

土木研究所資料

大径杭の逆算 k 値算定手法

昭和56年 9 月

建設省土木研究所

基 礎 研 究 室

Copyright © 56年度 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

構造物の基礎は従来、直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎に分類されており、その設計はいずれも基本的には地盤をバネとしてモデル化し、理論式を組み立て、基礎の変位、断面力等を求めるものである。しかし、その計算手法、地盤バネの評価法等は各々の基礎形式独自のものが確立しており、相互間の整合性はとられていないのが実情である。このため、これらの中間的性質を有する基礎を設計する場合、どちらの設計法で設計するかによって差異が生じ、問題となっている。特に最近、ケーソンと杭の中間に位置する大径杭が多数施工されており、ケーソンと杭の設計手法を統一することが急務となっている。

基礎研究室では、昭和52年度からケーソンと杭の設計体系の統一について検討を行ってきたが、設計計算手法については、両基礎形式に共通した計算プログラムを開発し、一応の成果を得ることができた¹⁾。この結果、残る地盤バネの評価法を統一することができればケーソンと杭の設計体系は完全に統一されたことになる。

基礎と地盤との相互作用に関する定数である地盤のバネ定数（地盤反力係数、 k 値）は標準貫入試験や一軸または三軸圧試験から変形係数を求め、これから間接的に求める方法、あるいは平板載荷試験や水平載荷試験から直接的に求める方法が一般的であるが、前者の場合、既往の試験例等から得られた相関関係（例えば変形係数 $\sim k_0$ 値）を利用して k 値を決定しており、ここに基礎形式によって差が生ずる原因があるものと考えられる。

地盤バネの評価法の整合性を図るには、まず、各基礎形式の k 値の特性を明らかにする必要がある、このためには既往の水平載荷試験結果から逆算 k 値を算定し、これを検討することが最も重要であると考えられる。しかし、既往の逆算 k 値はほとんど chang の手法を用いて算定している。この手法は地盤を均一な地盤と仮定し、杭頭の実測変位のみから逆算 k 値を算定する手法である。したがってこの手法では、多層地盤等の一般的な場合には適用することができない。

そこで、多層地盤にも適用が可能な逆算 k 値算定手法を開発し、地盤バネ評価法統一の一助とすることとした。

昭和56年9月

基礎研究室長	塩井幸武
同 研究員	福井次郎
同 技 官	清水孝男

まえがき

1. 逆算 k 値算定プログラムの作成	1
1.1 解析手法の検討	1
1.2 反力載荷法	2
1.3 固有ベクトルおよび一般荷重項の決定	5
1.4 逆算 k 値算定手法	6
2. 適用性の検討	7
2.1 理論解への適用	7
2.2 水平載荷試験例への適用	8
3. 電算プログラム	14
3.1 プログラムの構成	14
3.1.1 メインプログラムの計算フロー	14
3.1.2 サブルーチン CALKH	14
3.2 インプットマニュアル	16
3.2.1 インプットデータの仕様	16
3.2.2 インプットデータ例	18
3.3 アウトプット仕様	18
4. まとめ	20
参考文献	21
プログラムリスト	22

1. 逆算 k 値算定プログラムの作成

1.1 解析手法の検討

地盤中に埋込まれた基礎に、地表面で水平力 H_0 、曲げモーメント M_0 が作用している状態を考える（図-1.1.1）。この基礎を弾性床上の梁として解く場合、微分方程式は周知のように次式で表わされる。

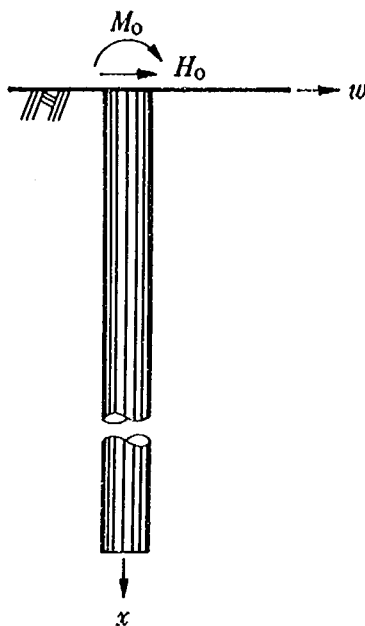


図-1.1.1 想定モデル

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = -k D w \dots\dots\dots (1.1)$$

ここに x ; 基礎の深さ方向の座標

w ; 基礎の変位

EI ; 基礎の曲げ剛性

D ; 基礎の幅

k ; 地盤反力係数

changの手法は k が一定、基礎が半無限長と仮定し、上式を解く手法であり、変位は次式のように表わされる。

$$w = \frac{H_0}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} \left[(1 + \beta h_0) \cos \beta x - \beta h_0 \sin \beta x \right] \dots\dots\dots (1.2)$$

$$\text{ここに } \beta = \sqrt[4]{kD/4EI}$$

$$h_0 = M_0/H_0$$

また、基礎頭部の変位 δ_0 は次式のように表わされる。

$$\delta_0 = \frac{1 + \beta h_0}{2EI\beta^3} H_0 \dots\dots\dots (1.3)$$

changの逆算 k 値算定手法は杭の水平載荷試験から得られた荷重、杭頭変位を(1.3)式に代入し、 k 値を求める手法である。当然のことながら、この手法では一層地盤、かつ半無限長の杭の場合しか適用できず、多層地盤や短杭等の諸条件が複雑な場合には適用することができない。また、杭の水平載荷試験では通常、荷重、変位の他に杭体ひずみも測定しているが、changの手法では杭頭変位しか用いておらず、他の有効なデータが生かされていない。

一方、基礎研究室が前年度開発した大径杭の設計計算手法¹⁾は反力載荷法に基づく計算手法である。反力載荷法は、(1.1)式を直接解くのではなく、(1.1)式の右辺、すなわち地盤反力を荷重とみなし、近似的に普通の梁の微分方程式として解く手法であり、基礎の変位、断面力は深さに関する高次式として表わされる。しかし、この式を展開すれば地盤反力係数に関する一次式として表わすことが可能であり、最小二乗法等による関数近似を行えば基礎全体の変位モードを近似するような k 値の逆算ができると考えられる。しかも、この手法は基礎を多部材に分割することにより多層地盤への適用を比較的容易に行うことができる。

そこで本調査においても反力載荷法に基づいて逆算 k 値算定手法を開発することとした。

1.2 反力載荷法

反力載荷法は前述のように基礎を多部材に分割し、地盤反力を荷重とみなして弾性床上の梁を近似的に通常の梁として解く手法である(図-1.2.1)。

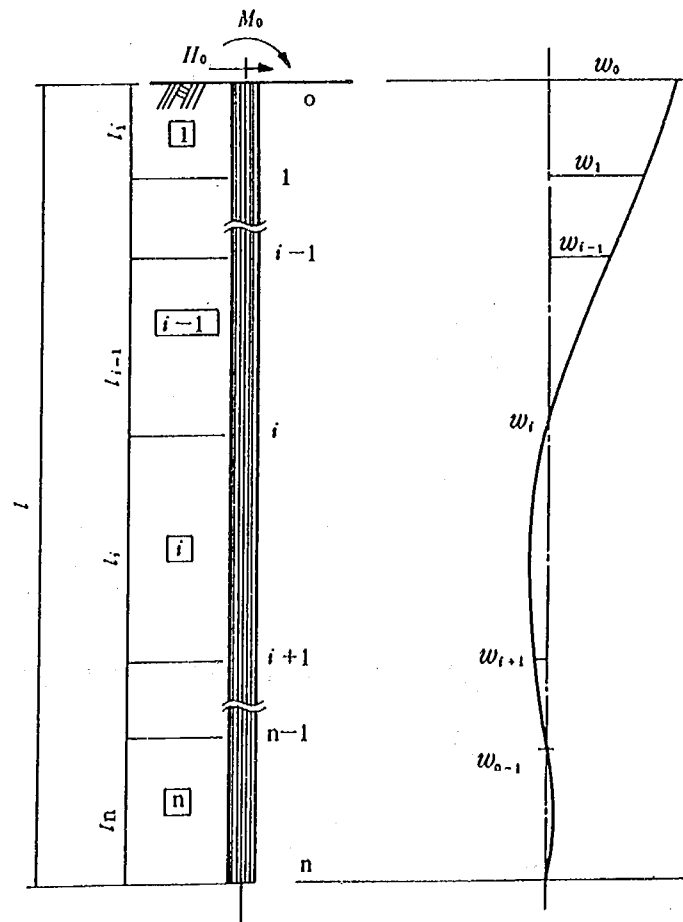


図-1.2.1 多部材のモデル

いま、図-1.2.2に示すように、第*i*部材において地盤反力係数が線形分布（部材上端で k_{oi} 、下端で k_{hi} ）しているとする。荷重・載荷による変形後の状態を反力・載荷法を用いて解くと、変位、断面力は（1.4）式のように表わされる。

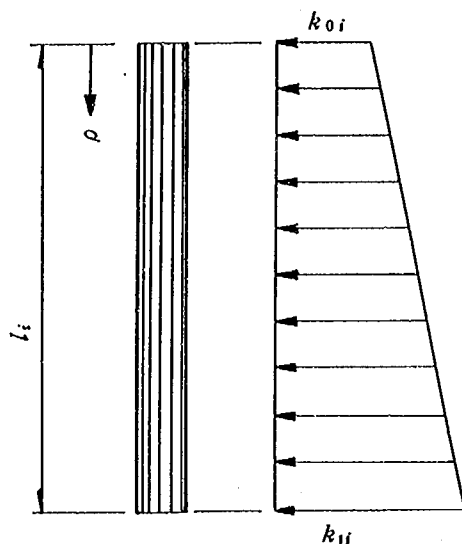


図-1.2.2 第*i*部材

$$\begin{aligned}
 W_{i(\rho)} = \begin{bmatrix} w_i \\ \theta_i \\ S_i \\ M_i \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/l_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6EI/l_i^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2EI/l_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ 0 & 1 & 2\rho & 3\rho^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 3\rho \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right. \\
 &+ \frac{l_i^4}{6EI} \begin{bmatrix} \frac{1}{4}k_{oi}\rho^4 - \frac{1}{5}k_{hi}\rho^5 & \frac{1}{5}k_{oi}\rho^5 - \frac{1}{6}k_{hi}\rho^6 & \frac{1}{6}k_{oi}\rho^6 - \frac{1}{7}k_{hi}\rho^7 \\ -k_{oi}\rho^3 + \frac{3}{4}k_{hi}\rho^4 & -\frac{3}{4}k_{oi}\rho^4 + \frac{3}{5}k_{hi}\rho^5 & -\frac{3}{5}k_{oi}\rho^5 + \frac{1}{2}k_{hi}\rho^6 \\ \frac{3}{2}k_{oi}\rho^2 - k_{hi}\rho^3 & k_{oi}\rho^3 - \frac{3}{4}k_{hi}\rho^4 & \frac{3}{4}k_{oi}\rho^5 - \frac{3}{5}k_{hi}\rho^6 \\ -k_{oi}\rho + \frac{1}{2}k_{hi}\rho^2 & -\frac{1}{2}k_{oi}\rho^2 + \frac{1}{3}k_{hi}\rho^3 & -\frac{1}{3}k_{oi}\rho^3 + \frac{1}{4}k_{hi}\rho^4 \\ \frac{1}{7}k_{oi}\rho^7 - \frac{1}{8}k_{hi}\rho^8 \\ -\frac{1}{2}k_{oi}\rho^6 + \frac{3}{7}k_{hi}\rho^7 \\ \frac{3}{5}k_{oi}\rho^5 - \frac{1}{2}k_{hi}\rho^6 \\ -\frac{1}{4}k_{oi}\rho^4 + \frac{1}{5}k_{hi}\rho^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \\ D_i \end{bmatrix} + K_{oi(\rho)} \left. \right\} \\
 &= D_i R_{(p)} \{ (E + K_{ei(\rho)}) N_i + K_{oi(\rho)} \} \dots\dots\dots (1.4)
 \end{aligned}$$

ここに $W_{i(\rho)}$; 状態ベクトル

D_i ; 剛性マトリックス

$R_{(\rho)}$; 座標マトリックス

$K_{ei(\rho)}$; 地盤反力係数マトリックス

N_i ; 固有ベクトル $[A_i \ B_i \ C_i \ D_i]^T$

$K_{oi(\rho)}$; 一般荷重ベクトル

E ; 単位マトリックス

w_i ; 変位

θ_i ; 回転角

S_i ; せん断力

M_i ; 曲げモーメント

l_i ; 部材長

EI ; 部材の曲げ剛性

ρ ; 位置を表わす無次元変数 ($\rho = x/l_i, 0 \leq \rho \leq 1$)

x ; 部材の深さ方向の座標

k_{hi} ; $k_{hi} = k_{oi} - k_{li}$

(1.4) 式より明らかなように部材の変位, 断面力は地盤反力係数 (k_{oi}, k_{li}) および固有ベクトル $[A_i \ B_i \ C_i \ D_i]$ を係数とする高次方程式となる。

いま, 次数が最大の変位の項について, 変位のモードが測定値と一致するものとして逆算 k 値を求める為の一般式を誘導することにする。(1.4) 式を変位の項について展開し, k_{oi}, k_{li} について整理すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} w_{i(\rho)} = & \frac{l_i^4}{6EI} \left(-\frac{1}{4} A_i \rho^4 + \frac{A_i - B_i}{20} \rho^5 + \frac{B_i - C_i}{60} \rho^6 + \frac{C_i - D_i}{140} \rho^7 + \frac{1}{280} D_i \rho^8 \right) k_{oi} \\ & + \frac{l_i^4}{6EI} \left(-\frac{1}{20} A_i \rho^5 - \frac{1}{60} B_i \rho^6 - \frac{1}{140} C_i \rho^7 - \frac{1}{280} D_i \rho^8 \right) k_{li} \\ & + A_i + B_i \rho + C_i \rho^2 + D_i \rho^3 + F_{i(\rho)} \dots\dots\dots (1.5) \end{aligned}$$

ここに A_i, B_i, C_i, D_i ; 未定係数

k_{oi}, k_{li} ; 地盤反力係数

$F_{i(\rho)}$; 一般荷重項

また部材内で地盤反力係数が一定 ($k_i = k_{oi} = k_{li}$) の場合には次式のように表わされる。

$$\begin{aligned} w_{i(\rho)} = & -\frac{l_i^4}{6EI} \left(\frac{1}{4} A_i \rho^4 + \frac{1}{20} B_i \rho^5 + \frac{1}{60} C_i \rho^6 + \frac{1}{140} D_i \rho^7 \right) k_i \\ & + A_i + B_i \rho + C_i \rho^2 + D_i \rho^3 + F_{i(\rho)} \dots\dots\dots (1.6) \end{aligned}$$

(1.5) 式, (1.6) 式で注目されることは, 変位 w_i は ρ に関しては高次式であるが, 地盤反力係数 k に関しては一次の関係になっているということである。したがって固有ベクトルおよび一般荷重項が明らかになれば, 部材の変位モードから k 値の逆算は容易に行うことができる。

1.3 固有ベクトルおよび一般荷重項の決定

固有ベクトルは以下のように決定することができる。

(1.4) 式より部材上端 $\rho = 0$ における状態ベクトルは次式のように表わされる。

$$W_{i(0)} = D_i R_{(0)} (N_i + K_{0i(0)}) \dots\dots\dots (1.7)$$

(1.7) 式の両辺に左から $R_{(0)}^{-1} D_i^{-1}$ を乗じ, 整理すれば部材上端における固有ベクトルは次のように表わされる。

$$N_i = \begin{pmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \\ D_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{0i} \\ \theta_{0i} \\ -\frac{l_i^2}{2EI} M_{0i} \\ -\frac{l_i^3}{6EI} S_{0i} \end{pmatrix} - K_{0i(0)} \dots\dots\dots (1.8)$$

ここに w_{0i} ; 部材上端における変位

θ_{0i} ; 部材上端における回転角

S_{0i} ; 部材上端におけるせん断力

M_{0i} ; 部材上端における曲げモーメント

基礎に作用する荷重は基礎頭部 (第1部材上端) に作用する水平力 H_0 および曲げモーメント M_0 であるしたがって一般荷重ベクトル K_i は次のように表わされる。

$$K_{01(0)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -M_0 l_1^2 / 2EI \\ -H_0 l_1^3 / 6EI \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1.9)$$

$$K_{0i(0)} = 0 \quad ; \quad (i = 2 \sim n) \dots\dots\dots (1.10)$$

したがって固有ベクトル N_i は次式のように表わすことができる。

$$N_1 = \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \\ D_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta_0 \\ \theta_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1.11)$$

ここに δ_0 ; 基礎頭部の変位

θ_0 ; " の回転角

$$N_i = \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \\ D_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{0i} \\ \theta_{0i} \\ -\frac{l_i^2}{2EI} M_{0i} \\ -\frac{l_i^3}{6EI} S_{0i} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1.12)$$

(1.12)式の右辺については載荷試験結果から求めることが可能であり、全部材に関して固有ベクトルを決定することができる。なお、(1.12)式は同時に部材間の連続条件を満足していることを意味している。

一般荷重項については、(1.4)式、(1.9)式および(1.10)式より次のように決定することができる。

$$F_{1(\rho)} = -\frac{M_0 l_i^2}{2EI} \rho^2 - \frac{H_0 l_i^3}{6EI} \rho^3 \dots\dots\dots (1.13)$$

$$F_{i(\rho)} = 0 \quad ; \quad (i=2 \sim n) \dots\dots\dots (1.14)$$

1.4 逆算 k 値算定手法

すべての部材に対して固有ベクトルが求められると(1.5)式、(1.6)式より変位 w_i と地盤反力係数 (k_{0i}, k_{1i}) とは一对一の対応が得られる。したがって、載荷試験結果から基礎の任意点の変位が既知であるので、最小二乗法を用いて観測された変位モードを近似するような k 値を推定することができる。この結果、 k_{0i}, k_{1i} は各々次のように表わされる。

$$k_{0i} = \frac{(\sum \beta_i^2) \{ \sum (w_{im,i} - r_i) \alpha_i \} - (\sum \alpha_i \beta_i) \{ \sum (w_{im,i} - r_i) \beta_i \}}{(\sum \alpha_i^2) (\sum \beta_i^2) - (\sum \alpha_i \beta_i)^2} \dots\dots\dots (1.15)$$

$$k_{1i} = \frac{(\sum \alpha_i^2) \{ \sum (w_{im,i} - r_i) \alpha_i \} - (\sum \alpha_i \beta_i) \{ \sum (w_{im,i} - r_i) \beta_i \}}{(\sum \alpha_i^2) (\sum \beta_i^2) - (\sum \alpha_i \beta_i)^2} \dots\dots\dots (1.16)$$

ここに

$$\alpha_i = \frac{l_i^4}{6EI} \left(-\frac{1}{4} A_i \rho^4 + \frac{A_i - B_i}{20} \rho^5 + \frac{B_i - C_i}{60} \rho^6 + \frac{C_i - D_i}{140} \rho^7 + \frac{1}{280} D_i \rho^8 \right) \dots (1.17)$$

$$\beta_i = -\frac{l_i^4}{6EI} \left(\frac{1}{20} A_i \rho^5 + \frac{1}{60} B_i \rho^6 + \frac{1}{140} C_i \rho^7 + \frac{1}{280} D_i \rho^8 \right) \dots\dots\dots (1.18)$$

$$r_i = A_i + B_i \rho + C_i \rho^2 + D_i \rho + F_{i(\rho)} \dots\dots\dots (1.19)$$

$w_{im,i}$; 水平載荷試験から得られた変位の測定値

また、部材内で地盤反力係数が一定の場合、 k_i は次のように表わされる。

$$k_i = \frac{\sum (w_{im,i} - r_i) \alpha'_i}{\sum \alpha'^2_i} \dots\dots\dots (1.20)$$

ここに

$$\alpha'_i = -\frac{l_i^4}{6EI} \left(\frac{1}{4} A_i \rho^4 + \frac{1}{20} B_i \rho^5 + \frac{1}{60} C_i \rho^6 + \frac{1}{140} D_i \rho^7 \right) \dots\dots (1.21)$$

2. 適用性の検討

2.1 理論解への適用

本計算手法の実際の適用に際しては、水平載荷試験結果から得られる基礎の変位および断面力の測定値を用いることが前提となるが、ここでは適用性、特に推定精度を検討するために、一層地盤および二層地盤のモデルの理論解を測定値とみなして逆算 k 値の算定を行った。

図-2.1.1～2.1.3に算定に用いたモデルを示す。表-2.1.1に計算結果を示すが、本計算手法による逆算 k 値の推定誤差はいずれもごく小さく、精度よく推定できることがわかる。

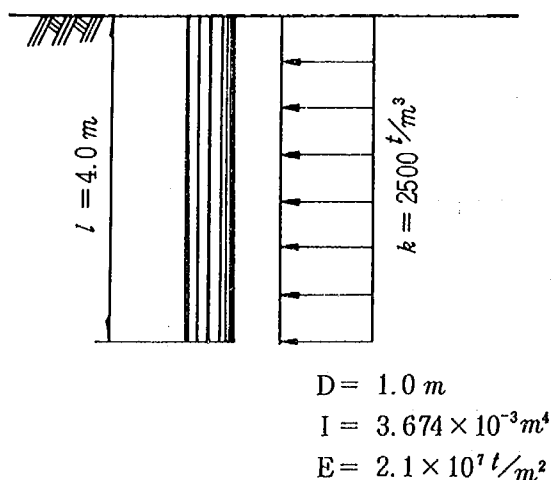


図-2.1.1 計算例 (Model 1)

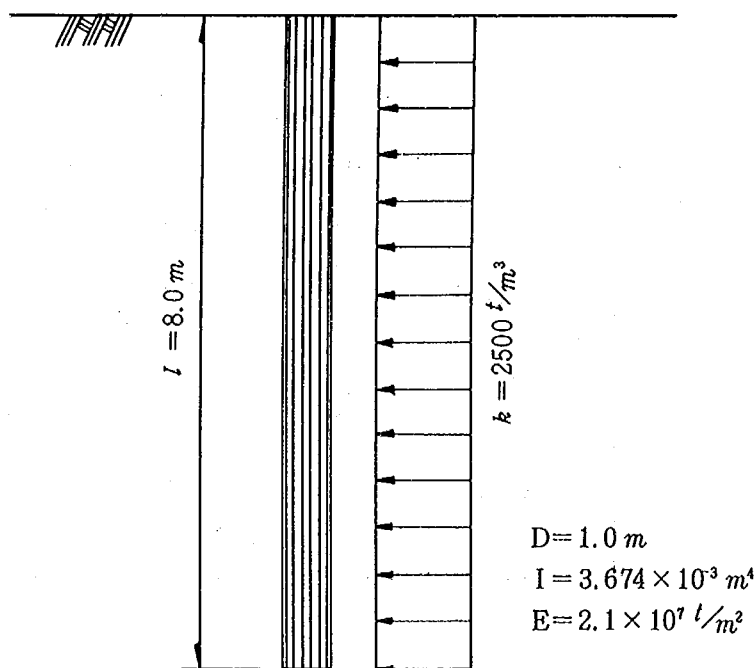
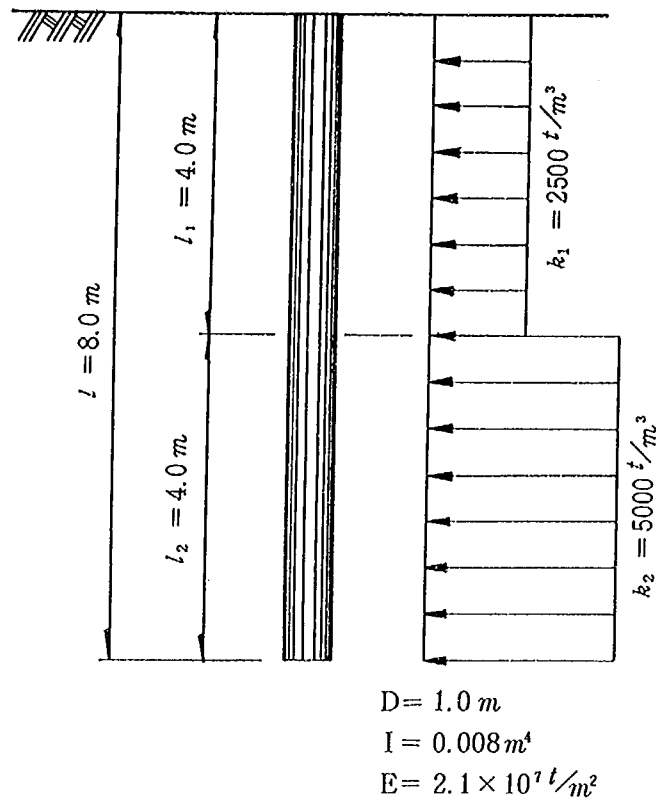


図-2.1.2 計算例 (Model 2)



図一 2.1.3 計 算 例 (Model 3)

表 - 2.1.1 逆算 k 値

	理論解の k 値 (t/m^3)	逆算 k 値(t/m^3)	推定誤差 (%)
Model 1	2 5 0 0	2 5 7 0	2.8
Model 2	2 5 0 0	2 5 5 0	2.0
Model 3	2 5 0 0	2 5 2 0	0.8
	5 0 0 0	4 9 8 0	0.4

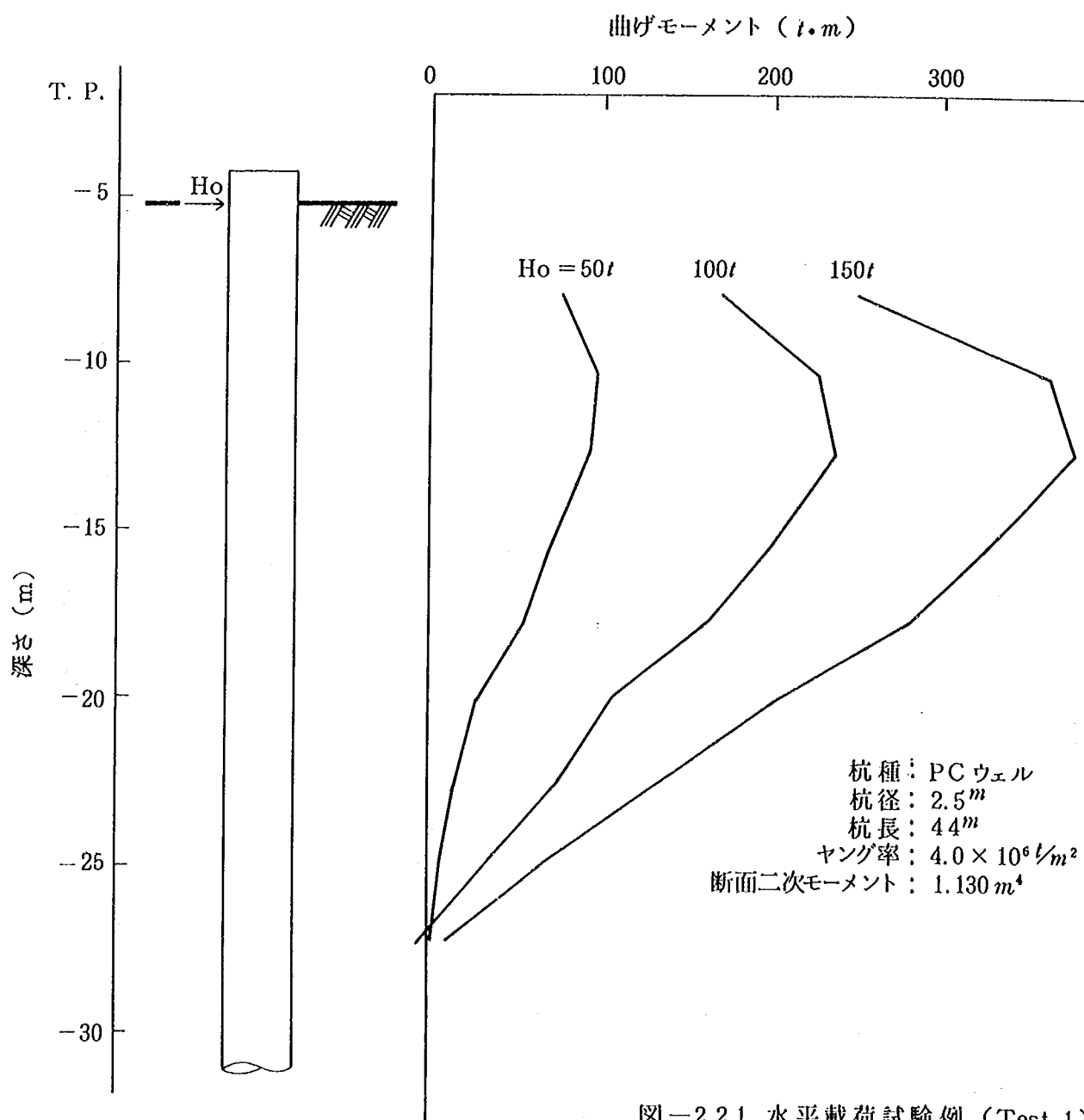
2.2 水平載荷試験例への適用

水平載荷試験は重要な構造物の設計施工に際して相当数実施されており、データもかなりの量に達していると考えられるが、ここでは大径杭の水平載荷試験結果に本計算手法を適用してみた。ここでは本計算手法の適用性を検討することが目的であるが、水平載荷試験における真の k 値は不明であり、また測定値には誤差も含まれているため、逆算 k 値の推定精度を直接検討することができない。そこで、水平載荷試験

で測定された基礎の変位、断面力と、逆算 k 値を用いて計算した変位、断面力とを対比することにより適用性を検討することにした。

図-2.2.1, 2.2.2に試験杭および実測曲げひずみより算出した曲げモーメント分布を示す。計算ではこの曲げモーメント分布を5次式によりスムージングしたものをインプットデータとした。分割数はTest 1では3, Test 2では2とし、 k の分布はいずれも台形分布とした。

図-2.2.3～2.2.6に変位分布および曲げモーメント分布を示す。同図にchangの手法により算出した k 値を用いて計算した結果をあわせて示すが、changの手法では杭頭の変位のみから k 値を逆算しているため、地表面付近では測定値と比較的によくあっているが、深くなるにしたがって誤差が大きくなっている。これに対し、本計算手法では基礎全体の変位モードを近似するような k 値を逆算しているため、変位、曲げモーメントいずれも地中深くなるまで測定値とよく一致していることがわかる。



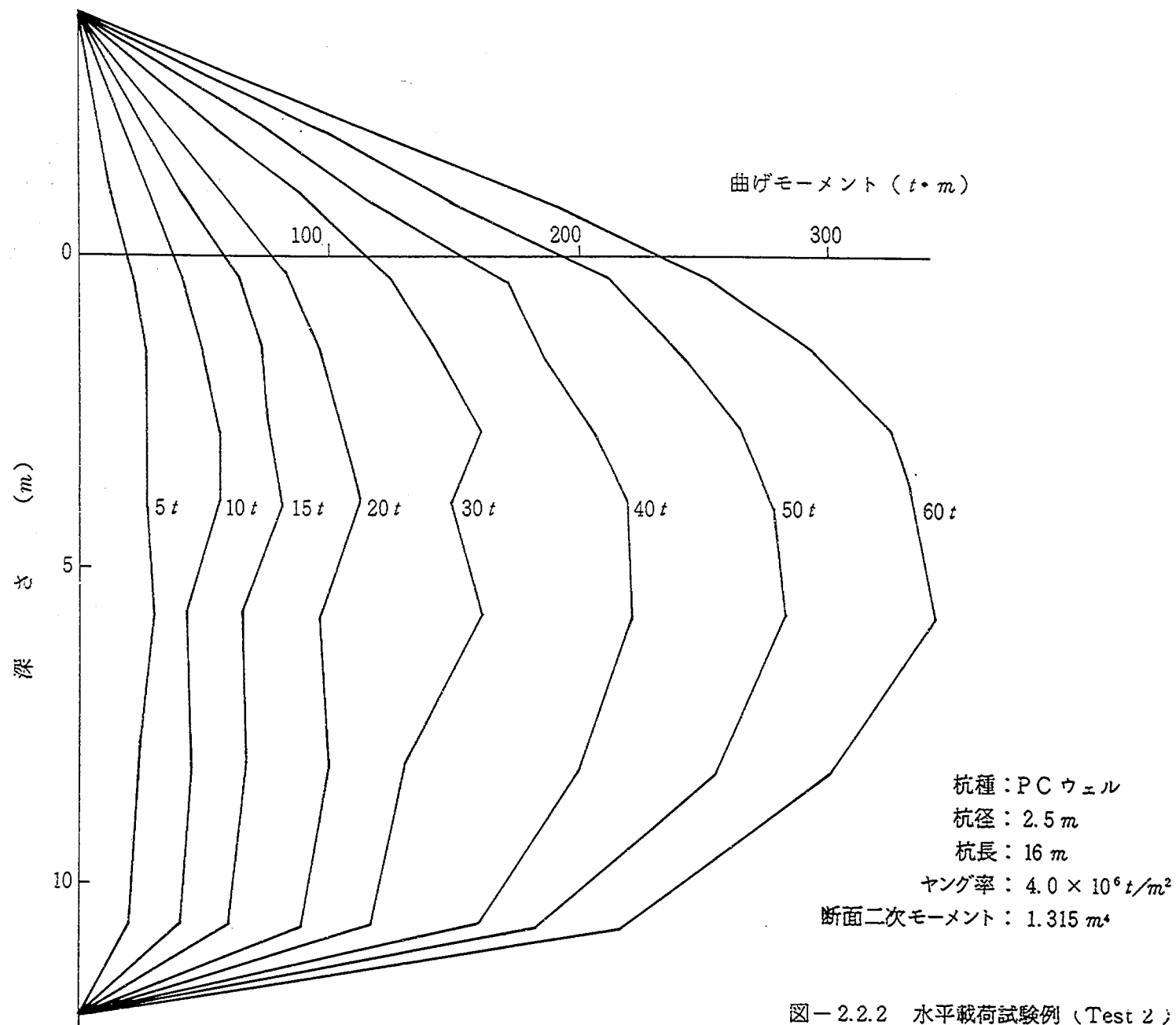
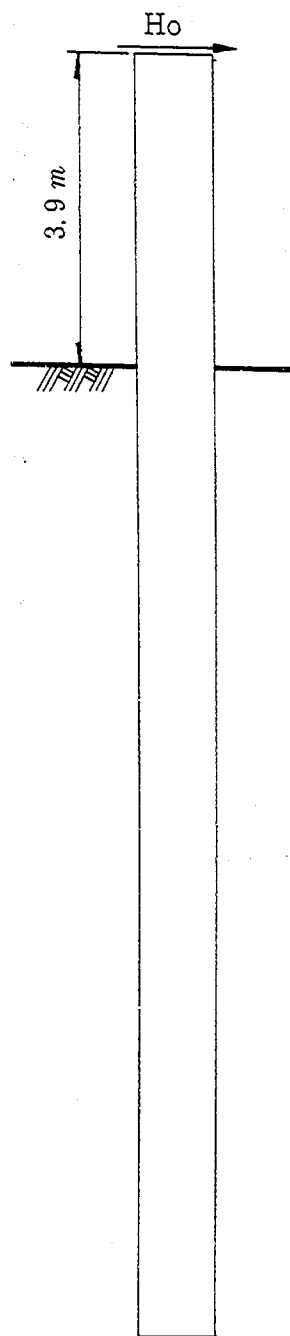


図-2.2.2 水平載荷試験例 (Test 2)

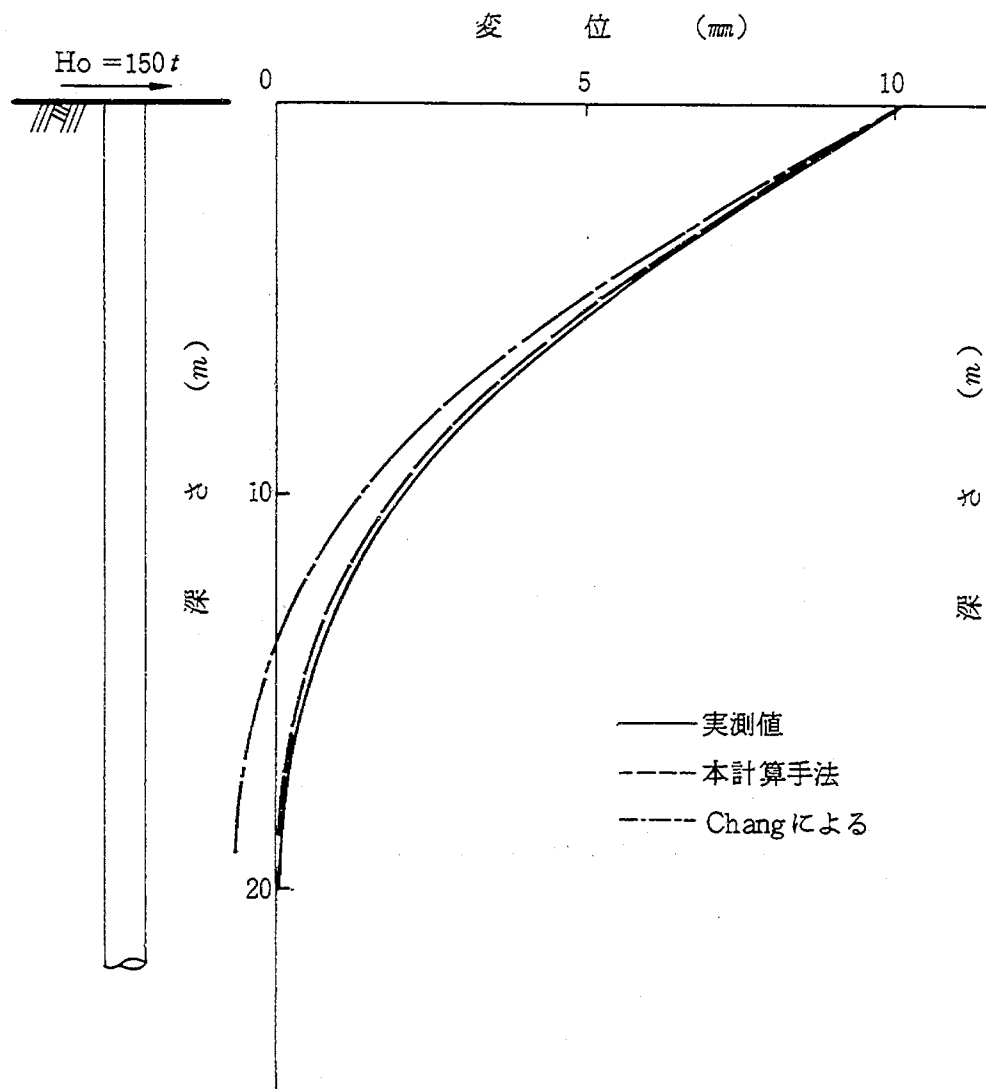


図-2.2.3 変位分布 (Test 1)

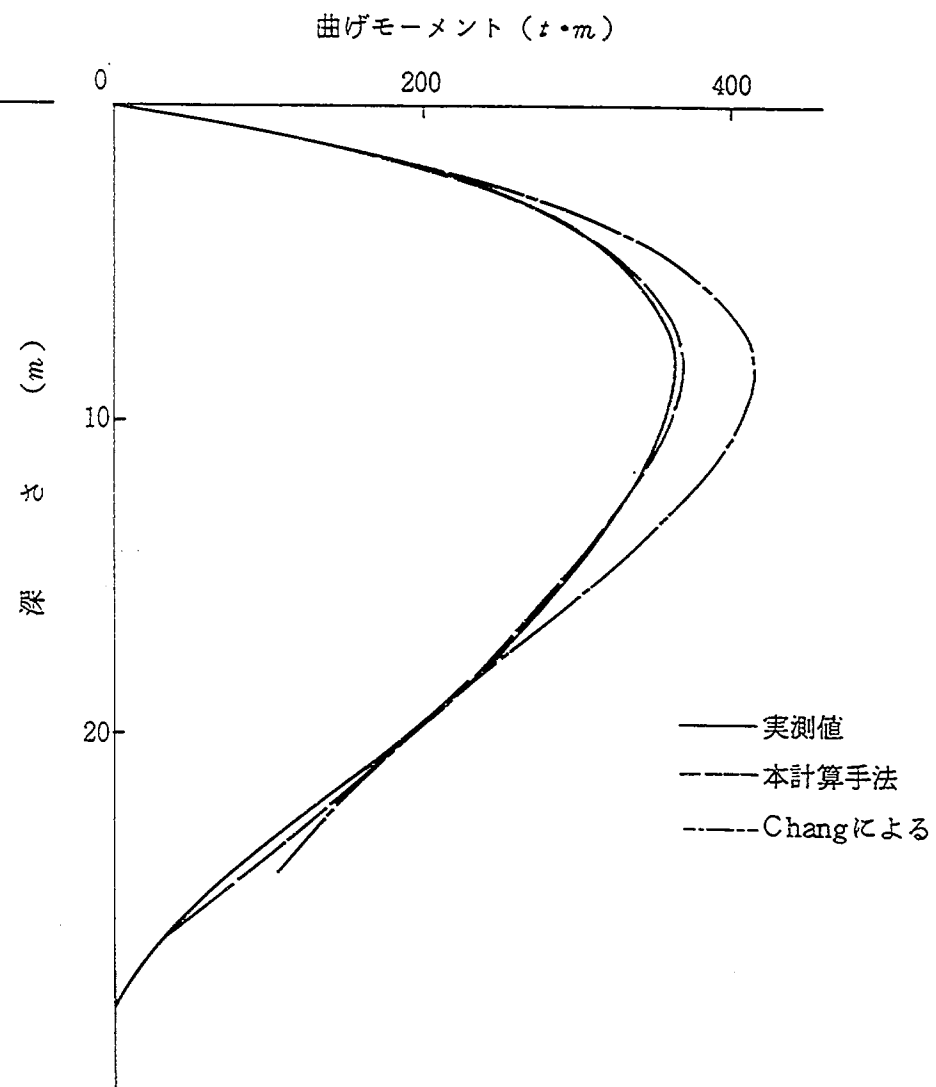


図-2.2.4 曲げモーメント分布 (Test 1)

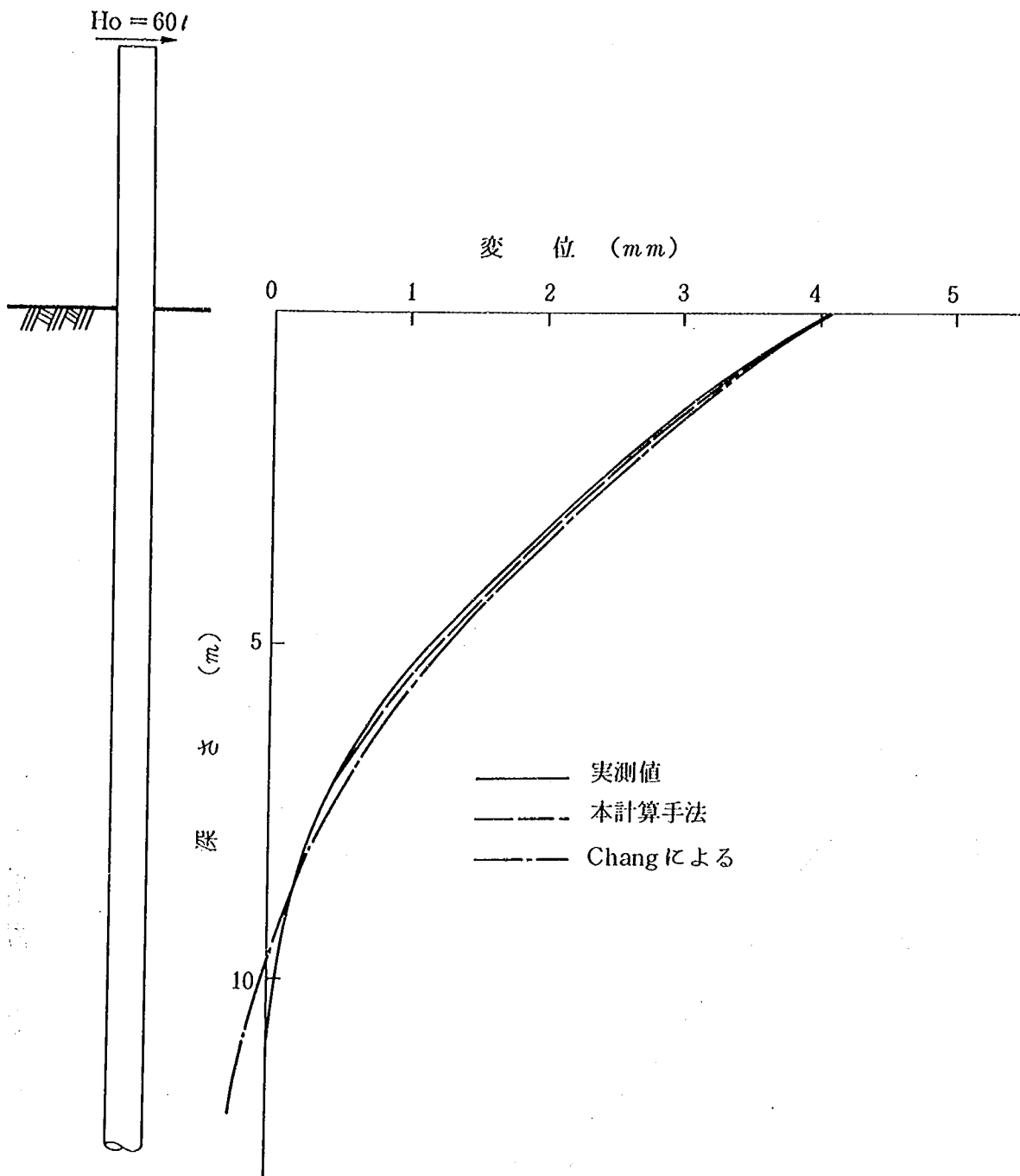
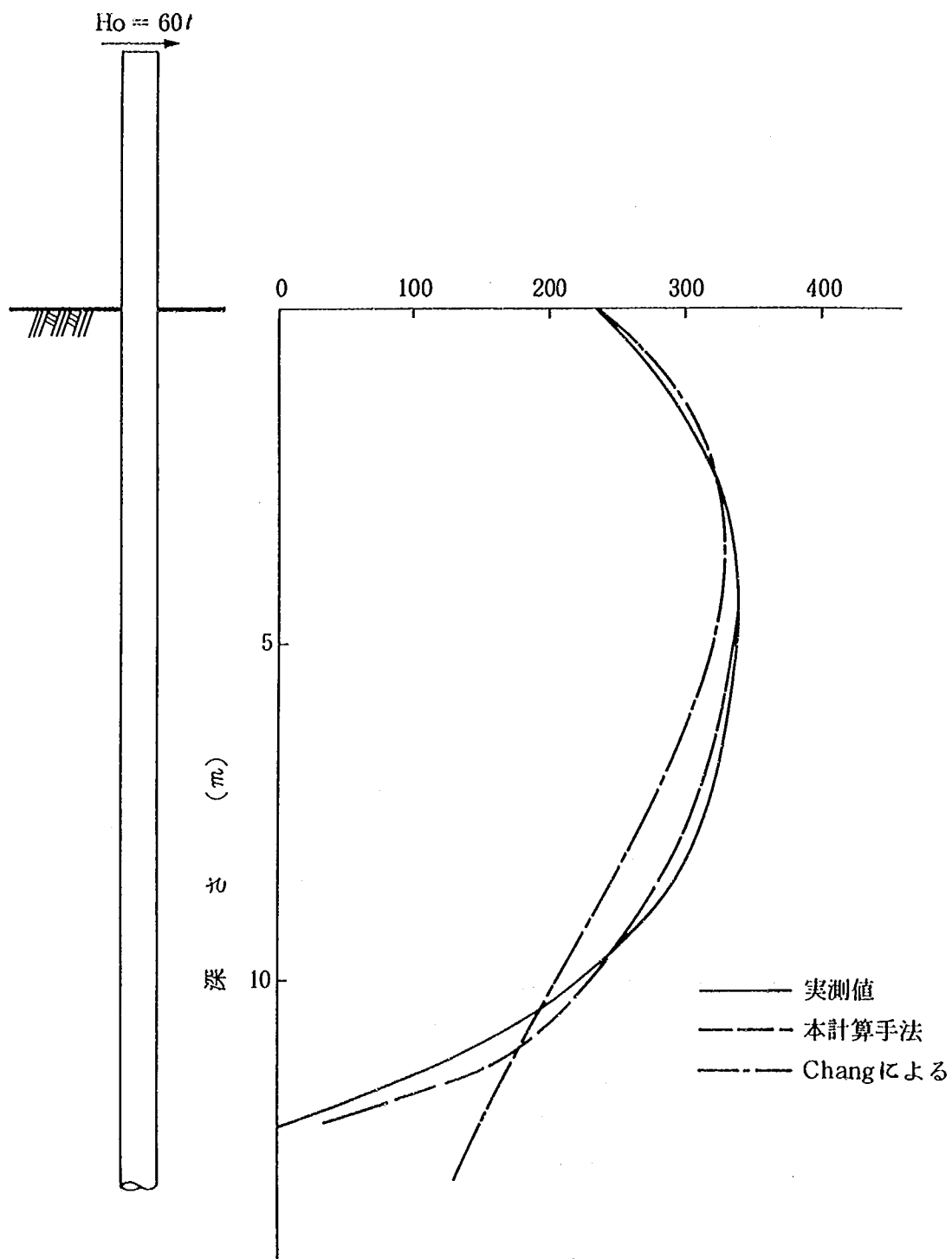


図-2.2.5 変位分布 (Test 2)



図一 2.2.6 曲げモーメント分布 (Test 2)

3. 電算プログラム

本プログラムは反力載荷法による逆算 k 値を算定するためのプログラムであり、杭、ケーソン等の載荷試験の結果として得られる変位、断面力をインプットして逆算 k 値を求めるものである。

なお、本プログラムには逆算 k 値の適合性を見るためのルーチンは組みこまれていない。

3.1 プログラムの構成

3.1.1 メインプログラムの計算フロー

本プログラムはメインプログラム及び4つのサブルーチンからなっておりプログラムステップも全部で200ステップに満たない小さなプログラムである。

フローも図-3.1.1に示すように非常に単純である。

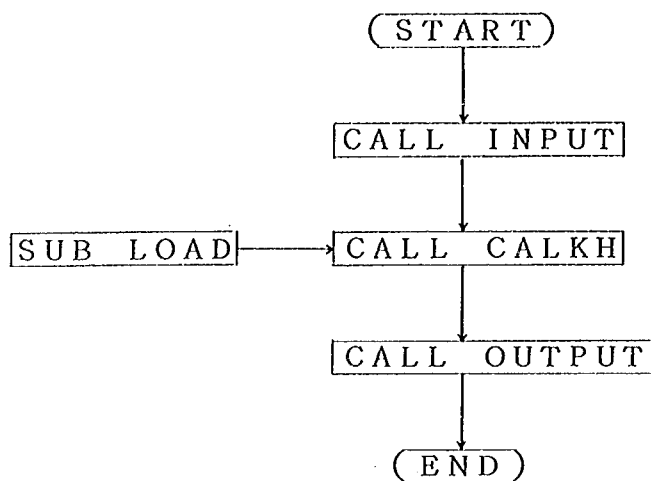


図-3.1.1 メインプログラムフローチャート

各サブルーチンの動きは以下の通りである。

INPUT : インプットデータの読み込み

CALKH : 逆算 k 値の算定

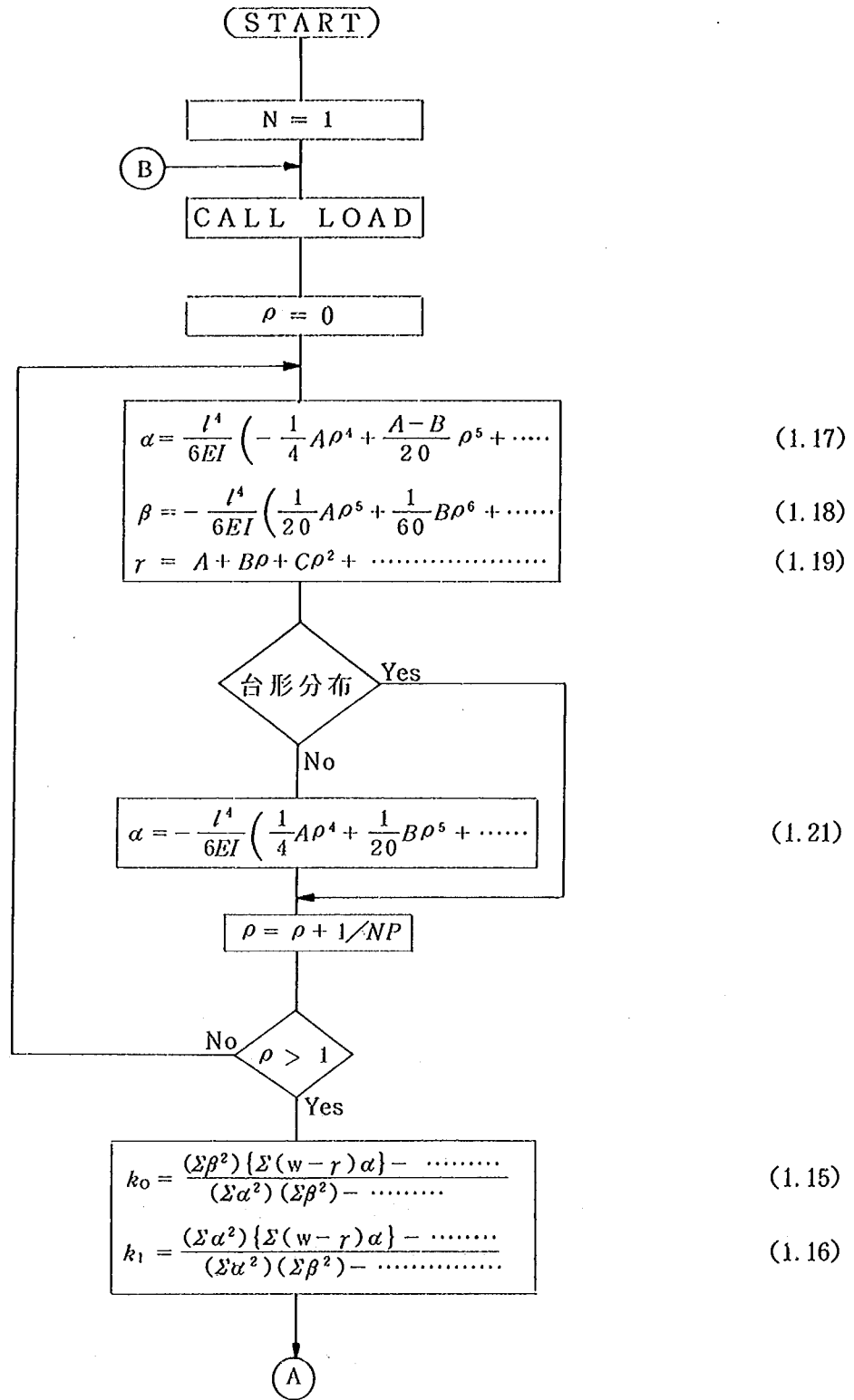
LOAD : 基礎頭部荷重項

OUTPUT : 計算結果のプリント

3.1.2 サブルーチン CALKH

逆算 k 値算定の主要部は、このサブルーチンである。ここでは前述の(1.5)式から(1.21)式の内容がプログラムされている。

図-3.1.2にサブルーチンCALKHのフローチャートを示す。



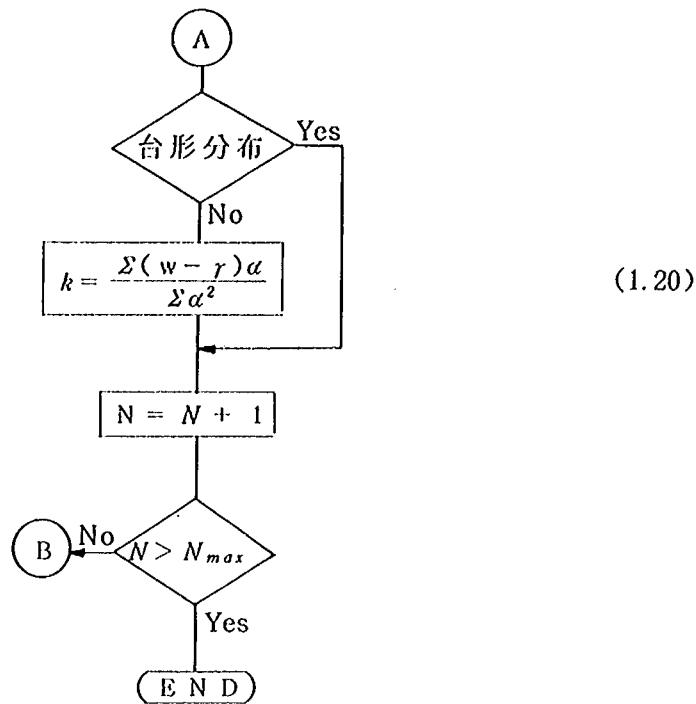


図-3.1.2 サブルーチン CALKH フローチャート

3.2 インプットマニュアル

3.2.1 インプットデータの仕様

インプットデータの仕様は表-3.2.1に示す通りである。

データインプットに際しては以下の項目について注意しなければならない。

- (1) 水平地盤反力係数は1部材内において深さ方向に線形に変化し、台形、または矩形を任意に選択することができる。
- (2) 本計算は近似計算あるので部材数により解の精度が影響される。部材数は N 値、地層等の地盤の状態、または部材の諸元等から $\beta l \leq 1.0$ 程度を目安として決める。
- (3) 載荷試験データからの入力値は、各部材上端における変位(w_{oi})、回転角(θ_{oi})、せん断力(S_{oi})、曲げモーメント(M_{oi})および部材割点における変位 $w_{m,i}$ である。
- (4) 部材分割点は各部材に対して等分割である。
- (5) 表-3.2.1に示すインプットデータの仕様の中の NP は、各部材の分割数である。したがって変位のデータは $(NP+1)$ 個必要である。
- (6) 載荷試験での外力は、杭頭における水平荷重およびモーメント荷重として評価する。
- (7) インプットに用いる単位は全て[t][m][rad]、アウトプットも全て[t][m][rad]である。
- (8) アウトプットされる逆算 k 値は、基礎巾が乗じられた形である。つまり単位は[t/m²]となる。

DATA SHEET

PROBLEM

WRITTEN BY

PAGE

OF

No.	表-3.2.1 逆算k値算定プログラム インプットデータ仕様																																																																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
1	J	N	TITLE (68:カラム)																																																																													
2	k値分布*	部材数**	タイトル																																																																													
3	(I1, 2X, 2I, 5X, 17A4)																																																																															
4																																																																																
5	NP	L	E	I	wo	θo	So	Mo																																																																								
6	計算点数	部材長(m)	ヤング係数(t/m ²)	断面二次モーメント(m ⁴)	変位(m)	回転角(rad)	せん断力(t)	曲げモーメント(tm)																																																																								
7	各部材上端断面力																																																																															
8	(I5, 5X, 7F10.5)																																																																															
9																																																																																
10	wo	w	w ₁	w ₂	w ₃	wnp=1																																																																										
11	部材分割点における変位(m)																																																																															
12	(8F10.5)																																																																															
13																																																																																
14	JT	P																																																																														
15	荷重タイプ***	荷重(t又はt.m)																																																																														
16	(I5, 5X, F10.5)																																																																															
17																																																																																
18	99999																																																																															
19	荷重の終り																																																																															
20																																																																																
21	* J=0 ; k値台形分布	** N ; 部材数 ≤ 30	*** JT=0 ; 集中荷重																																																																													
22	1 ; k値矩形分布	1 ; モーメント荷重																																																																														
23																																																																																
24																																																																																
25																																																																																

N組必要

3.2.2 インプットデータ例

図-3.2.1に示す綱管杭を想定する。表-3.2.2にインプットデータを示す。

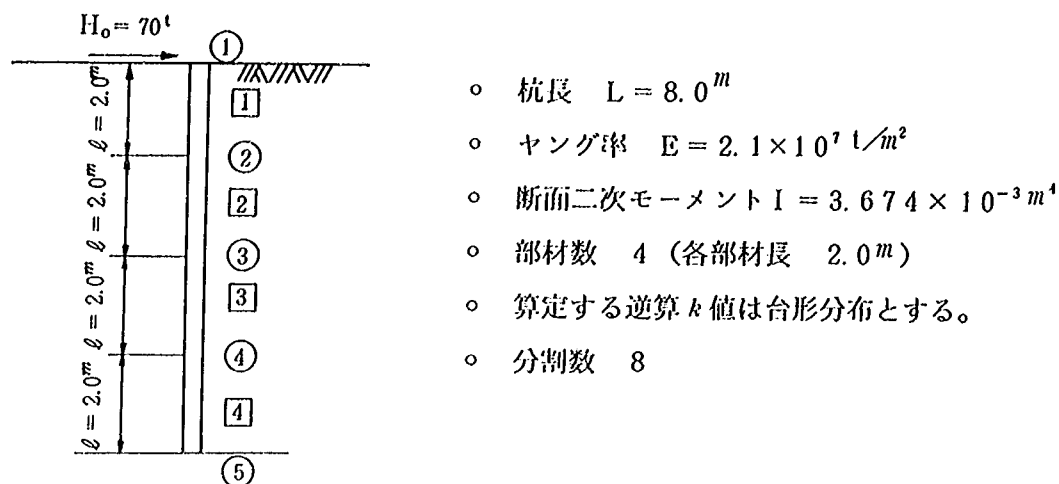


図-3.2.1

3.3. アウトプット仕様

アウトプット形式のプリントフローは図-3.3.1に示す通りである。

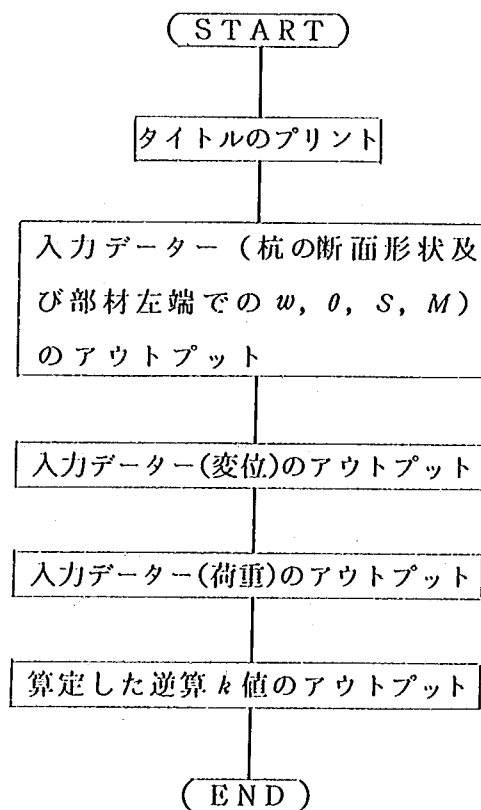


図-3.3.1 アウトプットのプリントフロー

建設省土木研究所電子計算機室

PROBLEM

WRITTEN BY

PAGE

OF

表-3.2.2 インプットデータ例																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
1				4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							</

4. ま と め

反力載荷法による大径杭の逆算 k 値算定手法の特徴をまとめれば、次のようになる。

- (1) 基礎周辺地盤を多層地盤に分割して評価でき、また基礎全体の変位モードを近似するような k 値を逆算できるため、地盤の性状の変化に対応した精度の良い逆算 k 値が得られる。
- (2) 多層地盤の場合だけでなく、短杭等の諸条件が複雑な場合にも適用が可能である。
- (3) 逆算 k 値の推定精度を向上させるためには、 βl に応じて基礎本体を分割することにより対処できる。(実用上は各部材長を $1/\beta$ 程度とすれば十分な精度が得られる。)

本計算手法における問題点および今後の課題をあげれば、次のようになる。

- (1) 本計算手法では水平載荷試験で得られたひずみデータ等から基礎の変位、断面力を算出し、これから逆算 k 値を算定している。したがって逆算 k 値の推定精度を向上させるためには変位、断面力を精度よく算出する必要がある。
- (2) 基礎の挙動には地表面付近の k 値が大きく影響し、深部の k 値はあまり影響しない。そこで測定データに重みをつけて最小二乗法を行えば、 k 値の推定精度を向上させることができるのではないかとと思われる。
- (3) まえがきでも述べたように、本調査の最終目標はケーソンと杭の設計体系を統一することであり、本計算手法は地盤バネ評価法統一のための一検討手段にすぎない。したがって今後は本計算手法を多くの水平載荷試験例に適用し、基礎根入れ長、載荷幅、変位等の k 値への影響について十分に検討することが必要である。

参 考 文 献

- 1) 塩井幸武, 光家康夫, 清水孝男: 大径杭の設計計算プログラムの作成, 土木研究所資料第 1601 号, 土木研究所, 昭和 55 年 5 月
- 2) 谷本勉之助, 石川清志: 演算子法構造解析 1 梁の固有マトリクス法, 森北出版, 1977
- 3) Levinton, Z: Elastic Foundation Analyzed by the Method of Redundant Reaction, Proc. ASCE, Vol. 73, pp 1529 ~ 1541, 1947
- 4) 横山幸満: 杭構造物の計算法と計算例, 山海堂, 1977
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書IV下部構造編, 昭和 55 年 5 月

プログラムリスト

今回作成したプログラムのリストを以下に示す。使用機種は「HITAC M-180」である。

1		C	** GUESSED KH-VALUE **
2	00001		COMMON/AA/ TITLE(17),ICTR
3	00002		COMMON/BB/ NMAX,NO(30),AL(30),EI(30),EE(30),AI(30),EKA(30),EKB(30)
4	00003		COMMON/CC/ KMAX,JT(50),PA(50)
5	00004		COMMON/DD/ X(4,30),WIN(30,50)
6		C	
7	00005	100	READ(5,1,END=999) JCTR,NMAX,TITLE
8	00006	1	FORMAT(I1,I4,5X,17A4)
9	00007		ICTR=1
10	00008		IF(JCTR.EQ.1) ICTR=2
11	00009		CALL INPUT
12	00010		CALL CALKH
13	00011		CALL OUTPUT
14	00012		GO TO 100
15	00013	999	STOP
16	00014		END

17		C	** DATA READ **
18	00001		SUBROUTINE INPUT
19	00002		COMMON/BB/ NMAX, NP(30), AL(30), EI(30), EE(30), AI(30), EKA(30), EKB(30)
20	00003		COMMON/CC/ KMAX, JT(50), PA(50)
21	00004		COMMON/DD/ X(4,30), WIN(30,50)
22		C	
23	00005		DO 100 N=1, NMAX
24	00006		READ(5,1) NP(N), AL(N), EE(N), AI(N), (X(J,N), J=1,4)
25	00007		NNP=NP(N)+1
26	00008		READ(5,2) (WIN(N,J), J=1, NNP)
27	00009		EI(N)=EE(N)*AI(N)
28	00010	100	CONTINUE
29	00011		K=0
30	00012	110	K=K+1
31	00013		IF(K .EQ. 3) GO TO 120
32	00014		READ(5,3) JJT, PA(K)
33	00015		JT(K)=JJT+1
34	00016		GO TO 110
35	00017	120	KMAX=K-1
36	00018		1 FORMAT(I5,5X,7F10.5)
37	00019		2 FORMAT(8F10.5)
38	00020		3 FORMAT(I5,5X,F10.5)
39	00021		RETURN
40	00022		END

```

41      C      ** PRINT OUT **
42      00001      SUBROUTINE OUTPUT
43      00002      DIMENSION TYPE(2),R(50)
44      00003      COMMON/AA/ TITLE(17),ICTR
45      00004      COMMON/BB/ NMAX,NP(30),AL(30),EI(30),EE(30),AI(30),EKA(30),EKB(30)
46      00005      COMMON/CC/ KMAX,JT(50),PA(50)
47      00006      COMMON/DD/ X(4,30),WIN(30,50)
48      00007      REAL*16 TYPE
49      00008      DATA TYPE/10HCONCENT(S),10HMOMENT /
50
51      C
52      00009      WRITE(6,1) TITLE
53      00010      WRITE(6,2) NMAX
54      00011      WRITE(6,3)
55      00012      DO 100 N=1,NMAX
56      00013      100 WRITE(6,4) N,NP(N),AL(N),EE(N),AI(N),(X(J,N),J=1,4)
57      00014      WRITE(6,5)
58      00015      DO 120 N=1,NMAX
59      00016      NNP=NP(N)+1
60      00017      DO 110 J=1,NNP
61      00018      110 R(J)=FLOAT(J-1)/FLOAT(NP(N))
62      00019      WRITE(6,6) N
63      00020      WRITE(6,7) ((R(J),WIN(N,J)),J=1,NNP)
64      00021      120 CONTINUE
65      00022      IF(KMAX.EQ.0) GO TO 140
66      00023      WRITE(6,8)
67      00024      DO 130 K=1,KMAX
68      00025      130 WRITE(6,9) TYPE(JT(K)),PA(K)
69      00026      140 WRITE(6,10)
70      00027      DO 150 N=1,NMAX
71      00028      150 WRITE(6,11) N,EKA(N),EKB(N)
72
73      C
74      00029      1 FORMAT(1H1//10X,17A4)
75      00030      2 FORMAT(//10X,10H* MEMBER =,I2,2H *)
76      00031      3 FORMAT(//10X,15H* MEMBER DATA *//9X,1HN,3X,2HNP,7X,1HL,11X,1HE,
77      00032      * 12X,1HI,13X,2HW0,13X,3HTH0,14X,2HS0,14X,2HM0/)
78      00033      4 FORMAT(5X,2I5,F10.2,F14.1,F12.5,1PE16.4,3E16.4)
79      00034      5 FORMAT(//10X,16H* INPUT W(ROW) *//9X,1HN,6(4X,3HROW,7X,1HW,5X)/)
80      00035      6 FORMAT(5X,I5)
81      00036      7 FORMAT((10X,6(OPF8.3,1PE12.4)))
82      00037      8 FORMAT(//10X,25H* LOAD DATA (KISO-TOBU) *//10X,4HTYPE,17X,1HP /)
83      00038      9 FORMAT(10X,A10,F15.3)
84      00039      10 FORMAT(//5X,20(1H-)//10X,30H*** GUESSED VALUE OF KH *** //
85      00040      * 14X,1HN,16X,3HKH0,17X,3HKH1/)
86      00041      11 FORMAT(10X,I5,2F20.2)
87
88      C
89      00040      RETURN
90      00041      END

```

88		C	** KH0,KH1 NO SUISAN **
89	00001		SUBROUTINE CALKH
90	00002		DIMENSION VECT(6)
91	00003		COMMON/AA/ TITLE(17),ICTR
92	00004		COMMON/BB/ NMAX,NP(30),AL(30),EI(30),EE(30),AI(30),EKA(30),EKB(30)
93	00005		COMMON/CC/ KMAX,JT(50),PA(50)
94	00006		COMMON/DD/ X(4,30),WIN(30,50)
95	00007		REAL* 8 A,B,C,D,VEC5,VEC6,PF,S1,S2,S3,S4,S5,ROQ,ROW2,ROW3,ROW4
96		*	,ROW5,ALF,BET,GAM,SS
97		C	
98	00008		DO 130 N=1,NMAX
99		C	
100	00009		A= X(1,N)
101	00010		B= X(2,N)*AL(N)
102	00011		C=-X(4,N)*AL(N)**2/(2.0*EI(N))
103	00012		D=-X(3,N)*AL(N)**3/(6.0*EI(N))
104	00013		IF(N.GT.1) GO TO 92
105	00014		IF(KMAX.EQ.0) GO TO 92
106	00015		VEC5=0.
107	00016		VEC6=0.
108	00017		DO 91 K=1,KMAX
109	00018		CALL LOAD(JT(K),VECT,0.,EI(1),AL(1),PA(1),0.,0.,0.,0.)
110	00019		VEC5=VEC5+VECT(5)
111	00020		VEC6=VEC6+VECT(6)
112	00021	91	CONTINUE
113	00022		C=C-VEC5
114	00023		D=D-VEC6
115	00024	92	CONTINUE
116		C	
117	00025		EI6=6.0*EI(N)
118	00026		PF=AL(N)**4/EI6
119	00027		S1=0.
120	00028		S2=0.
121	00029		S3=0.
122	00030		S4=0.
123	00031		S5=0.
124		C	
125	00032		NNP=NP(N)+1
126	00033		DO 120 J=1,NNP
127		C	
128	00034		ROW=FLOAT(J-1)/FLOAT(NP(N))
129	00035		ROQ=ROW
130	00036		ROW2=ROQ**2
131	00037		ROW3=ROQ**3
132	00038		ROW4=ROQ**4
133	00039		ROW5=ROQ**5
134		C	
135	00040		ALF=PF*ROW4*(-0.25*A+(A-B)/20.*ROQ+(B-C)/60.*ROW2+(C-D)/140.*ROW3
136		*	+D/280.*ROW4)*EI6
137	00041		BET=PF*ROW5*(-A/20.-B/60.*ROQ-C/140.*ROW2-D/280.*ROW3)*EI6
138	00042		GAM=A+B*ROQ+C*ROW2+D*ROW3
139	00043		IF(ICTR.NE.2) GO TO 105

```

140      00044      ALF=-PF*ROW4*(0.25*A+1.0/20.0*B*ROQ+1.0/60.*C*ROW2+1./140.*D*ROW3)
141      *      *EI6
142      00045      105 IF(N.GT.1) GO TO 110
143      00046      IF(KMAX.EQ.0) GO TO 110
144      00047      SS=0.
145      00048      DO 100 K=1,KMAX
146      00049      CALL LOAD(JT(K),VECT,ROW,EI(1),AL(1),PA(1),0.,0.,0.,0.)
147      00050      SS=SS+VECT(3)+VECT(4)*ROQ+VECT(5)*ROW2+VECT(6)*ROW3
148      00051      100 CONTINUE
149      00052      GAM=GAM+SS
150      00053      110 S1=S1+ALF*ALF
151      00054      S2=S2+ALF*BET
152      00055      S3=S3+BET*BET
153      00056      S4=S4+(WIN(N,J)-GAM)*ALF
154      00057      S5=S5+(WIN(N,J)-GAM)*BET
155      C
156      00058      120 CONTINUE
157      C
158      00059      SS1=S3*S4-S2*S5
159      00060      SS2=S1*S3-S2*S2
160      00061      SS3=S1*S5-S2*S4
161      00062      EKAA=SS1/SS2
162      00063      EKBB=SS3/SS2
163      00064      IF(EKAA) 300,301,301
164      00065      301 IF(EKBB) 303,305,305
165      00066      300 EKAA=0.
166      00067      EKBB=S5/S3*EI6
167      00068      IF(EKBB) 304,302,302
168      00069      303 EKBB=0.
169      00070      EKAA=S4/S1*EI6
170      00071      IF(EKAA) 304,302,302
171      00072      304 EKAA=0.
172      00073      EKBB=0.
173      00074      302 EKA(N)=EKAA
174      00075      EKB(N)=EKBB
175      00076      GO TO 306
176      00077      305 EKA(N)=SS1*EI6/SS2
177      00078      EKB(N)=SS3*EI6/SS2
178      00079      306 IF(ICTR.NE.2) GO TO 130
179      00080      EKAA=S4/S1*EI6
180      00081      IF(EKAA) 310,311,311
181      00082      310 EKA(N)=0.
182      00083      EKB(N)=0.
183      00084      GO TO 130
184      00085      311 EKA(N)=S4/S1*EI6
185      00086      EKB(N)=S4/S1*EI6
186      C
187      00087      130 CONTINUE
188      00088      RETURN
189      00089      END

```

190		C	** LOAD VECTOR **
191		C	
192	00001		SUBROUTINE LOAD(JT,VECT,ROW,EI,EL,P1,P2,AL1,AL2,EA)
193	00002		DIMENSION VECT(1)
194		C	
195	00003		DO 100 I=1,6
196	00004		100 VECT(I) = 0
197		C	
198	00005		A = AL1 / EL
199	00006		IF (ROW - A) 110,130,130
200	00007	110	PS = A - ROW
201	00008		IF (PS - 1.0E-5) 130,120,120
202	00009	120	RETURN
203		C	
204	00010	130	GO TO (1000,2000) , JT
205		C	
206	00011	1000	Z = P1* EL ** 3 / (6.0 * EI)
207	00012		VECT(3) = - Z * A ** 3
208	00013		VECT(4) = 3.0 * Z * A ** 2
209	00014		VECT(5) = -3.0 * Z * A
210	00015		VECT(6) = Z
211	00016		RETURN
212		C	
213	00017	2000	Z = P1 * EL ** 2 / (2.0 * EI)
214	00018		VECT(3) = - Z * A ** 2
215	00019		VECT(4) = 2.0 * Z * A
216	00020		VECT(5) = - Z
217	00021		RETURN
218		C	
219	00022		END

大径杭の逆算 k 値算定手法

土研資料第1817号
建設省土木研究所
基礎研究室
昭和56年9月(1981)
塩井幸武
福井次郎
清水孝男

キーワード : 逆算 k 値, 反力載荷法,
大径杭, 水平載荷試験

要 旨

反力載荷法に基づき, 多層地盤の場合にも適用が可能な逆算 k 値算定手法およびその計算プログラムについて説明したものである。

○

郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
基礎研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

○

配布先住所

○

土木研究所資料第 1817 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 ㊦