

港 湾 技 研 資 料

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

No. 9

April, 1964

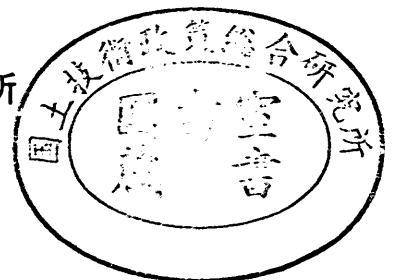
斜面をもつた矢板根入部の

受働土圧計算法……………沢田 源平

計 算 図 表 (その1) ……………梅原 靖文 佐々木光兼

昭和 39 年 4 月

運輸省港湾技術研究所



計 算 図 表 (その1)

梅 原 靖 文*

佐 々 木 光 兼**

ま え が き

現在、設計基準課では、港湾構造物の設計および計算業務の能率向上の一助とするため総括的な計算図表集の作成を計画している。最終的には図表化を必要とする諸項目を（Ⅰ）設計条件を決定するための図表（Ⅱ）設計計算図表（Ⅲ）容積重量計算図表（Ⅳ）材料性能表の4項目に分け、図表及び計算図表集としてとりまとめたいと考えている。すでに図表化されているもの又実用化されているものについては、報告書、要覧等を引用し、又部局へも公文書をもつて資料の提供を依頼し一部回答があつた。これらは保存し、上記の計画に利用するつもりです。

今回は、さしあたり、①杭の支持力②杭の仮想固定点③セルの安定計算（北島技官の設計法）についての計算図表を作つたのでここに報告した。図表化した計算式は現在のところまだ一般化されていないものも対称としたがその利用については利用者の判断にゆだねたいと考えている。

1. 杭の支持力

- 1) Engineering News 公式
- 2) 建設鋼杭基礎設計基準
- 3) サンダー公式
- 4) Ritter 公式
- 5) JES 建設 3001

図 1

$$R_a = \frac{F}{S + 2.54} \quad (\text{安全率 } 6)$$

ドロップハンマー、
単動スチームハンマー } 用 $(F = W_H \cdot H)$

W_H : ハンマーの重量 [t]

H : 落下高 [cm]

S : 杭の貫入量 [cm]

(使用例)

$W_H = 2.0 \text{ t}$ $H = 240 \text{ cm}$ $S = 0.5 \text{ cm}$ $R_a = 26 \text{ t}$

图 1 Engineering News 公式

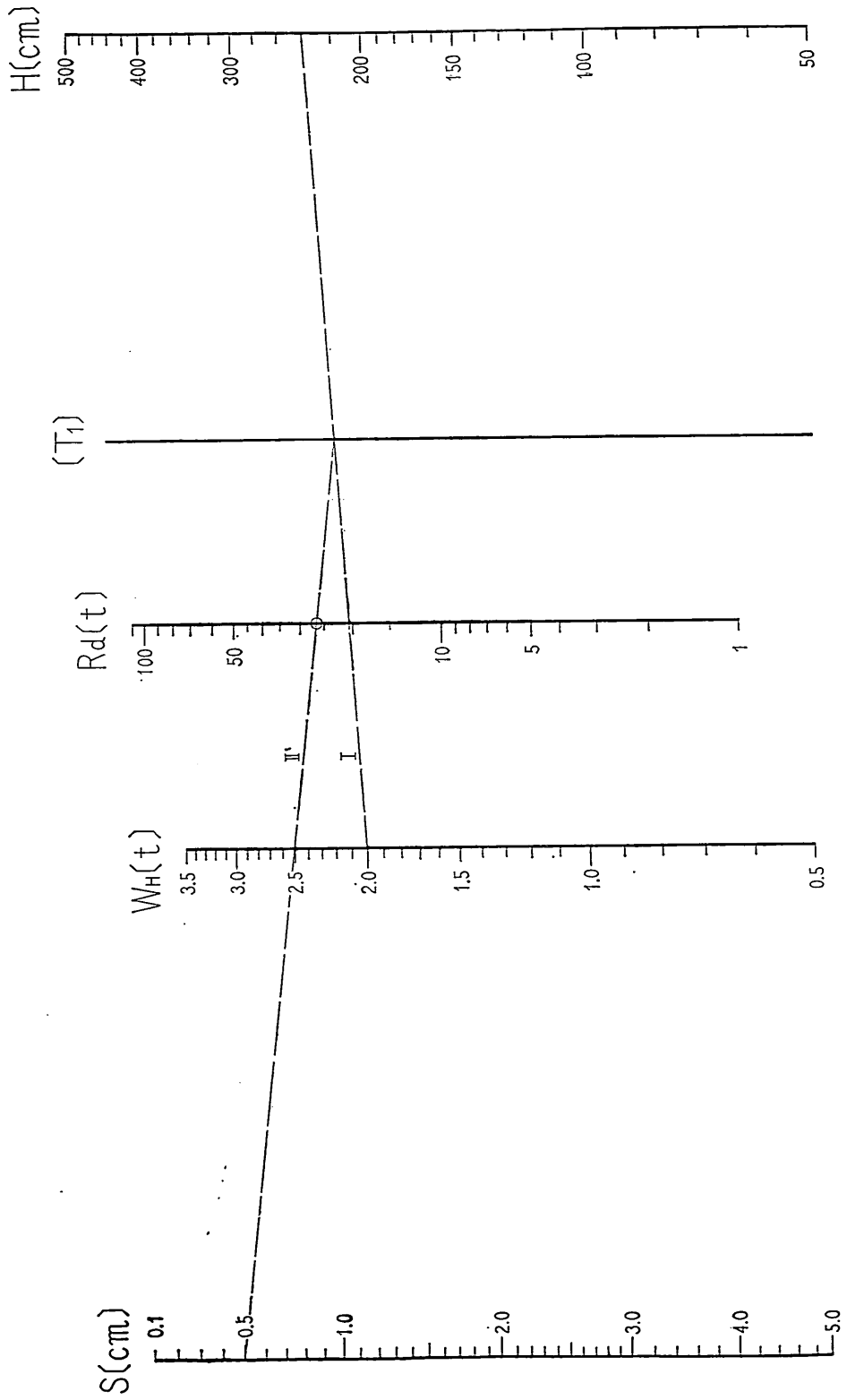


図 2

$$R_n = \frac{e_f F}{S + \frac{K}{2}} \quad (\text{安全率 } 3)$$

R_d : デイゼルハンマーの場合 ($F = 2 W_H H$)

R_{d2} : ドロツプハンマー
単動スチームハンマー } の場合 ($F = W_H H$)

W_H : ハンマーの重量 [t]

H : 落下高 [cm]

S : 杭の貫入量 [cm]

K : リバンド [cm]

e_f : 打撃エネルギー効率 [cm] (建設鋼杭基礎設計規準では 0.5 としている。)

(使用例)

杭打機: デイゼル ($W_H = 2.2$ t)

$H = 160$ cm

$S = 0.5$ cm

$K = 1.2$

$e_f = 0.5$

$R_d = 98$ t

圖 2 建設鋼杭基礎設計規準

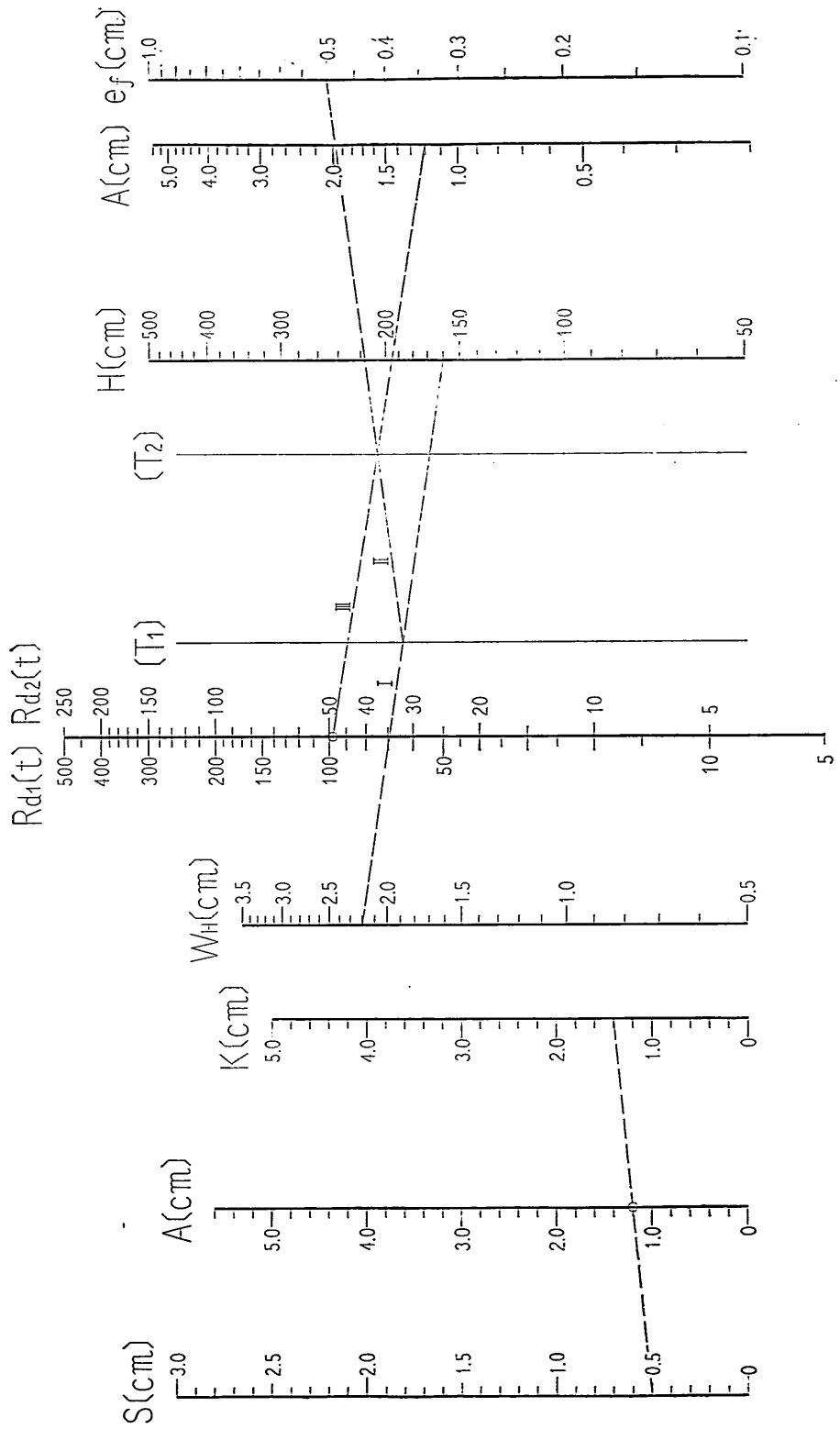


図 3

$$R_a = \frac{F}{S} \quad (\text{安全率 } 8)$$

R_{a1} : デイゼルハンマーの場合 ($F = 2 W_H H$)

R_{a2} : ドロップハンマー
単動スチームハンマー } の場合 ($F = W_H H$)

W_H : ハンマー重量 [t]

H : 落下高 [cm]

S : 杭の貫入量 [cm]

(使用例)

ドロップハンマー ($W_H = 2.0 \text{ t}$)

$H = 400 \text{ cm}$ $S = 2.0 \text{ cm}$ $R_a = 50 \text{ t}$

図 3 サンドー公式

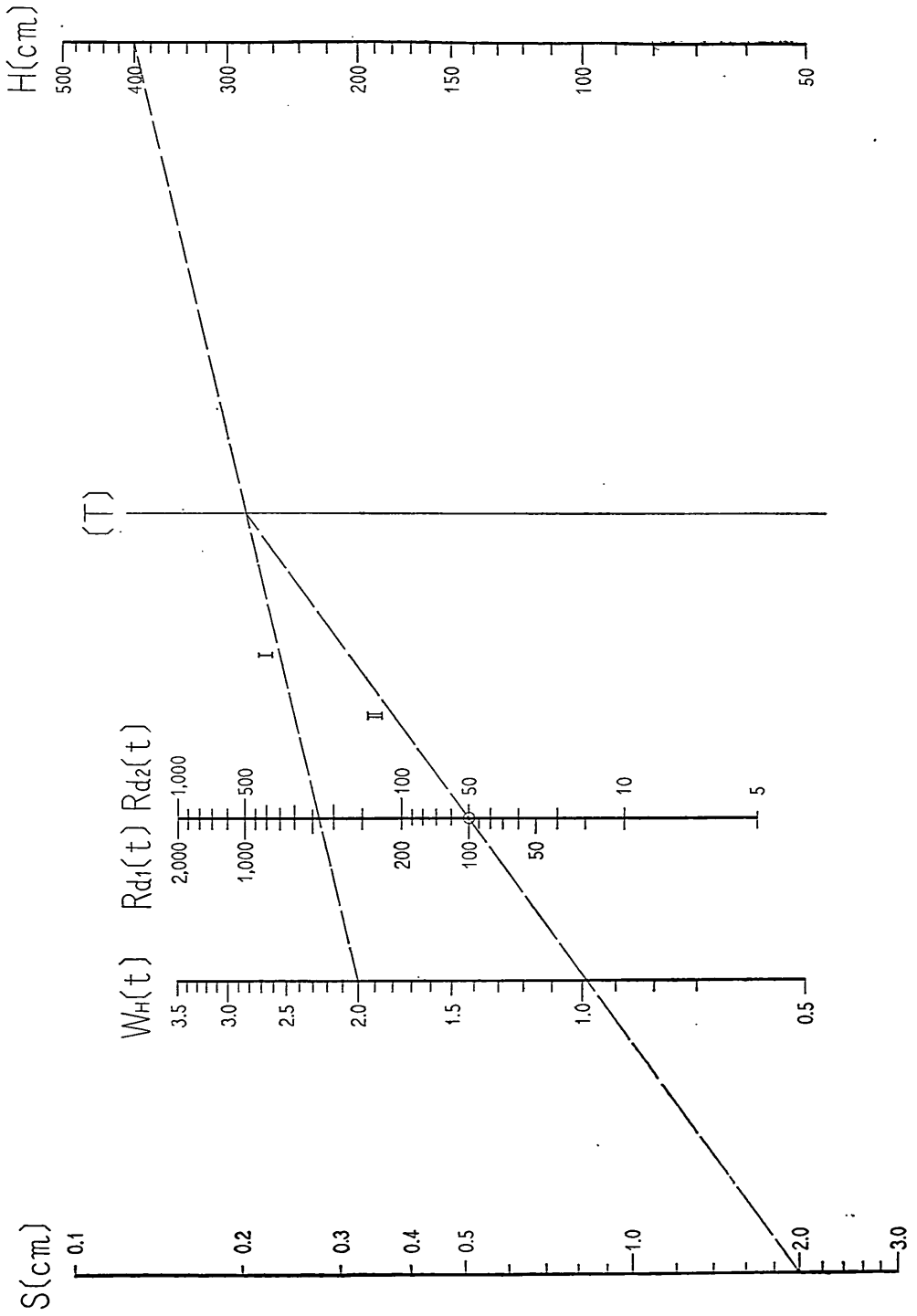


図 4-1~3

$$R_a = \frac{F}{S} \cdot \frac{W_H}{W_H + W_p} + W_H + W_p \quad (\text{安全率-})$$

ドロツプハンマー }
単動スチームハンマー } 用 ($F = W_H H$)

W_H : ハンマーの重量 [t]

H : 落下高 [cm]

S : 杭の貫入量 [cm]

W_p : 杭の重量 [t]

(注: $W_H + W_p = B$ とする。)

(使用法)

図 4-1 より A を求め、図 4-2 ~ 3 より R_a を求む。

(使用例)

図 4-1

$W_H = 2.3 \text{ t}$

$H = 170 \text{ cm}$

$S = 0.8 \text{ cm}$

$A = 1120 \text{ t}^2$

图 4—1 Ritter 公式

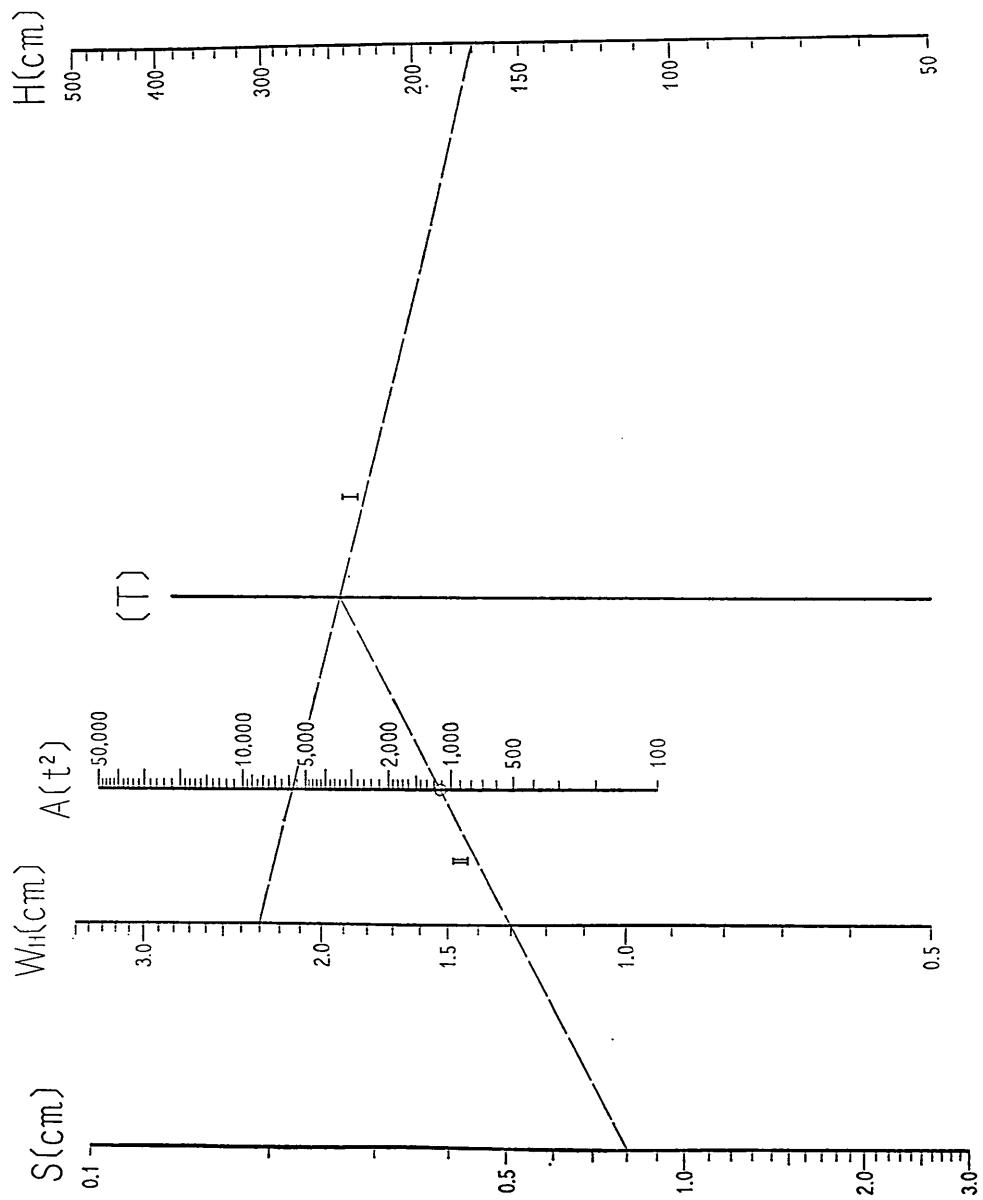


図 4-2

(使用例)

$$\text{図 4-1 より } A=1120 \text{ t}^2 \quad W_p=3.1 \text{ t}$$

$$B=3.1+2.3=5.4 \text{ t}$$

$$R_a=214 \text{ t}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{注: } A \rightarrow B_1 \Rightarrow R_{a1} \\ \quad \quad A \rightarrow B_2 \Rightarrow R_{a2} \end{array} \right)$$

图 4-2 Ritter 公式

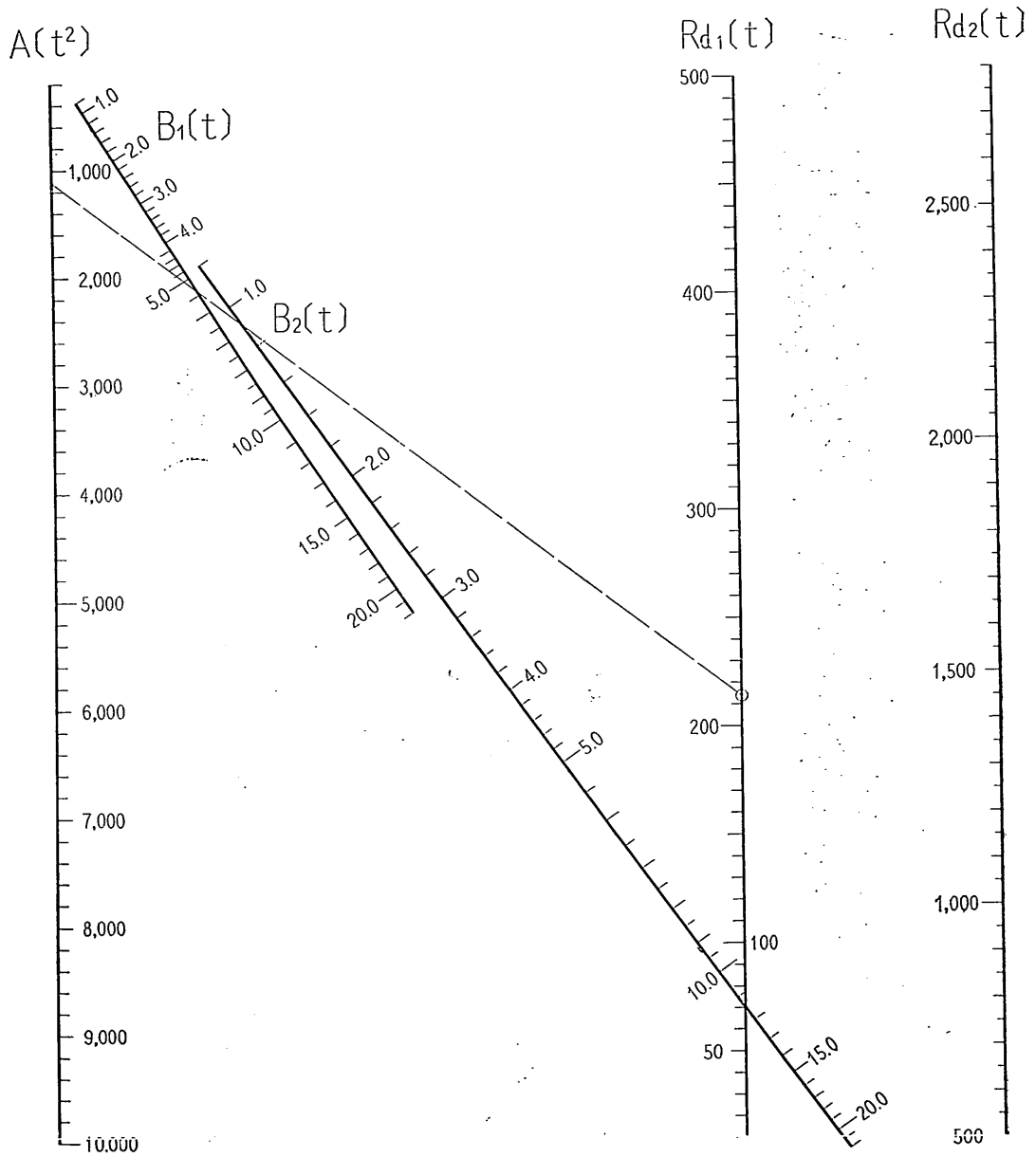


图 4-3 Ritter 公式

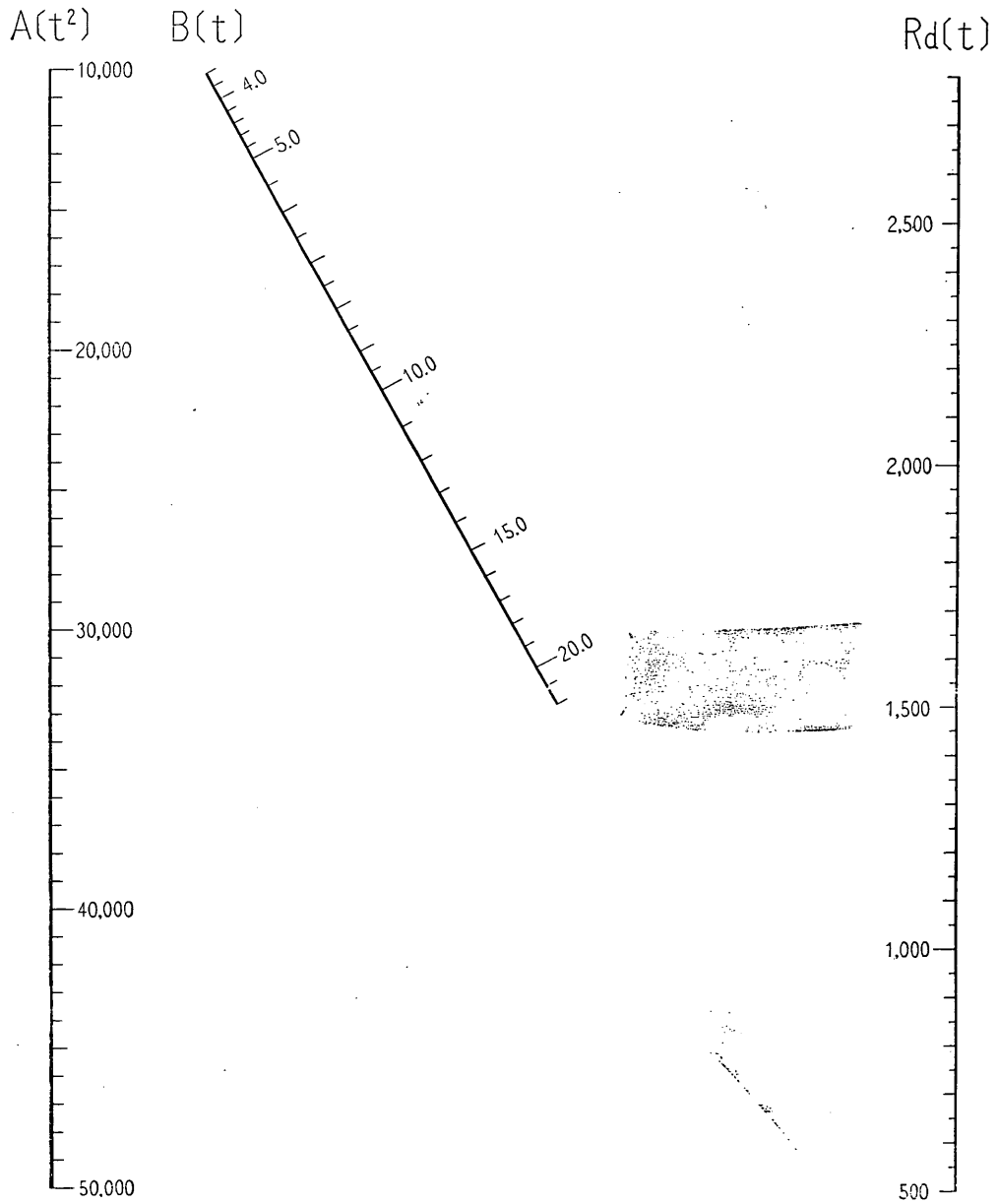


図 5-1~5

$$R_d = \frac{F}{S + \frac{R_d L}{2AE} + 0.15} \cdot \frac{W_H}{W_H + W_p} \quad (\text{安全率 } 5)$$

W_H : ハンマー重量 [t]

H : 落下高 [cm]

S : 杭の貫入量 [cm]

L : 杭長さ [cm]

A : 杭材断面積 [cm²]

E : 杭材の弾性係数 [$2.1 \times 10^3 \text{ t/cm}^2$]

W_p : 杭重量 [t]

(注: $W_H + W_p = B$ とする)

(使用法)

図 5-1, 図 5-2 のおのおのより q, p を求め, この q, p を使用して図 5-3~5 より R_d を求む。

(使用例)

図 5-1

q_1 : ドロップハンマー
 単動スチームハンマー } の場合 ($F = W_H H$)

q_2 : デイゼルハンマーの場合 ($F = 2 W_H H$)

杭打機: ドロップハンマー ($W_H = 2.5 \text{ t}$)

$H = 250 \text{ cm}$ $A = 2026 \text{ cm}^2$ (A の () 内の数字は鋼杭の外径を表わす。なお外径は JIS G 344 一般構造用炭素鋼管標準寸法抜粋)

$L = 2000 \text{ cm}$ $W_p = 3.1 \text{ t}$ $B = 3.1 + 2.5 = 5.6 \text{ t}$ $q = 1190 \times 10^2 \text{ t}^2$

図 5-1 JES 建設 3001

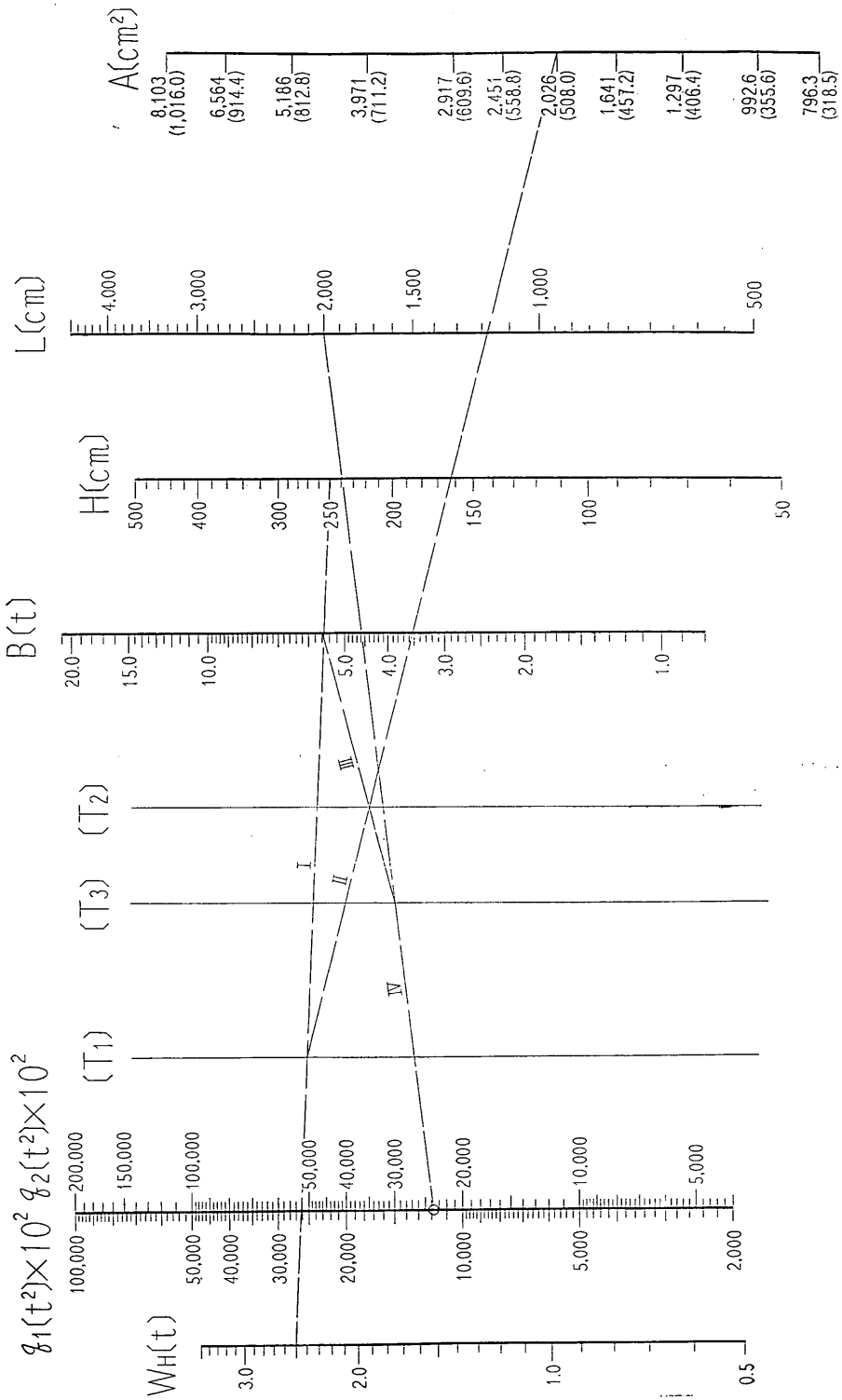


图 5-2

(使用例)

$$A=2026 \text{ cm}^2 \quad S=0.5 \text{ cm} \quad L=2000 \text{ cm} \quad p=27.7 \times 10^2 \text{ t}$$

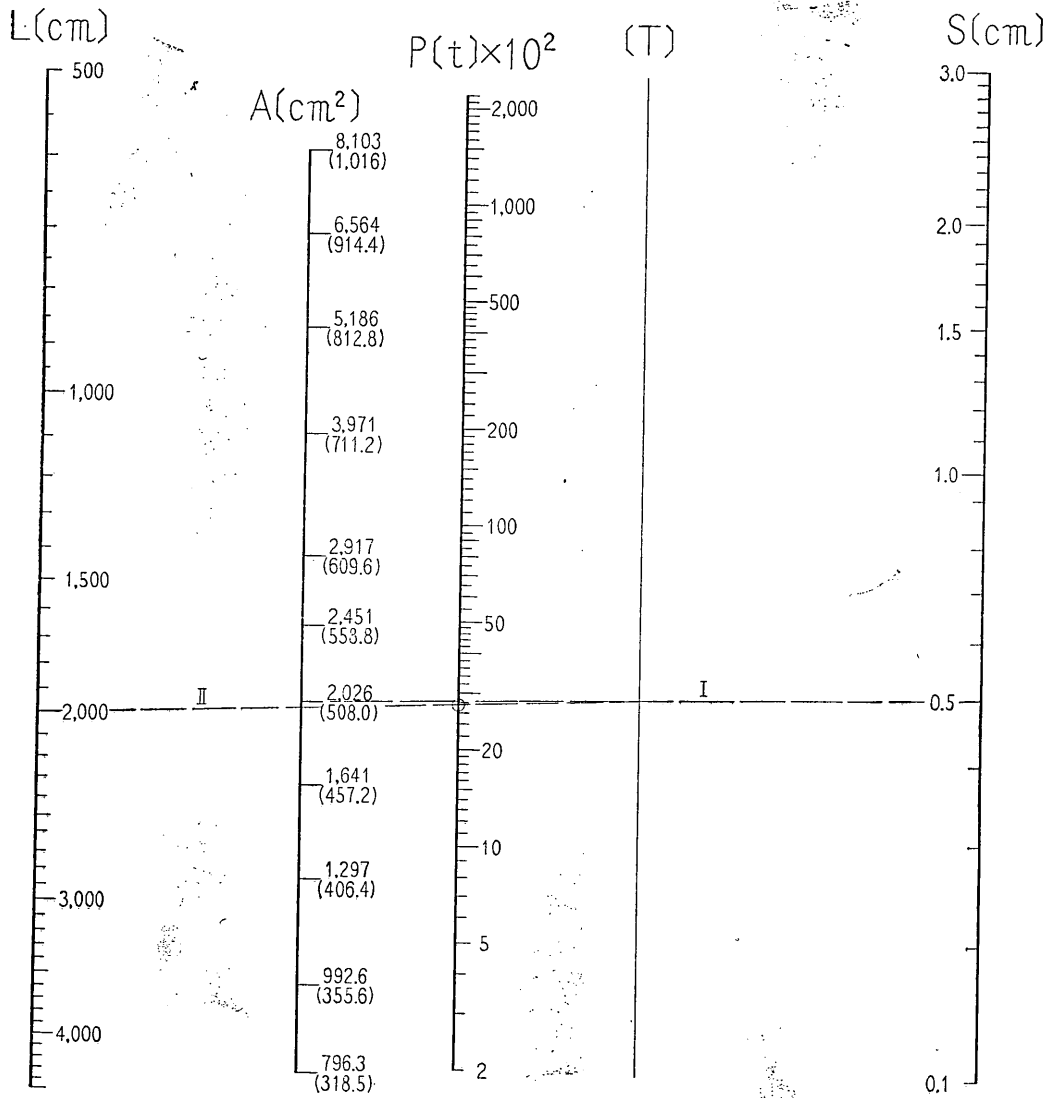


图 5—3

〈使用例〉

$$q=11,900 \times 10^2 \text{ t}^2 \quad p=27.7 \times 10^2 \text{ t} \quad Ra=76 \text{ t}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{注: } q \rightarrow p_1 \Rightarrow R_1 \\ \quad \quad q \rightarrow p_2 \Rightarrow R_2 \end{array} \right)$$

圖 5-3 JES 建設 3001

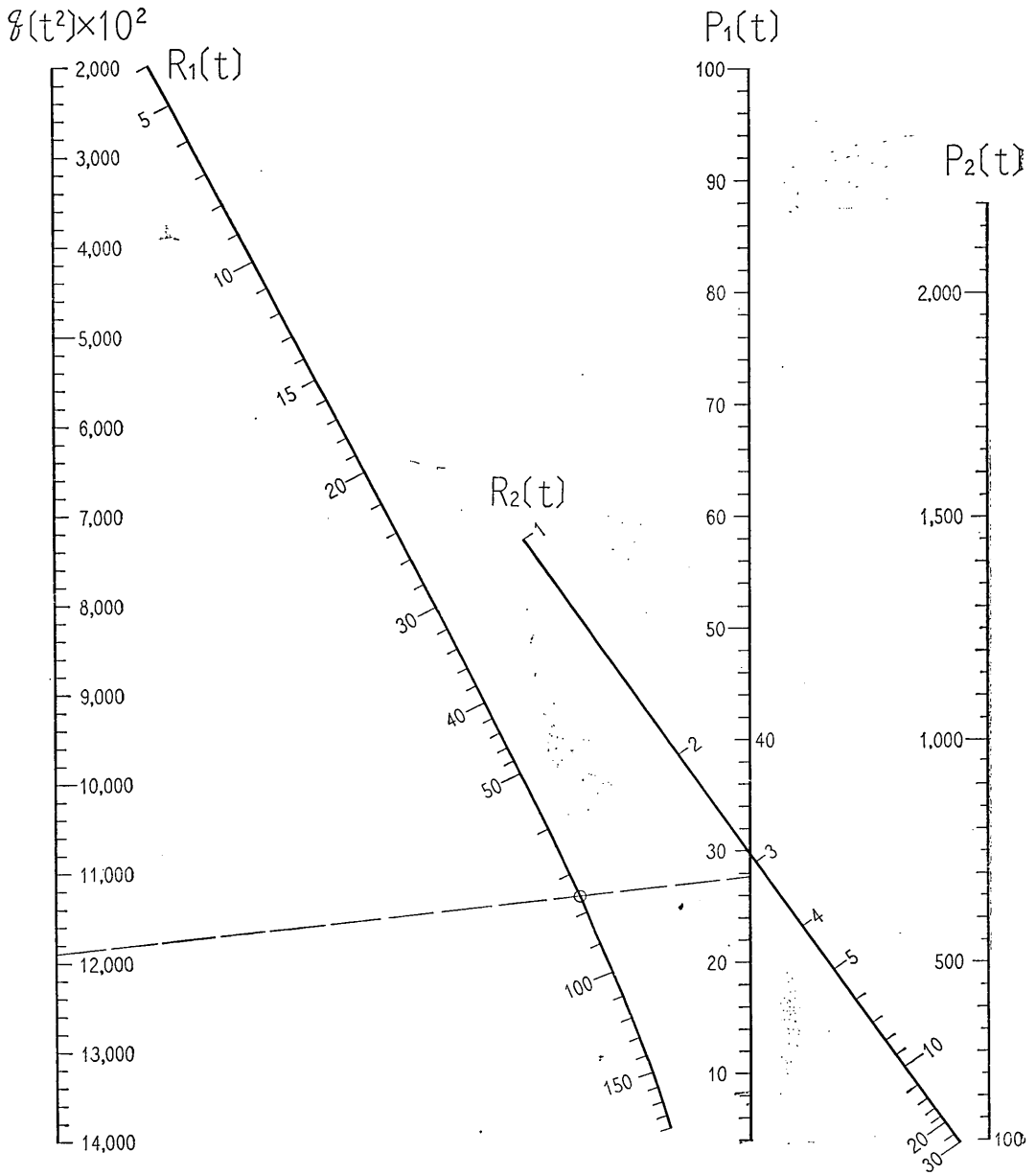
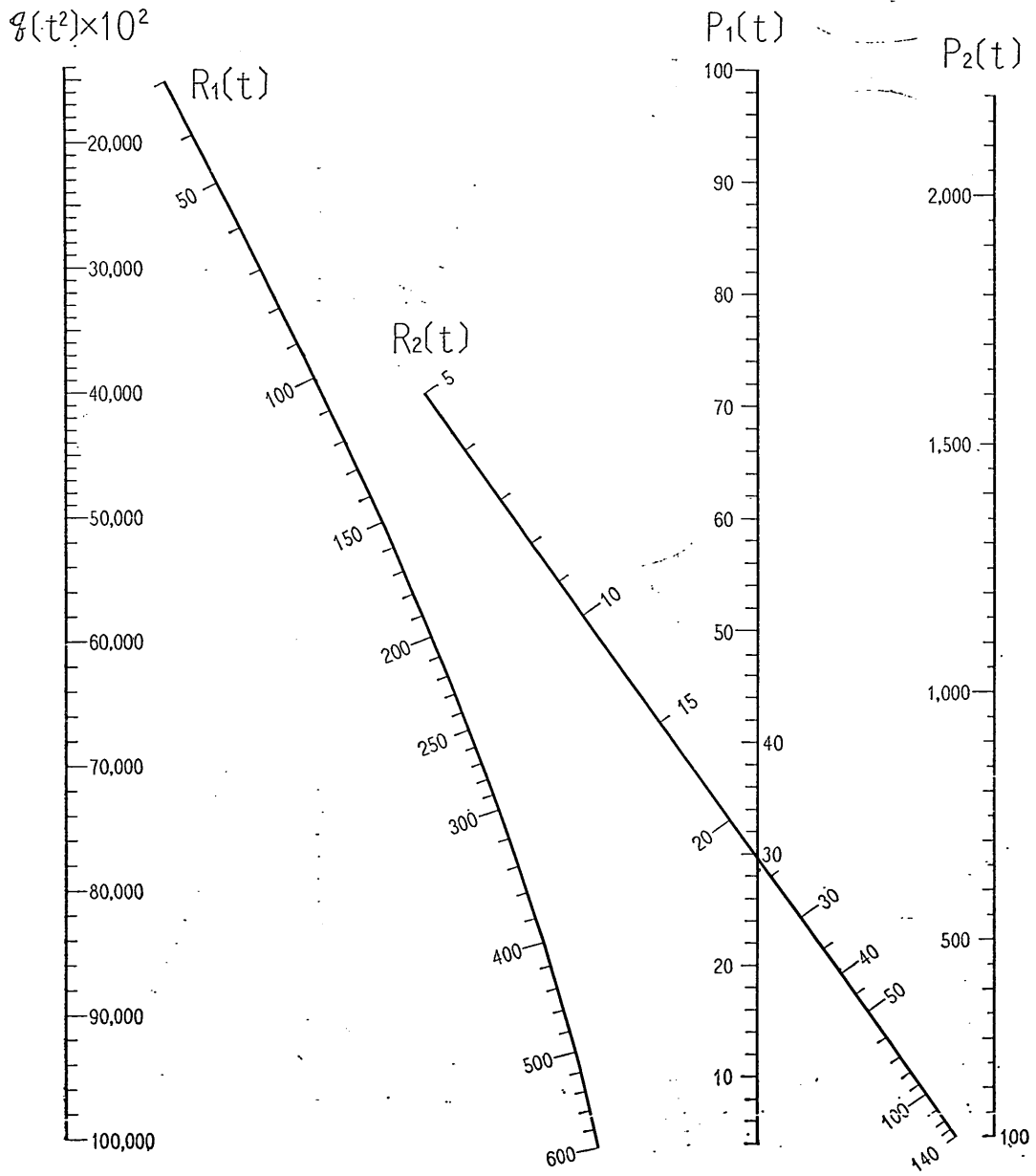


圖 5-4 JES 建設 3001



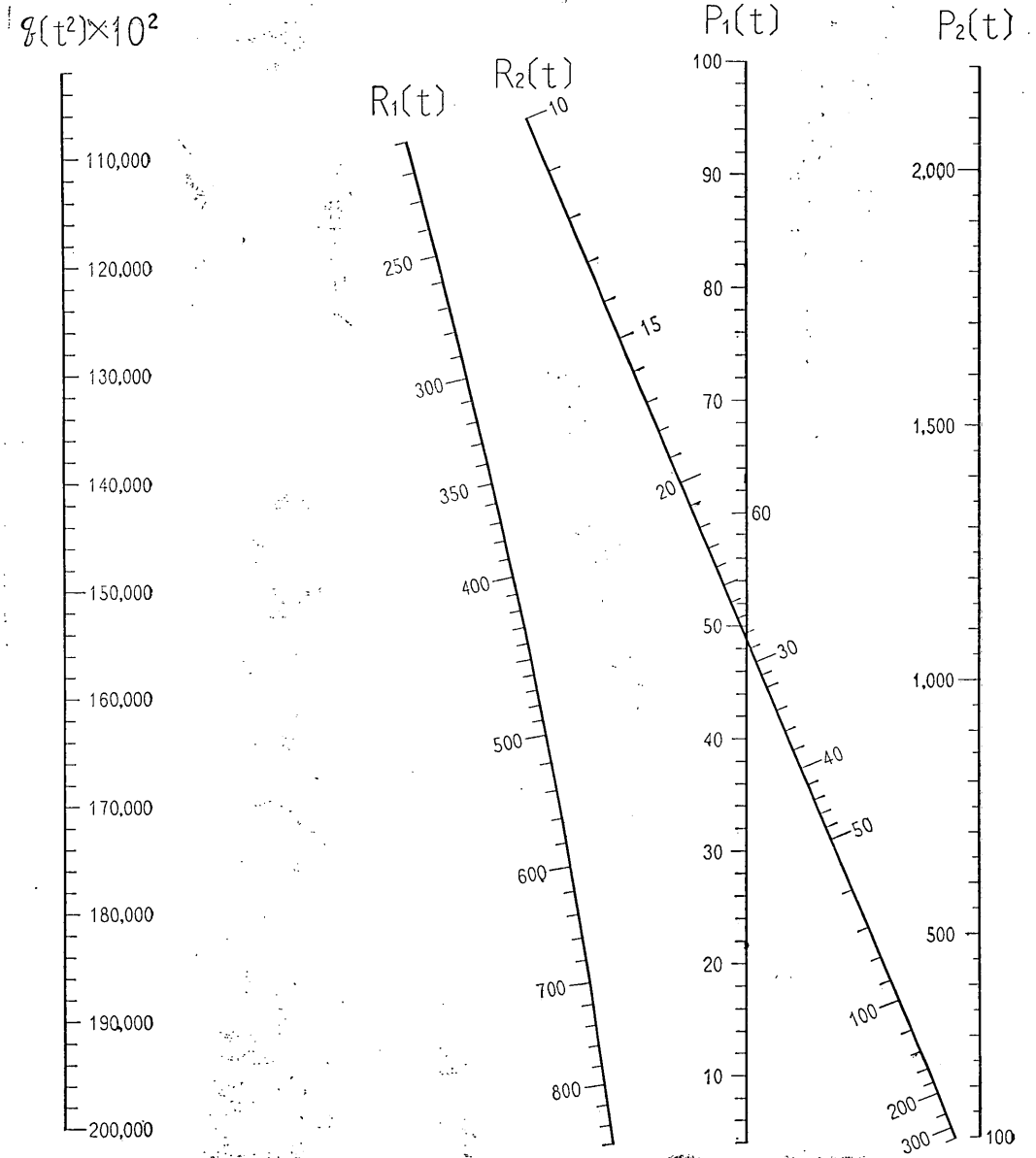


図 6

鋼杭の重量を外径、厚さと長さより求めんとするものである。

$$G = L \pi \gamma (Dt - t^2)$$

G : 杭の重量 [kg]

D : 外径 [mm]

t : 厚さ [mm]

L : 長さ [m]

π : 円周率 [3.14]

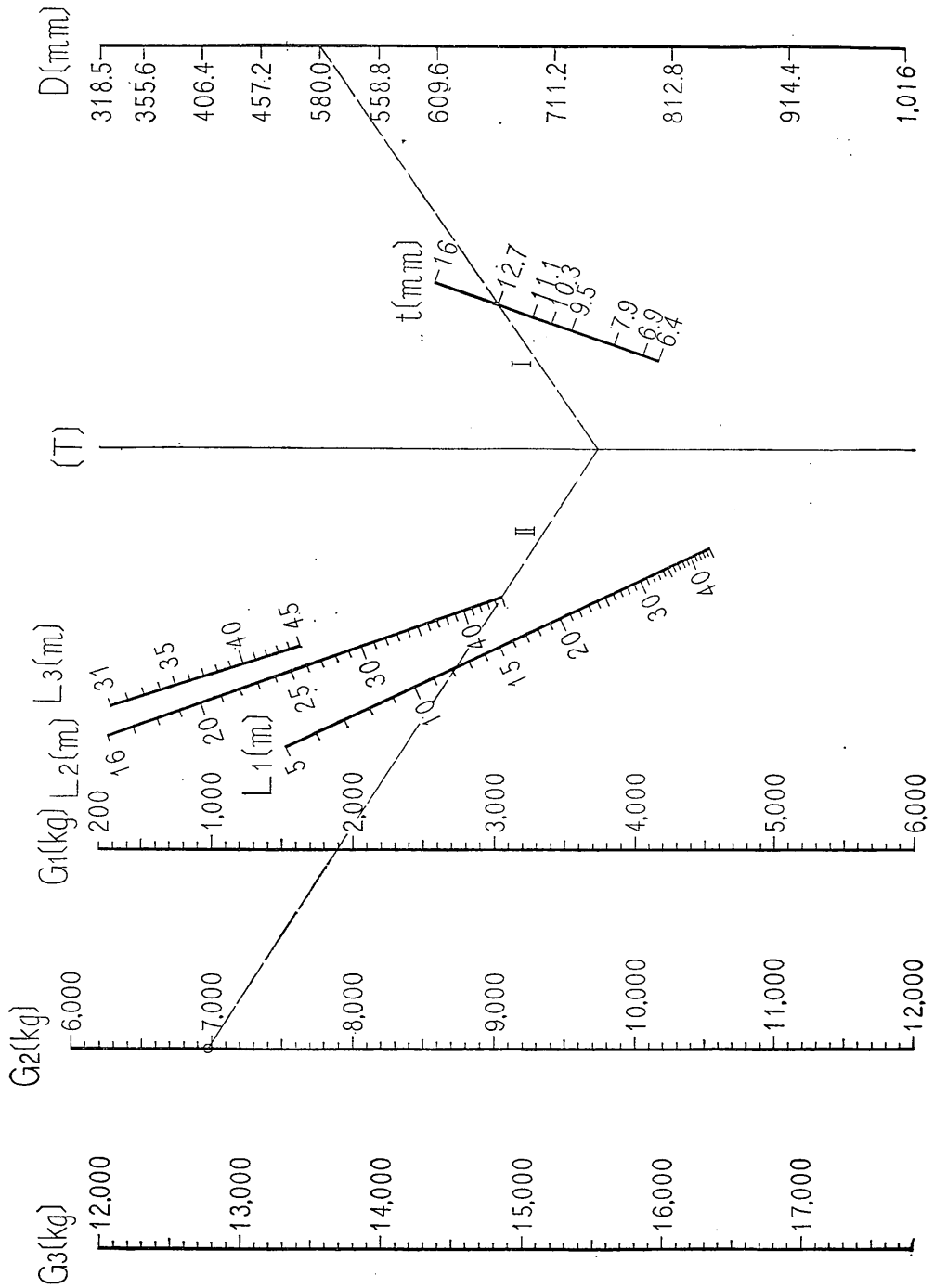
γ : 単位重量 [7850 kg/m]

(使用例)

$$D = 508 \text{ mm} \quad t = 12.7 \text{ mm} \quad L = 45 \text{ m} \quad G = 6985 \text{ kg}$$

$$\left(\begin{array}{l} \text{注 : } T \rightarrow L_1 \Rightarrow G_1 \\ \quad T \rightarrow L_2 \Rightarrow G_2 \\ \quad T \rightarrow L_3 \Rightarrow G_3 \end{array} \right)$$

図 6 鋼杭の重量を求める図表



2. 杭の仮想固定点

杭の横抵抗の計算や矢板壁の設計を行う場合に地表面下のある深さに仮想固定点を仮定してその点より上を杭頭の固定条件により片持梁あるいは固定梁として取り扱われる。又棧橋等の設計には仮想固定点より上部の構造をラーメン構造として解かれることがある。

仮想固定点の深さは港湾工事設計要覧によれば土質に応じて単純に地表面上の杭の高さ h の10~25%とする方法がとられてきたが鋼杭の出現によつて曲げ剛度 EI の範囲が広がると土質条件のほかには杭の曲げ剛度 EI によつても規定する必要がある。

土質条件と杭の曲げ剛度 EI の両方を考慮した仮想固定点を求めるには Chang の式を用いるのが好都合である。

α を仮想固定点係数、 ah を地表面から仮想固定点までの深さとし、Chang による弾性支承上の梁と片持梁または固定梁について撓み A 、反力 H_1 、抱束モーメント M_0 、撓み角 θ のうち任意の2つを一致させるように仮想固定点係数 α を求める。4要素のうち任意の2要素の組合わせによつて仮想固定点係数もいくつか存在するが、 $\beta h \geq 2$ の場合には仮想固定点係数 α は

$$\alpha = \frac{1}{\beta h}$$

と仮定しても工学的な誤差範囲内では充分満足な値が得られる¹⁾。

したがつて仮想固定点の地表面からの深さ l は

$$l = ah = \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}}} = \sqrt[4]{\frac{4EI}{E_s}} \dots \dots \dots (1)$$

で与えられる。

ただし、 EI は杭の曲げ剛度、 E_s は地盤の弾性係数である。

図-7 に仮想固定点の地表面からの深さ l の計算図表を示した。

1) 横山幸浩 鋼杭の設計と施工 p. 148

図-7 $l = \sqrt[4]{\frac{4EI}{E_s}}$

$l = \frac{1}{\beta} = \sqrt[4]{\frac{4EI}{E_s}}$

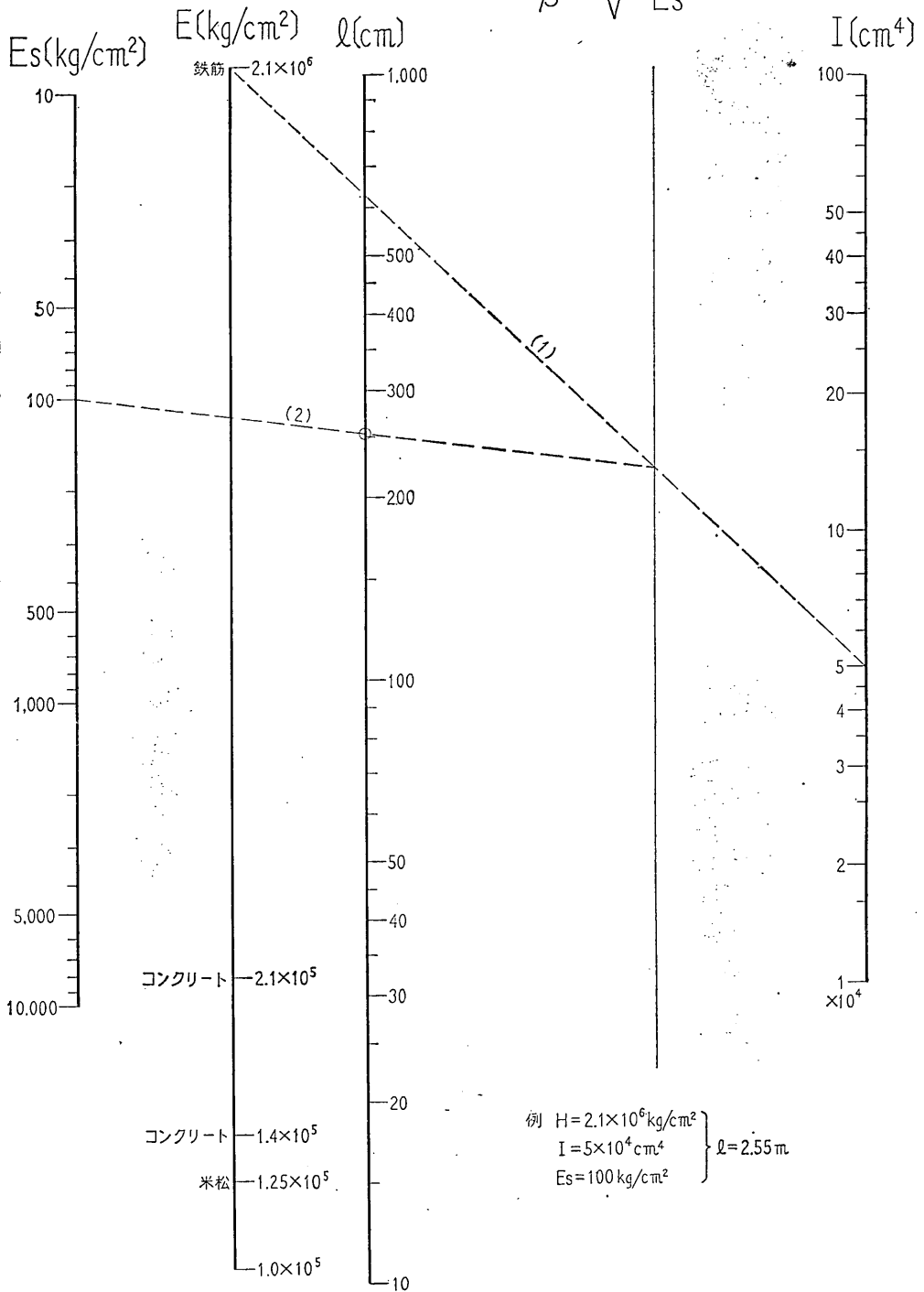


圖-8 粘 性 土

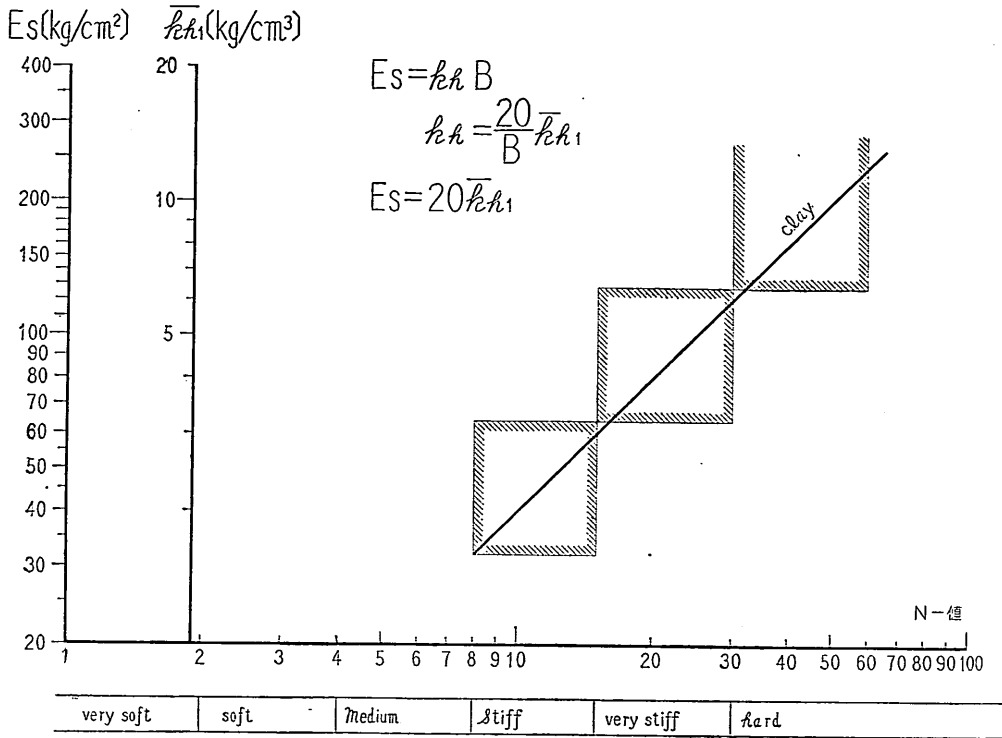
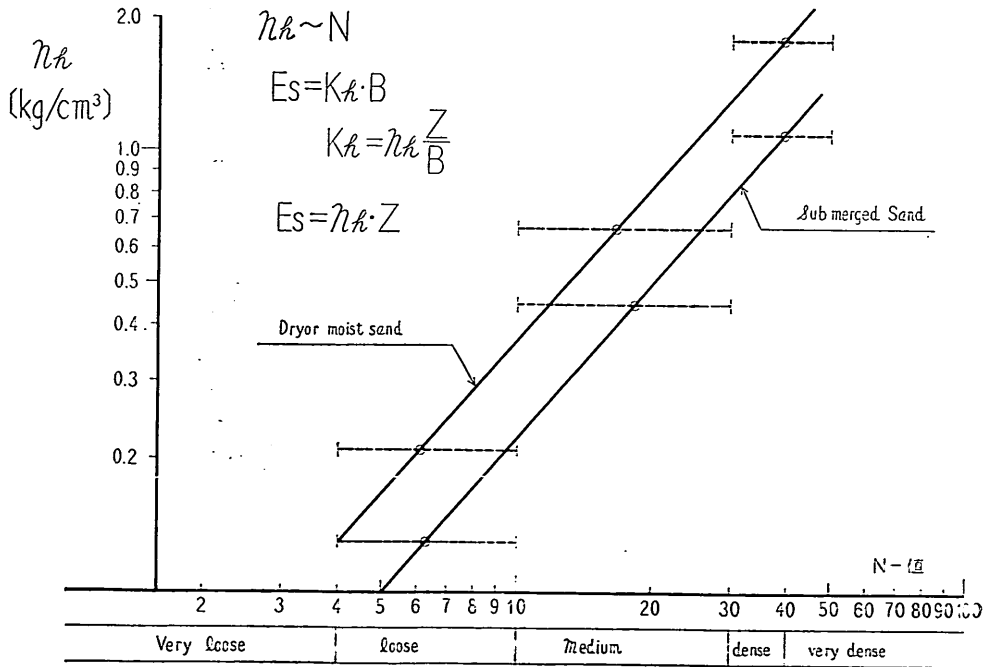


圖-9 砂 質 土



(1)式を用いて杭の仮想固定点の深さを求める場合、地盤の弾性係数 E_s の推定が問題になるが、これについてはいろいろな説が提案されている。

a) Terzaghi の提案

Terzaghi は E_s は杭巾 B に比例するものとし、その比例係数 K_h を横方向地盤反力係数と称して粘性土と砂質土に分けて次のように提案している。

$$E_s = K_h B \dots\dots\dots (2)$$

○粘性土の場合

$$K_h = \frac{30}{B} K_{h1} = \frac{20}{B} \bar{K}_h \quad \left(K_{h1} = \frac{\bar{K}_{h1}}{1.5} \right)$$

K_{h1} : 巾 30 cm の帯状の板に対する値 (kg/cm²/cm)

\bar{K}_h : 30×30 cm の正方形板に対する値 (kg/cm²/cm)

したがって $E_s = 20 \bar{K}_{h1} \dots\dots\dots (3)$

Terzaghi は粘土について \bar{K}_{h1} ~ 単純圧縮強度 q_u 及び標準貫入試験値 N と q_u の関係を提案しているので、それらから \bar{K}_{h1} と N の関係を図-8 に示した。

○砂質土の場合

$$K_h = n_h \cdot \frac{z}{B} \dots\dots\dots (4)$$

n_h : 横方向地盤反力常数 [kg/cm³]

z : 考えている点までの深さ

したがって $E_s = n_h z \dots\dots\dots (5)$

Terzaghi は砂について、相対密度と n_h の関係及び、 N 値と相対密度の関係を提案しているので、これら2つの関係より n_h と N 値の関係を図-9 に示した。

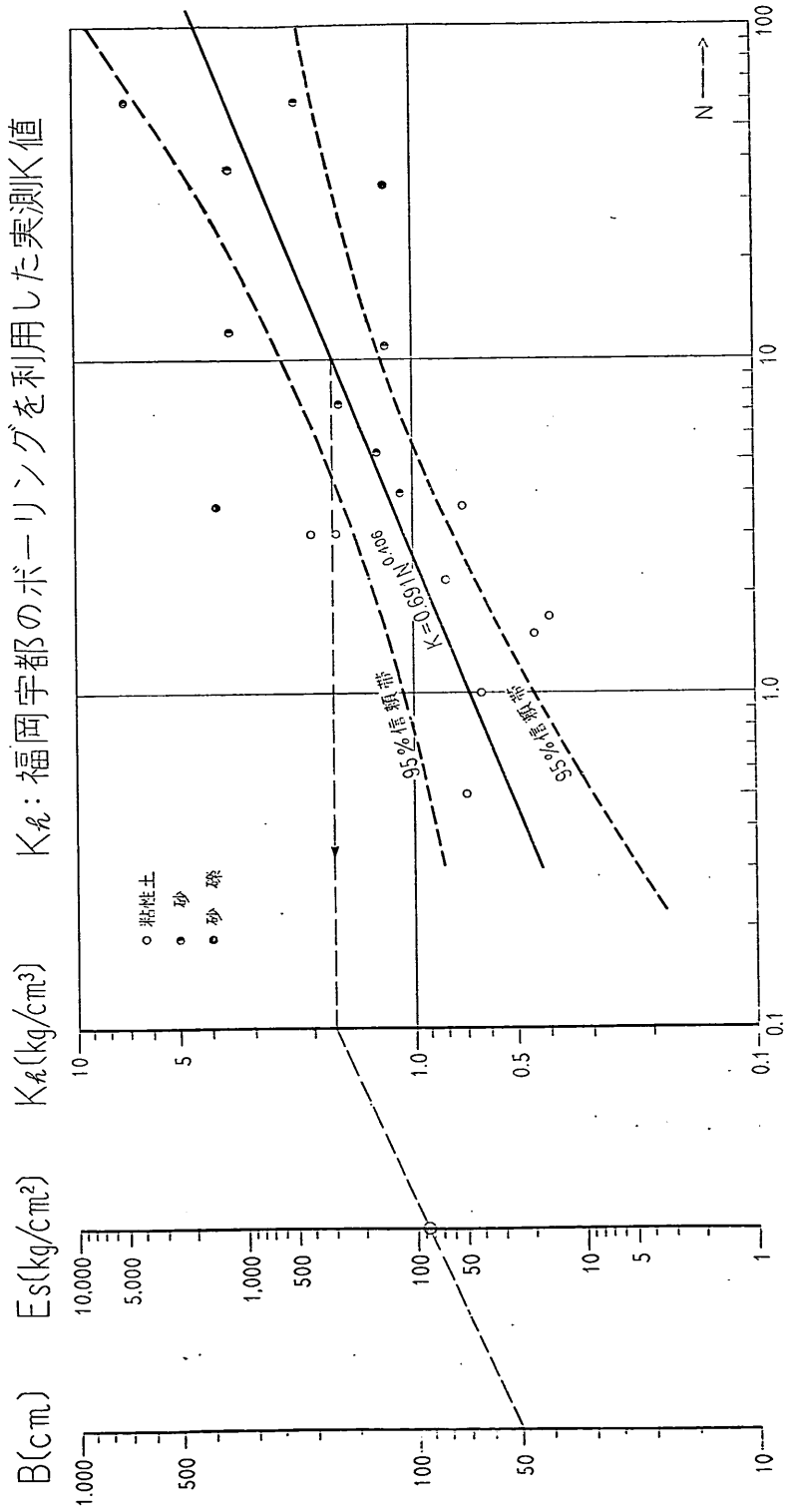
b) 実測 K 値を用いる方法

久保博士等の研究によれば、杭巾 B が 15cm 以上の場合には E_s は杭巾 B にほぼ正比例すると考えてもよいとされている。

横方向地盤反力係数 K_h の値としては各種の試験結果が報告されているが図-10に福岡・宇都技官のボーリング孔を利用した実測 K 値を用いて $E_s = K_h \cdot B$ を示した。

図-10 福岡宇都のボーリング孔を利用した実測K値

$$E_s = K_k \cdot B$$



例 N=10程度の硬い粘土 (Stiff clay) の場合

$$E_s = 85 \text{ kg/cm}^2$$

C) Chang の提案

Chang は砂質土の場合の (5) 式の z に相当するものとして, Chang の方法による第 1 不動点 l_c の $1/3$ とすることを提案している。

Terzaghi の提案した横方向地盤反力常数 n_h をそのまま用いる。

$$E_s = \frac{n_h l}{3} \dots \dots \dots (6)$$

Chang の第 1 不動点 l_c は

○地中に埋込まれた杭の場合

$$\text{杭頭自由: } l_c = \pi / 2\beta \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{杭頭固定: } l_c = 3\pi / 4\beta \dots \dots \dots (8)$$

○地上に突出している杭

$$\text{杭頭自由: } l_c = 1 / \beta \tan^{-1} \frac{1 + \beta h}{\beta h} \dots \dots \dots (9)$$

$$\text{杭頭固定: } l_c = 1 / \beta \tan^{-1} \frac{\beta h + 1}{\beta h - 1} \dots \dots \dots (10)$$

であるから, 仮想固定点 l は (1) および (6) (7) (8) (9) (10) 式から次のようになる。

○杭頭自由, 地上部ない場合

$$l_1 = 2^{4/5} \times \pi^{-1/5} \times (EI)^{1/5} \cdot n_h^{-1/5} \dots \dots \dots (11)$$

○杭頭固定, 地上部ない場合

$$l_2 = 2^{3/5} \times 3^{1/5} \times \pi^{-1/5} \times (EI)^{1/5} \times n_h^{-1/5} \dots \dots \dots (12)$$

○杭頭固定, 地上部ない場合

$$\frac{12 EI \beta^5}{n_h} = \tan^{-1} \frac{1 + \beta h}{\beta h} \dots \dots \dots (13)$$

(13) 式を β について解き (β_3 とする)

$$l_3 = \frac{1}{\beta_3} \dots \dots \dots (14)$$

○杭頭固定, 地上部ある場合,

$$\frac{12 EI \beta^5}{n_h} = \tan^{-1} \frac{\beta h + 1}{\beta h - 1} \dots \dots \dots (15)$$

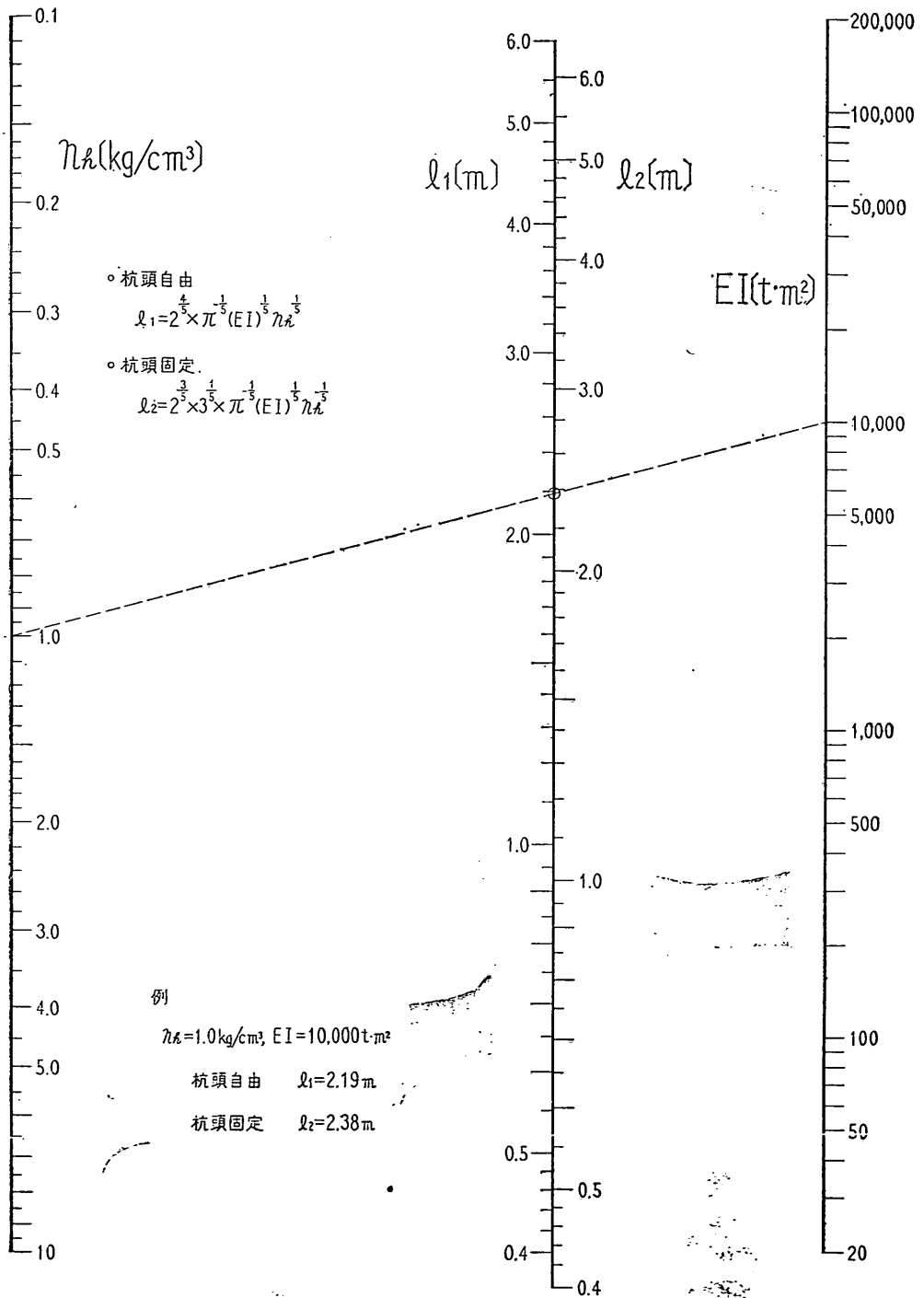
$$l_4 = \frac{1}{\beta_4} \dots \dots \dots (16)$$

(15) 式を β について解き (β_4 とする) (16) 式より l を求める。

式 (11), (12) の計算図表を図-11, 式 (13), (15) を図-12-1 式 (14), (16) を図-12-2 に示した。

図-11 固定線の深さ

$$\begin{cases} l_1 = 2^{\frac{4}{5}} \times 2^{-\frac{1}{5}} \times EI^{\frac{1}{5}} \times nh^{-\frac{1}{5}} \\ l_2 = 2^{\frac{3}{5}} \times 3^{\frac{1}{5}} \times 2^{-\frac{1}{5}} \times EI^{\frac{1}{5}} \times nh^{-\frac{1}{5}} \end{cases}$$



$$\left\{ \begin{aligned} \frac{12EI\beta_3^5}{nh} &= \tan^{-1} \frac{\beta_3^5 + 1}{\beta_3^5 - 1} \\ \frac{12EI\beta_4^5}{nh} &= \tan^{-1} \frac{\beta_4^5 + 1}{\beta_4^5 - 1} \end{aligned} \right.$$

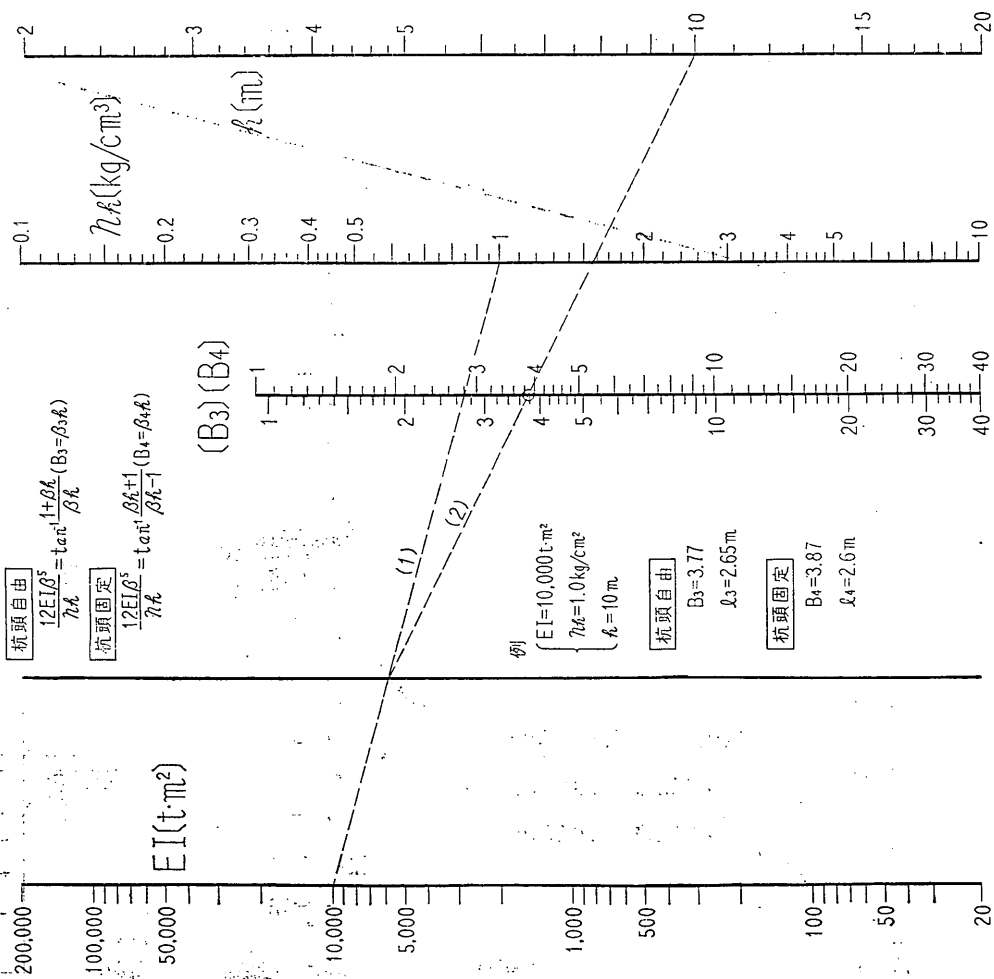
図-12-1

杭頭自由

$$\frac{12EI\beta^5}{7\eta k} = \tan^{-1} \frac{1 + \beta k}{\beta k} \quad (B_3 = \beta_3 k)$$

杭頭固定

$$\frac{12EI\beta^5}{7\eta k} = \tan^{-1} \frac{\beta k + 1}{\beta k - 1} \quad (B_4 = \beta_4 k)$$



例

$$\left\{ \begin{aligned} EI &= 10,000 \text{ t}\cdot\text{m}^2 \\ \eta k &= 1.0 \text{ kg/cm}^3 \\ l_k &= 10 \text{ m} \end{aligned} \right.$$

杭頭自由

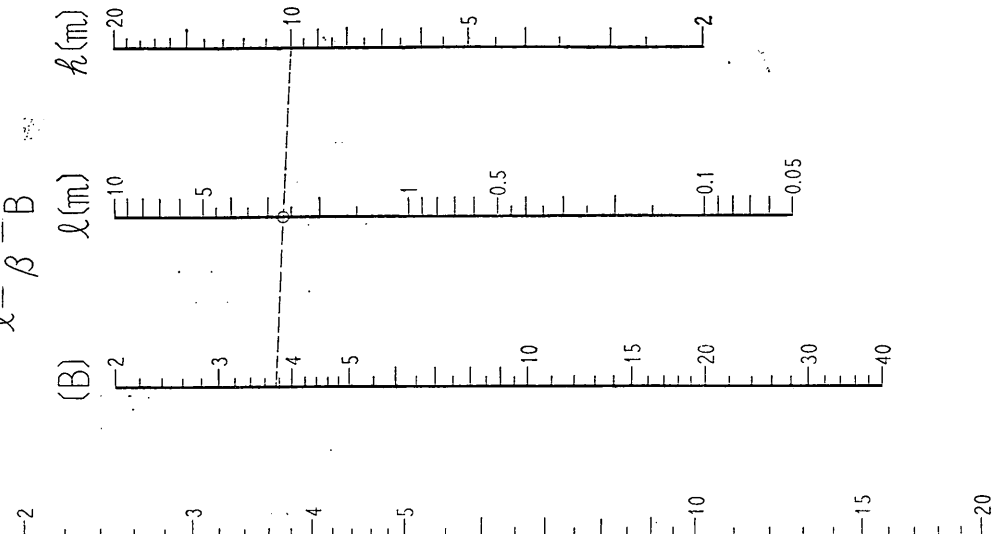
$$\begin{aligned} B_3 &= 3.77 \\ l_3 &= 2.65 \text{ m} \end{aligned}$$

杭頭固定

$$\begin{aligned} B_4 &= 3.87 \\ l_4 &= 2.6 \text{ m} \end{aligned}$$

図-12-2 固定点の深さ

$$l = \frac{1}{\beta} = \frac{l}{B}$$



3. セルの安定計算

(1) まえがき

セル構造物は矢板の建てこみ、打ちこみ、中詰施工等の単純な作業の組合わせによつて造ることができるので、施工が簡単であり、大きな構造物でも短期間に造ることができる。したがつてここ数年来、日本各地でも岸壁として、広く利用されるようになってきた。

セル構造を最初に採用したのは米国であるがそこでは主として仮締切り堤などの仮設構造物として使われてきたのでその設計法も簡単なものである。したがつてドック、擁壁、護岸、棧橋、ロック、ドルフィン等の永久構造物としてセル構造を利用する場合にはまだ十分な設計法がないのが現状である。

セル設計法において問題となる点はセルのセン断破壊に対する中詰の抵抗をいかに考えるかであり、それについては異なつた観点から種々の設計法が提案されている。

我が国の場合、セル式港湾構造物の設計には一般に Terzaghi の設計法が採用されているようである。しかし、鉛直スベリ面を仮定して中詰の抵抗を求める Terzaghi の設計法に疑問があることを指摘して、北島技官¹⁾は粉体の力学的解析及びその実験的考察によつて新しい設計法を提案している。

以下に、その設計法を簡単に述べ、セルのスベリ出し抵抗力、矢板壁の張力、矢板壁および中詰の抵抗モーメントの計算図表を示した。なお比較のため Cummings による抵抗モーメントの計算図表をつけ加えた。

(2) セルの設計法及び計算図表

セルの設計では壁体の安定性から壁巾と中詰材料とを決定し、次に中詰土圧より弧の半径と使用矢板を決定すればよい。

i) 滑り出しに対する検討

セルが滑り出し破壊をする時の滑り面は荷重の傾きによつて底面沿いに生じたり、中詰内に生じたりするが、外力の傾き ρ が $10\sim 15^\circ$ 以下であれば底面沿いのすべり面が生ずる。したがつて、外力の傾きが小さければ、セルの滑り出しに対する抵抗力は次式で示される。

$$\begin{cases} F = 1/2 \gamma H^2 K_s \dots\dots\dots (1) \\ K_s = 2\nu \frac{\tan \phi}{1 - \tan \rho \tan \phi} \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

ここに、 γ : 中詰の内部マサツ角

H : セルの高さ

ϕ : 岩盤と中詰のマサツ角 = 中詰の内部マサツ角

F : スベリ抵抗力

K_s : スベリ抵抗係数

ν : B/H

B : セル巾

F が裏込土圧の水平成分 P_0 と等しくなつた時スベリが生ずる。したがつて $P_0 = F$ とおき、スベリに対する最小有効巾 B が決定される。又 B が与えられた場合には、(1)、(2) 式によりスベリ出し抵抗力を求め、 F/P_0 によりスベリ出しに対する安全率が計算される。

図-13-1 及び図-13-2 に (1) (2) 式の計算図表を示した。土圧 P_0 の計算図表は別に示す。

1) 北島昭一 「セル岸壁の安定性に関する研究」 運研報告 第 12 卷 第 3 号 1962年 5 月

図-13-1 スベリ抵抗計数 $K_s = 2\nu \frac{\tan \phi}{1 - \tan \rho \tan \phi}$

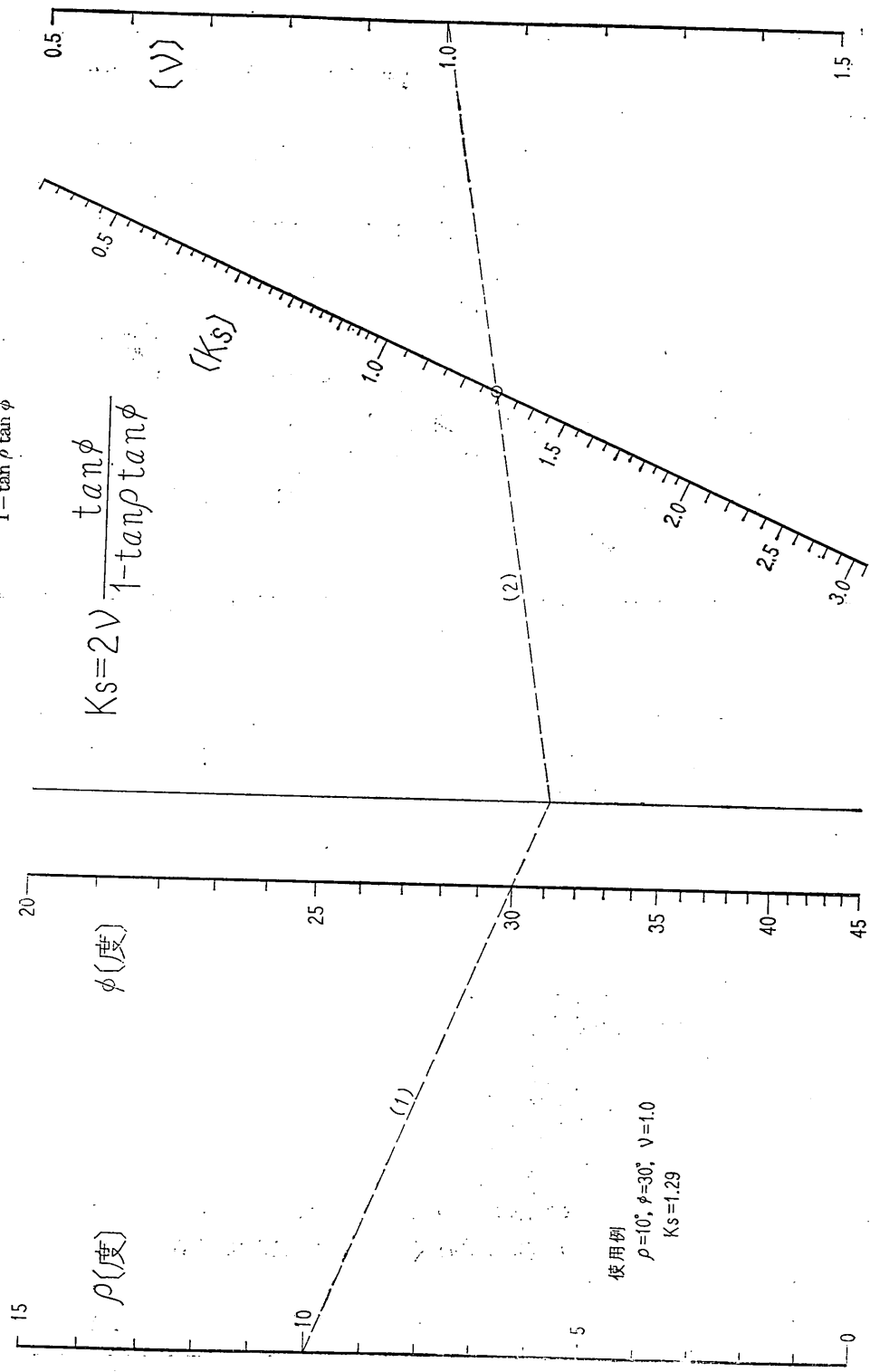
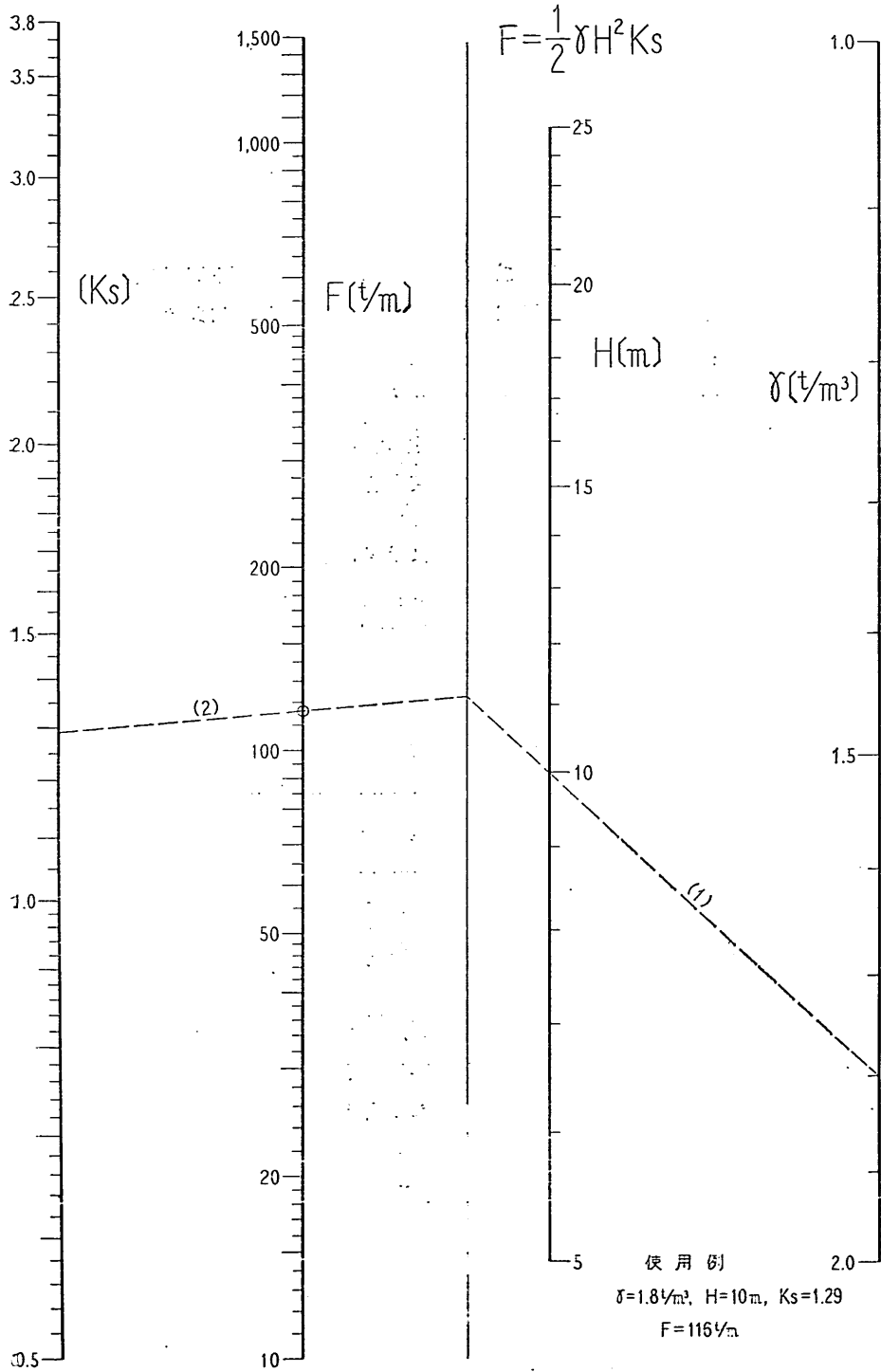


図-13-2 スベリ抵抗力 $F = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_s$



注1) スペリに対する最小有効巾 B の計算には、土圧の計算図表より水平土圧 P_0 を求め図-2 において F のかわりに $P_0 \times$ 安全率をとり、 K_s を求める。 K_s から図-1 を用いて ν を求め、 $B = \nu H$ により最小有効巾 B が求められる。

注2) 上載荷重 (q_s) 及び水位 (H_w) の影響がある場合には、 H 及び ν のかわりに次のものを用いればよい。

$$\begin{cases} H \longrightarrow H + H' - \frac{1}{\gamma} H_w \\ \nu = \frac{B}{H} \longrightarrow B / (H + H') - \frac{1}{\gamma} H_w \end{cases}$$

$$H' = q_s / \gamma, \quad \gamma: \text{中詰の単位重量}$$

ii) 矢板壁の破裂

矢板壁前面に働く中詰土圧は静水圧分布をしているものとみなし、前面の矢板壁が土圧を全部矢板間の張力で支持した上で、これを隔壁を通じて後面の矢板壁に伝達してゆくものとするならば、矢板壁内の張力は次式で示される。

$$t = C_b \gamma H R \dots \dots \dots (3)$$

C_b : 土圧係数

R : セルの半径

H : 壁高

矢板壁の破裂の危険性は中詰施工時においても最も大きいから、中詰施工終了時における安全性のみを検討すればよい。

中詰施工終了時における中詰の土圧係数、すなわち、破裂に対する検討に用いるべき土圧係数として次の実験式を用いる。

$$C_b = \tan \phi \dots \dots \dots (4)$$

したがって設計に用いるべき矢板壁の張力は次のようになる。

$$t = \gamma H R \tan \phi \dots \dots \dots (5)$$

上載荷重及び水位の影響がある場合には次の式を用いる。

$$t' = \{ \gamma (H + H') - H_w \} R \tan \phi \dots \dots \dots (6)$$

ここに、

$$H' = \frac{q_s}{\gamma} \quad (q_s: \text{上載荷重})$$

H_w : 水位

式(5)の計算図表を図-14に示した。

半径 R が与えられた場合、図-14により矢板壁にかかる張力を計算し、使用する矢板壁の引張強さを T とすれば T/t により安全率を計算する。又、許容引張り強さ ta が与えられた場合、図-14の t のかわりに ta を用いてセルの許容最大半径が求まる。

なお、上載荷重及び水位の影響がある場合には H のかわりに $(H + H' - \frac{1}{\gamma} H_w)$ を用いればよい。 H' = 換算高さである。

iii) セルのセン断変形

セルの最小有効巾についてはセン断変形に対する安定性から決定されたものが一般に支配的である。セン断変形に対する安定性は変形モーメント \times 安全率 = 抵抗モーメント (北島技官は安全率 = 2.5 ととればよいといっている) によつて検討される。抵抗モーメントは中詰によるものと、矢板壁によるものを合成したものである。

図-14 矢板壁の張力 $t = \gamma H R \tan \phi$

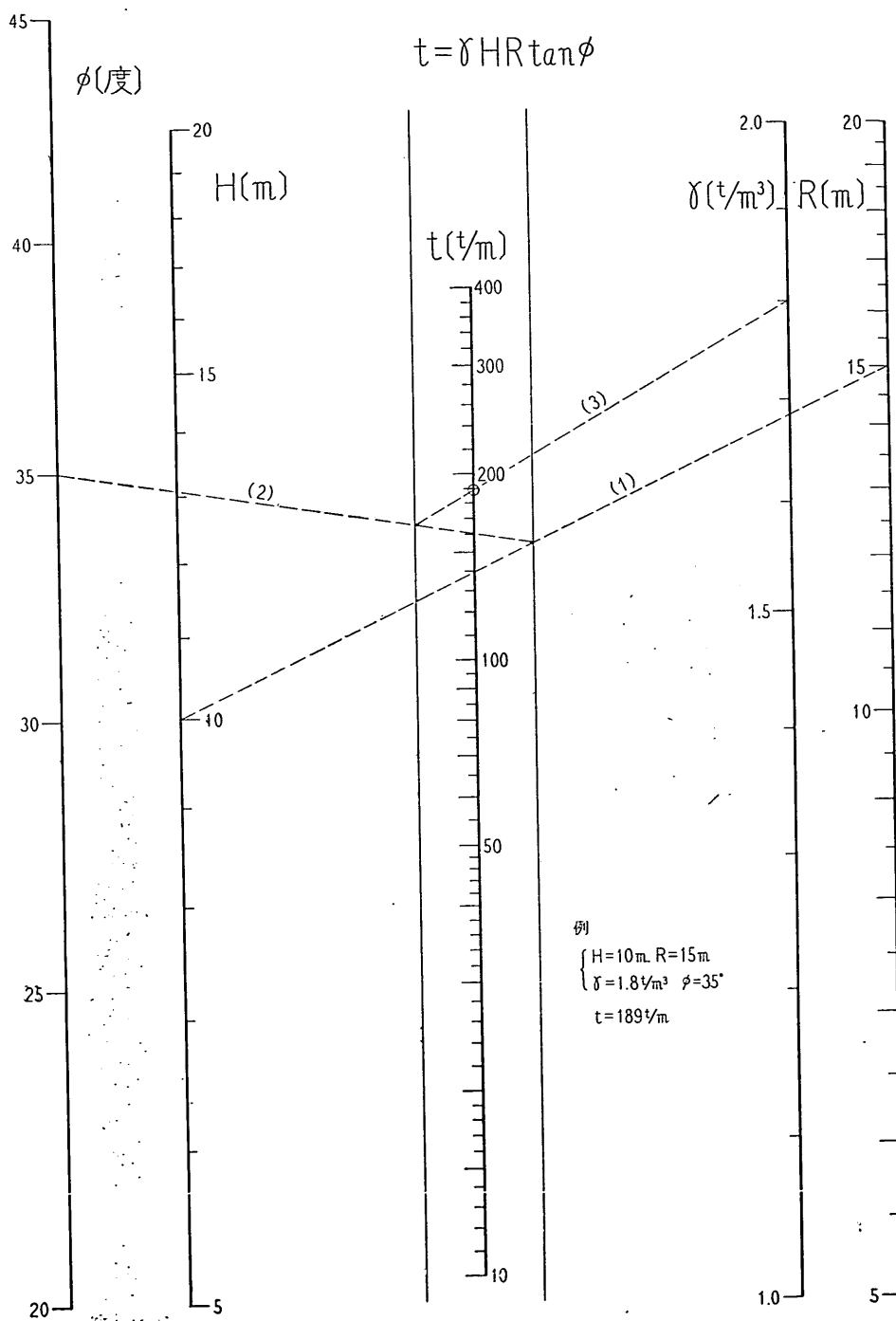
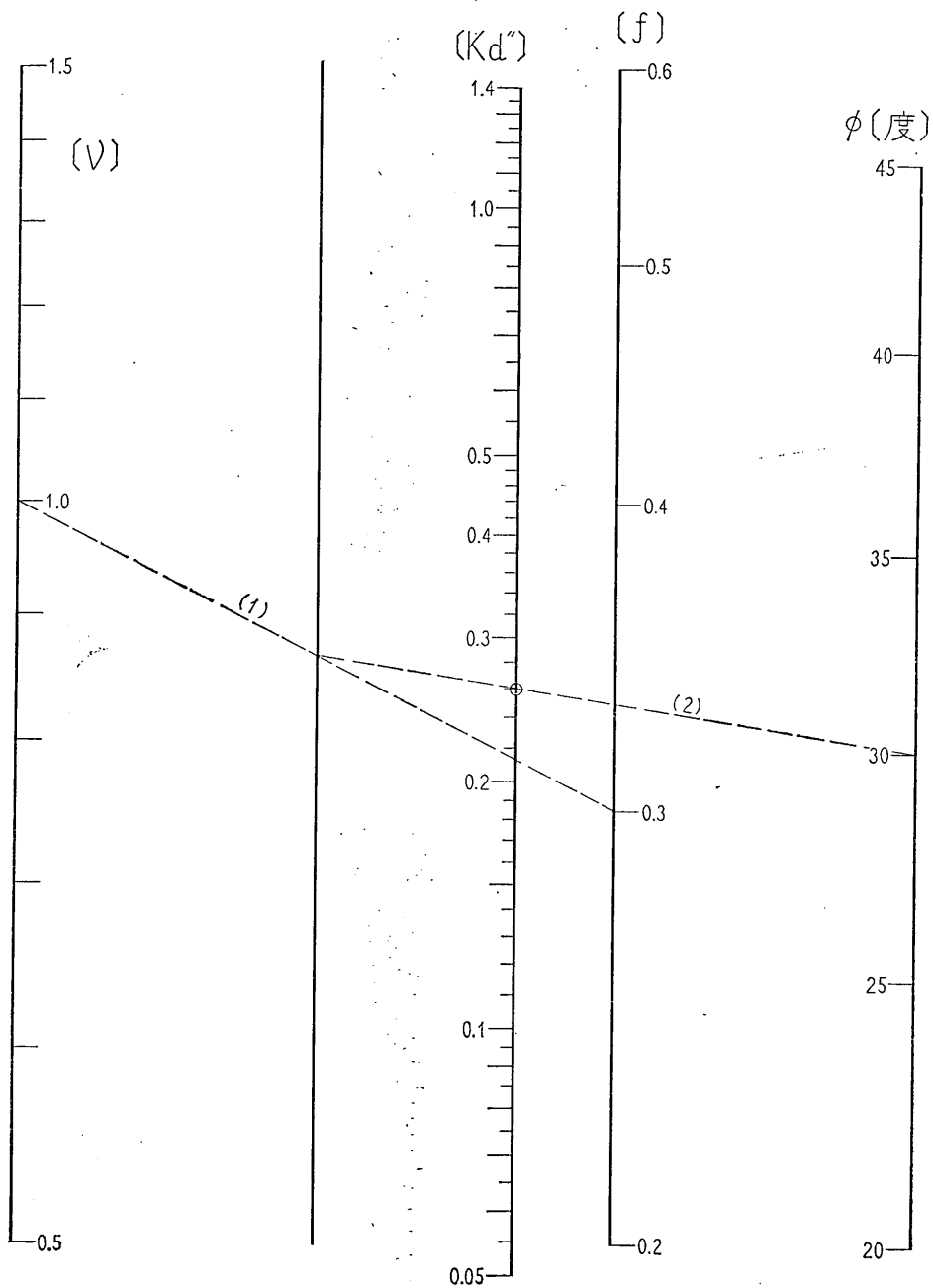


图-15-1 $K_d'' = \frac{3}{2} \nu f \tan \phi$

$$K_d'' = \frac{3}{2} \nu f \tan \phi$$



例 $\nu=1.0, f=0.3, \phi=30^\circ \rightarrow K_d''=0.26$

图-15-2 $A = 1 + \frac{2g_s}{\gamma} \frac{H_w}{H} - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{H_w}{H} \right)^2$

$$A = 1 + 2g_s / \gamma H - \frac{1}{\gamma} (H_w / H)^2$$

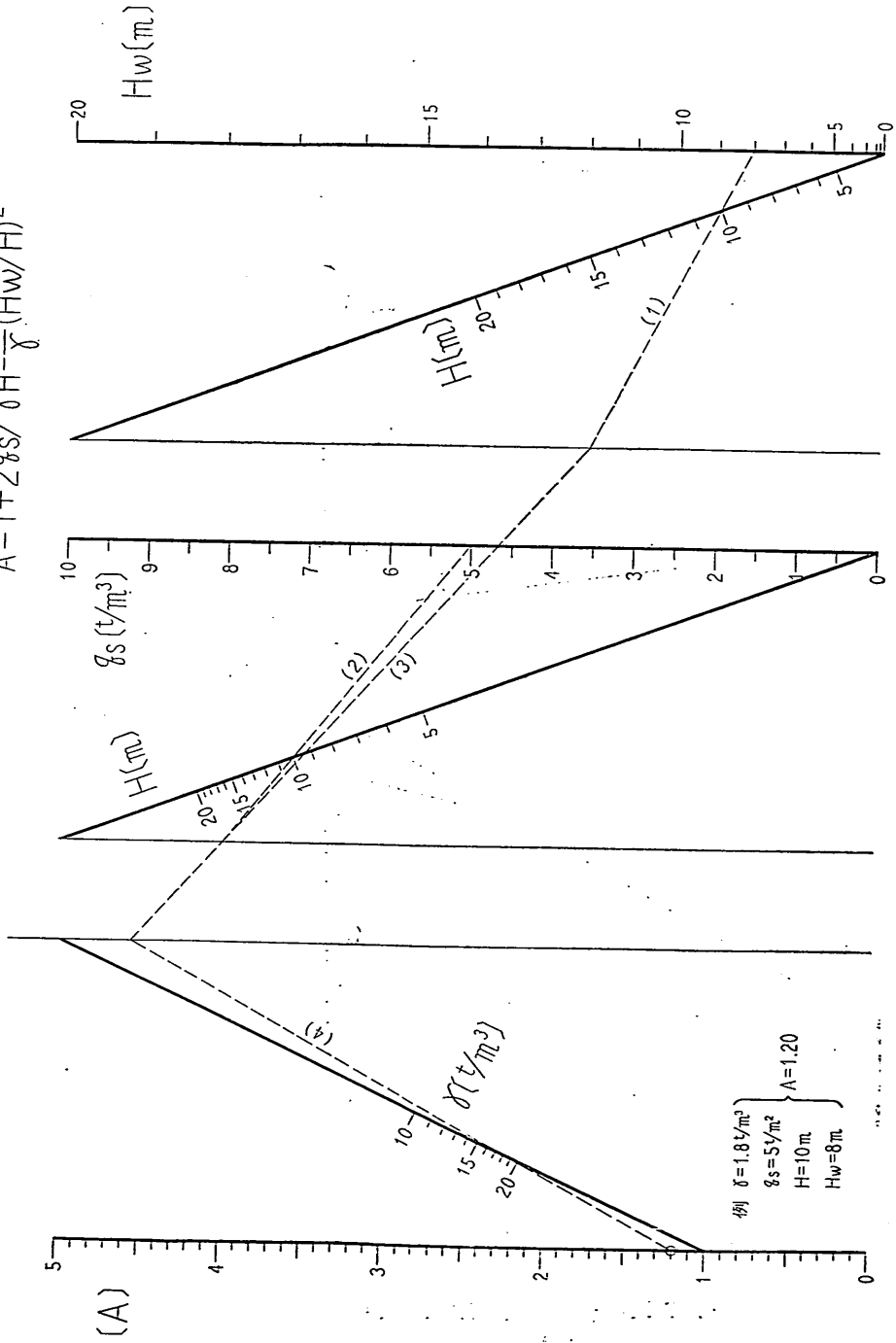
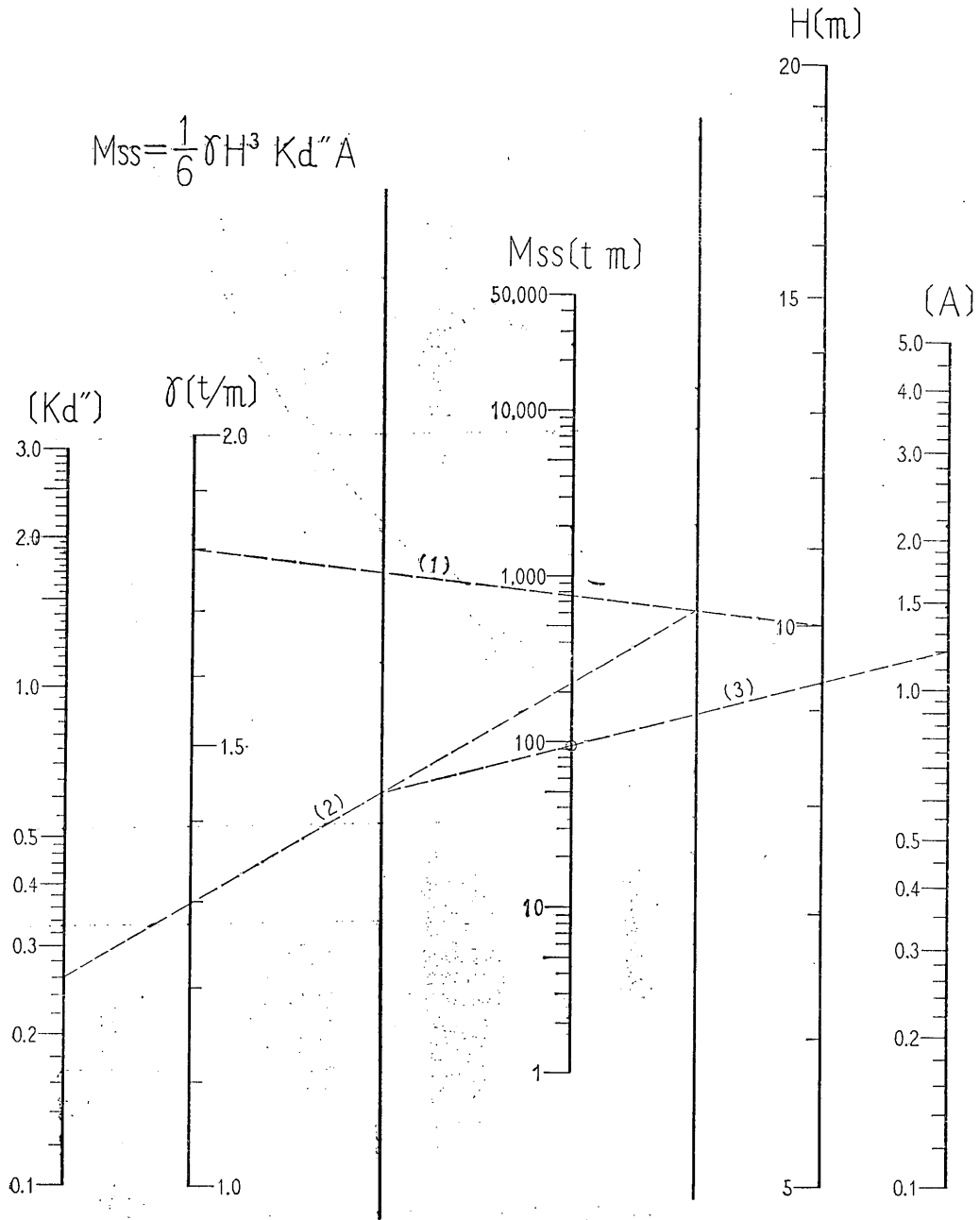


図-15-3 矢板壁による抵抗モーメント $M_{ss} = \frac{1}{6} \gamma H^3 K_a'' A$



例 $\delta = 1.8 \text{ t/m}^3$, $H = 10 \text{ m}$, $K_d'' = 0.26$, $A = 1.20$
 $M_{ss} = 94 \text{ t m}$

a) 裏込土圧等による変形モーメント M_b

裏込土圧による変形モーメントは、土圧の水平成分の後壁下端のモーメントを計算して求める。

b) 矢板壁による抵抗モーメント M_{ss}

セン断変形に対する矢板壁による抵抗モーメント M_s は次式で示される。

$$M_{ss} = \frac{1}{4} \gamma H^2 \cdot B f \tan \phi \quad \dots\dots\dots (7)$$

上載荷重及び水位の影響がある場合には、矢板壁による抵抗モーメント M_{ss} は次のようになる。

$$M_{ss} = \frac{1}{4} \{ \gamma [(H+H')^2 - H_w^2] - H_w^2 \} B \cdot f \tan \phi = \frac{1}{6} \gamma H^3 \cdot k_a'' \cdot A \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$k_a'' = \frac{3}{2} \nu \cdot f \tan \phi \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$A = \left\{ 1 + \frac{2q_s}{\gamma H} - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{H_w}{H} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

γ : 中詰の単位重量 [t/m³]

q_s : 上載荷重 [t/m²]

H : 壁高 [m]

H_w : 水位 [m]

H' : 換算高さ $\left(= \frac{q_s}{\gamma} \right)$ [m]

ν : セル巾を壁高の比 [B/H]

f : 矢板壁間引張力 [通常 0.3]

k_a'' : 矢板壁の抵抗係数

(9) (10) 及び (8) 式の計算図表を図-15-1, 15-2, 15-3 に示した。したがって矢板壁による抵抗モーメント M_{ss} は図-15-1, 15-2 より k_a'' , A を求めさらに図-15-3 によつて算定すればよい。なお, A は図表作成の便宜上設けたものである。

c) 中詰のセン断破壊に対する抵抗モーメント M_f

北島技官は粉体の理論的解析により中詰内に小ずるスベリ面の形状を導き、マサツがないものとすれば、その形状は図-16に示すように前壁及び後壁下端から発するランキンの主働及び受働破壊面からなることを示した。

ランキンの主働及び受働土圧係数を C_a, C_p とすれば、中詰による抵抗モーメント M_f は次式で示される。

図-16 中詰内に生ずるスベリ面

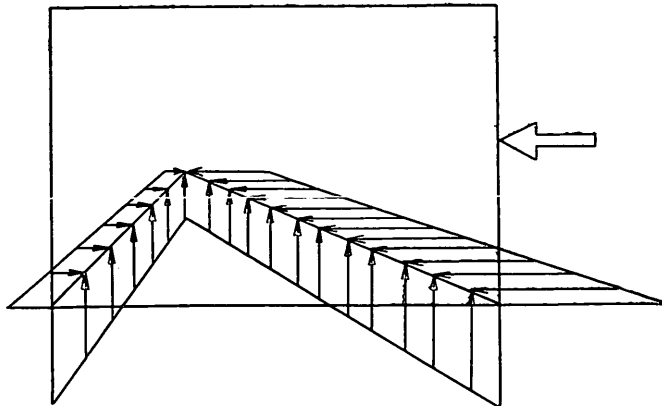
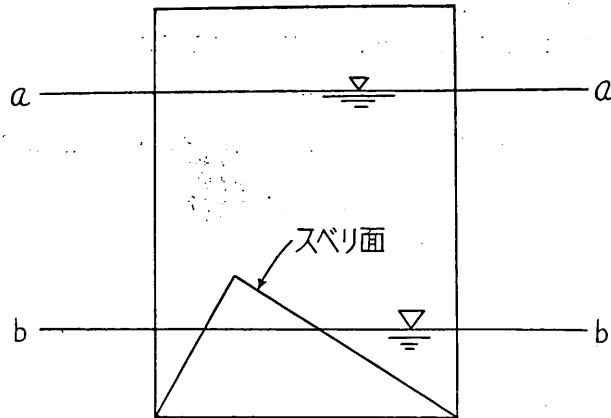


図-17 水位とスベリ面の相対位置



$$M_f = \frac{1}{6} \gamma H^3 \cdot K_a \dots \dots \dots (11)$$

$$K_a = \frac{1}{4} \nu^2 (C_p - C_a) (3 - \nu \cos \phi) \cos^2 \phi \dots \dots \dots (12)$$

ここに、

ν = セル巾と壁高の比 [B/H]

$$C_p = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$C_a = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

K_a : 中詰の抵抗係数

又、セルの変形を極端に嫌う場合には、降伏荷重を破壊荷重と考え、 K_a のかわりに次式を用いる。

$$K_a' = \frac{1}{12} \nu^2 (C_p - C_a) (3 - \nu \cos \phi) \sin 2\phi \dots \dots \dots (13)$$

式 (12), (13) 及び式 (11) の計算図表を図-18-1, 図-18-2 及び図-18-3 に示した。

したがって中詰による抵抗モーメント M_f の値は図-18-1. 又は図-18-2 により抵抗係数 K を求め図-18-3 により求められる。

上載荷重及び水位の影響がある場合には、次のように考える。

上載荷重に対しては、図-18-1, 18-2, 18-3 において H のかわりに $H+H'$, $\nu=B/H$ のかわりに $\nu'=B/(H+H')$ を用いて計算すればよい。なお H' は q_s/γ (q_s : 上載荷重, γ : 中詰の単位重量) で示される換算高さである。

図-17の a-a 面で示すように残留水位面が浅くてすべり領域境界面をきらなければ水位の影響も壁高を高くすることで簡単に処理できる。

すなわち、

γ_t : 水位以上の中詰の単位容積重量

γ_b : 水位以下の中詰の単位容積重量

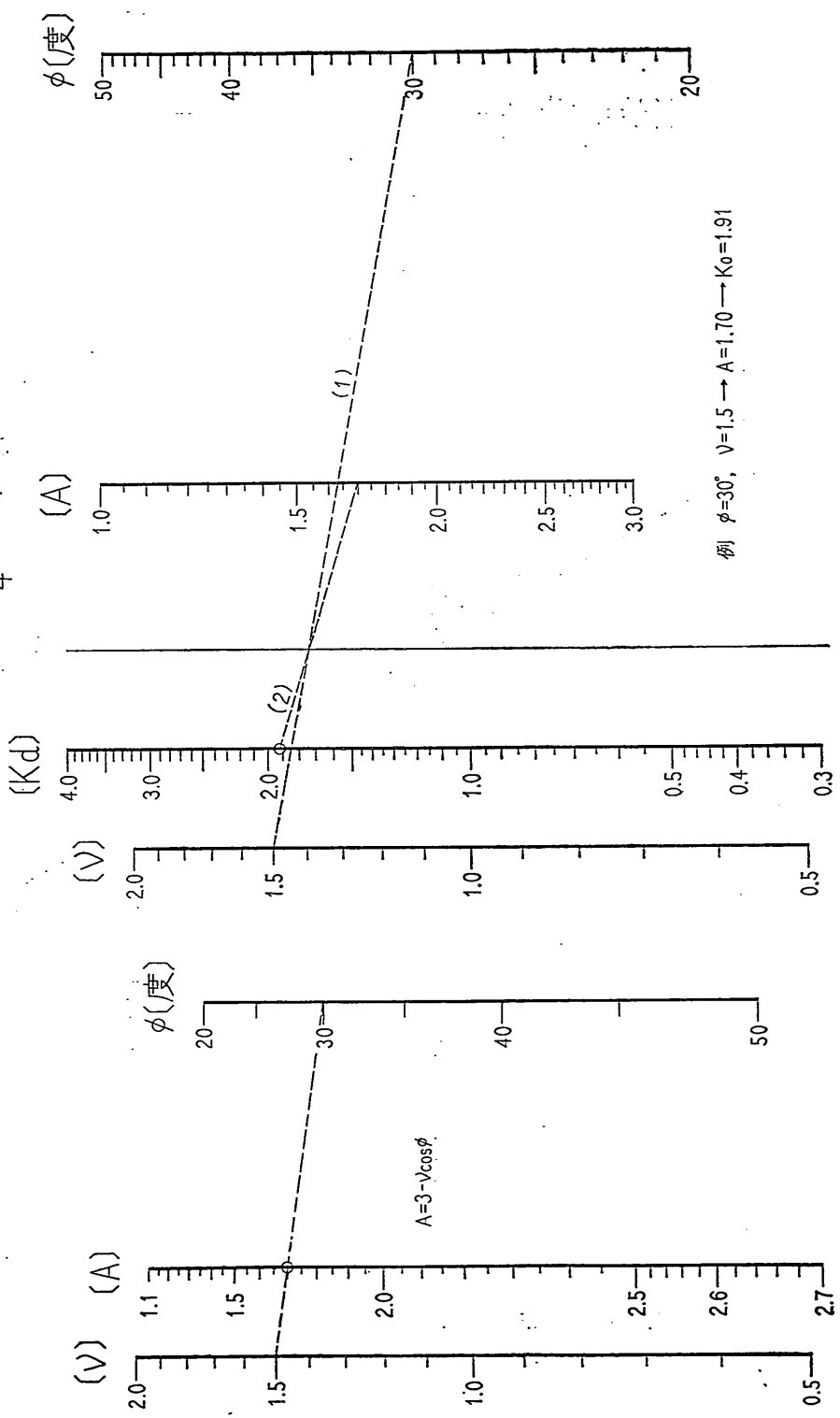
H : 壁高

H_w : 水位

とすれば、図18-1, 18-2, 18-3 の γ , H , $\nu=B/H$ のかわりに次のものを用いて計算すればよい。

图-18-1 $K_a = \frac{1}{4} \nu^2 (C_p - C_a) (3 - \nu \cos \phi) \cos^2 \phi$

$$K_d = \frac{1}{4} \nu^2 (C_p - C_a) (3 - \nu \cos \phi) \cos^2 \phi$$



$$\text{图-18-2} \quad K_d' = \frac{1}{12} v^2 (C_p - C_a) (3 - v \cos \phi) \sin 2\phi$$

$$K_d' = \frac{1}{2} v^2 (C_p - C_a) (3 - v \cos \phi) \sin 2\phi$$

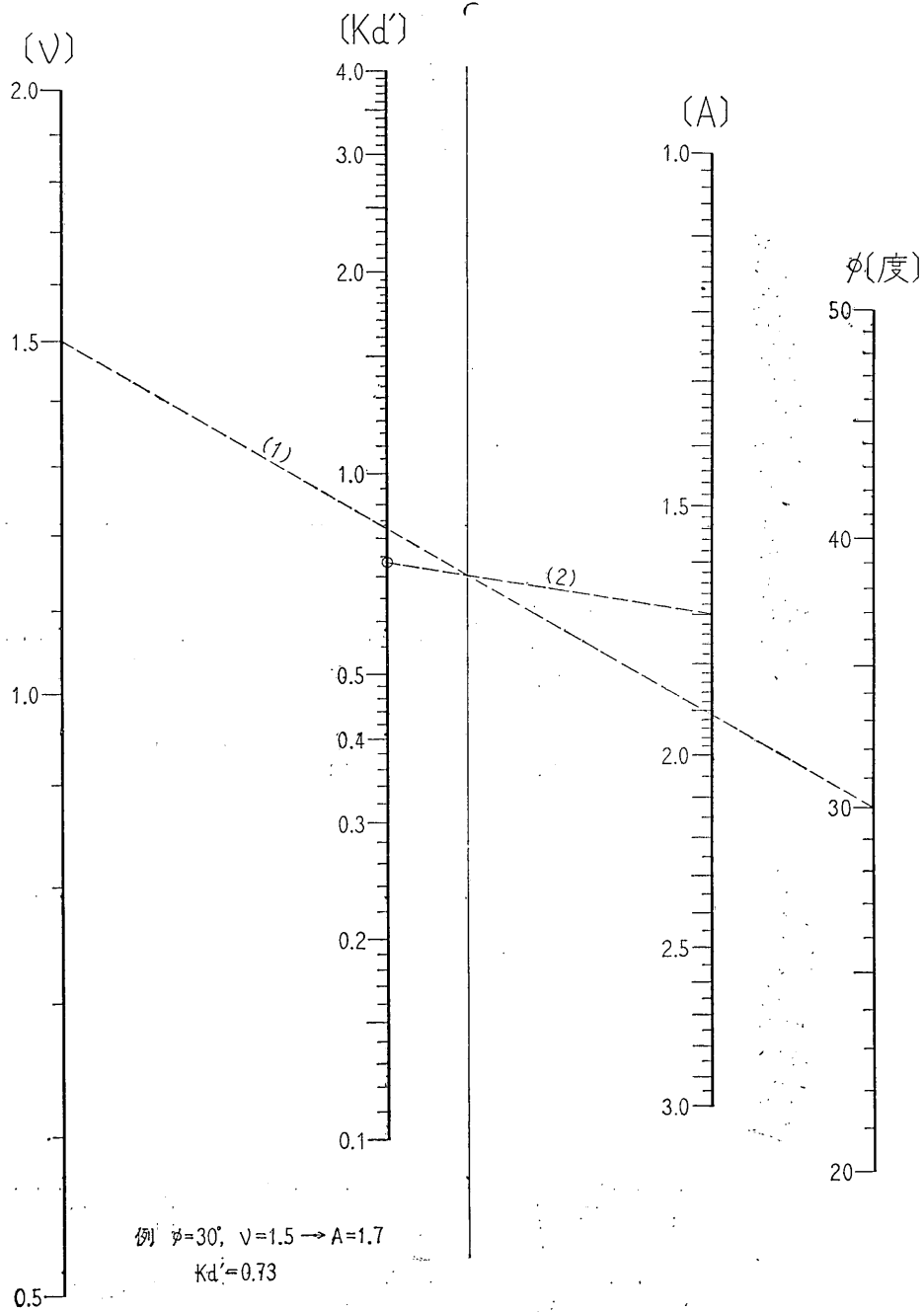
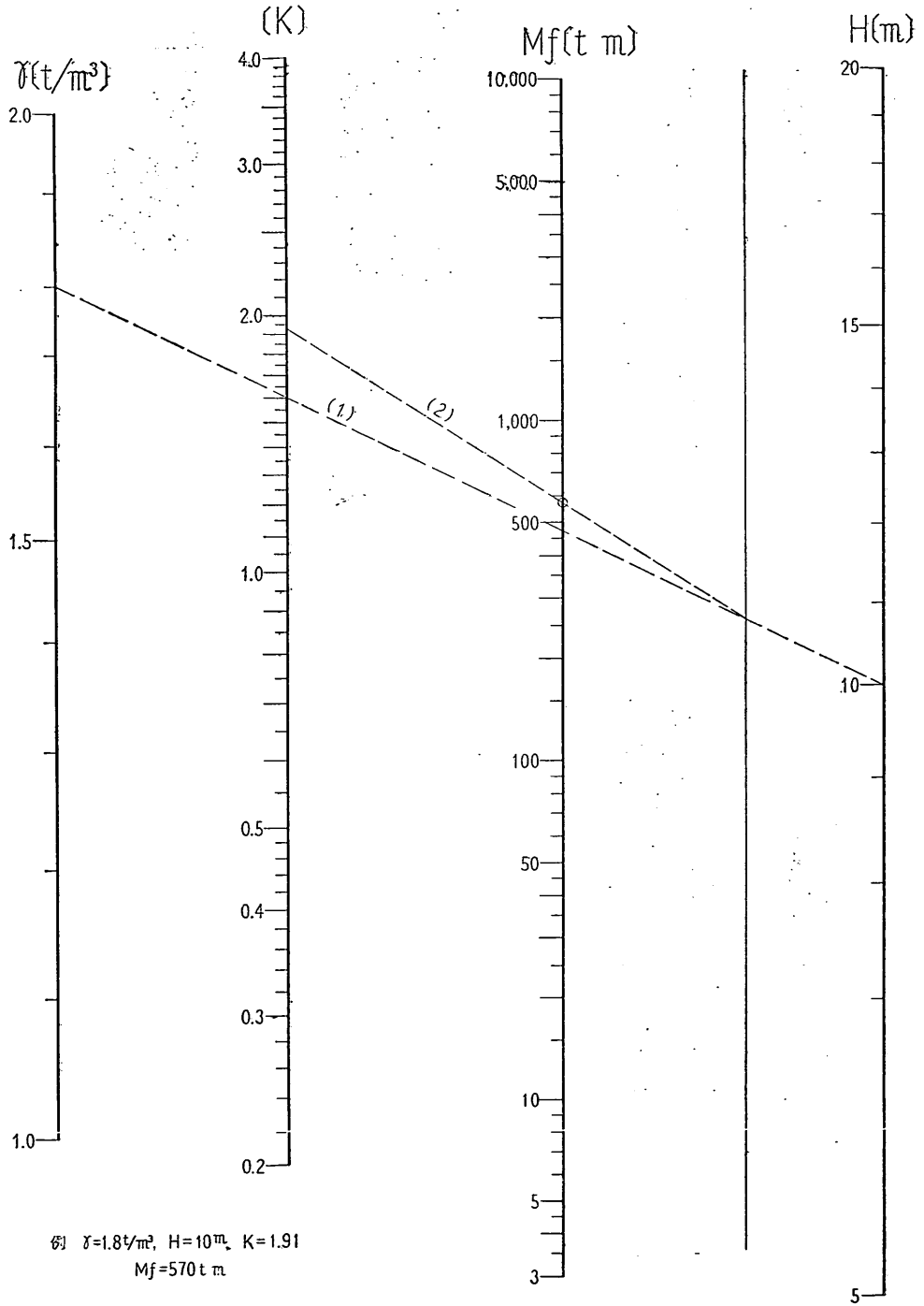


图-18-3 $M_f = \frac{1}{6} \gamma H^3 K$

$M_f = \frac{1}{6} \gamma H^3 K$ $K = K_d, K_d', K_c,$



$$\gamma \rightarrow \gamma_b$$

$$H \rightarrow H_w + \frac{\gamma_t}{\gamma_b} (H - H_w)$$

$$\nu = B/H \rightarrow \nu' = B / \left\{ H_w + \frac{\gamma_t}{\gamma_b} (H - H_w) \right\}$$

図-17に b-b 面で示したように残留水位が境界面を横切る場合には水面上下で中詰の重量を変化させて抵抗モーメントを計算しなおさねばならないが、實際上、そういう場合はほとんど生じない。幅狭なセル又は上載荷重の大きいセルでは境界面上に働く中詰重量の変化が小さいので前述のようにして境界面上の中詰重量を平均化して簡易計算を行つてよい。

(3) Cummings²⁾ の設計法による抵抗モーメント

i) 矢板壁によるセルのセン断変形に対する抵抗モーメント M_{ss}

$$M_{ss} = -\frac{1}{2} \gamma H^2 f B \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = -\frac{1}{6} \gamma H^3 \cdot K_c'' \quad (14)$$

$$K_c'' = 3 \nu f \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (15)$$

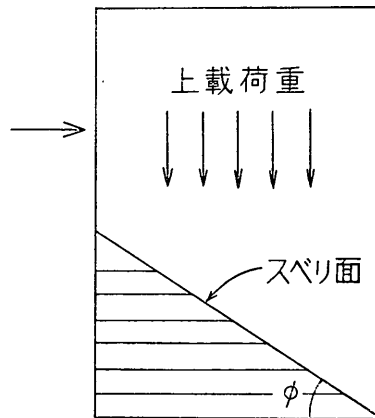
式 (14) 及び式 (15) の計算図表を図-18-3 及び図-20 に示した。

したがつて矢板壁による抵抗モーメント M_{ss} の値は図-20 により K_c'' を求め、図-18-3 から計算される。

上載荷重及び水位の影響を考慮する場合は A の値がそのまま用いられる。(図-15-2 を用いる)

ii) 中詰のセン断破壊に対する抵抗モーメント M_f

図-19 中詰内のスベリ面 (by Cummings)



Cummings は図-19に示したように前壁下端を通つて水平と ϕ なる角度をなすスベリ面を考え、セン断に抵抗する中詰は ϕ 一面以下の部分であると仮定して、次式に示したような中詰のセン断変形に対する抵抗モーメントの計算式を提案した。

$$M_f = \frac{1}{6} \gamma H^3 \cdot K_c \quad (16)$$

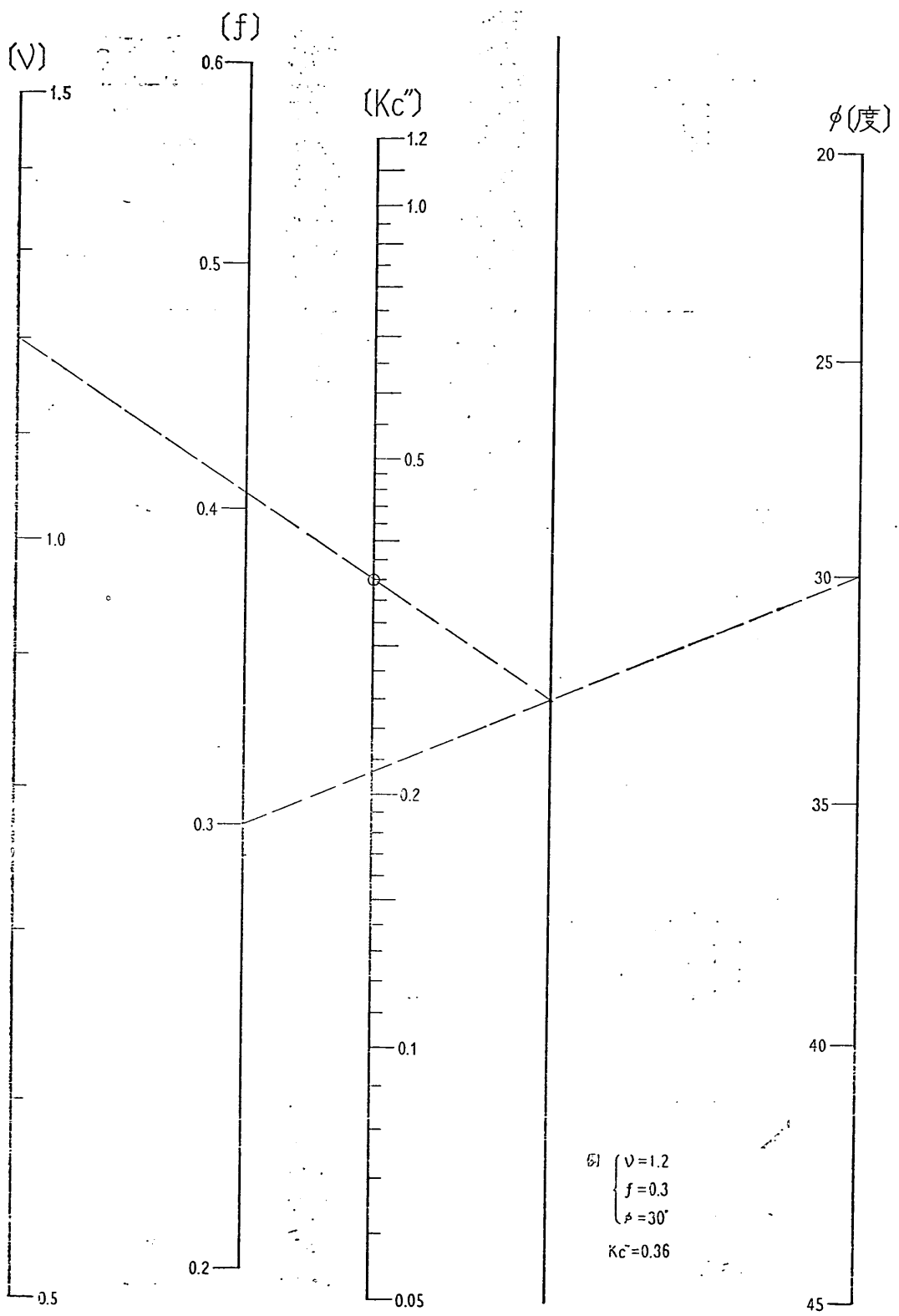
$$K_c = (3 - \nu \tan \phi) \nu^2 \tan^2 \phi \quad (17)$$

式 (16) 及び式 (17) の計算図表を図-18-3 及び図-21 に示した。したがつて中詰による抵抗モーメント M_f の値は図-21より中詰の抵抗係数 K_c を求めて図-18-3 から計算される。

2) E. M. Cummings, "Cellular cofferdams and docks" M. ASCE (proc. Paper 1366)

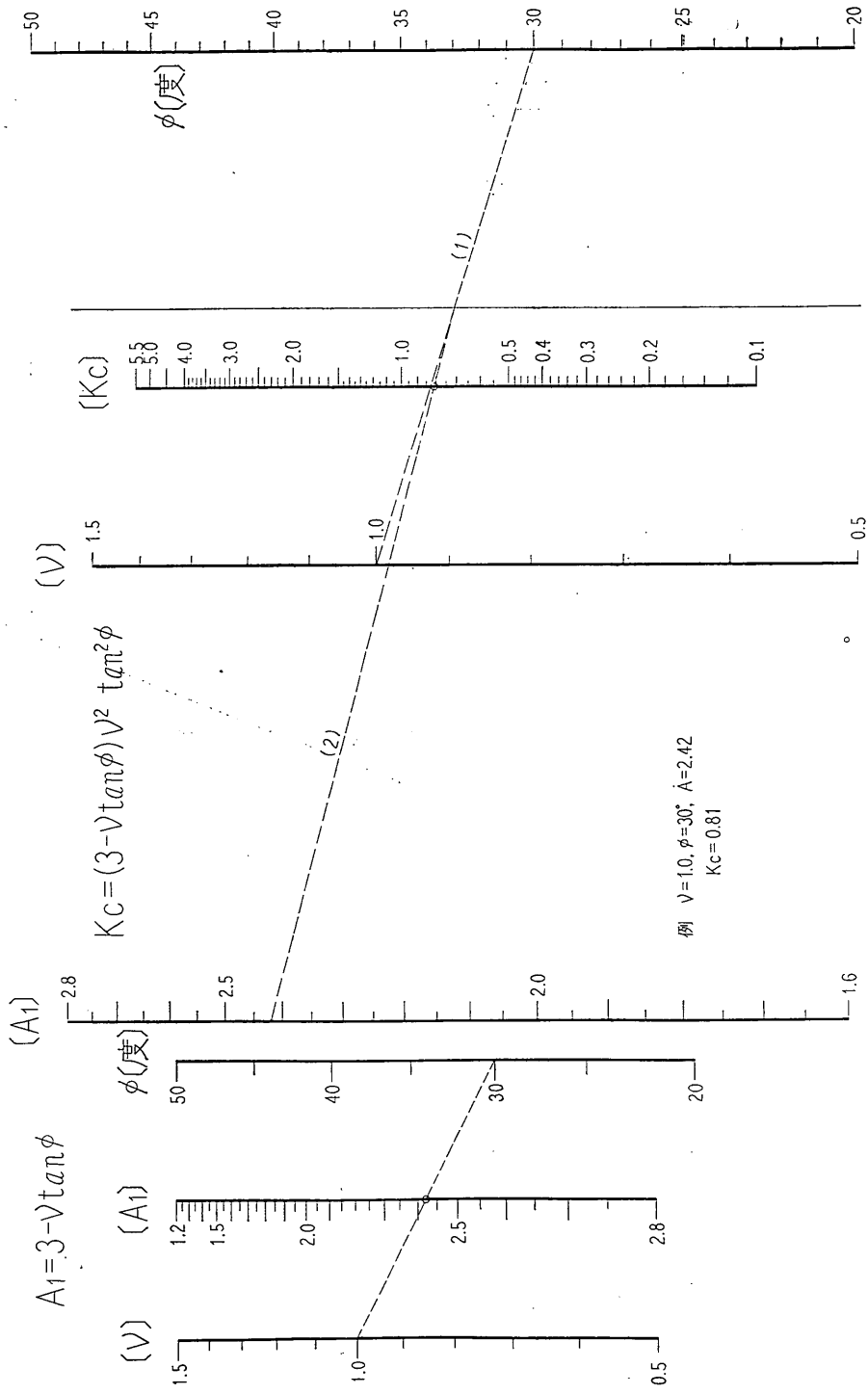
$$Kc'' = 3Vf \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

$$\text{例}-20 \quad Kc'' = 3 \nu_f \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$$



例) $\begin{cases} V=1.2 \\ f=0.3 \\ \phi=30^\circ \end{cases}$
 $Kc''=0.36$

图-21 $K_c = (3 - \nu \tan \phi) \nu^2 \tan^2 \phi$



港湾技研資料 No. 9

1964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
横須賀市川間 162

印刷所 株式会社 白泉社
東京都港区麻布霞町7