	1040
1.00	0.025	36000	0.01058	725	1.50	0.032	24000	0.04520	1387
1.00	0.022	12000	0.00923	212	1.50	0.032	30000	0.04520	1734
1.00	0.022	18000	0.00923	318	1.50	0.032	36000	0.04520	2081
1.00	0.022	24000	0.00923	424	1.50	0.030	12000	0.04221	649
1.00	0.022	30000	0.00923	530	1.50	0.030	18000	0.04221	974
1.00	0.022	36000	0.00923	636	1.50	0.030	24000	0.04221	1299
1.00	0.020	12000	0.00834	192	1.50	0.030	30000	0.04221	1623
1.00	0.020	18000	0.00834	289	1.50	0.030	36000	0.04221	1948
1.00	0.020	24000	0.00834	385	1.50	0.028	12000	0.03924	605

表-3-2

杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)	杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)
1.50	0.028	18000	0.03924	908	1.50	0.014	36000	0.01908	899
1.50	0.028	24000	0.03924	1210	2.00	0.040	12000	0.13340	1539
1.50	0.028	30000	0.03924	1513	2.00	0.040	18000	0.13340	2309
1.50	0.028	36000	0.03924	1816	2.00	0.040	24000	0.13340	3079
1.50	0.025	12000	0.03483	539	2.00	0.040	30000	0.13340	3848
1.50	0.025	18000	0.03483	809	2.00	0.040	36000	0.13340	4618
1.50	0.025	24000	0.03483	1079	2.00	0.032	12000	0.10546	1226
1.50	0.025	30000	0.03483	1348	2.00	0.032	18000	0.10546	1839
1.50	0.025	36000	0.03483	1618	2.00	0.032	24000	0.10546	2452
1.50	0.022	12000	0.03047	474	2.00	0.032	30000	0.10546	3066
1.50	0.022	18000	0.03047	710	2.00	0.032	36000	0.10546	3679
1.50	0.022	24000	0.03047	947	2.00	0.030	12000	0.09857	1148
1.50	0.022	30000	0.03047	1184	2.00	0.030	18000	0.09857	1723
1.50	0.022	36000	0.03047	1421	2.00	0.030	24000	0.09857	2297
1.50	0.020	12000	0.02759	430	2.00	0.030	30000	0.09857	2871
1.50	0.020	18000	0.02759	645	2.00	0.030	36000	0.09857	3445
1.50	0.020	24000	0.02759	860	2.00	0.028	12000	0.09173	1071
1.50	0.020	30000	0.02759	1075	2.00	0.028	18000	0.09173	1606
1.50	0.020	36000	0.02759	1290	2.00	0.028	24000	0.09173	2141
1.50	0.018	12000	0.02473	386	2.00	0.028	30000	0.09173	2677
1.50	0.018	18000	0.02473	580	2.00	0.028	36000	0.09173	3212
1.50	0.018	24000	0.02473	773	2.00	0.025	12000	0.08153	955
1.50	0.018	30000	0.02473	966	2.00	0.025	18000	0.08153	1432
1.50	0.018	36000	0.02473	1159	2.00	0.025	24000	0.08153	1909
1.50	0.016	12000	0.02189	343	2.00	0.025	30000	0.08153	2386
1.50	0.016	18000	0.02189	514	2.00	0.025	36000	0.08153	2864
1.50	0.016	24000	0.02189	686	2.00	0.022	12000	0.07143	839
1.50	0.016	30000	0.02189	857	2.00	0.022	18000	0.07143	1258
1.50	0.016	36000	0.02189	1029	2.00	0.022	24000	0.07143	1677
1.50	0.014	12000	0.01908	300	2.00	0.022	30000	0.07143	2097
1.50	0.014	18000	0.01908	450	2.00	0.022	36000	0.07143	2516
1.50	0.014	24000	0.01908	599	2.00	0.020	12000	0.06474	762
1.50	0.014	30000	0.01908	749	2.00	0.020	18000	0.06474	1142



表-3-3

杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)	杭内径 (m)	壁 厚 (m)	許容応力 (t/m <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (m <sup>4</sup> )	抵 抗 モーメント (t-m)
2.00	0.020	24000	0.06474	1523	2.00	0.016	18000	0.05148	912
2.00	0.020	30000	0.09474	1904	2.00	0.016	24000	0.05148	1216
2.00	0.020	36000	0.06474	2285	2.00	0.016	30000	0.05148	1520
2.00	0.018	12000	0.05809	685	2.00	0.016	36000	0.05148	1824
2.00	0.018	18000	0.05809	1027	2.00	0.014	12000	0.04491	532
2.00	0.018	24000	0.05809	1370	2.00	0.014	18000	0.04491	797
2.00	0.018	30000	0.05809	1712	2.00	0.014	24000	0.04491	1063
2.00	0.018	36000	0.05809	2054	2.00	0.014	30000	0.04491	1329
2.00	0.016	12000	0.05148	608	2.00	0.014	36000	0.04491	1595

表 - 4

杭 内 径 (m)	壁 厚 (m)	単位長さ重量 (t/m)	杭 内 径 (m)	壁 厚 (m)	単位長さ重量 (t/m)
1.00	0.040	1.0259	1.50	0.022	0.8258
1.00	0.032	0.8144	1.50	0.020	0.7497
1.00	0.030	0.7620	1.50	0.018	0.6739
1.00	0.028	0.7099	1.50	0.016	0.5982
1.00	0.025	0.6320	1.50	0.014	0.5227
1.00	0.022	0.5545	2.00	0.040	2.0124
1.00	0.020	0.5031	2.00	0.032	1.6036
1.00	0.018	0.4519	2.00	0.030	1.5019
1.00	0.016	0.4009	2.00	0.028	1.4004
1.00	0.014	0.3501	2.00	0.025	1.2485
1.50	0.040	1.5191	2.00	0.022	1.0970
1.50	0.032	1.2090	2.00	0.020	0.9963
1.50	0.030	1.1320	2.00	0.018	0.8958
1.50	0.028	1.0551	2.00	0.016	0.7955
1.50	0.025	0.9402	2.00	0.014	0.6954

#### 4. 計算法の比較

この設計法をチェックするには、現場実験によるのが最良と思われるが、それ程緻密なチェックは必要ないであろうことや、時間的制約という条件もあり、ここでは実際に設計が行われ、実物が存在するという強みをかけて、フランスにおける設計方法との比較および久保の方法による計算結果の比較にとどめたいと思う。

##### 4-1 フランスにおける計算方法との比較

(比較-1)

設計条件

衝撃エネルギー	$E=18.80t\cdot m$
$h_1=17.50m$	$t_1=20mm$
$h_2=5.50m$	$t_2=25mm$
$h_3=3.00m$	$t_3=32mm$
$h_4=5.00m$	$\varphi=30^\circ$
$\sigma_a=4100kg/cm^2$	$C=5t/m^2$
$B=1.00m$	

計算結果

水平反力 51.52t  
 水平変位 0.83m  
 吸収エネルギー 21.38t·m  
 根入長=8.20m+2.00m=10.20m

(根入長の+2.00mは余裕)

モーメント分布 (図-4.1参照)

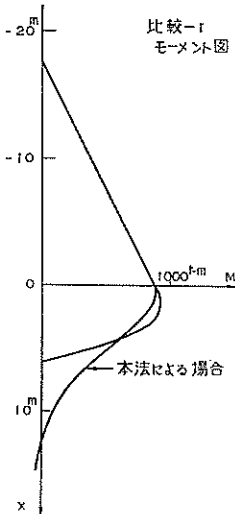


図-4.1

本図表による計算結果

$$H_a = 36.5 \times \frac{4100}{2400} = 62.4t$$

$$\Delta a = 0.61 \times \frac{4100}{2400} = 1.04m$$

$$(k=2000t/m^3)$$

$$E = \frac{1}{2} \Delta a H_a = 32.5t\cdot m$$

$$y_0 = 9.8 \times \frac{62.4}{100} = 6.1cm$$

地表面変位を 5.0cm におさえると

$$H_a = 62.4 \times \frac{5.0}{6.1} = 51.2t$$

$$\Delta a = 1.04 \times \frac{5.0}{6.1} = 0.85m$$

モーメント分布: 図-4.1 参照

根入長=12.50×1.5=18.80m

(比較-2)

設計条件

$h_1=7.30m$	$t_1=20mm$
$h_2=5.50m$	$t_2=25mm$
$h_3=3.00m$	$t_3=32mm$
$h_4=5.00m$	$\varphi=30^\circ$
$\sigma_a=4100kg/cm^2$	$C=5t/m^2$
$B=1.00m$	

計算結果

$H_a=109.51t$

$\Delta a=0.26m$

$E=14.24t\cdot m$

根入長=8.15+2.00=10.15m

モーメント: 図-4.2参照

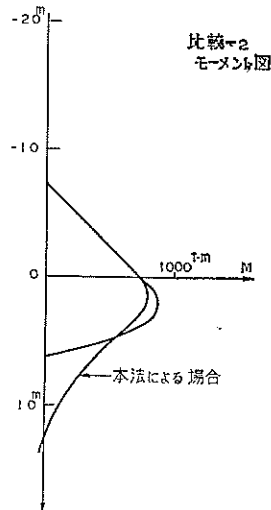


図-4.2

本図表による計算結果

$$H_a = 90.0 \times \frac{4100}{2400} = 154t$$

$$\Delta a = 0.205 \times \frac{4100}{2400} = 0.351m$$

$$E = \frac{1}{2} \times 0.351 \times 154 = 27.0t \cdot m$$

$$y_0 = 5.00 \times \frac{154}{100} = 7.70cm$$

$y_0 \leq 5.00cm$  とすると

$$H_a = 154 \times \frac{5.0}{7.7} = 100t$$

$$\Delta a = 0.351 \times \frac{5.0}{7.7} = 0.228m$$

$$E = \frac{1}{2} \times 0.228 \times 100 = 11.4t \cdot m$$

モーメント：図—4.2 参照

$$\text{根入長} = 12.50 \times 1.5 = 18.80m$$

上2例の比較によれば、許容水平力  $H_a$ 、許容変位  $\Delta a$ 、吸収エネルギーに関しては、大差のない計算結果を与えるといえる。

しかし、地盤条件の与え方が一方は、内部摩擦角  $\phi$  および粘着力  $C$  によるのに対し、他方は、地盤反力係数  $K$  によっているため、杭上の計算では対応にかなりの範囲があること、および地表面変位  $y_0$  の上限値をどれだけにとるかによって結果に大差の可能性がある。

上例では  $y_{0max}$  の値を  $5cm$  において、フランスにおける計算法と同程度の結果を得ているが、この値がさらに大きい値の場合には、設計が非常に楽になるので、 $y_{0max}$  の値の決定には十分慎重でなければならない。実用的には数  $cm$  のオーダーで許容されている。

地中部曲げモーメントに関しては、かなり異った様相を示し、根入長も5割増程度の長さが要求されるが、無限長の仮定に立つかぎりでは、最小限必要な長さであると思われる。フランスにおける方法の場合には、はじめから杭長は有限であると考え、力のバランスから杭長を決めているので、杭および地盤の弾性による変位の復元が考慮されていない。

#### 4—2 久保の方法による計算結果との比較

##### (1) $k$ ( $kg/cm^3$ ) 値の換算

$k$  ( $kg/cm^3$ ) 値と  $N$  値の関係については、深さ  $0 \sim \beta^{-1}m$  程度における  $N$  値と  $\sigma_{max} = 1000 \sim 1500kg/cm^2$  に対応する  $k$  ( $kg/cm^3$ ) 値の関係を、参考資料<sup>2)</sup>にあげられている図より求めることができる。

本計算の場合のように大きな応力まで許容する場合には、同じ  $N$  値に対しても  $k$  ( $kg/cm^3$ ) 値は小さな値をとる

ことが一般にいえる。参考資料<sup>2)</sup>にあげられた諸実験結果からみると、 $1000 \sim 1500kg/cm^2$  に対応する  $k$  ( $kg/cm^3$ ) と  $2000 \sim 2500kg/cm^2$  に対応する  $k'$  ( $kg/cm^3$ ) の比は  $k'/k = 1.0 \sim 0.5$  程度になるようであり、なかでも  $k'/k = 0.9 \sim 0.8$  程度になるひん度が多いようなので (資料が少なく確かではないが)、 $N=10$  に対応する  $k$  ( $kg/cm^3$ ) 値として  $k = 2 \times 0.85 = 1.7kg/cm^3$  を採用することにする。 $0 \sim \beta^{-1}m$  の間は  $N = const = 10$  とすると地盤は C 型地盤であると考えられ、対応する  $\bar{k}_c$  ( $g/cm^2$ ) は  $\bar{k}_c = 2700g/cm^2$  と求められ、これを  $k$  ( $g/cm^3$ ) に換算すると、 $T_{10} = 10^4kg$  に対して  $k = 15kg/cm^3$  と求めることができる。

##### (2) $y_{top}$ 、 $lm_1$ の比較

$B=1.00m$ 、 $t_3=32mm$ 、 $T=100t$ 、 $h_1=8 \sim 18m$  の場合について、杭頭変位  $y_{top}$  とモーメント零点  $lm_1$  を久保の方法と本法によって計算したのが表—4.1の結果である。

ただし、この表の計算においては、許容応力を定めていないので  $y_{top}$  は、許容できる杭頭水平変位ではない。

$y_{top}$  の差は、久保の方法では断面一定であるのに対し、本法では断面を変えていること、および両方法における地表面変位  $y_0$ 、地表面傾斜  $y_0'$  の計算結果が異なるなどの理由によると思われるが、それらの効果を考えるとほぼ妥当な値であり、また  $lm_1$  もほぼ一致することより、有効長を  $1.5lm_1$  と求めてもよいことが判る。

表—4.1

case	方 法	$y_{top}$	$lm_1$	
1	久保の方法	25	12.5	$h_1 = 8$
	本 法	27	12.0	
2	久保の方法	38	12.5	$h_1 = 10$
	本 法	42	12.1	
3	久保の方法	55	12.5	$h_1 = 12$
	本 法	60	12.2	
4	久保の方法	80	12.5	$h_1 = 14$
	本 法	87	12.3	
5	久保の方法	110	12.5	$h_1 = 16$
	本 法	115	12.4	
6	久保の方法	140	12.5	$h_1 = 18$
	本 法	155	12.5	

## 5. 設計計算例

### 5-1 ドルフィン

#### モデル I

設計条件：対象船舶	10,000D/W
水深	-9.0m
衝撃高さ	+1.0m
有効接岸エネルギー	12.0t-m
鋼の曲げ許容応力	2400kg/cm <sup>2</sup>
ゴム防玄材の反力	
吸収エネルギー係数	0.12t/m
ゴム防玄材のmあたりエネルギー吸収量	2t-m/m
地盤反力係数	1000t/m <sup>3</sup>

#### 許計手順

- ① 図-1(1)より  $B=1.00m$   $t_3=25mm$  を選んだとき、最大許容反力  $H_a=47.7t$  を得る。
- ② 図-2(1)より 最大許容変位  $\Delta a=0.31m$  を得る。
- ③ 杭によるエネルギー吸収量  $E_a$

$$E_a = \frac{1}{2} \Delta a \times H_a = \frac{1}{2} \times 0.31 \times 47.7 = 7.4t-m$$

- ④ 図-3(1)より 地表面変位チェック

$$y_0 = 10.9 \times \frac{47.7}{100} = 5.20cm$$

ほぼ、許容範囲内にあると考えられる。

- ⑤ ゴム防玄材によるエネルギー吸収  $E_f=0.12H_a=5.72t-m$
- ⑥ 総エネルギー吸収量  $E=E_a+E_f=13.1t-m > 12.0t-m$
- ⑦ ゴム防玄材の長さ  $6 \div 2 = 3m$

地中部断面変化：図-4(1)より  $h_4=6.0m$  で  $A_5=18mm$  におとす。

- ⑧ 根入長 図-4(1)より  $l=1.5 \times 1.30=19.50m$
- ⑨ 壁厚およびその変化高さ、表-1より
 

$h_1=10.0m$	$t_1=14mm$
$h_2=5.10m$	$t_2=18mm$
$h_3=3.50m$	$t_3=25mm$
$h_4=6.00m$	$t_3=25mm$
$h_5=19.5m$	$t_4=18mm$

ただし、 $h_4$ は図-4(1)により求める。

- ⑩ 杭鉄量

14mm	$14.4m \times 0.350t/m = 5.11t$	} 計 13.65t
18mm	$5.6m \times 0.452t/m = 2.53t$	
25mm	$9.5m \times 0.632t/m = 6.01t$	

- ⑪ 全長 29.50m
- ⑫ 支持力チェック (略)

#### モデル II

#### 設計条件

対象船舶	45,000D/W
水深	-12.0m
衝撃高さ	+2.0m
有効接岸エネルギー	45t-m
鋼の曲げ許容応力	2400kg/cm <sup>2</sup>
ゴム防玄材の反力	
エネルギー吸収係数	0.12t/m
ゴム防玄材のmあたりエネルギー吸収量	2.0t-m/m
地盤反力係数	2000t/m <sup>3</sup>

#### 設計手順

許容反力  $H_a$

- ① 図-1(2)より  $B=2.0cm$   $t_3=32mm$  を選んだとき  $H_a=172.6t$

許容変位  $\Delta a$

- ② 図-2(2)より  $\Delta a=0.28m$
- 杭による吸収エネルギー  $E_a$

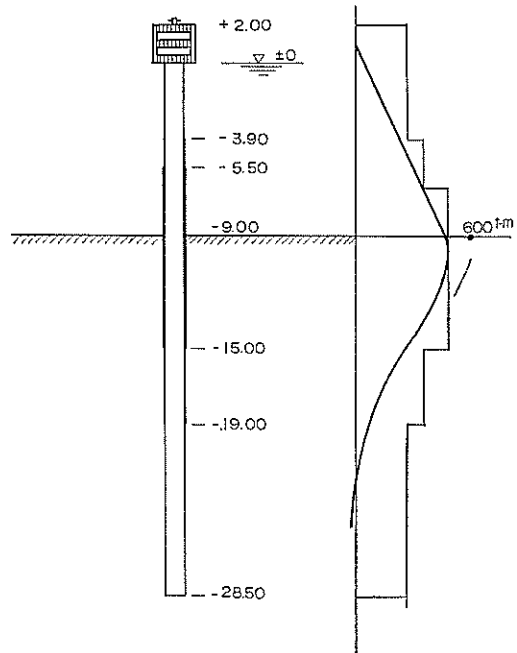


図-5.1 モデル I

$$Ea = \frac{1}{2} \times 0.28 \times 172.6 = 24.3t \cdot m$$

④ 地表面変位 図-3(2)より

$$y_0 = 2.35 \times \frac{172.6}{100} = 4.06m$$

⑤ ゴム防玄材によるエネルギー吸収

$$E_f = 0.12 \times 172.6 = 20.7$$

⑥ 総エネルギー吸収量

$$E = 24.2 + 20.7 = 45.0t \cdot m$$

⑦ ゴム防玄材の長さ

$$21.5 \div 2 = 10.75m$$

⑧ 根入長 図-4(8)より

$$1.5 \times 17.4 = 26.1m$$

⑨ 壁厚およびその変化高さ, 表-1より

$$h_1 = 14.00m \quad t_1 = 20mm$$

$$h_2 = 6.00m \quad t_2 = 25mm$$

$$h_3 = 3.70m \quad t_3 = 32mm$$

$$h_4 = 6.00m \quad t_4 = 32mm$$

$$h_5 = 26.10m \quad t_5 = 25mm$$

⑩ 杭鉄量

$$20mm \quad 24.1m \times 0.996t/m = 24.04$$

$$25mm \quad 6.3m \times 1.249t/m = 7.86$$

$$32mm \quad 9.7m \times 1.604t/m = 15.55$$

計 47.45t

⑪ 全長 40.10m

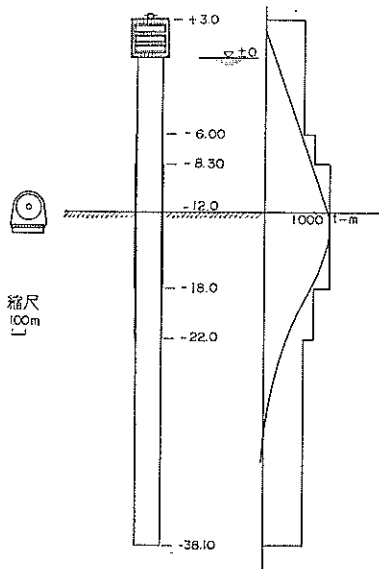


図-5.2 モデルII

## 5-2 けい船柱

モデルI

設計条件

対象船舶	10,000GT
水深	-10.0m
けん引高	+2.0m
けん引力	50t
鋼の曲げ許容応力	2400kg/cm <sup>2</sup>
地盤反力係数	2000t/m <sup>3</sup>

設計手順

① 許容反力Ha 図-1(1)より B=1.00m t<sub>3</sub>=32mm  
を選ぶこと。

$$Ha = 51t$$

② 許容変位△a 図-2(2)より

$$\Delta a = 0.33m$$

③ 地表面変位 図-3(2)より

$$7.25 \times \frac{51}{100} = 3.70m$$

④ 根入長 図-4(2)より

$$1.5 \times 11.6 = 17.40m$$

⑤ 壁厚およびその変化高さ, 表-1より

$$h_1 = 12.00m \quad t_1 = 20mm$$

$$h_2 = 5.60m \quad t_2 = 25mm$$

$$h_3 = 4.00m \quad t_3 = 32mm$$

$$h_4 = 5.00m \quad t_4 = 32mm$$

$$h_4' = 9.00m \quad t_4' = 25mm$$

$$h_5 = 17.40m \quad t_5 = 20mm$$

⑥ 杭鉄量

$$20mm \quad 9.0m \times 0.503t/m = 4.53t$$

$$25mm \quad 5.6m \times 0.632t/m = 3.54t$$

$$32mm \quad 14.8m \times 0.814t/m = 12.02t$$

計 20.09t

⑦ 全長 29.40m

モデルII

設計条件

対象船舶	20,000GT
水深	-11.50m
けん引高	+2.50m
けん引力	80t
鋼の曲げ許容応力	2400kg/cm <sup>2</sup>
地盤反力係数	2000t/m <sup>3</sup>

設計手順

① 許容反力Ha 図-1(1)より B=1.50m t<sub>3</sub>=28mm  
を選ぶこと。 Ha=85t

② 許容変位△a, 図-2(2)より

$$\Delta a = 0.31m$$

③ 地表面変位 図-3(2)より

$$4.20 \times \frac{85}{100} = 3.69\text{cm}$$

④ 根入長 図-4(5)より

$$1.5 \times 14.0 = 21.0\text{m}$$

⑤ 壁厚およびその変化高さ, 表-1より

$$h_1 = 14.00\text{m} \quad t_1 = 16\text{mm}$$

$$h_2 = 6.70\text{m} \quad t_2 = 20\text{mm}$$

$$h_3 = 4.70\text{m} \quad t_3 = 28\text{mm}$$

$$h_4 = 6.00\text{m} \quad t_4 = 28\text{mm}$$

$$h_4' = 10.00\text{m} \quad t_4' = 20\text{mm}$$

$$h_5 = 21.00\text{m} \quad t_5 = 16\text{mm}$$

⑥ 杭鉄量

16mm	18.30m × 0.598t/m = 10.95t	} 計 28.35t
20mm	6.00m × 0.750t/m = 4.50t	
28mm	10.70m × 1.055t/m = 12.90t	

⑦ 全長 35.0m

## 6. あとがき

多段面鋼管によるドルフィンあるいはけい船柱の建設は、安くて早く、しかも信頼性の高い構造物を作ることができるという非常に利点を有しながらも、製作、輸送、施工、設計が困難であるとみなされて、まだあまり利用されていない。

しかし、現在のすぐれた技術水準からすれば、多少の困難は残るにしても製作、輸送、施工は充分可能であり、又、コスト高であるとは考えられない。残る設計については本設計計算資料が役立って、少しでも容易になるならば、今後この種の構造物が我国においても建設され始めることが期待できる。

この種の構造物は単純な構造なので、信頼性は高いが、それでもいくつかの問題点が残るので次に主として設計に関するそれら問題点を列挙しておく。

- (1) 杭頭変位, 地表面変位の推定精度
- (2) 地表面変位の最大値
- (3) 地盤反力係数の推定

(4) 断面変化部の応力集中

(5) 地表面近くにおいて鋼管が大きな土圧によって押しつぶされないような対策

(6) 波, 地震はどの外部からの強制振動に対して共振を起さないような対策

(7) 根入長を短くできないか

(8) 腐食対策

(1), (2), (3), (4), (7), (8)は本設計計算法に内在する問題点であり、責任技術者の最終判断を要するにしても、一応の処理は内部でしてある。しかし、(5), (6)に関しては、本設計計算法では全然とりあつかっていないので、設計する際には、支持力と同時に必ず考慮しなければならない点であろう。

本筆ながら、実際の構造物を見せて下さったり資料の説明を頂いた、フランス、ボルドー港のペルペール技師、ブーロニュ港のダマン技師、ダンケルク港のジョフレ技師長、中央土木研究所のカルスト技師長など、また、フランスの港湾見学にあたって、いろいろと一般的便宜をはかって頂いた公共事業省のボーセ氏、バンサン氏、ギオション技師長および ASTEF の職員の方々にお礼申し上げますとともに、本資料の作成にあたって御指導頂いた港湾技術研究所、構造部、久保室長、基準部倉田部長、北島課長および基準課の諸氏、また、TOSBAC-3100、および TOSBAC-3400 を使った計算に際して、御協力頂いた、寺尾計算室長および計算室の諸氏に厚くお礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 久保浩一：杭の横抵抗の新しい計算法  
港湾技術研究所報告第2巻3号, 1964.3
- 2) 運輸省港湾局調査設計室, 調査設計室報告(第2報) 棧橋ドルフィンの設計法, 1962.3
- 3) 運輸省港湾技術研究所設計基準部, 繫船浮標 1964.3
- 4) 横山幸満：鋼杭の設計と施工, 山海堂 1963.3
- 5) 石井靖丸, 石黒健：鋼杭法, 技報堂 1959

(昭和41年4月30日受付)

港湾技研資料 No. 24

1966年4月

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 誠文堂印刷工業株式会社  
川崎市茑宿531-2