

表録

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

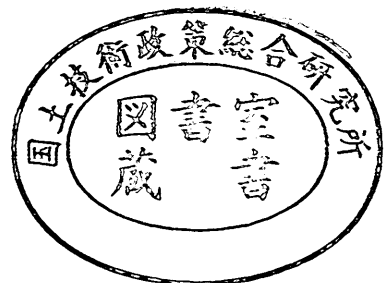
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 10

NO. 1

MAR. 1971

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告は第7巻第1号より年4回定期的に刊行する。
報告の入手を希望する方は論文番号を明記して港湾技術研究所長に申し込んで下さい。

The Report of the Port and Harbour Research Institute is published quarterly, either in Japanese or in occidental languages. The title and synopsis are given both in Japanese and in occidental languages.

The copies of the Report are distributed to the agencies interested on the basis of mutual exchange of technical publication.

Inquiries relating to the Report should be addressed to the director of the Institute specifying the numbers of papers in concern.

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第10巻 第1号 (Vol. 10, No. 1), 1971年3月 (Mar. 1971)

目 次 (CONTENTS)

1. An Experimental Study of the Turbulent Structure of Wind over Water WavesHajime KATO, Kikuo SANO..... 3
(水面波上の風の乱流構造に関する実験的研究.....加藤 始・佐野喜久雄)
2. 波浪データの集中処理方式について高橋智晴・鈴木禮実・佐々木 弘
副島 毅・菅原一晃・中井徹也..... 43
(On a Concentrative Handling and Analysis System for Wave Observation DataTomoharu TAKAHASHI, Yoshimi SUZUKI, Hiroshi SASAKI and Takeshi SOEJIMA, Kazuteru SUGAHARA, Tetsuya NAKAI)
3. 粘土試料のかく乱に関する研究 (第3報)
—単純せん断試験機による繰り返し破壊試験および圧密試験—
.....奥村樹郎・梅田裕史・成田 実..... 77
Studies on the Disturbance of Clay Samples (3rd Reports)
—Repeated Loading Tests and Consolidation Tests with a Simple Shear Apparatus—
.....Tatsuro OKUMURA, and Hirofumi UMEAD, Minoru NARITA)
4. 数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成山下生比古・稲富隆昌・小蔵紘一郎・奥山育英.....107
(New Standard Curves in the PHRI MethodIkuhiko YAMASHITA, Takamasa INATOMI, Koichiro OGURA and Yasuhide OKUYAMA)
5. 掘削時における砂の応力—ひずみ関係の一考察岩崎峯夫・麻山和正・石塚浩次・河野 茂.....169
(Study on the Stress-strain relationship of soils under excavationMineo IWASAKI, Kazumasa ASAYAMA, Kozi ISHIZUKA and Sigeru KONO)

4. 数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

山下生比古*・稲富隆昌**・小蔵紘一郎***・奥山育英****

要 旨

港研方式杭の横抵抗計算法の拠りどころとなっている基準曲線として現在までに与えられているものは、地盤の分類の別などで、形式や精度を異にしているためすっきりしない点があった。本論文では、計数型の電算機により杭の平衡方程式を数値積分して杭頭に水平力を受ける場合の解を求め、新しい基準杭に対する基準曲線を作成した。新しい基準杭はS型地盤・C型地盤両者に共通のものとし、諸元はすべて丸い数値としている。新しい基準曲線は非常に多くの場合に対して計算されており、内容が豊富になっているが、これは応用問題への適応性を増すことを目的の一つとしているからである。精度も従来のものよりおおよそ1桁上っていて、対数表示で小数点以下4桁までは正しい。なお、地表面載荷の場合の計算法も新しい計算結果に従って与えた。

* 構造部 構造解析主任研究官
** 構造部 耐震構造研究室
*** 第四港湾建設局 小倉調査設計事務所
**** 設計基準部 設計基準課

New Standard Curves in the PHRI Method

Ikuhiko YAMASHITA*

Takamasa INATOMI**

Koichiro OGURA***

Yasuhide OKUYAMA****

Synopsis

The Standard curves currently used in the PHRI method are given in different forms and accuracies according to the type of soil. In the present paper the new standard curves both for S-type and C-type soil are computed for the new standard pile with round number dimensions by numerically integrating the equilibrium equation of a non-dimensional laterally loaded pile. The new standard curves are largely enriched their contents by being added many new cases so as to increase the applicability of the PHRI method to various real life problems. As to the accuracy of the new standard curves, they are calculated down to four places of decimals in the logarithmic form and the full places of decimals are correct whereas the currently used standard curves guarantee only three places of decimals. The calculation method of the case of ground surface loading is also given based on the newly computed results.

* Senior Research Engineer, Structures Division

** Earthquake Resistant Structure Laboratory, Structures Division

*** Kokura Design and Investigation Office, Fourth District Port Construction Bureau

**** Design Standard Section, Design Standard Division

目 次

まえがき	111
1. 平衡方程式とその変形	112
1.1 座標系のとり方と曲げモーメントや剪断力の符号の約束	112
1.2 平衡方程式と境界条件	113
1.3 平衡方程式の無次元化	113
2. 計算に当たっての問題点とその処理方法	114
2.1 べき級数解について	114
2.2 平衡方程式の解の性質	115
2.3 根入れ長さの問題	115
2.4 初期条件の与え方	117
2.5 解の物理的有意性の判定	119
3. 数値計算の方法と精度	121
3.1 数値積分の方法	121
3.2 計算の内容と計算時間	122
3.3 精度	123
4. 計算結果と新しい基準曲線	124
4.1 計算結果と従来の基準曲線との比較	124
4.2 新しい基準杭と基準曲線	136
4.3 地表面載荷の場合の計算式	136
あ と が き	145
謝 辞	146
参 考 文 献	146
記 号 表	146
図面の標題	147
表 の 標 題	148
附 録 A 杭頭撓み y_{top} を変量とする場合	149
附 録 B 載荷高 h を変量とする場合	153
附 録 C 曲げ剛性 EI を変量とする場合	157
附 録 D 地盤反力係数 Bk を変量とする場合	161

まえがき

港研方式杭の横抵抗計算法（次下，PHRI 法と略称する）の骨子をなす基準曲線は，すでに，篠原・久保^{1), 2)}，林など³⁾，および筆者らの一人山下など⁴⁾によって与えられている。これらの基準曲線がどのように作成されたのかを見るに，まず，久保などはS型地盤の場合の頭部自由杭，および頭部埋込杭の両者の基準曲線を，主として実験結果に基づき，さらに基準曲線の極限勾配*を勘案して定めている。林などはC型地盤の頭部自由杭の場合の解をアナログ電子計算機で求めることにより基準曲線を作成した。筆者らの一人山下などはC型地盤の頭部埋込杭の基準曲線を与えているが，これは一部同じ地盤の場合の頭部自由杭の基準曲線を利用し，一部は久保の提案⁶⁾したC型地盤の場合をS型地盤の場合から推定するという方法によって作成されたものである。

かように，S型地盤，C型地盤の頭部自由杭，同じ地盤の頭部埋込杭の三者で基準曲線の作成方法を異にするため，精度なども不揃いであることが予想される。事実，

* 対数表示の基準曲線の右上方，左下方などの勾配。詳しくは文献 5) 参照。

C型地盤の頭部埋込杭の場合では，文献 4) の中でも述べられている如く，一本の基準曲線の中ですでに精度にむらがある。また，理想化された非線型な地盤反力と個々の実験結果との間にはバラツキが存在しているから，S型地盤の場合のように，実験値に基づいて基準曲線が与えられている例では，理想化された地盤反力をそのまま使って忠実に求めた場合の基準曲線と実際に与えられている基準曲線との間に多小のずれが生じている可能性もある。このずれが大きい場合には，どちらを実際に採用すべきかが問題となるが，いずれにしてもそのような事態が生じているとすれば，羊頭狗肉の誹りを免がれ得ないであろう。

PHRI 法は，計算法の原理の面では完成されたものと言えるが，実際の計算の拠りどころとなっている基準曲線にはこのような問題がありすぎるししない。また，S型地盤とC型地盤とで全く異なった基準杭を採用しているというのも不便な事である。これらの点を改善することを主たる目的として，PHRI 法で想定されている非線型な地盤反力項を含む4階の常微分方程式を計数型の電子計算機により数値積分して解を求め，S型・C型両地盤を通じて統一した基準杭に対する基準曲線を作成し

久 保 の 論 文		本 論 文	
用 語	記 号	用 語	記 号
頭部固定杭	—	頭部埋込杭	—
換算係数	—	変換係数	—
横方向力	T	杭頭水平力	F
S型地盤の横抵抗常数，または地盤常数	k	S型地盤の横抵抗常数	k_s
C型地盤の横抵抗常数，または地盤常数	\bar{k}_c	C型地盤の横抵抗常数	k_c
杭頭曲げモーメント	$M_{\max-t}$	同 左	M_{top}
頭部自由杭の地中部最大曲げモーメント	M_{\max}	地中部最大曲げモーメント	M_{\max}
頭部固定杭の地中部最大曲げモーメント	$M_{\max-l}$		
横方向変位	y	撓み	y
傾 斜	i	撓み角	i
—	—	地盤反力係数*	Bk
—	—	地中部特性長**	l

* 地盤反力係数とは（杭幅）×（地盤の横抵抗常数）である。

** 地中部特性長とは，地中部各量の極値や零点までの深さを指す。

た。本論文は基準曲線作成の方法と作成された基準曲線の紹介とを主たる内容とするものである。

はじめに、本報告の全体の構成について簡単に述べておく。第1章では無限の根入れを有する杭がその頭部に水平力を受けた場合の静的な平衡方程式と境界条件、およびそれらの無次元化について述べた。第2章はこの平衡方程式を電算機によって解いていく上での問題点とその対処の仕方とを主題にしている。第3章では具体的な計算の方法を詳細に述べると共に、計算の精度について論じている。最後の第4章では、まず今回の計算結果と従来の基準曲線との比較を行なった。次いで、新しい基準杭を設定し、それに対する基準曲線の数値表を与えた。さらに、地表面載荷の場合の数値や計算式も示した。なお、基準曲線の一部は附録として収録した。

最後に、本報告で用いた用語のうち従来から使われている用語を変えたものなどについて、前頁の一覧表にまとめて示す。従来の用語の使用例としては久保の論文⁶⁾に依った。

1. 平衡方程式とその変形

1.1 座標系のとり方と曲げモーメントや剪断力の符号の約束

本論文で採用する座標系のとり方と曲げモーメントや剪断力の符号の約束は、特に断らない限り、図-1 に従

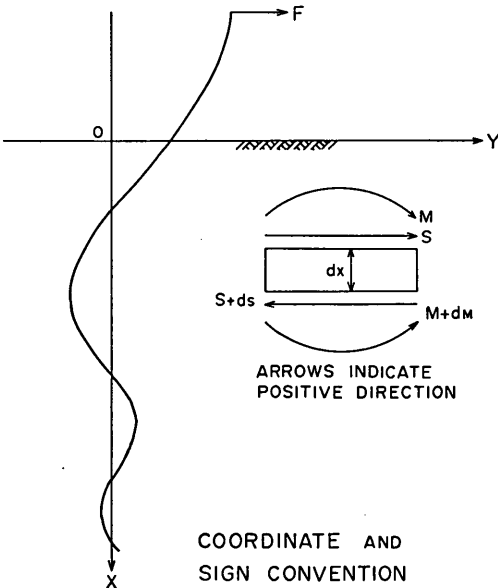


図-1 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 1)

う。

図-1 のように定めると、曲げモーメント M や剪断力 S と y の x に関する導関数との間の関係は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M &= EI \frac{d^2 y}{dx^2} \\ S &= \frac{dM}{dx} = EI \frac{d^3 y}{dx^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

ここに、 M =曲げモーメント

EI =杭の曲げ剛性

x =地表面からの深さ

y =深さ x の点における杭の撓み

S =剪断力

実際の数値積分は、後で分る通り鉛直下方に出发点をとり、そこで初期条件を与えて鉛直上方に計算を進行させている。この場合は、図-2 に示すようにしており、(1) 式に対応する式は

$$\left. \begin{aligned} M &= EI \frac{d^2 y}{dx^2} \\ S &= -\frac{dM}{dx} = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

で与えられる。

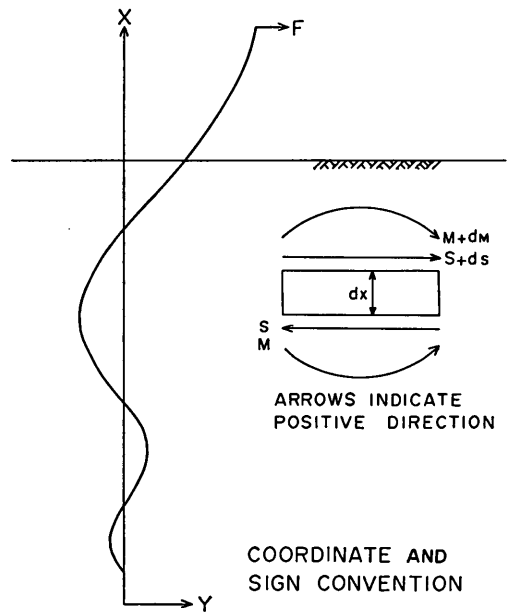


図-2 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 2)

1.2 平衡方程式と境界条件

PHRI 法では、杭面に作用する地盤反力 P が次式で表わされる如き非線型な性格のものであるとしている。

$$P = Bkx^m y^{0.5*} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 P = 単位長さ当りの杭面に作用する地盤反力

B = 杭幅

k = 地盤の横抵抗常数

m = 無次元の定数で、S型地盤のとき 1, C型地盤のとき零をとる。

地中の根入部については弾床上の梁の考え方を採用して、杭の平衡方程式は次の如く書ける。

地上部では ($-h \leq x \leq 0$)

$$EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} = 0 \quad \dots\dots(4)$$

地中部 ($x \leq 0$) では、

$$EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + P = EI \frac{d^4 y_2}{dx^4} + Bkx^m y_2^{0.5} = 0 \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 h = 載荷高

y_1 = 地上部の杭の撓み

y_2 = 地中部の杭の撓み

境界条件は、

杭頭 ($x = -h$) で、

$$\left. \begin{aligned} M_{\text{top}} = EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} = 0 \\ S_{\text{top}} = EI \frac{d^3 y_1}{dx^3} = F \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{\text{top}} = \frac{dy_1}{dx} = 0 \\ S_{\text{top}} = EI \frac{d^3 y_1}{dx^3} = F \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

地表面 ($x=0$) では連続の条件、すなわち

$$\left. \begin{aligned} y_1 = y_2 = y_0, \quad \frac{dy_1}{dx} = \frac{dy_2}{dx} = i_0 \\ EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} = EI \frac{d^2 y_2}{dx^2} = M_0 \\ EI \frac{d^3 y_1}{dx^3} = EI \frac{d^3 y_2}{dx^3} = S_0 = F \end{aligned} \right\} \dots\dots(9)$$

* (3) 式は厳密に言うと

$$P = \begin{cases} Bkx^m y^{0.5} & (y \geq 0) \\ -Bkx^m |y|^{0.5} & (y \leq 0) \end{cases}$$

を意味するものであるが、簡単のため(3)に式の如く書く。以下、本文で一々断らないが、 $y^{0.5}$ はここで述べたような意味を持つものと了解して欲しい。また、

1.1 の図-2 の如き座標系を採用する場合、厳密には、杭の根入れ長さを d として

$$P = Bk(d-x)^m y^{0.5}$$

と書かねばならない。

充分深いところ ($x \rightarrow \infty$) では収斂の条件、すなわち、

$$y, \frac{dy}{dx}, \frac{d^2 y}{dx^2}, \frac{d^3 y}{dx^3} \rightarrow 0 \quad \dots\dots(10)$$

ここに、 F = 杭頭水平力

M_{top} = 杭頭曲げモーメント

S_{top} = 杭頭剪断力

i_{top} = 杭頭撓み角

y_0 = 地表面撓み

i_0 = 地表面撓み角

M_0 = 地表面曲げモーメント

S_0 = 地表面における剪断力で、杭頭に作用している水平力に等しい。

地上部の平衡方程式(4)は、 x の3次式としてその解が簡単に求められるから、数値積分の対象とする必要はない。平衡方程式として(5)式のみを採ると、 y_2 を y と書いて

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Bkx^m y^{0.5} = 0 \quad \dots\dots(11)$$

となり、境界条件は

地表面 ($x=0$) で、

$$\left. \begin{aligned} M_0 = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = Fh \\ S_0 = EI \frac{d^3 y}{dx^3} = F \end{aligned} \right\} \dots\dots(12)$$

$$\left. \begin{aligned} M_0 - \frac{EI}{h} i_0 = EI \frac{d^2 y}{dx^2} - \frac{EI}{h} \frac{dy}{dx} = \frac{Fh}{2} \\ S_0 = EI \frac{d^3 y}{dx^3} = F \end{aligned} \right\} \dots\dots(13)$$

充分深いところ ($x \rightarrow \infty$) で、

$$y, \frac{dy}{dx}, \frac{d^2 y}{dx^2}, \frac{d^3 y}{dx^3} \rightarrow 0 \quad \dots\dots(14)$$

1.3 平衡方程式の無次元化

実際の数値積分は無次元化した平衡方程式で行なうので、ここでその無次元化を行なう。

今、適当な基準深さ C_x と基準撓み量 C_y とを用いて、新しく無次元深さ X と無次元撓み Y とを導入する。

$$\left. \begin{aligned} X = \frac{x}{C_x} \\ Y = \frac{y}{C_y} \end{aligned} \right\} \dots\dots(15)$$

平衡方程式(11)を X, Y の式に書き換えると、

$$\frac{d^4 Y}{dX^4} + QX^m Y^{0.5} = 0 \quad \dots\dots(16)$$

ただし、

$$Q = \frac{Bk}{EI} C_x^{m+4} C_y^{-0.5} \quad \dots\dots (17)$$

となる。\$C_x, C_y\$ には何の制限もなく任意に非零の値を選ぶことが出来るから、簡単のために、\$Q=1^*\$ とすると、無次元の平衡方程式は最終的に

$$\frac{d^4 Y}{dX^4} + X^m Y^{0.5} = 0 \quad \dots\dots (18)$$

と書ける。このとき、\$C_x\$ と \$C_y\$ との間には

$$C_y = \left(\frac{Bk}{EI}\right)^2 C_x^{2m+8} \quad \dots\dots (19)$$

の関係が成立していなければならない。

境界条件も無次元化すると

地表面 (\$X=0\$) で

$$\left. \begin{aligned} \text{頭部自由杭} \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{d^2 Y}{dX^2} &= \frac{Fh}{EI} C_x^2 C_y^{-1} \\ \frac{d^3 Y}{dX^3} &= \frac{F}{EI} C_x^3 C_y^{-1} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (20) \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{頭部埋込杭} \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{d^2 Y}{dX^2} - \left(\frac{dY}{dX}\right) \left(\frac{h}{C_x}\right) &= \frac{Fh}{2EI} C_x^2 C_y^{-1} \\ \frac{d^3 Y}{dX^3} &= \frac{F}{EI} C_x^3 C_y^{-1} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (21) \end{aligned} \right\}$$

充分深いところ (\$X \to \infty\$) で

$$Y, \frac{dY}{dX}, \frac{d^2 Y}{dX^2}, \frac{d^3 Y}{dX^3} \to 0 \quad \dots\dots (22)$$

2. 計算に当たっての問題点とその処理方法

2.1 べき級数解について

実際の計算は最終的には数値積分法によることにしたが、その他に級数の形の解を求める方法なども有力であると思われるので、ここではべき級数解について検討してみる。

今、例としてC型地盤の場合を考えると、無次元の平

* \$Q=1\$ として得られる解と、\$Q \neq 1\$ に対する解とは互に線型の変数変換によって結ばれているから \$Q\$ は全く任意に選んで良い。

なお、ついでに積分区間についても述べておく。後で示されるように、実際の数値積分は有限の範囲で行なうが、この有限の積分区間を \$(0, L)\$ とすれば、\$L\$ についても \$Q\$ と同様の任意性がある、異なった \$L\$ に対応する解の間には線型の変数変換を通じての互換性が成り立っている。

これらの証明は簡単で、\$C_x\$ と \$C_y\$ とを選び直すことによって常に \$Q\$ と \$L\$ とを 1 にすることが出来ることより明らかである。

衡方程式 (18) は

$$\left(\frac{d^4 Y}{dX^4}\right)^2 = |Y| = \pm Y \quad \dots\dots (23)$$

と書ける。今、撓み曲線が図-3 に示すようになっているものとし、区間

$$[0, L_1], [L_1, L_2], [L_2, L_3] \dots\dots$$

におけるべき級数解をそれぞれ

$$y_1 = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n, \quad y_2 = \sum_{n=0}^{\infty} b_n x^n, \quad y_3 = \sum_{n=0}^{\infty} c_n x^n, \quad \dots\dots$$

とする。

区間 \$[0, L_1]\$ では、(23) 式で複号のうち正号を採用した式に上の解を代入して、解に含まれる各係数の間の関係を求めると、

$$\left. \begin{aligned} a_4 &= \frac{0!}{4!} \sqrt{a_0} \\ a_5 &= \frac{1}{2} \frac{0!1!}{4!5!} \frac{a_1}{a_4} \\ a_6 &= \frac{1}{2} \frac{0!2!}{4!6!} \left\{ a_2 - \left(\frac{5!}{1!}\right) a_3^2 \right\} / a_4^2 \\ a_7 &= \frac{1}{2} \frac{0!6!}{2 \cdot 1!2!} \left(a_3 - 2 \frac{5!6!}{1!2!} a_5 a_6 \right) / a_4^3 \\ &\dots\dots \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (24)$$

一般に、\$n \ge 5\$ に対し

$$a_n = \frac{1}{2} \frac{0!(n-4)!}{4!n!} \left(a_{n-4} - \sum_{\substack{i+j=n+4 \\ i,j \ge 5}} \frac{i!j!}{(i-4)!(j-4)!} a_i a_j \right) / a_4^4 \quad \dots\dots (25)$$

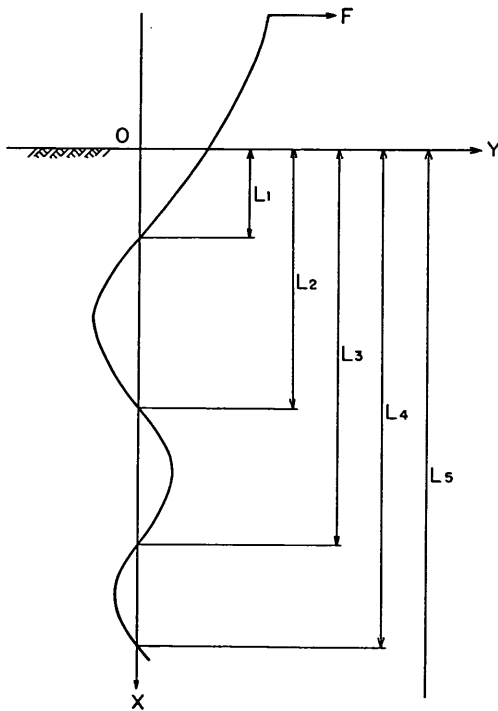
となる。

区間 \$(L_1, L_2)\$ では、(23) 式で複号のうち負号を採用した式に上の解を代入して、係数 \$b_i\$ 等の間の関係を求めると

$$\left. \begin{aligned} b_4 &= \frac{0!}{4!} \sqrt{-b_0} \\ b_n &= \frac{1}{2} \frac{0!(n-4)!}{4!n!} \left(-b_{n-4} - \sum_{\substack{i+j=n+4 \\ i,j \ge 5}} \frac{i!j!}{(i-4)!(j-4)!} b_i b_j \right) / b_4 \quad (n \ge 5) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (26)$$

となる。以下、区間 \$(L_2, L_3)\$ では (24), (25) 式の \$a_n\$ を \$c_n\$ で置き換えた式、区間 \$(L_3, L_4)\$ では (26) 式の \$b_n\$ を \$d_n\$ で置き換えた式、……がそれぞれ成り立つ。係数 \$a_n, b_n, c_n, \dots\dots\$ などのうち独立なものはそれぞれ 4 個ずつであって、それらを添字の番号の若い方からとれば、\$a_n, b_n, c_n, \dots\dots (n \ge 4)\$ などは \$a_0 \sim a_3, b_0 \sim b_3, c_0 \sim c_3, \dots\dots\$ などによって表わされることになる。

$a_n, b_n, c_n, \dots (3 \geq n \geq 0)$ などは、地表面と下端での合計4個の境界条件の他に、各区間の端で前の区間または後の区間と連続の条件によって結びつけられているから、理論上は総ての係数を決定出来る訳である。実際には、杭端や各区間の端で無限級数を評価する必要があることや、連続の条件を $a_0 \sim a_3, b_0 \sim b_3, c_0 \sim c_3, \dots$ だけで表わそうとすると式が非常に煩雑なものになってしまうこと、あるいは区間数をどの程度とれば良いかなど問題が多過ぎてあまり望みがあるようには思われない。したがって、以下では数値解を求める方法として数値積分法のみを考えることにする。



DEFLECTION PATTERN OF PILE

図-3 撓み曲線の模式図

2.2 平衡方程式の解の性質

平衡方程式(11)は非線型な微分方程式であって、解析的な形の解は得られていない。しかし、線型の場合からの類推によって解の様子を若干知ることが出来る。

地盤反力が撓み y の線型関数で、かつ深さ x に依存しないものとすれば、これは周知の Chang の方法の場合と全く同じで、この場合の平衡方程式が

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + 4\beta^4 y = 0$$

と書けることは良く知られている。ここに、 β は杭の曲げ剛性と地盤の常数によって定まる定数である。この微分方程式の一般解は

$$y = e^{-\beta x}(A_1 \sin \beta x + A_2 \cos \beta x) + e^{\beta x}(B_1 \sin \beta x + B_2 \cos \beta x)$$

と与えられる。これを見るに、第一項は深さ x と共に収斂する項、第二項は深さ x と共に発散する項であることが分る。Chang の方法では、充分深いところでの境界条件(14)から、発散項に含まれる二つの積分定数を強制的に零とおき、収斂項のみを解として採用している。非線型な平衡方程式(11)の場合にもその解が収斂項と発散項とから成っているものと思われるので、二・三の例について数値積分により解を求めてみたところ、果して解がそのような構造になっていることを示す結果が得られた。

このことから、解に含まれている収斂項と発散項のうち、収斂項のみを取り出すにはどうすれば良いのかが問題となる。今、数値積分法により地表面から下方に順次解を求めて行くものとしよう。このとき、仮りに地表面で正しい初期条件* を与え得るものとしても、計算の進行に伴ない、いずれはどこかで丸めの誤差などのため、発散項に含まれる積分定数は小さいとはいえずでない値をとり、やがては解に大きな影響を及ぼすという結果が生ずる恐れが多分にある。まして、当面の問題では境界条件(12)あるいは(13)などから分る通り、地表面で四つの正しい初期条件を与えることはまず不可能であるから事態は一層深刻なものとなる。

ところが、同じ事のようにも鉛直下方から数値積分法により上方へ順次解を求めることを考えてみると、このときは座標系のとり方は 1.1 の図-2 のようであって、上の場合の収斂項はこの場合の発散項に対応し、発散項は収斂項に対応しているから、発散項が望んでいる解、収斂項は無縁のものとなっていて甚だ都合が良い。結局、当面している問題の場合、解に収斂項と発散項とが含まれている関係上、数値積分を進行させる方向が鉛直下方から上方へという向きだけに實際上制限されているということになる。

2.3 根入れ長さの問題

PHRI 法の対象とするものは長杭である。長杭は理想

* 正しい初期条件とは、解のうちの発散項に含まれる積分定数を厳密に零にするようなものを意味する。

的には無限に長い根入れを持つ杭であるから、厳密な計算をしようとすれば、計算の区間は無限となって数値積分などは事実上不可能となる。この点に対処する方法としては二つ考えられる。一つは変数変換を行なって無限の区間を有限の区間に変換してしまう方法であり、もう一つは充分長杭とみなして良い範囲内で有限長の杭を考え、それについて解を求める方法である。

これら二つの方法を比らべると、一見前者の方が厳密さにおいて優れているように思われるが、実際に数値的な解を求めるという立場からは必ずしもそうではない。それは、杭頭に水平力を受けたときの杭の撓み曲線が地中部で正負交互に蛇行した形のものとなり、根入れ長さが無限であれば、この蛇行の回数も無限個となるのに反し、実際の数値計算では高々有限個の蛇行しかつかまえることが出来ないからである。つまり、杭の根入れ長さについて厳密になろうとすると、蛇行回数の方で必然的に誤差が入って来るという事情になっている。変数変換を行なって、無限の根入れ長さを有限の区間に変換してやってもこの事情は変わらない。ここでは、このことから生ずる誤差の評価がかなり面倒なものとなるように思われることを主たる理由とし、その他変数変換を行なうとどうしても平衡方程式や境界条件の形が複雑になること、下端での初期条件の与え方に疑問が生ずることなど問題が多いので変数変換を行なう方法は断念し、残されたもう一つの方法、すなわち有限長の杭について計算を実行する方法を考えることにする。

充分長杭とみなして良い範囲内で有限長の杭を採り、これについて解を求めるという方法には、計算のステップを充分細かくとりさえすれば、蛇行回数を正確につかみ得ないという難点はない。實際上根入れ長さが無限の杭とみなしても差支えない範囲については、充分長い根入れを持つ杭の曲げモーメントの第一零点*の地表面からの深さを l_{m_1} とするとき、根入れ長さが $1.5 l_{m_1}$ を越える杭は充分長い根入れを持つ杭と實際上殆んど同じ挙動を示すことが久保⁷⁾によって明らかにされている。したがって、 $1.5 l_{m_1}$ よりも長い根入れを持つ杭を適当に選んで計算を行えば、所要の結果が得られるということになりそうであるが、実はそれほど簡単にはいかな

い事情がある。それは、この l_{m_1} が載荷の大きさに依存する量であるため、根入れ長さとして特定の値の一つを選んで、それについて杭の下端から数値積分を行ない、結果として得られる杭頭水平力の大きさから、初めに選んだ根入れ長さが適当であったかどうかの判定を行なうという試行錯誤的な方法に依らざるを得ないからである。

与えた根入れ長さが適当なものであったかどうかの判定方法としては、上で述べた杭頭水平力で調べるもの他に、蛇行回数を目安とする方法もある。それは、 $1.5 l_{m_1}$ という必要根入れ長さが曲げモーメントの深さ方向に沿う分布曲線の蛇行回数*で言って3回を越えないと思われるからである。そして、蛇行回数で判定する方が直接的であって便利である。ところで、この蛇行回数にしても杭頭水平力の大きさにしても、根入れ長さだけで定まってしまうものではなく、根入れ長さと共に杭下端での初期条件の大きさにも支配されるものであることは明らかである。たとえば、今、根入れ長さを一定とし、初期条件の大きさだけを変えてやってみよう。初期条件が小さいうちは、結果として得られる蛇行回数はかなり多く、杭頭の水平力は左程大きなものとはならず、仮定した根入れ長さは長杭と見なすに充分なものであったということになる。これに対して、初期条件の大きさを大きくしていくと、蛇行回数は減少し、杭頭の水平力は増加して、ついには初めの根入れ長さでは浅過ぎたということにもなってしまう。つまり、杭の根入れの問題は、実は初期条件の大きさの問題とからみ合っていて、根入れの長さだけを一方的に論じても駄目だということである。

この事情は無次元表示を採用すると見易く扱い易い。平衡方程式の無次元表示式 (18) で考えてみよう。この式に陰に含まれている二つのパラメーターである基準深さ C_x と基準撓み C_y とを規制するものは (19) 式だけであるから、いずれか一方は任意に選べる。今、 C_x を任意に選ぶことにして、これを常に根入れ長さに等しいものとする、平衡方程式 (18) を積分する区間は常に $[0, 1]$ となり、特定の根入れ長さは表向き数値積分に入らなない。つまり、実際に数値積分を実行する際に事前に C_x を定めておく必要はない訳である。そして、計算の結果、蛇行回数が充分なものであれば、計算は充分深い所から始められていたということが分る。計算の出発点で与えた無次元の初期条件や得られた無次元の撓み

* 曲げモーメントの第一零点とは、地中部で最大曲げモーメントが発生している深さよりも下で、始めて曲げモーメントが零になる点を言う。頭部自由杭では、これは常に地中部の曲げモーメントの第一零点に一致するが、頭部埋込杭では地中部の曲げモーメントの第一零点か第二零点のいずれかに相当する。

* 蛇行回数の数え方は地表面から零点一つを一回として数えることにする。

曲線などを次元のあるものに変換するには C_x によって定まる C_y を用いれば良い。つまり、無次元の初期条件の大きさは、実際の根入れ長さには無関係に、蛇行回数のみを目安として選べば良く、初期条件も含めて計算の結果を次元のあるものに変換するには、逆に実際の根入れ長さ C_x を利用すれば良いという仕組みになっている。このように、実際の根入れ長さに無関係に初期条件の大きさを選べるということは無次元表示の一つの利点であって、次元のある場合に根入れ長さとして初期条件の二つの問題がからみ合っていたのに対し、無次元の場合ではこのからみ合いがすべて初期条件の方にしわ寄せされた形になっていることを意味している。

そこで、実際に無次元の初期条件をどのように選べば良いのかを考えてみるに、基準量 C_x , C_y などを事前に定めておかないとすると、物理的な判断がきかないと思われるから、次元のある場合よりも初期条件の選択の困難さが増す可能性が大きい。しかし、初期条件にはこの他にも次節で述べるような問題点がある故、上で示したようにすべてを初期条件の方に転嫁しておくことはむしろ利口なやり方のように思われる。

2.4 初期条件の与え方

数値積分によって解を求める場合、計算を進行させる方向に制限を受けることはすでに 2.2 で見た通りである。ところが、境界条件は地表面と下方無限遠とで実質的に二つづつ分かれて与えられており、有限の下端で四つの初期条件を決定するための直接の情報は何もないことになる。このため、物理的な判断が多小の手助けにはなろうが、初期条件の選び方はどうしても試行錯誤的にならざるを得ない。そのようにすることに決めると、実際の計算の手続きは、四つの初期条件を仮定して有限の下端で与え、計算の結果が地表面での条件を満たしているかどうか検討して解の取捨選択を行なうということになる。このとき、地表面での条件が(20)、或いは(21)式の如く地上部の一定の高さで一定の水平力が作用しているというような厳しいものであると、計算の出発点で仮定する初期条件をいろいろ動かしてやってもとうてい満足な解は見出せ得ない可能性が強い。そこで、地表面での条件を緩めてやると、要するに物理的に意味のある解であれば良いことにする。そうすると、与えられた高さで与えられた水平力が作用しているという特定の場合の解を求めることはまぐれ当り以外に期待出来ないであろうが、地表面での条件の厳しいときよりは、はるかに多くの解を容易に得ることが出来るものと思われる。これ

らの解は勝手な載荷高さ、勝手な大きさの水平力に対するものであろうが、もしそれらが相互に本質的に異なる解* であれば、相似法則を利用することによって、一定の載荷高さの一定の杭のいろいろな荷重に対する解に変換される。なお、前節で見た如く、杭の根入れ長さ C_x は全く自由に選べるから、次元を持った載荷高さが常に一定となるように個々の場合の C_x を事後的に選ぶことにすると、相似法則を利用するまでもなく、常に一定の載荷高さを持った一定の杭の解を求めることが出来て簡単になる。

次に、初期条件の形式について考えてみよう。根入れ長さが長杭と見なし得る長さ $1.5 l_{m1}$ 以上あれば、実際の根入れ長さがどうであっても、解は理想的な無限に長い杭のそれと殆んど変わらないことはすでに 2.3 で述べたが、このことから、充分長い根入れの杭の下端での初期条件はその大きさが問題であって、条件の形式(たとえば、鉸端であるとか、自由端もしくは埋込端であるとか)そのものは解に大きくは影響しないのではないかと考えられる。言い換えると、 $1.5 l_{m1}$ 辺りよりも下の根入れ部分はそもそもあってもなくても良いのであるから、この部分で大きな攪乱を与えればともかく、多小の人為的な拘束を課しても全体の挙動は理想的な長杭のそれとあまり変わらないのではないかとということである。例を挙げて説明すると、下端が埋込端であるとし、曲げモーメントと剪断力とを初期条件として与えて得られる解と、下端を自由端と考え、撓みと撓み角とを初期条件とする解とは、対応関係は別として、たとえば杭頭水平力と杭頭撓み量との関係を見たとき、どちらの解も小さな誤差の範囲で同一の曲線上、すなわち理想的な長杭の杭頭における水平力撓み量曲線の上にあるのではないかとということである。このことはまた実際の数値計算によっても確認された。

初期条件の形式そのものは任意に選んでも良いということであるから、ここでは常に下端は埋込まれているものとしよう。そうすると、実際の計算は、下端で撓みと撓み角とを零とし、曲げモーメントと剪断力とを適当に動かして解の蛇行回数と物理的有意性とを判定しながら試行錯誤的に行なうということになる。

最後に、これら二つの無次元量、すなわち無次元の曲げモーメントと剪断力とを直交座標軸とった曲げモー

* 相互に本質的に異なる解とは、杭の相似法則の意味における相似の関係にないものを意味する。なお、文献 5) の 4 頁参照。

メント剪断力の平面を考えてみよう。初期条件を一つ選ぶということは、この平面上から一点を選ぶことに対応するから、この平面上の点とその点に対応する解の性質との関係を調べると、初期条件を選ぶときの一助となるものと思われるからである。

まず、この平面上で原点に関し点対称となっている二点に対応する解は互に正負を異にするだけで、それ以外は全く同一のものとなることは直ちに分る。このことから、初期条件の選択に当ってはこの平面の半分だけを対象として考えれば良いということになる。

初期条件の大きさをどんどん大きくしていくと、これまでも再三述べたように、徐々に相対的に浅いところから計算を始めたような場合になって、解の蛇行回数*は減少していくであろう。このことと、初期条件を連続的に変えると、解も連続的に変わると考えられることにより、初期条件の平面は一番外側に無限に広がる零回蛇行の領域があり、その内側に1回蛇行の領域、さらにその内側に2回蛇行の領域、……といったように1回分づつ蛇行回数の増加していく領域が原点を囲む閉曲線群を境界として存在しているものと考えて良さそうである。

* ここでは、撓み、撓み角、曲げモーメント、剪断力それぞれの地中部における零点の数をすべて加え合わせた数をもって蛇行回数とする。

そして、これらの境界線が両座標軸と直交していることが次のように分る。今、図-5に示す如く縦軸に無次元の曲げモーメント (d^2Y/dX^2)、横軸に無次元の剪断力の符号を変えたものに相当する量 (d^3Y/dX^3) をとって、縦軸の近辺を考えてみる。縦軸近辺では剪断力の大きさに比べて曲げモーメントの大きさの方が圧倒的に大きいから、剪断力はその正負に拘わらず殆んど零と見なすことが出来て、曲げモーメントの大きさをええ変わらなければ、結果として得られる解も殆んど変化しないと考えられる。すなわち、縦軸のごく近傍では、計算上同一の解を与える初期条件が縦軸と直交する直線上に載っているということである。したがって、蛇行回数の異なる領域を分ける境界線もまた縦軸と直交しているということになる。横軸についても全く同様の議論が成り立つから、上で述べたことが示された。

上で述べた蛇行回数を異にする各領域について、もう少し詳しく調べてみよう。図-4に杭の撓みなど変形のパターンを模式的に示したが、初期条件を連続的に変えていくと、このようなパターンも連続的に変化していくであろう。特に、初期条件の大小を連続的に変える場合には、パターンの方も連続的に変わって蛇行回数の増減を来すということになる。変形のパターンが連続的に変化して、かつ蛇行回数も変わっていくのであるか

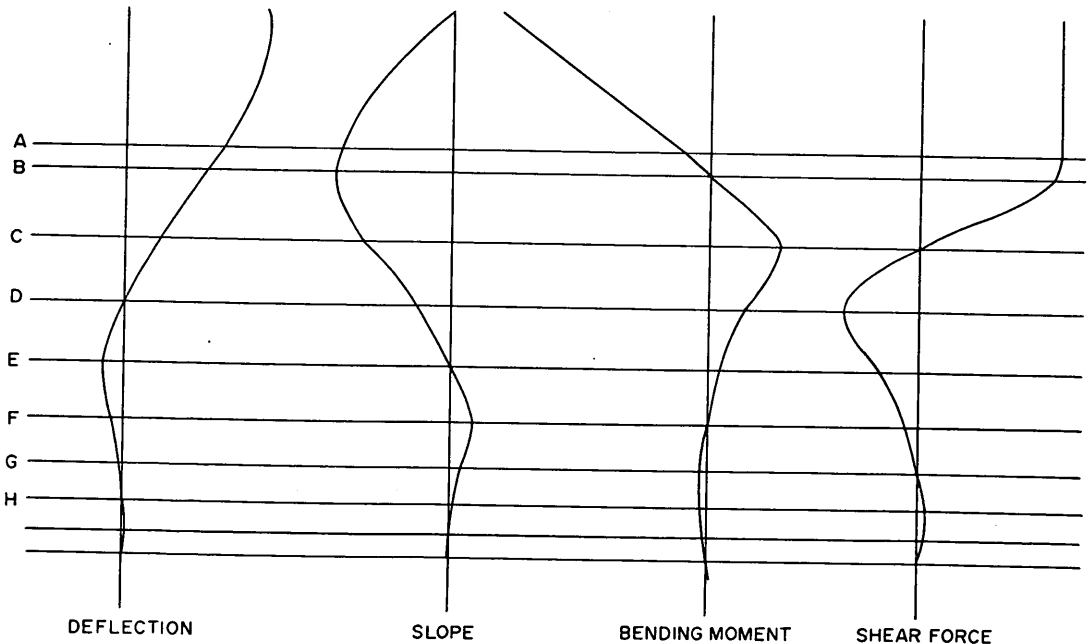


図-4 杭の変形などのパターン

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

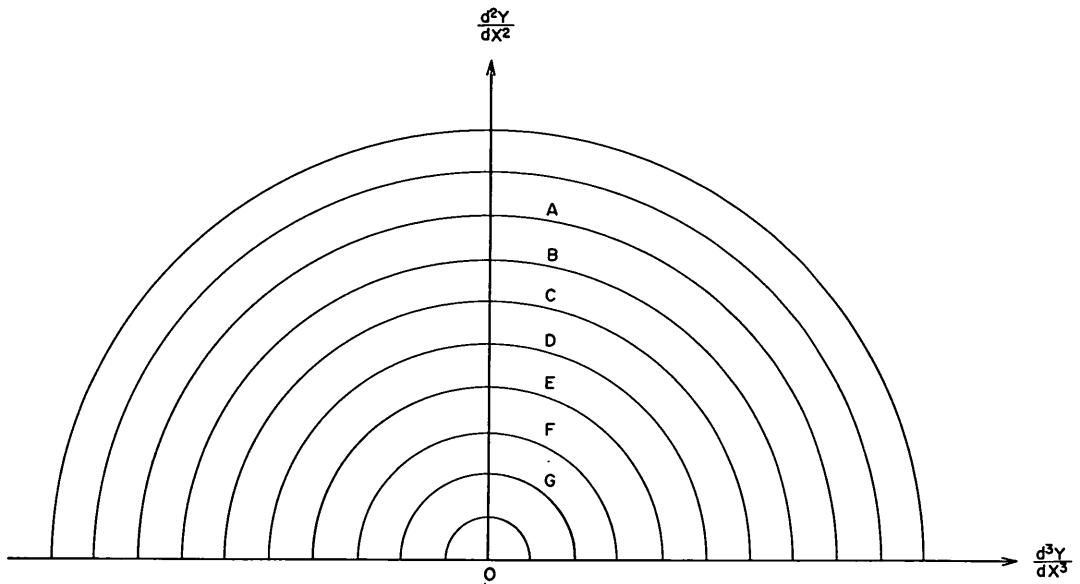


図-5 初期条件の平面

ら、パターンの振幅に相当する横方向の大きさや、曲率の細かいことなどは問わないことにし、パターンの零点の位置だけに着目することになると、初期条件の大きさを連続的に変えてやるということは、変形のパターンは一つ固定して、その代りに地表面の位置が連続的に上下するものと考えて良いであろう。*

図-4 では水平の線Aに地表面位置があるものとして、撓みなどのパターンを示してある。今、初期条件の大きさを連続的に大きくしていく場合を考えると、上の考察から地表面の位置が連続的に下方に移動していくものとして良からう。地表面の位置が徐々に下っていても、Bより上にあれば蛇行の回数は変わらない。地表面の位置がA~B間にあるときの蛇行の回数をN回とすると、もっと下ってB~C間ではN-1回、C~D間ではN-2回、E~F間ではN-3回、……というように蛇行回数は減少していくことになる。さらに、それについては次節で詳しく触れるが、A~B間は杭頭埋込の条件に合致する物理的に有意な解の存在する範囲であり、B~C間は杭頭埋込、杭頭自由の両条件を満たす有意の解の存在

* このとき、厳密に言えば、地表面位置の移動に伴ない、新しい地表面より上の部分については、地上部のルールに従ってパターンを書き直す必要があることは無論である。しかし、ここでは、地中部の零点の数に主たる興味があるので、地上部のパターンについては気にする必要はない。

する範囲、C~D~E間は物理的に有意の解の存在しない範囲、E~F間は元に戻ってA~B間と同じ……といった風に分類出来る。この様子を模式的に示したのが図-5である。この図-5のA, B, ……などの各領域における蛇行回数や物理的に有意の解の有無などは、たとえば表-1のようになっていよう。

実際には、杭下端で埋込みという人為的な拘束を与えていることなどもあって、上のような議論が特に蛇行回数についてそのまま成立するとは考えられないが、このような考察は初期条件の選択に際して非常に役立った。また、計算の結果から見ても当たっている点が多い。

表-1 図-5の各領域における蛇行回数と解の有無

領域	蛇行回数	解の有無
⋮	⋮	⋮
A	N-1	埋込・自由
B	N	埋込
C	N+1	無
D	N+2	無
E	N+3	埋込・自由
F	N+4	埋込
G	N+5	無
⋮	⋮	⋮

2.5 解の物理的有意性の判定

これまでにも度々述べたように、数値積分は試行錯誤的

に行なうので、ここでは、得られた解が物理的に有意なものであるかどうかの判定の基準について考えてみる。実際の数値積分では 1.1 の図-2 のような座標系に従っているので、ここでもそのようにする。また、簡単のために無次元撓み Y の無次元高さ X に関する導関数をブライム記号によって表わすことにし、さらに地表面での量には添字 0 をつけることにする。たとえば、 Y'' と書けば Y を X で 2 回微分したもので、すなわち無次元の曲げモーメントであり、 Y_0''' ならば Y を X で 3 回微分したものの地表面における値、言い換えると地表面における無次元剪断力の符号を変えたものを意味する。

数値積分によって得られた解の物理的な有意性の判定を行なうに当って考慮する要のあるものは、地表面における諸量 Y_0, Y_0', Y_0'', Y_0''' などの間の符号の関係と Y, Y', Y'', Y''' などの大きさの問題の二つであろう。始めのものは、数値積分とは無関係に地表面が計算の終点として存在していることから、そこでの諸量の間の符号の関係がうまくいっていないと、たとえば荷重が右方にかかっているのに杭は左方に撓んでいるといったような解が混入する恐れがあり、このような場合を除こうというものである。後のものは、極端な事を言えば、地表面に向かって収斂するような解では困るということである。

まず、地表面の諸量の間に満たされるべき符号関係について調べてみよう。上の例でも述べた如く、地表面で剪断力と撓みとは同じ向きでなければならないから、

$$Y_0 \cdot Y_0''' < 0 \quad \dots\dots(27)$$

が言える。次に、地表面附近では地表面に近い程撓みの絶対値が大きくなければならないことより、

$$Y_0' \cdot Y_0' \geq 0 \quad \dots\dots(28)$$

あるいは、(27) を考慮して

$$Y_0' \cdot Y_0''' \leq 0 \quad \dots\dots(29)$$

と書いても良い。ただし、 $Y_0' = 0$ のときは、有意の解があるとすれば、それは地表面で載荷されている頭部埋込杭である筈だから、杭頭(=地表面)での曲げモーメントと剪断力との符号関係は規制を受けることになり、

$$Y_0' = 0 \text{ のとき } Y_0'' \cdot Y_0''' > 0 \quad \dots\dots(30)$$

のようになる。 $Y_0' \neq 0$ であれば、上の(28)または(29)の条件のみで(30)は不要となるが、この場合でも $Y_0' \cdot Y_0'''$ の正負などによって影響を受ける。すなわち、 $Y_0' \cdot Y_0''' > 0$ であれば、有意の解としては杭頭埋込の場合しか存在しないのに対し、 $Y_0'' \cdot Y_0''' < 0$ であれば、杭頭埋込と杭頭自由の両方が存在する。また、 $Y_0'' = 0$ なら

ば両方存在するが、杭頭自由の方は地表面載荷の場合となっている。

上の議論のうち(27)式を除けば、地上部での撓み角の分布の形が二次曲線であることを利用することによってもっと統一的に扱うことが出来る。地上部を考えるので簡単のため、座標を平行移動して原点を地表面にとることにすれば、地上部の撓み角は

$$Y' = Y_0' + Y_0'' X + \frac{1}{2} Y_0''' X^2$$

と表わされる。撓み角曲線の式の右辺を零とした二次方程式の根が

- a) 虚根、または負根だけのとき

この場合は地上部に埋込端は存在しない。文献(4)に示されているように、埋込端がなければ必然的に自由端も存在しないから、この場合は有意の解は存在しない。

- b) 正の重根のとき

このときは地上部に埋込端となり得る点はあるが実はこの点で曲げモーメントも零となるため、この点は埋込端ではあり得ず、有意の解は存在しない。

- c) 二つの正根、または正根と零根のとき

このときは地表面を含めて地上部に埋込端となり得る点が二つある。このうち、高い方の点が真の埋込端でないことは無論であるが、低い方の点も、その点近辺での撓み角の正負と曲率とを考えると撓みと剪断力とが反対の向きになっていることが分る。よって、有意の解は存在しない。

- d) 正負の根、または負根と零根のとき

このときは物理的に有意の解が存在して、

イ. 負根と零根ならば、頭部埋込杭で地表面載荷の場合

ロ. 正負二根ならば、対称軸の位置によりさらに細分されて、対称軸の位置が正なら、頭部埋込、頭部自由の両方とも有意の解が存在する。対称軸の位置が地表面と一致していれば、やはり両方存在するが、頭部自由杭の方は地表面載荷の場合となっている。対称軸の位置が負ならば、埋込の場合しか存在しない。

以上述べて来たことを数式を使ってまとめた結果を表-2に示す。なお、2.4で次元のある杭に変換したときの地上部の長さが一定となるように C_x を事後的に選ぶと言ったのは、表-2に与えられている無次元の載荷高さを H として、

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-2 地表面の諸量と物理的に有意の解の有無

$Y_0 \cdot Y_0'''$	$Y_0' \cdot Y_0''$	$Y_0'' \cdot Y_0'''$	物理的に有意の解の有無	地上部長 (H_B : 埋込, H_F : 自由)
負	負	負	有 (埋込・自由)	$H_B = -Y_0''/Y_0''' + \sqrt{(Y_0''/Y_0''')^2 - 2Y_0'/Y_0'''}$ $H_F = -Y_0''/Y_0'''$
		零	有 (埋込・自由)	$H_B = \sqrt{-2Y_0'/Y_0'''}$ $H_F = 0$ (地表面載荷)
		正	有 (埋込)	$H_B = -Y_0''/Y_0''' + \sqrt{(Y_0''/Y_0''')^2 - 2Y_0'/Y_0'''}$
	零	正	有 (埋込)	$H_B = 0$ (地表面載荷)
		零または負	無	
	正	任意	無	
零または正	任意	任意	無	

$$C_x \cdot H = h(\text{一定})$$

となるように C_x を個々の解に対して事後的に選ぶということである。

次に、各量それぞれの大小関係について考えてみる。上の説明で極端な例として、地表面に向って収斂するような形の解を挙げたが、2.2 での議論からこのような解が出て来る筈がないことは明白である。すなわち、それぞれの量の深さに対する分布の形は上方の極値ほどその絶対値が大きくなっているであろう。そこで、問題となり得るのは、最も浅いところで出た極値の絶対値と地表面でのその量の大きさの絶対値との大小関係ということになる。撓み解と曲げモーメントとについては、これらは明らかに問題とならない。剪断力の場合も、例えば、地上部の非常に長い杭を考えると、地表面での曲げモーメントはそこでの剪断力に比べて非常に大きくなり、地中部での杭の変形などの仕方は主としてこの曲げモーメントに応じたものとなるであろう。したがって、地表面の剪断力よりも絶対値の大きい剪断力が地中部で生じる可能性は充分考えられる。最後に残された撓みについては、地中部で Y_0 よりも絶対値の大きい撓みが生ずることは不自然で、たとえば Chang の方法で検討してみてもそのようなことは起り得ない。そこで、実際にどのような規制を設けるかということになるが、実はすでにこの節の前半の議論で地表面の撓み量 Y_0 とその極く近傍の地中部の撓み Y とでは、 $|Y_0| > |Y|$ でなければならないという条件を考慮しているから、残されたものは Y_0 と地中部の撓みの極値 Y_{max} との大小関係ということになり、これは $|Y_0| > |Y_{max}|$ と表わされる。実際には、表-2 に示す規制を通過したものはすべてこの規制を通

過しており、実効という面から言うと、あってもなくても良い規制であったという結果になっている。

3. 数値計算の方法と精度

具体的な数値計算の方法や内容、および得られた解の精度などを表-3, 4 に一覧表の形で示した。以下、これらの表の中で特に説明を必要とするものと思われる点について述べる。

3.1 数値積分の方法

数値積分は Runge-Kutta-Gill の方法⁸⁾ によった。数値積分の進行方向はすでに 2.2 に述べた如く杭下端より上方へという向きである。刻み幅については、C型地盤の場合は全積分区間 $[0, 1]$ を均等に $1/2000$ に分割して計算した。

S型地盤では全区間を三分し、 $0 \leq X \leq 0.35$ では $1/2000$ 、 $0.35 \leq X \leq 0.45$ では $1/5000$ 、 $0.45 \leq X \leq 1.0$ では $1/4000$ でそれぞれ計算した。C型地盤、S型地盤いずれの場合も一つの量について約 15 回の蛇行回数を目安としているが、実際には上述の刻み幅の計算では下端附近の蛇行を充分につかまえることが出来なかった。PHRI 法では、その地盤反力が深さに比例する形となっている S型地盤の場合は勿論、C型地盤の場合でも Chang の方法に比べると、地盤反力が深さと共に増加する度合いが激しい。このため、PHRI 法では収斂・発散が急であり、かつ蛇行回数が多くなると共に蛇行間隔が減少するものと思われる。このような事情が、PHRI 法の場合に、杭下端附近の蛇行をつかまえにくいものになっているようである。刻み幅を変えてやって、全蛇行を正確に知ることが出来る程度にまで刻み幅を小さくすると、計算

表-3 TOSBAC-3400 (16 K) による基準曲線の計算方法

計算の対象	平衡方程式	$\frac{d^4 Y}{dX^4} + X^m Y^{0.5} = 0$
	積分区間	(0, 1)
数値積分の方法	数値積分法	Runge-Kutta-Gill 法
	数値積分の進行方向	鉛直下方に座標原点をとり、地表面をとして、下方より上方へ
	刻み幅と計算のステップ数	C型: 全 区 間 1/2000 2000 ステップ S型: $\begin{cases} 0.0 \leq X \leq 0.35 & 1/2000 \\ 0.35 \leq X \leq 0.45 & 1/5000 \quad 3400 \text{ ステップ} \\ 0.45 \leq X \leq 1.0 & 1/4000 \end{cases}$
初期条件	形 式	下端埋込 ($Y=Y'=0$)
	大きさ	$Y'' : 10^{-20} \sim 10^{-16}$, $Y''' : 10^{-18} \sim 10^{-38}$ $Y'' : 10^{-15} \sim 10^{-30}$, $Y''' : 10^{-99}$
解の物理的な有意性の判定	蛇行回数	全蛇行回数: 約 60 回 (一つの量当りで約 15 回)
	地表面における判定	表-2 による
精 度	Chang の方法による検討	有効桁: 7 桁以上*
	解の有効部分** における精度	C型: 7 桁 S型: 6 桁
その他	極値の計算	二つの三次方程式近似の平均値

* 印字 7 桁で全桁にわたって厳密解と一致した。

** 有効部分とは S 型で、 $X > 0.35$ 、C 型で $X > 0.2$ の部分を言う。

のステップ数が多くなり計算時間が長くなり過ぎて、実際上多数回の計算を行なうことは不可能となる。そこで、目標とする蛇行回数をもっと減らすことも考えたが、あまり少なくすると杭下端での埋込みの条件などの影響が直接きて来る恐れもあり、むしろ多小多い目の蛇行回数を目標として、その代りに杭下端附近を除いた部分を厳密な計算の範囲として有効部分と名付け、その部分のみを解として受け入れることとした。

有効部分は C 型地盤では [0.2, 1] であり、S 型地盤の場合は [0.35, 1] である。有効部分以下の杭下端附近では刻み幅を変えてやると解も変わってしまうが、有効部分では表-3 に示す刻み幅を小さくしても解に変化はない。このことから、実はここでは $X=0$ における比較的不自然な初期条件を有効部分までの荒い刻みの計算によって自然な状態に近づけ、その状態を初期条件として有効部分の計算を行なっていると言っても良い。

地中部各量の極値の計算は、その附近での最大値を与

える点とその点をささむ上 2 点・下 1 点、もしくは上 1 点・下 2 点のそれぞれ 4 点から成る二組の値を使って二つの三次曲線を定め、その極値の平均値を解の極値とするという方法によった。また、その極値の発生している深さも、この方法に附随して定めた。

3.2 計算の内容と計算時間

計算結果のアウトプットは有効部分の全極値、全特性長、および地表面各量の無次元表示のままのもの、基準曲線としてすでに与えられている諸量を基準杭の場合に変換したもの*などをラインプリンターによって印字した他、無次元表示の地表面諸量、地中部最大曲げモーメント、および地中部の各量の第一零点の深さなどはカード化した。

計算を実行した数は総計で約 1200 例である。このうち、物理的な有意性の判定を通過しなかったものや、結

* 埋込端、および自由端の両方がある場合には、両者共に基準杭の場合に変換して印字した。

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-4 計算の内容と計算時間

計算結果のアウトプット	無次元表示 (印字)	地表面: y_0, i_0, M_0, S_0 地中部 (有効部分のみ): $l_s, l_y, l_i, l_m, y_{max}, i_{max}, M_{max}, S_{max}$		
	無次元表示 (カード)	$y_0, i_0, M_0, S_0, M_{max}, l_s, l_y, l_i, l_m$		
	基準杭変換表示 (印字)	埋込杭: $y_{top}, y_0, F, M_{max-t}, i_0, M_{max}, l_{m1}$ 自由杭: $y_{top}, y_0, F, i_0, M_{max}, l_{m1}$		
計算例数	基準曲線作成用計算例数		埋込杭	自由杭
		C 型	237	243
	極限勾配検討用計算例数	C 型	25	20
		S 型	20	15
計算範囲と密度	基準曲線の計算例の密度	$\log F$ の間隔: 約 0.1		
	基準曲線の範囲	$\log F$ の範囲: $-13 \sim 12$		
	極限勾配検討用の $\log F$ の大きさ		上極限	下極限
		C 型	埋込杭	約 30.0
自由杭			約 20.0	約 -31.0
S 型		埋込杭	約 39.0	約 -60.0
	自由杭	約 43.0	約 -57.0	
計 算 時 間		C型: 約 5 分/1 例 S型: 約 8 分/1 例		

果があまり近過ぎて重複したような形になってしまったものなどを除いて約 1100 例が有効であった。また、そのうちの約 1000 例は基準曲線作成用のデータとして計算されたもの、残りの約 100 例は杭頭水平力の大小の極端な場合であって、極限勾配などの検討用として計算されたものである。基準曲線作成のための計算例は、S型地盤・C型地盤、頭部自由杭・埋込杭の各場合それぞれ約 250 例で、基準曲線上を $\log F$ で言ってほぼ 0.1 間隔となるように計算した。基準曲線の範囲としては、やはり $\log F$ で言って、すべての場合 $-13 \sim 12$ の範囲としている。これは、従来の基準曲線の場合に比べて、かなり広い範囲と言える。

計算時間は、コアメモリー 16K 語(1 語 24 ビット、ただし、実際の計算は倍長演算で行なった)の TOSBAC-3400 で、S型地盤の場合 1 例につき約 8 分、C型地盤の

場合には 1 例につき約 5 分であった。

3.3 精度

数値計算法の書物によれば⁹⁾、Runge-Kutta-Gill 法の精度は一口に言って刻み幅の 4 乗程度の大きさであるとしている。刻み幅を $1/2000$ として刻み幅の 4 乗を算定してみるとほぼ 10^{-18} 程度となり、4 階の微分方程式であることを考慮しても、7 桁の有効数字に対しては問題とされない。この誤差を一層厳密に評価しようとする、かなり面倒な量の評価が必要となる。ここでは、このような数学的手法による誤差の評価はにおいて、主として物理的に考え、誤差を評価してみる。

Chang の方法では厳密解が得られているから、これについて数値積分法の精度を当ててみたところ、刻み幅を $1/2000$ として、下端附近を除けば、印字 7 桁に対して全桁有効であることが確認された。ところで、実際に行な

った計算の場合に考えられる誤差は大別して三つあるように思われる。一つは数値積分法の打ち切り誤差のたぐいのもの、二番目は刻み幅と蛇行間隔との大小関係から生ずるもの、最後に初期条件によるものの三つである。まず、数値積分法の打ち切り誤差のたぐいのものは、PHRI法の場合でも Chang の方法の場合でも変りはない筈であるから、上の Chang の方法による検討で問題はないと思われる。二番目のものについては、刻み幅を小さくして行って検討を行なうことにより、数値実験的に確認することが可能で、この点を考慮して有効部分を決定したことはすでに 3.1 でも述べた。最後の初期条件による誤差については、さらに二つに細分出来よう。一つは初期条件を与える深さ、もしくは蛇行回数を選択に伴うものであり、もう一つは初期条件が埋込みの条件であるというような条件の形式によるものである。そしてこれらがどのような影響を持つのかは、結局 2.2 で述べた解の収斂項をどの程度含んでしまうかというところに表われるものと考えられる。ところが都合のよいことに、すでに 3.1 でも述べた如く PHRI 法の方が Chang の方法よりも収斂、発散が早い筈であるから、Chang の方法で難がなければ、PHRI 法では殆ど問題がないと言える。そこで、全体の精度についても Chang の方法で精度の確認が出来ていれば、問題はないということになる。ただし、計算時間との兼ね合いがあるから、むやみに刻み幅を小さくすることは出来ない。そこで、有効部分については最終的に必要な精度さえあれば良いということにすると、刻み幅として大きな値が採れるから、計算時間を短縮出来る。

最終的に与える基準曲線の精度を対数表示で小数点以下 4 桁とすると、市販の 7 桁対数表などから、真数で要求される精度はかなり厳しい所でみて 5 桁目で ± 1 程度である。地中部の極値や特性長の深さの計算では 3 次方程式を扱っているから、直接の数値積分の結果よりもそれらの精度がおおよそ一桁近く落ちるものとする、数値積分の結果には 6 桁目で ± 1 程度の精度が要求されることになる。そこで多小安全側を見て 6 桁目までは精度がある (7 桁目で ± 5 程度) ように選んだのが 3.1 で述べた有効部分の刻み幅である。ただし、C 型では 1/2000 の刻み幅のままで 7 桁の精度があったのでそのままとした。

なお、一部の計算例につき、ここで採用した Runge-kutta-Gill 法の他に Milne 法も併用して結果を対比したところ、印字 7 桁に対し殆ど例で全桁一致していた。

したがって、精度については、有効数字 6~7 桁で問題はないと言える。

4. 計算結果と新しい基準曲線

4.1 計算結果と従来の基準曲線との比較

前章で述べたように、計算結果は $\log F$ で言って 0.1 刻みという非常に密な間隔で得られている。その中から適当に選んで、すでに与えられている基準曲線と比較したものを図-6~9 に示した。図-6 (a)~(e) は S 型地盤の頭部自由杭の場合、図-7 (a)~(f) は同じ地盤の頭部埋込杭の場合、図-8 (a)~(d) は C 型地盤の頭部自由杭の場合、図-9 (a)~(e) は同じ地盤の頭部埋込杭の場合である。図中の丸印は今回の計算結果であり、実線はすでに与えられている基準曲線を示すものである。

まず、図-6 (a)~(e) から見ていこう。杭頭撓み y_{top} 、地表面撓み y_0 、地中部最大曲げモーメント M_{max} 、および地表面における撓み角 i_0 の四つについては非常に良く合っているのに反し、曲げモーメントの第一零点の深さ l_{m1} では、計算結果と従来のものとの間に多小のずれが見られる。 l_{m1} の図は横軸の目盛りが 1/5 になっているため、相異が強調されているということもあるが、右下方で勾配が異なっている様子などはかなりはっきりしている。 l_{m1} はいずれの場合にも違いが出ているので、後でまとめて考えることにし、図-7 に移ろう。図-7 でも y_{top} 、 y_0 、杭頭曲げモーメント M_{top} 、 M_{max} 、 i_0 などの諸量については非常に良く一致している。 y_{top} 、 y_0 、 M_{max} などの基準曲線の右上方の部分で僅かにずれが見られるが、これらは主として S 型地盤の基準曲線のこの辺りが実験結果からの外挿によって得られているという事実に基因しているものと思われる。 l_{m1} については、図-6 (e) の頭部自由杭の場合と良く似た傾向を示している。図-8 (a)~(d) は C 型地盤の頭部自由杭の基準曲線である。S 型地盤の場合と同じく、 y_0 、 M_{max} 、 i_0 などに関しては、計算結果と従来の基準曲線とは良く一致している。一方、 l_{m1} について見ると、既に述べた S 型地盤の場合とは逆に計算結果の方が既成の基準曲線よりも長目の l_{m1} を与えるような結果になっている。計算結果の方が左下方で急な勾配となっている点は S 型地盤の場合と同様である。図-9 (a)~(e) は C 型地盤の頭部埋込杭についてのものである。 y_{top} 、 y_0 、 M_{top} 、および M_{max} などについては、大体において計算結果と既成の基準曲線とは合致している。既成の基準曲線の上半分はかなり精度の悪いと思われる方法で作成されている¹⁰⁾にも拘わらず、

むしろ良く合っていると言っても良い位である。 l_{m1} はこの場合も同じ地盤の頭部自由杭の場合と似たような違い方を示している。

結論としては、S型地盤・C型地盤、頭部自由杭・頭部埋込杭のいずれの場合も l_{m1} を除くと計算結果と従来の基準曲線とは良く一致している。 l_{m1} についても、上で述べた両者の違いは実際にはさほど大きなものではない。ただし、従来考えられて来たように、 l_{m1} の基準曲線が勾配 $2m+5$ の直線となるという点は異なっていて、計算結果では下勾配が $2m+6$ となっている。S型地盤の場合の基準曲線は前書きでも触れた如く、実験結果を主体にしている。測定した曲げ歪から l_{m1} を定めるのは、 l_{m1} が曲げモーメントの零点であって、測定値の大きさの非常に小さいところでの測定であることを考えると、たとえば曲げモーメントの極値 M_{max} などに比べてかなり難かしく、精度も落ちるものと思われる。このように考えると、むしろ実験は意外に良い精度で行なわれていると言っても良い位である。C型地盤の基準曲線は主としてアナログ電子計算機によって作成されたものであるが、この場合も l_{m1} が一番深いところの量で、電圧変動の影響などを最も受け易いことから、他の量に比べると精度は落ちるものと考えられる。したがって、今回の計算結果が精度も良く最も信頼出来るものと考えられるから、 l_{m1} の下勾配は $2m+6$ としてしまっても良いと考えられる。ただし、 l_{m1} の基準曲線の図からも分る通り、下勾配の相異による l_{m1} の基準曲線のずれは基準曲線がカバーしている範囲の中では下方のほんの一部にしか過ぎないから、従来の基準曲線の作成に当って、この相異に気付かなかつたのは、その精度なども考え併わせると、むしろ当然とも言えるし、また実際上もこの差は殆ど問題とならない程度の僅かなものである。

さて、 l_{m1} の基準曲線が直線でないということになると、従来言われて来たことで変更を余儀なくされることが二つある。一つは l_{m1} に対する載荷高さの影響で、従来“ l_{m1} は載荷高さに依存しない”とされていたが、厳密にはそうでないことになる*。もう一つは“頭部自由杭でも頭部埋込杭でも、杭頭水平力の大ききさえ同じであれば、 l_{m1} は両者で同一である”とされていた点で、 l_{m1} の基準曲線が直線でないといふことは成立しなくなる**。

*, ** “ l_{m1} の基準曲線が直線でない” こと、“ l_{m1} が載荷高さに依存する” こと、および“頭部自由杭と頭部埋込杭の l_{m1} が一致しない” ことの三つの命題は互に同値である。したがって、これら三つの命題それぞれの否定同値もまた互に同値である。

今回の計算結果はこれら二つの要請、すなわち“ l_{m1} が載荷高さに依存する” こと、および“頭部自由杭と頭部埋込杭それぞれの同一の杭頭水平力に対する l_{m1} は一致しないこと” を共に満している。この他、他の計算結果などとの関連から、 l_{m1} の下勾配に対し制約が加えられるが、いずれも下勾配 $2m+6$ で満たされている***。上の二つの要請に対し、従来のものもそれなりに首尾一貫していたとは言えるが、今回の計算結果の方を採用するという立場からは厳密に言うとは間違っていたということになる。しかし、実際には載荷高さの影響にしても、頭部自由杭と頭部埋込杭との l_{m1} の差にしても、いずれも大したものではない。特に、従来の基準曲線の与えられている範囲内ではこれらは極めて僅かなものであるから、精度の高い計算の結果から従来のものが間違っていたとされても、当時としては止むを得なかったことであり、実際問題としては殆んど何の不都合も生じていなかったと考えて良い。

*** たとえば、計算結果から、 A_1 を定数として
 $F \rightarrow 0$ で、 $i_0 \rightarrow A_1 F^{2m+7/2m+6}$ (*1)
 である。また、撓み角の第一零点を l_{i1} とし、 α 、 β を正の定数として
 $F \rightarrow 0$ で $\left. \begin{array}{l} l_i \rightarrow A_2 F^\alpha \\ l_{m1} \rightarrow A_3 F^\beta \end{array} \right\}$ (*2)
 と書ける。計算結果では常に $l_{m1} > l_{i1}$ であるから、
 $\beta \leq \alpha$ (*3)

の筈である。

一方、地表面の撓み角 i_0 は

$$i_0 = \int_{-l_{i1}}^0 (M/EI) dx$$

と書け、 M が $0 \geq x \geq -l_{i1}$ で一定の符号を持った (F の小さいところを考えているからこのことが言える) 積分出来る函数であるから、積分学の平均値の定理によって

$$i_0 = (\bar{M}/EI) l_{i1} \quad \text{.....}(*4)$$

の如く書ける。ここに、 \bar{M} は $0 \geq x \geq -l_{i1}$ の間の適当な M であって、 $F \rightarrow 0$ のとき M_0 と同じ位数、すなわち $\bar{M} \rightarrow A_4 F(F \rightarrow 0)$ である。(*4) 式は $F \rightarrow 0$ のときも成立する筈であるから、(*1) 式を考慮すると

$$\frac{2m+7}{2m+6} = 1 + \alpha \quad \therefore \alpha = \frac{1}{2m+6} \quad \text{.....}(*5)$$

と言える。(*3) 式を考慮すると

$$\beta \leq \frac{1}{2m+6} \quad \text{.....}(*6)$$

が要求されていることになるが、 l_{m1} の下勾配が $2m+6$ であれば矛盾はない。 l_{m1} の下勾配が $2m+5$ ならば (*6) 式は満たされないことに注意せよ。なお、計算結果は式 (*5) も満たしている。

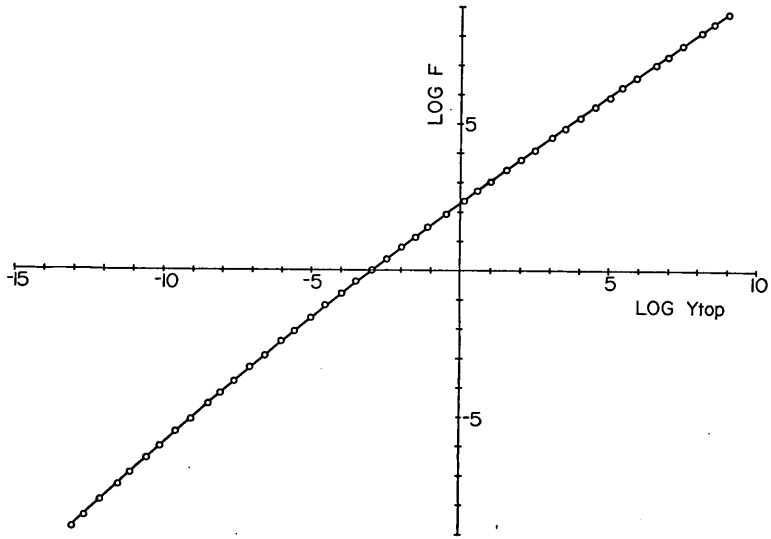


図-6 (a) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_{top}$)

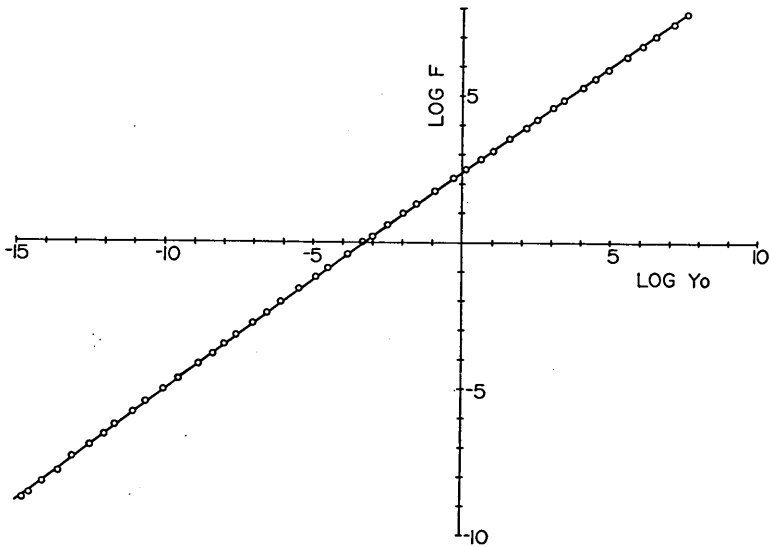


図-6 (b) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

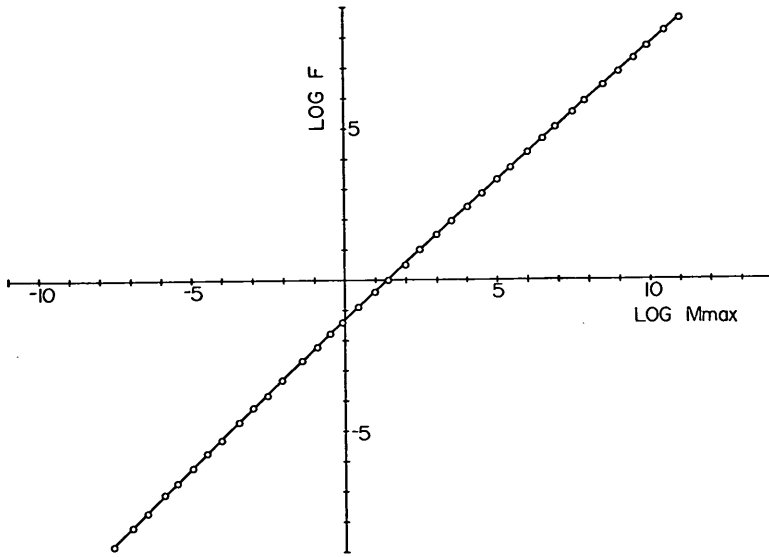


図-6 (c) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{max}$)

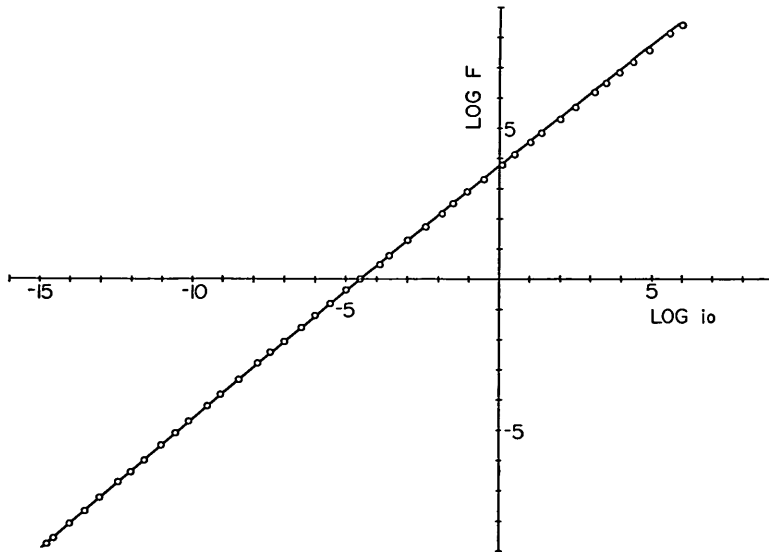


図-6 (d) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log i_0$)

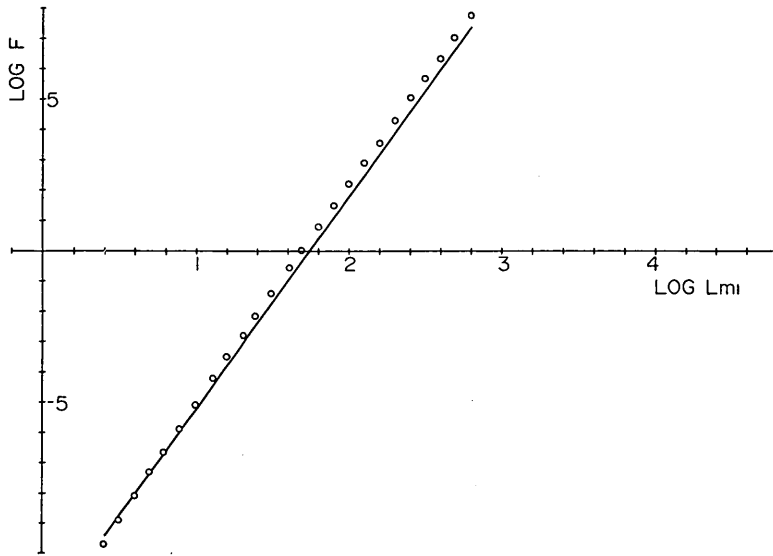


図-6 (e) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log l_{m1}$)

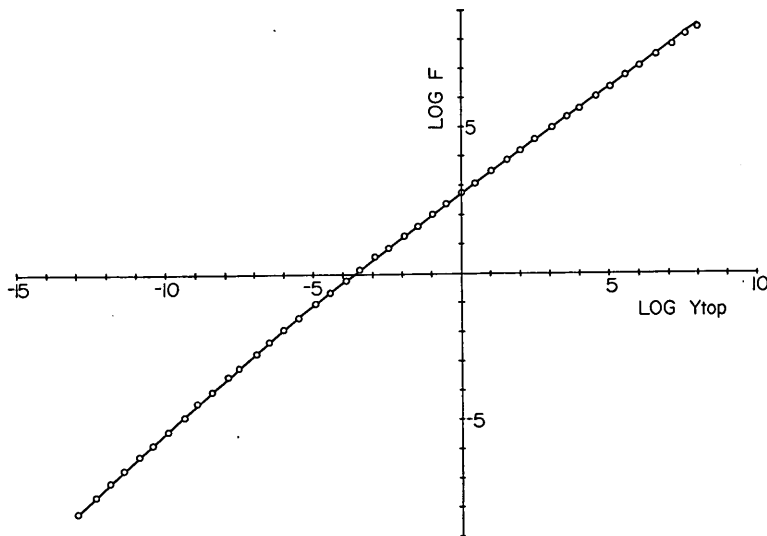


図-7 (a) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_{top}$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

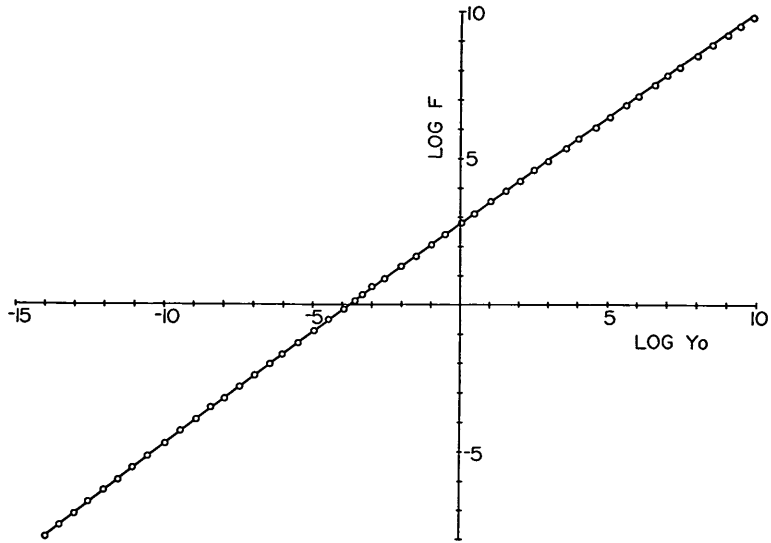


図-7 (b) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_0$)

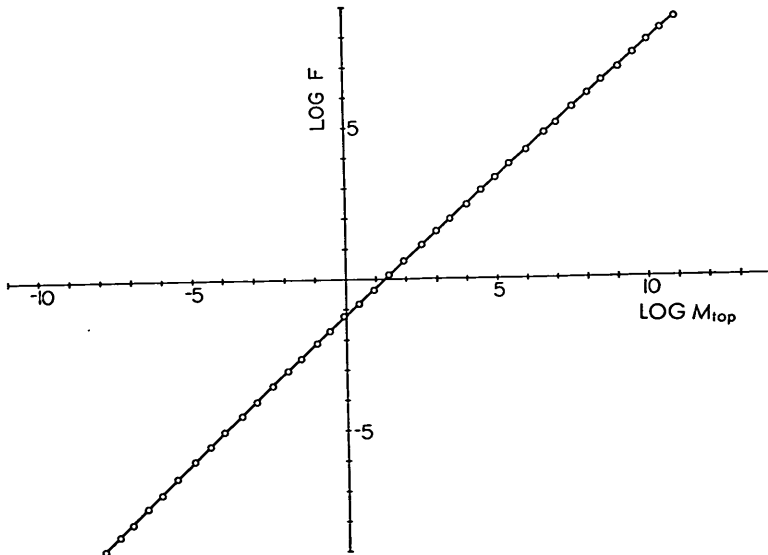


図-7 (c) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{top}$)

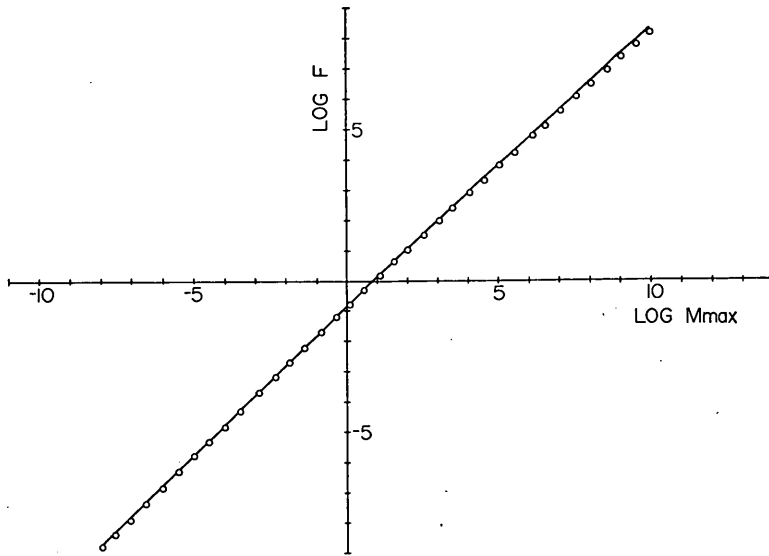


図-7 (d) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\max}$)

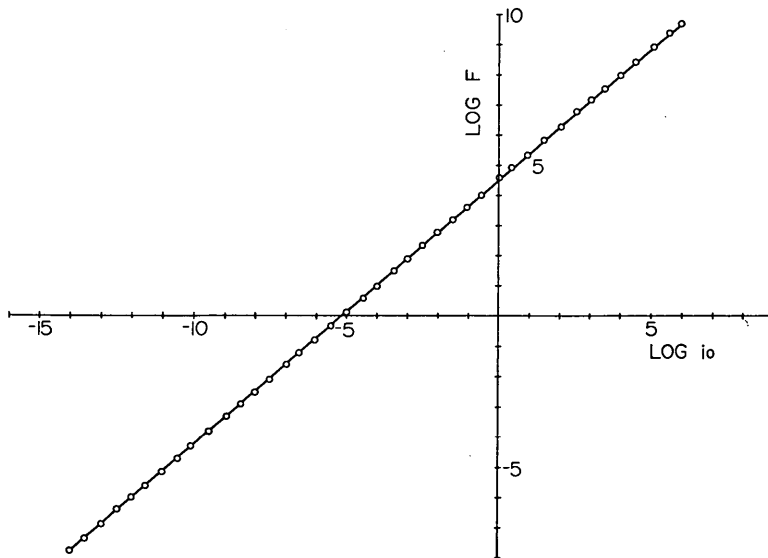


図-7 (e) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log i_0$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

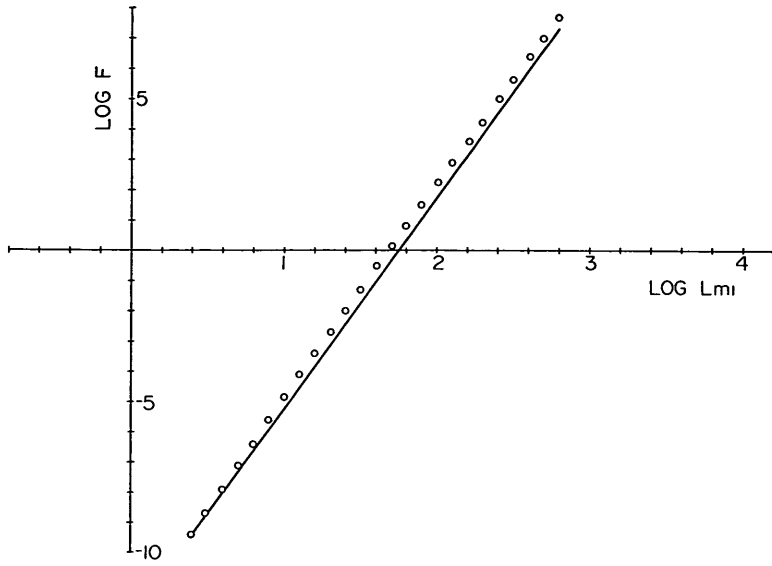


図-7 (f) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log l_{m1}$)

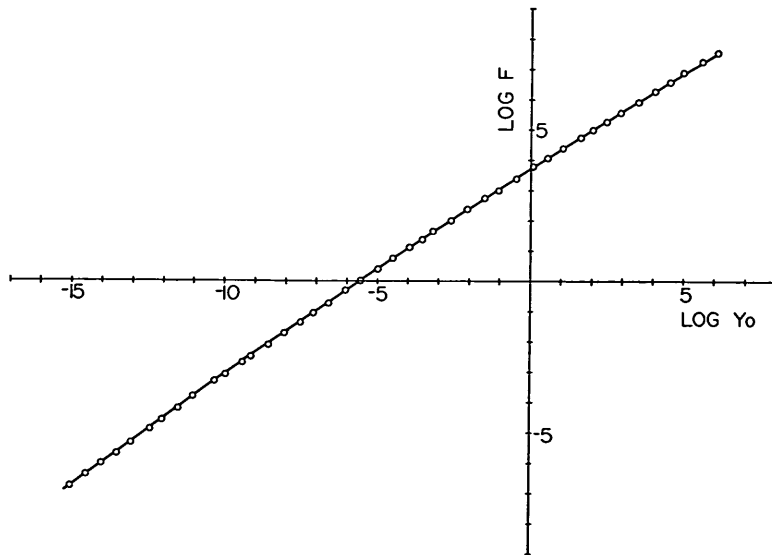


図-8 (a) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)

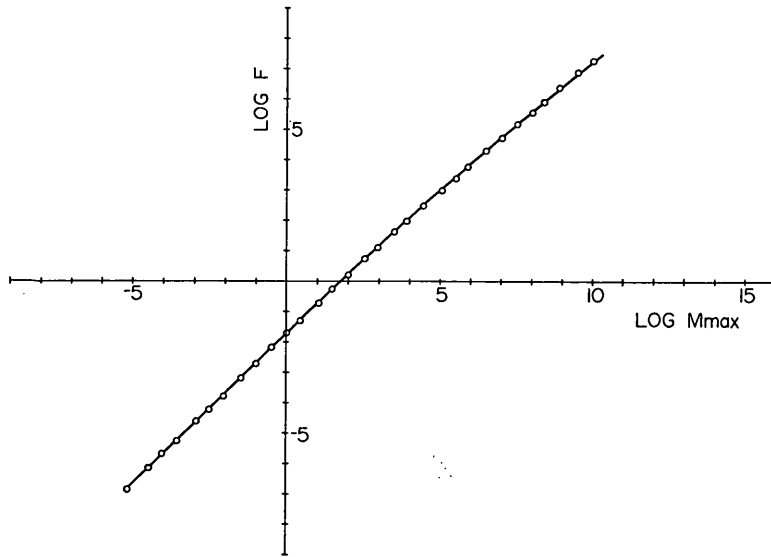


図-8 (b) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{\max}$)

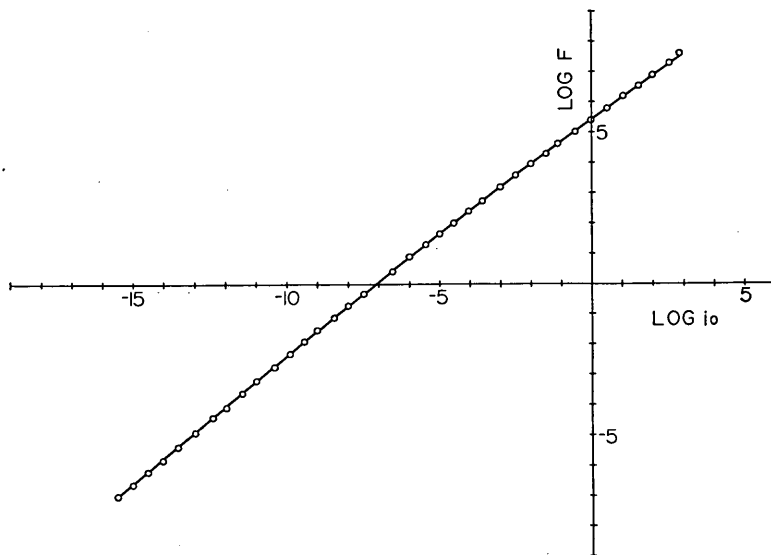


図-8 (c) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部自由杭, $\log i_0$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

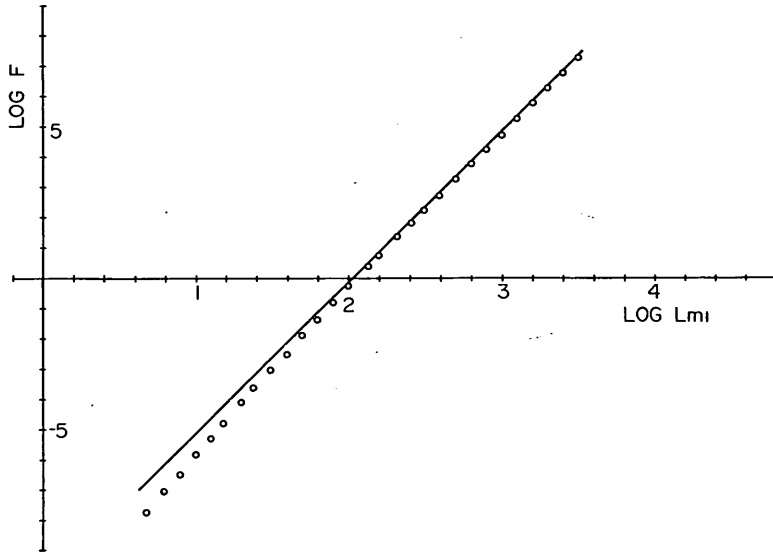


図-8 (d) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log L_{m1}$)

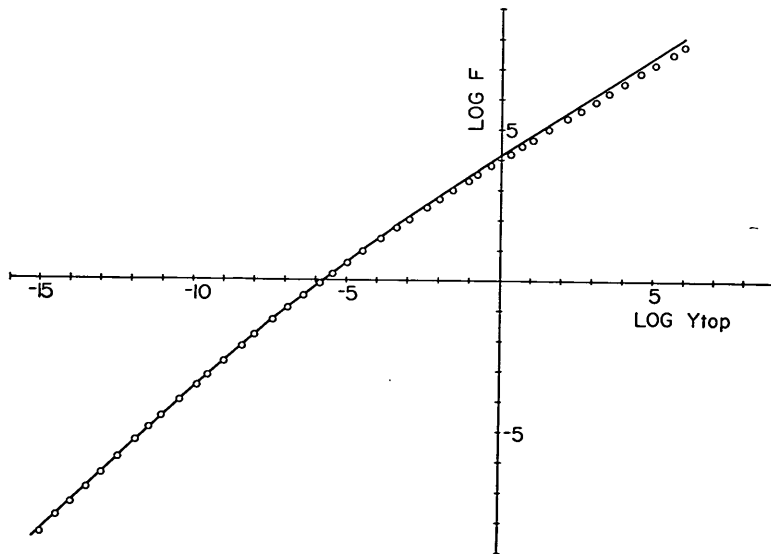


図-9 (a) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log Y_{top}$)

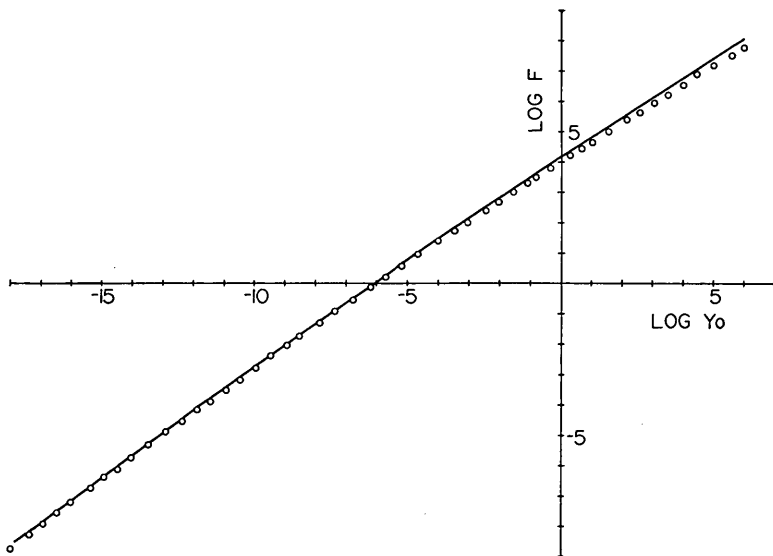


図-9 (b) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log F - \log y_0$)

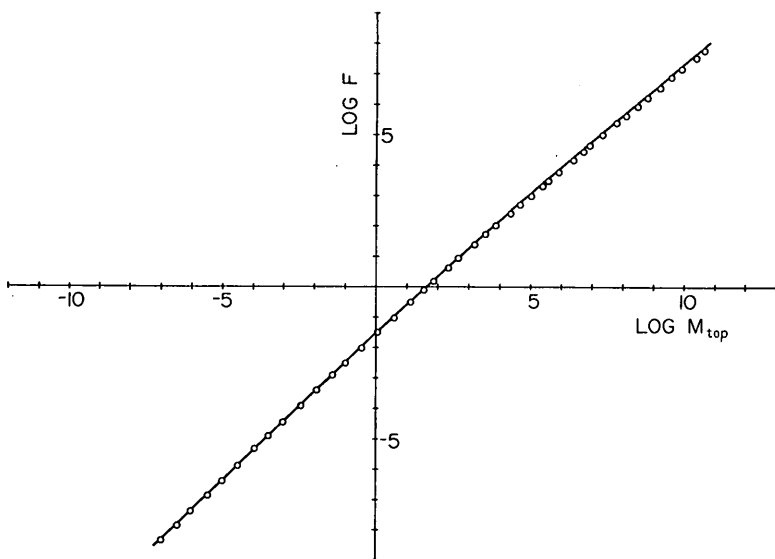


図-9 (c) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{top}$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

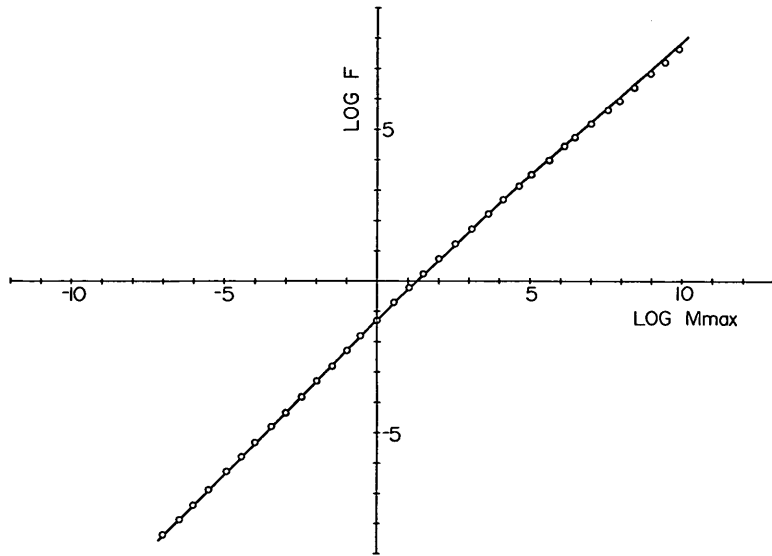


図-9 (d) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地質, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\max}$)

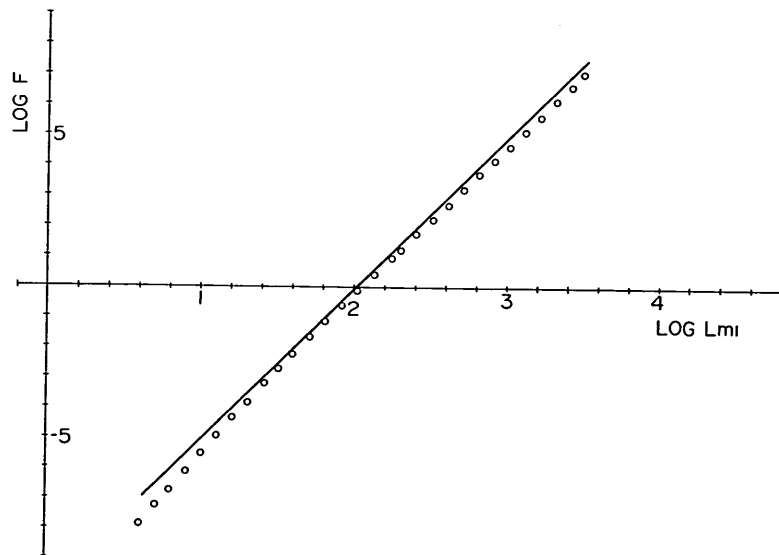


図-9 (e) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log l_{mi}$)

4.2 新しい基準杭と基準曲線

まえがきでも述べた如く、場合によって異った基準杭を採用しているのは不便であるから、統一した基準杭を一つ定め、それについてすべての場合の基準曲線を作成した。基準杭としては必ずしも現実の、たとえば JIS 規格の中にある杭でなくても構わない。ここでは後の計算の便を考えて諸元がすべて丸い数字となるような仮想的な杭と地盤を想定し基準杭および基準地盤とすることにした。新しく選んだ基準杭・基準地盤の諸元を表-5 に示す。なお、従来は杭幅 B と横抵抗常数 k とは別々に与えられていたが、変換公式などでも B と k とは一語に動く形となっているので、簡単のため Bk を一つの量として採用し、これを地盤反力係数と呼ぶことにする。

新しい基準杭に対する基準曲線の数値表を表 6~9 に示す。これらの表から分るように、新しい基準曲線として与えられている量は従来よりも多く、頭部自由杭の場合だと y_{top} , y_0 , i_{top} , i_0 , M_{max} , l_{m1} , l_{y1} , l_{i1} , l_{s1} の 9 量、頭部埋込杭では i_{top} の代りに M_{top} が入って同じく 9 量である。

また、文献 5) の示唆に従い、上述の従来と同形式の杭頭水平力 F を変量とする基準曲線の他に、杭頭撓み y_{top} 、載荷高 h 、曲げ剛性 EI 、および上で定義したばかりの地盤反力係数 Bk などを変量とする基準曲線を作成した。それぞれの場合の数値表を変換公式と共に附録 A~D に収録した。

かように多くの形式の基準曲線を作成したのは、PHRI 法の応用のききにくさを考慮し、複雑な実際問題への適応性を多小なりとも増したいという考えからである。なお、本報告で与えた基準杭の諸元基準曲線の数値表などはすべて従来のもと同様に kg-cm の単位系で統一してある。

最後に、杭頭水平力 F を変量とする場合の変換公式

を以下に示す。

$$\begin{aligned} R_y &= R_h^{2m+8} R_{EI}^{-2} R_{Bk}^2 \\ R_i &= R_h^{2m+7} R_{EI}^{-2} R_{Bk}^2 \\ R_M &= R_h^{2m+6} R_{EI}^{-1} R_{Bk}^2 \\ R_F &= R_h^{2m+5} R_{EI}^{-1} R_{Bk}^2 \\ R_l &= R_h \end{aligned}$$

対数の形で書くと、

$$\begin{aligned} \log R_y &= (2m+8) \log R_h - 2 \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk} \\ \log R_i &= (2m+7) \log R_h - 2 \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk} \\ \log R_M &= (2m+6) \log R_h - \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk} \\ \log R_F &= (2m+5) \log R_h - \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk} \\ \log R_l &= \log R_h \end{aligned}$$

4.3 地表面載荷の場合の計算式

地表面載荷の場合を直接計算で求めることは、計算が試行錯誤的な方法に依っているため非常に難しい。そのため、ここでは間接的な方法によって地表面載荷の場合を推定することにした。

地表面載荷の場合の杭の水平力に対する挙動が単項式となることは既に指摘されており、この場合の計算法として利用されている¹¹⁾。それらの単項式は、杭頭水平力 F を変量とした場合、 A_i , B_i を定数として

1) 頭部自由杭の場合

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 = A_1 F^{2m+8/2m+5} \\ i_{top} &= i_0 = A_2 F^{2m+7/2m+5} \\ M_{max} &= A_3 F^{2m+6/2m+5} \\ F &= A_4 l^{2m+5} \end{aligned} \right\} \dots\dots (31)$$

2) 頭部埋込杭の場合

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 = B_1 F^{2m+8/2m+5} \\ M_{top} &= M_0 = B_2 F^{2m+6/2m+5} \\ M_{max} &= B_3 F^{2m+6/2m+5} \\ F &= B_4 l^{2m+5} \end{aligned} \right\} \dots\dots (32)$$

表-5 基準杭の諸元

		備 考
載 荷 高 h	100 cm	
曲 げ 剛 性 EI	10^{10} kg/cm ²	
地 盤 反 力 係 数 Bk	C 型地盤: $100 \text{ kg/cm}^{1.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=2 \text{ kg/cm}^{2.5}$ ($N=9\sim 10$)
	S 型地盤: $1 \text{ kg/cm}^{2.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=0.02 \text{ kg/cm}^{3.5}$ ($\bar{N}=4\sim 5$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-6 杭頭水平力を変量とする基準曲線 (S型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

杭頭水平力 log F	杭頭たわみ log y_{top}	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log y_0	杭頭たわみ角 log i_{top}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log l_{v1}	たわみ角第一零点の深さ log l_{i1}
15.0	16.1219	18.5236	4.1062	16.1139	12.3820	12.3819	3.7199	3.9525	4.0363
14.5	15.4108	17.9540	4.0348	15.4014	11.7416	11.7415	3.6480	3.8809	3.9649
14.0	14.7003	17.3847	3.9634	14.6892	11.1016	11.1014	3.5759	3.8094	3.8934
13.5	13.9905	16.8158	3.8919	13.9774	10.4621	10.4619	3.5037	3.7378	3.8219
13.0	13.2814	16.2474	3.8205	13.2660	9.8232	9.8229	3.4314	3.6662	3.7504
12.5	12.5733	15.6795	3.7491	12.5551	9.1849	9.1845	3.3590	3.5945	3.6789
12.0	11.8662	15.1122	3.6777	11.8448	8.5475	8.5469	3.2864	3.5228	3.6074
11.5	11.1604	14.5455	3.6063	11.1352	7.9110	7.9101	3.2135	3.4511	3.5358
11.0	10.4560	13.9797	3.5349	10.4263	7.2755	7.2743	3.1405	3.3793	3.4643
10.5	9.7533	13.4148	3.4635	9.7184	6.6413	6.6397	3.0671	3.3075	3.3927
10.0	9.0525	12.8510	3.3922	9.0115	6.0085	6.0064	2.9935	3.2357	3.3212
9.5	8.3540	12.2884	3.3208	8.3057	5.3774	5.3745	2.9195	3.1637	3.2496
9.0	7.6581	11.7272	3.2495	7.6013	4.7481	4.7442	2.8450	3.0917	3.1780
8.5	6.9653	11.1676	3.1782	6.8984	4.1210	4.1158	2.7701	3.0196	3.1063
8.0	6.2758	10.6098	3.1069	6.1973	3.4963	3.4894	2.6947	2.9475	3.0347
7.5	5.5902	10.0540	3.0357	5.4981	2.8744	2.8652	2.6187	2.8752	2.9631
7.0	4.9090	9.5005	2.9645	4.8010	2.2556	2.2434	2.5420	2.8029	2.8915
6.5	4.2327	8.9494	2.8935	4.1063	1.6403	1.6242	2.4645	2.7306	2.8199
6.0	3.5619	8.4009	2.8225	3.4142	1.0286	1.0078	2.3863	2.6581	2.7483
5.5	2.8972	7.8553	2.7516	2.7248	0.4212	0.3944	2.3072	2.5857	2.6768
5.0	2.2391	7.3128	2.6809	2.0385	-0.1817	-0.2161	2.2271	2.5132	2.6054
4.5	1.5881	6.7735	2.6104	1.3553	-0.7799	-0.8234	2.1460	2.4408	2.5341
4.0	0.9448	6.2374	2.5401	0.6755	-1.3730	-1.4275	2.0639	2.3683	2.4630
3.5	0.3096	5.7047	2.4700	-0.0010	-1.9607	-2.0285	1.9808	2.2961	2.3920
3.0	-0.3173	5.1752	2.4002	-0.6740	-2.5430	-2.6263	1.8965	2.2240	2.3213
2.5	-0.9355	4.6490	2.3307	-1.3434	-3.1197	-3.2211	1.8113	2.1522	2.2509
2.0	-1.5450	4.1259	2.2616	-2.0094	-3.6907	-3.8129	1.7249	2.0805	2.1808
1.5	-2.1458	3.6058	2.1928	-2.6719	-4.2560	-4.4018	1.6376	2.0092	2.1110
1.0	-2.7381	3.0884	2.1245	-3.3311	-4.8160	-4.9881	1.5493	1.9383	2.0417
0.5	-3.3221	2.5735	2.0565	-3.9871	-5.3705	-5.5720	1.4602	1.8680	1.9727
0	-3.8980	2.0608	1.9890	-4.6401	-5.9200	-6.1535	1.3703	1.7980	1.9042
-0.5	-4.4664	1.5501	1.9218	-5.2902	-6.4646	-6.7329	1.2796	1.7285	1.8362
-1.0	-5.0277	1.0411	1.8551	-5.9376	-7.0046	-7.3103	1.1883	1.6595	1.7686
-1.5	-5.5824	0.5337	1.7887	-6.5827	-7.5404	-7.8860	1.0965	1.5910	1.7014
-2.0	-6.1310	0.0275	1.7228	-7.2254	-8.0723	-8.4601	1.0041	1.5231	1.6347
-2.5	-6.6742	-0.4776	1.6572	-7.8662	-8.6006	-9.0329	0.9114	1.4557	1.5684
-3.0	-7.2123	-0.9818	1.5919	-8.5051	-9.1257	-9.6043	0.8183	1.3886	1.5025
-3.5	-7.7459	-1.4853	1.5269	-9.1423	-9.6478	-10.1747	0.7249	1.3221	1.4369
-4.0	-8.2755	-1.9881	1.4622	-9.7781	-10.1673	-10.7441	0.6313	1.2560	1.3716
-4.5	-8.8014	-2.4903	1.3977	-10.4125	-10.6844	-11.3125	0.5374	1.1903	1.3067
-5.0	-9.3241	-2.9922	1.3335	-11.0458	-11.1995	-11.8803	0.4434	0.1250	1.2420
-5.5	-9.8440	-3.4937	1.2695	-11.6780	-11.7126	-12.4473	0.3493	0.0599	1.1776
-6.0	-10.3614	-3.9949	1.2056	-12.3094	-12.2241	-13.0138	0.2551	0.9952	1.1135
-6.5	-10.8766	-4.4959	1.1420	-12.9399	-12.7342	-13.5797	0.1608	0.9308	1.0495
-7.0	-11.3898	-4.9967	1.0784	-13.5697	-13.2429	-14.1452	0.0665	0.8665	0.9857
-7.5	-11.9013	-5.4973	1.0150	-14.1989	-13.7506	-14.7103	-0.0279	0.8025	0.9221
-8.0	-12.4113	-5.9978	0.9517	-14.8275	-14.2572	-15.2751	-0.1223	0.7387	0.8586
-8.5	-12.9200	-6.4983	0.8886	-15.4557	-14.7630	-15.8396	-0.2167	0.6749	0.7952
-9.0	-13.4276	-6.9986	0.8255	-16.0834	-15.2680	-16.4038	-0.3111	0.6115	0.7320
-9.5	-13.9344	-7.4989	0.7624	-16.7109	-15.7726	-16.9678	-0.4055	0.5483	0.6688

表-7 杭頭水平力を変量とする基準曲線 (S型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

杭頭水平力 log F	杭頭たわみ log y_{top}	杭頭曲げモーメント log M_{top}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log y_0	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log i_{s1}	たわみ第一零点の深さ log l_{y1}	たわみ角第一零点の深さ log l_{j1}
15.0	15.5685	18.5204	4.1178	15.5683	18.0436	10.5138	3.8559	3.9987	4.0625
14.5	14.8569	17.9502	4.0463	14.8566	17.4738	9.9425	3.7840	3.9270	3.9909
14.0	14.1457	17.3802	3.9748	14.1453	16.9043	9.3711	3.7121	3.8553	3.9193
13.5	13.4350	16.8105	3.9032	13.4345	16.3351	8.7997	3.6400	3.7836	3.8477
13.0	12.7251	16.2410	3.8316	12.7244	15.7663	8.2284	3.5678	3.7118	3.7760
12.5	12.0158	15.6719	3.7600	12.0148	15.1980	7.6571	3.4955	3.6400	3.7043
12.0	11.3075	15.1032	3.6884	11.3061	14.6303	7.0857	3.4231	3.5681	3.6326
11.5	10.6002	14.5350	3.6168	10.5984	14.0632	6.5145	3.3504	3.4962	3.5608
11.0	9.8941	13.9673	3.5451	9.8916	13.4969	5.9432	3.2775	3.4241	3.4889
10.5	9.1895	13.4002	3.4733	9.1861	12.9314	5.3720	3.2044	3.3519	3.4170
10.0	8.4865	12.8338	3.4016	8.4819	12.3670	4.8008	3.1310	3.2796	3.3450
9.5	7.7855	12.2683	3.3297	7.7793	11.8038	4.2296	3.0573	3.2072	3.2729
9.0	7.0869	11.7037	3.2579	7.0784	11.2420	3.6585	2.9832	3.1345	3.2007
8.5	6.3908	11.1403	3.1859	6.3794	10.6818	3.0875	2.9086	3.0618	3.1284
8.0	5.6979	10.5780	3.1139	5.6826	10.1235	2.5165	2.8335	2.9888	3.0560
7.5	5.0085	10.0172	3.0418	4.9881	9.5673	1.9456	2.7578	2.9155	2.9834
7.0	4.3232	9.4579	2.9697	4.2962	9.0136	1.3748	2.6814	2.8421	2.9107
6.5	3.6426	8.9005	2.8975	3.6071	8.4627	0.8041	2.6042	2.7684	2.8379
6.0	2.9673	8.3449	2.8252	2.9209	7.9148	0.2336	2.5262	2.6944	2.7649
5.5	2.2979	7.7914	2.7529	2.2377	7.3704	-0.3368	2.4472	2.6202	2.6918
5.0	1.6351	7.2403	2.6806	1.5579	6.8297	-0.9069	2.3671	2.5456	2.6185
4.5	0.9796	6.6916	2.6084	0.8814	6.2931	-1.4769	2.2859	2.4708	2.5452
4.0	0.3321	6.1456	2.5361	0.2083	5.7607	-2.0466	2.2034	2.3958	2.4718
3.5	-0.3071	5.6023	2.4640	-0.4614	5.2326	-2.6161	2.1197	2.3206	2.3984
3.0	-0.9374	5.0617	2.3921	-1.1277	4.7088	-3.1852	2.0346	2.2453	2.3251
2.5	-1.5584	4.5241	2.3204	-1.7906	4.1894	-3.7541	1.9482	2.1700	2.2520
2.0	-2.1701	3.9894	2.2491	-2.4502	3.6740	-4.3225	1.8606	2.0949	2.1790
1.5	-2.7724	3.4575	2.1781	-3.1066	3.1624	-4.8906	1.7717	2.0199	2.1064
1.0	-3.3654	2.9284	2.1076	-3.7601	2.6541	-5.4584	1.6817	1.9453	2.0342
0.5	-3.9495	2.4020	2.0375	-4.4107	2.1486	-6.0257	1.5906	1.8711	1.9625
0	-4.5251	1.8782	1.9680	-5.0587	1.6456	-6.5926	1.4986	1.7975	1.8913
-0.5	-5.0927	1.3569	1.8990	-5.7042	1.1446	-7.1592	1.4059	1.7245	1.8208
-1.0	-5.6529	0.8377	1.8306	-6.3474	0.6450	-7.7253	1.3125	1.6522	1.7508
-1.5	-6.2062	0.3207	1.7627	-6.9886	0.1466	-8.2912	1.2185	1.5806	1.6814
-2.0	-6.7534	-0.1944	1.6953	-7.6279	-0.3510	-8.8566	1.1242	1.5097	1.6127
-2.5	-7.2949	-0.7078	1.6284	-8.2655	-0.8481	-9.4218	1.0294	1.4395	1.5445
-3.0	-7.8314	-1.2196	1.5620	-8.9016	-1.3449	-9.9867	0.9345	1.3701	1.4769
-3.5	-8.3634	-1.7300	1.4960	-9.5364	-1.8415	-10.5513	0.8393	1.3013	1.4099
-4.0	-8.8914	-2.2391	1.4304	-10.1699	-2.3381	-11.1156	0.7440	1.2332	1.3433
-4.5	-9.4159	-2.7471	1.3652	-10.8024	-2.8347	-11.6798	0.6486	1.1656	1.2772
-5.0	-9.9373	-3.2541	1.3003	-11.4340	-3.3315	-12.2437	0.5532	1.0987	1.2115
-5.5	-10.4559	-3.7602	1.2357	-12.0647	-3.8285	-12.8075	0.4578	1.0323	1.1462
-6.0	-10.9721	-4.2656	1.1714	-12.6947	-4.3257	-13.3711	0.3623	0.9663	1.0812
-6.5	-11.4862	-4.7702	1.1072	-13.3240	-4.8230	-13.9345	0.2669	0.9007	1.0165
-7.0	-11.9985	-5.2743	1.0433	-13.9528	-5.3206	-14.4979	0.1716	0.8355	0.9521
-7.5	-12.5092	-5.7778	0.9796	-14.5811	-5.8185	-15.0611	0.0763	0.7706	0.8880
-8.0	-13.0185	-6.2809	0.9160	-15.2089	-6.3165	-15.6243	-0.0190	0.7060	0.8240
-8.5	-13.5266	-6.7835	0.8526	-15.8364	-6.8147	-16.1873	-0.1141	0.6417	0.7603
-9.0	-14.0336	-7.2859	0.7893	-16.4636	-7.3131	-16.7503	-0.2093	0.5776	0.6966
-9.5	-14.5396	-7.7879	0.7261	-17.0905	-7.8117	-17.3132	-0.3043	0.5137	0.6332

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-8 杭頭水平力を変量とする基準曲線 (C型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

杭頭水平力 log F	杭頭たわみ log y_{top}	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log y_0	杭頭たわみ角 log i_{top}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log y_1	たわみ角第一零点の深さ log l_{j1}
15.0	17.7181	18.9153	4.7519	17.7161	13.3980	13.3980	4.2603	4.5324	4.6559
14.5	16.9194	18.3162	4.6519	16.9168	12.6991	12.6991	4.1598	4.4323	4.5558
14.0	16.1211	17.7174	4.5518	16.1178	12.0005	12.0005	4.0592	4.3321	4.4557
13.5	15.3231	17.1190	4.4518	15.3189	11.3023	11.3023	3.9585	4.2318	4.3556
13.0	14.5257	16.5209	4.3517	14.5204	10.6046	10.6045	3.8578	4.1316	4.2554
12.5	13.7289	15.9233	4.2516	13.7223	9.9074	9.9073	3.7565	4.0311	4.1552
12.0	12.9330	15.3263	4.1515	12.9246	9.2109	9.2107	3.6551	3.9305	4.0549
11.5	12.1380	14.7301	4.0514	12.1276	8.5153	8.5151	3.5533	3.8299	3.9546
11.0	11.3445	14.1348	3.9512	11.3313	7.8209	7.8205	3.4511	3.7290	3.8542
10.5	10.5525	13.5407	3.8510	10.5358	7.1277	7.1272	3.3483	3.6281	3.7537
10.0	9.7625	12.9480	3.7508	9.7416	6.4362	6.4354	3.2449	3.5268	3.6531
9.5	8.9751	12.3572	3.6505	8.9487	5.7469	5.7457	3.1406	3.4255	3.5523
9.0	8.1909	11.7685	3.5501	8.1575	5.0602	5.0583	3.0352	3.3234	3.4514
8.5	7.4105	11.1825	3.4497	7.3685	4.3766	4.3737	2.9285	3.2212	3.3503
8.0	6.6349	10.5997	3.3493	6.5819	3.6968	3.6924	2.8203	3.1185	3.2490
7.5	5.8652	10.0207	3.2488	5.7984	3.0215	3.0149	2.7102	3.0152	3.1475
7.0	5.1026	9.4462	3.1483	5.0185	2.3516	2.3418	2.5980	2.9113	3.0458
6.5	4.3485	8.8768	3.0479	4.2427	1.6880	1.6737	2.4830	2.8069	2.9439
6.0	3.6046	8.3132	2.9476	3.4719	1.0317	1.0110	2.3652	2.7015	2.8418
5.5	2.8724	7.7560	2.8475	2.7065	0.3836	0.3542	2.2439	2.5959	2.7397
5.0	2.1536	7.2055	2.7477	1.9471	-0.2554	-0.2964	2.1190	2.4899	2.6376
4.5	1.4497	6.6621	2.6484	1.1944	-0.8845	-0.9406	1.9901	2.3833	2.5358
4.0	0.7624	6.1256	2.5498	0.4488	-1.5030	-1.5783	1.8571	2.2770	2.4344
3.5	0.0917	5.5955	2.4520	-0.2898	-2.1108	-2.2100	1.7201	2.1706	2.3337
3.0	-0.5612	5.0715	2.3552	-1.0210	-2.7076	-2.8355	1.5791	2.0650	2.2339
2.5	-1.1968	4.5527	2.2595	-1.7451	-3.2937	-3.4555	1.4344	1.9602	2.1352
2.0	-1.8155	4.0384	2.1650	-2.4622	-3.8694	-4.0703	1.2863	1.8569	2.0377
1.5	-2.4188	3.5276	2.0717	-3.1730	-4.4356	-4.6806	1.1352	1.7551	1.9416
1.0	-3.0076	3.0197	1.9796	-3.8778	-4.9927	-5.2867	0.9814	1.6547	1.8469
0.5	-3.5834	2.5139	1.8886	-4.5772	-5.5419	-5.8893	0.8255	1.5562	1.7535
0	-4.1479	2.0097	1.7987	-5.2718	-6.0838	-6.4888	0.6676	1.4593	1.6614
-0.5	-4.7021	1.5068	1.7097	-5.9621	-6.6192	-7.0856	0.5082	1.3643	1.5705
-1.0	-5.2482	1.0047	1.6216	-6.6489	-7.1494	-7.6803	0.3475	1.2707	1.4806
-1.5	-5.7867	0.5033	1.5342	-7.3324	-7.6748	-8.2730	0.1857	1.1784	1.3917
-2.0	-6.3189	0.0023	1.4474	-8.0133	-8.1960	-8.8641	0.0231	1.0876	1.3037
-2.5	-6.8459	-0.4984	1.3612	-8.6918	-8.7138	-9.4540	-0.1403	0.9977	1.2164
-3.0	-7.3683	-0.9989	1.2755	-9.3684	-9.2287	-10.0427	-0.3043	0.9088	1.1297
-3.5	-7.8869	-1.4993	1.1901	-10.0433	-9.7410	-10.6305	-0.4687	0.8208	1.0436
-4.0	-8.4025	-1.9995	1.1051	-10.7168	-10.2513	-11.2175	-0.6336	0.7340	0.9580
-4.5	-8.9153	-2.4997	1.0204	-11.3892	-10.7599	-11.8039	-0.7987	0.6471	0.8727
-5.0	-9.4260	-2.9998	0.9359	-12.0606	-11.2670	-12.3898	-0.9641	0.5613	0.7877
-5.5	-9.9348	-3.4998	0.8516	-12.7312	-11.7729	-12.9752	-1.1298	0.4754	0.7031
-6.0	-10.4422	-3.9999	0.7675	-13.4011	-12.2777	-13.5603	-1.2956	0.3904	0.6186
-6.5	-10.9482	-4.4999	0.6835	-14.0705	-12.7818	-14.1450	-1.4616	0.3055	0.5343
-7.0	-11.4533	-4.9999	0.5996	-14.7394	-13.2851	-14.7295	-1.6277	0.2207	0.4503
-7.5	-11.9574	-5.5000	0.5158	-15.4079	-13.7879	-15.3138	-1.7939	0.1366	0.3663
-8.0	-12.4608	-6.0000	0.4321	-16.0761	-14.2902	-15.8980	-1.9602	0.0521	0.2824
-8.5	-12.9637	-6.5000	0.3485	-16.7440	-14.7921	-16.4820	-2.1266	-0.0318	0.1987
-9.0	-13.4660	-7.0000	0.2649	-17.4117	-15.2936	-17.0659	-2.2929	-0.1160	0.1150
-9.5	-13.9682	-7.5000	0.1813	-18.0793	-15.7951	-17.6497	-2.4593	-0.2010	0.0313

表-9 杭頭水平力を変量とする基準曲線 (C型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

杭頭水平力 log F	杭頭たわみ log y _{top}	杭頭曲げモーメント log M _{top}	モーメント第一零点の深さ log l _{m1}	地表面たわみ log y ₀	地中部最大曲げモーメント log M _{max}	地表面たわみ角 log i ₀	剪断力第一零点の深さ log l _{s1}	たわみ第一零点の深さ log l _{v1}	たわみ角第一零点の深さ log l _{i1}
15.0	17.2757	19.0193	4.7926	17.2757	18.4285	11.0171	4.4812	4.6379	4.7221
14.5	16.4766	18.4199	4.6925	16.4765	17.8292	10.4172	4.3809	4.5377	4.6220
14.0	15.6775	17.8205	4.5924	15.6774	17.2298	9.8172	4.2805	4.4375	4.5219
13.5	14.8787	17.2215	4.4923	14.8786	16.6308	9.2173	4.1801	4.3373	4.4217
13.0	14.0803	16.6226	4.3921	14.0802	16.0319	8.6174	4.0796	4.2370	4.3214
12.5	13.2822	16.0240	4.2919	13.2821	15.4334	8.0175	3.9789	4.1366	4.2212
12.0	12.4847	15.4259	4.1917	12.4845	14.8353	7.4176	3.8780	4.0361	4.1208
11.5	11.6878	14.8281	4.0913	11.6875	14.2376	6.8178	3.7769	3.9355	4.0203
11.0	10.8918	14.2310	3.9909	10.8913	13.6406	6.2180	3.6755	3.8345	3.9198
10.5	10.0968	13.6345	3.8904	10.0961	13.0443	5.6183	3.5738	3.7336	3.8290
10.0	9.3031	13.0389	3.7898	9.3020	12.4491	5.0186	3.4716	3.6323	3.7181
9.5	8.5111	12.4445	3.6890	8.5093	11.8551	4.4190	3.3689	3.5307	3.6170
9.0	7.7213	11.8513	3.5880	7.7185	11.2627	3.8196	3.2654	3.4287	3.5156
8.5	6.9340	11.2597	3.4867	6.9297	10.6723	3.2202	3.1610	3.3262	3.4138
8.0	6.1502	10.6701	3.3852	6.1435	10.0844	2.6210	3.0554	3.2231	3.3117
7.5	5.3708	10.0828	3.2833	5.3605	9.4998	2.0220	2.9484	3.1193	3.2089
7.0	4.5969	9.4983	3.1810	4.5811	8.9194	1.4233	2.8396	3.0143	3.1056
6.5	3.8299	8.9171	3.0783	3.8061	8.3440	0.8248	2.7285	2.9083	3.0015
6.0	3.0717	8.3395	2.9750	3.0361	7.7751	0.2266	2.6146	2.8010	2.8966
5.5	2.3240	7.7662	2.8713	2.2716	7.2139	-0.3711	2.4973	2.6921	2.7908
5.0	1.5891	7.1975	2.7671	1.5133	6.6617	-0.9684	2.3759	2.5815	2.6841
4.5	0.8696	6.6339	2.6626	0.7619	6.1200	-1.5650	2.2497	2.4693	2.5766
4.0	0.1673	6.0756	2.5580	0.0175	5.5893	-2.1610	2.1184	2.3555	2.4684
3.5	-0.5157	5.5230	2.4538	-0.7193	5.0699	-2.7562	1.9814	2.2404	2.3601
3.0	-1.1789	4.9760	2.3504	-1.4487	4.5606	-3.3506	1.8389	2.1248	2.2521
2.5	-1.8217	4.4344	2.2481	-2.1707	4.0598	-3.9439	1.6913	2.0092	2.1449
2.0	-2.4450	3.8981	2.1475	-2.8858	3.5655	-4.5362	1.5391	1.8948	2.0392
1.5	-3.0501	3.3668	2.0487	-3.5943	3.0754	-5.1275	1.3832	1.7820	1.9354
1.0	-3.6390	2.8398	1.9517	-4.2968	2.5876	-5.7177	1.2243	1.6713	1.8337
0.5	-4.2135	2.3169	1.8567	-4.9941	2.1006	-6.3069	1.0632	1.5632	1.7342
0	-4.7758	1.7975	1.7633	-5.6866	1.6134	-6.8952	0.9004	1.4579	1.6369
-0.5	-5.3277	1.2811	1.6715	-6.3752	1.1254	-7.4827	0.7364	1.3551	1.5415
-1.0	-5.8708	0.7673	1.5811	-7.0602	0.6363	-8.0696	0.5716	1.2547	1.4480
-1.5	-6.4066	0.2558	1.4919	-7.7423	0.1459	-8.6558	0.4062	1.1573	1.3560
-2.0	-6.9363	-0.2539	1.4037	-8.4218	-0.3457	-9.2416	0.2404	1.0612	1.2654
-2.5	-7.4609	-0.7619	1.3162	-9.0992	-0.8385	-9.8269	0.0744	0.9676	1.1760
-3.0	-7.9813	-1.2686	1.2295	-9.7748	-1.3323	-10.4119	-0.0919	0.8756	1.0876
-3.5	-8.4983	-1.7742	1.1434	-10.4489	-1.8271	-10.9966	-0.2583	0.7847	1.0001
-4.0	-9.0123	-2.2788	1.0578	-11.1217	-2.3227	-11.5810	-0.4247	0.6952	0.9132
-4.5	-9.5239	-2.7826	0.9725	-11.7935	-2.8191	-12.1653	-0.5913	0.6065	0.8270
-5.0	-10.0335	-3.2858	0.8876	-12.4644	-3.3160	-12.7494	-0.7579	0.5188	0.7413
-5.5	-10.5414	-3.7885	0.8030	-13.1346	-3.8134	-13.3334	-0.9245	0.4319	0.6559
-6.0	-11.0480	-4.2906	0.7186	-13.8042	-4.3113	-13.9172	-1.0911	0.3455	0.5709
-6.5	-11.5534	-4.7924	0.6344	-14.4732	-4.8095	-14.5010	-1.2577	0.2599	0.4862
-7.0	-12.0579	-5.2939	0.5503	-15.1419	-5.3081	-15.0847	-1.4244	0.1743	0.4018
-7.5	-12.5616	-5.7952	0.4664	-15.8102	-5.8069	-15.6683	-1.5910	0.0895	0.3175
-8.0	-13.0647	-6.2962	0.3825	-16.4782	-6.3058	-16.2519	-1.7577	0.0046	0.2334
-8.5	-13.5672	-6.7970	0.2988	-17.1460	-6.8050	-16.8354	-1.9243	-0.0801	0.1494
-9.0	-14.0693	-7.2977	0.2151	-17.8136	-7.3043	-17.4189	-2.0910	-0.1641	0.0656
-9.5	-14.5711	-7.7983	0.1315	-18.4811	-7.8037	-18.0024	-2.2576	-0.2496	-0.0182

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

となる。ただし、地中部の第一零点の深さについては、係数値を除きすべて同じ形となるのでまとめて書いて。

これらの式は、地よ部のある場合の基準曲線の右上方での極限の式に相当するものであるから、 A_i や B_i などの係数値は基準曲線の上截片から定められる。しかし、実際の基準曲線の計算は有限の範囲しか行なえないから、係数 A_i や B_i などは推定によって定めるということになる。この推定をなるべく精度良く行ないたいので、一つの方法で推定するだけでなく、可能な限り多くの推定方法を考えて、それらの結果のバラツキなどを考

慮しながら最終的な係数値を定めることにする。

まず、S型地盤・C型地盤、頭部埋込・自由のすべての場合を通じて、実際に基準曲線の右上方の値から推定を行なうことが出来る。このため、特に極限勾配検討用のデータとして表-3 に示す如く杭頭水平力が非常に大きい場合の計算をしてある。実際にこのデータを使って上截片の推定値を求めたところ、表-3 に示す F の大きさの辺りでは殆んど収斂している状態であった。従来の基準杭について(31)、(32)式に示す係数値を計算した結果を表-10~13 の“右上方より”の欄に示した。

表-10 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (S型地盤, 頭部自由杭)

対象とする量	右上方より	頭部埋込杭より	久保の提案	決定値
杭頭, または地表面撓み ($y_{top}=y_0$)	2.4891×10^{-4}	2.4891×10^{-4}	2.2910×10^{-4}	2.4891×10^{-4}
杭頭, または地表面撓み角 ($i_{top}=i_0$)	1.2112×10^{-5}	1.2112×10^{-5}	1.1004×10^{-5}	1.2112×10^{-5}
地中部最大曲げモーメント	1.2318×10	1.2318×10	1.1245×10	1.2318×10
曲げモーメント第一零点の深さ (l_{m1})	1.6398×10^{-12}	1.6398×10^{-12}	5.7000×10^{-12}	1.6398×10^{-12}
撓み第一零点の深さ (l_{y1})	1.9307×10^{-11}	1.9307×10^{-11}	—	1.9307×10^{-11}
撓み角第一零点の深さ (l_{i1})	5.0319×10^{-12}	5.0319×10^{-12}	—	5.0319×10^{-12}
剪断力第一点の深さ (l_{s1})	7.8938×10^{-10}	7.8939×10^{-10}	—	7.8939×10^{-10}

表-11 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (S型地盤, 頭部埋込杭)

対象とする量	右上方より	久保の提案	決定値
杭頭, または地表面撓み ($y_{top}=y_0$)	7.0169×10^{-5}	6.2316×10^{-5}	7.0169×10^{-5}
杭頭, または地表面曲げモーメント ($M_{top}=M_0$)	1.2331×10	1.1245×10	1.2331×10
地中部最大曲げモーメント	4.0910	2.2705	4.0910
曲げモーメント第一零点の深さ (l_{m1})	1.3482×10^{-12}	5.7000×10^{-12}	1.3482×10^{-12}
撓み第一零点の深さ (l_{y1})	9.0995×10^{-12}	—	9.0995×10^{-12}
撓み角第一零点の深さ (l_{i1})	3.2757×10^{-12}	—	3.2757×10^{-12}
剪断力第一点の深さ (l_{s1})	8.8785×10^{-11}	—	8.8785×10^{-11}

表-12 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (C型地盤, 頭部自由杭)

対象とする量	右上方より	頭部埋込杭より	地中部仮想地表面より	決定値
杭頭, または地表面撓み ($y_{top}=y_0$)	8.5000×10^{-7}	8.4991×10^{-7}	8.5000×10^{-7}	8.5000×10^{-7}
杭頭, または地表面撓み角 ($i_{top}=i_0$)	2.0894×10^{-8}	2.0895×10^{-8}	2.0888×10^{-8}	2.0895×10^{-8}
地中部最大モーメント	1.5903×10	1.5904×10	1.5899×10	1.5903×10
曲げモーメント第一零点の深さ (l_{m1})	6.1723×10^{-11}	6.1723×10^{-11}	6.1716×10^{-11}	6.1723×10^{-11}
撓み第一零点の深さ (l_{y1})	7.6875×10^{-10}	7.6880×10^{-10}	7.6890×10^{-10}	7.6880×10^{-10}
撓み角第一零点の深さ (l_{i1})	1.8608×10^{-10}	1.8607×10^{-10}	1.8605×10^{-10}	1.8607×10^{-10}
剪断力第一零点の深さ (l_{s1})	1.7404×10^{-8}	1.7413×10^{-8}	1.7404×10^{-8}	1.7404×10^{-8}

表-13 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (C型地盤, 頭部埋込杭)

対象とする量	右上方より	地中部仮想地表面より	決定値
杭頭, または地表面撓み ($y_{top}=y_0$)	3.0819×10^{-7}	3.0825×10^{-7}	3.0822×10^{-7}
杭頭, または地表面曲げモーメント ($M_{top}=M_0$)	2.0269×10	2.0269×10	2.0269×10
地中部最大曲げモーメント	5.2013	5.2012	5.2013
曲げモーメント第一零点の深さ (l_{m1})	3.8544×10^{-11}	3.8542×10^{-11}	3.8543×10^{-11}
撓み第一零点の深さ (l_{y1})	2.2790×10^{-10}	2.2753×10^{-11}	2.2770×10^{-10}
撓み角第一零点の深さ (l_{i1})	8.6669×10^{-11}	8.6663×10^{-11}	8.6666×10^{-11}
剪断力第一零点の深さ (l_{s1})	1.3791×10^{-9}	1.3790×10^{-9}	1.3791×10^{-9}

次に, 実際に地表面載荷に非常に近い無次元の計算結果から直接係数値を推定することを考えた。しかし, この場合に使用するデータは実は上の“右上方より”のものと同出所が同じであるので意味を持たない。

頭部自由杭の場合には別な推定法がある。それは, 2.4の図-4で地表面がBにある場合を考えると, これは丁度頭部自由杭の場合に当たっているが, このとき頭部埋込杭はごく普通の場合であることを利用し, これから頭部自由杭の場合の係数値を定める方法である。この方法は丁度文献4)の頭部自由杭の基準曲線から頭部埋込杭の基

準曲線を作成した方法の逆に相当する。実際に計算した結果を表-10, 12の“頭部埋込杭より”の欄に示す。この方法は頭部埋込杭の係数推定には使えない。

C型地盤の場合であると, 地盤反力の形が直接深さに依存しないことを利用して地表面載荷の場合の係数値の推定を行なうことが出来る。

地盤反力が深さに依存しなければ地表面がどこにあっても良い訳であるから, 地中部で撓み角が零となっている深さに地表面があるとすれば地表面載荷の頭部埋込杭の場合であるし, 曲げモーメントの零点の深さに地表面が

あると考えれば頭部自由杭の場合ということになる。ただし、撓み角や曲げモーメントのすべての零点がそうだという訳にはいかず、その点が地表面だということから、その深さでの各量が 2.5 の表-2 に示す条件を満たしていなければならないことは無論である。この方法での係数の推定値を表-12, 13 の“地中部仮想地表面より”の欄に示した。S型地盤の場合は地盤反力が陽な形で x を含んでいるから、地表面の位置は固定されていることになりこのような方法は採れない。

久保¹³⁾はS型地盤の場合の上載片を与えているので、これから係数値を逆算し参考のために表-10, 11 の“久保の提案”の欄に示しておいた。

表-10~13 を見ると、S型地盤の頭部自由杭では二つの方法、同じ地盤の頭部埋込杭では一つの方法、C型地盤の場合は、頭部自由杭で三つの方法、頭部埋込杭で二つの方法によりそれぞれの場合の係数値を推定している。そして、複数の方法で推定したものについて見ると、いずれの場合も各方法とも非常に一致した結果を与えていることが分る。最終的な値としては“決定値”の欄に示す係数値を採用することにした。S型地盤の頭部埋込杭では一つの推定値しか与えられていないが、他の場合の推定値の一致の度合いから見て特に問題があるとも思われないので、そのまま採用することとし、図-10 13 の“決定値”の欄に記入してある。

(31), (32)式などから分る通り、これらの係数値はこのままでは次元のある量であるから、変換公式を必要となるし、何を変量とするかによって係数の値が変化するのでかなり面倒なことになる。そこで、係数値が無次元となるように(31), (32)式に相当する式を構成したものを次下に示す。以下の式の係数値は表-10~13 の“決定値”の欄に示した数値より計算したものである。また、これらの式は、地表面荷重であるため零となっている載荷高を除いて、他の変量をすべて含んでいるから、何を変量としても全く同一の計算を行なえば良いような形のものとなっている。

S型地盤、頭部自由杭の場合

$$\left. \begin{aligned} F &= 0.53369 EI^{2/3} Bk^{3/5} (y_{top} \text{ or } y_0)^{7/10} \\ F &= 1.1245 EI^{-1/8} Bk^{1/4} M_{max}^{7/8} \\ F &= 0.66788 EI^{3/9} Bk^{1/9} (i_{top} \text{ or } i_0)^{7/9} \\ F &= 1.8068 \times 10^{-4} EI^{-1} Bk^2 l_{m1}^7 \\ F &= 2.1269 \times 10^{-3} EI^{-1} Bk^2 l_{y1}^7 \\ F &= 5.5431 \times 10^{-4} EI^{-1} Bk^2 l_{t1}^7 \\ F &= 8.6958 \times 10^{-2} EI^{-1} Bk^2 l_{s1}^7 \end{aligned} \right\} \dots\dots (33)$$

上式を対数の形で書くと、

$$\left. \begin{aligned} \log F &= -0.2727 + (2/5) \log EI \\ &\quad + (3/5) \log Bk \\ &\quad + (7/10) (\log y_{top} \text{ or } y_0) \\ \log F &= 0.0510 - (1/8) \log EI \\ &\quad + (1/4) \log Bk + (7/8) \log M_{max} \\ \log F &= -0.1753 + (5/9) \log EI \\ &\quad + (4/9) \log Bk \\ &\quad + (7/9) (\log i_{top} \text{ or } i_0) \\ \log F &= 3.7431 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 7 \log l_{m1} \\ \log F &= -2.6723 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 7 \log l_{y1} \\ \log F &= -3.2562 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 7 \log l_{t1} \\ \log F &= -1.0607 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 7 \log l_{s1} \end{aligned} \right\} \dots\dots (34)$$

(33) 式の逆の形とすると、

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 = 2.4514^{-4/7} Bk^{-6/7} F^{10/7} \\ M_{max} &= 0.8745 EI^{1/7} Bk^{-3/7} F^{8/7} \\ i_{top} &= i_0 = 1.6803 EI^{-5/7} Bk^{-4/7} F^{9/7} \\ l_{m1} &= 3.4255 EI^{1/7} Bk^{-3/7} F^{1/7} \\ l_{y1} &= 2.4085 EI^{1/7} Bk^{-3/7} F^{1/7} \\ l_{t1} &= 2.9186 EI^{1/7} Bk^{-3/7} F^{1/7} \\ l_{s1} &= 1.4175 EI^{1/7} Bk^{-3/7} F^{1/7} \end{aligned} \right\} \dots\dots (34)$$

上式を対数の形で書くと、

$$\left. \begin{aligned} \log y_{top} &= \log y_0 \\ &= 0.3896 - (4/7) \log EI \\ &\quad - (6/7) \log Bk + (9/7) \log F \\ \log M_{max} &= 0.0583 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk + (8/7) \log F \\ \log i_{top} &= \log i_0 \\ &= 0.2254 - (5/7) \log EI \\ &\quad - (4/7) \log Bk + (9/7) \log F \\ \log l_{mi} &= 0.5347 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk + (1/7) \log F \\ \log l_{y1} &= 0.3818 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk + (1/7) \log F \\ \log l_{t1} &= 0.4652 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk + (1/7) \log F \\ \log l_{s1} &= 0.1515 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk + (1/7) \log F \end{aligned} \right\} \dots\dots (35)$$

S型地盤，頭部埋込杭の場合

$$\left. \begin{aligned} F &= 1.2952EI^{2/5}BK^{3/5}(y_{top} \text{ or } y_0)^{7/10} \\ F &= 1.1237EI^{-1/8}Bk^{1/4}M_{top}^{7/8} \\ F &= 2.9505EI^{-1/8}Bk^{1/4}M_{max}^{7/8} \\ F &= 1.4852 \times 10^{-4}EI^{-1}Bk^2l_{m1}^7 \\ F &= 1.0024 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{y1}^7 \\ F &= 3.6085 \times 10^{-4}EI^{-1}Bk^2l_{i1}^7 \\ F &= 9.7806 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{s1}^7 \end{aligned} \right\} \dots\dots (37)$$

上式を対数の形で書くと，

$$\left. \begin{aligned} \log F &= 0.1123 + (2/5) \log EI \\ &\quad + (3/5) \log Bk \\ &\quad + (7/10) (\log y_{top} \text{ or } y_0) \\ \log F &= 0.0506 - (1/8) \log EI \\ &\quad + (1/4) \log Bk + (7/8) \log M_{top} \\ \log F &= 0.4699 - (1/8) \log EI \\ &\quad + (1/4) \log Bk + (7/8) \log M_{max} \\ \log F &= -3.8282 - \log EI \\ &\quad + 2 \log Bk + 7 \log l_{m1} \\ \log F &= -2.9990 - \log EI \\ &\quad + 2 \log Bk + 7 \log l_{y1} \\ \log F &= -3.4427 - \log EI \\ &\quad + 2 \log Bk + 7 \log l_{i1} \\ \log F &= -2.0096 - \log EI \\ &\quad + 2 \log Bk + 7 \log l_{s1} \end{aligned} \right\} \dots\dots (38)$$

(37) 式の逆の形とすると，

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 \\ &= 0.6911EI^{-4/7}Bk^{-6/7}F^{10/7} \\ M_{top} &= 0.8752EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{8/7} \\ M_{max} &= 0.2904EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{8/7} \\ l_{m1} &= 3.5228EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{1/7} \\ l_{y1} &= 2.6818EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{1/7} \\ l_{i1} &= 3.1032EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{1/7} \\ l_{s1} &= 1.9368EI^{1/7}Bk^{-2/7}F^{1/7} \end{aligned} \right\} \dots\dots (39)$$

上式を対数の形で書くと，

$$\left. \begin{aligned} \log y_{top} &= \log y_0 \\ &= -0.1605 - (4/7) \log EI \\ &\quad - (6/7) \log Bk \\ &\quad + (10/7) \log F \\ \log M_{top} &= -0.0579 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \\ &\quad + (8/7) \log F \\ \log M_{max} &= -0.5370 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \end{aligned} \right\}$$

$$+ (8/7) \log F$$

$$\left. \begin{aligned} \log l_{m1} &= 0.5469 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \\ &\quad + (1/7) \log F \\ \log l_{y1} &= 0.4284 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \\ &\quad + (1/7) \log F \\ \log l_{i1} &= 0.4918 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \\ &\quad + (1/7) \log F \\ \log l_{s1} &= 0.2871 + (1/7) \log EI \\ &\quad - (2/7) \log Bk \\ &\quad + (1/7) \log F \end{aligned} \right\} \dots\dots (40)$$

C型地盤，頭部自由杭の場合

$$\left. \begin{aligned} F &= 0.84957EI^{1/4}Bk^{3/4}(y_{top} \text{ or } y_0)^{5/8} \\ F &= 1.7394EI^{-1/6}Bk^{1/3}M_{max}^{5/6} \\ F &= 1.0105EI^{3/7}Bk^{4/7}(i_{top} \text{ or } i_0)^{5/7} \\ F &= 1.7367 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{m1}^5 \\ F &= 2.1633 \times 10^{-2}EI^{-1}Bk^2l_{y1}^5 \\ F &= 5.2361 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{i1}^5 \\ F &= 4.8973 \times 10^{-1}EI^{-1}Bk^2l_{s1}^5 \end{aligned} \right\} \dots\dots (41)$$

上式を対数の形で書くと，

$$\left. \begin{aligned} \log F &= -0.0708 + (1/4) \log EI \\ &\quad + (3/4) \log Bk \\ &\quad + (5/8) (\log y_{top} \text{ or } y_0) \\ \log F &= -0.2404 - (1/6) \log EI \\ &\quad + (1/3) \log Bk + (5/6) \log M_{max} \\ \log F &= 0.0045 + (3/7) \log EI \\ &\quad + (4/7) \log Bk \\ &\quad + (5/7) (\log i_{top} \text{ or } i_0) \\ \log F &= -2.7603 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{m1} \\ \log F &= -1.6649 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{y1} \\ \log F &= -2.2810 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{i1} \\ \log F &= -0.3100 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{s1} \end{aligned} \right\} \dots\dots (44)$$

(41) 式の逆の形とすると，

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 \\ &= 1.2980EI^{-2/5}Bk^{-6/5}F^{8/5} \\ M_{max} &= 0.5147EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{6/5} \end{aligned} \right\}$$

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

$$\left. \begin{aligned} i_{top} &= i_0 \\ &= 0.9855EI^{-3/5}Bk^{-4/5}F^{1/5} \\ l_{m1} &= 3.5649EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{y1} &= 2.1527EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{i1} &= 2.8589EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{s1} &= 1.1535EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \end{aligned} \right\} \dots\dots (43)$$

上式を対数の形で書くと、

$$\left. \begin{aligned} \log y_{top} &= \log y_0 \\ &= 0.1133 - (2/5) \log EI \\ &\quad - (6/5) \log Bk + (8/5) \log F \\ \log M_{max} &= -0.2885 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (6/5) \log F \\ \log i_{top} &= \log i_0 \\ &= -0.0063 - (3/5) \log EI \\ &\quad - (4/5) \log Bk + (7/5) \log F \\ \log l_{m1} &= 0.5521 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{y1} &= 0.3330 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{i1} &= 0.4562 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{s1} &= 0.0620 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \end{aligned} \right\} \dots\dots (44)$$

C型地盤，頭部埋込杭の場合

$$\left. \begin{aligned} F &= 1.6017EI^{1/4}Bk^{3/4}(y_{top} \text{ or } y_0)^{5/8} \\ F &= 1.4207EI^{-1/6}Bk^{1/3}M_{top}^{5/6} \\ F &= 4.4138EI^{-1/6}Bk^{1/3}M_{max}^{5/6} \\ F &= 1.0845 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{m1}^5 \\ F &= 6.4078 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{y1}^5 \\ F &= 2.4387 \times 10^{-3}EI^{-1}Bk^2l_{i1}^5 \\ F &= 3.8806 \times 10^{-2}EI^{-1}Bk^2l_{s1}^5 \end{aligned} \right\} \dots\dots (45)$$

上式を対数の形で書くと、

$$\left. \begin{aligned} \log F &= 0.2046 + (1/4) \log EI \\ &\quad + (3/4) \log Bk \\ &\quad + (5/8)(\log y_{top} \text{ or } y_0) \\ \log F &= 0.1525 - (1/6) \log EI \\ &\quad + (1/3) \log Bk + (5/6) \log M_{top} \\ \log F &= 0.6448 - (1/6) \log EI \\ &\quad + (1/3) \log Bk + (5/6) \log M_{max} \\ \log F &= -2.9648 - \log EI \\ &\quad + 2 \log Bk + 5 \log l_{m1} \\ \log F &= -2.1933 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{y1} \end{aligned} \right\} \dots\dots (46)$$

$$\left. \begin{aligned} \log F &= -2.6128 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{i1} \\ \log F &= -1.4111 - \log EI + 2 \log Bk \\ &\quad + 5 \log l_{s1} \end{aligned} \right\}$$

(45) 式の逆の形とすると、

$$\left. \begin{aligned} y_{top} &= y_0 \\ &= 0.47064EI^{-2/5}Bk^{-6/5}F^{3/5} \\ M_{top} &= 0.65613 EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{6/5} \\ M_{max} &= 0.16836EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{6/5} \\ l_{m1} &= 3.9171EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{y1} &= 2.7457EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{i1} &= 3.3310EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \\ l_{s1} &= 1.9152EI^{1/5}Bk^{-2/5}F^{1/5} \end{aligned} \right\} \dots\dots (41)$$

上式を対数の形で書くと、

$$\left. \begin{aligned} \log y_{top} &= \log y_0 \\ &= -0.3273 - (2/5) \log EI \\ &\quad - (6/5) \log Bk + (8/5) \log F \\ \log M_{top} &= -0.1830 - (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (6/5) \log F \\ \log M_{max} &= -0.7738 + (1/5) \log EI \\ &\quad + (2/5) \log Bk + (6/5) \log F \\ \log l_{m1} &= 0.5930 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{y1} &= 0.4387 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{i1} &= 0.5226 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \\ \log l_{s1} &= 0.2822 + (1/5) \log EI \\ &\quad - (2/5) \log Bk + (1/5) \log F \end{aligned} \right\} \dots\dots (42)$$

あとがき

本報告では、計数型の電子計算機により、PHRI法における杭の静的平衡方程式である非線型な4階の常微分方程式の無次元化したものを数値積分法によって解き、新しい基準杭に対する基準曲線を作成した。

基準曲線として作成されたものの内容は大幅に増えているが、これはPHRI法がもっている応用のききにくさを多少なりとも緩和することを目的として、なるべく多くの場合を尽したいという考えから出たものである。新しく作成された基準曲線はこの他に、S型地盤・C型地盤を通じて基準杭が統一されたこと、基準曲線の数値表は従来のものに比べてほぼ一桁増えて小数点以下4桁まで有効桁が与えられたことなど、従来より使い易く

なり、精度も向上している。また、地表面載荷の場合の計算法についても、新しい計算結果に基づいた数値を与えた。

このように、基準曲線が統一された形で作成されたことにより、PHRI法はかなりすっきりした内容のものとなったが、未だ残された問題も多い。特に、計算方法なるべく単純化するための図式計算法の開発・整備、応用問題への適用方法、PHRI法の電算機プログラムの開発などは急務であると思われる。これらの問題は一部を除いて、筆者らのうちの山下・稲富などによって現在作業が進められており、近い将来成果を発表出来る段階まで来ている。

直杭の静的な場合の計算法は、このような作業により一部の、たとえば群杭効果などを除いて、殆んど完成することになるが、荷重が地震力のような動的なものの場合の計算法についてはまだまだ解決されていないことが多い。筆者らのうちの上記二人はこのような場合の問題にも着手しており、近い将来、静的動的の両者を包含した杭の横抵抗の計算法の形でまとめる予定である。

謝 辞

本報告の主題である“電算機による杭の基準曲線の作成”の作業が開始されたのは昭和40年度であるから、この作業が曲りなりにも完成するまでに五年余の歳月を費やしたことになる。この間の多くの方々の御助力なくしては、とうていこの作業の完成はおぼつかなかったものと思う。なかんずく、筆者らは故久保浩一博士に深い謝意と敬意を表したい。博士はPHRI法の創始者であり、筆者らの作業に対しても常に深い理解を示して戴いた。五年に及ぶ長期間の作業のうち、特に初期の暗闇の中を手さぐりで歩いているような状態のときに、博士の存在は大きな精神的支柱となっていた。博士の御存命のうちにこの作業の完成の日が来なかったことが唯悔まれるのみである。

また、筆者らは林聰博士に心からの謝意を表さねばならない。博士は全作業期間を通じて直接の上司として、筆者らの作業を見守っておられ、作業グループの編成から作業内容に関することまで、大きな立場から幅広く御指導と御尽力とを戴いた。特に、博士がアナログ計算機によってC型地盤の場合の基準曲線を作成された経験を生かされ、今回の作業の進行中に遭遇した数々の問題の解決に手を借して下さったことは忘れることが出来ない。

最後に、筆者らの身近かにいて、細かい作業の面で御協力を戴いた過去数年間の耐震構造研究室の方々に厚くお礼を申し上げたい。特に、同研究室の花田邦幸技官には今回の報告の図面・表などの作成をお願いした。厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 篠原登美雄・久保浩一
「杭の横抵抗に関する実験的研究(その1)」
運輸技術研究所報告, 11巻6号, 1961, 7
- 2) 久保浩一
「杭の横抵抗に関する実験的研究(その3)」
運輸技術研究所報告, 12巻2号 1962, 3
- 3) 「Hパイルの水平抵抗に関する研究」
港湾技術研究所・八幡製鉄KK, 1963, 3
- 4) 山下生比古・荒田昌潔
「C型地盤における頭部埋込杭の基準曲線」
港湾技研資料, No. 65, 1969, 3
- 5) 山下生比古
「横力を受ける杭の相似法則に関する考察」
港湾技研資料, No. 65, 1969, 3
- 6) 久保浩一
「杭の横抵抗の新しい計算法」
港湾技研報告, 2巻3号, 1964, 3
- 7) 前出文献, 1)および3)
- 8) 伊理正夫・松谷泰行
「Runge-Kutta-Gill法について」
情報処理, 8巻2号, 1967, 3
- 9) 例えば宇野利雄
「計算機のための数値計算」
朝倉書店, 応用数学力学講座 14, 150頁, 1964, 12
- 10) 前出文献 4)
- 11) 前出文献 6)
- 12) 前出文献 6)

記 号 表

- B : 杭幅 (cm)
 Bk : 地盤反力係数 ($\text{kg}/\text{cm}^{\text{m}+1.5}$)
 C_x : 基準深さ (cm)
 C_v : 基準撓み (cm)
 EI : 杭の曲げ剛性 ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2$)
 F : 杭頭水平力 (kg)
 H : 無次元の載荷高 ($=h/C_x$)
 h : 載荷高 (cm)
 i : 杭の撓み角
 i_0 : 地表面撓み角
 i_{top} : 杭頭撓み角
 k : 地盤の横抵抗常数 ($\text{kg}/\text{cm}^{\text{m}+2.5}$)
 k_c : C型地盤の横抵抗常数 ($\text{kg}/\text{cm}^{\text{m}+2.5}$)

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

k_s : S型地盤の横抵抗常数 ($\text{kg}/\text{cm}^3 \cdot \text{s}$)	
l : 地中部特性長 (cm)	
l_{s1} : 撓み角の第一零点の地表面からの深さ (cm)	図-1 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 1)
l_{m1} : 曲げモーメントの第一零点の地表面からの深さ (cm)	図-2 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 2)
l_{s1} : 剪断力の第一零点の地表面からの深さ (cm)	図-3 撓み曲線の模式図
l_{y1} : 撓みの第一零点の地表面からの深さ (cm)	図-4 杭の変形などのパターン
M : 曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)	図-5 初期条件の平面
M_{\max} : 地中部最大曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)	図-6(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
M_0 : 地表面曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)	図-6(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)
M_{top} : 杭頭曲げモーメント ($\text{kg} \cdot \text{cm}$)	図-6(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{\max}$)
m : 無次元の定数, S型地盤では零, C型地盤では 1	図-6(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤頭部自由杭, $\log F - \log i_0$)
P : 単位長さ当りの杭面に作用する地盤反力 (kg/cm)	図-6(e) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log l_{m1}$)
Q : 無次元の平衡方程式における地盤反力係数	図-7(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
R_{Bk} : 数基準杭の地盤反力係数に対する原型杭のそのの比	図-7(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_0$)
R_{BI} : 基準杭の曲げ剛性に対する原型杭のそのの比	図-7(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\text{top}}$)
R_F : 基準杭の杭頭水平力に対する原型杭のそのの比	図-7(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\max}$)
R_h : 基準杭の載荷高に対する原型杭のそのの比	図-7(e) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log i_0$)
R_i : 基準杭の撓み角に対する原型杭のそのの比	図-7(f) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log l_{m1}$)
R_l : 基準杭の l_{m1} など地中部特性長に対する原型杭のそのの比	図-8(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)
R_M : 基準杭の曲げモーメントに対する原型杭のそのの比	図-8(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{\max}$)
R_s : 基準杭の剪断力に対する原型杭のそのの比	図-8(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log i_0$)
R_y : 基準杭の撓みに対する原型杭のそのの比	図-8(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log l_{m1}$)
S : 剪断力 (kg)	図-9(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
S_0 : 地表面剪断力, 常に杭頭水平力に等しい (kg)	図-9(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_0$)
S_{top} : 杭頭剪断力 (kg)	
X : 無次元の深さ, または高さ ($=x/C_x$)	
x : 地表面からの深さ, または杭下端からの深さ (cm)	
Y : 無次元の撓み ($=y/C_y$)	
Y_{\max} : 無次元の地中部最大撓み	
Y_0 : 無次元の地表面撓み	
Y_0' : 無次元の地表面撓み角	
Y_0'' : 無次元の地表面曲げモーメント	
Y_0''' : 無次元の地表面剪断力, またはその符号の変わったもの	
y : 撓み (cm)	
y_0 : 地表面撓み (cm)	
y_{top} : 杭頭撓み (cm)	

図面の標題

- 図-1 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 1)
- 図-2 座標系のとり方と曲げモーメント・剪断力の符号の約束 (その 2)
- 図-3 撓み曲線の模式図
- 図-4 杭の変形などのパターン
- 図-5 初期条件の平面
- 図-6(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
- 図-6(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)
- 図-6(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{\max}$)
- 図-6(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤頭部自由杭, $\log F - \log i_0$)
- 図-6(e) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log l_{m1}$)
- 図-7(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
- 図-7(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_0$)
- 図-7(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\text{top}}$)
- 図-7(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{\max}$)
- 図-7(e) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log i_0$)
- 図-7(f) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (S型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log l_{m1}$)
- 図-8(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log y_0$)
- 図-8(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log M_{\max}$)
- 図-8(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log i_0$)
- 図-8(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部自由杭, $\log F - \log l_{m1}$)
- 図-9(a) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_{\text{top}}$)
- 図-9(b) 計算結果と従来の基準曲線との比較 (C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log y_0$)

- 図-9(c) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log M_{top}$)
- 図-9(d) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭 $\log F - \log M_{max}$)
- 図-9(e) 計算結果と従来の基準曲線との比較
(C型地盤, 頭部埋込杭, $\log F - \log l_{m1}$)

表 の 標 題

- 表- 1 地表面の諸量と物理的に有意の解の存否
- 表- 2 図-5 の各領域における蛇行回数と解の有無
- 表- 3 基準曲線の計算方法
- 表- 4 計算の内容と計算時間
- 表- 5 基準杭の諸元
- 表- 6 杭頭水平力を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)
- 表- 7 杭頭水平力を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表- 8 杭頭水平力を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)
- 表- 9 杭頭水平力を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-10 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (S型地盤, 頭部自由杭)
- 表-11 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-12 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (C型地盤, 頭部自由杭)
- 表-13 地表面載荷の場合の係数推定値の一覧 (C型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-A・1 杭頭変位を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)

- 表-A・2 杭頭変位を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-A・3 杭頭変位を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)
- 表-A・4 杭頭変位を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-B・1 載荷高を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)
- 表-B・2 載荷高を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-B・3 載荷高を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)
- 表-B・4 載荷高を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-C・1 曲げ剛性を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)
- 表-C・2 曲げ剛性を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-C・3 曲げ剛性を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)
- 表-C・4 曲げ剛性を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-D・1 地盤反力係数を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)
- 表-D・2 地盤反力係数を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)
- 表-D・3 地盤反力係数を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)
- 表-D・4 地盤反力係数を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)

(1971.12.26 受付)

附録 A 杭頭撓み y_{top} を変量とする場合

変換公式

$$R_y = R_h^{2m+8} R_{EI}^{-2} R_{Bk}^3$$

$$R_i = R_h^{2m+7} R_{EI}^{-2} R_{Bk}^3$$

$$R_M = R_h^{2m+6} R_{EI}^{-1} R_{Bk}^3$$

$$R_F = R_h^{2m+5} R_{EI}^{-1} R_{Bk}^3$$

$$R_t = R_h$$

変換公式の対数表示

$$\log R_y = (2m+8) \log R_h - 2 \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_i = (2m+7) \log R_h - 2 \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_M = (2m+6) \log R_h - \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_F = (2m+5) \log R_h - \log R_{EI} + 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_t = \log R_h$$

基準杭の諸元

		備 考
載 荷 高 h	100 cm	
曲 げ 剛 性 EI	$10^{10} \text{ kg} \cdot \text{cm}^3$	
地盤反力係数 Bk	C 型地盤: $100 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=2 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5} (N=9\sim 10)$
	S 型地盤: $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=0.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3.5} (\bar{N}=4\sim 5)$

表-A・1 杭頭変位を变量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

杭頭 たわみ	杭水平 頭力	地中部最 大曲げモ ーメント	モーメント 第一零点 の深さ	地表面 たわみ	杭頭 たわみ角	地表面 たわみ角	剪断力 第一零点 の深さ	たわみ 第一零点 の深さ	たわみ角 第一零点 の深さ
$\log y_{top}$	$\log F$	$\log M_{max}$	$\log l_{m1}$	$\log y_0$	$\log i_{top}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{y1}$	$\log l_{i1}$
19	17.0216	20.8283	4.3950	18.9964	14.9738	14.9738	4.0104	4.2415	4.3253
18	16.3193	20.0275	4.2947	17.9949	14.0733	14.0733	3.9095	4.1411	4.2249
17	15.6170	19.2268	4.1943	16.9935	13.1728	13.1728	3.8086	4.0408	4.1245
16	14.9143	18.4259	4.0940	15.9918	12.2723	12.2722	3.7076	3.9403	4.0241
15	14.2110	17.6249	3.9935	14.9897	11.3716	11.3714	3.6063	3.8396	3.9236
14	13.5067	16.8235	3.8929	13.9870	10.4707	10.4705	3.5047	3.7387	3.8229
13	12.8014	16.0217	3.7922	12.9836	9.5696	9.5692	3.4027	3.6377	3.7220
12	12.0947	15.2195	3.6912	11.9793	8.6681	8.6676	3.3001	3.5364	3.6209
11	11.3863	14.4168	3.5901	10.9739	7.7663	7.7654	3.1969	3.4348	3.5196
10	10.6757	13.6132	3.4886	9.9671	6.8640	6.8626	3.0929	3.3328	3.4179
9	9.9625	12.8087	3.3868	8.9584	5.9611	5.9589	2.9879	3.2303	3.3158
8	9.2459	12.0030	3.2845	7.9475	5.0573	5.0539	2.8817	3.1272	3.2132
7	8.5251	11.1957	3.1817	6.9337	4.1525	4.1473	2.7739	3.0232	3.1099
6	7.7992	10.3864	3.0783	5.9163	3.2463	3.2385	2.6643	2.9185	3.0060
5	7.0670	9.5745	2.9741	4.8943	2.3384	2.3266	2.5523	2.8126	2.9011
4	6.3270	8.7593	2.8689	3.8666	1.4282	1.4107	2.4376	2.7055	2.7951
3	5.5776	7.9399	2.7626	2.8317	0.5153	0.4894	2.3195	2.5970	2.6879
2	4.8170	7.1151	2.6551	1.7881	-0.4012	-0.4387	2.1975	2.4867	2.5793
1	4.0431	6.2835	2.5461	0.7340	-1.3220	-1.3755	2.0711	2.3746	2.4691
0	3.2539	5.4437	2.4356	-0.3326	-2.2480	-2.3231	1.9395	2.2607	2.3572
-1	2.4474	4.5939	2.3234	-1.4136	-3.1799	-3.2834	1.8022	2.1446	2.2435
-2	1.6221	3.7325	2.2096	-2.5105	-4.1186	-4.2583	1.6590	2.0266	2.1280
-3	0.7766	2.8580	2.0941	-3.6245	-5.0644	-5.2493	1.5096	1.9069	2.0108
-4	-0.0892	1.9695	1.9770	-4.7563	-6.0175	-6.2570	1.3541	1.7855	1.8921
-5	-0.9752	1.0663	1.8584	-5.9056	-6.9779	-7.2817	1.1929	1.6630	1.7719
-6	-1.8801	0.1488	1.7386	-7.0715	-7.9451	-8.3226	1.0263	1.5393	1.6507
-7	-2.8022	-0.7825	1.6177	-8.2525	-8.9183	-9.3784	0.8552	1.4151	1.5285
-8	-3.7394	-1.7261	1.4959	-9.4470	-9.8969	-10.4475	0.6801	1.2905	1.4056
-9	-4.6896	-2.6807	1.3733	-10.6528	-10.8800	-11.5279	0.5018	1.1655	1.2822
-10	-5.6505	-3.6446	1.2502	-11.8681	-11.8667	-12.6179	0.3210	1.0404	1.1583
-11	-6.6201	-4.6162	1.1267	-13.0912	-12.8565	-13.7156	0.1382	0.9153	1.0342
-12	-7.5967	-5.5941	1.0028	-14.3205	-13.8486	-14.8196	-0.0461	0.7901	0.9098
-13	-8.5787	-6.5771	0.8786	-15.5545	-14.8426	-15.9284	-0.2315	0.6649	0.7852
-14	-9.5648	-7.5637	0.7543	-16.7922	-15.8379	-17.0409	-0.4177	0.5401	0.6606
-15	-10.5514	-8.5509	0.6299	-18.0303	-16.8334	-18.1539	-0.6040	0.4156	0.5359
-16	-11.5381	-9.5382	0.5055	-19.2685	-17.8290	-19.2669	-0.7903	0.2911	0.4113

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-A・2 杭頭変位を变量とする基準曲線(S型地盤頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

杭頭 たわみ	杭水平 力	杭頭 曲げモー メント	モーメント 第一零点 の深さ	地表面 たわみ	地中部最 大曲げモー メント	地表面 たわみ角	剪断力 第一零点 の深さ	たわみ 第一零点 の深さ	たわみ角 第一零点 の深さ
$\log y_{top}$	$\log F$	$\log M_{top}$	$\log l_{m1}$	$\log y_0$	$\log M_{max}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{y1}$	$\log l_{i1}$
19	17.4087	21.2688	4.4622	19.0000	20.7904	13.2665	4.2017	4.3435	4.4071
18	16.7068	20.4679	4.3619	18.0000	19.9899	12.4644	4.1010	4.2430	4.3067
17	16.0050	19.6670	4.2615	16.9999	19.1895	11.6623	4.0002	4.1425	4.2062
16	15.3030	18.8661	4.1611	15.9998	18.3890	10.8601	3.8995	4.0420	4.1058
15	14.6006	18.0649	4.0607	14.9998	17.5884	10.0574	3.7985	3.9414	4.0053
14	13.8975	17.2634	3.9601	13.9996	16.7876	9.2540	3.6973	3.8406	3.9046
13	13.1937	16.4616	3.8594	12.9994	15.9866	8.4497	3.5958	3.7397	3.8038
12	12.4888	15.6592	3.7584	11.9990	15.1854	7.6443	3.4939	3.6384	3.7027
11	11.7827	14.8562	3.6573	10.9985	14.3838	6.8375	3.3915	3.5368	3.6014
10	11.0750	14.0524	3.5558	9.9976	13.5818	6.0289	3.2885	3.4349	3.4997
9	10.3654	13.2476	3.4540	8.9963	12.7793	5.2181	3.1847	3.3324	3.3976
8	9.6531	12.4414	3.3517	7.9943	11.9761	4.4045	3.0799	3.2294	3.2950
7	8.9377	11.6335	3.2489	6.9912	11.1721	3.5874	2.9739	3.1255	3.1917
6	8.2183	10.8233	3.1453	5.9865	10.3670	2.7658	2.8663	3.0207	3.0876
5	7.4938	10.0103	3.0409	4.9795	9.5605	1.9385	2.7568	2.9146	2.9825
4	6.7630	9.1935	2.9355	3.9692	8.7521	1.1043	2.6449	2.8072	2.8762
3	6.0243	8.3719	2.8287	2.9542	7.9414	0.2614	2.5300	2.6980	2.7685
2	5.2759	7.5442	2.7205	1.9327	7.1276	-0.5923	2.4114	2.5868	2.6590
1	4.5156	6.7088	2.6106	0.9025	6.3098	-1.4591	2.2884	2.4732	2.5475
0	3.7411	5.8639	2.4988	-0.1389	5.4867	-2.3415	2.1602	2.3569	2.4338
-1	2.9499	5.0078	2.3849	-1.1942	4.6566	-3.2422	2.0260	2.2378	2.3178
-2	2.1398	4.1386	2.2690	-2.2661	3.8177	-4.1636	1.8852	2.1158	2.1994
-3	1.3090	3.2551	2.1511	-3.3566	2.9678	-5.1076	1.7374	1.9913	2.0788
-4	0.4564	2.3563	2.0314	-4.4673	2.1047	-6.0751	1.5826	1.8647	1.9563
-5	-0.4179	1.4423	1.9103	-5.5983	1.2267	-7.0662	1.4212	1.7364	1.8323
-6	-1.3130	0.5139	1.7880	-6.7490	0.3329	-8.0795	1.2537	1.6073	1.7073
-7	-2.2271	-0.4278	1.6648	-7.9177	-0.5768	-9.1134	1.0812	1.4777	1.5816
-8	-3.1581	-1.3811	1.5411	-9.1024	-1.5019	-10.1652	0.9044	1.3482	1.4557
-9	-4.1033	-2.3441	1.4169	-10.3007	-2.4407	-11.2322	0.7243	1.2192	1.3296
-10	-5.0604	-3.3152	1.2925	-11.5102	-3.3915	-12.3118	0.5417	1.0907	1.2036
-11	-6.0271	-4.2929	1.1679	-12.7288	-4.3526	-13.4016	0.3572	0.9627	1.0777
-12	-7.0014	-5.2757	1.0431	-13.9546	-5.3221	-14.4995	0.1713	0.8353	0.9520
-13	-7.9818	-6.2626	0.9183	-15.1861	-6.2984	-15.6038	-0.0155	0.7084	0.8263
-14	-8.9669	-7.2526	0.7935	-16.4220	-7.2801	-16.7130	-0.2030	0.5819	0.7009
-15	-9.9555	-8.2450	0.6685	-17.6613	-8.2660	-17.8260	-0.3908	0.4556	0.5755
-16	-10.9451	-9.2380	0.5436	-18.9015	-9.2531	-18.9400	-0.5788	0.3293	0.4501

表-A・3 杭頭変位を变量とする基準(C型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

杭頭 たわみ	杭水平 力	地中部最 大曲げモ ーメント	モーメント 第一零点 の深さ	地表面 たわみ	杭頭 たわみ角	地表面 たわみ角	剪断力 第一零点 の深さ	たわみ 第一零点 の深さ	たわみ角 第一零点 の深さ
$\log y_{top}$	$\log F$	$\log M_{max}$	$\log l_{m1}$	$\log y_0$	$\log t_{top}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{y1}$	$\log l_{i1}$
20	16.4277	20.6267	5.0375	19.9989	15.3946	15.3946	4.5467	4.8187	4.9416
19	15.8021	19.8767	4.9124	18.9986	14.5196	14.5196	4.4212	4.6929	4.8164
18	15.1764	19.1267	4.7872	17.9981	13.6446	13.6446	4.2957	4.5677	4.6912
17	14.5504	18.3766	4.6620	16.9974	12.7696	12.7696	4.1699	4.4424	4.5659
16	13.9242	17.6266	4.5367	15.9966	11.8946	11.8946	4.0440	4.3167	4.4405
15	13.2975	16.8766	4.4112	14.9954	11.0196	11.0196	3.9177	4.1912	4.3150
14	12.6702	16.1266	4.2857	13.9939	10.1446	10.1445	3.7910	4.0652	4.1893
13	12.0421	15.3766	4.1599	12.9918	9.2695	9.2694	3.6637	3.9390	4.0634
12	11.4131	14.6265	4.0340	11.9891	8.3945	8.3942	3.5356	3.8125	3.9371
11	10.7827	13.8764	3.9077	10.9854	7.5193	7.5189	3.4065	3.6852	3.8105
10	10.1505	13.1262	3.7809	9.9804	6.6441	6.6434	3.2761	3.5575	3.6834
9	9.5158	12.3758	3.6536	8.9737	5.7687	5.7675	3.1439	3.4287	3.5555
8	8.8780	11.6252	3.5256	7.9647	4.8930	4.8909	3.0093	3.2986	3.4268
7	8.2358	10.8741	3.3967	6.9525	4.0168	4.0132	2.8716	3.1671	3.2968
6	7.5879	10.1221	3.2665	5.9358	3.1398	3.1336	2.7297	3.0335	3.1654
5	6.9323	9.3688	3.1347	4.9132	2.2614	2.2511	2.5826	2.8971	3.0320
4	6.2667	8.6130	3.0011	3.8824	1.3808	1.3637	2.4284	2.7578	2.8963
3	5.5878	7.8534	2.8650	2.8404	0.4968	0.4691	2.2655	2.6145	2.7576
2	4.8918	7.0874	2.7262	1.7837	-0.3924	-0.4363	2.0914	2.4669	2.6155
1	4.1741	6.3117	2.5841	0.7077	-1.2887	-1.3569	1.9039	2.3139	2.4696
0	3.4305	5.5223	2.4385	-0.3919	-2.1944	-2.2972	1.7007	2.1559	2.3198
-1	2.6563	4.7143	2.2893	-1.5196	-3.1117	-3.2623	1.4800	1.9930	2.1659
-2	1.8485	3.8833	2.1366	-2.6783	-4.0420	-4.2557	1.2408	1.8258	2.0085
-3	1.0065	3.0263	1.9808	-3.8686	-4.9855	-5.2788	0.9835	1.6560	1.8481
-4	0.1318	2.1426	1.8223	-5.0890	-5.9415	-6.3310	0.7094	1.4848	1.6855
-5	-0.7718	1.2338	1.6617	-6.3358	-6.9081	-7.4091	0.4210	1.3131	1.5215
-6	-1.6997	0.3031	1.4994	-7.6047	-7.8834	-8.5093	0.1208	1.1419	1.3565
-7	-2.6471	-0.6457	1.3359	-8.8911	-8.8656	-9.6273	-0.1885	0.9714	1.1908
-8	-3.6093	-1.6087	1.1715	-10.1908	-9.8529	-10.7590	-0.5047	0.8016	1.0248
-9	-4.5828	-2.5824	1.0064	-11.5004	-10.8439	-11.9009	-0.8261	0.6329	0.8586
-10	-5.5641	-3.5640	0.8408	-12.8171	-11.8377	-13.0503	-1.1511	0.4643	0.6922
-11	-6.5512	-4.5511	0.6749	-14.1390	-12.8334	-14.2049	-1.4786	0.2969	0.5257
-12	-7.5423	-5.5422	0.5088	-15.4644	-13.8304	-15.3632	-1.8080	0.1294	0.3592
-13	-8.5361	-6.5361	0.3424	-16.7923	-14.8283	-16.5242	-2.1386	-0.0379	0.1926
-14	-9.5317	-7.5317	0.1760	-18.1216	-15.8268	-17.6867	-2.4699	-0.2064	0.0260
-15	-10.5273	-8.5273	0.0096	-19.4511	-16.8254	-18.8493	-2.8012	-0.3756	-0.1406

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-A・4 杭頭変位を变量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

杭頭 たわみ	杭水平 頭力	杭頭 曲げモー メント	モーメント 第一零点 の深さ	地表面 たわみ	地中部最 大曲げモー メント	地表面 たわみ角	剪断力 第一零点 の深さ	たわみ 第一零点 の深さ	たわみ角 第一零点 の深さ
$\log \gamma_{top}$	$\log F$	$\log M_{top}$	$\log l_{m1}$	$\log \gamma_0$	$\log M_{max}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{\gamma 1}$	$\log l_{i1}$
20	16.7037	21.0625	5.1335	20.0000	20.4717	13.0615	4.8225	4.9791	5.0631
19	16.0784	20.3125	5.0084	19.0000	19.7217	12.3112	4.6973	4.8538	4.9380
18	15.4531	19.5625	4.8833	18.0000	18.9717	11.5618	4.5720	4.7286	4.8128
17	14.8275	18.8125	4.7581	17.0000	18.2217	10.8101	4.4465	4.6033	4.6876
16	14.2018	18.0625	4.6328	16.0000	17.4717	10.0594	4.3210	4.4780	4.5623
15	13.5759	17.3124	4.5075	15.0000	16.7217	9.3084	4.1954	4.3525	4.4369
14	12.9497	16.5624	4.3821	13.9999	15.9717	8.5571	4.0695	4.2268	4.3114
13	12.3231	15.8124	4.2565	12.9999	15.2217	7.8053	3.9432	4.1011	4.1857
12	11.6959	15.0623	4.1307	11.9998	14.4717	7.0528	3.8166	3.9749	4.0597
11	11.0680	14.3121	4.0046	10.9996	13.7217	6.2996	3.6893	3.8483	3.9334
10	10.4391	13.5619	3.8782	9.9992	12.9717	5.5452	3.5614	3.7212	3.8068
9	9.8088	12.8114	3.7512	8.9986	12.2217	4.7893	3.4324	3.5936	3.6795
8	9.1766	12.0607	3.6237	7.9976	11.4717	4.0313	3.3020	3.4648	3.5515
7	8.5420	11.3093	3.4952	6.9958	10.7217	3.2705	3.1698	3.3349	3.4224
6	7.9038	10.5570	3.3656	5.9927	9.9717	2.5058	3.0350	3.2032	3.2919
5	7.2608	9.8029	3.2344	4.9873	9.2217	1.7355	2.8966	3.0690	3.1596
4	6.6113	9.0462	3.1012	3.9783	8.4716	0.9580	2.7535	2.9319	3.0248
3	5.9525	8.2848	2.9652	2.9631	7.7213	0.1698	2.6036	2.7907	2.8866
2	5.2807	7.5162	2.8256	1.9383	6.9706	-0.6331	2.4446	2.6437	2.7442
1	4.5915	6.7366	2.6817	0.8989	6.2183	-1.4559	2.2732	2.4900	2.5963
0	3.8788	5.9412	2.5327	-0.1617	5.4625	-2.3054	2.0856	2.3276	2.4422
-1	3.1364	5.1246	2.3785	-1.2505	4.6985	-3.1886	1.8783	2.1565	2.2815
-2	2.3586	4.2822	2.2195	-2.3737	3.9194	-4.1116	1.6487	1.9767	2.1149
-3	1.5420	3.4112	2.0569	-3.5350	3.1165	-5.0779	1.3965	1.7915	1.9441
-4	0.6872	2.5122	1.8920	-4.7336	2.2829	-6.0864	1.1237	1.6034	1.7712
-5	-0.2020	1.5885	1.7261	-5.9653	1.4164	-7.1327	0.8343	1.4159	1.5981
-6	-1.1200	0.6444	1.5596	-7.2242	0.5187	-8.2103	0.5320	1.2312	1.4257
-7	-2.0605	-0.3154	1.3930	-8.5038	-0.4052	-9.3124	0.2204	1.0498	1.2545
-8	-3.0180	-1.2868	1.2264	-9.7991	-1.3501	-10.4329	-0.0979	0.8723	1.0844
-9	-3.9880	-2.2667	1.0598	-11.1056	-2.3109	-11.5670	-0.4208	0.6973	0.9153
-10	-4.9671	-3.2527	0.8932	-12.4203	-3.2833	-12.7110	-0.7469	0.5245	0.7469
-11	-5.9526	-4.2431	0.7266	-13.7407	-4.2641	-13.8619	-1.0753	0.3537	0.5790
-12	-6.9426	-5.2364	0.5600	-15.0651	-5.2508	-15.0176	-1.4052	0.1842	0.4115
-13	-7.9357	-6.2318	0.3933	-16.3923	-6.2417	-16.1768	-1.7363	0.0154	0.2442
-14	-8.9310	-7.2286	0.2267	-17.7215	-7.2354	-17.3383	-2.0680	-0.1524	0.0772
-15	-9.9274	-8.2262	0.0600	-19.0515	-8.2306	-18.5011	-2.4000	-0.3228	-0.0898

附録 B 載荷高 h を変量とする場合

変換公式

$$R_y = R_F^{2m+8/2m+5} R_{EI}^{-(2m+2)/2m+5} R_{Bk}^{-6/2m+5}$$

$$R_i = R_F^{2m+7/2m+5} R_{EI}^{-(2m+3)/2m+5} R_{Bk}^{-4/2m+5}$$

$$R_M = R_F^{2m+6/2m+5} R_{EI}^{1/2m+5} R_{Bk}^{-2/2m+5}$$

$$R_h = R_F^{1/2m+5} R_{EI}^{1/2m+5} R_{Bk}^{-2/2m+5}$$

$$R_t = R_h$$

変換公式の対数表示

$$\log R_y = \frac{2m+8}{2m+5} \log R_F - \frac{2m+2}{2m+5} \log R_{EI} - \frac{6}{2m+5} \log R_{Bk}$$

$$\log R_i = \frac{2m+7}{2m+5} \log R_F - \frac{2m+3}{2m+5} \log R_{EI} - \frac{4}{2m+5} \log R_{Bk}$$

$$\log R_M = \frac{2m+6}{2m+5} \log R_F + \frac{1}{2m+5} \log R_{EI} - \frac{2}{2m+5} \log R_{Bk}$$

$$\log R_h = \frac{1}{2m+5} \log R_F + \frac{1}{2m+5} \log R_{EI} - \frac{2}{2m+5} \log R_{Bk}$$

$$\log R_t = \log R_h$$

基準杭の諸元

		備 考
曲げ剛性 EI	$10^{10} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$	
地盤反力係数 Bk	C型地盤: $100 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=2 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5} (N=9\sim 10)$
	S型地盤: $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=0.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3.5} (\bar{N}=4\sim 5)$
杭頭水平力 F	10^4 kg	

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-B・1 載荷高を变量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

載荷高 log h	杭 頭 た わ み log y _{top}	地中部最 大曲げモ ーメント log M _{max}	モーメント 第一零点 の 深 さ log l _{m1}	地 表 面 た わ み log y ₀	杭 頭 た わ み 角 log i _{top}	地 表 面 た わ み 角 log i ₀	剪 断 力 第一零点 の 深 さ log l _{s1}	た わ み 第一零点 の 深 さ log l _{v1}	た わ み 角 第一零点 の 深 さ log l _{i1}
4.0	5.5589	8.0008	2.6994	2.6617	1.7230	0.4682	1.5001	2.4852	2.6056
3.9	5.2683	7.9012	2.6876	2.5401	1.5292	0.3578	1.5323	2.4735	2.5940
3.8	4.9784	7.8017	2.6759	2.4188	1.3359	0.2476	1.5644	2.4623	2.5826
3.7	4.6906	7.7022	2.6644	2.2982	1.1440	0.1378	1.5966	2.4514	2.5713
3.6	4.4055	7.6030	2.6531	2.1786	0.9539	0.0287	1.6288	2.4408	2.5602
3.5	4.1234	7.5041	2.6420	2.0601	0.7658	-0.0797	1.6608	2.4308	2.5495
3.4	3.8453	7.4055	2.6311	1.9431	0.5803	-0.1873	1.6928	2.4210	2.5391
3.3	3.5717	7.3075	2.6207	1.8277	0.3978	-0.2937	1.7246	2.4119	2.5291
3.2	3.3035	7.2101	2.6106	1.7143	0.2188	-0.3989	1.7562	2.4035	2.5197
3.1	3.0418	7.1136	2.6010	1.6032	0.0441	-0.5025	1.7875	2.3957	2.5107
3.0	2.7877	7.0182	2.5919	1.4949	-0.1257	-0.6043	1.8183	2.3886	2.5025
2.9	2.5424	6.9243	2.5834	1.3899	-0.2897	-0.7039	1.8485	2.3826	2.4949
2.8	2.3074	6.8323	2.5755	1.2886	-0.4471	-0.8010	1.8780	2.3774	2.4881
2.7	2.0840	6.7428	2.5684	1.1916	-0.5970	-0.8950	1.9066	2.3733	2.4821
2.6	1.8738	6.6563	2.5621	1.0996	-0.7384	-0.9855	1.9341	2.3701	2.4770
2.5	1.6779	6.5735	2.5565	1.0129	-0.8705	-1.0720	1.9602	2.3680	2.4727
2.4	1.4978	6.4950	2.5518	0.9322	-0.9927	-1.1539	1.9848	2.3667	2.4694
2.3	1.3341	6.4217	2.5478	0.8579	-1.1042	-1.2309	2.0075	2.3662	2.4668
2.2	1.1874	6.3540	2.5446	0.7902	-1.2048	-1.3024	2.0284	2.3665	2.4649
2.1	1.0578	6.2925	2.5420	0.7294	-1.2943	-1.3680	2.0472	2.3673	2.4637
2.0	0.9448	6.2374	2.5401	0.6755	-1.3730	-1.4275	2.0639	2.3683	2.4630
1.9	0.8476	6.1888	2.5386	0.6282	-1.4412	-1.4808	2.0786	2.3697	2.4626
1.8	0.7650	6.1466	2.5375	0.5873	-1.4998	-1.5280	2.0912	2.3712	2.4625
1.7	0.6956	6.1104	2.5367	0.5524	-1.5493	-1.5691	2.1020	2.3727	2.4626
1.6	0.6379	6.0797	2.5361	0.5228	-1.5910	-1.6046	2.1111	2.3740	2.4628
1.5	0.5902	6.0540	2.5357	0.4981	-1.6256	-1.6348	2.1187	2.3752	2.4631
1.4	0.5512	6.0327	2.5354	0.4776	-1.6541	-1.6603	2.1249	2.3763	2.4634
1.3	0.5193	6.0152	2.5352	0.4606	-1.6775	-1.6816	2.1301	2.3773	2.4636
1.2	0.4935	6.0008	2.5351	0.4468	-1.6966	-1.6993	2.1343	2.3781	2.4639
1.1	0.4727	5.9891	2.5350	0.4355	-1.7120	-1.7138	2.1377	2.3788	2.4641
1.0	0.4560	5.9797	2.5349	0.4263	-1.7245	-1.7257	2.1405	2.3793	2.4643
0.9	0.4425	5.9721	2.5349	0.4190	-1.7345	-1.7353	2.1427	2.3798	2.4645
0.8	0.4318	5.9660	2.5348	0.4130	-1.7426	-1.7431	2.1445	2.3802	2.4646
0.7	0.4231	5.9610	2.5348	0.4083	-1.7491	-1.7494	2.1459	2.3805	2.4647
0.6	0.4163	5.9571	2.5348	0.4045	-1.7542	-1.7544	2.1470	2.3807	2.4648
0.5	0.4108	5.9540	2.5348	0.4014	-1.7584	-1.7585	2.1480	2.3809	2.4649
0.4	0.4064	5.9515	2.5348	0.3989	-1.7617	-1.7618	2.1487	2.3811	2.4649
0.3	0.4029	5.9495	2.5348	0.3970	-1.7643	-1.7644	2.1493	2.3812	2.4650
0.2	0.3997	5.9476	2.5348	0.3952	-1.7668	-1.7668	2.1498	2.3812	2.4650
0.1	0.3965	5.9457	2.5348	0.3934	-1.7692	-1.7692	2.1503	2.3813	2.4651
0.0	0.3932	5.9439	2.5347	0.3916	-1.7717	-1.7716	2.1509	2.3813	2.4651

表-B-2 載荷高を变量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

載荷高 log h	杭頭 たわみ log y_{top}	杭頭 曲げモー メント log M_{top}	モーメント 第一零点 の深さ log l_{m1}	地表面 たわみ log y_0	地中部最 大曲げモー メント log M_{max}	地表面 たわみ角 log i_0	剪断力 第一零点 の深さ log l_{s1}	たわみ 第一零点 の深さ log l_{y1}	たわみ角 第一零点 の深さ log l_{i1}
4.0	4.9550	7.7103	2.6629	2.2829	7.6896	0.1239	1.6007	2.4499	2.5698
3.9	4.6627	7.6129	2.6513	2.1603	7.5878	0.0119	1.6337	2.4392	2.5586
3.8	4.3720	7.5160	2.6399	2.0381	7.4856	-0.0999	1.6668	2.4289	2.5475
3.7	4.0832	7.4197	2.6287	1.9166	7.3831	-0.2117	1.7001	2.4189	2.5368
3.6	3.7970	7.3243	2.6178	1.7958	7.2803	-0.3232	1.7335	2.4095	2.5265
3.5	3.5138	7.2298	2.6072	1.6760	7.1770	-0.4345	1.7669	2.4007	2.5165
3.4	3.2341	7.1365	2.5971	1.5572	7.0732	-0.5457	1.8005	2.3926	2.5072
3.3	2.9588	7.0446	2.5874	1.4398	6.9691	-0.6565	1.8341	2.3854	2.4984
3.2	2.6888	6.9544	2.5782	1.3240	6.8646	-0.7670	1.8677	2.3791	2.4904
3.1	2.4249	6.8662	2.5697	1.2100	6.7599	-0.8770	1.9012	2.3740	2.4832
3.0	2.1686	6.7804	2.5620	1.0984	6.6551	-0.9867	1.9345	2.3701	2.4769
2.9	1.9211	6.6974	2.5551	0.9893	6.5507	-1.0958	1.9674	2.3675	2.4717
2.8	1.6838	6.6175	2.5491	0.8834	6.4470	-1.2043	1.9997	2.3663	2.4676
2.7	1.4586	6.5414	2.5442	0.7811	6.3448	-1.3121	2.0312	2.3666	2.4647
2.6	1.2469	6.4694	2.5403	0.6829	6.2450	-1.4193	2.0616	2.3682	2.4630
2.5	1.0505	6.4020	2.5375	0.5893	6.1486	-1.5257	2.0906	2.3711	2.4625
2.4	0.8707	6.3397	2.5357	0.5009	6.0570	-1.6313	2.1178	2.3751	2.4631
2.3	0.7087	6.2828	2.5349	0.4183	5.9714	-1.7362	2.1429	2.3798	2.4645
2.2	0.5650	6.2314	2.5348	0.3418	5.8930	-1.8403	2.1656	2.3850	2.4666
2.1	0.4397	6.1857	2.5352	0.2717	5.8225	-1.9438	2.1858	2.3905	2.4691
2.0	0.3321	6.1456	2.5361	0.2083	5.7607	-2.0466	2.2034	2.3958	2.4718
1.9	0.2409	6.1108	2.5373	0.1516	5.7072	-2.1489	2.2185	2.4007	2.4745
1.8	0.1648	6.0810	2.5385	0.1015	5.6620	-2.2508	2.2312	2.4053	2.4771
1.7	0.1019	6.0558	2.5397	0.0579	5.6241	-2.3523	2.2419	2.4092	2.4795
1.6	0.0504	6.0347	2.5408	0.0202	5.5929	-2.4535	2.2506	2.4126	2.4816
1.5	0.0085	6.0172	2.5418	-0.0119	5.5673	-2.5544	2.2578	2.4155	2.4834
1.4	-0.0254	6.0028	2.5427	-0.0390	5.5466	-2.6551	2.2636	2.4180	2.4850
1.3	-0.0526	5.9909	2.5435	-0.0616	5.5298	-2.7557	2.2683	2.4200	2.4863
1.2	-0.0744	5.9813	2.5441	-0.0803	5.5163	-2.8562	2.2721	2.4217	2.4873
1.1	-0.0919	5.9735	2.5446	-0.0958	5.5055	-2.9565	2.2751	2.4230	2.4882
1.0	-0.1059	5.9673	2.5451	-0.1084	5.4969	-3.0568	2.2775	2.4241	2.4889
0.9	-0.1170	5.9622	2.5454	-0.1186	5.4899	-3.1570	2.2795	2.4249	2.4895
0.8	-0.1259	5.9582	2.5457	-0.1270	5.4844	-3.2572	2.2810	2.4257	2.4900
0.7	-0.1330	5.9549	2.5460	-0.1337	5.4800	-3.3573	2.2823	2.4262	2.4903
0.6	-0.1386	5.9523	2.5461	-0.1391	5.4765	-3.4575	2.2833	2.4267	2.4906
0.5	-0.1431	5.9502	2.5463	-0.1434	5.4738	-3.5575	2.2840	2.4270	2.4909
0.4	-0.1467	5.9486	2.5464	-0.1468	5.4715	-3.6576	2.2847	2.4273	2.4911
0.3	-0.1495	5.9473	2.5465	-0.1496	5.4698	-3.7577	2.2852	2.4275	2.4912
0.2	-0.1522	5.9460	2.5466	-0.1523	5.4681	-3.8577	2.2856	2.4277	2.4914
0.1	-0.1549	5.9448	2.5467	-0.1549	5.4664	-3.9578	2.2861	2.4279	2.4915
0.0	-0.1576	5.9435	2.5468	-0.1575	5.4648	-4.0578	2.2866	2.4281	2.4917

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-B・3 載荷高を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

載荷高	杭頭 たわみ	地中部最 大曲げモ ーメント	モーメント 第一零点 の深さ	地表曲 たわみ	杭頭 たわみ角	地表 たわみ角	剪断力 第一零点 の深さ	たわみ 第一零点 の深さ	たわみ角 第一零点 の深さ
log h	log y _{top}	log M _{max}	log l _{m1}	log y ₀	log i _{top}	log i ₀	log l _{s1}	log l _{y1}	log l _{i1}
4.6	7.3340	8.6000	2.8649	3.3883	2.9064	1.1341	0.3071	2.4840	2.7150
4.5	7.0363	8.5000	2.8485	3.2560	2.7079	1.0180	0.3734	2.4682	2.6987
4.4	6.7392	8.4000	2.8321	3.1239	2.5098	0.9020	0.4398	2.4521	2.6824
4.3	6.4426	8.3000	2.8158	2.9921	2.3121	0.7862	0.5061	2.4366	2.6663
4.2	6.1467	8.2001	2.7996	2.8606	2.1149	0.6705	0.5723	2.4207	2.6503
4.1	5.8518	8.1001	2.7835	2.7295	1.9182	0.5550	0.6384	2.4055	2.6343
4.0	5.5578	8.0001	2.7675	2.5989	1.7223	0.4397	0.7044	2.3904	2.6186
3.9	5.2652	7.9002	2.7516	2.4688	1.5271	0.3248	0.7702	2.3754	2.6031
3.8	4.9740	7.8002	2.7359	2.3394	1.3330	0.2102	0.8359	2.3613	2.5877
3.7	4.6847	7.7003	2.7204	2.2108	1.1401	0.0961	0.9013	2.3471	2.5727
3.6	4.3975	7.6005	2.7051	2.0832	0.9487	-0.0175	0.9664	2.3340	2.5580
3.5	4.1131	7.5007	2.6901	1.9567	0.7590	-0.1305	1.0313	2.3208	2.5436
3.4	3.8317	7.4011	2.6755	1.8316	0.5713	-0.2427	1.0957	2.3088	2.5297
3.3	3.5541	7.3016	2.6612	1.7082	0.3862	-0.3540	1.1597	2.2977	2.5164
3.2	3.2811	7.2023	2.6474	1.5867	0.2040	-0.4641	1.2231	2.2876	2.5037
3.1	3.0133	7.1033	2.6342	1.4676	0.0252	-0.5730	1.2857	2.2784	2.4917
3.0	2.7518	7.0047	2.6216	1.3511	-0.1494	-0.6803	1.3475	2.2707	2.4806
2.9	2.4979	6.9068	2.6097	1.2379	-0.3192	-0.7856	1.4082	2.2643	2.4705
2.8	2.2521	6.8097	2.5987	1.1282	-0.4838	-0.8888	1.4676	2.2593	2.4614
2.7	2.0166	6.7139	2.5886	1.0228	-0.6419	-0.9893	1.5255	2.2562	2.4535
2.6	1.7924	6.6197	2.5796	0.9222	-0.7927	-1.0867	1.5814	2.2547	2.4469
2.5	1.5812	6.5276	2.5717	0.8270	-0.9356	-1.1806	1.6352	2.2551	2.4416
2.4	1.3845	6.4384	2.5650	0.7378	-1.0694	-1.2703	1.6863	2.2569	2.4377
2.3	1.2032	6.3527	2.5595	0.6549	-1.1937	-1.3555	1.7344	2.2602	2.4352
2.2	1.0388	6.2715	2.5552	0.5790	-1.3076	-1.4355	1.7791	2.2650	2.4339
2.1	0.8917	6.1955	2.5520	0.5102	-1.4108	-1.5100	1.8201	2.2706	2.4337
2.0	0.8624	6.1256	2.5498	0.4488	-1.5030	-1.5783	1.8571	2.2770	2.4344
1.9	0.6497	6.0621	2.5484	0.3944	-1.5845	-1.6406	1.8901	2.2833	2.4358
1.8	0.5536	6.0055	2.5477	0.3471	-1.6554	-1.6964	1.9190	2.2899	2.4376
1.7	0.4724	5.9560	2.5475	0.3065	-1.7164	-1.7458	1.9439	2.2959	2.4397
1.6	0.4046	5.9132	2.5476	0.2719	-1.7683	-1.7890	1.9652	2.3015	2.4418
1.5	0.3485	5.8768	2.5479	0.2427	-1.8120	-1.8263	1.9830	2.3069	2.4439
1.4	0.3026	5.8462	2.5483	0.2185	-1.8484	-1.8582	1.9980	2.3113	2.4458
1.3	0.2652	5.8207	2.5488	0.1984	-1.8785	-1.8851	2.0102	2.3152	2.4475
1.2	0.2349	5.7997	2.5493	0.1819	-1.9032	-1.9076	2.0203	2.3185	2.4490
1.1	0.2105	5.7825	2.5497	0.1685	-1.9234	-1.9263	2.0285	2.3212	2.4503
1.0	0.1909	5.7685	2.5501	0.1575	-1.9398	-1.9417	2.0352	2.3234	2.4514
0.9	0.1751	5.7572	2.5505	0.1487	-1.9531	-1.9543	2.0406	2.3255	2.4523
0.8	0.1625	5.7480	2.5508	0.1416	-1.9638	-1.9646	2.0449	2.3268	2.4531
0.7	0.1525	5.7407	2.5510	0.1358	-1.9723	-1.9728	2.0483	2.3281	2.4537
0.6	0.1445	5.7348	2.5512	0.1313	-1.9791	-1.9795	2.0511	2.3290	2.4542
0.5	0.1380	5.7301	2.5514	0.1276	-1.9847	-1.9849	2.0533	2.3299	2.4546
0.4	0.1330	5.7263	2.5515	0.1246	-1.9891	-1.9893	2.0551	2.3305	2.4549
0.3	0.1289	5.7233	2.5516	0.1223	-1.9926	-1.9927	2.0565	2.3311	2.4552
0.2	0.1257	5.7209	2.5517	0.1204	-1.9954	-1.9955	2.0578	2.3316	2.4554
0.1	0.1231	5.7190	2.5518	0.1189	-1.9977	-1.9977	2.0585	2.3318	2.4556
0.0	0.1211	5.7174	2.5518	0.1178	-1.9995	-1.9995	2.0592	2.3321	2.4557
-0.1	0.1194	5.7162	2.5519	0.1168	-2.0009	-2.0009	2.0598	2.3323	2.4558
-0.2	0.1181	5.7153	2.5519	0.1161	-2.0020	-2.0020	2.0603	2.3324	2.4559
-0.3	0.1171	5.7145	2.5519	0.1155	-2.0029	-2.0029	2.0606	2.3324	2.4559

表-B・4 載荷高を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

載荷高 log h	杭頭 たわみ log y_{top}	杭頭 曲げモー メント log M_{top}	モーメント 第一零点 の深さ log l_{m1}	地表面 たわみ log y_0	地中部最 大曲げモー メント log M_{max}	地表面 たわみ角 log i_0	剪断力 第一零点 の深さ log l_{s1}	たわみ 第一零点 の深さ log $l_{\eta 1}$	たわみ角 第一零点 の深さ log l_{i1}
4.6	6.7307	8.3023	2.8151	2.9864	8.2957	0.7811	0.5090	2.4359	2.6656
4.5	6.4328	8.2030	2.7988	2.8540	8.1950	0.6646	0.5757	2.4199	2.6494
4.4	6.1353	8.1038	2.7825	2.7218	8.0942	0.5481	0.6423	2.4046	2.6334
4.3	5.8384	8.0048	2.7664	2.5898	7.9931	0.4317	0.7090	2.3895	2.6175
4.2	5.5421	7.9061	2.7503	2.4581	7.8919	0.3153	0.7756	2.3743	2.6018
4.1	5.2466	7.8076	2.7344	2.3268	7.7905	0.1990	0.8423	2.3599	2.5862
4.0	4.9520	7.7094	2.7186	2.1958	7.6887	0.0828	0.9089	2.3455	2.5709
3.9	4.6586	7.6115	2.7030	2.0654	7.5866	-0.0334	0.9755	2.3319	2.5559
3.8	4.3665	7.5142	2.6876	1.9356	7.4840	-0.1494	1.0421	2.3188	2.5413
3.7	4.0761	7.4174	2.6725	1.8065	7.3809	-0.2653	1.1087	2.3065	2.5270
3.6	3.7877	7.3212	2.6578	1.6783	7.2773	-0.3810	1.1753	2.2952	2.5132
3.5	3.5017	7.2258	2.6434	1.5511	7.1729	-0.4966	1.2417	2.2847	2.5001
3.4	3.2187	7.1314	2.6295	1.4252	7.0677	-0.6119	1.3081	2.2756	2.4876
3.3	2.9391	7.0381	2.6162	1.3008	6.9615	-0.7269	1.3744	2.2676	2.4760
3.2	2.6637	6.9461	2.6037	1.1782	6.8543	-0.8416	1.4404	2.2612	2.4654
3.1	2.3934	6.8558	2.5919	1.0577	6.7459	-0.9558	1.5062	2.2573	2.4560
3.0	2.1292	6.7673	2.5811	0.9398	6.6363	-1.0696	1.5716	2.2547	2.4480
2.9	1.8723	6.6811	2.5715	0.8248	6.5254	-1.1827	1.6364	2.2551	2.4415
2.8	1.6242	6.5975	2.5633	0.7134	6.4134	-1.2952	1.7004	2.2579	2.4369
2.7	1.3865	6.5169	2.5567	0.6059	6.3006	-1.4069	1.7632	2.2632	2.4342
2.6	1.1610	6.4398	2.5517	0.5032	6.1876	-1.5177	1.8243	2.2713	2.4337
2.5	0.9499	6.3668	2.5487	0.4057	6.0754	-1.6275	1.8832	2.2820	2.4354
2.4	0.7550	6.2981	2.5475	0.3142	5.9655	-1.7362	1.9391	2.2948	2.4392
2.3	0.5783	6.2344	2.5481	0.2293	5.8598	-1.8439	1.9913	2.3092	2.4449
2.2	0.4211	6.1760	2.5504	0.1513	5.7606	-1.9506	2.0389	2.3248	2.4521
2.1	0.2843	6.1230	2.5538	0.0807	5.6699	-2.0562	2.0814	2.3404	2.4601
2.0	0.1673	6.0756	2.5580	0.0175	5.5893	-2.1610	2.1184	2.3555	2.4684
1.9	0.0696	6.0339	2.5626	-0.0381	5.5200	-2.2650	2.1497	2.3693	2.4766
1.8	-0.0109	5.9975	2.5671	-0.0867	5.4617	-2.3684	2.1759	2.3815	2.4841
1.7	-0.0760	5.9662	2.5713	-0.1284	5.4139	-2.4711	2.1973	2.3921	2.4908
1.6	-0.1283	5.9395	2.5750	-0.1639	5.3751	-2.5734	2.2146	2.4010	2.4966
1.5	-0.1701	5.9171	2.5783	-0.1939	5.3440	-2.6752	2.2285	2.4083	2.5015
1.4	-0.2031	5.8983	2.5810	-0.2189	5.3194	-2.7767	2.2396	2.4143	2.5056
1.3	-0.2292	5.8828	2.5833	-0.2395	5.2998	-2.8780	2.2484	2.4193	2.5089
1.2	-0.2498	5.8701	2.5852	-0.2565	5.2844	-2.9790	2.2554	2.4231	2.5117
1.1	-0.2660	5.8597	2.5867	-0.2703	5.2723	-3.0798	2.2610	2.4262	2.5138
1.0	-0.2787	5.8513	2.5880	-0.2815	5.2627	-3.1804	2.2654	2.4287	2.5156
0.9	-0.2889	5.8445	2.5890	-0.2907	5.2551	-3.2810	2.2689	2.4307	2.5170
0.8	-0.2969	5.8389	2.5898	-0.2980	5.2491	-3.3814	2.2716	2.4323	2.5181
0.7	-0.3032	5.8345	2.5904	-0.3039	5.2443	-3.4817	2.2738	2.4336	2.5190
0.6	-0.3082	5.8310	2.5909	-0.3087	5.2406	-3.5820	2.2755	2.4345	2.5198
0.5	-0.3122	5.8281	2.5913	-0.3125	5.2376	-3.6822	2.2769	2.4355	2.5203
0.4	-0.3153	5.8259	2.5917	-0.3155	5.2353	-3.7824	2.2780	2.4361	2.5208
0.3	-0.3178	5.8240	2.5919	-0.3179	5.2334	-3.8825	2.2789	2.4366	2.5212
0.2	-0.3197	5.8226	2.5921	-0.3198	5.2319	-3.9826	2.2796	2.4370	2.5214
0.1	-0.3213	5.8215	2.5923	-0.3214	5.2308	-4.0827	2.2801	2.4373	2.5217
0.0	-0.3225	5.8205	2.5924	-0.3226	5.2298	-4.1828	2.2805	2.4375	2.5219
-0.1	-0.3235	5.8198	2.5925	-0.3236	5.2291	-4.2828	2.2809	2.4378	2.5220
-0.2	-0.3243	5.8193	2.5926	-0.3243	5.2285	-4.3829	2.2812	2.4379	2.5221
-0.3	-0.3249	5.8188	2.5927	-0.3249	5.2280	-4.4829	2.2814	2.4380	2.5222

附録 C 曲げ剛性 EI を変量とする場合

変換公式

$$R_y = R_F^3 R_h^{-(2m+3)} R_{Bk}^{-3}$$

$$R_t = R_F^3 R_h^{-(2m+3)} R_{Bk}^{-3}$$

$$R_M = R_F R_h$$

$$R_{EI} = R_F^{-1} R_h^{2m+5} R_{Bk}^3$$

$$R_l = R_h$$

変換公式の対数表示

$$\log R_y = 2 \log R_F - (2m+2) \log R_h - 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_t = 2 \log R_F - (2m+3) \log R_h - 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_M = \log R_F + \log R_h$$

$$\log R_{EI} = -\log R_F + (2m+5) \log R_h + 2 \log R_{Bk}$$

$$\log R_l = \log R_h$$

基準杭の諸元

		備 考
載 荷 高 h	100 cm	
地盤反力係数 Bk	C 型地盤: $100 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=2 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5} (N=9 \sim 10)$
	S 型地盤: $1 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2.5}$	$B=50 \text{ cm}$ $k=0.02 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3.5} (\bar{N}=4 \sim 5)$
杭頭水平力 F	10^4 kg	

表-C・1 曲げ剛性を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

曲げ剛性	杭頭たわみ	地中部最大曲げモーメント	モーメント第一零点の深さ	地表面たわみ	杭頭たわみ角	地表面たわみ角	剪断力第一零点の深さ	たわみ第一零点の深さ	たわみ角第一零点の深さ
$\log EI$	$\log y_{top}$	$\log M_{max}$	$\log l_{m1}$	$\log y_0$	$\log i_{top}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{\psi 1}$	$\log l_{\theta 1}$
21.0	-5.8781	7.5236	4.1062	-5.8861	-9.6180	-9.6181	3.7199	3.9525	4.0363
20.5	-5.5892	7.4540	4.0348	-5.5986	-9.2584	-9.2585	3.6480	3.8809	3.9649
20.0	-5.2997	7.3847	3.9634	-5.3108	-8.8984	-8.8986	3.5759	3.8094	3.8934
19.5	-5.0095	7.3158	3.8919	-5.0226	-8.5379	-8.5381	3.5037	3.7378	3.8219
19.0	-4.7186	7.2474	3.8205	-4.7340	-8.1768	-8.1771	3.4314	3.6662	3.7504
18.5	-4.4267	7.1795	3.7491	-4.4449	-7.8151	-7.8155	3.3590	3.5945	3.6789
18.0	-4.1338	7.1122	3.6777	-4.1552	-7.4525	-7.4531	3.2864	3.5228	3.6074
17.5	-3.8396	7.0455	3.6063	-3.8648	-7.0890	-7.0899	3.2135	3.4511	3.5358
17.0	-3.5440	6.9797	3.5349	-3.5737	-6.7245	-6.7257	3.1405	3.3793	3.4643
16.5	-3.2467	6.9148	3.4635	-3.2816	-6.3587	-6.3603	3.0671	3.3075	3.3927
16.0	-2.9475	6.8510	3.3922	-2.9885	-5.9915	-5.9936	2.9935	3.2357	3.3212
15.5	-2.6460	6.7884	3.3208	-2.6943	-5.6226	-5.6255	2.9195	3.1637	3.2496
15.0	-2.3419	6.7272	3.2495	-2.3987	-5.2519	-5.2558	2.8450	3.0917	3.1780
14.5	-2.0347	6.6676	3.1782	-2.1016	-4.8790	-4.8842	2.7701	3.0196	3.1063
14.0	-1.7242	6.6098	3.1069	-1.8027	-4.5037	-4.5106	2.6947	2.9475	3.0347
13.5	-1.4098	6.5540	3.0357	-1.5019	-4.1256	-4.1348	2.6187	2.8752	2.9631
13.0	-1.0910	6.5005	2.9645	-1.1990	-3.7444	-3.7566	2.5420	2.8029	2.8915
12.5	-0.7673	6.4494	2.8935	-0.8937	-3.3597	-3.3758	2.4645	2.7306	2.8199
12.0	-0.4381	6.4009	2.8225	-0.5858	-2.9714	-2.9922	2.3863	2.6581	2.7483
11.5	-0.1028	6.3553	2.7516	-0.2752	-2.5788	-2.6056	2.3072	2.5857	2.6768
11.0	0.2391	6.3128	2.6809	0.0385	-2.1817	-2.2161	2.2271	2.5132	2.6054
10.5	0.5881	6.2735	2.6104	0.3553	-1.7799	-1.8234	2.1460	2.4408	2.5341
10.0	0.9448	6.2374	2.5401	0.6755	-1.3730	-1.4275	2.0639	2.3683	2.4630
9.5	1.3096	6.2047	2.4700	0.9990	-0.9607	-1.0285	1.9808	2.2961	2.3920
9.0	1.6827	6.1752	2.4002	1.3260	-0.5430	-0.6263	1.8965	2.2240	2.3213
8.5	2.0645	6.1490	2.3307	1.6566	-0.1197	-0.2211	1.8113	2.1522	2.2509
8.0	2.4550	6.1259	2.2616	1.9906	0.3093	0.1871	1.7249	2.0805	2.1808
7.5	2.8542	6.1058	2.1928	2.3281	0.7440	0.5982	1.6376	2.0092	2.1110
7.0	3.2619	6.0884	2.1245	2.6689	1.1840	1.0119	1.5493	1.9383	2.0417
6.5	3.6779	6.0735	2.0565	3.0129	1.6295	1.4280	1.4602	1.8680	1.9727
6.0	4.1020	6.0608	1.9890	3.3599	2.0800	1.8465	1.3703	1.7980	1.9042
5.5	4.5336	6.0501	1.9218	3.7098	2.5354	2.2671	1.2796	1.7285	1.8362
5.0	4.9723	6.0411	1.8551	4.0624	2.9954	2.6897	1.1883	1.6595	1.7686
4.5	5.4176	6.0337	1.7887	4.4173	3.4596	3.1140	1.0965	1.5910	1.7014
4.0	5.8690	6.0275	1.7228	4.7746	3.9277	3.5399	1.0041	1.5231	1.6347
3.5	6.3258	6.0224	1.6572	5.1338	4.3994	3.9671	0.9114	1.4557	1.5684
3.0	6.7877	6.0182	1.5919	5.4949	4.8743	4.3957	0.8183	1.3886	1.5025
2.5	7.2541	6.0147	1.5269	5.8577	5.3522	4.8253	0.7249	1.3221	1.4369
2.0	7.7245	6.0119	1.4622	6.2219	5.8327	5.2559	0.6313	1.2560	1.3716
1.5	8.1986	6.0097	1.3977	6.5875	6.3156	5.6875	0.5374	1.1903	1.3067
1.0	8.6759	6.0078	1.3335	6.9542	6.8005	6.1197	0.4434	1.1250	1.2420
0.5	9.1560	6.0063	1.2695	7.3220	7.2874	6.5527	0.3493	1.0599	1.1776
0.0	9.6386	6.0051	1.2056	7.6906	7.7759	6.9862	0.2551	0.9952	1.1135
-0.5	10.1234	6.0041	1.1420	8.0601	8.2658	7.4203	0.1608	0.9308	1.0495
-1.0	10.6102	6.0033	1.0784	8.4303	8.7571	7.8548	0.0665	0.8665	0.9857
-1.5	11.0987	6.0027	1.0150	8.8011	9.2494	8.2897	-0.0279	0.8025	0.9221
-2.0	11.5887	6.0022	0.9517	9.1725	9.7428	8.7249	-0.1223	0.7387	0.8586
-2.5	12.0800	6.0017	0.8886	9.5443	10.2370	9.1604	-0.2167	0.6749	0.7952
-3.0	12.5724	6.0014	0.8255	9.9166	10.7320	9.5962	-0.3111	0.6115	0.7320
-3.5	13.0656	6.0011	0.7624	10.2891	11.2275	10.0322	-0.4055	0.5483	0.6688

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-C・2 曲げ剛性を変量とする基準曲線(S型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

曲げ剛性	杭頭たわみ	杭頭曲げモーメント	モーメント第一零点の深さ	地表面たわみ	地中部最大曲げモーメント	地表面たわみ角	剪断力第一零点の深さ	たわみ第一零点の深さ	たわみ角第一零点の深さ
log EI	log y_{top}	log M_{top}	log l_{m1}	log y_0	log M_{max}	log i_0	log l_{s1}	log l_{y1}	log l_{i1}
21.0	-6.4315	7.5204	4.1178	-6.4317	7.0436	-11.4862	3.8559	3.9987	4.0625
20.5	-6.1431	7.4502	4.0463	-6.1434	6.9738	-11.0575	3.7840	3.9270	3.9909
20.0	-5.8543	7.3802	3.9748	-5.8547	6.9043	-10.6289	3.7121	3.8553	3.9193
19.5	-5.5650	7.3105	3.9032	-5.5655	6.8351	-10.2003	3.6400	3.7836	3.8477
19.0	-5.2749	7.2410	3.8316	-5.2756	6.7663	-9.7716	3.5678	3.7118	3.7760
18.5	-4.9842	7.1719	3.7600	-4.9852	6.6980	-9.3429	3.4955	3.6400	3.7043
18.0	-4.6925	7.1032	3.6884	-4.6939	6.6303	-8.9143	3.4231	3.5681	3.6326
17.5	-4.3998	7.0350	3.6168	-4.4016	6.5632	-8.4855	3.3504	3.4962	3.5608
17.0	-4.1059	6.9673	3.5451	-4.1084	6.4969	-8.0568	3.2775	3.4241	3.4889
16.5	-3.8105	6.9002	3.4733	-3.8139	6.4314	-7.6280	3.2044	3.3519	3.4170
16.0	-3.5135	6.8338	3.4016	-3.5181	6.3670	-7.1992	3.1310	3.2796	3.3450
15.5	-3.2145	6.7683	3.3297	-3.2207	6.3038	-6.7704	3.0573	3.2072	3.2729
15.0	-2.9131	6.7037	3.2579	-2.9216	6.2420	-6.3415	2.9832	3.1345	3.2007
14.5	-2.6092	6.6403	3.1859	-2.6206	6.1818	-5.9125	2.9086	3.0618	3.1284
14.0	-2.3021	6.5780	3.1139	-2.3174	6.1235	-5.4835	2.8335	2.9888	3.0560
13.5	-1.9915	6.5172	3.0418	-2.0119	6.0673	-5.0544	2.7578	2.9155	2.9834
13.0	-1.6768	6.4579	2.9697	-1.7038	6.0136	-4.6252	2.6814	2.8421	2.9107
12.5	-1.3574	6.4005	2.8975	-1.3929	5.9627	-4.1959	2.6042	2.7684	2.8379
12.0	-1.0327	6.3449	2.8252	-1.0791	5.9148	-3.7664	2.5262	2.6944	2.7649
11.5	-0.7021	6.2914	2.7529	-0.7623	5.8704	-3.3368	2.4472	2.6202	2.6918
11.0	-0.3649	6.2403	2.6806	-0.4421	5.8297	-2.9069	2.3671	2.5456	2.6185
10.5	-0.0204	6.1916	2.6084	-0.1186	5.7931	-2.4769	2.2859	2.4708	2.5452
10.0	0.3321	6.1456	2.5361	0.2083	5.7607	-2.0466	2.2034	2.3958	2.4718
9.5	0.6929	6.1023	2.4640	0.5386	5.7326	-1.6161	2.1197	2.3206	2.3984
9.0	1.0626	6.0617	2.3921	0.8723	5.7088	-1.1852	2.0346	2.2453	2.3251
8.5	1.4416	6.0241	2.3204	1.2094	5.6894	-0.7541	1.9482	2.1700	2.2520
8.0	1.8299	5.9894	2.2491	1.5498	5.6740	-0.3225	1.8606	2.0949	2.1790
7.5	2.2276	5.9575	2.1781	1.8934	5.6624	0.1094	1.7717	2.0199	2.1064
7.0	2.6346	5.9284	2.1076	2.2399	5.6541	0.5416	1.6817	1.9453	2.0342
6.5	3.0505	5.9020	2.0375	2.5893	5.6486	0.9743	1.5906	1.8711	1.9625
6.0	3.4749	5.8782	1.9680	2.9413	5.6456	1.4074	1.4986	1.7975	1.8913
5.5	3.9073	5.8569	1.8990	3.2958	5.6446	1.8408	1.4059	1.7245	1.8208
5.0	4.3471	5.8377	1.8306	3.6526	5.6450	2.2747	1.3125	1.6522	1.7508
4.5	4.7938	5.8207	1.7627	4.0114	5.6466	2.7088	1.2185	1.5806	1.6814
4.0	5.2466	5.8056	1.6953	4.3721	5.6490	3.1434	1.1242	1.5097	1.6127
3.5	5.7051	5.7922	1.6284	4.7345	5.6519	3.5782	1.0294	1.4395	1.5445
3.0	6.1686	5.7804	1.5620	5.0984	5.6551	4.0133	0.9345	1.3701	1.4769
2.5	6.6366	5.7700	1.4960	5.4636	5.6585	4.4487	0.8393	1.3013	1.4099
2.0	7.1086	5.7609	1.4304	5.8301	5.6619	4.8844	0.7440	1.2332	1.3433
1.5	7.5841	5.7529	1.3652	6.1976	5.6653	5.3202	0.6486	1.1656	1.2772
1.0	8.0627	5.7459	1.3003	6.5660	5.6685	5.7563	0.5532	1.0987	1.2115
0.5	8.5441	5.7398	1.2357	6.9353	5.6715	6.1925	0.4578	1.0323	1.1462
0.0	9.0279	5.7344	1.1714	7.3053	5.6743	6.6289	0.3623	0.9663	1.0812
-0.5	9.5138	5.7298	1.1072	7.6760	5.6770	7.0655	0.2669	0.9007	1.0165
-1.0	10.0015	5.7257	1.0433	8.0472	5.6794	7.5021	0.1716	0.8355	0.9521
-1.5	10.4908	5.7222	0.9796	8.4189	5.6815	7.9389	0.0763	0.7706	0.8880
-2.0	10.9815	5.7191	0.9160	8.7911	5.6835	8.3757	-0.0190	0.7060	0.8240
-2.5	11.4734	5.7165	0.8526	9.1636	5.6853	8.8127	-0.1141	0.6417	0.7603
-3.0	11.9664	5.7141	0.7893	9.5364	5.6869	9.2497	-0.2093	0.5776	0.6966
-3.5	12.4604	5.7121	0.7261	9.9095	5.6883	9.6868	-0.3043	0.5137	0.6332

表-C・3 曲げ剛性を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部自由杭)

(単位: kg-cm)

曲げ剛性	杭頭たわみ	地中部最大曲げモーメント	モーメント第一零点の深さ	地表面たわみ	杭頭たわみ角	地表面たわみ角	剪断力第一零点の深さ	たわみ第一零点の深さ	たわみ角第一零点の深さ
$\log EI$	$\log y_{top}$	$\log M_{max}$	$\log l_{m1}$	$\log y_0$	$\log i_{top}$	$\log i_0$	$\log l_{s1}$	$\log l_{y1}$	$\log l_{i1}$
21.0	-4.2819	7.9153	4.7519	-4.2839	-8.6020	-8.6020	4.2603	4.5324	4.6559
20.5	-4.0806	7.8162	4.6519	-4.0832	-8.3009	-8.3009	4.1598	4.4324	4.5558
20.0	-3.8789	7.7174	4.5518	-3.8822	-7.9995	-7.9995	4.0592	4.3321	4.4557
19.5	-3.6769	7.6190	4.4518	-3.6811	-7.6977	-7.6977	3.9585	4.2318	4.3556
19.0	-3.4743	7.5209	4.3517	-3.4796	-7.3954	-7.3954	3.8578	4.1316	4.2554
18.5	-3.2711	7.4233	4.2516	-3.2777	-7.0926	-7.0927	3.7565	4.0311	4.1552
18.0	-3.0670	7.3263	4.1515	-3.0754	-6.7891	-6.7893	3.6551	3.9305	4.0549
17.5	-2.8620	7.2301	4.0514	-2.8724	-6.4847	-6.4849	3.5533	3.8299	3.9546
17.0	-2.6555	7.1348	3.9512	-2.6687	-6.1791	-6.1795	3.4511	3.7290	3.8542
16.5	-2.4475	7.0407	3.8510	-2.4642	-5.8723	-5.8728	3.3483	3.6281	3.7537
16.0	-2.2375	6.9480	3.7508	-2.2584	-5.5638	-5.5646	3.2449	3.5268	3.6531
15.5	-2.0249	6.8572	3.6505	-2.0513	-5.2531	-5.2543	3.1406	3.4255	3.5523
15.0	-1.8091	6.7685	3.5501	-1.8425	-4.9398	-4.9417	3.0352	3.3234	3.4514
14.5	-1.5895	6.6825	3.4497	-1.6315	-4.6234	-4.6263	2.9285	3.2212	3.3503
14.0	-1.3651	6.5997	3.3493	-1.4181	-4.3032	-4.3076	2.8203	3.1185	3.2490
13.5	-1.1348	6.5207	3.2488	-1.2016	-3.9785	-3.9851	2.7102	3.0152	3.1475
13.0	-0.8974	6.4462	3.1483	-0.9815	-3.6484	-3.6582	2.5980	2.9113	3.0458
12.5	-0.6515	6.3768	3.0479	-0.7573	-3.3120	-3.3263	2.4830	2.8069	2.9439
12.0	-0.3954	6.3132	2.9476	-0.5281	-2.9683	-2.9890	2.3652	2.7015	2.8418
11.5	-0.1276	6.2560	2.8475	-0.2935	-2.6164	-2.6458	2.2439	2.5959	2.7397
11.0	0.1536	6.2055	2.7477	-0.0529	-2.2554	-2.2964	2.1190	2.4899	2.6376
10.5	0.4497	6.1621	2.6484	0.1944	-1.8845	-1.9406	1.9901	2.3833	2.5358
10.0	0.7624	6.1256	2.5498	0.4488	-1.5030	-1.5783	1.8571	2.2770	2.4344
9.5	1.0917	6.0955	2.4520	0.7102	-1.1108	-1.2100	1.7201	2.1706	2.3337
9.0	1.4388	6.0715	2.3552	0.9790	-0.7076	-0.8355	1.5791	2.0650	2.2339
8.5	1.8032	6.0527	2.2595	1.2549	-0.2937	-0.4555	1.4344	1.9602	2.1352
8.0	2.1845	6.0384	2.1650	1.5378	0.1306	-0.0703	1.2863	1.8569	2.0377
7.5	2.5812	6.0276	2.0717	1.8270	0.5644	0.3194	1.1352	1.7551	1.9416
7.0	2.9924	6.0197	1.9796	2.1222	1.0073	0.7133	0.9814	1.6547	1.8469
6.5	3.4166	6.0139	1.8886	2.4228	1.4581	1.1107	0.8255	1.5562	1.7535
6.0	3.8521	6.0097	1.7987	2.7282	1.9162	1.5112	0.6676	1.4593	1.6614
5.5	4.2979	6.0068	1.7097	3.0379	2.3808	1.9144	0.5082	1.3643	1.5705
5.0	4.7518	6.0047	1.6216	3.3511	2.8506	2.3197	0.3475	1.2707	1.4806
4.5	5.2133	6.0033	1.5342	3.6676	3.3252	2.7270	0.1857	1.1784	1.3917
4.0	5.6811	6.0023	1.4474	3.9867	3.8040	3.1359	0.0231	1.0876	1.3037
3.5	6.1541	6.0016	1.3612	4.3082	4.2862	3.5460	-0.1403	0.9977	1.2164
3.0	6.6317	6.0011	1.2755	4.6316	4.7713	3.9573	-0.3043	0.9088	1.1297
2.5	7.1131	6.0007	1.1901	4.9567	5.2590	4.3695	-0.4687	0.8208	1.0436
2.0	7.5975	6.0005	1.1051	5.2832	5.7487	4.7825	-0.6336	0.7340	0.9580
1.5	8.0847	6.0003	1.0204	5.6108	6.2401	5.1961	-0.7987	0.6471	0.8727
1.0	8.5740	6.0002	0.9359	5.9394	6.7330	5.6102	-0.9641	0.5613	0.7877
0.5	9.0652	6.0002	0.8516	6.2688	7.2271	6.0248	-1.1298	0.4754	0.7031
0.0	9.5578	6.0001	0.7675	6.5989	7.7223	6.4397	-1.2956	0.3904	0.6186
-0.5	10.0518	6.0001	0.6835	6.9295	8.2189	6.8550	-1.4616	0.3055	0.5343
-1.0	10.5467	6.0001	0.5996	7.2606	8.7149	7.2705	-1.6277	0.2207	0.4503
-1.5	11.0426	6.0000	0.5158	7.5921	9.2121	7.6862	-1.7939	0.1366	0.3663
-2.0	11.5392	6.0000	0.4321	7.9239	9.7098	8.1020	-1.9602	0.0521	0.2824
-2.5	12.0363	6.0000	0.3485	8.2560	10.2079	8.5180	-2.1266	-0.0318	0.1987
-3.0	12.5340	6.0000	0.2649	8.5883	10.7064	8.9341	-2.2929	-0.1160	0.1150
-3.5	13.0318	6.0000	0.1813	8.9207	11.2049	9.3503	-2.4593	-0.2010	0.0313

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-C・4 曲げ剛性を変量とする基準曲線(C型地盤, 頭部埋込杭)

(単位: kg-cm)

曲げ剛性	杭頭たわみ	杭頭曲げモーメント	モーメント第一零点の深さ	地表面たわみ	地中部最大曲げモーメント	地表面たわみ角	剪断力第一零点の深さ	たわみ第一零点の深さ	たわみ角第一零点の深さ
log EI	log y_{top}	log M_{top}	log l_{m1}	log y_0	log M_{max}	log i_0	log l_{s1}	log l_{y1}	log l_{i1}
21.0	-4.7243	8.0193	4.7926	-4.7243	7.4285	-10.9829	4.4812	4.6379	4.7221
20.5	-4.5234	7.9199	4.6925	-4.5235	7.3292	-10.5828	4.3809	4.5377	4.6220
20.0	-4.3225	7.8205	4.5924	-4.3226	7.2298	-10.1828	4.2805	4.4375	4.5219
19.5	-4.1213	7.7215	4.4923	-4.1214	7.1308	-9.7827	4.1801	4.3373	4.4217
19.0	-3.9197	7.6226	4.3921	-3.9198	7.0319	-9.3826	4.0796	4.2370	4.3214
18.5	-3.7178	7.5240	4.2919	-3.7179	6.9334	-8.9825	3.9789	4.1366	4.2212
18.0	-3.5153	7.4259	4.1917	-3.5155	6.8353	-8.5824	3.8780	4.0361	4.1208
17.5	-3.3122	7.3281	4.0913	-3.3125	6.7376	-8.1822	3.7769	3.9355	4.0203
17.0	-3.1082	7.2310	3.9909	-3.1087	6.6406	-7.7820	3.6755	3.8345	3.9198
16.5	-2.9032	7.1345	3.8904	-2.9039	6.5443	-7.3817	3.5738	3.7336	3.8190
16.0	-2.6969	7.0389	3.7898	-2.6980	6.4491	-6.9814	3.4716	3.6323	3.7181
15.5	-2.4889	6.9445	3.6890	-2.4907	6.3551	-6.5810	3.3689	3.5307	3.6170
15.0	-2.2787	6.8513	3.5880	-2.2815	6.2627	-6.1804	3.2654	3.4287	3.5156
14.5	-2.0660	6.7597	3.4867	-2.0703	6.1723	-5.7798	3.1610	3.3262	3.4138
14.0	-1.8498	6.6701	3.3852	-1.8565	6.0844	-5.3790	3.0554	3.2231	3.3117
13.5	-1.6292	6.5828	3.2833	-1.6395	5.9998	-4.9780	2.9484	3.1193	3.2089
13.0	-1.4031	6.4983	3.1810	-1.4189	5.9194	-4.5767	2.8396	3.0143	3.1056
12.5	-1.1701	6.4171	3.0783	-1.1939	5.8440	-4.1752	2.7285	2.9083	3.0015
12.0	-0.9283	6.3395	2.9750	-0.9639	5.7751	-3.7734	2.6146	2.8010	2.8966
11.5	-0.6760	6.2662	2.8713	-0.7284	5.7139	-3.3711	2.4973	2.6921	2.7908
11.0	-0.4109	6.1975	2.7671	-0.4867	5.6617	-2.9684	2.3759	2.5815	2.6841
10.5	-0.1304	6.1339	2.6626	-0.2381	5.6200	-2.5650	2.2497	2.4693	2.5766
10.0	0.1673	6.0756	2.5580	0.0175	5.5893	-2.1610	2.1184	2.3555	2.4684
9.5	0.4843	6.0230	2.4538	0.2807	5.5699	-1.7562	1.9814	2.2404	2.3601
9.0	0.8211	5.9760	2.3504	0.5513	5.5606	-1.3506	1.8389	2.1248	2.2521
8.5	1.1783	5.9344	2.2481	0.8293	5.5598	-0.9439	1.6913	2.0092	2.1449
8.0	1.5550	5.8981	2.1475	1.1142	5.5655	-0.5362	1.5391	1.8948	2.0392
7.5	1.9499	5.8668	2.0487	1.4057	5.5754	-0.1275	1.3832	1.7820	1.9354
7.0	2.3610	5.8398	1.9517	1.7032	5.5876	0.2823	1.2243	1.6713	1.8337
6.5	2.7865	5.8169	1.8567	2.0059	5.6006	0.6931	1.0632	1.5632	1.7342
6.0	3.2242	5.7975	1.7633	2.3134	5.6134	1.1048	0.9004	1.4579	1.6369
5.5	3.6723	5.7811	1.6715	2.6248	5.6254	1.5173	0.7364	1.3551	1.5415
5.0	4.1292	5.7673	1.5811	2.9398	5.6363	1.9304	0.5716	1.2547	1.4480
4.5	4.5934	5.7558	1.4919	3.2577	5.6459	2.3442	0.4062	1.1573	1.3560
4.0	5.0637	5.7461	1.4037	3.5782	5.6543	2.7584	0.2404	1.0612	1.2654
3.5	5.5391	5.7381	1.3162	3.9008	5.6615	3.1731	0.0744	0.9676	1.1760
3.0	6.0187	5.7314	1.2295	4.2252	5.6677	3.5881	-0.0919	0.8756	1.0876
2.5	6.5017	5.7258	1.1434	4.5511	5.6729	4.0034	-0.2583	0.7847	1.0001
2.0	6.9877	5.7212	1.0578	4.8783	5.6773	4.4190	-0.4247	0.6952	0.9132
1.5	7.4761	5.7174	0.9725	5.2065	5.6809	4.8347	-0.5913	0.6065	0.8270
1.0	7.9665	5.7142	0.8876	5.5356	5.6840	5.2506	-0.7579	0.5188	0.7413
0.5	8.4586	5.7115	0.8030	5.8654	5.6866	5.6666	-0.9245	0.4319	0.6559
0.0	8.9520	5.7094	0.7186	6.1958	5.6887	6.0828	-1.0911	0.3455	0.5709
-0.5	9.4466	5.7076	0.6344	6.5268	5.6905	6.4990	-1.2577	0.2599	0.4862
-1.0	9.9421	5.7061	0.5503	6.8581	5.6919	6.9153	-1.4244	0.1743	0.4018
-1.5	10.4384	5.7048	0.4664	7.1898	5.6931	7.3317	-1.5910	0.0895	0.3175
-2.0	10.9353	5.7038	0.3825	7.5218	5.6942	7.7481	-1.7577	0.0046	0.2334
-2.5	11.4328	5.7030	0.2988	7.8540	5.6950	8.1646	-1.9243	-0.0801	0.1494
-3.0	11.9307	5.7023	0.2151	8.1864	5.6957	8.5811	-2.0910	-0.1641	0.0656
-3.5	12.4289	5.7017	0.1315	8.5189	5.6963	8.9976	-2.2576	-0.2496	-0.0182

附録 D 地盤反力係数 Bk を変量とする場合

変換公式

$$R_v = R_F R_h^3 R_{EI}^{-1}$$

$$R_i = R_F R_h^2 R_{EI}^{-1}$$

$$R_M = R_F R_h$$

$$R_{Bk} = R_F^{1/2} R_h^{-(2m+5)/2} R_{EI}^{1/2}$$

$$R_l = R_h$$

変換公式の対数表示

$$\log R_v = \log R_F + 3 \log R_h - \log R_{EI}$$

$$\log R_i = \log R_F + 2 \log R_h - \log R_{EI}$$

$$\log R_M = \log R_F + \log R_h$$

$$\log R_{Bk} = \frac{1}{2} \log R_F - \frac{2m+5}{2} \log R_h + \frac{1}{2} \log R_{EI}$$

$$\log R_l = \log R_h$$

基準杭の諸元

		備 考
載 荷 高 h	100 cm	
曲 げ 剛 性 EI	10^{10} kg·cm ²	
杭頭水平力 F	10^4 kg	

表-D・1 地盤反力係数を変量とする基準曲線 (S型地盤, 頭部自由杭) (単位: kg-cm)

地盤反力係数 log Bk	杭頭たわみ log y_{top}	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log y_0	杭頭たわみ角 log i_{top}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log l_{y1}	たわみ角第一零点の深さ log l_{i1}
6.50	-0.4276	6.0014	0.8255	-3.0834	-2.2680	-3.4038	-0.3111	0.6115	0.7320
6.25	-0.4200	6.0017	0.8886	-2.9557	-2.2630	-3.3396	-0.2167	0.6749	0.7952
6.00	-0.4113	6.0022	0.9517	-2.8275	-2.2572	-3.2751	-0.1223	0.7387	0.8586
5.75	-0.4013	6.0027	1.0150	-2.6989	-2.2506	-3.2103	-0.0279	0.8025	0.9221
5.50	-0.3898	6.0033	1.0784	-2.5697	-2.2429	-3.1452	0.0665	0.8665	0.9857
5.25	-0.3766	6.0041	1.1420	-2.4399	-2.2342	-3.0797	0.1608	0.9308	1.0495
5.00	-0.3614	6.0051	1.2056	-2.3094	-2.2241	-3.0138	0.2551	0.9952	1.1135
4.75	-0.3440	6.0063	1.2695	-2.1780	-2.2126	-2.9473	0.3493	1.0599	1.1776
4.50	-0.3241	6.0078	1.3335	-2.0458	-2.1995	-2.8803	0.4434	1.1250	1.2420
4.25	-0.3014	6.0097	1.3977	-1.9125	-2.1844	-2.8125	0.5374	1.1903	1.3067
4.00	-0.2755	6.0119	1.4622	-1.7781	-2.1673	-2.7441	0.6313	1.2560	1.3716
3.75	-0.2459	6.0147	1.5269	-1.6423	-2.1478	-2.6747	0.7249	1.3221	1.4369
3.50	-0.2123	6.0182	1.5919	-1.5051	-2.1257	-2.6043	0.8183	1.3886	1.5025
3.25	-0.1742	6.0224	1.6572	-1.3662	-2.1006	-2.5329	0.9114	1.4557	1.5684
3.00	-0.1310	6.0275	1.7228	-1.2254	-2.0723	-2.4601	1.0041	1.5231	1.6347
2.75	-0.0824	6.0337	1.7887	-1.0827	-2.0404	-2.3860	1.0965	1.5910	1.7014
2.50	-0.0277	6.0411	1.8551	-0.9376	-2.0046	-2.3103	1.1883	1.6595	1.7686
2.25	0.0336	6.0501	1.9218	-0.7902	-1.9646	-2.2329	1.2796	1.7285	1.8362
2.00	0.1020	6.0608	1.9890	-0.6401	-1.9200	-2.1535	1.3703	1.7980	1.9042
1.75	0.1779	6.0735	2.0565	-0.4871	-1.8705	-2.0720	1.4602	1.8680	1.9727
1.50	0.2619	6.0884	2.1245	-0.3311	-1.8160	-1.9881	1.5493	1.9383	2.0417
1.25	0.3542	6.1058	2.1928	-0.1719	-1.7560	-1.9018	1.6376	2.0092	2.1110
1.00	0.4550	6.1259	2.2616	-0.0094	-1.6907	-1.8129	1.7249	2.0805	2.1808
0.75	0.5645	6.1490	2.3307	0.1566	-1.6197	-1.7211	1.8113	2.1522	2.2509
0.50	0.6827	6.1752	2.4002	0.3260	-1.5430	-1.6263	1.8965	2.2240	2.3213
0.25	0.8096	6.2047	2.4700	0.4990	-1.4607	-1.5285	1.9808	2.2961	2.3920
0.00	0.9448	6.2374	2.5401	0.6755	-1.3730	-1.4275	2.0639	2.3683	2.4630
-0.25	1.0881	6.2735	2.6104	0.8553	-1.2799	-1.3234	2.1460	2.4408	2.5341
-0.50	1.2391	6.3128	2.6809	1.0385	-1.1817	-1.2161	2.2271	2.5132	2.6054
-0.75	1.3972	6.3553	2.7516	1.2248	-1.0788	-1.1056	2.3072	2.5857	2.6768
-1.00	1.5619	6.4009	2.8225	1.4142	-0.9714	-0.9922	2.3863	2.6581	2.7483
-1.25	1.7327	6.4494	2.8935	1.6063	-0.8597	-0.8758	2.4645	2.7306	2.8199
-1.50	1.9090	6.5005	2.9645	1.8010	-0.7444	-0.7566	2.5420	2.8029	2.8915
-1.75	2.0902	6.5540	3.0357	1.9981	-0.6256	-0.6348	2.6187	2.8752	2.9631
-2.00	2.2758	6.6098	3.1069	2.1973	-0.5037	-0.5106	2.6947	2.9475	3.0347
-2.25	2.4653	6.6676	3.1782	2.3984	-0.3790	-0.3842	2.7701	3.0196	3.1063
-2.50	2.6581	6.7272	3.2495	2.6013	-0.2519	-0.2558	2.8450	3.0917	3.1780
-2.75	2.8540	6.7884	3.3208	2.8057	-0.1226	-0.1255	2.9195	3.1637	3.2496
-3.00	3.0525	6.8510	3.3922	3.0115	0.0085	0.0064	2.9935	3.2357	3.3212
-3.25	3.2533	6.9148	3.4635	3.2184	0.1413	0.1397	3.0671	3.3075	3.3927
-3.50	3.4560	6.9797	3.5349	3.4263	0.2755	0.2743	3.1405	3.3793	3.4643
-3.75	3.6604	7.0455	3.6063	3.6352	0.4110	0.4101	3.2135	3.4511	3.5358
-4.00	3.8662	7.1122	3.6777	3.8448	0.5475	0.5469	3.2864	3.5228	3.6074
-4.25	4.0733	7.1795	3.7491	4.0551	0.6849	0.6845	3.3590	3.5945	3.6789
-4.50	4.2814	7.2474	3.8205	4.2660	0.8232	0.8229	3.4314	3.6662	3.7504
-4.75	4.4905	7.3158	3.8919	4.4774	0.9621	0.9619	3.5037	3.7378	3.8219
-5.00	4.7003	7.3847	3.9634	4.6892	1.1016	1.1014	3.5759	3.8094	3.8934
-5.25	4.9108	7.4540	4.0348	4.9014	1.2416	1.2415	3.6480	3.8809	3.9649
-5.50	5.1219	7.5236	4.1062	5.1139	1.3820	1.3819	3.7199	3.9525	4.0363
-5.75	5.3334	7.5934	4.1776	5.3266	1.5228	1.5228	3.7918	4.0240	4.1078

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-D・2 地盤反力係数を変量とする基準曲線 (S型地盤, 頭部埋込杭) (単位: kg-cm)

地盤反力係数 log Bk	杭頭たわみ log y_{top}	杭頭曲げモーメント log M_{top}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log y_0	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log l_{y1}	たわみ角第一零点の深さ log l_{i1}
6.50	-1.0336	5.7141	0.7893	-3.4636	5.6869	-3.7503	-0.2093	0.5776	0.6966
6.25	-1.0266	5.7165	0.8526	-3.3364	5.6853	-3.6873	-0.1141	0.6417	0.7603
6.00	-1.0185	5.7191	0.9160	-3.2089	5.6835	-3.6243	-0.0190	0.7060	0.8240
5.75	-1.0092	5.7222	0.9796	-3.0811	5.6815	-3.5611	0.0763	0.7706	0.8880
5.50	-0.9985	5.7257	1.0433	-2.9528	5.6794	-3.4979	0.1716	0.8355	0.9521
5.25	-0.9862	5.7298	1.1072	-2.8240	5.6770	-3.4345	0.2669	0.9007	1.0165
5.00	-0.9721	5.7344	1.1714	-2.6947	5.6743	-3.3711	0.3623	0.9663	1.0812
4.75	-0.9559	5.7398	1.2357	-2.5647	5.6715	-3.3075	0.4578	1.0323	1.1462
4.50	-0.9373	5.7459	1.3003	-2.4340	5.6685	-3.2437	0.5532	1.0987	1.2115
4.25	-0.9159	5.7529	1.3652	-2.3024	5.6653	-3.1798	0.6486	1.1656	1.2772
4.00	-0.8914	5.7609	1.4304	-2.1699	5.6619	-3.1156	0.7440	1.2332	1.3433
3.75	-0.8634	5.7700	1.4960	-2.0364	5.6585	-3.0513	0.8393	1.3013	1.4099
3.50	-0.8314	5.7804	1.5620	-1.9016	5.6551	-2.9867	0.9345	1.3701	1.4769
3.25	-0.7949	5.7922	1.6284	-1.7655	5.6519	-2.9218	1.0294	1.4395	1.5445
3.00	-0.7534	5.8056	1.6953	-1.6279	5.6490	-2.8566	1.1242	1.5097	1.6127
2.75	-0.7062	5.8207	1.7627	-1.4886	5.6466	-2.7912	1.2185	1.5806	1.6814
2.50	-0.6529	5.8377	1.8306	-1.3474	5.6450	-2.7253	1.3125	1.6522	1.7508
2.25	-0.5927	5.8569	1.8990	-1.2042	5.6446	-2.6592	1.4059	1.7245	1.8208
2.00	-0.5251	5.8782	1.9680	-1.0587	5.6456	-2.5926	1.4986	1.7975	1.8913
1.75	-0.4495	5.9020	2.0375	-0.9107	5.6486	-2.5257	1.5906	1.8711	1.9625
1.50	-0.3654	5.9284	2.1076	-0.7601	5.6541	-2.4584	1.6817	1.9453	2.0342
1.25	-0.2724	5.9575	2.1781	-0.6066	5.6624	-2.3906	1.7717	2.0199	2.1064
1.00	-0.1701	5.9894	2.2491	-0.4502	5.6740	-2.3225	1.8606	2.0949	2.1790
0.75	-0.0584	6.0241	2.3204	-0.2906	5.6894	-2.2541	1.9482	2.1700	2.2520
0.50	0.0626	6.0617	2.3921	-0.1277	5.7088	-2.1852	2.0346	2.2453	2.3251
0.25	0.1929	6.1023	2.4640	0.0386	5.7326	-2.1161	2.1197	2.3206	2.3984
0.00	0.3321	6.1456	2.5361	0.2083	5.7607	-2.0466	2.2034	2.3958	2.4718
-0.25	0.4796	6.1916	2.6084	0.3814	5.7931	-1.9769	2.2859	2.4708	2.5452
-0.50	0.6351	6.2403	2.6806	0.5579	5.8297	-1.9069	2.3671	2.5456	2.6185
-0.75	0.7979	6.2914	2.7529	0.7377	5.8704	-1.8368	2.4472	2.6202	2.6918
-1.00	0.9673	6.3449	2.8252	0.9209	5.9148	-1.7664	2.5262	2.6944	2.7649
-1.25	1.1426	6.4005	2.8975	1.1071	5.9627	-1.6959	2.6042	2.7684	2.8379
-1.50	1.3232	6.4579	2.9697	1.2962	6.0136	-1.6252	2.6814	2.8421	2.9107
-1.75	1.5085	6.5172	3.0418	1.4881	6.0673	-1.5544	2.7578	2.9155	2.9834
-2.00	1.6979	6.5780	3.1139	1.6826	6.1235	-1.4835	2.8335	2.9888	3.0560
-2.25	1.8908	6.6403	3.1859	1.8794	6.1818	-1.4125	2.9086	3.0618	3.1284
-2.50	2.0869	6.7037	3.2579	2.0784	6.2420	-1.3415	2.9832	3.1345	3.2007
-2.75	2.2855	6.7683	3.3297	2.2793	6.3038	-1.2704	3.0573	3.2072	3.2729
-3.00	2.4865	6.8338	3.4016	2.4819	6.3670	-1.1992	3.1310	3.2796	3.3450
-3.25	2.6895	6.9002	3.4733	2.6861	6.4314	-1.1280	3.2044	3.3519	3.4170
-3.50	2.8941	6.9673	3.5451	2.8916	6.4969	-1.0568	3.2775	3.4241	3.4889
-3.75	3.1002	7.0350	3.6168	3.0984	6.5632	-0.9855	3.3504	3.4962	3.5608
-4.00	3.3075	7.1032	3.6884	3.3061	6.6303	-0.9143	3.4231	3.5681	3.6326
-4.25	3.5158	7.1719	3.7600	3.5148	6.6980	-0.8429	3.4955	3.6400	3.7043
-4.50	3.7251	7.2410	3.8316	3.7244	6.7663	-0.7716	3.5678	3.7118	3.7760
-4.75	3.9350	7.3105	3.9032	3.9345	6.8351	-0.7003	3.6400	3.7836	3.8477
-5.00	4.1457	7.3802	3.9748	4.1453	6.9043	-0.6289	3.7121	3.8553	3.9193
-5.25	4.3569	7.4502	4.0463	4.3566	6.9738	-0.5575	3.7840	3.9270	3.9909
-5.50	4.5685	7.5204	4.1178	4.5683	7.0436	-0.4862	3.8559	3.9987	4.0625
-5.75	4.7806	7.5908	4.1893	4.7805	7.1136	-0.4148	3.9278	4.0703	4.1340

表-D・3 地盤反力係数を変量とする基準曲線 (C型地盤, 頭部自由杭) (単位: kg-cm)

地盤反力係数 log Bk	杭頭たわみ log y_{top}	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	頭表面たわみ log y_0	杭頭たわみ角 log i_{top}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log l_{y1}	たわみ角第一零点の深さ log l_{i1}
8.50	-0.4660	6.0000	0.2649	-4.4117	-2.2936	-4.0659	-2.2929	-0.1160	0.1150
8.25	-0.4637	6.0000	0.3485	-4.2440	-2.2921	-3.9820	-2.1266	-0.0318	0.1987
8.00	-0.4608	6.0000	0.4321	-4.0761	-2.2902	-3.8980	-1.9602	0.0521	0.2824
7.75	-0.4574	6.0000	0.5158	-3.9079	-2.2879	-3.8138	-1.7939	0.1366	0.3663
7.50	-0.4533	6.0001	0.5996	-3.7394	-2.2851	-3.7295	-1.6277	0.2207	0.4503
7.25	-0.4482	6.0001	0.6835	-3.5705	-2.2818	-3.6450	-1.4616	0.3055	0.5343
7.00	-0.4422	6.0001	0.7675	-3.4011	-2.2777	-3.5603	-1.2956	0.3904	0.6186
6.75	-0.4348	6.0002	0.8516	-3.2312	-2.2729	-3.4752	-1.1298	0.4754	0.7031
6.50	-0.4260	6.0002	0.9359	-3.0606	-2.2670	-3.3898	-0.9641	0.5613	0.7877
6.25	-0.4153	6.0003	1.0204	-2.8892	-2.2599	-3.3039	-0.7987	0.6471	0.8727
6.00	-0.4025	6.0005	1.1051	-2.7168	-2.2513	-3.2175	-0.6336	0.7340	0.9580
5.75	-0.3869	6.0007	1.1901	-2.5433	-2.2410	-3.1305	-0.4687	0.8208	1.0436
5.50	-0.3683	6.0011	1.2755	-2.3684	-2.2287	-3.0427	-0.3043	0.9088	1.1297
5.25	-0.3459	6.0016	1.3612	-2.1918	-2.2138	-2.9540	-0.1403	0.9977	1.2164
5.00	-0.3189	6.0023	1.4474	-2.0133	-2.1960	-2.8641	0.0231	1.0876	1.3037
4.75	-0.2867	6.0033	1.5342	-1.8324	-2.1748	-2.7730	0.1857	1.1784	1.3917
4.50	-0.2482	6.0047	1.6216	-1.6489	-2.1494	-2.6803	0.3475	1.2707	1.4806
4.25	-0.2021	6.0068	1.7097	-1.4621	-2.1192	-2.5856	0.5082	1.3643	1.5705
4.00	-0.1479	6.0097	1.7987	-1.2718	-2.0838	-2.4888	0.6676	1.4593	1.6614
3.75	-0.0834	6.0139	1.8886	-1.0772	-2.0419	-2.3893	0.8255	1.5562	1.7535
3.50	-0.0076	6.0197	1.9796	-0.8778	-1.9927	-2.2867	0.9814	1.6547	1.8469
3.25	0.0812	6.0276	2.0717	-0.6730	-1.9356	-2.1806	1.1352	1.7551	1.9416
3.00	0.1845	6.0384	2.1650	-0.4622	-1.8694	-2.0703	1.2863	1.8569	2.0377
2.75	0.3032	6.0527	2.2595	-0.2451	-1.7937	-1.9555	1.4344	1.9602	2.1352
2.50	0.4388	6.0715	2.3552	-0.0210	-1.7076	-1.8355	1.5791	2.0650	2.2339
2.25	0.5917	6.0955	2.4520	0.2102	-1.6108	-1.7100	1.7201	2.1706	2.3337
2.00	0.7624	6.1256	2.5498	0.4488	-1.5030	-1.5783	1.8571	2.2770	2.4344
1.75	0.9497	6.1621	2.6484	0.6944	-1.3845	-1.4406	1.9901	2.3833	2.5358
1.50	1.1536	6.2055	2.7477	0.9471	-1.2554	-1.2964	2.1190	2.4899	2.6376
1.25	1.3724	6.2560	2.8475	1.2065	-1.1164	-1.1458	2.2439	2.5959	2.7397
1.00	1.6046	6.3132	2.9476	1.4719	-0.9683	-0.9890	2.3652	2.7015	2.8418
0.75	1.8485	6.3768	3.0479	1.7427	-0.8120	-0.8263	2.4830	2.8069	2.9439
0.50	2.1026	6.4462	3.1483	2.0185	-0.6484	-0.6582	2.5980	2.9113	3.0458
0.25	2.3652	6.5207	3.2488	2.2984	-0.4785	-0.4851	2.7102	3.0152	3.1475
0.00	2.6349	6.5997	3.3493	2.5819	-0.3032	-0.3076	2.8203	3.1185	3.2490
-0.25	2.9105	6.6825	3.4497	2.8685	-0.1234	-0.1263	2.9285	3.2212	3.3503
-0.50	3.1909	6.7685	3.5501	3.1575	0.0602	0.0583	3.0352	3.3234	3.4514
-0.75	3.4751	6.8572	3.6505	3.4487	0.2469	0.2457	3.1406	3.4255	3.5523
-1.00	3.7625	6.9480	3.7508	3.7416	0.4362	0.4354	3.2449	3.5268	3.6531
-1.25	4.0525	7.0407	3.8510	4.0358	0.6277	0.6272	3.3483	3.6281	3.7537
-1.50	4.3445	7.1348	3.9512	4.3313	0.8209	0.8205	3.4511	3.7290	3.8542
-1.75	4.6380	7.2301	4.0514	4.6276	1.0153	1.0151	3.5533	3.8299	3.9546
-2.00	4.9330	7.3263	4.1515	4.9246	1.2109	1.2107	3.6551	3.9305	4.0549
-2.25	5.2289	7.4233	4.2516	5.2223	1.4074	1.4073	3.7565	4.0311	4.1552
-2.50	5.5257	7.5209	4.3517	5.5204	1.6046	1.6045	3.8578	4.1316	4.2554
-2.75	5.8231	7.6190	4.4518	5.8189	1.8023	1.8023	3.9585	4.2318	4.3556
-3.00	6.1211	7.7174	4.5518	6.1178	2.0005	2.0005	4.0592	4.3321	4.4557
-3.25	6.4194	7.8162	4.6519	6.4168	2.1991	2.1991	4.1598	4.4323	4.5558
-3.50	6.7181	7.9153	4.7519	6.7161	2.3980	2.3980	4.2603	4.5324	4.6559
-3.75	7.0171	8.0145	4.8519	7.0155	2.5971	2.5971	4.3606	4.6324	4.7559

数値解による杭の横抵抗の基準曲線の作成

表-D・4 地盤反力係数を変量とする基準曲線 (C型地盤, 頭部埋込杭) (単位: kg-cm)

地盤反力係数 log Bk	杭頭たわみ log γ_{top}	杭頭曲げモーメント log M_{top}	モーメント第一零点の深さ log l_{m1}	地表面たわみ log γ_0	地中部最大曲げモーメント log M_{max}	地表面たわみ角 log i_0	剪断力第一零点の深さ log l_{s1}	たわみ第一零点の深さ log $l_{\gamma 1}$	たわみ角第一零点の深さ log l_{i1}
8.50	-1.0693	5.7023	0.2151	-4.8136	5.6957	-4.4189	-2.0910	-0.1641	0.0656
8.25	-1.0672	5.7030	0.2988	-4.6460	5.6950	-4.3354	-1.9243	-0.0801	0.1494
8.00	-1.0647	5.7038	0.3825	-4.4782	5.6942	-4.2519	-1.7577	0.0046	0.2334
7.75	-1.0616	5.7048	0.4664	-4.3102	5.6931	-4.1683	-1.5910	0.0895	0.3175
7.50	-1.0579	5.7061	0.5503	-4.1419	5.6919	-4.0847	-1.4244	0.1743	0.4018
7.25	-1.0534	5.7076	0.6344	-3.9732	5.6905	-4.0010	-1.2577	0.2599	0.4862
7.00	-1.0480	5.7094	0.7186	-3.8042	5.6887	-3.9172	-1.0911	0.3455	0.5709
6.75	-1.0414	5.7115	0.8030	-3.6346	5.6866	-3.8334	-0.9245	0.4319	0.6559
6.50	-1.0335	5.7142	0.8876	-3.4644	5.6840	-3.7494	-0.7579	0.5188	0.7413
6.25	-1.0239	5.7174	0.9725	-3.2935	5.6809	-3.6653	-0.5913	0.6065	0.8270
6.00	-1.0123	5.7212	1.0578	-3.1217	5.6773	-3.5810	-0.4247	0.6952	0.9132
5.75	-0.9983	5.7258	1.1434	-2.9489	5.6729	-3.4966	-0.2583	0.7847	1.0001
5.50	-0.9813	5.7314	1.2295	-2.7748	5.6677	-3.4119	-0.0919	0.8756	1.0876
5.25	-0.9609	5.7381	1.3162	-2.5992	5.6615	-3.3269	0.0744	0.9676	1.1760
5.00	-0.9363	5.7461	1.4037	-2.4218	5.6543	-3.2416	0.2404	1.0612	1.2654
4.75	-0.9066	5.7558	1.4919	-2.2423	5.6459	-3.1558	0.4062	1.1573	1.3560
4.50	-0.8708	5.7673	1.5811	-2.0602	5.6363	-3.0696	0.5716	1.2547	1.4480
4.25	-0.8277	5.7811	1.6715	-1.8752	5.6254	-2.9827	0.7364	1.3551	1.5415
4.00	-0.7758	5.7975	1.7633	-1.6866	5.6134	-2.8952	0.9004	1.4579	1.6369
3.75	-0.7135	5.8169	1.8567	-1.4941	5.6006	-2.8069	1.0632	1.5632	1.7342
3.50	-0.6390	5.8398	1.9517	-1.2968	5.5876	-2.7177	1.2243	1.6713	1.8337
3.25	-0.5501	5.8668	2.0487	-1.0943	5.5754	-2.6275	1.3832	1.7820	1.9354
3.00	-0.4450	5.8981	2.1475	-0.8858	5.5655	-2.5362	1.5391	1.8948	2.0392
2.75	-0.3217	5.9344	2.2481	-0.6707	5.5598	-2.4439	1.6913	2.0092	2.1449
2.50	-0.1789	5.9760	2.3504	-0.4487	5.5606	-2.3506	1.8389	2.1248	2.2521
2.25	-0.0157	6.0230	2.4538	-0.2193	5.5699	-2.2562	1.9814	2.2404	2.3601
2.00	0.1673	6.0756	2.5580	0.0175	5.5893	-2.1610	2.1184	2.3555	2.4684
1.75	0.3696	6.1339	2.6626	0.2619	5.6200	-2.0650	2.2497	2.4693	2.5766
1.50	0.5891	6.1975	2.7671	0.5133	5.6617	-1.9684	2.3759	2.5815	2.6841
1.25	0.8240	6.2662	2.8713	0.7716	5.7139	-1.8711	2.4973	2.6921	2.7908
1.00	1.0717	6.3395	2.9750	1.0361	5.7751	-1.7734	2.6146	2.8010	2.8966
0.75	1.3299	6.4171	3.0783	1.3061	5.8440	-1.6752	2.7285	2.9083	3.0015
0.50	1.5969	6.4983	3.1810	1.5811	5.9194	-1.5767	2.8396	3.0143	3.1056
0.25	1.8708	6.5828	3.2833	1.8605	5.9998	-1.4780	2.9484	3.1193	3.2089
0.00	2.1502	6.6701	3.3852	2.1435	6.0844	-1.3790	3.0554	3.2231	3.3117
-0.25	2.4340	6.7597	3.4867	2.4297	6.1723	-1.2798	3.1610	3.3262	3.4138
-0.50	2.7213	6.8513	3.5880	2.7185	6.2627	-1.1804	3.2654	3.4287	3.5156
-0.75	3.0111	6.9445	3.6890	3.0093	6.3551	-1.0810	3.3689	3.5307	3.6170
-1.00	3.3031	7.0389	3.7898	3.3020	6.4491	-0.9814	3.4716	3.6323	3.7181
-1.25	3.5968	7.1345	3.8904	3.5961	6.5443	-0.8817	3.5738	3.7336	3.8190
-1.50	3.8918	7.2310	3.9909	3.8913	6.6406	-0.7820	3.6755	3.8345	3.9198
-1.75	4.1878	7.3281	4.0913	4.1875	6.7376	-0.6822	3.7769	3.9355	4.0203
-2.00	4.4847	7.4259	4.1917	4.4845	6.8353	-0.5824	3.8780	4.0361	4.1208
-2.25	4.7822	7.5240	4.2919	4.7821	6.9334	-0.4825	3.9789	4.1366	4.2212
-2.50	5.0803	7.6226	4.3921	5.0802	7.0319	-0.3826	4.0796	4.2370	4.3214
-2.75	5.3787	7.7215	4.4923	5.3786	7.1308	-0.2827	4.1801	4.3373	4.4217
-3.00	5.6775	7.8205	4.5924	5.6774	7.2298	-0.1828	4.2805	4.4375	4.5219
-3.25	5.9765	7.9198	4.6925	5.9764	7.3291	-0.0828	4.3809	4.5378	4.6220
-3.50	6.2757	8.0193	4.7926	6.2757	7.4285	0.0171	4.4812	4.6379	4.7221
-3.75	6.5751	8.1188	4.8927	6.5751	7.5280	0.1171	4.5814	4.7380	4.8222