

土 木 研 究 所 資 料

Morgenstern-Price 法による必要抑止力の算定
—地すべり抑止杭の解析—

平成5年3月

建設省土木研究所
砂防部地すべり研究室

Copyright © (1993) 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 General 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

Morgenstern-Price法による必要抑止力の算定 —地すべり抑止杭の解析—

地すべり研究室 室 長 吉 松 弘 行

部外研究員 鈴木 昌 明*

*現 日栄地質測量設計株式会社

要 旨

従来の簡便法による，必要抑止力に対し，Morgenstern-Price 法による必要抑止力という概念を導入して，各種断面について，比較検討をおこなった。また，伝達マトリックス法により，地すべり推力が作用した場合の杭の解析プログラムを作成した。

キーワード：簡便法，Morgenstern-Price法，必要抑止力，抑止杭工，伝達マトリックス法

まえがき

近來、地すべり地の抑止工として、鋼管杭の打設が各所でなされるようになってきた。しかし、その打設位置を決定するうえにおいては、確たる理論的根拠がないのが現状である。実際の現場においては、現場の地形条件を鑑みて、おおよその compression zone に施工というのが通例のようである。

現報告では位下の考えに基づいて、必要抑止力の算定と杭の解析を行った。

- (1) 杭が土塊に及ぼす力を考慮することによって、極限平衡法（ここではMorgenstern-Price法）を使って必要抑止力を算定し、杭打設の最適位置決定の試みがなされている。この過程で従来の簡便法による算定法との比較検討を行った。
- (2) 土塊が杭に及ぼす力（これは、作用反作用の法則より(1)で求めた力と同じ大きさとする。）を考慮することによって、杭の解析を行う。ここでは曲げくさび杭に分布荷重をかけた場合の解析をした。この過程で従来の、すべり面に集中荷重をかけるとした場合の式との検証を行った。

(1)、(2)ともに F O R T R A N によりプログラムを作成した。

平成4年10月

地すべり研究室室長 吉松 弘行
部外研究員 鈴木 昌明*

*現 日栄地質測量設計株式会社

目 次

まえがき

1 従来の簡便法による必要抑止力の算定	1
2 Morgenstern-Price法による必要抑止力の算定 - 1	
(1) 基本的考え方	3
(2) 伊藤・松井の考え方	4
(3) Morgenstern-Price法について - 理論	8
(4) Morgenstern-Price法について - 実際のプログラム作成上の問題	
a) プログラム・ミスについて	13
b) 有効力の問題	15
c) 土研資料 (参考文献 6) に付け加えた点	15
d) $f(x)$ について	17
3 Morgenstern-Price法による必要抑止力の算定 - 2 計算結果	
(1) プログラム作成上の問題点	18
(2) 土質定数について	18
(3) サンプルデータによる計算 - 各種考え方	19
(4) サンプルデータによる計算 - 計算結果 (付録 1)	22
(5) 考え方 1 と考え方 2 による抑止力の計算 (付録 3)	24
a) 抑止力の "誤差"	25
b) 簡便法との比較	26
c) 簡便法と M-P 法の抑止力の相関関係	26
(6) 考え方 4 による計算 (付録 4)	28
(7) 考え方 1 による抑止力の c 、 ϕ による変化 (付録 5)	28
a) 簡便法による安全率と抑止力の c 、 ϕ による変化	29
b) M-P 法による抑止力の c 、 ϕ による変化	32
c) 簡便法による抑止力と M-P 法による抑止力の関係	33
(8) まとめ	34
4 杭の解析 - 基本式の導出	
(1) 杭の分類	35
(2) 座標系の選定 - 符合と規約	35
(3) 曲げによる応力	35
(4) 曲げたわみによる微分方程式	37

a) 変形条件式	37
b) つりあい条件式	38

5 従来の曲げくさび杭の式の検討	40
------------------------	----

6 有限長で分布荷重をかける場合の杭の解析式

(1) 伝達マトリックス法による解析	48
(2) 荷重関数について	53

7 解析プログラム

(1) プログラムの流れ	56
(2) 入・出力フォーマット、プログラムリスト、計算例(付録6)	57

8 最後に	58
-------------	----

参考文献	61
------------	----

巻末付録	63
------------	----

1 従来の簡便法による必要抑止力の算定

従来は以下の式により、必要抑止力を算定するのが常である¹⁾。

$$P \cdot F_s = \frac{\sum \{ (N-U) \tan \phi + cl \} + P_R}{\sum T} \quad (1.1)$$

$P \cdot F_s$: 計画安全率

P_R : 単位幅あたりの杭の抑止力 (t/m)

N : 分割片の重量による法線力 (t/m)

T : 分割片の重量による接線力 (t/m)

U : 分割片に働く間隙水圧 (t/m)

l : 分割片のすべり面長 (m)

ϕ : すべり面の内部摩擦角 (°)

c : すべり面の粘着力 (t/m²)

この式の意味をしいて考えてみると、せん断抵抗力を平均的に上昇させることによって、安全率を高めるという考えであり、当然打設位置による変化はない。

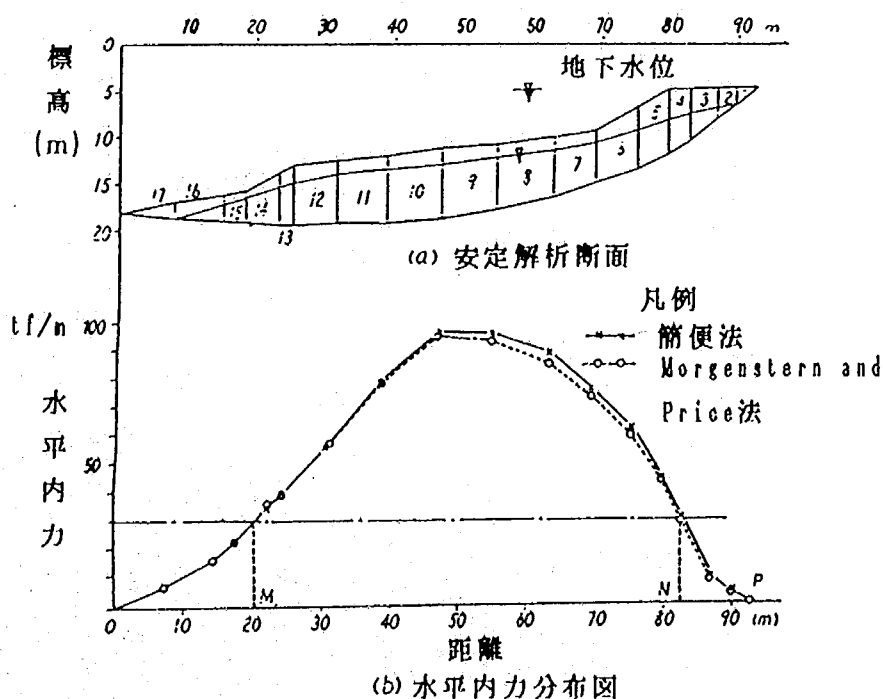


図 1-1 安定解析による水平内力分布の比較

問題はこのあとであつて、このようにして算定した力を、杭の解析においては、すべり面にかかる集中荷重として扱うのであるが、これには何ら物理的正当性はないのである。この点は後で詳細に検討する。

さらに打設位置のめやすとして、中村²⁾によれば、次の式(1.2)により、水平内力分布を求め、これと、式(1.1)で求めた必要抑止力から、図1-1におけるMN間に打つべきであるとしている。

$$P_i = - \left\{ c \sum_{j=0}^i L_j + \sum_{j=0}^i (N_j - U_j) \tan \phi \right\} \cdot \frac{1}{F} + \sum_{j=0}^i T_j \quad (1.2)$$

P_i : i 番目のスライスに作用する限界平衡状態における水平内力

しかしこれは、当該箇所を読む限りでは、理論的根拠が明確とは云えず、問題がある。さらに、以下の点からも薄弱さが指摘できる。

というのは、まず第一に、上で述べたように、式(1.1)によつて求められた P_R の意味がすこぶるあいまいであるということ。

次に、式(1.2)から求めた水平内力であるが、これは、式の形からみるとせん断力の差ということになるが、キチンとしたつりあい式をたてていないので、この差がそのまま水平内力になるという保証はどこにもない。但し中村によれば、図1に示されているように、Morgenstern-Price 法によりもとめた内力分布とほとんど差はないとしている。

(1) 基本的考え方

いずれも基本的考え方は、山上・山川³⁾による以下の考えに基づく。

「抑止杭の打設位置と抑止力の簡便評価法の中心をなす概念は、”抑止杭を打設することにより、杭の上・下流側すべり土塊がそれぞれ異なる安全率を持つ”と考えることに集約される。そして、図2-1に示すように、抑止杭の上流側すべり土塊に対する安全率を F_u 、下流側すべり土塊に対するそれを F_d として、それらおのおののすべり土塊に対し、M-P法に基づく安全率算定式がもちいられる。このとき、杭と上・下流側すべり土塊との相互作用力を外力とみて、それらの水平成分を Q_u 、 Q_d で表わし、これらを F_u 、 F_d の算定式に導入する。ただし、この外力はすべり土塊の土被り高さの下三分の一点に作用していると仮定する。これより、計画安全率は既知であるので、上記の Q_u 、 Q_d が求まり、杭が負担すべき抑止力 $\angle Q$ は、

$$\Delta Q = Q_s - Q_b \quad \text{-----} \quad (2.1.1)$$

ただし、 $Q_1 > 0$ 、 $Q_2 \geq 0$
から算定される。」

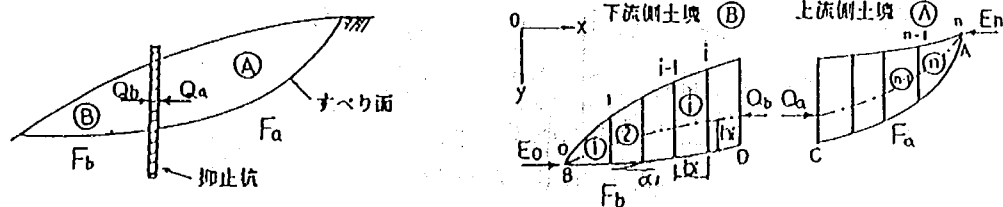


図 2-1 M-P 法に基づく抑止力評価法の説明

つまり、杭の上・下流側において全く独立に力を求めてやる。これは、杭打設地点において抑止ゾーンがあるとして、上流側からの力が下流側にはそのままつたわらず、不連続であると考えることを意味する。

ここで図2-2に示すように Q_1 の作用位置を y_1 、 Q_2 の作用位置を y_2 とし、抑止ゾーンABCDを剛体と考えて、BCの midpoint に関するモーメントのつりあいを考えると

$$M = y_{t_a} \cdot Q_a - y_{t_b} \cdot Q_b \quad (2.1.2)$$

のモーメントを逆むきにかける必要がある。ここで、 ΔBCD を相対的に薄いゾーンとかんがえているので、 X_a 、 X_b の寄与は無視している。一般に

$$y_{tb} = y_{ta} = y_{tb}$$

としているので、式 (2.1.2) は、

$$M = y_{tb} \cdot Q_a - y_{tb} \cdot Q_b \quad (2.1.3)$$

式 (2.1.1) の ΔQ と式 (2.1.2) の M が、杭の負担分となる。以下は、極限平衡法による右辺から左辺への解析であるが、4 で掲げる式を使って、杭の最大許容変位量から ΔQ 、 M を求める左辺から右辺への解析も可能であろう。

さらに、以下の 3 では、杭の上・下流側共に安全率を 1.2 とした場合の値を求めているが、これは 4 以降で、くさび杭の解析をしているという点に整合させるという意味もある。仮に、杭の下流側で地盤反力が期待できない場合は、下流側の安全率を 1.0 として抑え杭として計算すべきであるとおもわれる。これは、後退性の地すべりを想定した場合である。

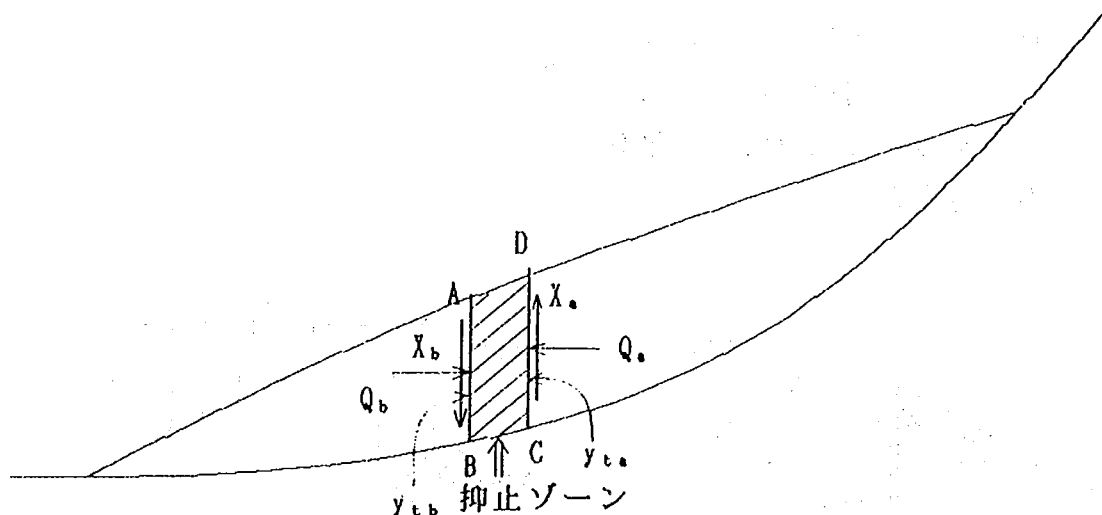


図 2-2 杭打設による抑止ゾーン

(2) 伊藤・松井の考え方⁴⁾——杭打設による不連続性について

(1)で、杭の打設位置で力が連続には伝わらないとしたが、この点を明瞭にするために、伊藤・松井の考えを詳しく紹介する。伊藤・松井は塑性変形理論と塑性流動理論の二つについて杭の解析をおこなっているが、以下では、塑性変形理論についてのみのべる。

まず三つの仮定を設ける。(図 2-3 参照)

「a) 地盤は粘着力 c 、および内部摩擦角 ϕ によりあらわせる。」

注) これは一般にすべり面の $c-\phi$ とは異なる。

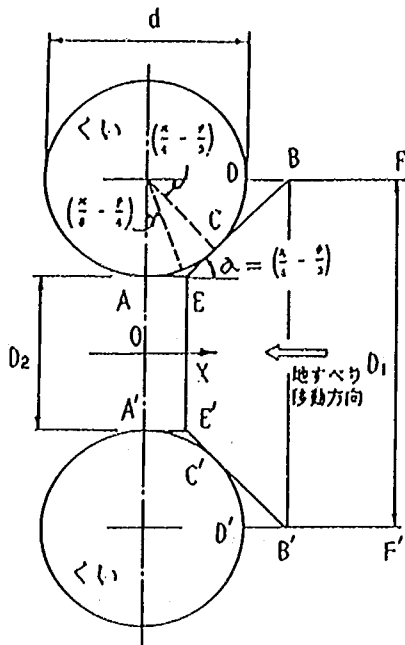


図 2-3 クイ間の土塊の塑性変形
(伊藤富雄, 松井保による)

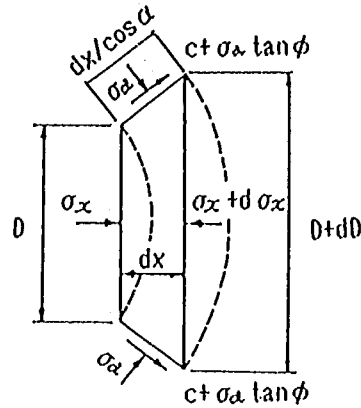


図 2-4 微少要素の釣合 (EBB'E')
(伊藤富雄, 松井保による)

「b) 地盤は深さ方向に平面ひずみ状態とする。」

注) これは Z 軸方向の変位 = 0 を意味する。

「c) 地盤が変形すると折れ線 AEB、A'E'B' にすべり面が生ずる。但し EB、E'B' は x 方向と $\pi/4 - \phi/2$ の角をなす。」

注) $\alpha = \pi/4 - \phi/2$ は破壊面と最大応力面のなす角である。つまり、最大主応力を x 軸の方向に、最小主応力をそれと垂直の方向にとってある。(図の AA' の向き)

EBB'E' について、その微小要素 (図 2-4) に作用する力のつりあいを考える。面 EB、E'B' において最大せん断抵抗力 $c + \sigma_x \tan \phi$ が働いているとする。x 方向のつりあいより

$$D \cdot \sigma_x - (D+dD) \cdot (\sigma_x + d\sigma_x) + 2 \cdot (c + \sigma_x \tan \phi) \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot \cos \alpha + 2 \sigma_x \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = 0$$

$dD \cdot d\sigma_x$ は無視すると、

$$-D \cdot d\sigma_x - \sigma_x \cdot dD + 2dx \cdot (\sigma_x \tan \alpha + \sigma_x \tan \phi + c) = 0 \quad (2.2.1)$$

ここでもかなり強引な仮定であるが、「主応力 σ_x に対応する主応力を σ_* と仮定する」(図 2-4) と、Mohr-Coulomb 破壊基準より

$$\sigma_* = \sigma_x \cdot N_\phi + 2cN_\phi^{1/2} \quad (2.2.2)$$

ここで

$$N_\phi = \tan^2 (\pi/4 + \phi/2) : \text{流れ値}$$

図 2-4 より

$$dD/2 = dx \cdot \tan \alpha \quad (2.2.3)$$

また

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \tan (\pi/4 - \phi/2) \\ &= \tan (\pi/2 - (\pi/4 + \phi/2)) \\ &= 1/\tan (\pi/4 + \phi/2) \end{aligned}$$

$$\therefore \tan \alpha = 1/N_p^{1/2} \quad (2.2.4)$$

式 (2.2.1)、(2.2.2)、(2.2.3)、(2.2.4) より、

$$-D \cdot d\sigma_x + \{(N_p + \tan \phi \cdot N_p^{3/2} - 1) \cdot \sigma_x + (3N_p^{1/2} + 2 \tan \phi \cdot N_p) \cdot c\} \cdot dD = 0$$

$$\frac{dD}{D} = \frac{d\sigma_x}{(N_p + \tan \phi \cdot N_p^{3/2} - 1) \cdot \sigma_x + (3N_p^{1/2} + 2 \tan \phi \cdot N_p) \cdot c}$$

ここで一般に

$$\int \frac{dx}{Ax+B} = \log |Ax+B|^{1/A} + \text{定数}$$

であるから、

$$A_1 = N_p + \tan \phi \cdot N_p^{3/2} - 1$$

$$B_1 = 3N_p^{1/2} + 2 \tan \phi \cdot N_p$$

とおくと

$$\log D = \log (A_1 \cdot \sigma_x + B_1)^{1/A_1} + \text{定数}$$

$$(C_1 D)^{A_1} = A_1 \cdot \sigma_x + B_1$$

$$\sigma_x = \frac{(C_1 D)^{A_1} - B_1}{A_1} \quad (2.2.5)$$

C_1 : 積分定数

(なおここでは $C_1^{A_1} = C_1$ としてもよい)

これが伊藤・松井⁴⁾の式 4 である。なお式 4 では、図 2-5 微小要素の釣合

$$B_1 = 3N_p^{1/2} + 2 \tan \phi \cdot N_p^{3/2} \quad (AEE'A')$$

となるがこれはまちがいで、 $N_p^{3/2} \rightarrow N_p$ としなくてはならない。

次に同様に、 $AEE'A'$ について考える (図 2-5)。

$$D_2 \cdot \sigma_x - D_2 (\sigma_x + d\sigma_x) + 2(c + \sigma_x \cdot \tan \phi) dx = 0$$

式 (2.2.2) より

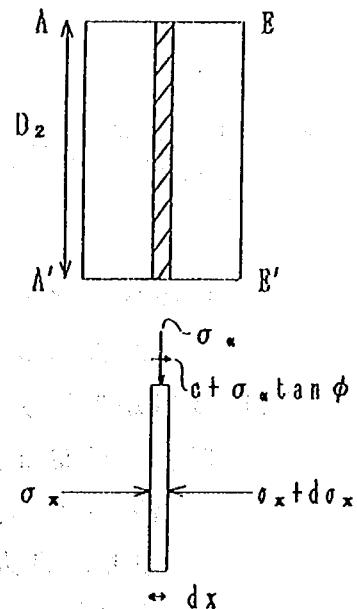
$$-D_2 \cdot d\sigma_x + 2(\tan \phi \cdot N_p \cdot \sigma_x + 2c \cdot N_p^{1/2} \cdot \tan \phi + c) dx = 0$$

$$\frac{d\sigma_x}{2(\tan \phi \cdot N_p \cdot \sigma_x + 2c \cdot N_p^{1/2} \cdot \tan \phi + c)} = \frac{dx}{D_2}$$

$$\therefore A_2 = \tan \phi \cdot N_p$$

$$B_2 = 2c \cdot N_p^{1/2} \cdot \tan \phi + c$$

とおくと、



$$\log (A_2 \cdot \sigma_x + B_2)^{1/\Lambda_2} = (2/D_2) \cdot x + \text{定数}$$

$$\sigma_x = \frac{C_2 \cdot e^{(2/D_2) \cdot \Lambda_2 \cdot x} - B_2}{A_2} \quad (2.2.6)$$

C_2 : 積分定数

これは伊藤・松井⁴⁾の式 5 に対応する。

(2.2.5)、(2.2.6)の C_1 、 C_2 を決めればよいわけであるが、伊藤・松井はAA'面に粘着力のない場合のRankine主働土圧が作用するとして、決定している。つまり式(2.2.6)において、

$$\sigma_x \big|_{x=0} = K_0 \cdot \gamma z$$

$K_0 = 1/N_\phi$: Rankineの主働土圧係数

γ : 土塊の単位体積重量

なお粘着力も考慮に入れた場合は

$$\sigma_x \big|_{x=0} = \gamma z \cdot (1/N_\phi) - 2c \cdot (1/N_\phi)^{1/2}$$

を使うべきである。

これより、 C_2 従って C_1 が決定でき、BB'面にかかる力がもとまる。このBB'面にかかる力とAA'面にかかる力の差をもって、杭に作用するx方向の外力としている。

$$\text{i. e. } P = P_{BB'} - P_{AA'}$$

$$P_{AA'} = K_0 \cdot \gamma z \cdot D_2$$

なお以上の式を以下でのべる必要抑止力とリンクさせることを考えると、 $P_{BB'}$ が与えられることになり、これより上式を使って $P_{AA'}$ をもとめることになる。この検討は現報告ではしておらず、今後の課題である。ともかく

$$P_{BB'} > P_{AA'}$$

であり、これは杭打設位置において力が不連続になることを意味する。

伊藤・松井はこの解析を杭間隔の算定に使っている。その結果を図2-6に示す。当然の結果として、杭間隔が短くなればそれだけ杭にかかる力が増大するのがわかる。

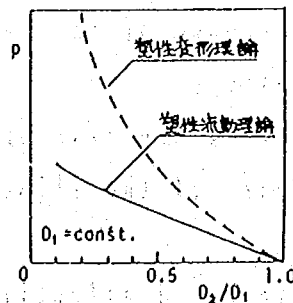


図2-6 杭にかかる力と杭間隔の関係(伊藤・松井⁴⁾)

(3) Morgenstern-Price法について——理論⁵⁾

(1)で述べたような考えに基づいて、以下 Morgenstern-Price法を使って必要抑止力を算定するわけであるが、その前に元の理論について紹介する。

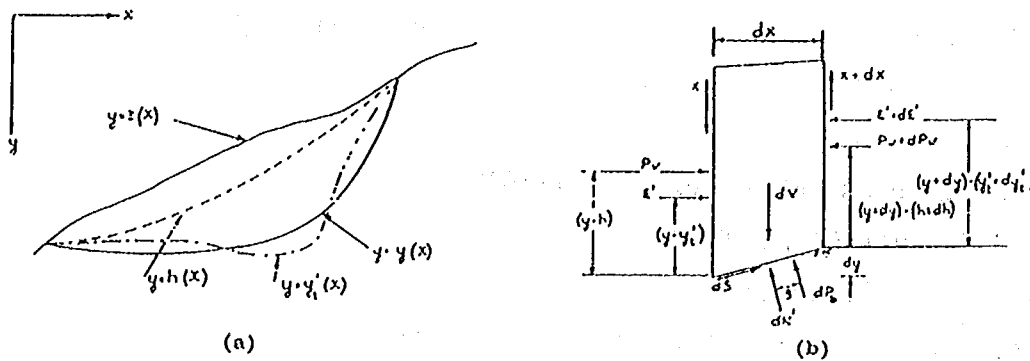


図 2-7 潜在地すべり土塊と微小要素への作用力
(なおこの図のせん断抵抗力の向きは、向かって右側から左側に滑った場合である。)

$y=y(x)$: the equation of the assumed slip surface

$y=z(x)$: the equation of the surface of the slope

$y=h(x)$: the equation of the position of the effective horizontal thrust, the line of thrust

$y=h(x)$: the line of thrust of the internal water pressure

E : the lateral thrust on the side of the slice in terms of effective stresses

X : the vertical shear force on the side of the slice

dW : the weight of the slice

P : the resultant water pressure acting on the side of the slice

dP : the water pressure on the base of the slice

dN : the effective normal pressure

dS : the shear force acting along the base of the slice

α : the inclination of the base of the slice with respect to the horizontal

c' : cohesion intercept in terms of effective stresses

ϕ' : angle of shearing resistance in terms of effective stresses

Morgenstern-Price法は、極限平衡法に基づく安定解析理論で一般分割法を用いるものである。この考えはそれぞれの slice を剛体とみて、力のつりあいを考え、かつすべり面において塑性変形を考慮する剛塑性解析法である。さらに、図2-7でみられるようにMorgenstern-Priceは、微分値をとっているので、一般性が非常に高く任意形状すべり面の解析が可能である。

図2-7のように任意の微小スライスにかかる力のつりあいを考える。
まずスライス底面の中点に関するモーメントのつりあいより

$$E' \left[(y-y_i) - \left(-\frac{dy}{2} \right) \right] + P_w \left[(y-h) - \left(-\frac{dy}{2} \right) \right] - (E' + dE') \left[y + dy - y_i - dy_i + \left(-\frac{dy}{2} \right) \right] \\ - X \frac{dx}{2} - (X + dX) \frac{dx}{2} - (P_w + dP_w) \left[(y + dy) - (h + dh) - \frac{dy}{2} \right] - dP_b \cdot g = 0$$

ここで微小数の積=0とすると

$$E' \cdot dy_i' + P_w \cdot dh - dE' \cdot (y - y_i') - X \cdot dx - dP_w \cdot (y - h) - g \cdot dP_b = 0$$

$dx \rightarrow 0$ で $g \rightarrow 0$ とすると、

$$\therefore X = E' \cdot (dy_i' / dx) + P_w \cdot (dh / dx) - (y - y_i') \cdot (dE' / dx) - (y - h) \cdot (dP_w / dx)$$

$\therefore$ モーメントのつりあいより

$$X = \frac{d}{dx} (E' \cdot y_i') - y \frac{dE'}{dx} + \frac{d}{dx} (P_w \cdot h) - y \frac{dP_w}{dx} \quad (2.3.1)$$

次にN方向の力のつりあいより

$$dN' + dP_b = dW \cdot \cos \alpha + X \cdot \cos \alpha - (X + dX) \cdot \cos \alpha \\ + P_w \cdot \sin \alpha + E' \cdot \sin \alpha - (P_w + dP_w) \cdot \sin \alpha - (E' + dE') \cdot \sin \alpha$$

$$dN' + dP_b = dW \cos \alpha - dX \cos \alpha - dE' \sin \alpha - dP_w \sin \alpha \quad (2.3.2)$$

S方向の力のつりあいより

$$dS = dW \cdot \cos \alpha - P_w \cdot \cos \alpha - E' \cdot \cos \alpha + (E' + dE') \cdot \cos \alpha \\ + (P_w + dP_w) \cdot \cos \alpha + X \cdot \sin \alpha - (X + dX) \cdot \sin \alpha \\ dS = dE' \cos \alpha + dP_w \cos \alpha - dX \sin \alpha + dW \sin \alpha \quad (2.3.3)$$

さらに、Mohr-Coulomb 破壊基準（有効応力表示）より

$$dS = \frac{1}{F} [c' dx \sec \alpha + (dN') \tan \phi'] \quad (2.3.4)$$

この式で、F（安全率）を定義する。これは、すべり土塊を極限平衡の状態にもっていくためのパラメーターであり、式(2.3.4)の分子が最大せん断抵抗力となるので、理論上は

$$dS \leq c' \cdot dx \cdot \sec \alpha + dN' \cdot \tan \phi' \quad \text{より} \quad F \geq 1$$

であって $F = 1$ のときが破壊を意味する。

なお簡便法を使うと、一般に Morgenstern-Price 法より低めに安全率ができる傾向があり、おうおうにして $F < 1$ の場合も考慮に入れるが、上で述べたように、理論上はこのようなことは有り得ず、 $F < 1$ というのはなんら意味をもたない。

(2.3.2), (2.3.3), (2.3.4) をまとめて、 $dx \cdot \cos \alpha$ で割ると、

$$\begin{aligned} \frac{c'}{F} \sec^2 \alpha + \frac{\tan \phi'}{F} \left[\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \frac{dE'}{dx} \tan \alpha - \frac{dP_w}{dx} \tan \alpha - \frac{dP_b}{dx} \sec \alpha \right] \\ = \frac{dE'}{dx} + \frac{dP_w}{dx} - \frac{dX}{dx} \tan \alpha + \frac{dW}{dx} \tan \alpha \end{aligned}$$

ここで

$$\sec^2 \alpha = 1 + \tan^2 \alpha : \tan \alpha = -(dy/dx)$$

$$\therefore \sec^2 \alpha = 1 + \tan^2 \alpha = 1 + (dy/dx)^2$$

また

$$dP_b = r_u \cdot dW \cdot \sec \alpha \quad r_u : \text{間隙水圧比 (pore pressure ratio)}$$

で r_u を導入すると

$$\begin{aligned} \frac{c'}{F} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] + \frac{\tan \phi'}{F} \left\{ \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} + \frac{dE'}{dx} \frac{dy}{dx} + \frac{dP_w}{dx} \frac{dy}{dx} - r_u \frac{dW}{dx} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] \right\} \\ = \frac{dE'}{dx} + \frac{dP_w}{dx} + \frac{dX}{dx} \frac{dy}{dx} - \frac{dW}{dx} \frac{dy}{dx} \end{aligned}$$

これを整理すると、力のつりあいの式は結局、

$$\begin{aligned} \frac{dE'}{dx} \left[1 - \frac{\tan \phi'}{F} \frac{dy}{dx} \right] + \frac{dX}{dx} \left[\frac{\tan \phi'}{F} + \frac{dy}{dx} \right] = \frac{c'}{F} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] + \frac{dP_w}{dx} \left[\frac{\tan \phi'}{F} \frac{dy}{dx} - 1 \right] \\ + \frac{dW}{dx} \left\{ \frac{\tan \phi'}{F} + \frac{dy}{dx} - r_u \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] \frac{\tan \phi'}{F} \right\} \quad (2.3.5) \end{aligned}$$

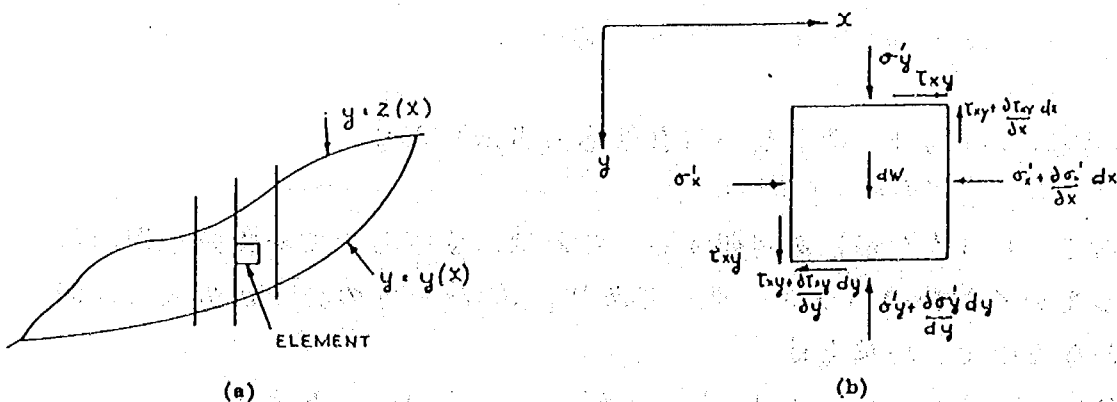


図 2-8 二つのスライス間の一つの微小要素とその微小要素に働く有効応力

ここで内力成分 X と E' の関係について考える。

Morgenstern-Price はここでいろいろな内力関係を提案しているが、 X と E' はそれぞれ以下の式のように図 2-8 における τ_{xy} 、 σ_x' の合力と考えられるので

$$\left. \begin{aligned} E' &= \int_z^y \sigma_x'(y) dy \\ X &= \int_z^y \tau_{xy}(y) dy \end{aligned} \right\} \text{-----} (2.3.6)$$

σ_x' 、 τ_{xy} の間に弾性関係が成り立つとして

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E'$$

の関係を仮定している。これが Morgenstern-Price の静定化条件である。

さらに、式を簡単にするために、全(応)力を導入すると、

$$E = E' + P_w \text{-----} (2.3.7)$$

$$E \cdot y_t = E' \cdot y_t' + P_w \cdot h \text{-----} (2.3.8)$$

∴ 静定化条件は

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \text{-----} (2.3.9)$$

と書き換えられる。

また、スライスのすべり面と、斜面形状が直線になるように分割し (これは十分に薄いスライスをとればよい)、 $f(x)$ も x の一次式とする。

$$\text{i. e. } y(x) = Ax + B \text{-----} (2.3.10)$$

$$dW/dx = p x + q \text{-----} (2.3.11)^\#$$

$$f(x) = k x + m \text{-----} (2.3.12)$$

以上の (2.3.7) ~ (2.3.11) を (2.3.1)、(2.3.5) に代入して整理すると、以下のようにじつにすっきりした式になる。

$$X = \frac{d}{dx} (E y_t) - y \frac{dE}{dx} \text{-----} (2.3.13)$$

$$(Kx + L) \frac{dE}{dx} + K \cdot E = Nx + P \text{-----} (2.3.14)$$

注) 式 (2.3.11) は以下のようにして導かれる。

γ : 土塊の単位体積重量

$$z(x) = Cx + D$$

とすると、 x の原点は任意にとれるので

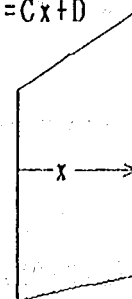
$$W = \{ (B-D) + (Ax+B) - (Cx+D) \} \cdot (x/2) \cdot \gamma$$

$$= \{ (A-C)x + 2(B-D) \} \cdot (x/2) \cdot \gamma$$

$$dW/dx = \{ (A-C)x + (B-D) \} \cdot \gamma$$

よって式 (2.3.10) がでる

$$y = z(x) = Cx + D$$



$$y = y(x) = Ax + B$$

ここで

$$\begin{cases} K = \lambda k \left(\frac{\tan \phi'}{F'} + A \right) \\ L = \lambda m \left(\frac{\tan \phi'}{F'} + A \right) + 1 - A \frac{\tan \phi'}{F'} \\ N = p \left[\frac{\tan \phi'}{F'} + A - r_u (1 + A^2) \frac{\tan \phi'}{F'} \right] \\ P = \frac{c'}{F'} (1 + A^2) + q \left[\frac{\tan \phi'}{F'} + A - r_u (1 + A^2) \frac{\tan \phi'}{F'} \right] \end{cases}$$

(2.3.14) より

$$\frac{d}{dx} ((Kx + L) E) = Nx + P$$

積分すると

$$(Kx + L) E = (1/2) \cdot Nx^2 + Px + \text{定数}$$

図2-9のようにおのこのスライスの始まりをxの原点にとり、i番目のスライスにおいて、x=0のとき $E = E_{i-1}$ とすると、

$$\text{定数} = L E_{i-1}$$

$$E = \frac{1}{L + Kx} [E_{i-1}L + Nx^2/2 + Px] \quad (2.3.15)$$

ここでi番目のスライスの幅を b_i とすると、

$$E_i = \frac{1}{L_i + K_i b_i} (L_i E_{i-1} + P_i b_i + N_i b_i^2/2) \quad (2.3.16)$$

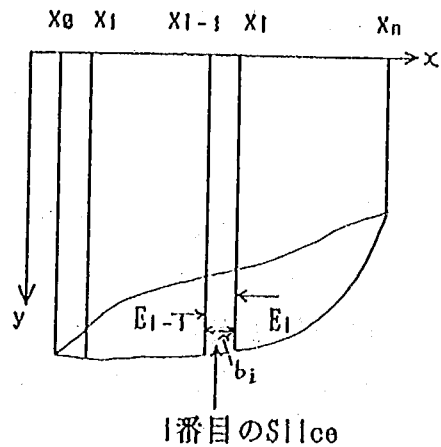


図 2-9 座標系

次に(2.3.13)より、図2-9の下図のように座標をとり積分すると、

$$\begin{aligned} \int_{x_{i-1}}^{x_i} X dx &= E y_t \Big|_{x_{i-1}}^{x_i} - \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left(y \frac{dE}{dx} \right) dx \\ &= E(x_i) \cdot y_t(x_i) - E(x_{i-1}) \cdot y_t(x_{i-1}) - y \cdot E \Big|_{x_{i-1}}^{x_i} + \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left(E \frac{dy}{dx} \right) dx \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left(X - E \frac{dy}{dx} \right) dx &= E(x_i) \cdot y_t(x_i) - E(x_{i-1}) \cdot y_t(x_{i-1}) \\ &\quad - (E(x_i) \cdot y(x_i) - E(x_{i-1}) \cdot y(x_{i-1})) \\ &= E(x_i) \cdot [y_t(x_i) - y(x_i)] - E(x_{i-1}) \cdot [y_t(x_{i-1}) - y(x_{i-1})] \end{aligned}$$

$$\text{定義より} \quad E(x_i) = E_i$$

$$E(x_{i-1}) = E_{i-1}$$

$$\therefore M_i = E_i \cdot (y_t(x_i) - y(x_i))$$

とおくと

$$\therefore M_i = M_{i-1} + \int_{x_{i-1}}^{x_i} \left(X - E \frac{dy}{dx} \right) dx \quad (2.3.17)$$

$$(2.3.10) \text{ より } dy/dx = A$$

$\therefore$ (2.3.9), (2.3.15) より、(2.3.17)の右辺の積分値は確定する。

次に境界条件を考えると、図2-9より

$$x = x_0 \text{ のとき } E_0 = 0 \quad M_0 = 0$$

$$x = x_n \text{ のとき } E_n = 0 \quad M_n = 0 \quad \text{である。}$$

具体的には、式(2.3.16)、(2.3.17)より E_n 、 M_n が求まるので、 $E_n = 0$ 、 $M_n = 0$ を満たす λ 、 F を求めてやればよい。これは、結局のところ、未知数の数が二個、条件式二個の静定問題である。

(4) Morgenstern-Price 法について —— 実際のプログラム作成上の問題

3 以下の解析においては土木研究所のプログラム・ソフト⁶⁾を元にして、独自に作成したプログラムを使用した。その過程でプログラムミス等も発見したので、かなりの手直しをしてある。以下それについて述べる。

それ以外の具体的作成法は、Morgenstern-Price の論文⁷⁾を参照していただきたい。

a) プログラムミスについて

2, 3 ミスはあったが、最終的に安全率の値に影響を及ぼすようなミスは、一つであった。参考文献 6) の p 29 で

$$\text{GAMMAU}(I) = \text{DPB} * \text{COSALF} / \text{AV}$$

となっているがこれは

$$\text{GAMMAU}(I) = \text{DPB} / \text{AV}$$

の誤りである。以下これを証明する。

$\text{GAMMAU}(I)$ は原論文の r_0 : 間隙水圧比である。

まず土研資料の意味を考える。p 29 の

記号を図2-10と対応させると

$$\text{YSI}(I) = y(x_i)$$

$$\text{HSI}(I) = h(x_i)$$

$$\text{ZSI}(I) = z(x_i)$$

$$\text{COSALF} = \cos \alpha$$

p 29 の式をそのまま書くと

$$\text{DPB} = 0.5 * ((\text{YSI}(I) + \text{YSI}(I+1)) - (\text{HSI}(I) + \text{HSI}(I+1))) * 1.0$$

1.0 : 水の単位体積重量

$$\text{AV} = 0.5 * ((\text{YSI}(I) + \text{YSI}(I+1)) - \text{ZSI}(I) + \text{ZSI}(I+1))) * \text{GAMMAT}(I)$$

$\text{GAMMAT}(I)$: 土の単位体積重量

つまり、 DPB は、図2-10のBCにかかる間隙水圧の平均値である。ここでは静水圧 = 間隙水圧と考えているが、これは水位と間隙水圧の関係が現行では明瞭ではなく、このような仮定を設けないと間隙水圧が算定できない

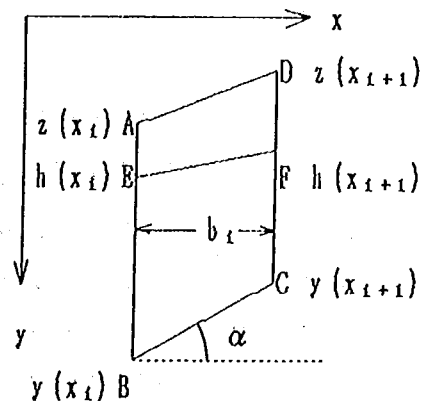


図 2-10 有限長スライスの記号

からである。なおこの点については以下の注でふれる。

次に AV は

$AV = \text{台形} ABCD \text{ の重量} / b_1$

を意味する。

次に原論文の間隙水圧の定義をみる。(参考文献 5))

$$dP_b = r_u \cdot dW \cdot \sec \alpha \quad (2.4.1)$$

$$r_u = (dP_b / dW) \cdot \cos \alpha$$

これを、土研資料 (参考文献 6)) の記号を使って書き換えると

$$\begin{aligned} \text{GAMMAU (I)} &= \frac{(b_1 / \cos \alpha) \cdot \text{DPB}}{b_1 \cdot AV} \cos \alpha \\ &= \text{DPB} / AV \end{aligned}$$

となり、 COSALF の項が消える。(証明終)

なぜこのようなミスをしたかという、式 (2.4.1) を機械的に書き写しただけのためと思われる。

注) Bishop-Morgenstern⁸⁾ によれば、もともとの r_u の定義は

$$r_u = u / (\gamma \cdot h) \quad (2.4.2)$$

一般に、 $u \neq \text{静水圧}$ であるから、これは間隙水圧が土塊重量の何割程度かという発想である。Spencer⁹⁾ 等によれば、 r_u をまず与えておいてから u を求めるというやり方をしている。($r_u = 0.5$, ないし $r_u = 0.25$ としている。) 土研資料で、これとは逆のやり方をしているのは、主に r_u の統計的データがないためとおもわれる。

次に (2.4.2) から (2.4.1) を算出しておく。

まず図 2-11 において台形の面積 S は

$$\begin{aligned} S &= \{ (b/2) \cdot \tan \beta + h - (b/2) \cdot \tan \alpha + h - (b/2) \cdot \tan \beta + (b/2) \cdot \tan \alpha \} \\ &\quad \cdot b \cdot 0.5 \\ &= h \cdot b \end{aligned}$$

$$\therefore W = \gamma \cdot h \cdot b$$

$$\therefore r_u = u / (\gamma \cdot h) = (u \cdot b) / W \quad (2.4.3)$$

式 (2.4.1) の意味を考えると

$$dP_b \Longleftrightarrow u \cdot (b / \cos \alpha) = u \cdot b \cdot \sec \alpha$$

$$dW \Longleftrightarrow W$$

であるから、(2.4.3) より

$$u \cdot b = r_u \cdot W$$

$$\therefore dP_b / \sec \alpha = r_u \cdot dW$$

$$\therefore dP_b = r_u \cdot dW \cdot \sec \alpha \quad (\text{証明終})$$

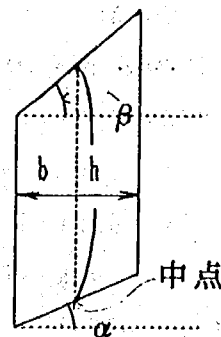


図 2-11 有限長スライス

b) 有効力の問題

Spencer⁹⁾ によれば、スライス側面にかかる力から水圧によるものを除いた有効力を考慮にいれなければならないとしている。ここではスライス片の剛体的つりあいを考えているので、垂直力の作用点のスライス側面からそとに、はずれるのは意味をなさない。図 2-7 をみてもわかるようにその場合の力は有効力であり、式 (2.3.15) より求まるのは全力であるので、この全力から有効力の作用点を求め、それが、スライス側面からずれないかどうかのチェックが必要となる。

以下の式により有効力とその作用点をもとめる。現プログラムでは、水位があたえられているのでスライス側面の間隙水圧の作用点は、水位の $1/3$ の点と仮定する。これは、側面の水圧が三角形分布をしているという仮定に基づく。

式 (2.3.6) より

$$E' = E - P_w$$

式 (2.3.7) より

$$E \cdot y_c = E' \cdot y_c' + (H/3) \cdot P_w$$

$$P_w = (1/2) \cdot \gamma_w \cdot H \cdot H = (1/2) \cdot \gamma_w \cdot H^2$$

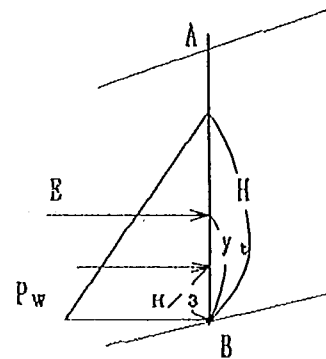
$$= (1/2) \cdot H^2$$

γ_w : 水の単位体積重量=1.0

$$y_c' = [E \cdot y_c - (H/3) \cdot P_w] / E'$$

$$= [E \cdot y_c - (1/6) \cdot H^3] / E'$$

図 2-12 スライス側面にかかる力



今回作成したプログラムには、この式が組み込んである。

c) 土研資料 (参考文献 6) に付け加えた点

Morgenstern-Price の論文⁷⁾ によれば、 M 、 $\partial M / \partial \lambda$ 、 $\partial M / \partial F$ 、の算定は以下の式でやってある。微分値をとっているのは、収束法として Newton-Raphson 法を使っているためである。

$$\begin{aligned} M_i &= M_{i-1} + \int_0^{b_i} \frac{(\lambda(k_i x + m_i) - A_i)}{L_i + K_i x} (L_i E_{i-1} + P_i x + \frac{1}{2} N_i x^2) dx \\ \frac{\partial M_i}{\partial F} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial F} + \int_0^{b_i} \frac{(\lambda(k_i x + m_i) - A_i)}{L_i + K_i x} \left\{ L_i \frac{\partial E_{i-1}}{\partial F} + E_{i-1} \frac{\partial L_i}{\partial F} + \frac{\partial P_i}{\partial F} x + \frac{1}{2} \frac{\partial N_i}{\partial F} x^2 \right\} dx \\ &\quad - \int_0^{b_i} \frac{(\lambda(k_i x + m_i) - A_i)}{(L_i + K_i x)^2} (L_i E_{i-1} + P_i x + \frac{1}{2} N_i x^2) \left(\frac{\partial L_i}{\partial F} + \frac{\partial K_i}{\partial F} x \right) dx, \\ \frac{\partial M_i}{\partial \lambda} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial \lambda} + \int_0^{b_i} \frac{(k_i x + m_i)}{L_i + K_i x} (L_i E_{i-1} + P_i x + \frac{1}{2} N_i x^2) dx \\ &\quad + \int_0^{b_i} \frac{(\lambda(k_i x + m_i) - A_i)}{L_i + K_i x} \left(L_i \frac{\partial E_{i-1}}{\partial \lambda} + E_{i-1} \frac{\partial L_i}{\partial \lambda} \right) dx \\ &\quad - \int_0^{b_i} \frac{(\lambda(k_i x + m_i) - A_i)}{(L_i + K_i x)^2} (L_i E_{i-1} + P_i x + \frac{1}{2} N_i x^2) \left(\frac{\partial L_i}{\partial \lambda} + \frac{\partial K_i}{\partial \lambda} x \right) dx. \end{aligned}$$

ここで $H_i = K_i b_i / L_i$ ($L_i + K_i b_i > 0$ より $H_i > -1$) とおき、 $x \Leftrightarrow x/b$ の変数変換をすると

$$\begin{aligned} M_i &= M_{i-1} + \int_0^1 \frac{1}{(1+H_i x)} \sum_{j=0}^3 T_j x^j dx, \\ \frac{\partial M_i}{\partial F} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial F} + \int_0^1 \frac{1}{(1+H_i x)^2} \sum_{j=0}^4 U_j x^j dx, \\ \frac{\partial M_i}{\partial \lambda} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial \lambda} + \int_0^1 \frac{1}{(1+H_i x)^2} \sum_{j=0}^4 V_j x^j dx, \end{aligned}$$

この積分値を計算する上において、土研資料では、Morgenstern-Price の以下の台形近似式のみを使って、計算してあるが

$$\begin{aligned} M_i &= M_{i-1} + \{b_i \{(\lambda(k_i b_i + m_i) - A_i)E_i + (\lambda m_i - A_i)E_{i-1}\} \\ \frac{\partial M_i}{\partial F} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial F} + \{b_i \left\{ (\lambda(k_i b_i + m_i) - A_i) \frac{\partial E_i}{\partial F} + (\lambda m_i - A_i) \frac{\partial E_{i-1}}{\partial F} \right\} \\ \frac{\partial M_i}{\partial \lambda} &= \frac{\partial M_{i-1}}{\partial \lambda} + \{b_i \left\{ (\lambda(k_i b_i + m_i) - A_i) \frac{\partial E_i}{\partial \lambda} \right. \\ &\quad \left. + (k_i b_i + m_i)E_i + (\lambda m_i - A_i) \frac{\partial E_{i-1}}{\partial \lambda} + m_i E_{i-1} \right\} \end{aligned}$$

ここでは、Morgenstern-Price の原論文に従って

T_j 、 U_j 、 V_j 、(この式はあまりに煩雑なので、ここには、掲げない)

$$B_j = \int_0^1 \frac{x^j}{1+Hx} dx$$

$$C_j = \int_0^1 \frac{x^j}{(1+Hx)^2} dx$$

を計算してプログラムに組み込んである。この結果、80386CPU搭載のパソコンで、近似式のみの場合は、10秒ほどで計算が収束するが、この厳密式を使うと30秒ほどになる。但し、Morgenstern-Price の論文⁷⁾の計算例でもわかるように、安全率の違いは、 ± 0.001 程度である。 λ の違いはもう少し大きい。 B_j 、 C_j はMorgenstern-Priceの論文⁷⁾に従って以下の三つの場合にわけて計算した。

$$H=0 \text{ のとき、} \quad B_j = C_j = \frac{1}{j+1}$$

$-1 < H < -0.4$ or $0.5 < H$ のとき、Morgenstern-Priceの論文にのせられている以下の式を使った。

$$B_0 = \frac{1}{H} \log(1 + H)$$

$$C_0 = \frac{1}{1 + H}$$

$$B_{j+1} = \frac{1}{H} \left(\frac{1}{j+1} - B_j \right)$$

$$C_{j+1} = \frac{1}{H} (B_j - C_j)$$

$-0.4 \leq H \leq 0.5$ ($H \neq 0$) のときは、B、Cの被積分項をTaylor展開して、以下の計算式を導出した。

$$B_j = \sum_{i=0}^n \frac{(-H)^i}{j+i+1}$$

$$C_j = \sum_{i=0}^n \frac{(i+1) \cdot (-H)^i}{j+i+1} \quad \text{ここでは、} n = 100 \text{としている。}$$

d) $f(x)$ について

$$f(x) = kx + m$$

の、 k 、 m は前もってきめなくては行けないが、これは前節の式よりわかるように、スライス側面の σ 、 τ が既知ではないので決定はできない。

ここでは、 $f(x) = 1.0$ i.e. $k=0$ 、 $m=1$ とした。この仮定は一般に採用されているものである。

これを、Spencerの静定化条件と比較すると、

$$\tan \delta = k \cdot \tan \theta \text{ (Spencer)}$$

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \text{ (Morgenstern-Price)}$$

$$\therefore \tan \delta = X/E$$

$$k = f(x)$$

$$\tan \theta = \lambda$$

$$\therefore k = f(x) = 1.0$$

となり、これは上の関係からわかるように、内力の向きがすべて平行であることを意味する。

3 Morgenstern-Price 法による必要抑止力の算定 —— 2 計算結果

(1) プログラム作成上の問題点

元のプログラムは、左側から右側へ計算するようになっているので、図 2-1 の杭より上流側の区間 (CA) ではそのままつかえる。下流側の区間については、図 3-1 のように杭打設位置において、地すべり斜面を裏返しにして計算の向きはやはり左から右側にするようにした。

ほかにも方法としてはいろいろあるが、うまく収束したのはこの場合だけであった。このとき、これは当然のことであるが、下から上に向かって計算した場合の安全率（これが元のプログラムである。）と、上から下に向かって計算した場合の安全率が、ピッタリ一致した。

この場合プログラム上、図 3-1 のようにせん断抵抗力のむきが、元のプログラムとは逆になる。これは式 (2.3.3)、(2.3.4) を見るとわかるように、形式上、 $F \rightarrow -F$ とすることに対応する。また、計算結果をみると元のプログラムでは、 $\lambda < 0$ であるが、この場合 $\lambda > 0$ となる。絶対値は等しい。このほか他に座標の変換も必要であり、かなり面倒であった。

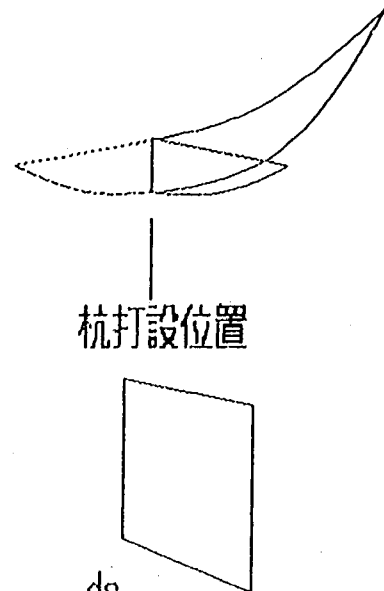


図3-1杭打設位置より下流側の部分の考え方

(2) 土質定数について

土塊の単位体積重量は 1.8 tf/m^3 とした。

c 、 ϕ は各断面について Morgenstern-Price 法により、安全率が 1.0 になるように逆算法により、決定した。まず c の値を 0.0 から 0.5 ずつ増やしていった、それに対する ϕ の値を求めてやっている。従って一断面で何通りかの c 、 ϕ の組み合わせがでてくる。それらのうち、参考文献 18) 等を参考にして、適当な値を採用した。ほぼ第三紀層地すべりを想定して、 $c = 0.5$ とし、 ϕ はそれに対する値を採った。但し収束した組み合わせが一組しかない場合は、その値を採った。なお数断面については、 c 、 ϕ の違いによる抑止力の変化も見ている。従って以下の計算結果は現実の地すべり地についての検討というより、いろいろな断面形の違いによるシミュレーションの色彩が濃い。付録 2 に収束した c 、 ϕ の一覧表を掲げてある。

(3) サンプルデータによる計算 —— 各種考え方

以下に述べる考え方1、考え方2において顕著な結果がみられなかったの
で、さらに考え方3から、考え方6までの別の考えをたてて計算してみた。
また比較のために、簡便法に基づく式(1.1)による、抑止力も計算した。

考え方1

- 2-(1)で述べたように、 Q_u 、 Q_b はまったく独立に求め、その間にな
んら関係はないとする。
- 杭の打設位置においても

$$X = \lambda f(x) E$$

の関係は成立するとする。この仮定により、2で掲げた式はそのまま
使える。

- 初期状態は $F=1.0$ であり、 $F=1.2$ にあげるために図3-2のように
作用力を変化させる。 Q の初期値は $F=1.0$
のときのその地点の内力とする。これは、元
の算定式で、 $x=x_0$ のとき $E=0$ が成立しな
いために、値をいれてやる必要があるからで
ある。計算法としては、上流側で Q_u を徐徐
に増やしてやって、 $F=1.2$ になるように Q_u
を求め、下流側で Q_b を徐徐に減らしていっ

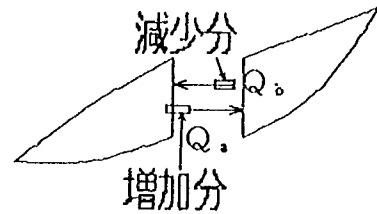


図3-2 Q の求め方

て、 $F=1.2$ になるように Q_b を求める。収束法は単純な二分法である。
2-(1)で述べたように、 $\Delta Q = Q_u - Q_b$ が求める必要抑止力となる。
実際の表示は、おのこののスライスの境において全て、この ΔQ を求
め、それらを結んで折れ線表示をしてある。

なお境界条件は前と同じく $E_n=0$ 、 $M_n=0$ であり、未知数は三個 (λ 、
作用力、作用位置) であるから、静定化するために作用位置を前もっ
て与えておく必要がある。

- 作用位置は三通り考えた。一つは $F=1.0$ のと
きの thrust line=推力線 (これを以後、
初期推力線と呼ぶ) の位置、残りはスライスの
底面から測って、スライス側面の高さの
 $1/3$ と $1/2$ の位置に固定した。

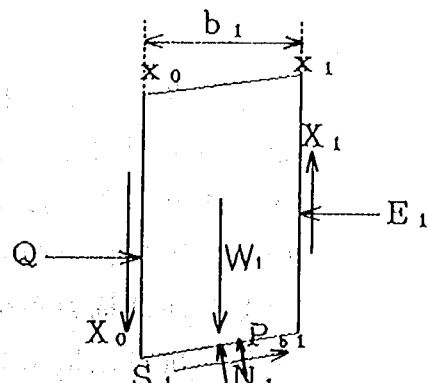


図3-3 有限長スライス
にかかる作用力

考え方2

- これは杭の打設位置において、 $X = \lambda f(x) E$
の関係が成り立たないとする考えである。実

際、この位置においては、Eは外力と考えるべきなので、この関係は不成立と考えるほうが理論的である。計算上は杭の前後のスライスにおいて、新たにつりあい式をたててやる。他は考え方1と全く同じである。

○ 計算式

Mohr-Coulomb破壊基準

$$S_1 = (c \cdot b_1 \cdot \sec \alpha + N_1 \cdot \tan \phi) / F$$

力のつりあい

N方向

$$N_1 + P_{b1} = W_1 \cos \alpha + X_0 \cos \alpha - X_1 \cos \alpha + Q \sin \alpha - E_1 \sin \alpha$$

$$P_{b1} = r_{u1} \cdot W_1 \cdot \sec \alpha$$

S方向

$$S_1 = W_1 \sin \alpha + E_1 \cos \alpha - Q \cos \alpha + X_0 \sin \alpha - X_1 \sin \alpha$$

以上の式をまとめると、

$$\begin{aligned} & \frac{C}{F} b_1 \sec \alpha \\ & + (W_1 \cos \alpha - r_{u1} W_1 \sec \alpha + X_0 \cos \alpha - X_1 \cos \alpha + Q \sin \alpha - E_1 \sin \alpha) \frac{\tan \phi}{F} \\ & = W_1 \sin \alpha + E_1 \cos \alpha - Q \cos \alpha + X_0 \sin \alpha - X_1 \sin \alpha \end{aligned}$$

次にモーメントのつりあいより

$$\begin{aligned} & Q \left\{ \frac{1}{2} y(x_0) + \frac{1}{2} y(x_1) - y_t(x_0) \right\} \\ & - \frac{b_1}{2} X_0 - \frac{b_1}{2} X_1 - E_1 \left\{ \frac{1}{2} y(x_0) + \frac{1}{2} y(x_1) - y_t(x_1) \right\} = 0 \end{aligned}$$

結局未知数が4つ(Q、X、 $y_t(x_0)$ 、 λ)で、条件式が2つなので、静定化するために $y_t(x_0)$ の値を固定し(力の作用位置を決める。)、 $X_0=0$ とする。つまり杭打設位置のスライス側面においては、垂直力だけを考える。ここで作用位置は考え方1と同様に3通りの場合について検討する。

考え方3

考え方1と2においては、スライス側面の作用力のみを変化させることによって、安全率を増加させるとした。考え方3、4、5においては、杭の上流側で、その隣接するスライスにおいて底面のせん断抵抗が増大していると考ええる。これにより、杭打設による“すべりにくさ”を表わす。

これは、図3-4に示すように、独立変数 $\angle S$ を一つ増やすことを意味する。すぐ隣りのスライス

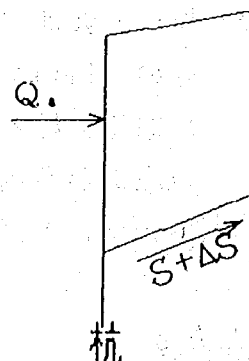


図3-4 杭打設によるせん断抵抗力の増加

のみを増加させているのは、計算の都合上の問題で他に意味はない。

以上の考えは、杭がその上流側の土塊を押し上げる力はそれほど期待できないのではないかという見積りに基づく。実際、この押し上げる力は、下流側土塊の地盤反力と杭自身のもとにもどろうとする力の合力と考えられるが、これは、杭打設位置の関数というよりも、土塊の厚さの関数と考えられるのである。これは、杭打設による抑止効果には、セン断抵抗力の増加がより大きく寄与しているだろうという立場である。つまり、仮に杭が塑性変形をおこして曲がっても、破壊さへしなければ、抑止効果は依然としてあると考えられるのである。

但し、以上は考え方1、2を文字どおり解釈した場合であって、 ΔQ を何らかの現象のパラメーターであるとする解釈は可能である。

考え方を3から5の3通りの場合にわけたのは、計算の手法上の違いである。考え方3では当該スライスの最大セン断抵抗力が増大しているとして計算する。

$$\text{i. e. } \tau = \{c + \Delta c + (\sigma - u) \tan \phi\} / F$$

つまり形式上、粘着力を増加させて計算する。

実際の計算では、考え方1、2の両方の場合に適用して計算を行った。但し力の作用点は、初期推力線の位置に固定してある。

考え方4

- これは、当該スライス底面に直接 ΔS をつけくわえてやる考えである。従って計算上、考え方2の式を以下のように変形する。

S 方向

$$S_1 + \Delta S = W_1 \sin \alpha + E_1 \cos \alpha - Q_1 \cos \alpha + X_0 \sin \alpha - X_1 \sin \alpha$$

この式を使って杭上流側の安全率が1.2になるような ΔS を求める。ここで ΔS の値は Q_1 には陽には寄与しない。考え方としてはこの ΔS が小さいほど杭の負担力は小さいと見て、杭の最適打設位置を検討する。

- ここで側面の水平力 Q が安全率 1.0 のときと安全率 1.2 のときとで等しいとする。つまり土塊をささえるだけで、上方に安全率を高めるような力は働かないとする。

考え方5

- 考え方4において Q の値を少し増加させ、そのときの ΔS の変化を見る。この Q の増加分は、6で掲げる式を使って算定すべきであるが、ここでは、おおよそその値を与えてある。

考え方6

- 考え方4において ΔS を杭の位置によらず一定とする。そのときの

$\Delta Q = Q_0 - Q_1$ の値の変化を指標とする。ここで、 ΔS は適当と思える値をとった。

(4) サンプルデータによる計算 ——計算結果(付録1)

以下一つのサンプル断面について考え方1から6について計算した結果を掲げ検討する。座標データは中村・新田¹⁵⁾のものをそのまま使用した。この断面は付録3における[3]である。このサンプル断面のスライス総数は24である。スライスごとに杭の位置を左から右に移動させて、おのこの位置における抑止力を計算しているが、この断面で80386CPU搭載のパソコンで約7時間かかった。それで実際の計算では土木研究所のwork stationをたびたび使用した。初期推力線が断面の外に出た場合(これはMorgenstern-PriceやSpencerによれば張力と考えられるので問題外となる。)、両端からそれぞれ一つ隣、および収束しなかった場合は $\Delta Q = 0$ とおいている。従って図の両端、特に右側で急に0になるのは、収束しなかったためで、実際の曲線はもっとなめらかに変化すると思われる。但し収束しないという事実は何らかの無理があると解釈されるので、このようなゾーンには杭打設は避けた方がよいと思われる。

付録1に計算結果を掲げる。

考え方1

○ 力の作用位置を初期推力線の位置に固定した場合

上流側の土塊を押し上げる力の増加分(図の $Q_0 - Q_1$)は、下流側にいけばいくほど増加し、上流側にいくほど減少する。その変化はほぼ直線的である。これは、安全率を1.2にするために作用する土塊量が下流側にいけばいくほど大きくなることから、予想される結果である。ただこれがほぼ直線的に変化するのが特徴である。下流側の土塊を押し下げる力の減少分は、それとまったく逆の変化を示す。これもまた直線的に変化する。結局、抑止力はこの二つの効果がうちけしあって、図で見られるように、位置による変化は見られず、杭打設位置の目安にはならない。

推力線図を見ると、19までは、初期推力線とほとんど変わらず、自然な変化を示す。20以降は推力線が乱れており、無理のあるのがわかる。これは $Q_0 < 0$ の領域である。

○ 力の作用位置を1/3の点に固定した場合

上の場合に比べて、上流側の必要抑止力が若干増える。推力線もなめらかさが、少々減る。

○ 力の作用位置を1/2の点に固定した場合

さらに、上流側の必要抑止力が増える。推力線も不自然さが目立つ。

考え方2

ほぼ考え方1と同じ傾向がみられ、力の作用位置が高くなるほど上流側の必要抑止力が大きくなる傾向があるが、それほど顕著ではない。杭打設位置の目安となるような結果ではない。推力線は、考え方1の場合と比べて滑らかさがかける。特に作用点が1/2の場合にこのことが顕著であり、かなり不自然となる。

考え方3

粘着力を増すほど、グラフのなめらかさは減る。一見 $\angle Q$ の最小値が求められているように見えるが、これはスライス底面の長さが長いところほど効果が大きくなることを意味するだけであって、指標としては不適当と思われる。

考え方4

必要抑止抵抗 ($\angle S$) は、上流側にいけばいくほど減少する。これは、考え方1、2の $Q_0 - Q_1$ の変化と同じ傾向を示し、ほぼ直線的である。前にも述べたが、 $\angle S$ は杭には陽にはきかないが、 $\angle S$ が小さいほど杭の負担力は減少すると考えるべきなので、杭の打設位置としては、この $\angle S$ の変化線と、 $Q_0 - Q_1$ の曲線が交わる点が適当と思われる。しかし、断面の違いによる変化がない場合には、有効な指標たりえないので、以下の(6)で断面形の違いによる変化の検討を行った。

推力線を見ると、杭打設位置でかなり不自然にまがる。これは力の作用位置が高くなるほど顕著である。このことは、杭の上流側と下流側で力の作用位置を、変えるべきであるということを示唆していると思われる。

考え方5

ここでは上流側の土塊を押し上げる力として、地すべり土厚の単位長さあたり、 0.5 t/m の力を付け加えている。この値にはなんら根拠はなく、考え方4との違いを見るために、付け加えたものである。結果の傾向は考え方4とほぼ同じであるが、杭打設位置とした点が下流側にずれるのがわかる。

推力線の傾向も、考え方4とほぼ同様である。

考え方6

各スライスごとに、その底面に $5t/m$ と $10t/m$ のせん断抵抗力を増加させている。その傾向は作用位置によらず、考え方1、2とほぼ同じであり、杭打設位置による変化はみられない。当然のことではあるが、 $10t/m$ かけたほうが、 $5t/m$ かけたほうよりも、必要抑止力は減少するが、図で明瞭なようにほぼ平行にさがる。従って杭打設位置の目安とはなりえない。

推力線をみると、杭打設位置における折れ曲がりが目立つ。これは特に作用位置、 $1/2$ のとき顕著であり、これはやはり杭の上流側と下流側とで作用位置を異にすべきであることを、示唆しているように思われる。

まとめ

以上の結果を見ると、まず推力線の傾向から、力の作用位置は、初期推力線の位置が最も無理がないのがわかる。これは、杭の上・下流側で作用位置を同じにしている場合で、できるならば、作用位置を上下流側で別々にとるようにプログラムを変えたほうが、よいようにも思えるが、但しこの場合は未知数が一つ増えるので、何らかの条件を付け加える必要がでてくる。

ともかく、以下の(5)~(7)の解析では、力の作用位置は初期推力線の位置に固定して計算した。

考え方1から6までで、杭打設位置の目安の可能性があるのは、考え方4と5であるが、この点については以下の(6)で検討する。

考え方1の $Q_0 - Q_0$ 、 $Q_0 - Q_0$ は直線性が特に顕著であり、また杭の打設によって、抑止力 $\Delta Q = Q_0 - Q_0$ の値がほとんど変化しない。これは、この値が杭打設位置の目安にはならないことを意味するが、逆に言えば簡便法との比較において新たな抑止力の指標たりうる可能性がある。そこで以下の(5)において、他の断面について考え方1と考え方2について、計算することとした。

(5) 考え方1と考え方2による抑止力の計算 (付録3)

全部で26断面について計算を実施した(サンプル断面を含む)。計算結果は一覧表にして、付表3-1、付表3-2として、付録3の末に掲げる。この座標データは中村・新田⁽¹⁵⁾のものを一部そのまま借用した。

ここで断面の規模によって常識外の抑止力がでている場合があるが、今は、あくまでスライスを剛体と考えて、断面形状による違いのみをみているので、大きさは考えにいれなくてよい。

a) 抑止力の " 誤差 "

おのおのの断面で、収束したもののうち、 Q_0 の値が負になった場合は計算に入れないで、抑止力の平均、最大最小値、標準偏差、等を求めてやった（付表3-1、付表3-2）。また表3-1と表3-2に、おのおのの断面で、M-P法による抑止力の最大値と最小値を平均値で割った値の%ごとの頻度を一覧表として、掲げた。

考え方1の場合、表3-1より、ここに掲げた26例の内、仮にそれぞれの平均値を真値とすると、誤差はほぼ3%以内におさまるのがわかる。最高でも平均値の7%程度である。また、標準偏差をみても、ばらつきが非常に少ないのがわかる。これは、この方法で求めた抑止力が杭の打設位置によらず、ほぼ一定の値をとり、かつこの傾向は断面の形状にはほとんど影響されないことを意味する。なお、このようにほぼ一定の値をとるのは、数学上の理由によるものと思われる。

このことは、考え方1の場合には、この抑止力の平均値をもって、M-P法による、杭を打設した場合の必要抑止力とすることが、十分に妥当であることを意味すると思われる。そこで、以下この平均値をもって、M-P法による必要抑止力とすることにする。

考え方2の場合には、表3-2からわかるように、誤差も大きく、ばらつきも若干大きいのがわかる。特に上流の末端近くでは、その傾向が著しく、断面形の違いによって増加ないしは減少する。

$\frac{ X-M }{M}$	0~1%	1~2%	2~3%	3~4%	4~6%	6~8%	計
X = 最大値	11	6	6	1	1	1	26
X = 最小値	10	10	2	1	2	1	26

表3-1 考え方1による抑止力の値の " 誤差 " の頻度 (M = 平均値)

$\frac{ X-M }{M}$	0~2%	2~4%	4~8%	8~12%	12~16%	16~20%	計
X = 最大値	2	7	8	7	1	1	26
X = 最小値	4	7	12	3			26

表3-2 考え方2による抑止力の値の " 誤差 " の頻度 (M = 平均値)

b) 簡便法との比較

付表 3-1、3-2 では簡便法と比較した値も掲げておいた。これからわかるように、幾つかの断面で、M-P 法で安全率が 1.0 になるように定めた c 、 ϕ に対して、簡便法の安全率が 1.0 を越える場合がある。これは、中村・新田¹⁶⁾ において「簡便法の安全率が特に高くなる断面例」として掲げられている断面とほぼ一致する。なお、(7)で述べるように、この値は c 、 ϕ の値の変化により、若干変化する。

このように簡便法により安全率を計算した時に危険側にきた場合には、M-P 法による抑止力も危険側にくる傾向があるのがわかる。このことは、杭の必要抑止力の計算の場合にも、従来の簡便法による計算だけでなく、やはり、M-P 法等、より厳密な理論に基づいた方法によりチェックする必要があることを示唆していると思われる。

c) 簡便法と M-P 法の抑止力の相関関係

今、縦軸に M-P 法による抑止力と簡便法による抑止力の比をとり、横軸に M-P 法による安全率と簡便法による安全率の比をとってやり、図示することにする（この場合 M-P 法の安全率は全て 1.0 となる）。その結果を図 3-5（考え方 1）と図 3-7（考え方 2）に掲げる。考え方 1 の場合は、後の (7) の計算結果も含めてある。

図 3-5 より、考え方 1 の場合には、大体ある曲線上にのるのがわかる。その曲線を図 3-6 に表示する。この曲線の方程式は、図より適当な 3 点をとって、双曲線近似をしたものであり、統計的処理はほどこしていない。従って、図からもわかるように、この曲線は相関をそれほどよくつかまえているとはいえない。この曲線は大体の目安である。

この方程式をつかえば、時間のかかる、上記の方法による計算をしなくても、M-P 法による抑止力を簡便法の値から求めることができる。この方程式によると、図 3-6 の下の所にかいておいたように、M-P 法に比べて簡便法の安全率が $1/0.98369=1.01658$ 倍程度になった場合に、M-P 法による抑止力が簡便法による抑止力より大きくなるので、この場合には、M-P 法による抑止力を使ったほうがより安全側となるということである。

なお、a) で述べたように、位置によるばらつきはほとんどないので、実際に計算をする場合でも、最初に収束した位置における値を、M-P 法による必要抑止力としても、ほとんど問題はないと思われる。

考え方 2 の場合には、図 3-7 からわかるように、値がかなりばらつくので、適当な指標たりえない。

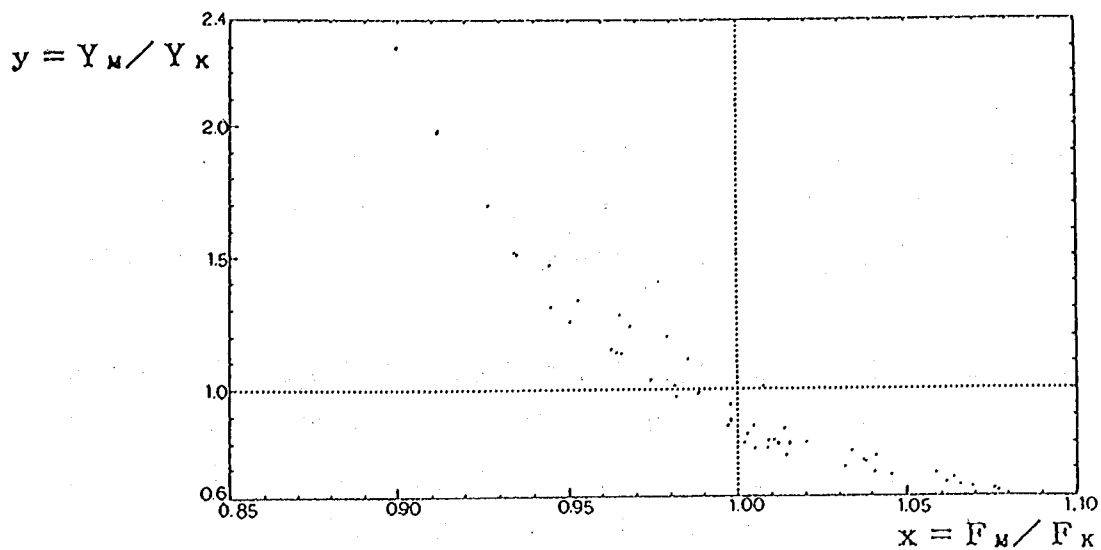


図3-5 考え方1の場合の簡便法とM-P法の安全率の比と抑止力の比の相関

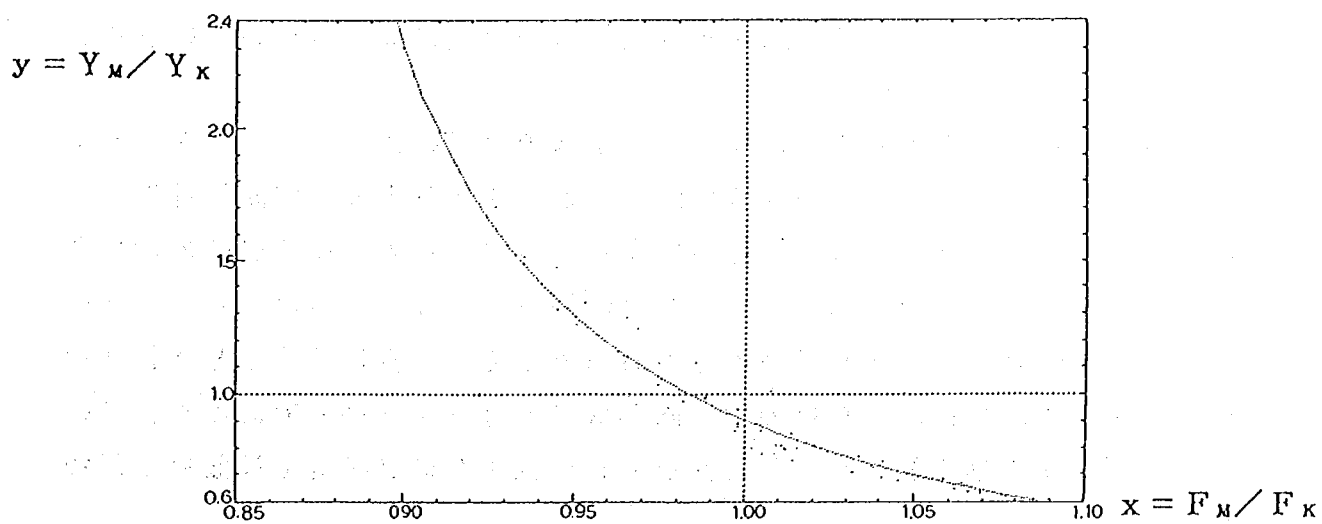


図3-6 考え方1の場合の簡便法とM-P法の安全率の比と抑止力の比の相関

(曲線の方程式 $y = \frac{0.1414362}{x - 0.8377} + 0.0312$)

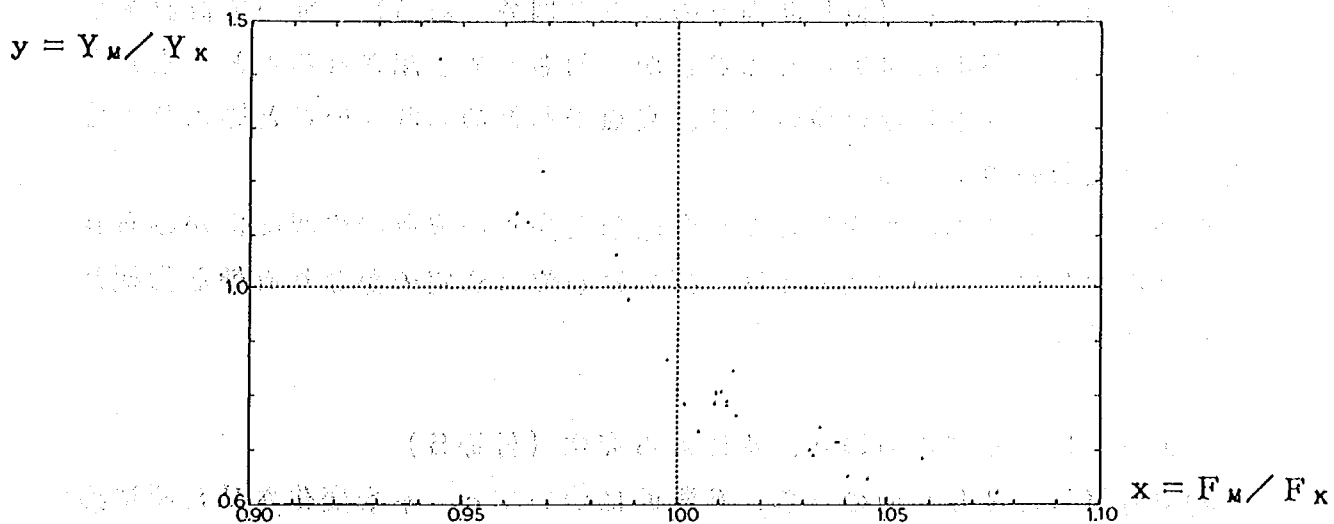


図3-7 考え方2の場合の簡便法とM-P法の安全率の比と抑止力の比の相関

(F_M : M-P法による安全率 (この場合は $F_M = 1.0$) F_K : 簡便法による安全率)
 Y_M : M-P法による抑止力の平均値 Y_K : 簡便法による抑止力)

(6) 考え方4による計算 (付録4)

計算結果を付録4に掲げる。全部で12例について計算した。26例全てを計算しなかったのは、規模が大きい地すべり例では、収束が非常に遅くて、計算ができなかったためである。従って断面8では、上記の理由から結果が載せられなかった。

結果からわかるように、 $\angle S$ の変化は考え方1における $Q_1 - Q_0$ の変化とほぼ同じであり、したがって、 $\angle S$ の線と $\angle Q = Q_1 - Q_0$ の線の交点も、考え方1における $Q_1 - Q_0$ の線と、 $Q_0 - Q_0$ の線の交点の位置とほとんど同じである(考え方4では $Q_1 = Q_0$ としているので、 $\angle Q = Q_0 - Q_0$ となる)。但し、2例(断面5、断面10)を除いて、考え方1の交点のほうが考え方4の交点より、右側にシフトしている。

ただし、このことはこの交点が杭打設位置の目安にはならないということの意味するものではない。

表3-3にこの交点の位置と地すべり土塊の全長の比を計算したものを掲げる。これで見ると、交点の位置はほとんど地すべり土塊の中間付近にくることがわかる。これは杭打設位置の目安としての、この交点の位置の無効性を示すデータであるが、例えば断面4や断面5のように明らかに断面形状により交点の位置が左右されているものもあるので、一概にはそうとは言えない。ともかく計算例が少ないので、確かなことは言えないのであるが、この計算例だけからみると、断面形と交点の相関はそれほど顕著ではないと思われる。

杭打設の位置の目安としての考え方4は、理論的にはかなりの妥当性をもつと思われるのであるが、このように、実際の計算においては、変化がほとんど直線的であること(但し断面5のような例外もある)、従って計算をしなくても、交点が中心付近にくることが、前もって予想されること、また断面6のように、収束しない場合には、交点がもとめられないこと等より、確実とはいえないのである。

今後、さらに計算例を増やして、断面形と交点の位置の相関関係がみられるようになれば、この考え方4は、杭の打設位置決定のかなり有効な指標となるであろう。

(7) 考え方1による抑止力の c 、 ϕ による変化 (付録5)

(5)で計算した26断面のうち、6断面について c 、 ϕ を変化させた時に抑止力がどのように変化するかを見た。計算結果を付録5に掲げる。また、表3-4、表3-5にその結果を一覧表として掲げる。

断面	全長 (L) m	交点までの 距離 (X) m	X/L
[1]	206	94	0.4563
[2]	232	119	0.5129
[3]	44	20	0.4545
[4]	49	18	0.3673
[5]	30	18	0.6
[7]	255	120	0.4706
[9]	137	81	0.5912
[10]	31	16	0.5161
[13]	86	44	0.5116
[15]	114	64	0.5614

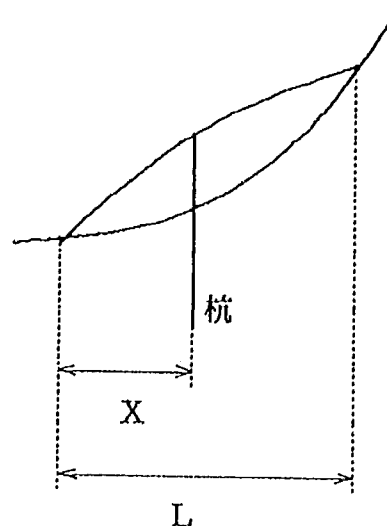


表3-3 考え方4による杭打設位置と地すべり土塊の長さの比

a) 簡便法による安全率と抑止力の c 、 ϕ による変化

表3-4からわかるように、簡便法による安全率は粘着力 (c) が増加するほど、従って内部摩擦角 (ϕ) が減少するほど増加する傾向がある。つまり、より危険側に変化する。これは、中村・新田¹⁵⁾においても同様のことが指摘されている。但し断面18だけは、途中から逆の傾向を示したので、ある程度断面形状に左右されるようで、これは一般的傾向とはいえないかもしれない。ただ、断面18の場合、初期推力線図を見ると、 c が大きくなるほど、スライスの外部に出る傾向があり、簡便法においても、安全率を求めることに若干の無理が生じているのかもしれない。

なお、この c が増加するにつれて、推力線が乱れる傾向は他の断面でも見られ、特に上流末端近くでその傾向が著しい。これは、やはり、機械的な c 、 ϕ の採り方に無理があることを意味するものと思われる。

簡便法による抑止力は、この安全率の変化と完全に一致する。すなわち、安全率が増加すればするほど、抑止力は減少し、安全率が減少すると、抑止力は増加する。これは断面18の場合もそのまま当てはまる。従って一般的傾向として、 c が増加するにつれて、必要抑止力は減少する。

これは数学的に証明できる。式(1・1)より、

$$P_R = F_s \cdot \Sigma T - \{ \tan \phi \cdot \Sigma (N - U) + c \cdot \Sigma l \} \quad \text{—— (3.7.1)}$$

ここで、

P_R : 必要抑止力

F_s : 計画安全率 (今の場合 $F_s = 1.2$ である。)

断面	c t/m ²	φ 度	安全率 (簡便)	抑止力 (簡便) tf/m K	抑止力 (M-P) tf/m M	M/K
[8] (090)	0.0	16.1538	1.00223	280.0530	265.1640	0.94684
	0.5	14.2752	1.01153	266.8750	264.7040	0.99187
	2.0	8.4260	1.03721	230.5200	263.3570	1.14245
	3.0	4.3772	1.05185	209.7230	263.6640	1.25678
	3.5	2.3167	1.05814	200.8840	264.1880	1.31513
[9] (091)	0.0	14.6995	1.03628	52.6741	67.7419	1.28606
	0.5	11.7750	1.05868	45.4676	67.0233	1.47409
	1.0	8.7563	1.07890	38.9608	66.3889	1.70399
	1.5	5.6520	1.09664	33.2538	65.9478	1.98316
	2.0	2.4717	1.11145	28.4912	65.5727	2.30151
[14] (130)	0.0	9.2613	0.92867	1043.5400	644.3080	0.61743
	0.5	8.3804	0.92964	1039.8300	644.1540	0.61948
	2.5	4.8363	0.93505	1019.0100	642.2500	0.63027
	3.5	3.0548	0.93839	1006.1900	641.2120	0.63727
	4.5	1.2696	0.94194	992.5100	640.1500	0.64498
[15] (131)	0.0	17.9723	0.96062	136.6320	101.8600	0.74551
	0.5	16.1312	0.96728	132.8310	101.6380	0.76517
	1.5	12.3323	0.97980	125.6870	101.1990	0.80516
	3.0	6.3711	0.99540	116.7810	100.8050	0.86320
	4.0	2.2421	1.00226	112.8630	100.3340	0.88899
[18] (190)	0.0	14.3328	1.01185	50.3381	49.6737	0.98680
	0.5	12.3212	1.01926	48.3561	49.1761	1.01696
	1.5	8.1010	1.02648	46.4242	48.1430	1.03702
	2.5	3.5763	1.01883	48.4727	47.1564	0.97285
	3.0	1.1337	1.00395	52.4524	値なし	値なし
[26] (401)	0.0	16.6770	0.99244	52.3355	53.0016	1.01273
	0.5	14.5469	1.01473	46.7151	52.1738	1.11685
	1.5	10.0008	1.04943	37.9641	50.7965	1.33801
	2.5	5.0692	1.06928	32.9605	49.8440	1.51224
	3.0	2.4184	1.07041	32.6753	49.7316	1.52199

表 3-4 安全率と抑止力の c、φ の変化による変化

断面	c t/m ²	ϕ 度	抑止力M (平均)	M a x - M	M i n - M	標準偏差
				M %	M %	
[8] (090)	0.0	16.1538	265.1640	1.78524	1.61567	2.60969
	0.5	14.2752	264.7040	1.87074	2.04382	3.09845
	2.0	8.4280	263.3570	2.47696	6.53857	6.51731
	3.0	4.3772	263.6640	2.80050	9.73173	8.49654
	3.5	2.3167	264.1880	2.97856	10.89940	9.40829
[9] (091)	0.0	14.6995	67.7419	2.36411	4.15504	1.12900
	0.5	11.7750	67.0233	2.29508	4.24533	1.03857
	1.0	8.7563	66.3889	2.49761	5.08468	1.14364
	1.5	5.6520	65.9478	2.80045	5.12659	1.27249
	2.0	2.4717	65.5727	3.43849	6.56339	1.68215
[14] (130)	0.0	9.2613	644.3080	3.01744	1.45341	9.64221
	0.5	8.3804	644.1540	2.90497	1.37895	9.21028
	2.5	4.8363	642.2500	2.48438	1.18412	7.48883
	3.5	3.0548	641.2120	2.23164	1.04762	6.64324
	4.5	1.2696	640.1500	1.97011	1.01497	5.83414
[15] (131)	0.0	17.9723	101.8600	3.57634	1.76726	1.30944
	0.5	16.1312	101.6380	3.45703	1.90119	1.29426
	1.5	12.3323	101.1990	3.35322	2.93669	1.49971
	3.0	6.3711	100.8050	3.51398	8.23805	2.56224
	4.0	2.2421	100.3340	4.45239	17.78220	4.86110
[18] (190)	0.0	14.3328	49.6737	1.50796	1.76922	0.48763
	0.5	12.3212	49.1761	1.40164	2.43335	0.53806
	1.5	8.1010	48.1430	1.59934	6.89285	1.04239
	2.5	3.5763	47.1564	2.96796	18.05780	2.41747
	3.0	1.1337	値なし	値なし	値なし	値なし
[26] (401)	0.0	16.6770	53.0016	7.18998	8.11786	2.93197
	0.5	14.5469	52.1738	5.66055	7.67833	2.34087
	1.5	10.0008	50.7965	4.60415	8.65977	2.02675
	2.5	5.0692	49.8440	5.68287	12.84030	2.75622
	3.0	2.4184	49.7316	7.21116	16.10980	3.62943

表3-5 M-P法によるc、 ϕ の値毎の、抑止力の“誤差”と標準偏差
(M a x = 抑止力の最大値、M i n = 抑止力の最小値)

また、M-P法において、安全率=1.0 になるような c 、 ϕ に対する簡便法による安全率（これが、ここで求めている簡便法による安全率である） F_x は、

$$F_x = \frac{\tan \phi \cdot \Sigma (N-U) + c \cdot \Sigma l}{\Sigma T}$$

ここで、 $\Sigma (N-U)$ 、 Σl 、 ΣT は断面の形状、水位線がきまれば、値はおなじなので、定数となる。

$$\therefore \tan \phi \cdot \Sigma (N-U) + c \cdot \Sigma l = F_x \cdot \Sigma T$$

これを式 (3.7.1) に代入して、

$$\therefore P_R = F_B \cdot \Sigma T - F_x \cdot \Sigma T = \Sigma T \cdot (1.2 - F_x) \quad (3.7.2)$$

$$\therefore P_{R00} = F_x$$

つまり、簡便法による安全率に正確に比例して、簡便法による必要抑止力は減少する。（証明終）

b) M-P法による抑止力の c 、 ϕ による変化

ここでいう、M-P法による抑止力とは、(5)で定義した意味である。

表3-5に各断面毎の c 、 ϕ の違いによる抑止力の平均と標準偏差等を掲げる。

a)でも指摘したが、付録5に掲げた初期推力線図を見ると、ここで掲げた断面では、 c が増加するに従って、即ち ϕ が減少するにつれて、作用点がスライスの外にでる傾向が見られる。この推力線の乱れは上流末端付近で著しい。このことは、逆算法によって収束した c 、 ϕ のうち、不適切なものがあることを示しているものと思われる。つまりMorgenstern-Price法が現実の内力分布をある程度捉えているとすれば、 $F=1.0$ になるような c 、 ϕ が収束した結果求まるということで、可能な採り得る c 、 ϕ の組み合わせの範囲がある程度絞れ（付録2参照）、さらに推力線の乱れから其の内の不適当なものを除くことで、さらに範囲を絞ることができる。これは、地すべりが実際に発生したという情報（ $F=1.0$ ということ）から、 c 、 ϕ がある程度断面形状によって機械的に決定できることを意味する。

従来地すべり地の c 、 ϕ の決定は土質試験等の結果があまり信頼できないところから、 c を地すべり土塊の最大層厚の $1/10$ 程度として、簡便法による逆算法で求めるやり方が採られてきたが、上記のように、断面形状と水位線が決まれば、M-P法により、ある程度 c 、 ϕ の範囲は絞れる可能性があることがわかる。

表3-5を見ると、M-P法による必要抑止力の値からも、その“誤差”や標準偏差を見ると、断面によって、最適な c 、 ϕ のが存在するよう

である。また、 c が大きくなると、“誤差”が10%以上になる断面が数例見られる。これは、M-P法による必要抑止力として、平均値をとることが適当でないことを意味する。付録5を見ると、このように“誤差”が大きくなるのは、上流の末端付近で、抑止力が減少するためとわかるが、この場合は安全側をとってこの範囲の値は計算にいれないほうがよいかもしれない。

c 、 ϕ の変化による、M-P法による抑止力の変化をみると、断面8以外は c が増加するにつれて、抑止力は減少する傾向にある。但し、表3-6に各断面で c 、 ϕ の変化で通算した平均値、“誤差”等を掲げるが、これで見れば、抑止力の大きさは c 、 ϕ の値によらずほぼ一定であるといつてよい。これはここで使っている c 、 ϕ がM-P法による逆算法から $F=1.0$ になるように定めたことから、当然帰結されることであると思われる。

c) 簡便法による抑止力とM-P法による抑止力の関係

b)で述べたようにM-P法による抑止力の、 c 、 ϕ の変化による変化はほとんどないので、簡便法による抑止力とM-P法による抑止力の比は、簡便法による抑止力の変化と一致する。即ち、表3-4よりわかるように、断面18を除いて、この値は c が増加するにつれて、増加する。例えば、断面9では、 c の値により、M-P法による抑止力が簡便法による抑止力の2倍以上になり、この値は明らかに、簡便法による抑止力で計算することの無効性を示すものである。但しこれは、この c 、 ϕ の組み合わせの不適切さを表わすものかもしれない。

ともかく、ここでもM-P法によるチェックの必要性が示されていると思われる。

断面	抑止力の平均 M'	$ Max' - M' $	$ Min' - M' $	標準偏差
		$M' \quad \%$	$M' \quad \%$	
[8]	264.2150	0.35903	0.32489	0.66034
[9]	66.5349	1.81405	1.44619	0.77294
[14]	642.4150	0.29469	0.35255	1.62555
[15]	101.1670	0.68481	0.82359	0.55282
[18]	48.5373	2.34129	2.84503	0.96977
[26]	51.1095	3.70204	2.69598	1.28925

表3-6 M-P法による抑止力の c 、 ϕ の変化で通算した平均値、

“誤差”、標準偏差

(Max' = 抑止力の c 、 ϕ の変化で通算した最大値)

(Min' = 抑止力の c 、 ϕ の変化で通算した最小値)

(8) まとめ

当初の目的は杭打設位置の目安を求めることであったが、計算した結果、決定的な結果はでなかった。そのかわりに簡便法による抑止力に対応するような、M-P法による必要抑止力という概念を導き出すことができた。なお、中村・新田¹⁶⁾も同じ抑止力を求める計算をしているが、明らかに違う結果がでている。これは、中村・新田の計算法が、ここで使っている山上・山川の計算法とは、決定的に違うからである。以下この点について述べる。

図3-8に示すように、中村・新田は杭打設位置で外力を杭の上流側のスライスみに作用させ、結局上流側にかかる力のみを変化させて、計算している。また、地すべり土塊を一体として計算している。

現報告では、杭の上流側・下流側両方のスライスにかかる力を変化させて、上流側と下流側の土塊の二つに分けて、おののおの全く独立に計算している点異なる。また、中村・新田では、必然的に上流側と下流側で力の作用位置が変わるが、現報告では、その作用位置は同じに取っている点異なる。

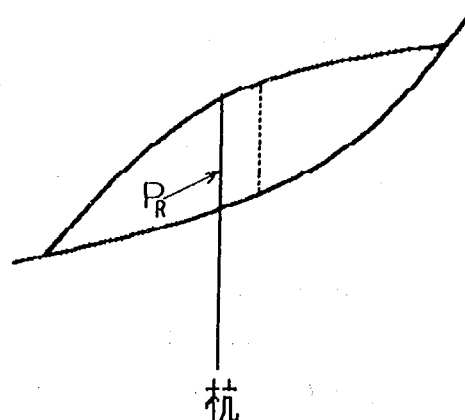


図3-8 中村・新田の考え
(杭の上流側のスライスに
かかる力のみを変化させる)

中村・新田では、未知数の増加はその外力の大きさと作用位置と、力の作用角度の3個となる。今の場合、すべり面全てにわたって、斜面全体の安全率を1.2に上げるとしているので、 $F=1.2$ に固定される。従って、結局静定化するためには、其の内2個の未知数を前もって決定しておく必要がある。ここでは、力の大きさを求めたいので、当然力の作用位置と作用角度を決めて計算している。即ち、この静定化条件は現報告と同じである。

中村・新田では、上流側にいくほど、必要抑止力が増大するという結果がでている。この結果は常識的感覚と食い違うような気もするが、これは、渡・小橋¹⁷⁾も指摘しているように、極限平衡法による計算の限界がでていると思われる。つまり、地すべり斜面全体にわたって、安全率を一定とすることに無理があるのである。この指摘は現報告にも当てはまる。従ってここで求めた必要抑止力といわれるものも、自然現象を反映した何らかのパラメーターと捉えるべきであり、現実には作用している力とはいえない。また、違う計算法による異なった結果がでてくる余地もあるのであって、どちらが正しいという判断は無意味であろう。

4 杭の解析 ———— 基本式の導出

ここでは、杭の解析式について検討する。地すべり抑止杭の式は、基礎杭の式をもとにして導かれているが、大きな相違点は土塊が動くという点である。基礎杭の場合このような条件は、たとえば海底に埋められた基礎杭に作用する波力の影響などに対応がつけられるが、完全ではない。

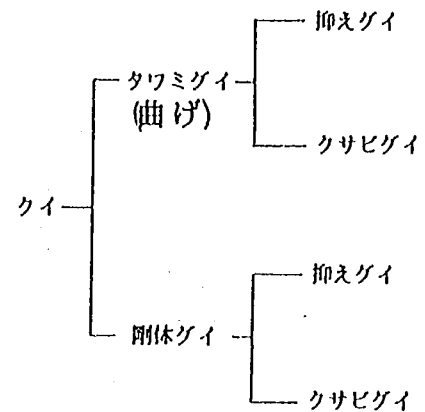
以下では杭の基本式を原理から導き、前章で求めた抑止力を使って杭の解析を行えるようにする。

(1) 杭の分類

ここでは表4-1に掲げるように分類する。

ここで、曲げ杭とは弾性的にたわむ杭、剛体杭とは理論的にはまったくたわまない杭である。

くさび杭とは地盤反力が期待できる杭、抑え杭とはそれが期待できない杭と考える。この定義は従来のものと若干異なる点もあるが、曖昧さを排除する意味でこのように決める。以下では曲げくさび杭についてのみ検討する。



(2) 座標系の選定—符合と規約

従来の杭解析では、座標のとり方が非常にあいまいなので、ここではx y軸は図4-1のようにとって統一する。これは基礎杭では一般にこのようにとるからである。従って前章までのx y軸とは逆になる。

表4-1 杭の分類

(3) 曲げによる応力

参考文献10)を参照して、応力・モーメントの式を導く。

図4-2に示すように大きさMの外力モーメントをかけると、杭内部には内力として一様な負の曲げモーメントMが発生する。

図4-3において、 ρ : 曲率半径とすると

$$\widehat{AB} = \rho \cdot \theta$$

$$\widehat{CD} = (\rho + y) \cdot \theta$$

∴ ϵ : ひずみ とすると

$$\epsilon = \frac{\widehat{CD} - \widehat{AB}}{\widehat{AB}} = \frac{y}{\rho}$$

ここで σ : 曲げ応力 とすると

$$\sigma = E \cdot \epsilon = \frac{E}{\rho} y \quad (\because \text{線形弾性体}) \quad (4.1)$$

E : ヤング率

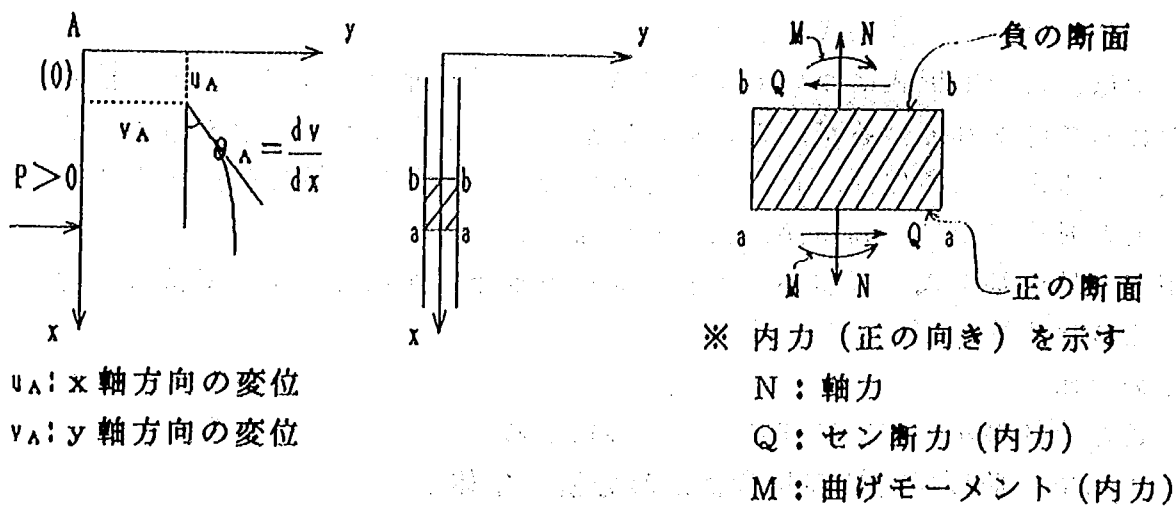


図4-1 符合と規約

これは構成式と呼ばれるものである。

∴ $y > 0$ のとき $\sigma > 0$ i.e. 引張応力

$y < 0$ のとき $\sigma < 0$ i.e. 圧縮応力

図4-4において、 σ の z 軸のまわりのモーメントの和は M に等しいので

$$\begin{aligned} \iint_A \sigma y \cdot dA &= \iint_A \frac{E}{\rho} y^2 dA = \frac{E}{\rho} \iint_A y^2 dA \\ &= \frac{E}{\rho} I_z \\ &= -M \quad (M < 0) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\rho} = - \frac{M}{E I_z} \quad (4.2)$$

ここで

$$I_z = \iint_A y^2 dA$$

(z 軸にかんする断面2次モーメント)

(4.1)、(4.2) より

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{y} &= - \frac{M}{I_z} \\ \sigma &= - \frac{M}{I_z} y \end{aligned}$$

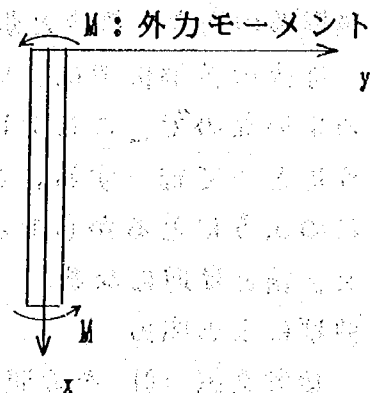


図4-2 モーメント図

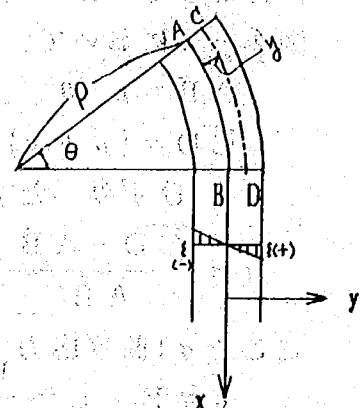


図4-3 杭のたわみ

$$\sigma_{max} = - \frac{M}{I_z} \cdot y_{max} = - \frac{M}{\frac{I_z}{y_{max}}}$$

ここで $Z = \frac{I_z}{y_{max}}$: 断面係数

を導入すると

$$\sigma_{max} = - \frac{M}{Z}$$

最も外側におけるひずみ(これが、しばしば観測される量である。)を ϵ_{max} とおくと

$$\therefore \sigma_{max} = E \cdot \epsilon_{max}$$

$$M = - E Z \cdot \epsilon_{max}$$

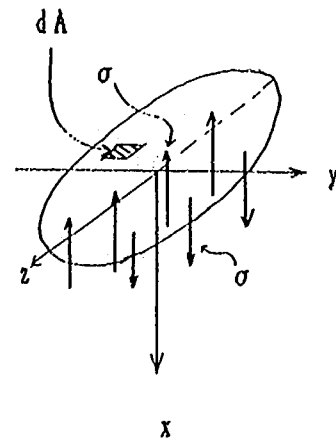


図 4-4 ある断面における応力の分布

(4) 曲げたわみの微分方程式

a) 変形条件式

v : たわみ

ds : 微小要素 dx の変形後の長さ

$d\theta$: ds がはる角

ρ : ds 部分の曲率半径

$$-\rho \cdot d\theta = ds$$

$$\frac{1}{\rho} = - \frac{d\theta}{ds}$$

$\therefore$ (4・2) より

$$\frac{M}{EI} = \frac{d\theta}{ds} = \frac{\frac{dv}{dx}}{\frac{ds}{dx}} \quad (4.3)$$

$$\frac{dv}{dx} = \tan \theta$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{d\theta}{dx} \frac{d}{d\theta} \left(\frac{dv}{dx} \right) = \frac{d}{d\theta} (\tan \theta) \frac{d\theta}{dx} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \frac{d\theta}{dx} = \left(1 + \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 \right) \frac{d\theta}{dx}$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{\frac{d^2v}{dx^2}}{1 + \left(\frac{dv}{dx} \right)^2}$$

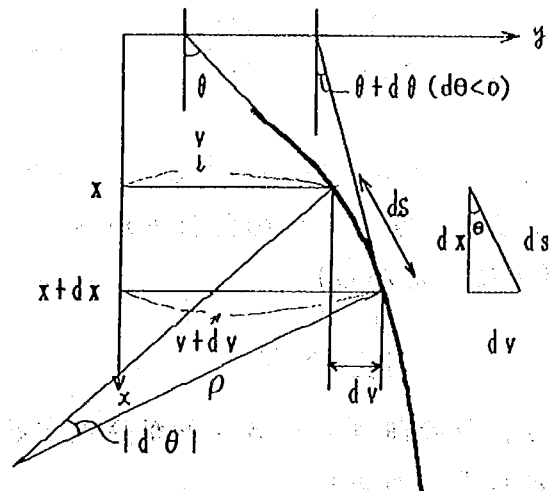


図 4-5 杭の変形座標

また $ds = \sqrt{dx^2 + dv^2}$ より

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dv}{dx}\right)^2}$$

$$\therefore (4 \cdot 3) \text{ より } \frac{M}{EI} = \frac{\frac{d^2v}{dx^2}}{\left(1 + \left(\frac{dv}{dx}\right)^2\right)^{3/2}}$$

ここでは微小変形を仮定しているので

$$\therefore \frac{dv}{dx} \ll 1 \quad \therefore \tan \theta \doteq \theta$$

$$\theta = \frac{dv}{dx} \quad (4 \cdot 4)$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2v}{dx^2} \quad (4 \cdot 5)$$

注) ここで式 (4・5) の符号をチェック
すると、図 4-5 のたわみから
(上に凸だから)

$$\frac{d^2v}{dx^2} < 0$$

今、負の曲げモーメントが発生する
としているから

$$M < 0$$

よってあっている。

b) つりあい条件式

$y(x)$: 変位量

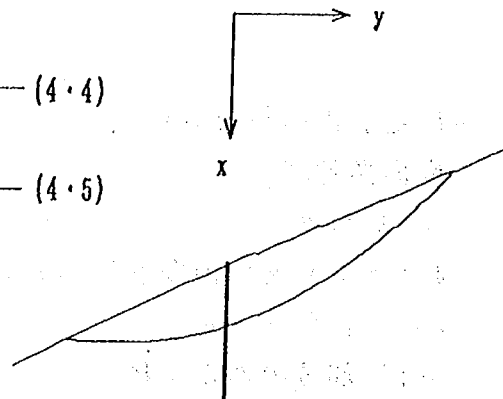
$q_R(x)$: 杭の上流側からかかる力

$q_L(x)$: 杭の下流側からかかる力

(地盤反力を含まず。)

$p(x, \Delta y)$: 地盤反力

Δy : 地盤の変位量



☆ x 軸は杭が最初に存在していた
位置にとる。

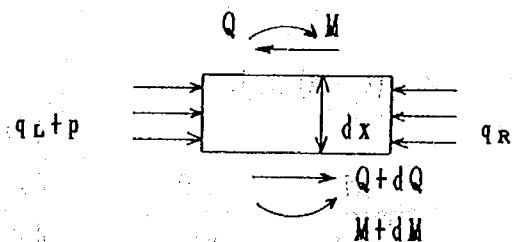


図 4-6 杭の微小要素図

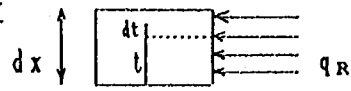
力のつりあいより、微小区間では q 等は一定とみなせるので

$$(Q + dQ) - Q + q_L \cdot dx + p \cdot dx - q_R \cdot dx = 0$$

$$\frac{dQ}{dx} = -p + q_R - q_L \quad (4.6)$$

モーメントのつりあいより (たとえば下辺中央点にかんするつりあいを考える。)

$$\text{モーメント} = \int_0^{dx} t \cdot q_R \cdot dt = q_R \frac{1}{2} (dx)^2$$



$$\therefore (M + dM) - M + Q dx + q_R \frac{1}{2} (dx)^2 - (q_L + p) \frac{1}{2} (dx)^2 = 0$$

両辺を dx で割って $dx \rightarrow 0$ とすると

$$\frac{dM}{dx} = -Q \quad (4.7)$$

v を y と変えると、(4.5)、(4.7) より

$$\frac{d}{dx} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -Q$$

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = p - q_R + q_L$$

以下では、 $EI = \text{一定}$ の場合だけを考えているので、基本式は以下のようになる。

$$\theta = \frac{dy}{dx} \quad (4.8)$$

$$M = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (4.9)$$

$$Q = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} \quad (4.10)$$

$$-p(x, y) + q_R - q_L = -EI \frac{d^4 y}{dx^4} \quad (4.11)$$

5 従来の曲げくさび杭の検討

以下に河川砂防技術基準(案)、設計編、p 69の記述を掲げる。

「2 曲げモーメント

最大曲げモーメントは次式によるものとする。

(1) 地すべり移動土塊の反力が期待できる場合

地すべり地によっては、すべり面以下が剛体と考えられるような岩盤からなるとは限らず、泥岩、粘板岩あるいはよく締め固まった土砂礫からなる場合もあり、すべり面がこの地層の中に発生する可能性が少なくても、杭に外力が作用した場合、地層に破壊が生じることはありうる。

こんな場合の杭の根入れ部の変形と応力は、根入れ部の土塊の地盤反力を考えに入れて求める必要がある。

横方向の荷重を受ける杭のたわみと応力の問題は、土と杭の応力と変形が弾性的な領域にある場合を対象として、問題を弾性方式によって解く手法が一般に用いられている。

この場合の杭の計算は、Changの式を応用して用いる。

すべり面の上下で無限長と考えられる杭での最大曲げモーメント及び最大曲げモーメントの発生する位置のすべり面からの距離はすべり面の上下でそれぞれ、

すべり面上部で

$$M_{1\max} = \frac{-S}{2} e^{-\alpha_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_1 \right\} \quad (5.1)$$

$$x_{1\max} = \frac{1}{\beta_1} \tan^{-1} \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

$$\left(\text{ただし, } \alpha_1 = \tan^{-1} \frac{\beta_2}{\beta_1} \right)$$

すべり面下部で

$$M_{2\max} = \frac{-S}{2} e^{-\alpha_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \alpha_2 + \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \alpha_2 \right\} \quad (5.2)$$

$$x_{2\max} = \frac{1}{\beta_2} \tan^{-1} \frac{\beta_1}{\beta_2}$$

$$\left(\text{ただし, } \alpha_2 = \tan^{-1} \frac{\beta_1}{\beta_2} \right)$$

ここで

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}} (m^{-1})$$

(ただし、すべり面の上下ではそれぞれ β_1 、 β_2 とする。)

D : 杭の直径 (m)

E : 鋼の弾性係数 (t/m^2)

I : 断面二次モーメント (m^4)

K : 横方向地盤係数 (t/m^3)

l : 杭長 (m)

l_1 : 杭長 (すべり面上部) (m)

l_2 : 杭長 (すべり面下部) (m)

S : 杭にかかるせん断力 ($= P \cos \theta$) (t)

x : すべり面からの距離 (m)

x_1 : すべり面からの距離 (すべり面上部) (m)

x_2 : すべり面からの距離 (すべり面下部) (m)

ここでは式 (5.1)、(5.2) の導出を行い、その過程で問題点を指摘・検討する。

基本式 (4.11) において、

$$\Delta y = |y| = -y$$

$$p(x, \Delta y) = -E_s y$$

$$q_R - q_L = 0$$

とする。この第二式が Chang の基準と呼ばれるもので、地盤反力はその点の変位に比例するという仮定である。

$$\therefore EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = 0 \quad (5.3)$$

以下 (5.3) の一般解を求める。

$$y = e^{mx} \quad \text{とおく}$$

$$\therefore \frac{d^4 y}{dx^4} = m^4 e^{mx}$$

特性方程式

$$m^4 + \frac{E_s}{EI} = 0 \quad (5.4)$$

$$\text{ここで } \beta = \sqrt{\frac{E_s}{4EI}}$$

(河川砂防技術基準 (案) の記号を使うと、 $E_s = KD$)

とおくと

$$m^4 + 4\beta^4 = 0 \quad (5.5)$$

因数分解して

$$m^4 + 4\beta^4 = (m - \sqrt{2i}\beta)(m + \sqrt{2i}\beta)(m - \sqrt{-2i}\beta)(m + \sqrt{-2i}\beta) = 0$$

また

$$(1+i)^2 = 2i, (1-i)^2 = -2i \quad i: \text{虚数単位}$$

よって (5.5) の解は

$$m_1 = -m_3 = \beta(1+i)$$

$$m_2 = -m_4 = \beta(1-i)$$

∴ (5.3) の一般解は

$$y = C_1 \cdot e^{m_1 x} + C_2 \cdot e^{m_2 x} + C_3 \cdot e^{m_3 x} + C_4 \cdot e^{m_4 x} \quad (5.6)$$

($C_1 \sim C_4$ は積分定数)

ここで

$$e^{m_1 x} = e^{\beta(1+i)x} = e^{\beta x} \cdot e^{i\beta x}$$

$$e^{m_2 x} = e^{\beta(1-i)x} = e^{\beta x} \cdot e^{-i\beta x}$$

$$e^{m_3 x} = e^{-\beta(1+i)x} = e^{-\beta x} \cdot e^{-i\beta x}$$

$$e^{m_4 x} = e^{-\beta(1-i)x} = e^{-\beta x} \cdot e^{i\beta x}$$

Eulerの関係式 $e^{\pm i\beta x} = \cos \beta x \pm i \sin \beta x$

より

$$\begin{aligned} y &= e^{\beta x} (C_1 \cdot e^{i\beta x} + C_2 \cdot e^{-i\beta x}) \\ &\quad + e^{-\beta x} (C_3 \cdot e^{-i\beta x} + C_4 \cdot e^{i\beta x}) \\ &= e^{\beta x} \{ (C_1 + C_2) \cos \beta x + (C_1 - C_2) i \sin \beta x \} \\ &\quad + e^{-\beta x} \{ (C_3 + C_4) \cos \beta x + (-C_3 + C_4) i \sin \beta x \} \end{aligned}$$

$$C_1 + C_2 = A \quad (C_1 - C_2) \cdot i = B \quad C_3 + C_4 = C \quad (-C_3 + C_4) \cdot i = D$$

とおくと、(5.4) は

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (5.7)$$

となる。

ここで

$$\sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}} \quad (5.8)$$

今、「上下で無限長」としているので

$$x \rightarrow \infty \text{ で } y = 0 \text{ より、 } A = B = 0$$

∴ (4.8) ~ (4.10) より

$$\begin{aligned} y &= e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \\ \theta &= \beta e^{-\beta x} \{ -C (\cos \beta x + \sin \beta x) + D (\cos \beta x - \sin \beta x) \} \end{aligned}$$

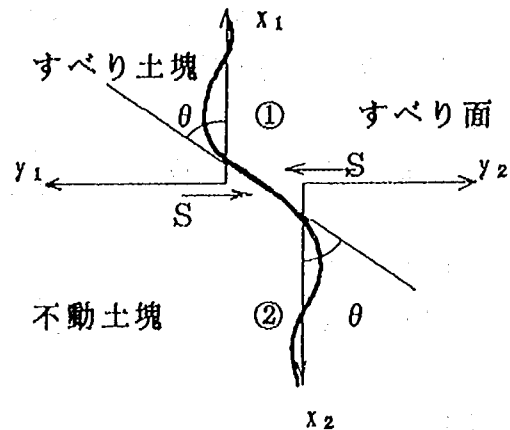
$$M/EI = 2\beta^2 e^{-\beta x} \{ C \sin \beta x - D \cos \beta x \}$$

$$Q/EI = 2\beta^3 e^{-\beta x} \{ -C (\cos \beta x - \sin \beta x) - D (\cos \beta x + \sin \beta x) \}$$

すべり面の上下2層を考えているので、すべり面上部の定数を C_1 、 D_1 、下部の定数を C_2 、 D_2 とおく。この4つの未定係数を決定するためには、4つの境界条件が必要となる。なおすべり土塊に添字1、不動土塊に添字2を使う。

ここで、福岡¹¹⁾、谷口ら¹²⁾を見ると、以下のような境界条件をたてているようである。(但し明確ではない。)座標は図5-1のようにとる。

- 1 $x = 0$ のとき $Q_1 = S$
- 2 $x = 0$ のとき $Q_2 = S$
- 3 $\theta_1(x=0) = \theta_2(x=0)$
- 4 $M_1(x=0) = -M_2(x=0)$



以下批判的にこの条件を見ていくと、まず1、2についてであるが、すべり面に集中荷重 S がかかる根拠はどこにもない。しかも実際に動いているのは、すべり面より上部だけであるにもかかわらず、すべり面に左右から S をかけている。これは、現状を全く反映していない。

図5-1 座標

さらに、 S は外力であるはずだが、 Q は内力としているので、一般に1、2の等号は成り立たない。また、座標を図5-1のようにとる場合、原点をどこにとるかという問題が生ずる。今は、上下方向に無限長の杭を考えているので、 X 軸をその位置にとっていると考えられるが、これは軸が動くことを意味する。この際、必然的に傾いた杭は解析上にのらない。

以上はこの境界条件を額面どおりにとった場合である。

おそらく、この境界条件は以下のような考えから発想されたと思われる。すべり土塊が杭をセン断的に変位させた場合、杭頭はそれほど傾かないと思われること。また、すべり面から上下方向を見ると、すべり土塊・移動土塊とともに相対的に動いていると見なされること。(これは、遠心分離器を使った模型実験等から発想される。) S の算定が式(1・1)を元になされていること。(そもそも P_R は、すべり面における杭の負担力と考えられている。)以上の考えから、杭頭に外力 S をかけた、半無限長の杭を2本まず考えて、それを図上対称的に回転させて、強引に1本にし、その際無理がでないように境界条件3、4を付け加える。つまり、まず1本の杭があって、それがどのように変位したかという発想ではないのであろう。

考えてみると、これは必要抑止力の従来の算定法を生かすとすれば、いたしかたないという面もある。また、導出される式も比較的簡単である。繰り

返すが、以下導出される式は、2層の無限長杭にしか適用できない。但し、横山¹³⁾によれば、杭長 $>\pi/\beta$ であれば有限長の杭を無限長として取り扱い可能となる。

なお条件4で右辺に負号をつけているが、現報告のように座標をとる(図4-1)場合、この「-」をいれないと、まったく別の式が導出されてしまうので、いれたものである。このような点にも、座標系のとり方のあいまいさが反映されているようにおもわれる。

以下式の導出を行う。

条件1より

$$2\beta_1^3(-C_1-D_1) = \frac{S}{EI} \quad \therefore C_1+D_1 = -\frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_1^3} \quad (5.9)$$

条件2より

$$2\beta_2^3(-C_2-D_2) = \frac{S}{EI} \quad \therefore C_2+D_2 = -\frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_2^3} \quad (5.10)$$

条件3より

$$\beta_1(-C_1+D_1) = \beta_2(-C_2+D_2)$$

条件4より

$$2\beta_1^2(-D_1) = -2\beta_2^2(-D_2)$$

ここで $\omega = \frac{\beta_2}{\beta_1}$ とおくと

$$\text{条件3は} \quad -C_1+D_1 = \omega(-C_2+D_2) \quad (5.11)$$

$$\text{条件4は} \quad D_1 = -\omega^2 D_2 \quad (5.12)$$

$\therefore$ (5.9)、(5.10)より、 C_1 、 C_2 を求め(5.11)に代入する。

$$\therefore 2D_1 + \frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_1^3} = \omega \left(2D_2 + \frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_2^3} \right)$$

(5.12)を代入して

$$-2\omega^2 D_2 - 2\omega D_2 = \frac{S}{2EI} \left(\frac{\omega}{\beta_2^3} - \frac{1}{\beta_1^3} \right)$$

$$-2D_2 \omega (\omega + 1) = \frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_2^3} (\omega - \omega^3)$$

$$= \frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_2^3} \omega (1 - \omega^2)$$

$$\therefore -2D_2 = \frac{S}{2EI} \cdot \frac{1}{\beta_2^3} (1 - \omega)$$

$$D_2 = -\frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_2^2} \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1} \right) = \frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_2^2} \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right)$$

$$D_1 = \frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_1^2} \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1} \right) = -\frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_1^2} \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right)$$

$$C_1 = -\frac{S}{2EI} \frac{1}{\beta_1^3} - \frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_1^2} \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1} \right)$$

$$= -\frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_1^2} \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right)$$

$$C_2 = -\frac{S}{2EI} \frac{1}{\beta_2^3} + \frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_2^2} \left(\frac{1}{\beta_2} - \frac{1}{\beta_1} \right)$$

$$= -\frac{S}{4EI} \frac{1}{\beta_2^2} \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right)$$

以上を元の式に代入して、以下の式を得る。

すべり面上部では

$$y_1 = -\frac{S}{4EI\beta_1^2} \cdot e^{-\beta_1 x_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_1 x_1 + \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_1 x_1 \right\} \quad (5 \cdot 13)$$

$$\theta_1 = \frac{S}{2EI\beta_1} \cdot e^{-\beta_1 x_1} \left(\frac{1}{\beta_2} \cos \beta_1 x_1 + \frac{1}{\beta_1} \sin \beta_1 x_1 \right) \quad (5 \cdot 14)$$

$$M_1 = \frac{S}{2} \cdot e^{-\beta_1 x_1} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_1 x_1 - \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_1 x_1 \right\} \quad (5 \cdot 15)$$

$$Q_1 = S \cdot \beta_1 e^{-\beta_1 x_1} \left(\frac{1}{\beta_1} \cos \beta_1 x_1 - \frac{1}{\beta_2} \sin \beta_1 x_1 \right) \quad (5 \cdot 16)$$

すべり面下部では

$$y_2 = \frac{-S}{4EI\beta_2^2} e^{-\beta_2 x_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_2 x_2 - \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_2 x_2 \right\} \quad (5 \cdot 17)$$

$$\theta_2 = \frac{S}{2EI\beta_2} \cdot e^{-\beta_2 x_2} \left\{ \frac{1}{\beta_1} \cos \beta_2 x_2 + \frac{1}{\beta_2} \sin \beta_2 x_2 \right\} \quad (5 \cdot 18)$$

$$M_2 = -\frac{S}{2} \cdot e^{-\beta_2 x_2} \left\{ \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \cos \beta_2 x_2 + \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} \right) \sin \beta_2 x_2 \right\} \quad (5 \cdot 19)$$

$$Q_2 = S \cdot \beta_2 e^{-\beta_2 x_2} \left(\frac{1}{\beta_2} \cos \beta_2 x_2 - \frac{1}{\beta_1} \sin \beta_2 x_2 \right) \quad (5 \cdot 20)$$

これは、中村²⁾の p 29 の式と若干、符合が異なる (M_1 と y_2)。式 (4・7) よりモーメントの極大値は $Q = 0$ のときであるから、すべり面より上部で式 (5・16) より

$$\tan \beta_1 x_1 = \beta_2 / \beta_1 \quad \therefore \alpha_1 = \beta_1 x_1 = \tan^{-1} (\beta_2 / \beta_1)$$

とおくと、式 (5・1) がでる。同様に式 (5・2) がでる。

[参考]

ここで参考のために、無限長の杭に、すべり面で集中荷重がかかるとした場合について考察しておく。図 5-2 から予測されるように地盤反力がきいているので、杭は図 5-3 のようにへこむだけであろう。これは、明らかに現実の抑止杭の挙動とは異なる。以下はあくまで文字通り解釈し導出したまでである。図 5-3 のように x 軸を固定する。(この場合これは可能である。)

(5・5) において

$$x_1 \rightarrow -\infty \text{ のとき } y_1 = 0 \quad \therefore C_1 = D_1 = 0$$

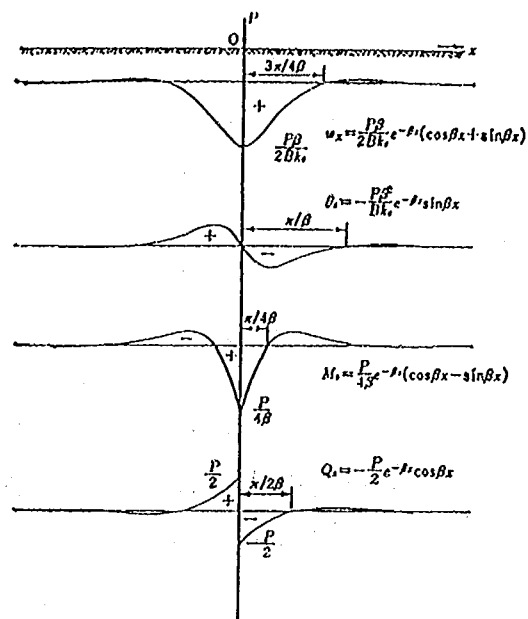
$$x_2 \rightarrow +\infty \text{ のとき } y_2 = 0 \quad \therefore A_2 = B_2 = 0$$

移動層

$$y_1 = e^{\beta_1 x} (A_1 \cos \beta_1 x + B_1 \sin \beta_1 x)$$

$$\beta_1 = \sqrt[4]{\frac{E_{s1}}{4EI}}$$

図 5-2 集中荷重による梁のたわみと断面力¹⁰⁾



不動層

$$y_2 = e^{-\beta_2 x} (C_2 \cos \beta_2 x + D_2 \sin \beta_2 x)$$

$$\beta_2 = \sqrt[4]{\frac{E_{s2}}{4EI}}$$

境界条件は非常に明瞭なものとなる。

① $x = 0$ のとき $y_1 = y_2$

② $x = 0$ のとき $\theta_1 = \theta_2$

③ $x = 0$ のとき $M_1 = M_2$

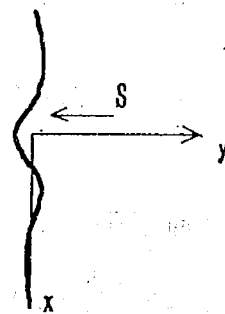


図 5-3 杭に集中荷重をかけた時のたわみ

$$\textcircled{4} \int_{-\infty}^{\infty} E_s y \, dx = \int_{-\infty}^0 E_{s1} y_1 \, dx + \int_0^{\infty} E_{s2} y_2 \, dx = -S$$

この第 4 式は外力 S と、杭に働く外力であるところの地盤反力が等しいという意味である。つまり、積分すると内力成分は打ち消しあう。

$$\textcircled{1}\text{より} \quad A_1 = C_2$$

$$\textcircled{2}\text{より} \quad \beta_1 (A_1 + B_1) = \beta_2 (-C_2 + D_2)$$

$$\textcircled{3}\text{より} \quad 2\beta_1^2 B_1 = 2\beta_2^2 (-D_2)$$

$$\textcircled{4}\text{より} \quad 2EI\beta_1^3 (A_1 - B_1) + 2EI\beta_2^3 (C_2 + D_2) = -S$$

ここで $\omega = \beta_2 / \beta_1$ とおくと、結果は以下のようなになる。(過程は煩雑なので省く。)

$$A_1 = -\frac{S}{2EI} \frac{1}{(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} \frac{1}{\beta_1^3}$$

$$B_1 = -\frac{S}{2EI} \frac{\omega}{(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} \frac{1}{\beta_1^3}$$

$$C_2 = -\frac{S}{2EI} \frac{1}{(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} \frac{1}{\beta_1^3}$$

$$D_2 = -\frac{S}{2EI} \frac{1}{\omega(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} \frac{1}{\beta_1^3}$$

∴ 移動層

$$y_1 = -\frac{S \cdot e^{\beta_1 x}}{2EI\beta_1^3(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} (\cos \beta_1 x - \omega \sin \beta_1 x)$$

∴ 不動層

$$y_2 = -\frac{S \cdot e^{-\beta_2 x}}{2EI\beta_1^3(1 + \omega + \omega^2 + \omega^3)} \left(\cos \beta_2 x + \frac{1}{\omega} \sin \beta_2 x \right)$$

6 有限長で分布荷重をかける場合の杭の解析式

(1) 伝達マトリックス法による解法

3で求めた推力とその作用点を使う場合の杭の解析式を以下導く。ここでは推力を三角形分布ないしは台形分布に展開してかけてやる必要がある。5の参考で述べたように集中荷重のままでは、満足すべき結果は得られない。以下はほぼ参考文献 10) によった。

図6-1のように座標をとる。

x 軸は初期の杭打設位置に固定される。

まず、すべり土塊について、(4.11)で

$$\text{分布荷重} \quad q(x) = q_R(x) - q_L(x)$$

$$\text{地盤反力} \quad p(x, \Delta y) = -E_s y$$

$$\therefore EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = -q(x) \quad (6.1)$$

不動土塊においては、分布荷重=0で

地盤反力だけを考慮すればよいので、

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s y = 0 \quad (5.3)$$

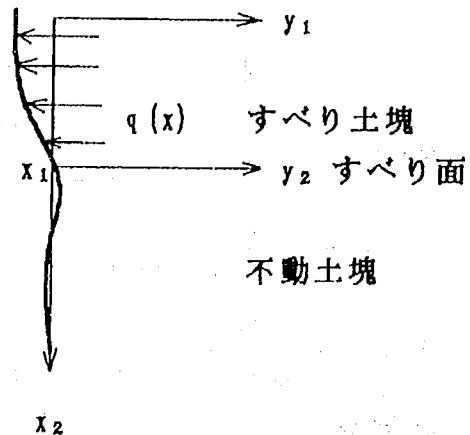


図6-1 座標系

(6.1)の一般解は、(5.3)の一般解と(6.1)の特殊解の和として表わされるので、まず(5.3)について考察する。(無限長の場合は、5でやってある。)

前に示したように(5.3)の一般解は

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad (5.7)$$

(4.8)、(4.9)、(4.10)より逐次微分して、 θ 、 M 、 Q を求める。

$$\theta = \beta \{ e^{\beta x} [A (\cos \beta x - \sin \beta x) + B (\cos \beta x + \sin \beta x)] + e^{-\beta x} [-C (\cos \beta x + \sin \beta x) + D (\cos \beta x - \sin \beta x)] \} \quad (6.2)$$

$$M = 2EI \beta^2 \{ e^{\beta x} (-A \sin \beta x + B \cos \beta x) + e^{-\beta x} (C \sin \beta x - D \cos \beta x) \} \quad (6.3)$$

$$Q = 2EI \beta^3 \{ e^{\beta x} [A (\cos \beta x + \sin \beta x) - B (\cos \beta x - \sin \beta x)] + e^{-\beta x} [-C (\cos \beta x - \sin \beta x) - D (\cos \beta x + \sin \beta x)] \} \quad (6.4)$$

以下初期条件法(伝達マトリックス法)を使って解く。

$x = x_0$ における状態量を、 y_0 、 θ_0 、 M_0 、 Q_0 とおく

(5.7)、(6.2)、(6.3)、(6.4) より

$$y_0 = A + C$$

$$\theta_0 = \beta (A + B - C + D)$$

$$M_0 = 2EI\beta^2 (B - D)$$

$$Q_0 = 2EI\beta^3 (A - B - C - D)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_0 \\ \theta_0/\beta \\ M_0/(2EI\beta^2) \\ Q_0/(2EI\beta^3) \end{pmatrix}$$

係数行列の逆行列を求めて

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/2 & 1/4 & 0 & 1/4 \\ 0 & 1/4 & 1/2 & -1/4 \\ 1/2 & -1/4 & 0 & -1/4 \\ 0 & 1/4 & -1/2 & -1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_0 \\ \theta_0/\beta \\ M_0/(2EI\beta^2) \\ Q_0/(2EI\beta^3) \end{pmatrix}$$

$$\therefore y = y_0 F_1(\beta x) + \frac{\theta_0}{\beta} F_2(\beta x) + \frac{M_0}{EI\beta^2} F_3(\beta x) - \frac{Q_0}{EI\beta^3} F_4(\beta x)$$

$$\text{ここで、} \cosh \beta x = (e^{\beta x} + e^{-\beta x})/2 \quad \sinh \beta x = (e^{\beta x} - e^{-\beta x})/2$$

$$F_1(\beta x) = \cosh \beta x \cdot \cos \beta x$$

$$F_2(\beta x) = (1/2) \cdot (\cosh \beta x \cdot \sin \beta x + \sinh \beta x \cdot \cos \beta x)$$

$$F_3(\beta x) = (1/2) \cdot \sinh \beta x \cdot \sin \beta x$$

$$F_4(\beta x) = (1/4) \cdot (\cosh \beta x \cdot \sin \beta x - \sinh \beta x \cdot \cos \beta x)$$

この関数 (クルイロフ関数) は以下の性質を持つ。

$$\frac{dF_1}{dx} = -4\beta F_4 \quad \frac{dF_2}{dx} = \beta F_1 \quad \frac{dF_3}{dx} = \beta F_2 \quad \frac{dF_4}{dx} = \beta F_3 \quad (6.5)$$

$$\theta = -4\beta y_0 F_4(\beta x) + \theta_0 F_1(\beta x) + \frac{M_0}{EI\beta} F_2(\beta x) - \frac{Q_0}{EI\beta^2} F_3(\beta x)$$

$$M = -4EI\beta^2 y_0 F_3(\beta x) - 4EI\beta \theta_0 F_4(\beta x) + M_0 F_1(\beta x) - \frac{Q_0}{\beta} F_2(\beta x)$$

$$Q = 4EI\beta^3 y_0 F_2(\beta x) + 4EI\beta^2 \theta_0 F_3(\beta x) + 4\beta M_0 F_4(\beta x) + Q_0 F_1(\beta x)$$

$$\begin{pmatrix} y \\ \theta \\ M \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1(\beta x) & F_2(\beta x)/\beta & F_3(\beta x)/EI\beta^2 & -F_4(\beta x)/EI\beta^3 \\ -4\beta F_4(\beta x) & F_1(\beta x) & F_2(\beta x)/EI\beta & -F_3(\beta x)/EI\beta^2 \\ -4EI\beta^2 F_3(\beta x) & -4EI\beta F_4(\beta x) & F_1(\beta x) & -F_2(\beta x)/\beta \\ 4EI\beta^3 F_2(\beta x) & 4EI\beta^2 F_3(\beta x) & 4\beta F_4(\beta x) & F_1(\beta x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_0 \\ \theta_0 \\ M_0 \\ Q_0 \end{pmatrix}$$

これをベクトル表示すると、

$$V(x) = F(\beta x) \cdot V(0) \quad (6.6)$$

ここで $F(\beta x)$ を伝達マトリックスと呼ぶ。

次に (6.1) の特解を求める。

ここで一般に

$$I(x) = \int_{b(x)}^{a(x)} f(\xi, x) d\xi$$

$$\frac{dI}{dx} = f(a, x) \frac{da}{dx} - f(b, x) \frac{db}{dx} + \int_b^a \frac{\partial f}{\partial x} d\xi$$

$$y = -\frac{1}{EI\beta^3} \int_0^x q(\xi) F_4[\beta(x-\xi)] d\xi \quad (*)$$

とおくと

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{EI\beta^3} \int_0^x q(\xi) \cdot \frac{d}{dx} F_4[\beta(x-\xi)] d\xi \quad (\because F_4(0) = 0)$$

$$= -\frac{1}{EI\beta^2} \int_0^x q(\xi) \cdot F_3[\beta(x-\xi)] d\xi$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{1}{EI\beta} \int_0^x q(\xi) \cdot F_2[\beta(x-\xi)] d\xi \quad (\because F_3(0) = 0)$$

$$\frac{d^3y}{dx^3} = -\frac{1}{EI} \int_0^x q(\xi) \cdot F_1[\beta(x-\xi)] d\xi \quad (\because F_2(0) = 0)$$

$$\frac{d^4y}{dx^4} = -\frac{1}{EI} \{q(x) \cdot F_1(0) + \int_0^x q(\xi) \cdot (-4\beta) \cdot F_4[\beta(x-\xi)] d\xi\}$$

$$\therefore EI \cdot \frac{d^4y}{dx^4} = -q(x) + 4EI \cdot \beta^4 \cdot y \quad (\because F_1(0) = 1)$$

$$\therefore EI \cdot \frac{d^4y}{dx^4} + E_s \cdot y = -q(x)$$

となり、(*) が (6.1) の特解であることがわかる。

∴ (6.1) の一般解は

$$y = y_0 F_1(\beta x) + \frac{\theta_0}{\beta} F_2(\beta x) + \frac{M_0}{EI \beta^2} F_3(\beta x) - \frac{Q_0}{EI \beta^3} F_4(\beta x) - \frac{1}{EI \beta^3} \int_0^x q(\xi) \cdot F_4[\beta(x-\xi)] \cdot d\xi$$

ここで以下のような荷重関数を導入する。

$$\left. \begin{aligned} Q(\beta x) &= \int_0^x q(\xi) \cdot F_1[\beta(x-\xi)] d\xi = \int_0^x q(x-\xi) \cdot F_1(\beta \xi) d\xi \\ R(\beta x) &= \frac{1}{\beta} \int_0^x q(\xi) \cdot F_2[\beta(x-\xi)] d\xi = \frac{1}{\beta} \int_0^x q(x-\xi) F_2(\beta \xi) d\xi \\ S(\beta x) &= \frac{1}{\beta^2} \int_0^x q(\xi) \cdot F_3[\beta(x-\xi)] d\xi = \frac{1}{\beta^2} \int_0^x q(x-\xi) \cdot F_3(\beta \xi) d\xi \\ T(\beta x) &= \frac{1}{\beta^3} \int_0^x q(\xi) \cdot F_4[\beta(x-\xi)] d\xi = \frac{1}{\beta^3} \int_0^x q(x-\xi) \cdot F_4(\beta \xi) d\xi \end{aligned} \right\} (6.7)$$

$$\frac{dT}{dx} = S \quad \frac{dS}{dx} = R \quad \frac{dR}{dx} = Q$$

$$\therefore y = y_0 \cdot F_1(\beta x) + \frac{\theta_0}{\beta} \cdot F_2(\beta x) + \frac{M_0}{EI \beta^2} \cdot F_3(\beta x) - \frac{Q_0}{EI \beta^3} \cdot F_4(\beta x) - \frac{T(\beta x)}{EI}$$

$$\theta = -4\beta y_0 \cdot F_4(\beta x) + \theta_0 \cdot F_1(\beta x) + \frac{M_0}{EI \beta} \cdot F_2(\beta x) - \frac{Q_0}{EI \beta^2} \cdot F_3(\beta x) - \frac{S(\beta x)}{EI}$$

$$M = -4EI\beta^2 y_0 \cdot F_3(\beta x) - 4EI\beta \cdot \theta_0 \cdot F_4(\beta x) + M_0 \cdot F_1(\beta x) - \frac{Q_0}{\beta} \cdot F_2(\beta x) - R(\beta x)$$

$$Q = 4EI\beta^3 y_0 \cdot F_2(\beta x) + 4EI\beta^2 \cdot \theta_0 \cdot F_3(\beta x) + 4\beta M_0 \cdot F_4(\beta x) + Q_0 \cdot F_1(\beta x) + Q(\beta x)$$

$$Q(\beta x) = \begin{pmatrix} -T(\beta x)/(EI) \\ -S(\beta x)/(EI) \\ -R(\beta x) \\ Q(\beta x) \end{pmatrix}$$

とおくと、前の記号を使って

$$V(x) = F(\beta x) \cdot V(0) + Q(\beta x) \quad (6.8)$$

式(6.8)をすべり土塊中の杭に、式(6.6)を不動土塊中の杭に適用すればよい。

実際のプログラムを組む際においては、なるべく一般性を高めるために、図のような多層地盤系の場合を考える。これは結局

$$\sqrt[4]{\frac{E_s}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}}$$

より、 β の値の違いにより、層をわけるということを意味する。

式(6.7)を

$$V_1 = F_1 V_0 + Q_1$$

と表記すると、第2層は

$$\begin{aligned} V_2 &= F_2 V_1 + Q_2 = F_2 (F_1 V_0 + Q_1) + Q_2 \\ &= F_2 F_1 V_0 + F_2 Q_1 + Q_2 \end{aligned}$$

∴ 一般に第 n 層は

$$\begin{aligned} V_n &= F_n F_{n-1} \cdots F_1 V_0 \\ &\quad + F_n (F_{n-1} \cdots (F_3 (F_2 Q_1 + Q_2) + Q_3) \cdots Q_{n-1}) + Q_n \end{aligned}$$

ここで

$$A = F_n F_{n-1} \cdots F_2 F_1$$

$$B = F_n (F_{n-1} \cdots (F_3 (F_2 Q_1 + Q_2) + Q_3) \cdots Q_{n-1}) + Q_n$$

とおくと

$$V_n = A V_0 + B \quad (6.9)$$

となる。 A は4次の行列、 B は4次のベクトルである。

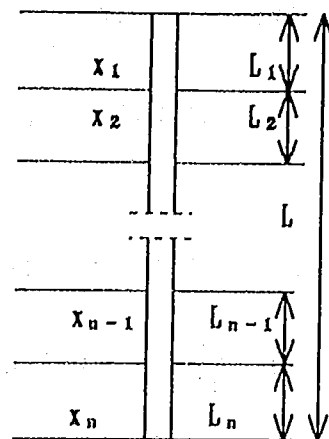


図 6-2

多層系地盤の杭

注) ここでの層の分け方は、 β による違いであるから、層は杭の剛性(EI)の違いによっても、わけなければならない。この時は地層の変形係数(E_s)の値は同じである。

(2) 荷重関数について

ここでは、式(6.7)を使って、 $q(x)$ を最も基本的な部分等変分布荷重とした場合の荷重関数を具体的に求める。一般的に考えて、分布荷重が図6-3のようにかかっているとする。

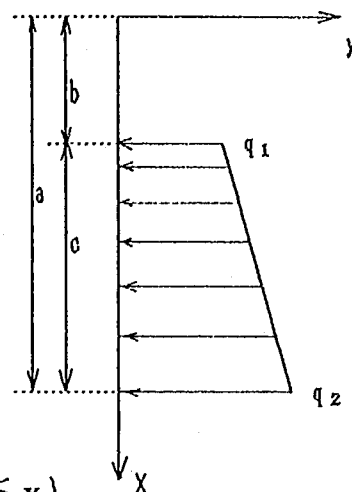


図6-3 杭にかかる部分等変分布荷重

a) $0 \leq x < b$ のとき

$$q(x) = 0$$

であるから、

$$\therefore Q(\beta x) = R(\beta x) = S(\beta x) = T(\beta x) = 0$$

b) $b \leq x \leq a$ のとき

$$q(\xi) = 0 \quad (0 \leq \xi < b)$$

$$q(\xi) = q_1 + \frac{\xi - b}{a - b} \cdot (q_2 - q_1) \quad (b \leq \xi \leq x)$$

$$\begin{aligned} \therefore Q(\beta x) &= \int_0^x q(\xi) \cdot F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi \\ &= \int_0^b q(\xi) \cdot F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi + \int_b^x q(\xi) \cdot F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi \\ &= \int_b^x \left\{ q_1 + \frac{\xi - b}{a - b} \cdot (q_2 - q_1) \right\} \cdot F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi \\ &= \left\{ q_1 - \frac{b}{a - b} \cdot (q_2 - q_1) \right\} \cdot \int_b^x F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi \\ &\quad + \frac{q_2 - q_1}{a - b} \int_b^x (\xi - b) \cdot F_1[\beta(x - \xi)] \cdot d\xi \end{aligned}$$

ここで $x - \xi = t$ とおくと

$$-d\xi = dt$$

$$\xi = x - t$$

ξ	b	x
t	$x - b$	0

クルイロフ関数の定義(式6.5)より

$$F_1 dx = F_2 / \beta \quad \text{等}$$

$$F_1(0) = 1$$

$$F_2(0) = 0$$

$$F_3(0) = 0$$

$$F_4(0) = 0$$

∴ 第一項

$$\begin{aligned}
 &= \left(q_1 - \frac{b}{a-b} \cdot (q_2 - q_1) \right) \cdot \left(- \int_{x-b}^0 F_1(\beta t) \cdot dt \right) \\
 &= \left(q_1 - \frac{b}{a-b} \cdot (q_2 - q_1) \right) \cdot \int_0^{x-b} F_1(\beta t) \cdot dt \\
 &= \left(q_1 - \frac{b}{a-b} \cdot (q_2 - q_1) \right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot F_2(\beta t) \Big|_0^{x-b} \\
 &= \left(q_1 - \frac{b}{a-b} \cdot (q_2 - q_1) \right) \cdot \frac{1}{\beta} \cdot F_2(\beta(x-b))
 \end{aligned}$$

∴ 第二項

$$\begin{aligned}
 &= \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \left(- \int_{x-b}^0 (x-t) \cdot F_1(\beta t) \cdot dt \right) \\
 &= \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \left(x \int_0^{x-b} F_1(\beta t) \cdot dt - \int_0^{x-b} t \cdot F_1(\beta t) \cdot dt \right) \\
 &= \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \left(\frac{x}{\beta} \cdot F_2(\beta(x-b)) - t \cdot \frac{1}{\beta} \cdot F_2(\beta t) \Big|_0^{x-b} + \frac{1}{\beta} \int_0^{x-b} F_2(\beta t) \cdot dt \right) \\
 &= \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \frac{x - (x-b)}{\beta} \cdot F_2(\beta(x-b)) + \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \frac{1}{\beta^2} \cdot F_3(\beta t) \Big|_0^{x-b} \\
 &= \frac{(q_2 - q_1)b}{(a-b)\beta} \cdot F_2(\beta(x-b)) + \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \frac{1}{\beta^2} \cdot F_3(\beta(x-b))
 \end{aligned}$$

ここで $u = x - b$ とおくと

$$\therefore Q(\beta x) = \frac{q_1}{\beta} \cdot F_2(\beta u) + \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot \frac{1}{\beta^2} \cdot F_3(\beta u)$$

以下同様にして

$$\begin{aligned}
 R(\beta x) &= \frac{q_1}{\beta^2} \cdot F_3(\beta u) + \frac{F_4(\beta u)}{\beta^3} \cdot \frac{q_2 - q_1}{a-b} \\
 S(\beta x) &= \frac{q_1}{\beta^3} \cdot F_4(\beta u) - \frac{F_1(\beta u) - 1}{4\beta^4} \cdot \frac{q_2 - q_1}{a-b} \\
 T(\beta x) &= -\frac{q_1}{4\beta^4} \cdot F_1(\beta u) + \frac{1}{4\beta^4} \cdot \left(q_1 + \frac{q_2 - q_1}{a-b} u \right) - \frac{1}{4\beta^6} \cdot \frac{q_2 - q_1}{a-b} \cdot F_2(\beta u)
 \end{aligned}$$

o) $a < x$ のとき

結果のみを示す。

$$u = x - b$$

$$v = x - a$$

$$c = a - b = u - v$$

とおくと

$$Q(\beta x) = \frac{q_1}{\beta} \left[F_2(\beta u) - \frac{F_3(\beta u) - F_3(\beta v)}{\beta c} \right] - \frac{q_2}{\beta} \left[F_2(\beta v) - \frac{F_3(\beta u) - F_3(\beta v)}{\beta c} \right]$$

$$R(\beta x) = \frac{q_1}{\beta^2} \left[F_3(\beta u) - \frac{F_4(\beta u) - F_4(\beta v)}{\beta c} \right] - \frac{q_2}{\beta^2} \left[F_3(\beta v) - \frac{F_4(\beta u) - F_4(\beta v)}{\beta c} \right]$$

$$S(\beta x) = \frac{q_1}{\beta^3} \left[F_4(\beta u) + \frac{F_1(\beta u) - F_1(\beta v)}{4\beta c} \right] - \frac{q_2}{\beta^3} \left[F_4(\beta v) + \frac{F_1(\beta u) - F_1(\beta v)}{4\beta c} \right]$$

$$T(\beta x) = \frac{q_1}{4\beta^4} \left[F_1(\beta u) + \frac{F_2(\beta u) - F_2(\beta v)}{\beta c} \right] - \frac{q_2}{4\beta^4} \left[F_1(\beta v) + \frac{F_2(\beta u) - F_2(\beta v)}{\beta c} \right]$$

※注 なお、b) の式は、c) の式において

$$v = 0$$

$$c = u = x - b$$

とおいて、

$$q_x = q_1 + \frac{q_2 - q_1}{a - b} u$$

の q_x を a) の式の q_2 のところへ代入すれば求められる。

7 解析プログラム

前章で求めた一般式をもとにして、有限長の杭に荷重関数をかけた場合のプログラムソフトを作成した。なおこのプログラムは参考文献 14) (中村・土屋・永田) に掲げられているプログラムをもとにして、作成した。使用している式の形がほとんど同じためであるが、考え方はかなり違うので、以下に其の点について記す。

参考文献 14) においては、移動層の水平方向の変位をある程度既知としてから、モーメント、せん断力等を計算している。また、かける荷重は従来の谷口・福岡等の考え方を踏襲しており、すべり面に簡便法でもとめた必要抑止力を集中荷重としてかけている(ようである)。

本プログラムにおいては、杭前面と背面にかかる荷重の差を既知として、それを分布荷重に展開して、杭の変位、たわみ角、内力モーメント、せん断力をもとめている。この際、杭と土塊の接触は完全であり、杭の全長にわたって、作用反作用の法則が成り立つとしている。これは、杭がせん断破壊を起こす前の十分に小さな変位の範囲内では、かなりの正当性をもつと考えられるが、参考文献 14) では、杭の変位と地盤の変位が等しくはないとしているので、この点が、本プログラムとおおいに考えの異なる点である。

また本プログラムでは、必要抑止力の考え方からして、土塊が移動したあと、杭の抑止作用により、すべりが止まって、平衡状態が回復したときの杭にかかる負担力を解析しており、この点も前記論文とは基本的考えの異なる点と思われる。

本プログラムで、すべり土塊の荷重を分布荷重に展開しているのは、以上で述べたように、杭と地盤が接触している以上、その間には力のやりとりがあるという、基本的原理に則っているのである。なおこの点については、最後の結論でもう一度触れることにする。

以下プログラムの具体的な中身について若干記す。

(1) プログラムの流れ

1) 簡便法ないしは Morgenstern-Price 法等で求めた必要抑止力と力の作用位置から、部分等変分布荷重と仮定して、それを分布荷重に展開して、荷重関数を求める。

2) ここでは境界条件を始端・末端ともに '自由 (Free)' に設定する。つまり

$$M = 0$$

$$Q = 0$$

である。この、'Free'の境界条件から、未知数は、 y_0 、 θ_0 の二つであり、式(6・8)より末端における、 M_n 、 Q_n は y_0 、 θ_0 の一次式となるから、末端の境界条件 $M_n=0$ 、 $Q_n=0$ から、この二つの未知数が決定できる。

h) このようにして求めた V_0 から、一般に第 i 層の座標 x における

$$V(x) = \begin{pmatrix} y(x) \\ \theta(x) \\ M(x) \\ Q(x) \end{pmatrix}$$

を求める。

(2) 入・出力フォーマット、プログラムリスト、計算例 (付録 6)

付録 6 に入・出力フォーマット、プログラムリスト、計算例を掲げる。

OS は MS-DOS であり、以下の入・出力データは MS-DOS 上のテキスト・ファイルである。

なお、層の数が移動層と不動層の 2 層だけで、杭の剛性が一定の場合 (i. e. EI が変化しない場合) には、5 で求めた式 (5・13) ~ (5・20) を使って、福岡の考えに従って、杭の長さを無限長近似した時の値を求めてやって、現報告の計算による値と比較した。

8 最後に

筆者に最初に与えられた課題は、地すべり抑止杭の打設箇所の最適位置の理論的根拠付けと、杭間隔のこれまた理論的な導出であった。結局このどちらの課題にも明瞭な解答は得られなかった。その過程で、Morgenstern-Price法 によって必要抑止力という概念を導出した。これと従来の簡便法による必要抑止力との根本的な違いは、簡便法によるものが、すべり面（スライス底面）におけるせん断抵抗力の増加に対応すると考えられるのに対して、Morgenstern-Price法による抑止力が、スライス側面における杭と土塊の力の関係から導き出されている点である。

この二つの異なった導出法による抑止力がほぼ同程度の大きさであるというのが、本報告のひとつの結論である。これはもちろんスライスを剛体としてとらえていることからくるものと思われるが、この結果は、従来の必要抑止力というものが、本報告書でも述べたように、その理論的側面において、非常に問題のあるものでありながらも、大きさとしては、まずは常識的な線に収まっていることを示すものと思われる。

ただ、問題なのは、この抑止力が十分に安全側であるとみなされていたのに対して、断面形状によっては、Morgenstern-Price法 による必要抑止力のほうが大きな値を与える場合があることが、本報告で示された点である。つまり簡便法による安全率が、Morgenstern-Price による安全率よりも高めにくる場合には（つまり危険側にくる場合）、上記のようなことがありうるのである。

さて、以上の点はすべて、たとえば「河川砂防技術基準（案）」などに沿った従来の解析法を踏襲したものであり、本質的にはなんら目新しいものはないといえるのである。これは極限平衡法によって求めた必要抑止力というものを、いわゆる地すべり推力として捉えている点にあるといえる。

素朴な常識から言えば、地すべり抑止力とは本来、実際に働いてる地すべり土塊が、例えば杭などに作用する力のことである。この力を、杭はある程度変位しつつ吸収し、結局は地すべりが停止するというのが抑止効果というものである。これが杭が、待ち受け工の性格をもつ所以である。

ところが極限平衡法による解析では、この点がまったく考慮されていない。極限平衡法とは、本質的に土塊が動いていない状態を前提としており、上記との関連でいけば、地すべりが止まった後の状態を記述する解析法である。この意味で求められた必要抑止力とは、長期安定問題に対応する物理量であるということはいえるかもしれない。しかし、この方法では、たとえば杭が担うべき地すべり土塊の運動エネルギーや運動量ないし作用力つまり推力などの算定は不可能であり、この値こそ我々が知りたいものなのである。

以上のことを提案すると、今後の研究課題として、正確な必要抑止力の算定のためには、位下のような諸点が考えられよう。

- ① 結局のところ地すべり推力とは、位置エネルギーが運動エネルギーに変換することにより生じるわけであるから、理想的にはエネルギー論から運動方程式をたてるのが望ましい。ただ、このやり方においては、方程式をうまくは、たてられない可能性は残る。
- ② このためには、まず Mohr-Coulomb 破壊基準に変わる基準の導入、つまり $c - \phi$ に代わるパラメーターの導入が必要となる。つまり、 $c - \phi$ と対比するならば、斜面上の物体の静止摩擦係数に対応するものであるから、その代わりに動摩擦係数に対応するパラメーターが必要となるのである。
- ③ また、実際はすべり面に沿う破壊が全体にわたって同時におこるわけではないので、土塊の運動がその破壊の位置によって、かわってくる可能性がある。この点に対するある程度の考慮は必要になってくるであろう。さらに、厳密性を追求すると、土塊を剛体と捉えるのも適当でなくなる。これは、計算上、杭から土塊に作用する力がそのままは伝わらず、吸収されてしまうということである。このためには、従来の一般分割法に代わって、なんらかのモデルで力の伝わり方を記述する必要があるだろう。
- ④ この点に関して、杭の変位に時間項を導入することにより地すべりエネルギーが杭の変位による内部エネルギーに変換する状態を記述する。これにより、杭の変位が弾性限界内であるかどうかをチェックする。また、杭が地盤に及ぼす破壊状況を検討する。これは、杭の周りの応力状態の研究を含むであろう。つまり、数値解析の必要もでてくる。
- ⑤ さらに、二次元解析だけでなく、三次元解析をほどこすことにより、地すべり運動の全体的な運動エネルギーを把握するのが望ましくなる。このエネルギーの算定から、杭間隔の理論的根拠が得られるであろう。

以上、思いつくままに、今後の研究方針をいろいろ述べたが、実務上こういった厳密な理論的解析が必要となるのは、シャフト杭などを施工する場合であろう。シャフト杭を必要とするような大規模な抑止効果が期待される場合には、抑止力の謝った算定は致命的な結果を興す可能性があるからである。鋼管杭の場合、實際上このような厳密な解析は必要ないであろう。

なお、現報告における 4 以降の解析は、以上のようにした厳密に理論整合的に求められた地すべり推力に対して、始めて使用可能なものとなる種類のものである。

最後に、本報告を作成するにあたって、砂防部地すべり研究室の同僚の方々には、多々有益なアドバイスを頂いた。ここに深く謝意を表するものである。また、砂防部急傾斜地研究室の元部外研究員、新田邦弘氏には、諸断面の座標データの使用を快諾していただいた。ここに誌して、謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 建設省河川砂防技術基準(案)、設計編、山海堂
- 2) 中村浩之(1987): 抑止工による地すべり安定化に関する基礎的・応用的研究、建設省土木研究所資料 第2449号
- 3) 山上・山川(1989): Morgenstern-Price法に基づく地すべり抑止杭の打設位置と抑止力の簡便評価法、第25回土質工学会発表講演集 pp1617~1618
- 4) 伊藤富雄・松井 保(1973): 地すべり抑止ぐいに作用する外力の算定について、第8回土質工学会発表講演集 pp543~pp546
- 5) Morgenstern, N. R. and Price, V. E. (1965): The analysis of stability of genral slip surface, Geotechnique, Vol. 15, No1, pp. 79~93
- 6) 中村浩之(1979): Morgenstern and Price 法による地すべり斜面安定解析法、建設省土木研究所資料 第1510号
- 7) Morgenstern, N. R. and Price, V. E. (1967): A numerical method for solving the equation of stability of general slip surfaces The Computer Journal, Great Britain, vol9, No4, pp388~393
- 8) Bishop, A. W. and Morgenstern, N. (1960): Stability coefficients for earth slopes, Geotechnique, Vol10, No4, pp129~150
- 9) Spencer, E. (1973): Thrust line criterion in embankment stability analysis, Geotechnique, Vol. 9, No1, pp85~100
- 10) 横山幸満: 荷重関数法による梁の力学、山海堂
- 11) 福岡正巳(1972): 地すべりと土質力学、「地すべりと対策に関する研究討論会概要」、地すべり学会、全国地すべりがけ崩れ対策協議会、pp51~55
- 12) 山口・谷口・湊元(1973): 地すべり対策における杭打工法、「地すべり調査と対策講座」、全国地すべりがけ崩れ対策協議会
- 13) 横山幸満: くい構造物の計算法と計算例、山海堂
- 14) 中村浩之・土屋智・永田健太郎(1988): 地すべり抑止杭の解析、建設省土木研究所資料 第2642号
- 15) 中村浩之・新田邦弘(1989): 極限平衡法による地すべり斜面安定計算式の比較と応用、建設省土木研究所資料 第2805号
- 16) 地すべり鋼管杭設計施工要領検討委員会(1990): 地すべり鋼管杭設計要領、地すべり対策技術協会
- 17) 渡正亮・小橋澄治(1987): 地すべり・斜面崩壊の予知と対策 山海堂
- 18) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課・建設省土木研究所(1990): 第44回建設省技術研究会、地すべり面の土質定数の決定手法に関する研究

巻末付録

1	サンプル断面（〔3〕）の計算例	65
2	各断面で収束した場合の $c-\phi$ の一覧表	82
3	考え方1と考え方2の計算例	89
4	考え方4の計算例	106
5	考え方1の計算法による、 c 、 ϕ 違いによる変化	110
6	伝達マトリックス法による杭の解析 ——プログラムリスト及び計算例	
(1)	プログラムリスト	117
(2)	計算例	133
(3)	計算結果	134

1 サンプル断面（〔3〕）計算例

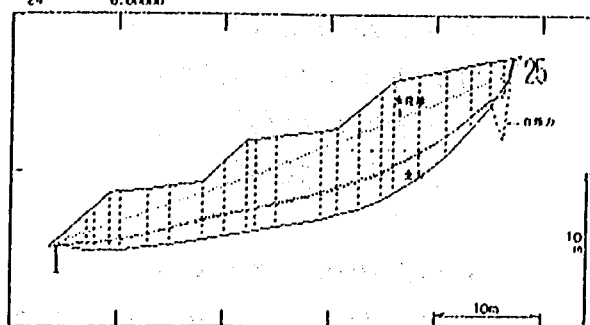
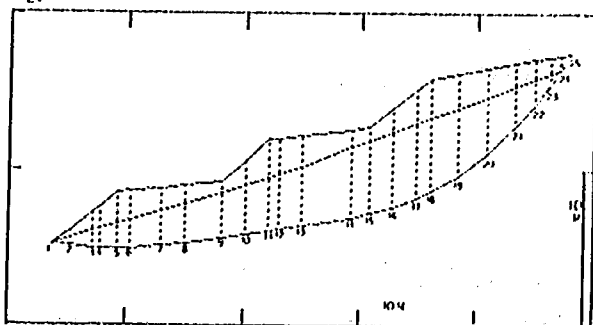
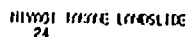
付図1-1から付図1-21までサンプル断面による計算例を掲げる。

$$c = 0.5 \text{ tf/m}^2$$

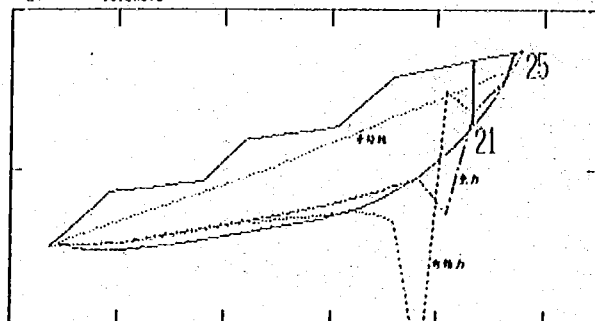
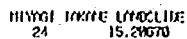
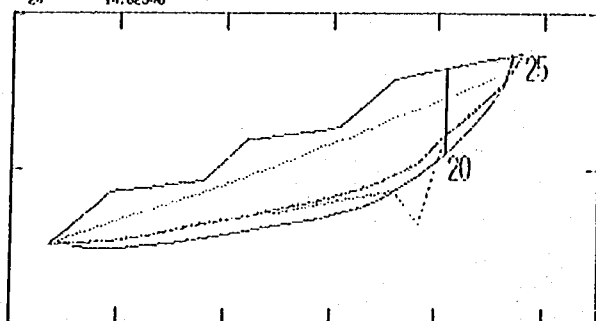
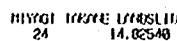
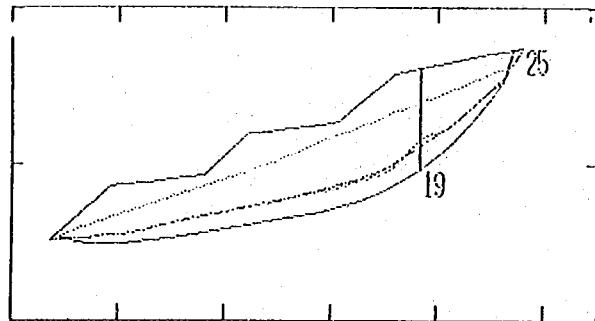
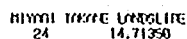
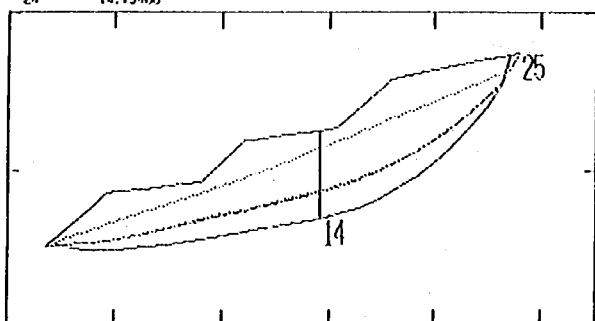
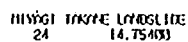
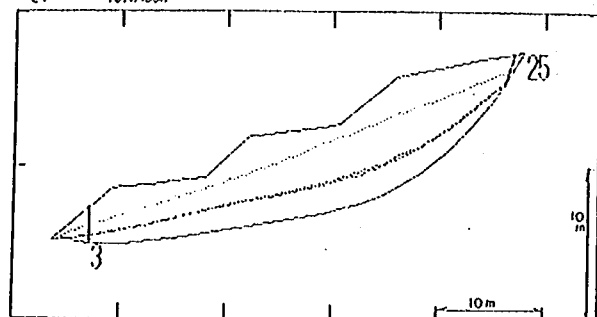
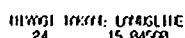
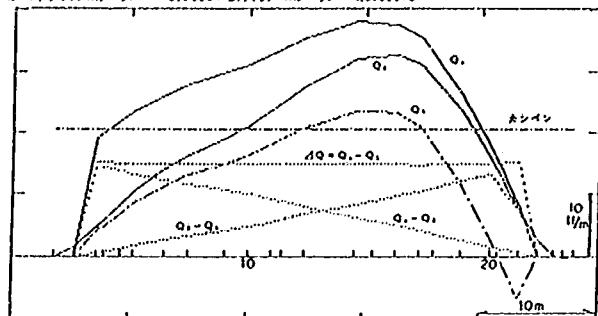
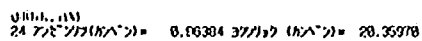
$$\phi = 16.46828^\circ$$

である。

おのおのの図において、最初の図は抑止力図であり、他は何点かの杭の打設位置における、力の作用位置を結んだ推力線図である。考え方1の場合（付図1-2～1-4）は、全力の他に有効力の推力線も描いてある。なおこの有効力線の図は、プログラムミスがあるので、完全ではない。

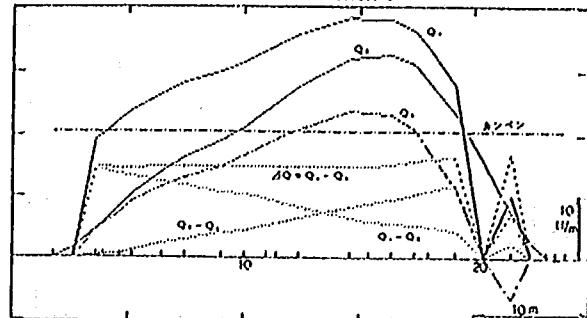


付図 1 - 1 サンプル断面図 ([3]) と初期推力線

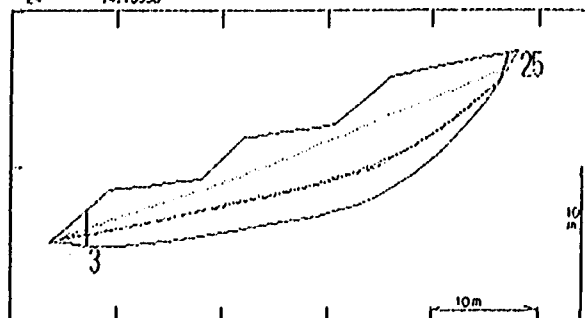


付図 1-2 考え方 1 (作用位置=初期推力線)

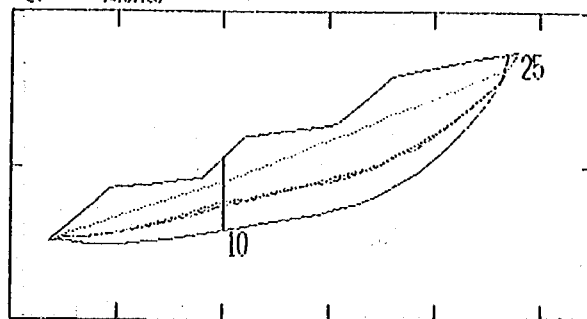
0401X.VB3
24778°/17(h/h°)= 0.95384377/17 (h/h°)= 20.35978



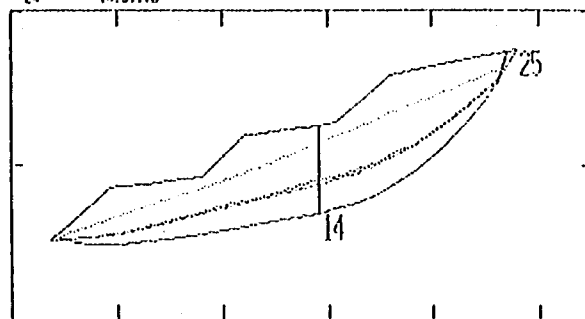
HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT13.VB3
24 14.79220



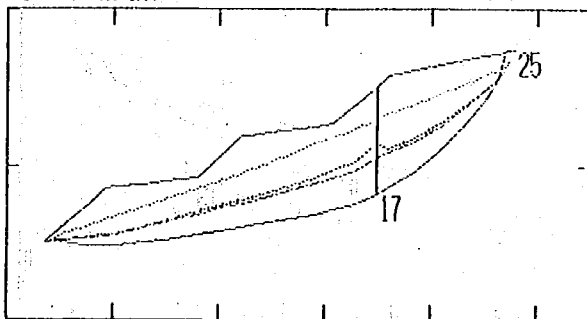
HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT10.VB3
24 14.91100



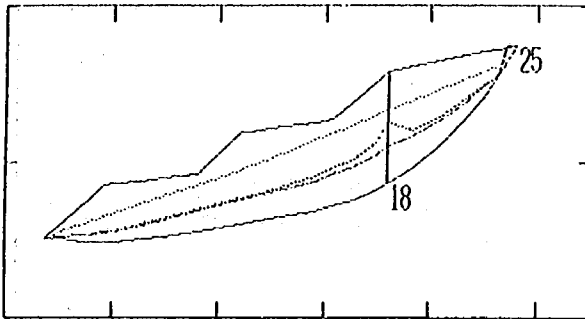
HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT14.VB3
24 14.91170



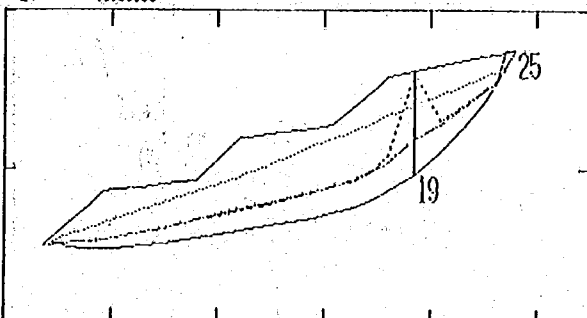
HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT17.VB3
24 15.72300



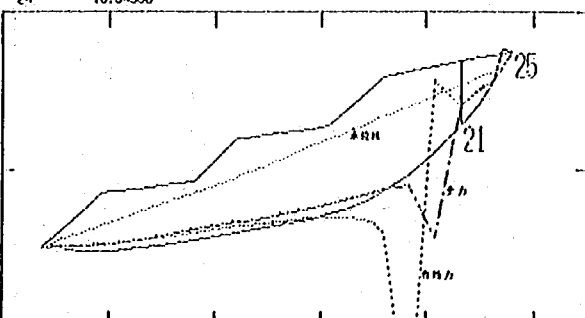
HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT18.VB3
24 16.13350



HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT19.VB3
24 16.36850

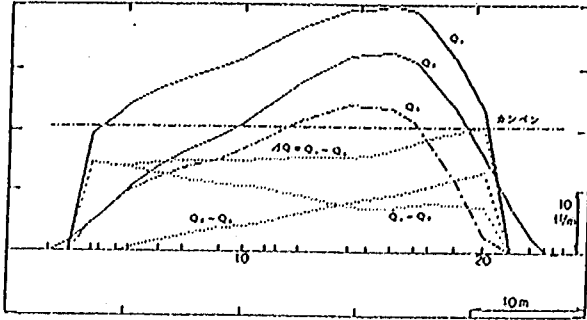


HIYOGI TAKKE LANDSLIDE DAT21.VB3
24 16.94300

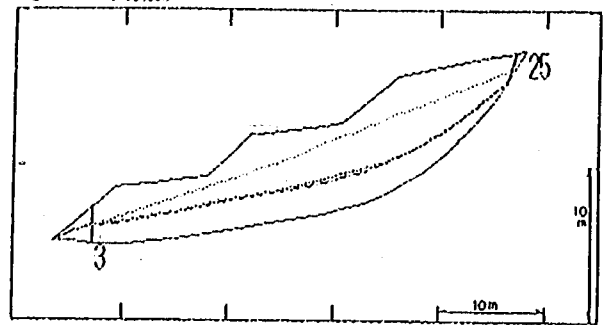


付図 1 - 3 考え方 1 (作用位置 = 1 / 3)

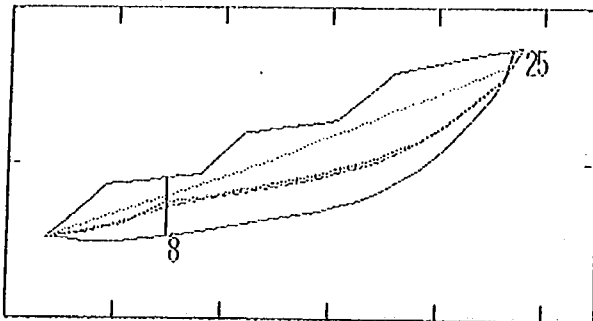
040702
24721777 (h/h₀) = 0.00384377 / 1.7 (h/h₀) = 20.35970



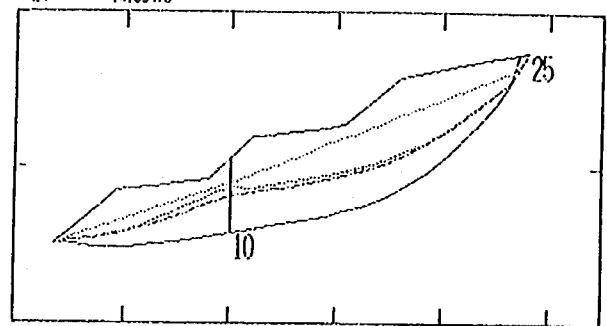
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040703.V02
24 14.50850



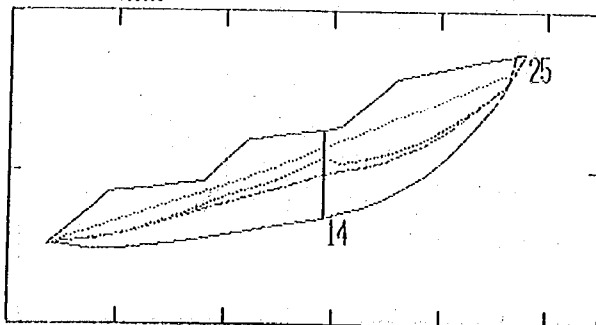
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040708.V02
24 14.74403



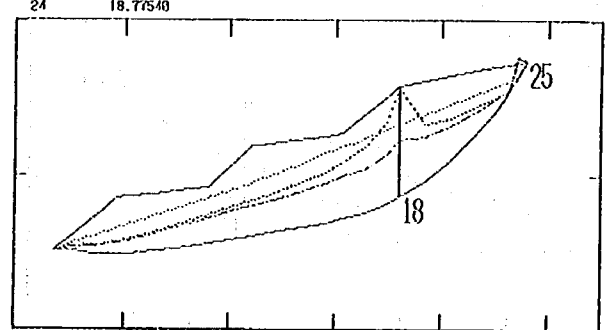
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040710.V02
24 14.89470



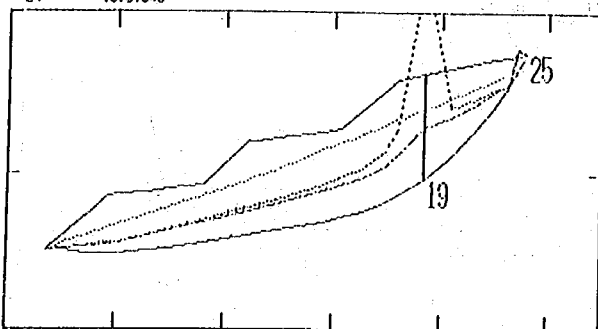
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040714.V02
24 15.59030



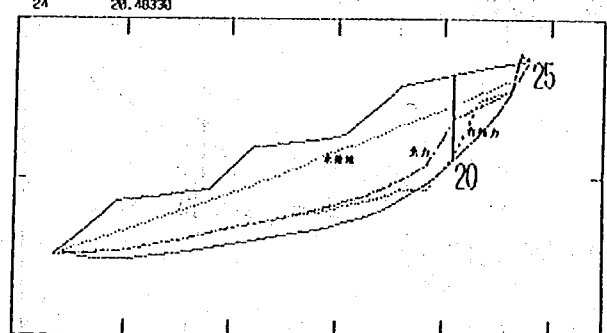
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040718.V02
24 18.77540



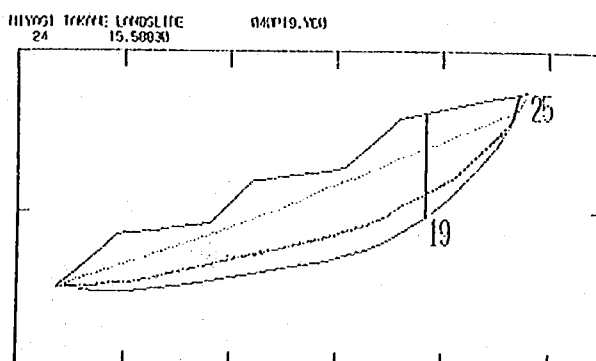
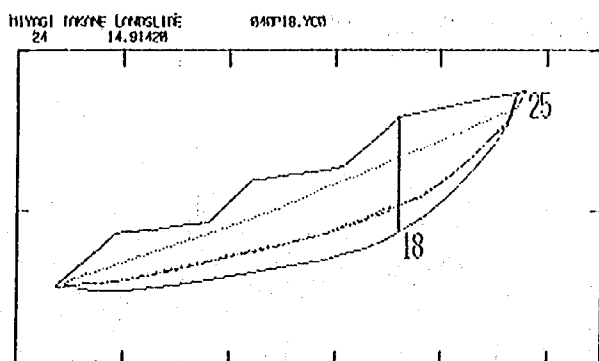
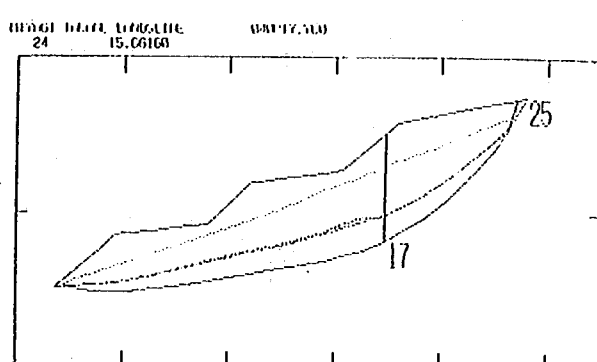
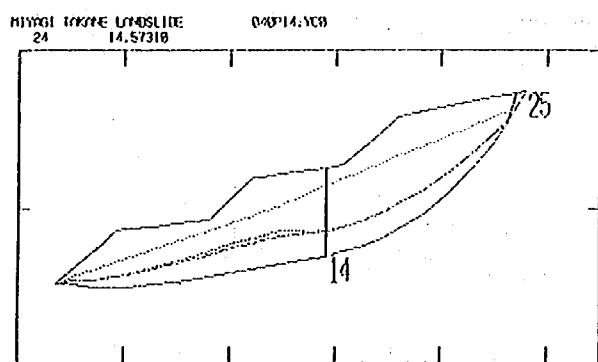
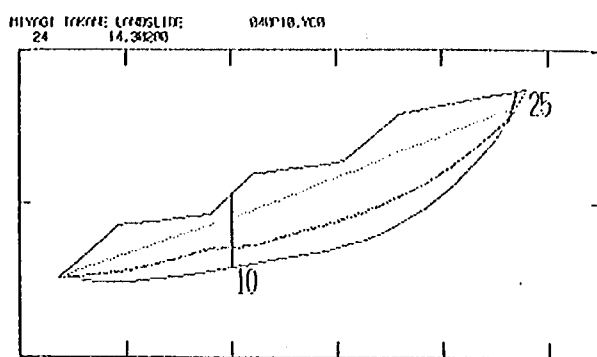
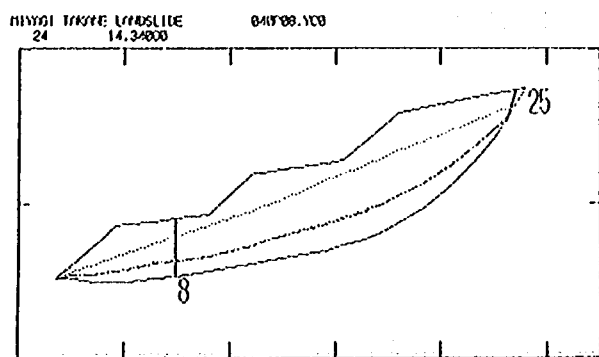
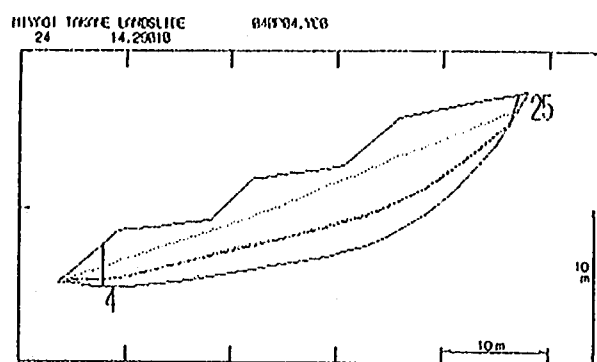
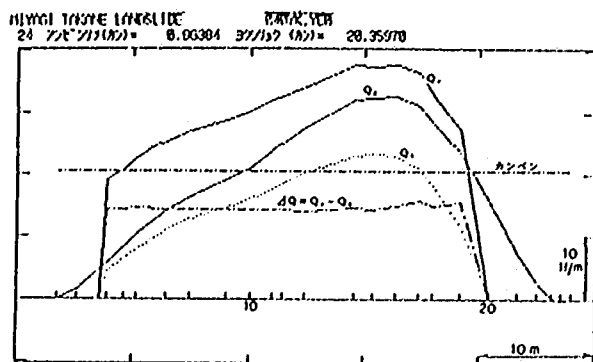
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040719.V02
24 19.67540



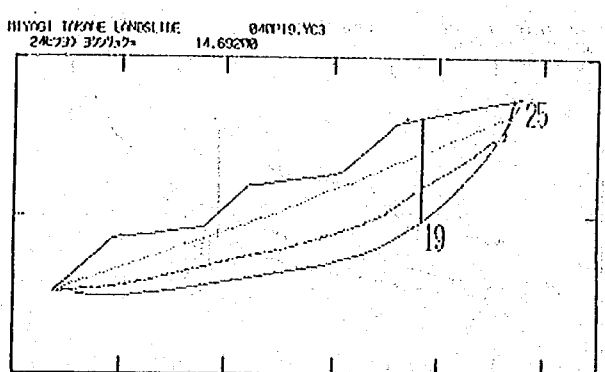
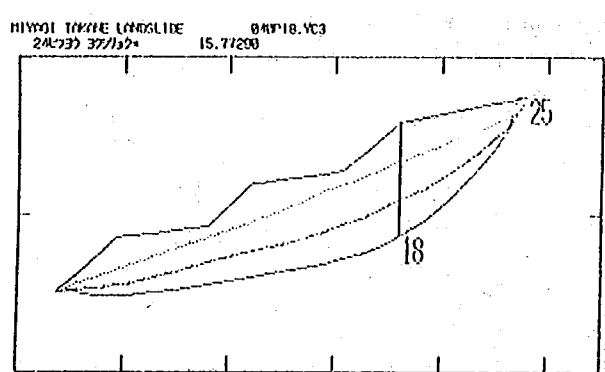
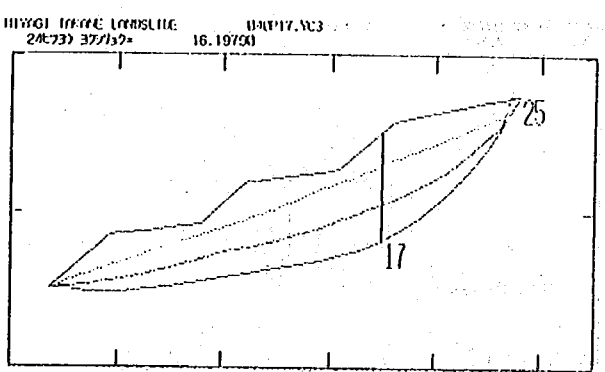
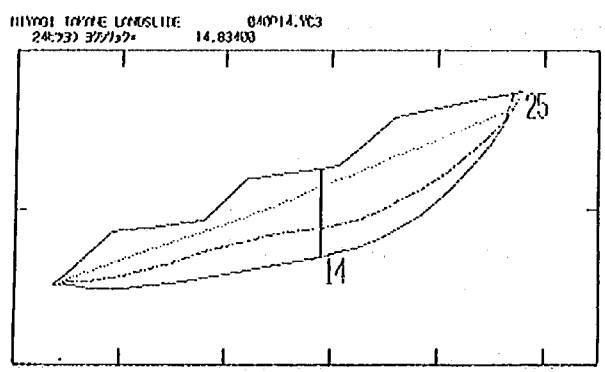
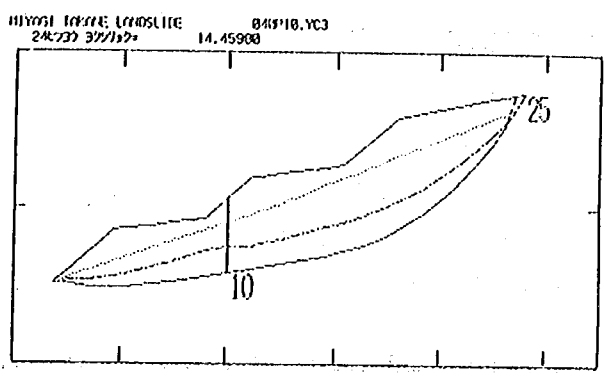
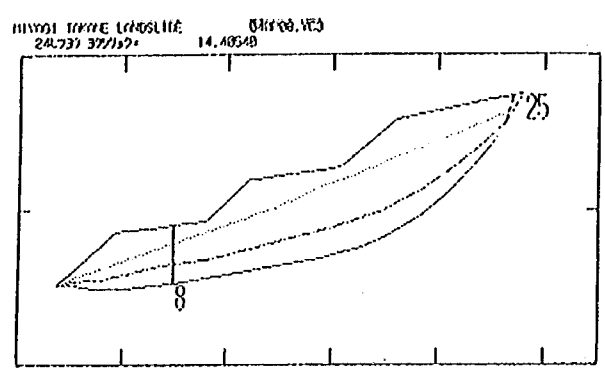
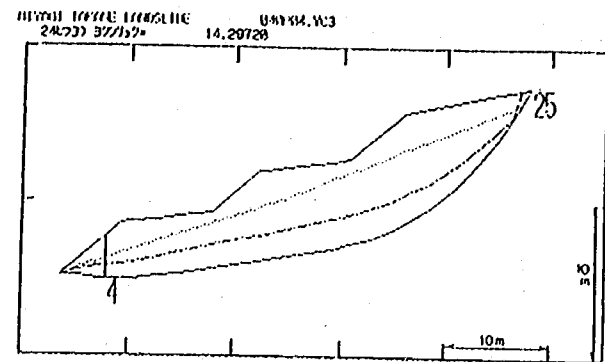
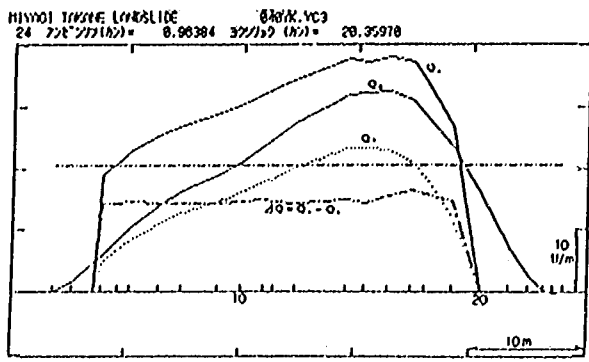
HIYOGI TAKEE LANDSLIDE 040720.V02
24 20.48330



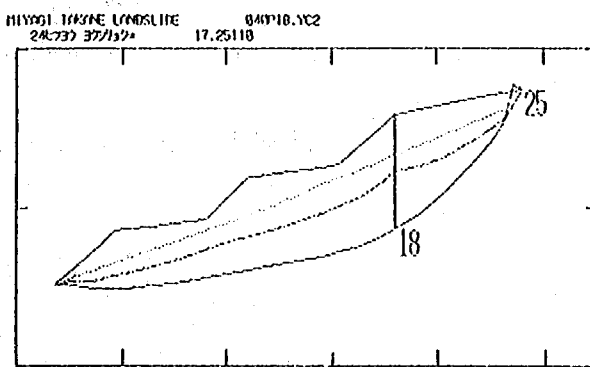
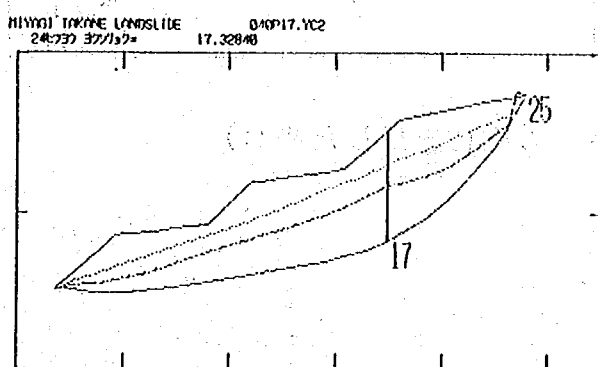
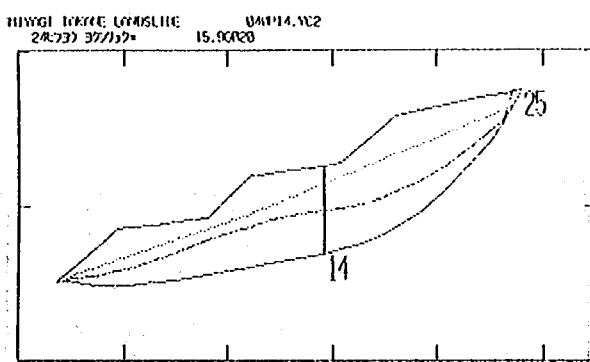
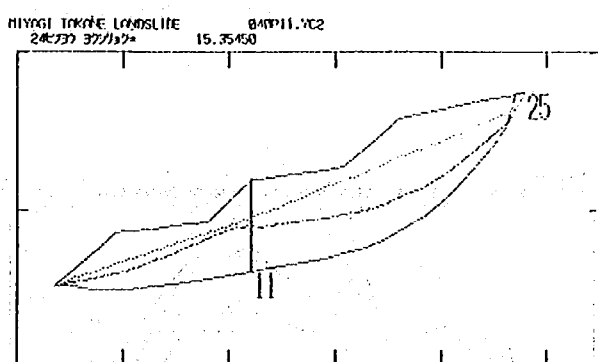
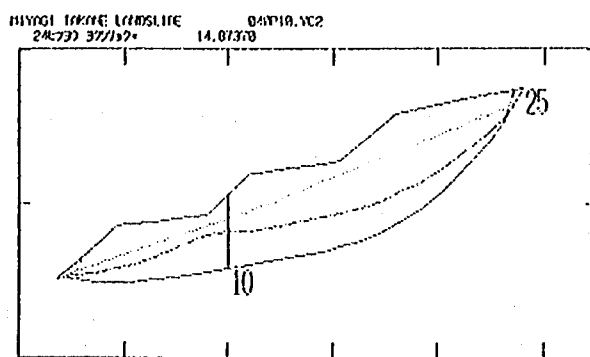
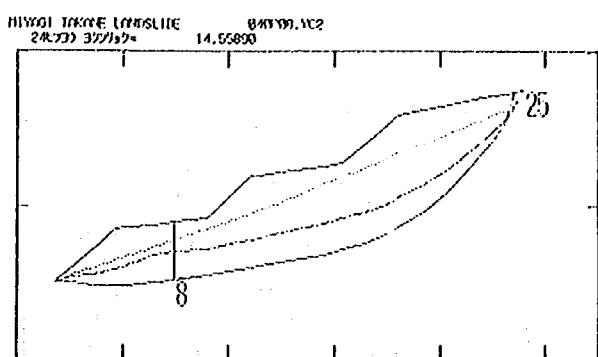
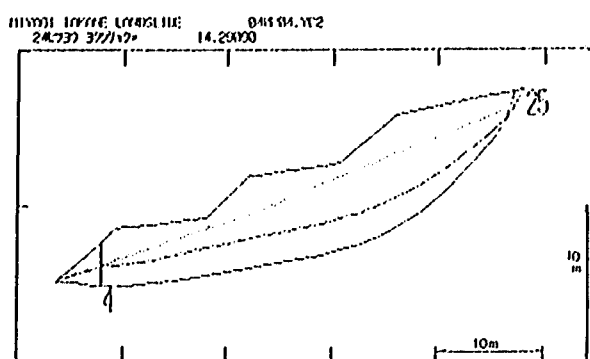
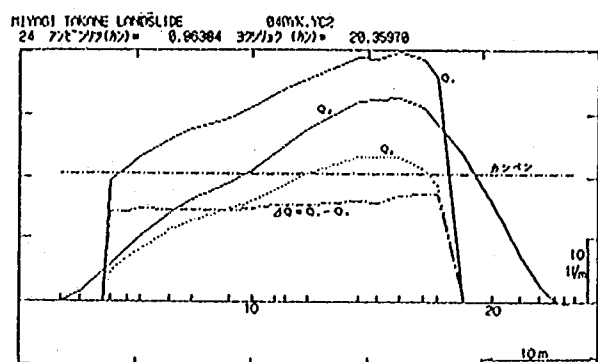
付図 1 - 4 考え方 1 (作用位置 = 1 / 2)



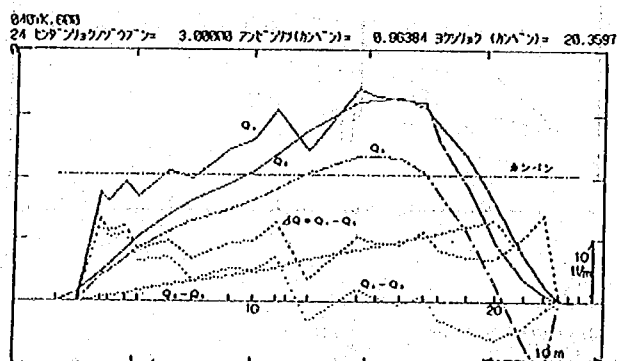
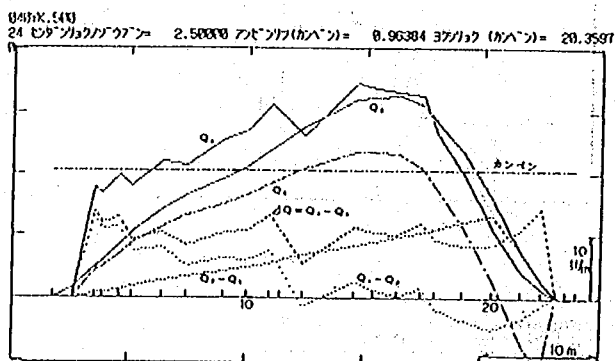
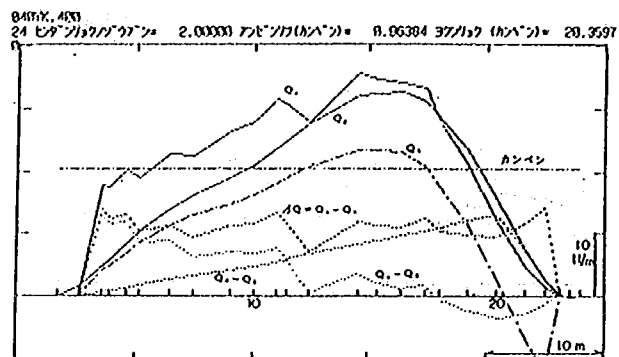
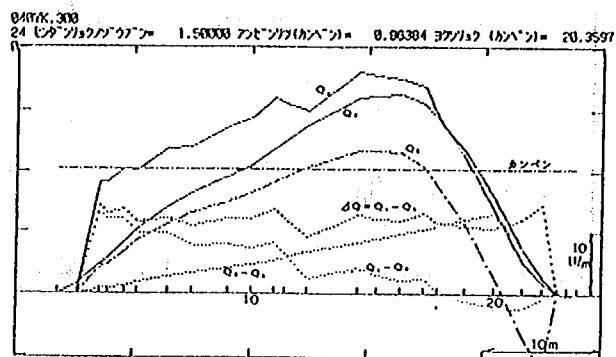
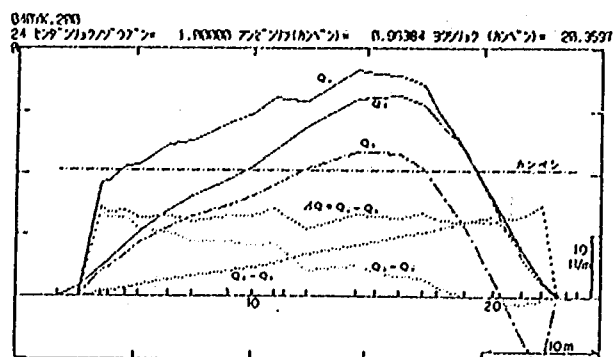
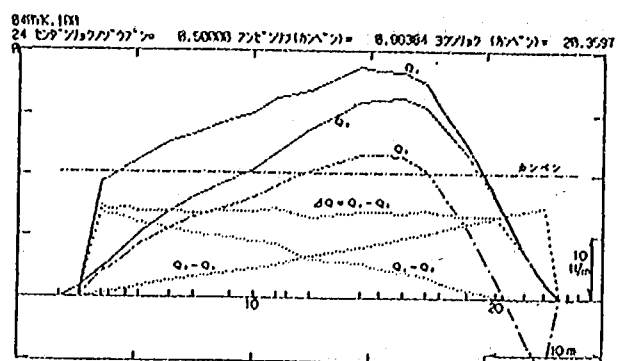
付図 1 - 5 考え方 2 (作用位置 = 初期推力線)



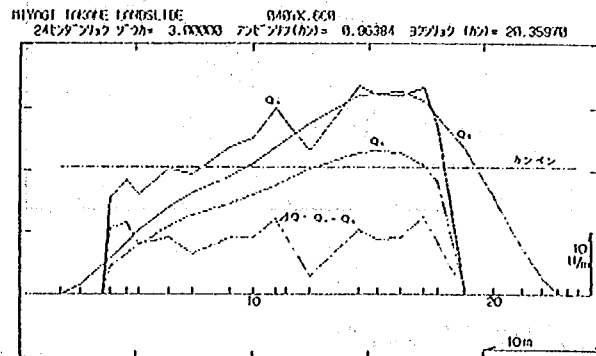
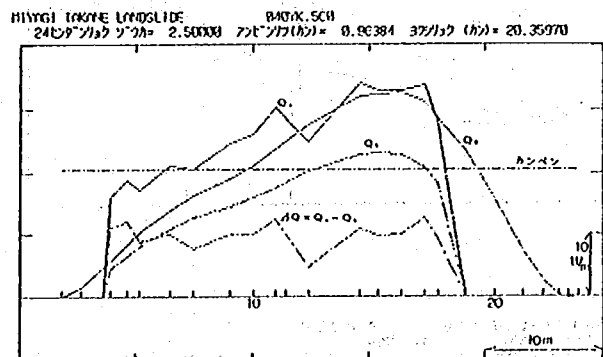
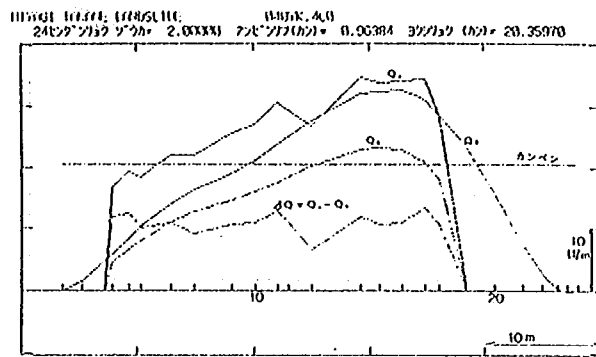
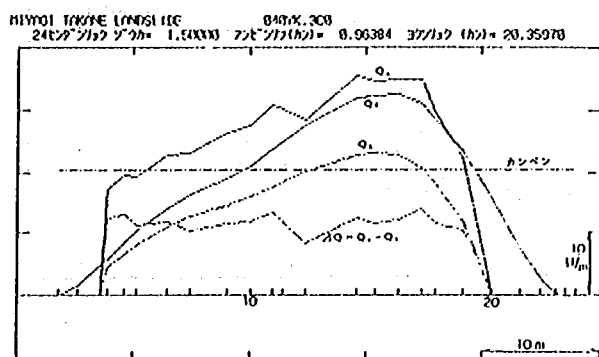
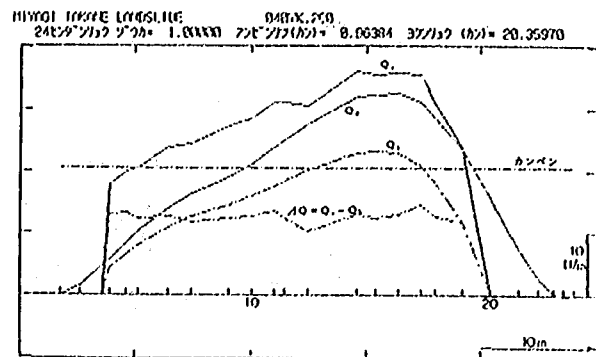
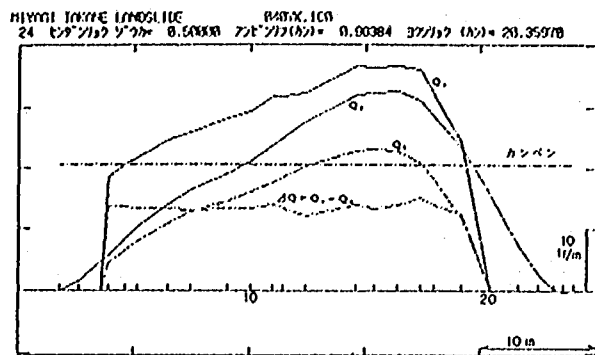
付図 1 - 6 考え方 2 (作用位置 = 1 / 3)



付図1-7 考え方2 (作用位置 = 1/2)

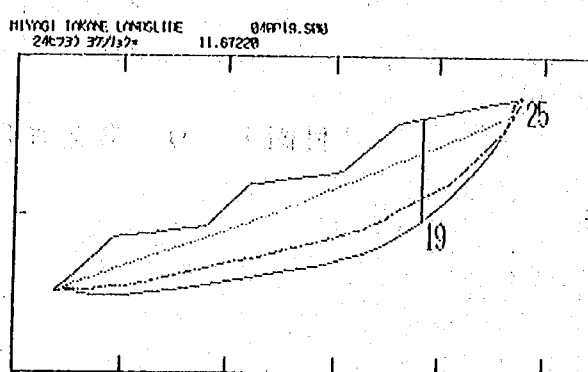
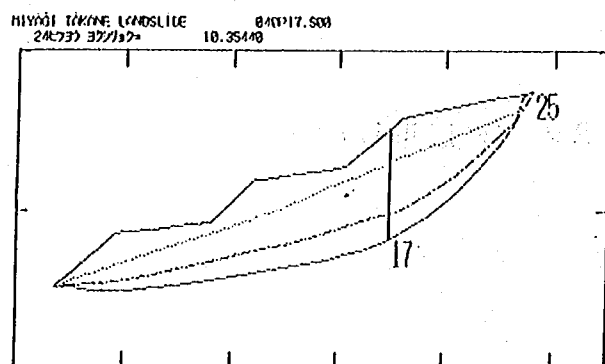
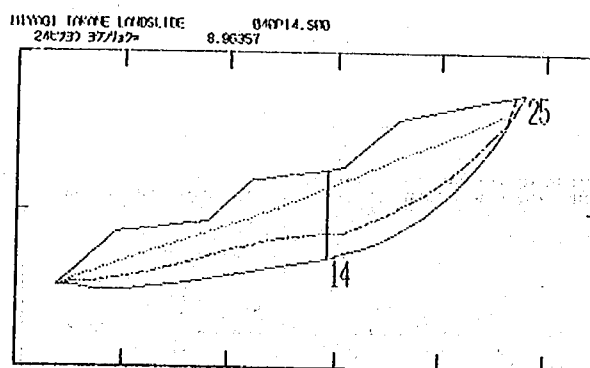
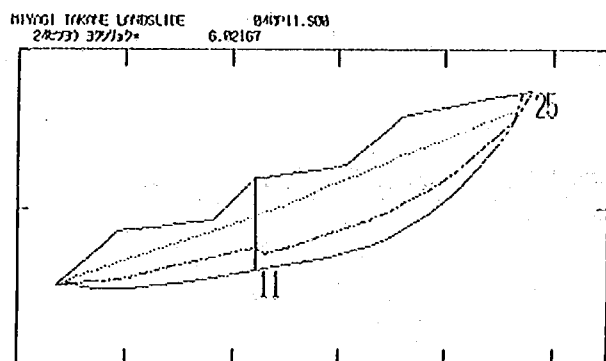
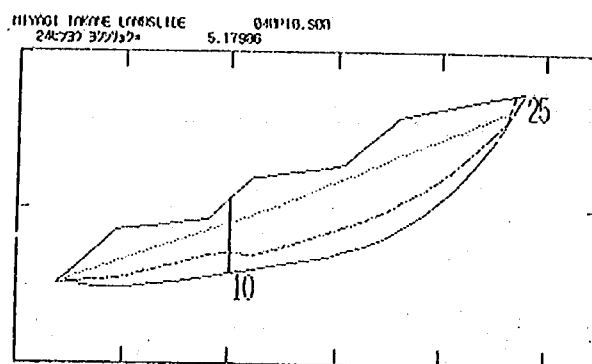
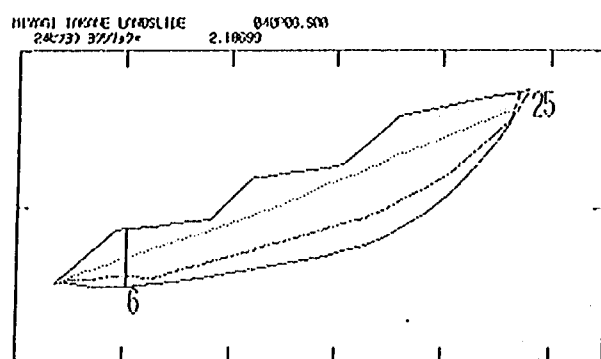
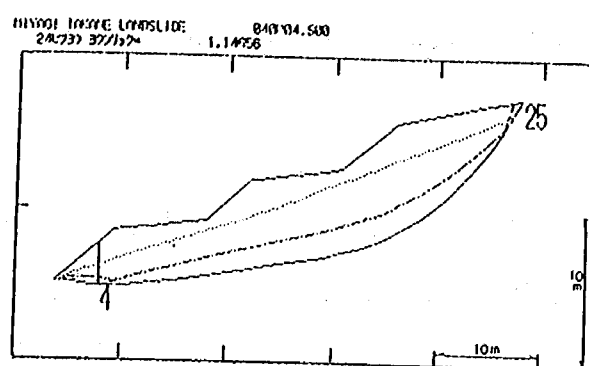
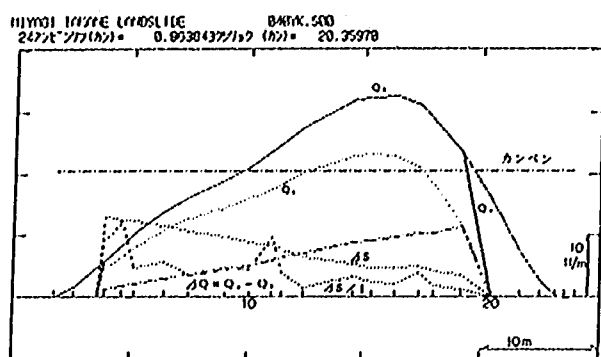


付図1-8 考え方3 (考え方1の式に適用した場合)



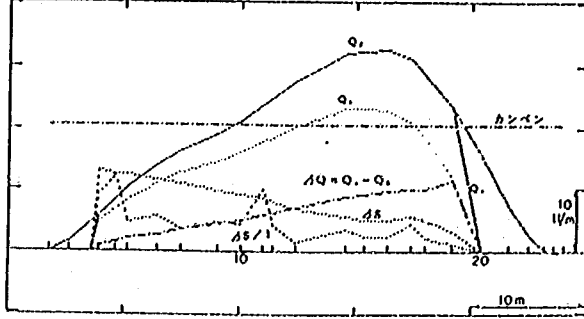
付図1-9 考え方3 (考え方2の式に適用した場合)

(編纂者(10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11) (10)・11)

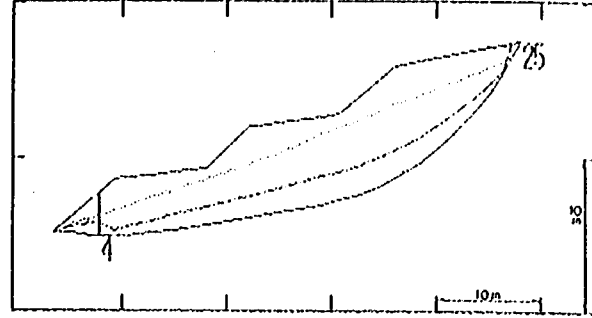


付図 1 - 1 0 考え方 4 (作用位置 = 初期推力線)

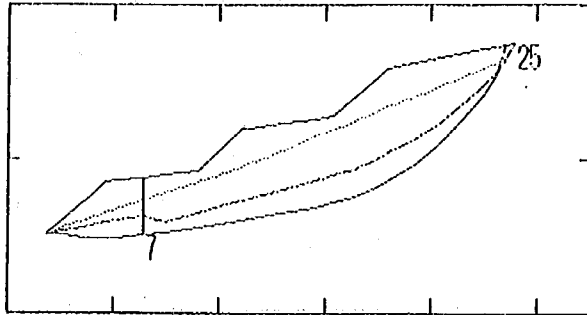
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 8.9030437/137 (A2) = 20.25970



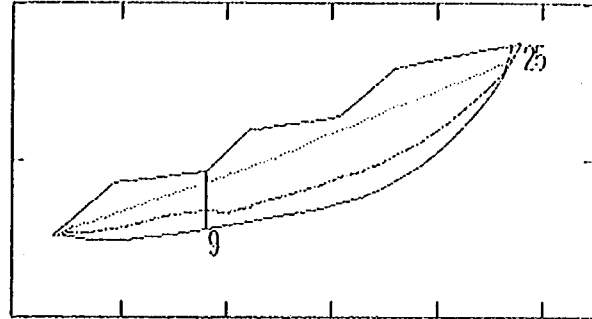
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 1.02139



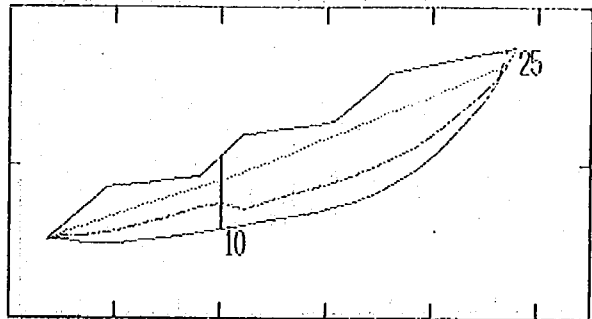
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 2.70540



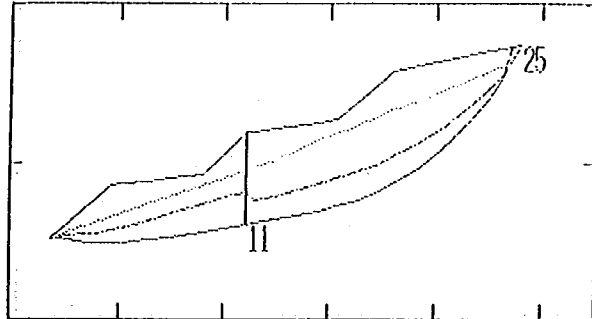
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 4.46198



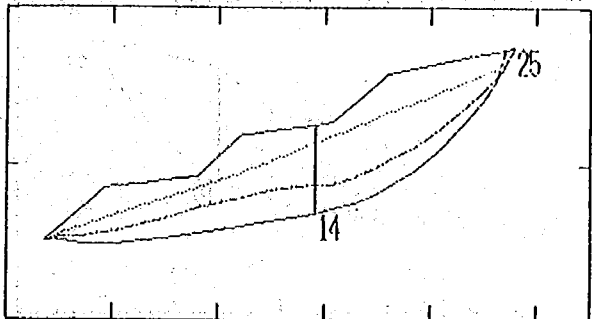
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 5.12433



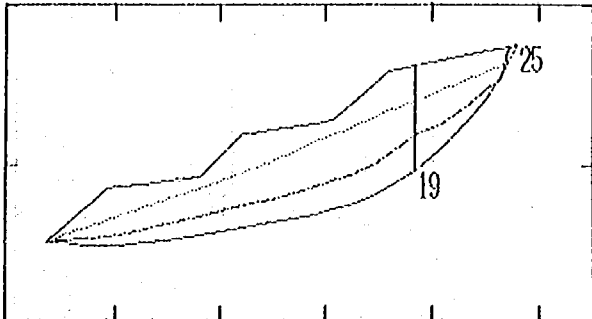
HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 5.02320



HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 8.93024

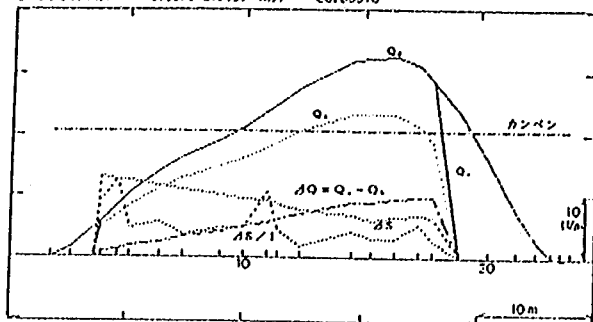


HIYOGI TANKU LANDSLIDE 0407K.S03
247737 37/137 11.54450

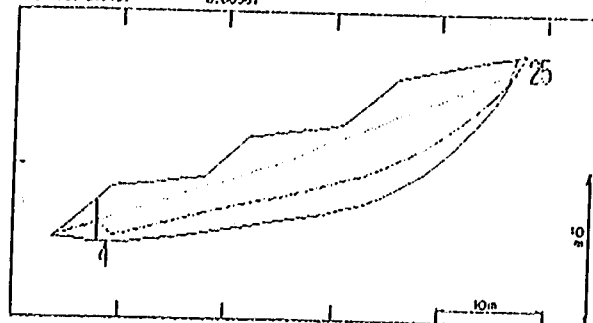


付図1-1.1 考え方4 (作用位置 = 1/3)

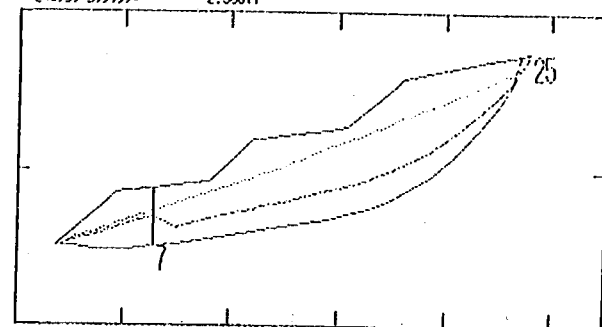
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04013.S02
24(73) 37/137 0.0538432/137 (h2) = 20.35970



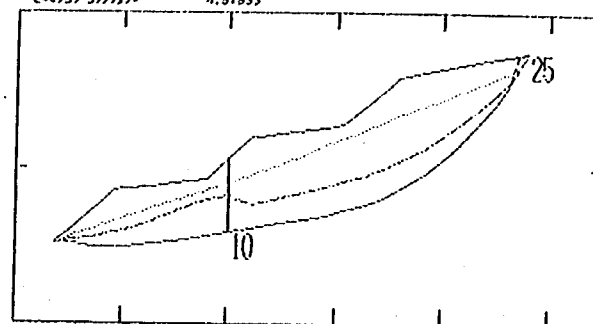
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04014.S02
24(73) 37/137 0.00591



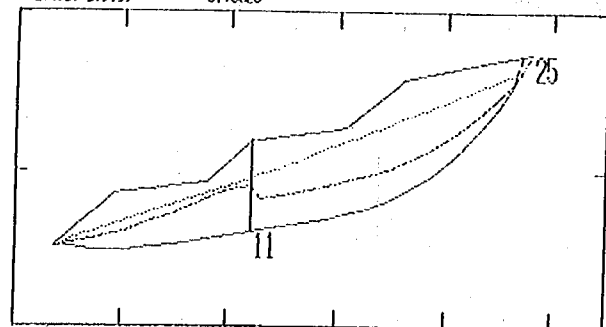
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04017.S02
24(73) 37/137 2.50011



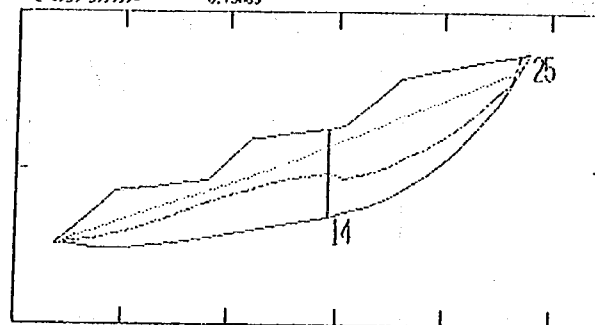
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04018.S02
24(73) 37/137 4.91935



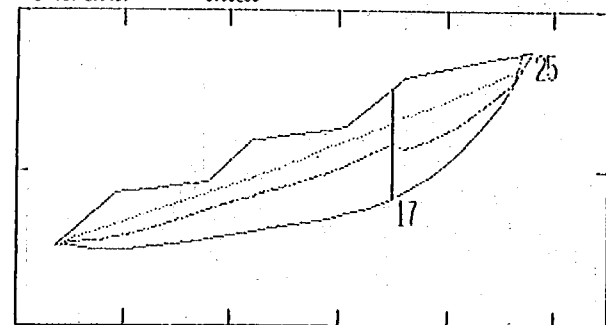
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04011.S02
24(73) 37/137 5.76825



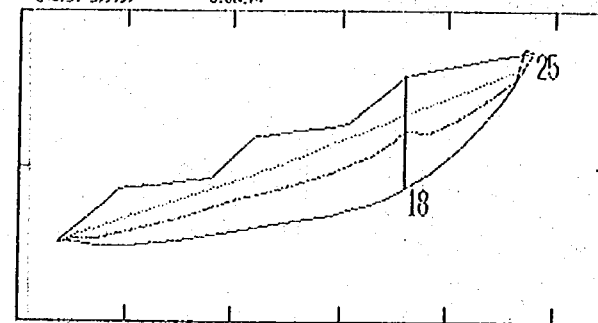
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04014.S02
24(73) 37/137 8.75809



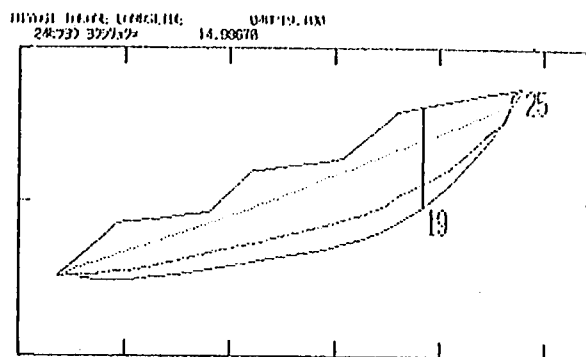
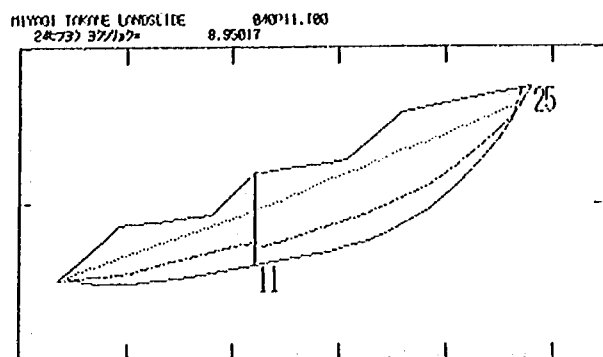
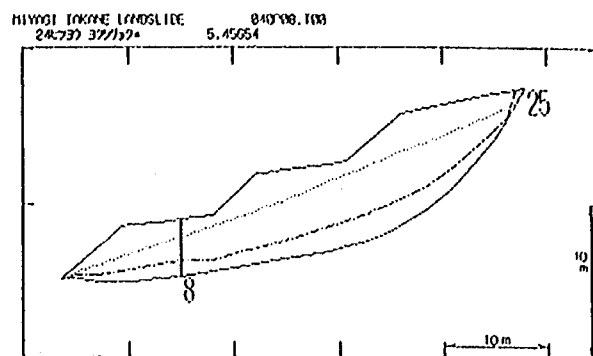
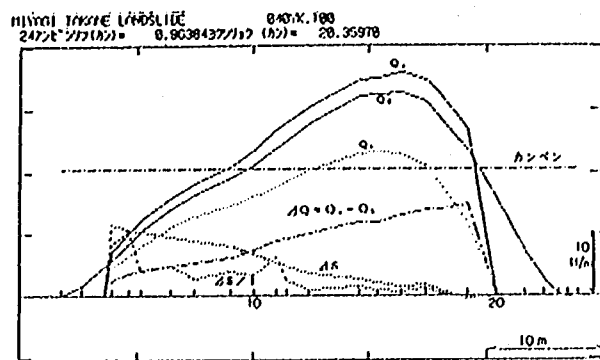
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04017.S02
24(73) 37/137 9.80256



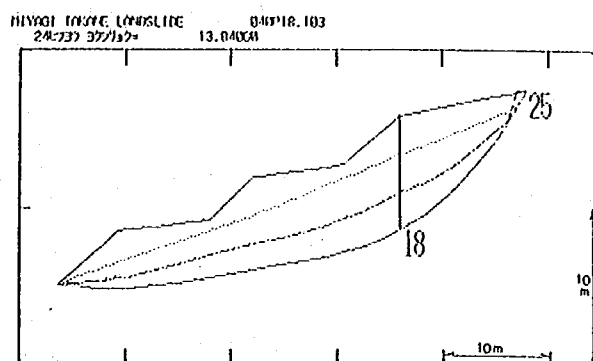
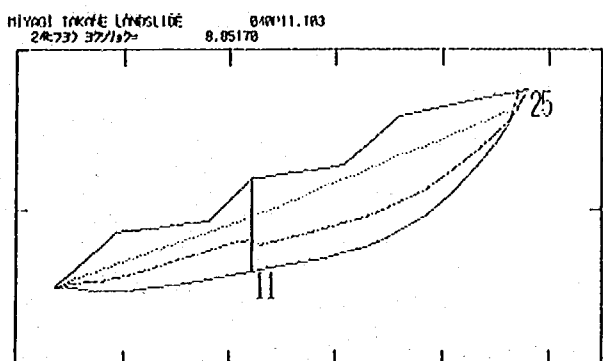
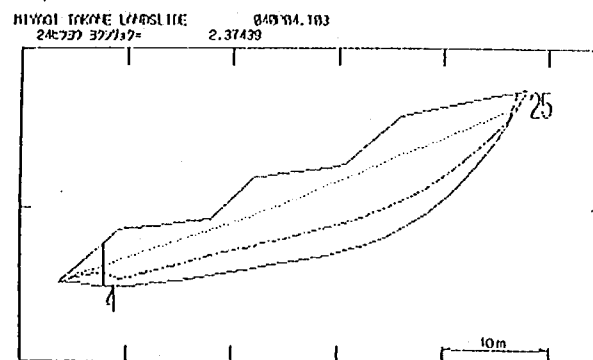
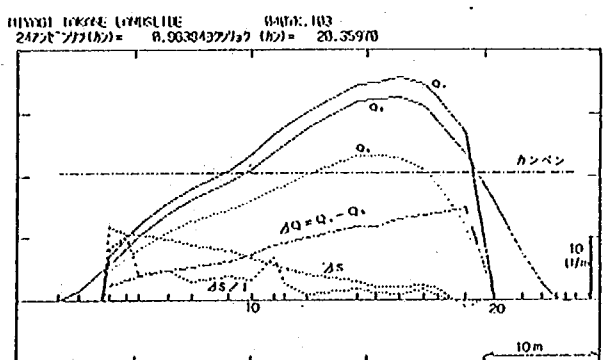
HIYOGI TAKANE LANDSLIDE 04018.S02
24(73) 37/137 9.80214



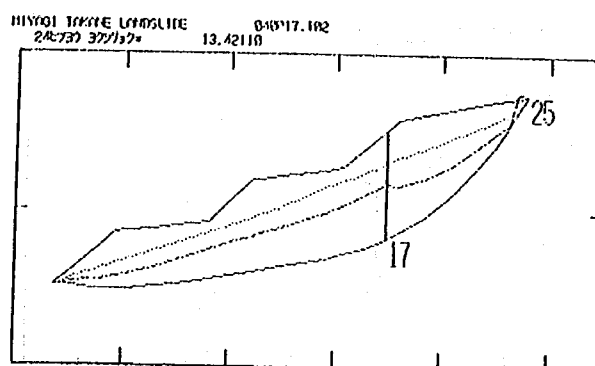
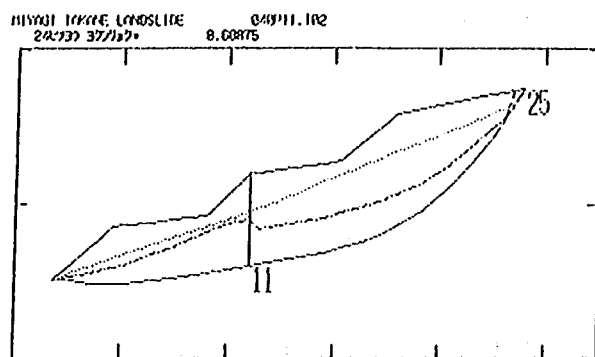
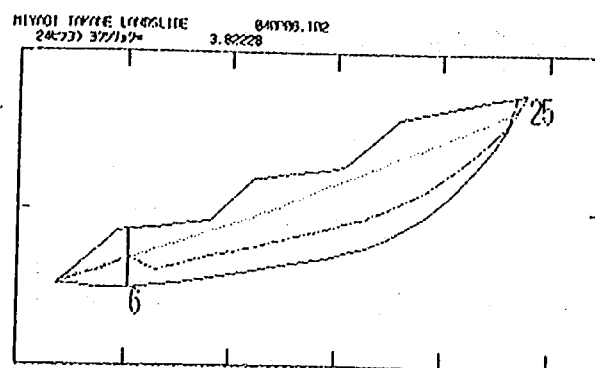
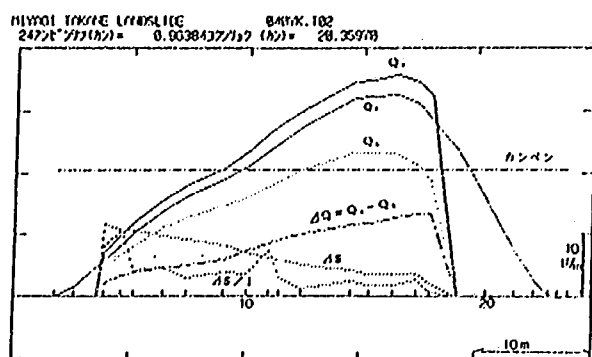
付図 1 - 1 2 考え方 4 (作用位置 = 1 / 2)



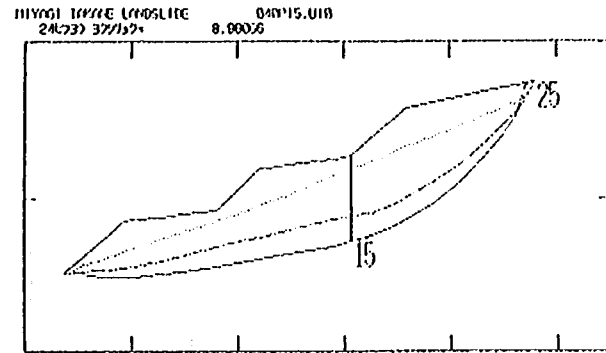
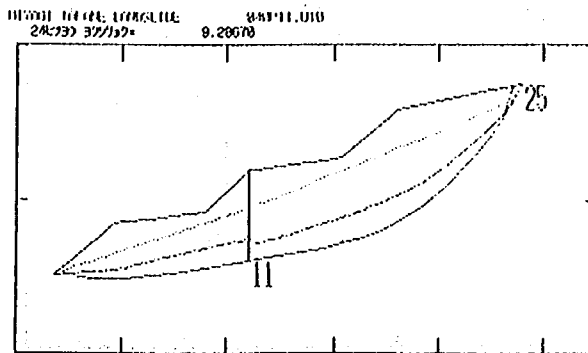
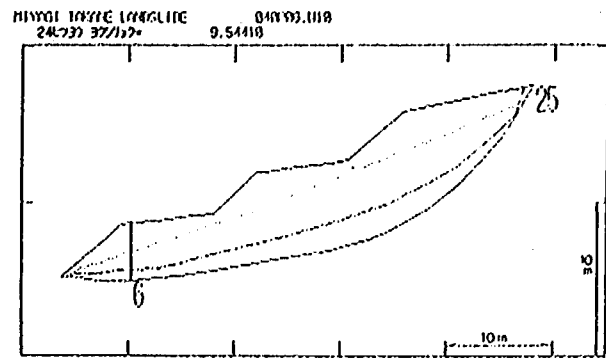
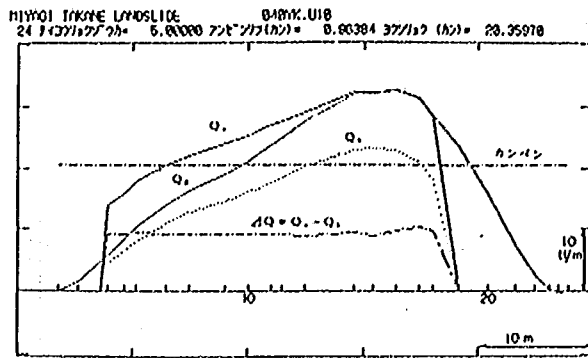
付図 1 - 1 3 考え方 5 (作用位置 = 初期推力線)



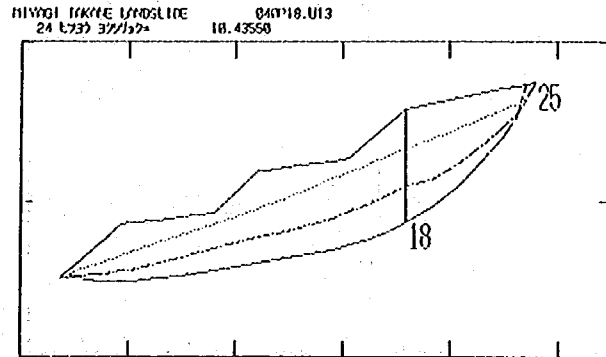
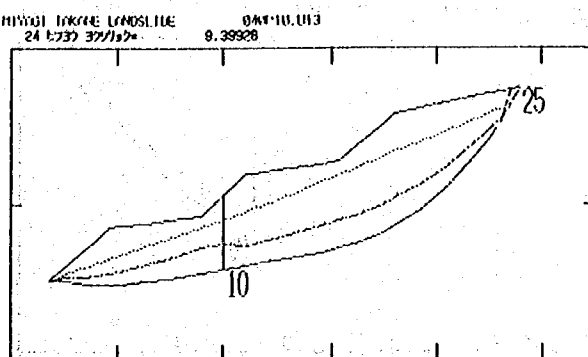
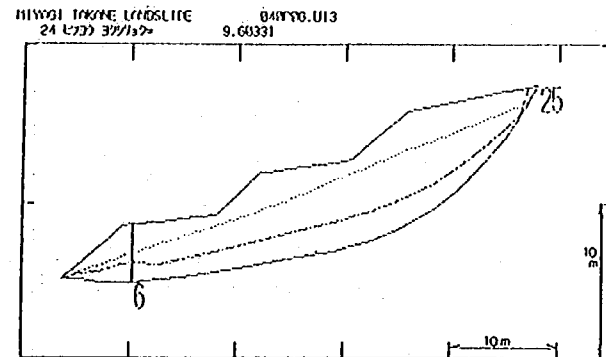
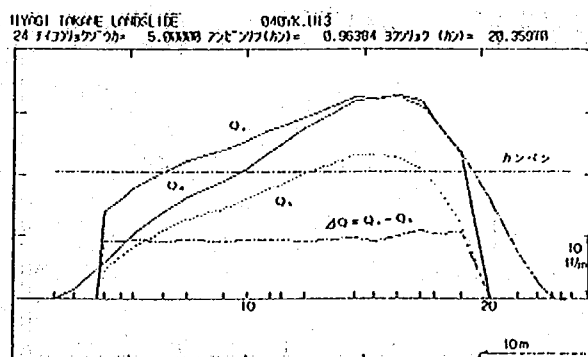
付図 1 - 1 4 考え方 5 (作用位置 = 1 / 3)



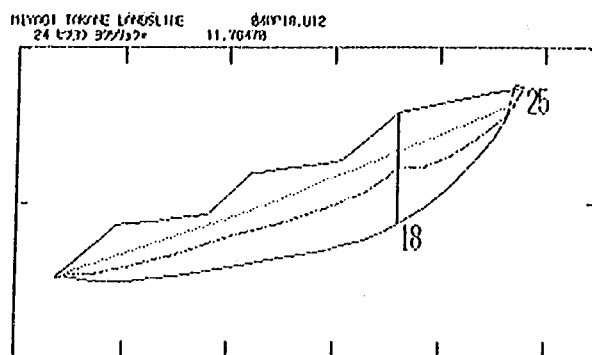
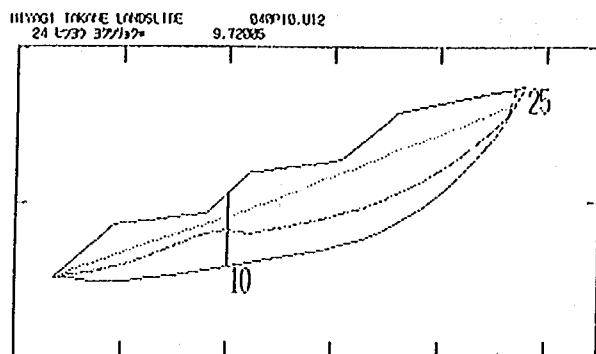
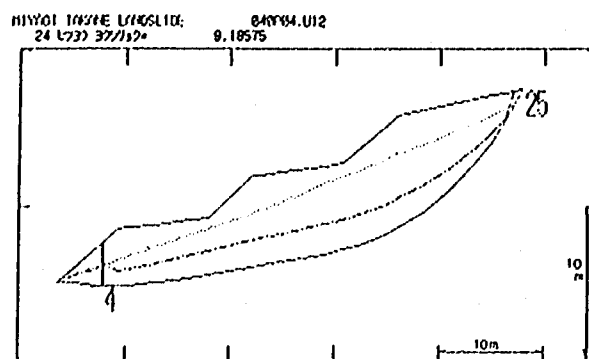
付図1-15 考え方5 (作用位置 = 1/2)



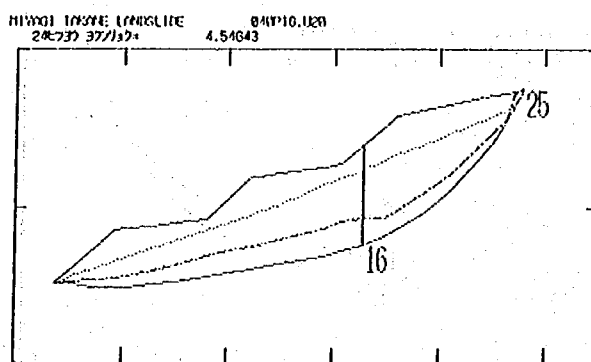
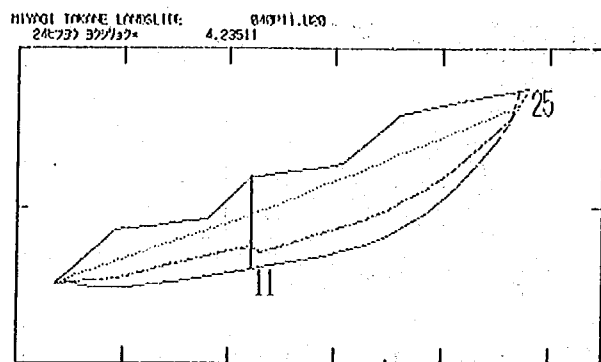
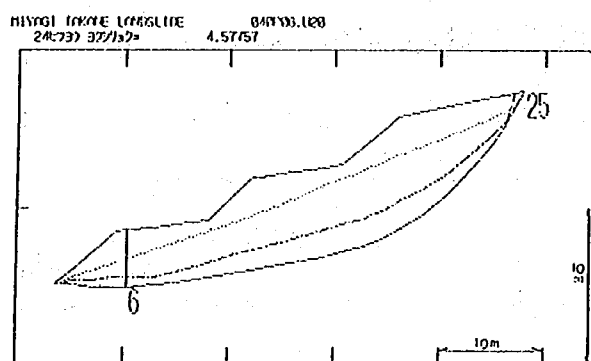
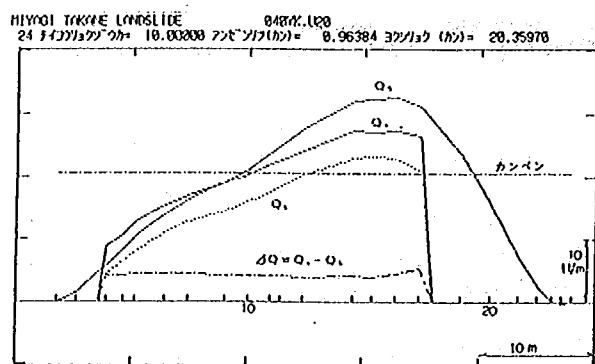
付図1-16 考え方6 (抵抗力5t/m増、作用位置=初期推力線)



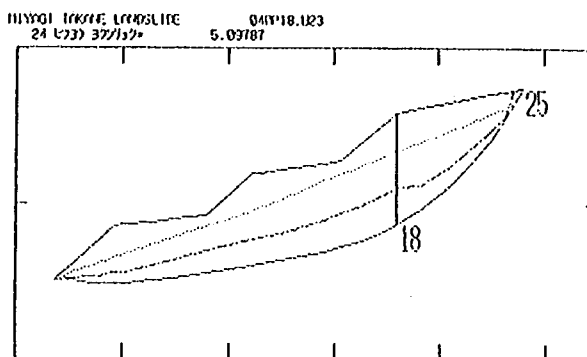
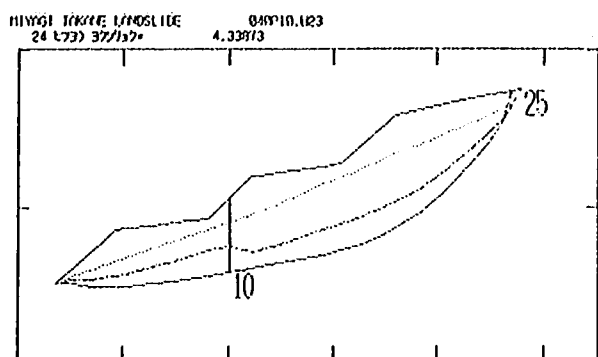
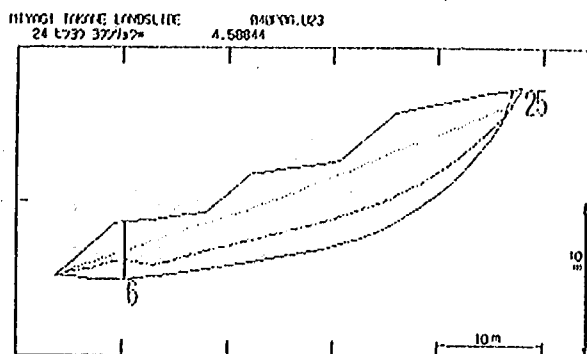
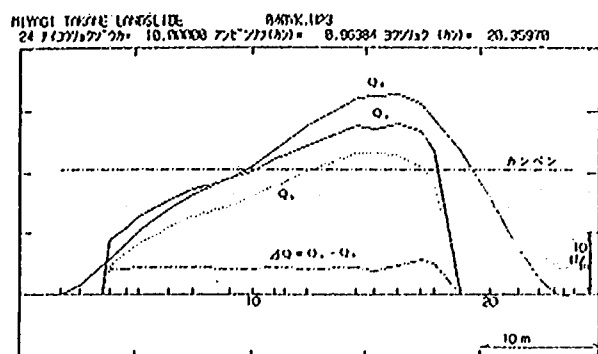
付図1-17 考え方6 (抵抗力5t/m増、作用位置=1/3)



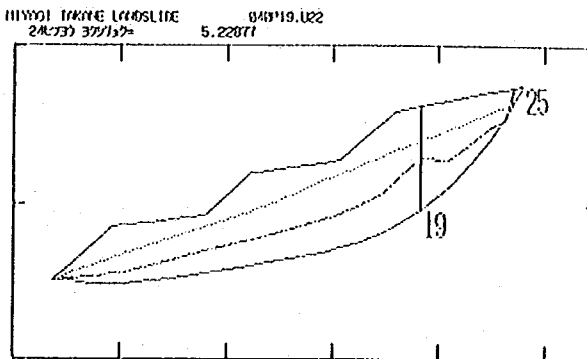
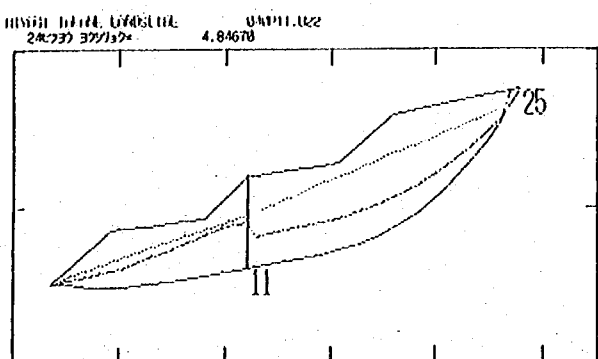
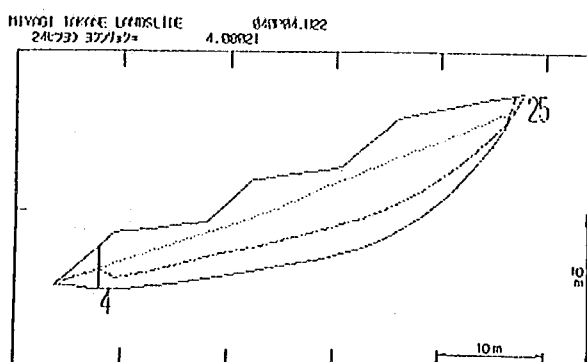
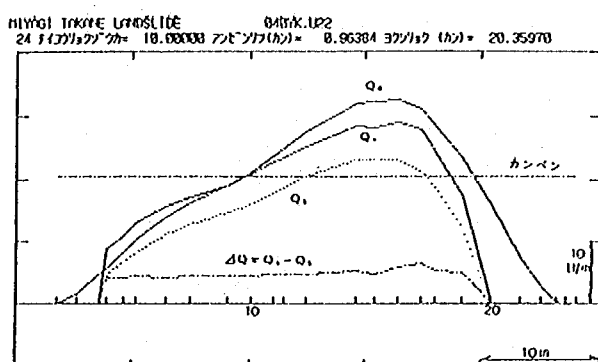
付図 1-18 考え方 6 (抵抗力 $5t/m$ 増、作用位置 $= 1/2$)



付図1-19 考え方6 (抵抗力10t/m増、作用位置=初期推力線)



付図1-20 考え方6 (抵抗力10t/m増、作用位置=1/3)



付図1-21 考え方6 (抵抗力10t/m増、作用位置=1/2)

2 各断面で収束した場合の $c - \phi$ の一覧表

逆算法で $F = 1.0$ になるように、 $c - \phi$ を決定した。従って収束した場合でも、 $F \neq 1.0$ の場合の値は除かなければならない。

[1] AOMORI HIEDAZAWA LANDSLIDE

013.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	13.58014	-.18201	1.00000
.50000	11.79307	-.17730	1.00000
1.00000	9.97589	-.17219	1.00000
1.50000	8.13125	-.16658	1.00000
2.00000	6.26205	-.16039	1.00000
2.50000	4.37142	-.15349	1.00000
3.00000	2.46262	-.14572	1.00000
3.50000	1.00000	-.13893	1.03284

[2] MIYAGI DAINENJIYAMA LANDSLIDE

022.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	11.90940	-.13975	1.00000
.50000	10.09054	-.13639	1.00000
1.00000	8.24300	-.13292	1.00000
1.50000	6.36901	-.12931	1.00000
2.00000	4.47079	-.12551	1.00000
2.50000	2.55047	-.12146	1.00000
3.00000	1.00000	-.11792	1.03172

[3] MIYAGI TAKANE LANDSLIDE

040.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	22.06194	-.24265	1.00000
.50000	16.46828	-.22599	1.00000
1.00000	10.47069	-.20772	1.00000
1.50000	4.15261	-.18667	1.00000
2.00000	1.00000	-.17440	1.14127

[4] MIYAGI OTOMIZAKA LANDSLIDE

046.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	14.25620	-.17369	1.00000
.50000	9.79664	-.16020	1.00000
1.00000	5.14755	-.14335	1.00000
1.50000	1.00000	-.12447	1.04323

[5] MIYAGI YAJIRO LANDSLIDE

049.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	24.16005	-.42622	1.00000

SYUUSOKU SHINAI (LAMDA, F NO HENKA)

[6] YAMAGATA YANAGIFUCHI LS

076.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	27.71749	-.32579	1.00000

PHI(L,F) ERROR

[7] YAMAGATA KATSURAKAKE LS

087.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	12.20043	-.14542	1.00000
.50000	10.22264	-.14073	1.00000
1.00000	8.21484	-.13584	1.00000
1.50000	6.18116	-.13070	1.00000
2.00000	4.12611	-.12529	1.00000
2.50000	2.05445	-.11955	1.00000
3.00000	1.00000	-.11628	1.08240

[8] YAMAGATA TANOSAWA LANDSLIDE

090.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	16.15384	-.17636	1.00000
.50000	14.27515	-.17169	1.00000
1.00000	12.35917	-.16702	1.00000
1.50000	10.40852	-.16231	1.00000
2.00000	8.42601	-.15750	1.00000
2.50000	6.41457	-.15255	1.00000
3.00000	4.37719	-.14738	1.00000
3.50000	2.31667	-.14193	1.00000
4.00000	1.00000	-.13815	1.04514

[9] FUKUSHIMA FUJISAWA LANDSLIDE

091.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	14.69947	-.19100	1.00000
.50000	11.77504	-.17685	1.00000
1.00000	8.75627	-.16337	1.00000
1.50000	5.65204	-.15001	1.00000
2.00000	2.47170	-.13618	1.00000
2.50000	1.00000	-.12907	1.11428

[10] IBARAKI IMATORISAWA LS

093.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	20.22740	-.38602	1.00000
.50000	13.94635	-.36041	1.00000
1.00000	7.21892	-.32181	1.00000
1.50000	1.00000	-.25846	1.03934

[11] IBARAKI NUMANOIRI LANDSLIDE

095.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	27.80097	-.444193	1.00000
.50000	26.29762	-.43252	1.00000
1.00000	24.74282	-.42271	1.00000
1.50000	23.13542	-.41238	1.00000
PHI (L,F) ERROR			

[1 2] TOCHIGI KUNIMI LANDSLIDE

101.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	17.16927	-.21679	1.00000
.50000	13.18483	-.20621	1.00000
1.00000	9.04512	-.19489	1.00000
1.50000	4.78145	-.18242	1.00000
2.00000	1.00000	-.17005	1.03175

[1 3] GUNMA NADATA LANDSLIDE

125.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	9.97313	-.14926	1.00000
.50000	7.71608	-.14075	1.00000
1.00000	5.40268	-.13036	1.00000
1.50000	3.02827	-.11699	1.00000
2.00000	1.00000	-.10161	1.03999

[1 4] GUNMA SHOURINZAN LANDSLIDE

130.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	9.26127	-.08041	1.00000
.50000	8.38038	-.07989	1.00000
1.00000	7.49726	-.07939	1.00000
1.50000	6.61207	-.07891	1.00000
2.00000	5.72500	-.07844	1.00000
2.50000	4.83628	-.07797	1.00000
3.00000	3.94612	-.07750	1.00000
3.50000	3.05478	-.07703	1.00000
4.00000	2.16252	-.07656	1.00000
4.50000	1.26958	-.07607	1.00000
5.00000	1.00000	-.07588	1.06700

[1 5] GUNMA KITAKANAI LANDSLIDE

131.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	17.97234	-.26052	1.00000
.50000	16.13109	-.25130	1.00000
1.00000	14.25048	-.24221	1.00000
1.50000	12.33227	-.23313	1.00000
2.00000	10.37834	-.22395	1.00000
2.50000	8.39067	-.21453	1.00000
3.00000	6.37113	-.20470	1.00000
3.50000	4.32130	-.19427	1.00000
4.00000	2.24207	-.18295	1.00000
4.50000	1.00000	-.17543	1.04516

[1 6] CHIBA HEGURI LANDSLIDE

136.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	24.20209	-.32208	1.00000
.50000	14.21533	-.29024	1.00000
1.00000	3.13732	-.22898	1.00000
1.50000	1.00000	-.20754	1.35761

[17] NIIGATA TATSUNO LANDSLIDE

170.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	14.70649	-.15833	1.00000
.50000	11.94003	-.15086	1.00000
1.00000	9.10741	-.14344	1.00000
1.50000	6.21966	-.13601	1.00000
2.00000	3.28913	-.12847	1.00000
2.50000	1.00000	-.12238	1.04422

[18] YAMANASHI KAMIARI LANDSLIDE

190.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	14.33281	-.22537	1.00000
.50000	12.32124	-.21587	1.00000
1.00000	10.24503	-.20423	1.00000
1.50000	8.10103	-.18943	1.00000
2.00000	5.88296	-.16957	1.00000
2.50000	3.57625	-.14053	1.00000
3.00000	1.13366	-.08940	1.00000
3.50000	1.00000	-.08135	1.14722

[19] NAGANO OOKUBO LANDSLIDE

195.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	20.46847	-.32461	1.00000
.50000	19.56819	-.32129	1.00000
1.00000	18.65676	-.31790	1.00000
1.50000	17.73429	-.31441	1.00000
2.00000	16.80096	-.31081	1.00000
2.50000	15.85695	-.30708	1.00000
3.00000	14.90247	-.30321	1.00000
3.50000	13.93774	-.29918	1.00000
4.00000	12.96302	-.29498	1.00000
4.50000	11.97859	-.29057	1.00000
5.00000	10.98475	-.28594	1.00000
5.50000	9.98181	-.28105	1.00000
6.00000	8.97011	-.27588	1.00000

[20] Gifu SHIROKURA LANDSLIDE

249.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	13.58767	-.17012	1.00000
.50000	12.66852	-.16263	1.00000
1.00000	11.73674	-.15524	1.00000
1.50000	10.79177	-.14788	1.00000
2.00000	9.83273	-.14047	1.00000
2.50000	8.85836	-.13289	1.00000
3.00000	7.86683	-.12502	1.00000
3.50000	6.85539	-.11668	1.00000
4.00000	5.81976	-.10761	1.00000
4.50000	4.75278	-.09741	1.00000
5.00000	3.64102	-.08530	1.00000
5.50000	2.45324	-.06947	1.00000
6.00000	1.05631	-.04175	1.00000

[2 1] SHIZUOKA NAKABANE LANDSLIDE

250.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	15.35202	-.24507	1.00000
.50000	14.67897	-.24163	1.00000
1.00000	14.00058	-.23827	1.00000
1.50000	13.31700	-.23498	1.00000
2.00000	12.62835	-.23176	1.00000
2.50000	11.93478	-.22860	1.00000
3.00000	11.23644	-.22550	1.00000
3.50000	10.53347	-.22244	1.00000
4.00000	9.82605	-.21944	1.00000
4.50000	9.11432	-.21647	1.00000
5.00000	8.39847	-.21353	1.00000
5.50000	7.67865	-.21063	1.00000
6.00000	6.95505	-.20775	1.00000

[2 2] TOTTORI YOKOCHI LANDSLIDE

306.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	28.42258	-.46088	1.00000
.50000	26.86841	-.44529	1.00000
1.00000	25.25478	-.42957	1.00000
PHI(L,F) ERROR			

[2 3] YAMAGUCHI SHIRAKI LANDSLIDE

331.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	9.41114	-.09732	1.00000
.50000	7.98564	-.09388	1.00000
1.00000	6.54891	-.09045	1.00000
1.50000	5.10247	-.08703	1.00000
2.00000	3.64793	-.08361	1.00000
2.50000	2.18693	-.08017	1.00000
3.00000	1.00000	-.07731	1.02928

[2 4] YAMAGUCHI SASANAMI-YAMAGUCHI LINE 336.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	21.61233	-.35251	1.00000
.50000	19.73954	-.34440	1.00000
1.00000	17.81607	-.33573	1.00000
1.50000	15.84378	-.32636	1.00000
2.00000	13.82507	-.31612	1.00000
2.50000	11.76281	-.30478	1.00000
3.00000	9.66035	-.29206	1.00000
3.50000	7.52141	-.27754	1.00000
4.00000	5.34997	-.26063	1.00000
4.50000	3.15008	-.24041	1.00000
5.00000	1.00000	-.21623	1.00321

[2 5] KAGAWA IMAMIYA LS

344.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	24.84792	-.28874	1.00000
.50000	21.68224	-.28547	1.00000
1.00000	18.36163	-.28220	1.00000
1.50000	14.89716	-.27885	1.00000
2.00000	11.30459	-.27531	1.00000
2.50000	7.60438	-.27148	1.00000
3.00000	3.82103	-.26718	1.00000
3.50000	1.00000	-.26353	1.03776

[2 6] HYOGO SAKAMOTO LS

401.GK1

C	PHI	LAMDA	F
.00000	16.67697	-.28930	1.00000
.50000	14.54693	-.25597	1.00000
1.00000	12.32032	-.22610	1.00000
1.50000	10.00081	-.19789	1.00000
2.00000	7.58693	-.16971	1.00000
2.50000	5.06916	-.13947	1.00000
3.00000	2.41835	-.10325	1.00000
3.50000	1.00000	-.07820	1.07208

3 考え方1と考え方2の計算例

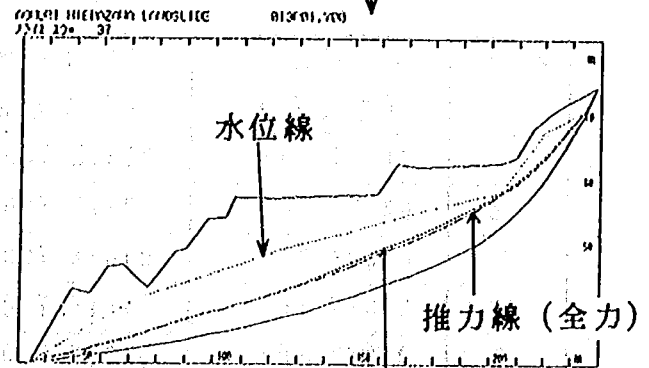
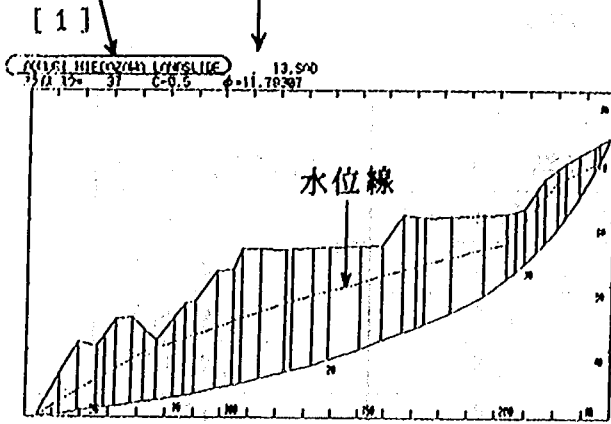
26の断面について、抑止力の計算結果を示す。

断面	ファイル名 (考え方1)	ファイル名 (考え方2)	c t f/m ² (粘着力)	ϕ° (内部摩擦角)
1	013YK.Y00	013YK.YC0	0.5	11.79307
2	022YK.Y00	022YK.YC0	0.5	10.09054
3	040YK.Y00	040YK.YC0	0.5	16.46828
4	046YK.Y00	046YK.YC0	0.5	9.79664
5	049YK.Y00	049YK.YC0	0.0	24.16005
6	076YK.Y00	076YK.YC0	0.0	27.71749
7	087YK.Y00	087YK.YC0	0.5	10.22264
8	090YK.Y00	090YK.YC0	0.5	14.27515
9	091YK.Y00	091YK.YC0	0.5	11.77504
10	093YK.Y00	093YK.YC0	0.5	13.94635
11	095YK.Y00	095YK.YC0	0.5	26.29762
12	101YK.Y00	101YK.YC0	0.5	13.18483
13	125YK.Y00	125YK.YC0	0.5	7.71608
14	130YK.Y00	130YK.YC0	0.5	8.38038
15	131YK.Y00	131YK.YC0	0.5	16.13109
16	136YK.Y00	136YK.YC0	0.5	14.21533
17	170YK.Y00	170YK.YC0	0.5	11.94003
18	190YK.Y00	190YK.YC0	0.5	12.32124
19	195YK.Y00	195YK.YC0	0.5	19.56819
20	249YK.Y00	249YK.YC0	0.5	12.66852
21	250YK.Y00	250YK.YC0	0.5	14.67897
22	306YK.Y00	306YK.YC0	0.5	26.86841
23	331YK.Y00	331YK.YC0	0.5	7.98564
24	336YK.Y00	336YK.YC0	0.5	19.73954
25	344YK.Y00	344YK.YC0	0.5	21.68224
26	401YK.Y00	401YK.YC0	0.5	14.54693

凡 例

地すべり名 断面形図

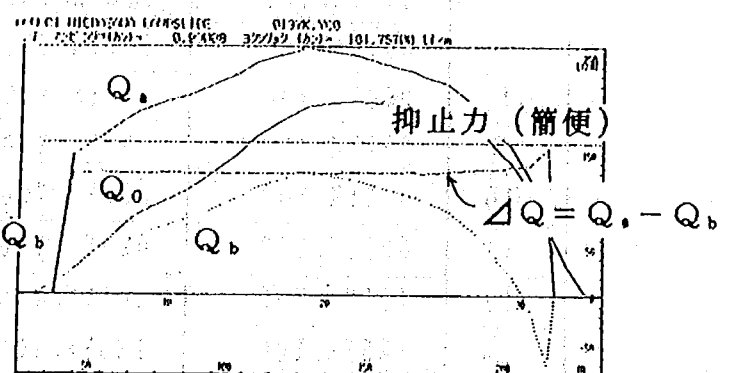
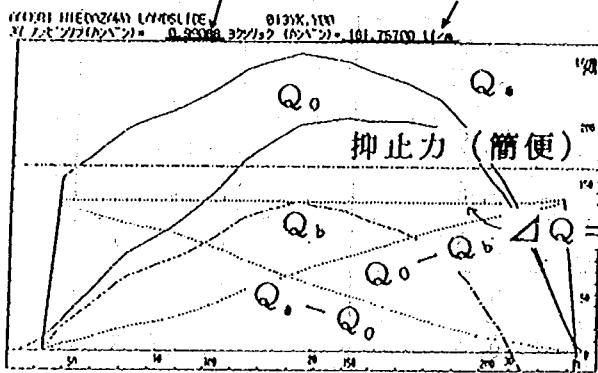
推力線図



簡便法による安全率

簡便法による必要抑止力

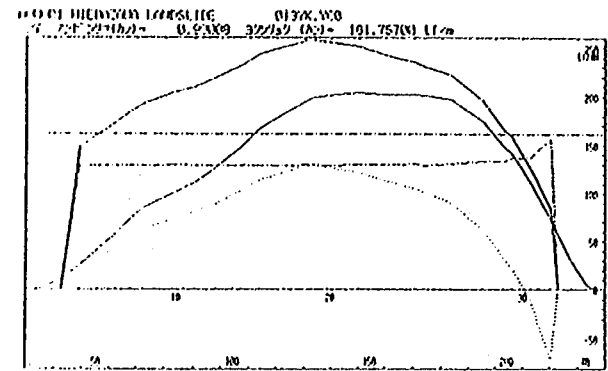
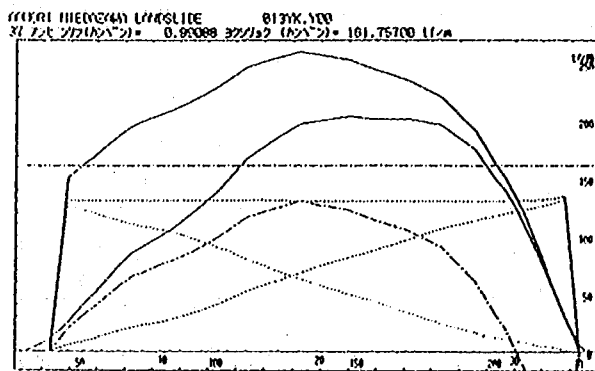
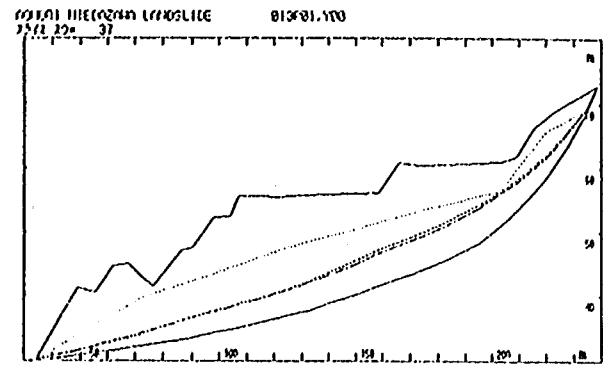
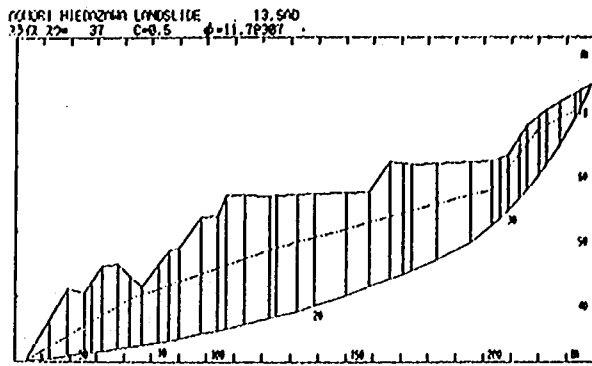
推力線 (有効力)



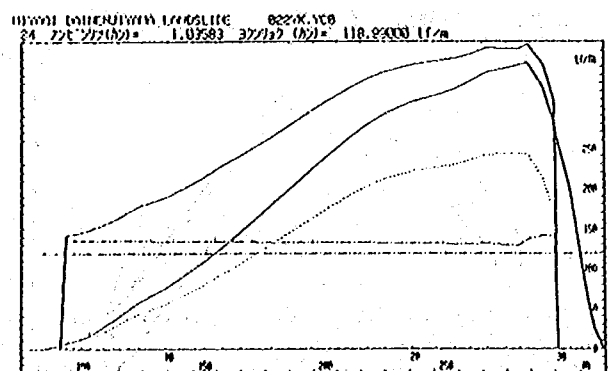
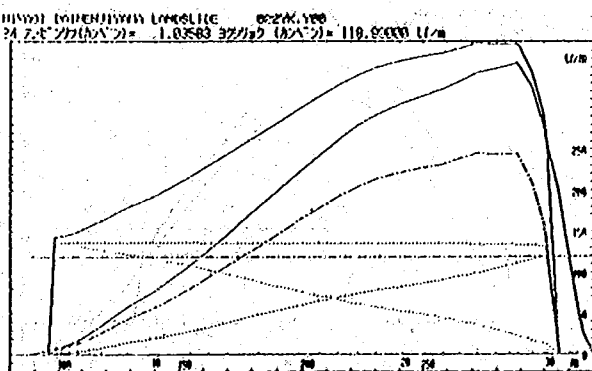
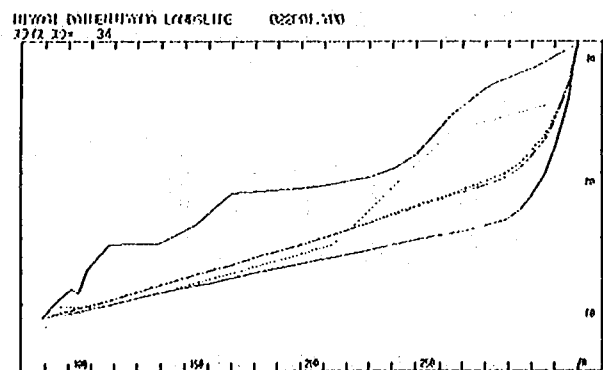
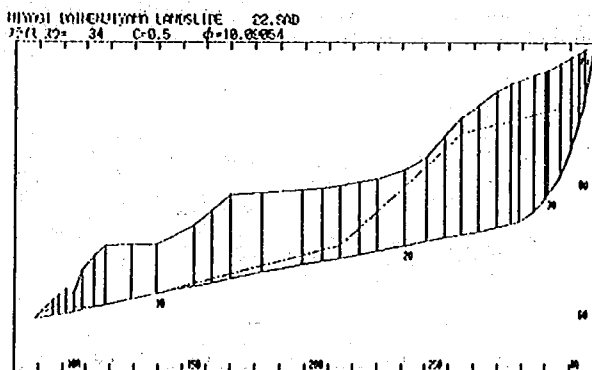
考え方1による抑止力

考え方2による抑止力

[1]

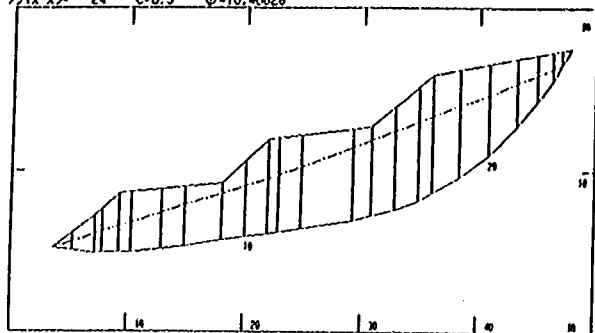


[2]

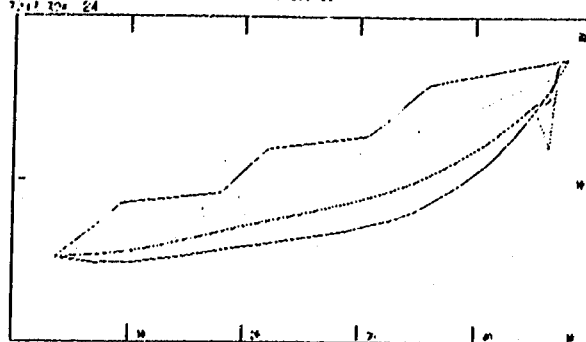


[3]

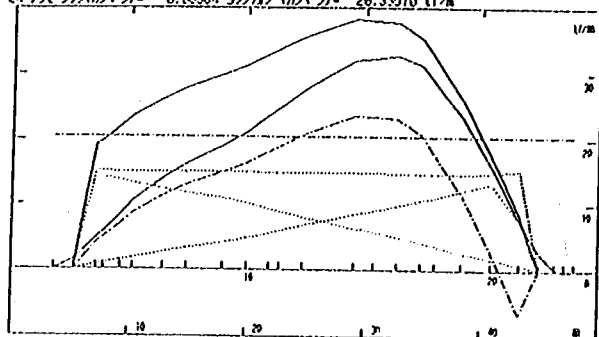
НИЖНИЙ ТИПОВЫЙ ЛАВСЛИД 40.540
75/12 24 C=0.5 $\phi=18.46828$



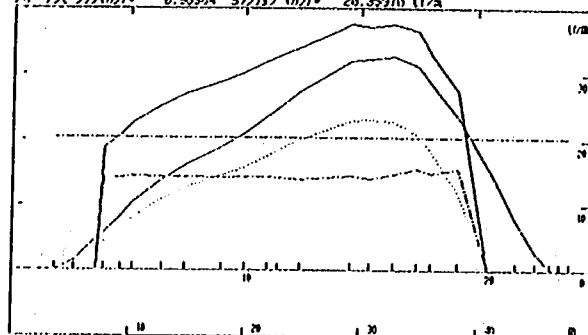
НИЖНИЙ ТИПОВЫЙ ЛАВСЛИД 04001.000
75/12 24



НИЖНИЙ ТИПОВЫЙ ЛАВСЛИД 04001.000
24 75/12 24 (0.0384 37/12) = 20.35370 (1/m)

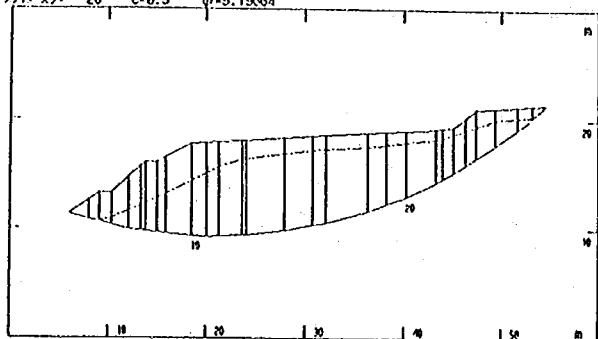


НИЖНИЙ ТИПОВЫЙ ЛАВСЛИД 04001.000
24 75/12 24 (0.0384 37/12) = 20.35370 (1/m)

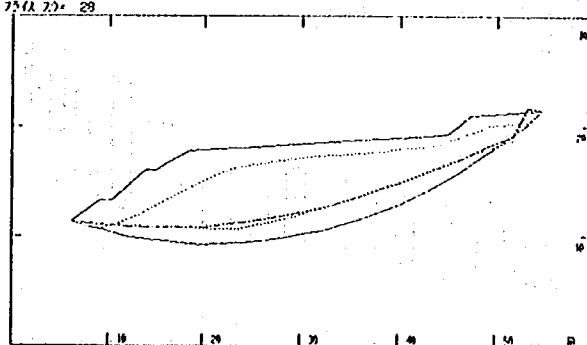


[4]

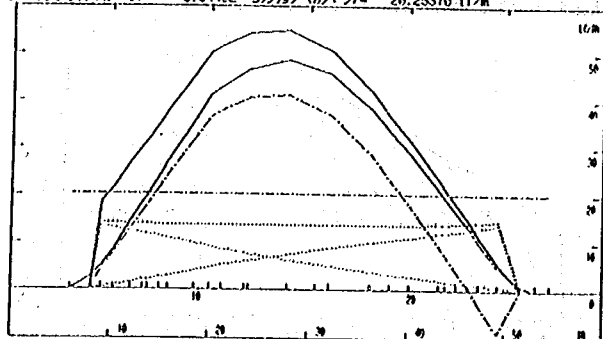
НИЖНИЙ ОЦЕНКА ЛАВСЛИД 40.540
75/12 20 C=0.5 $\phi=9.79684$



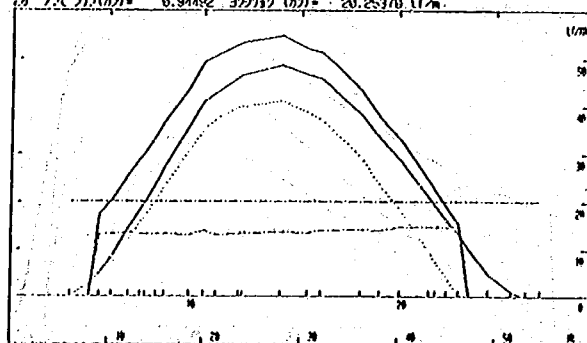
НИЖНИЙ ОЦЕНКА ЛАВСЛИД 04001.000
75/12 20



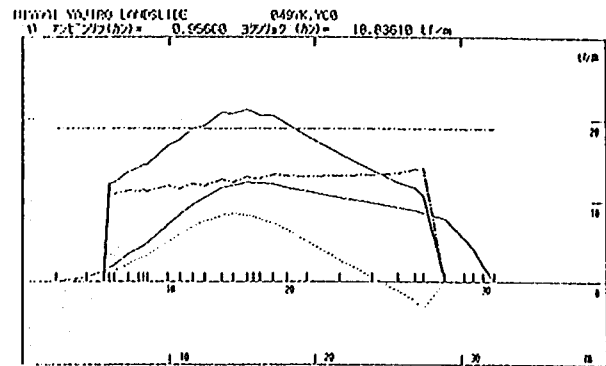
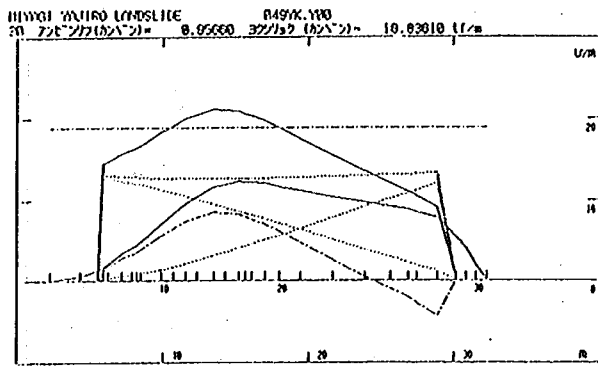
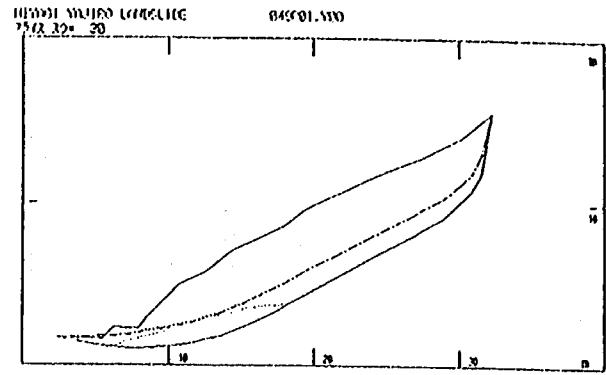
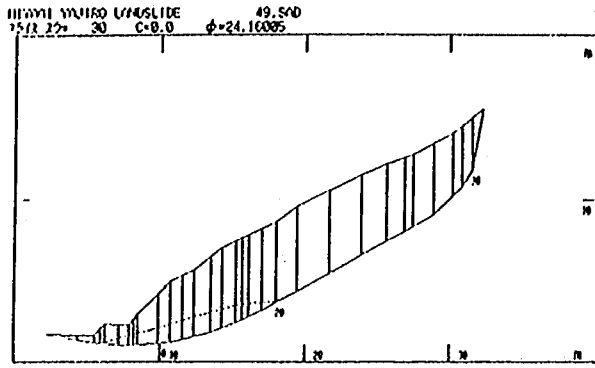
НИЖНИЙ ОЦЕНКА ЛАВСЛИД 04001.000
20 75/12 20 (0.94482 37/12) = 20.25370 (1/m)



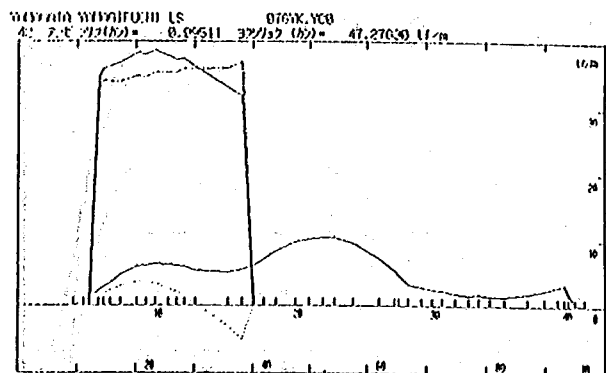
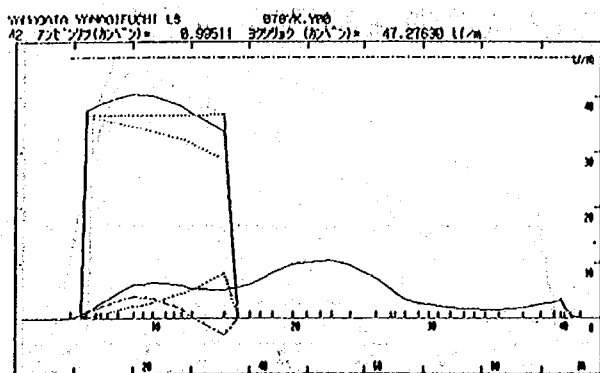
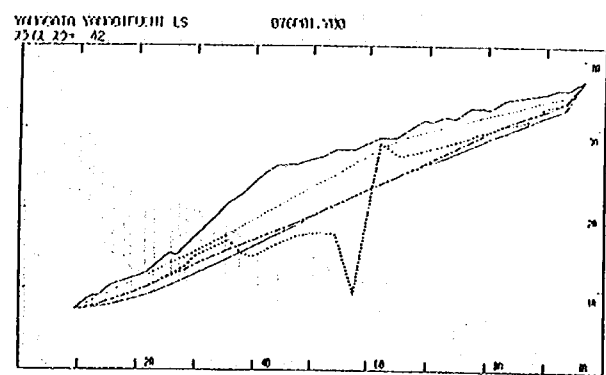
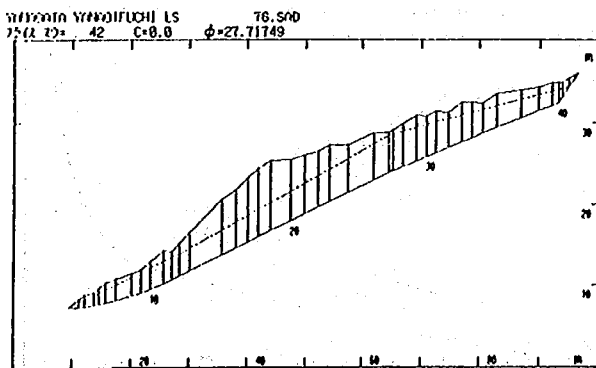
НИЖНИЙ ОЦЕНКА ЛАВСЛИД 04001.000
20 75/12 20 (0.94482 37/12) = 20.25370 (1/m)



[5]

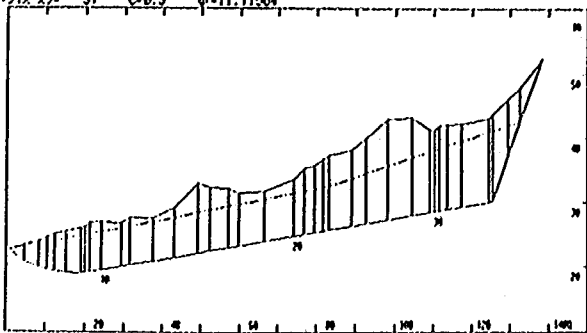


[6]

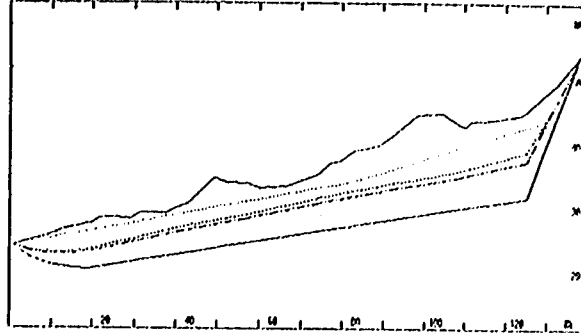


[9]

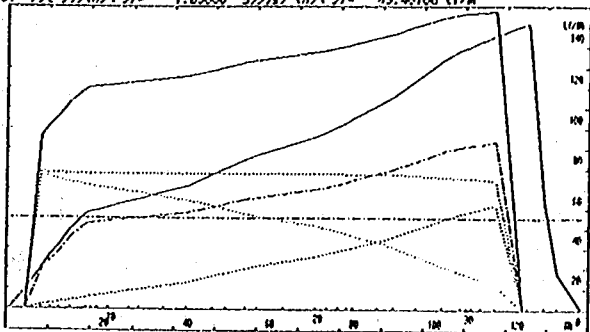
091001.Y00
01.540
37 27 37 C=0.5 $\phi=11.7704$



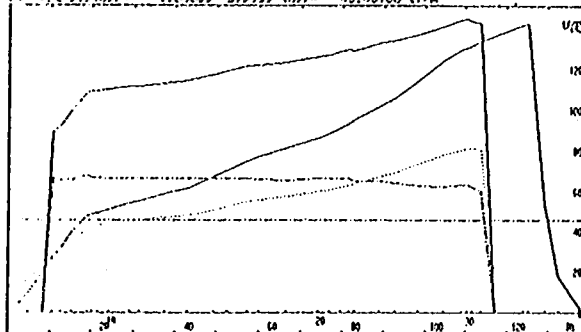
091001.Y00
01.540
37 27 37



091001.Y00
01.540
37 27 37 C=0.5 $\phi=11.7704$

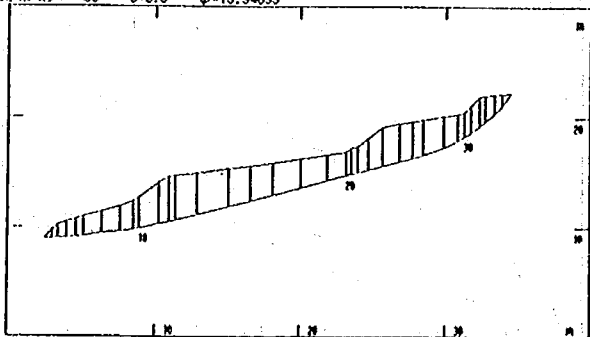


091001.Y00
01.540
37 27 37 C=0.5 $\phi=11.7704$

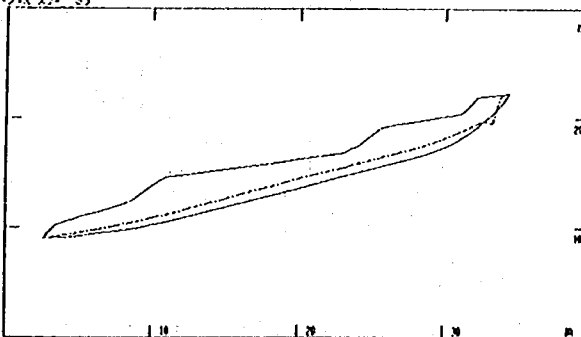


[10]

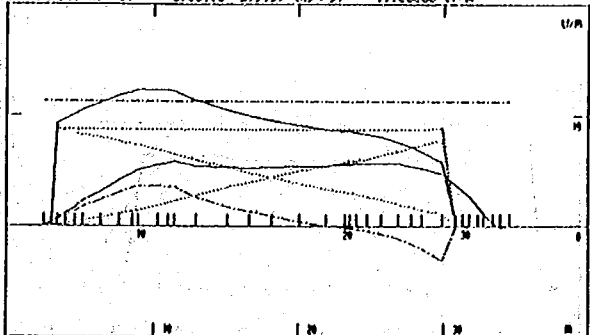
093001.Y00
03.500
35 27 35 C=0.5 $\phi=13.94035$



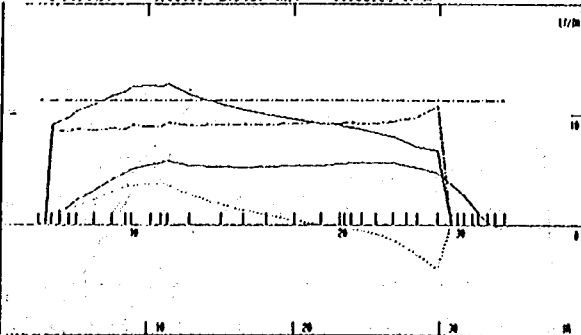
093001.Y00
03.500
35 27 35



093001.Y00
03.500
35 27 35 C=0.5 $\phi=13.94035$

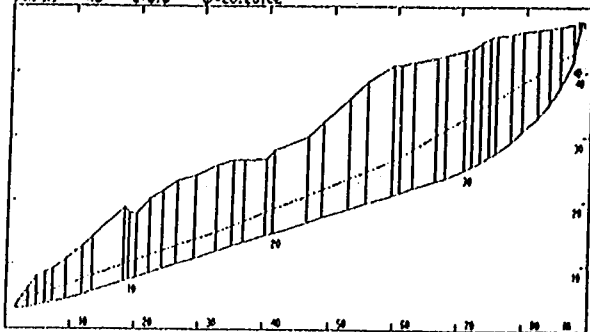


093001.Y00
03.500
35 27 35 C=0.5 $\phi=13.94035$

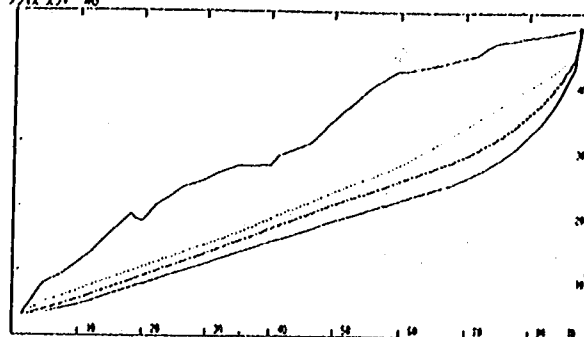


[1 1]

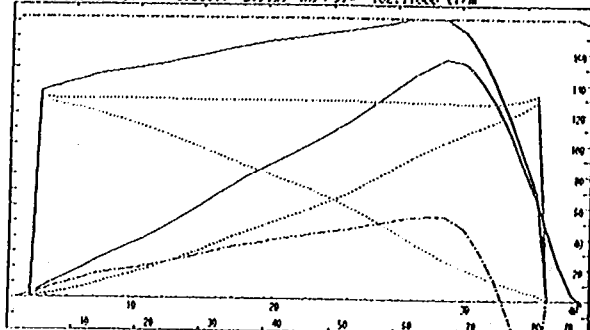
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 05.840
 27.12.20 40 C=0.5 $\phi=26.28762$



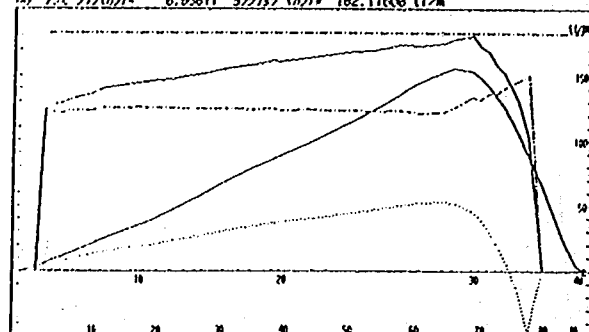
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 00501.000
 27.12.20 40



ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 00501.000
 40 $\Gamma_{\text{с}} \cdot \Gamma_{\text{с}}(h) = 0.95877$ $377/32 (h) = 102.17000$ (1/м)

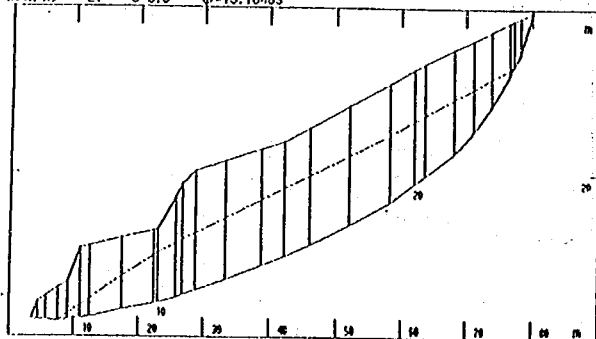


ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 00501.000
 40 $\Gamma_{\text{с}} \cdot \Gamma_{\text{с}}(h) = 0.95877$ $377/32 (h) = 102.17000$ (1/м)

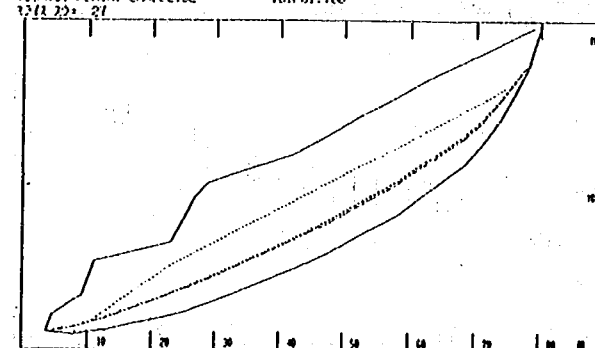


[1 2]

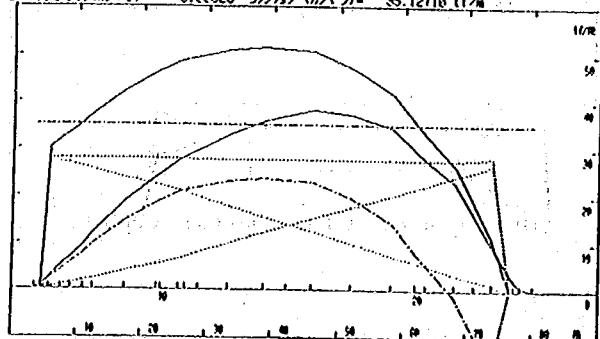
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 101.840
 27.12.20 27 C=0.5 $\phi=13.18483$



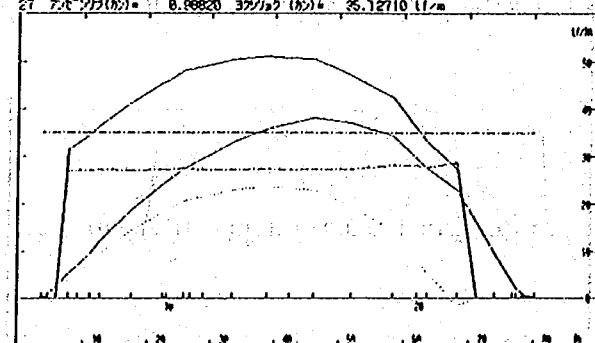
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 10101.000
 27.12.20 27



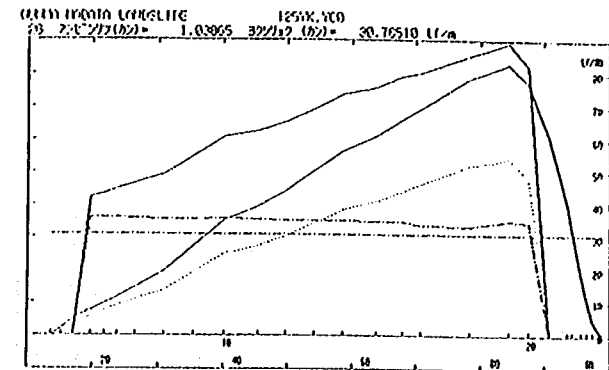
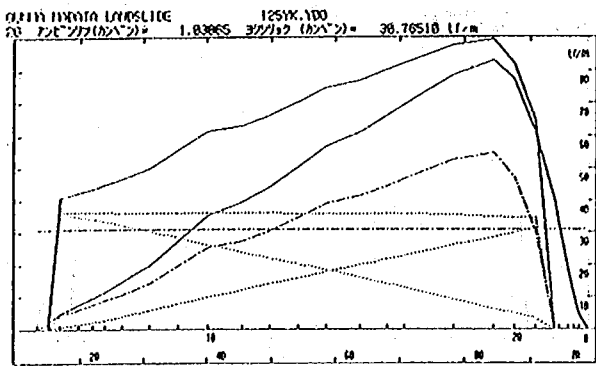
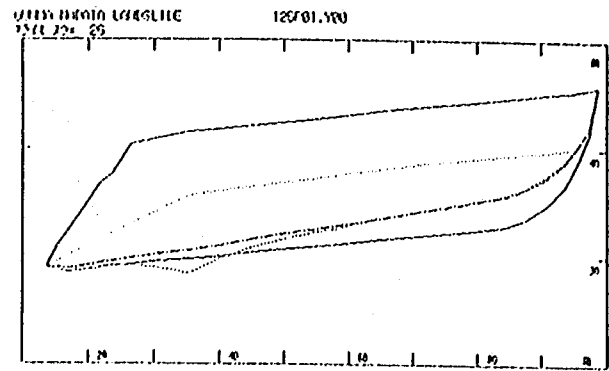
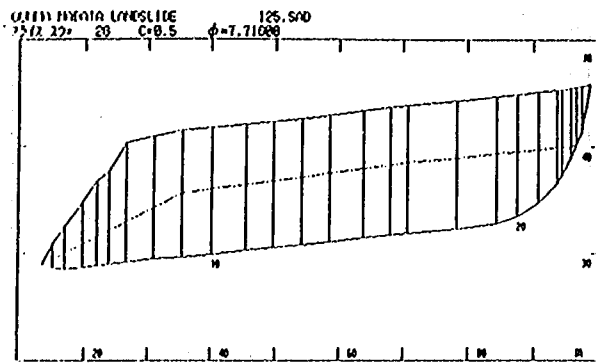
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 10101.000
 27 $\Gamma_{\text{с}} \cdot \Gamma_{\text{с}}(h) = 0.99820$ $377/32 (h) = 35.12710$ (1/м)



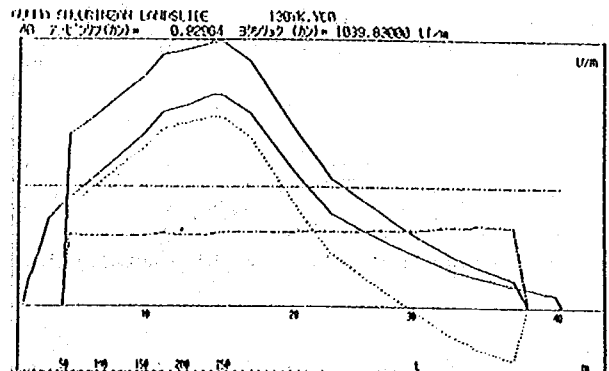
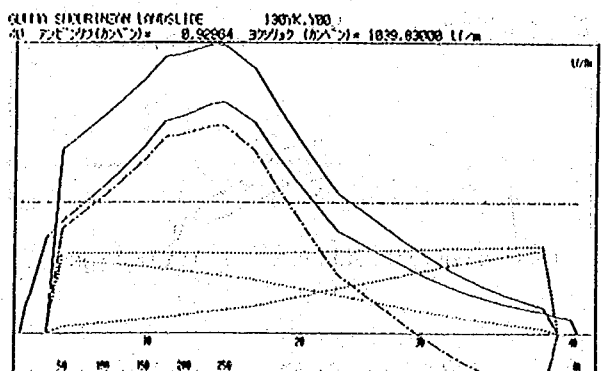
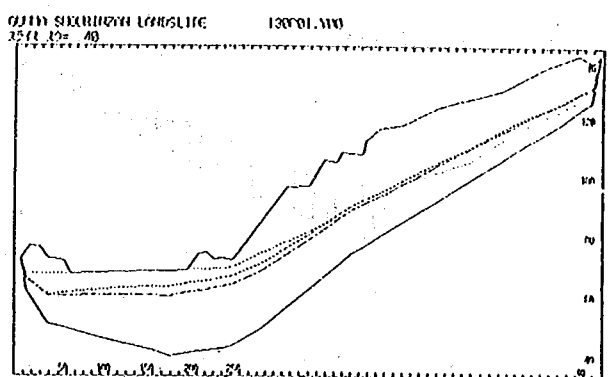
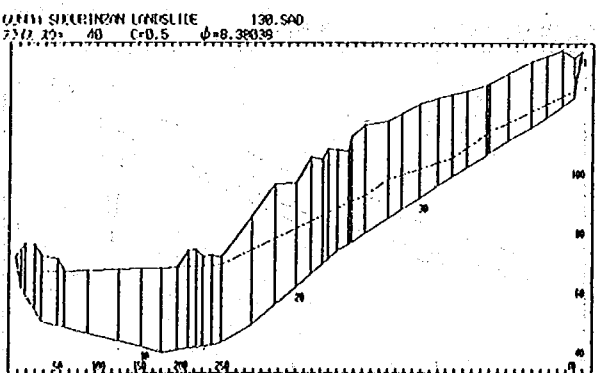
ИЗЫСКИ КУЛЬТУРИ УЧАСЛИК 10101.000
 27 $\Gamma_{\text{с}} \cdot \Gamma_{\text{с}}(h) = 0.99820$ $377/32 (h) = 35.12710$ (1/м)



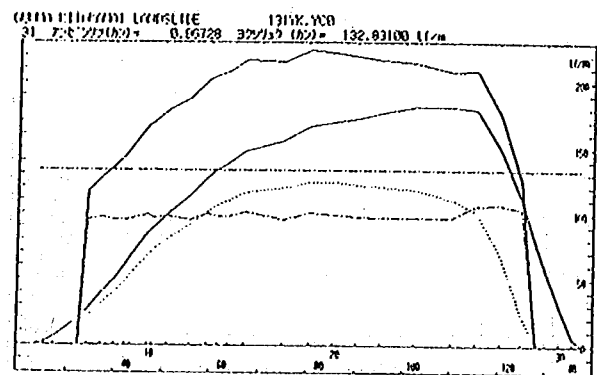
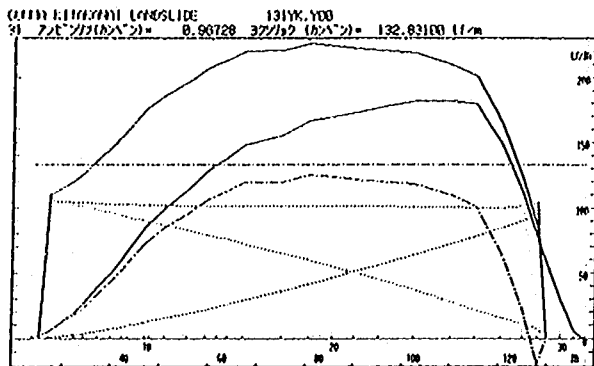
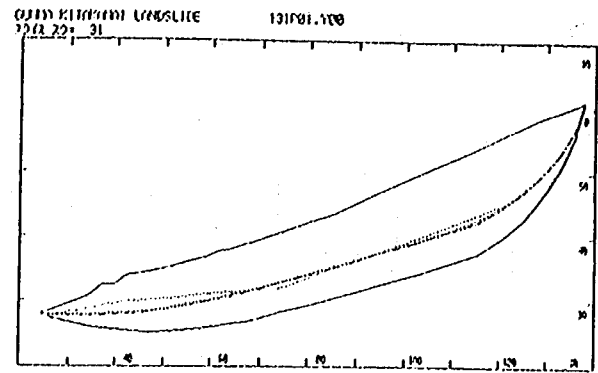
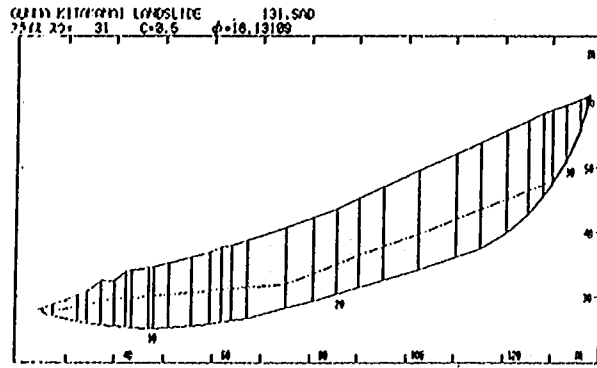
[1 3]



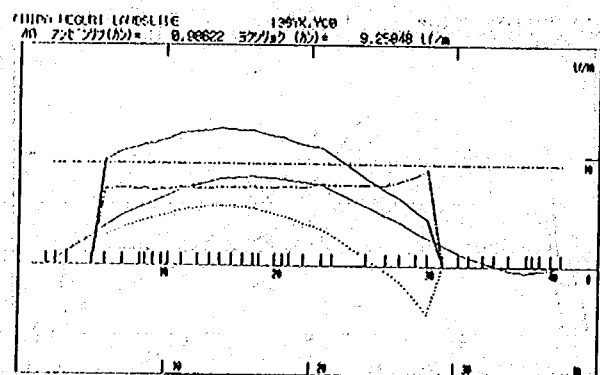
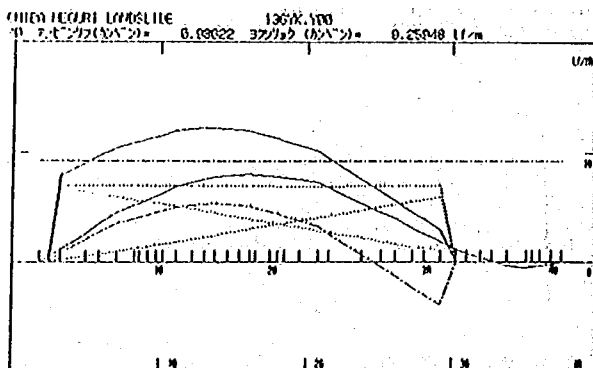
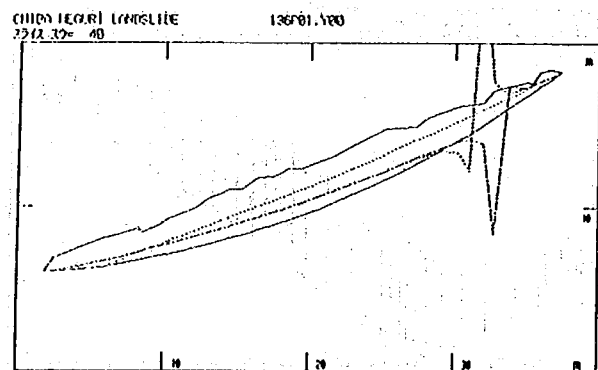
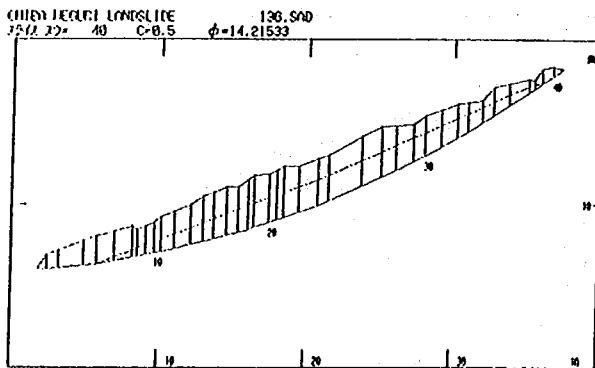
[1 4]



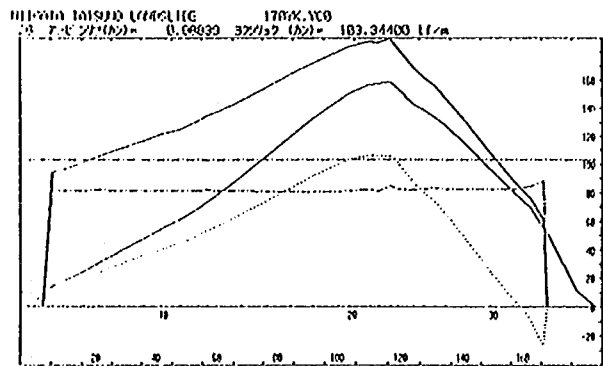
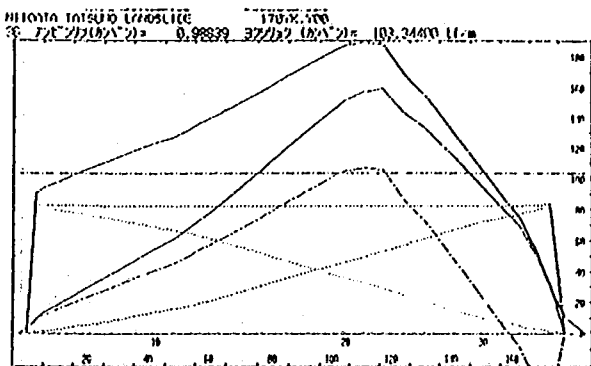
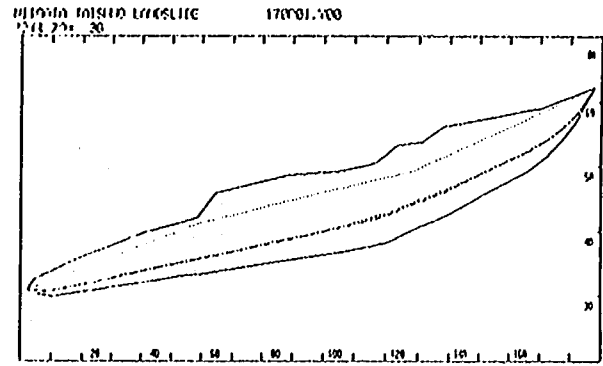
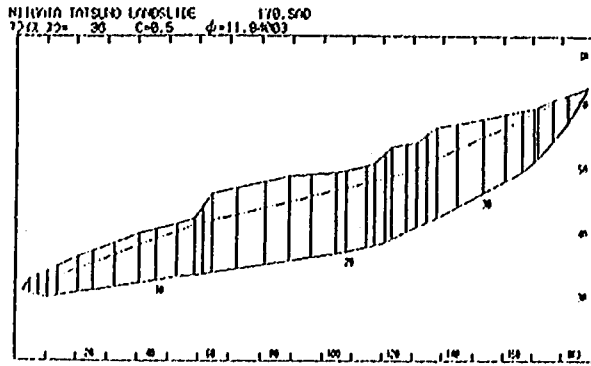
[1 5]



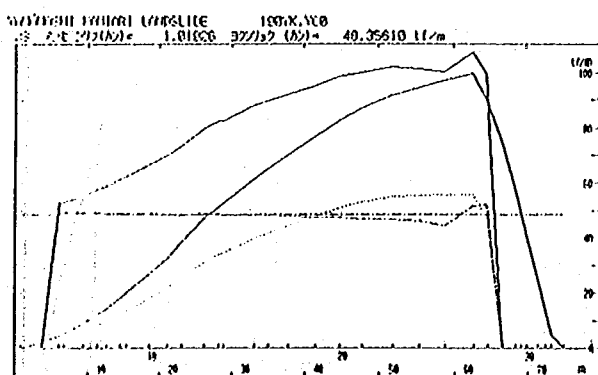
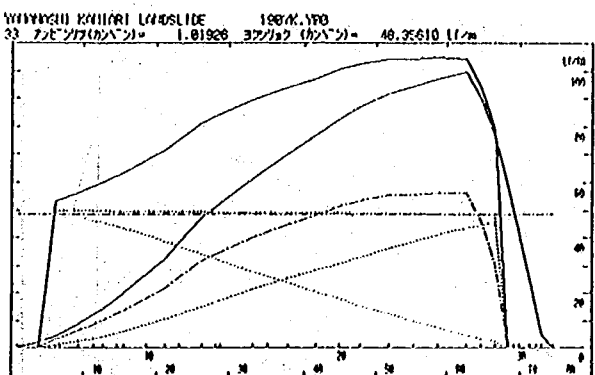
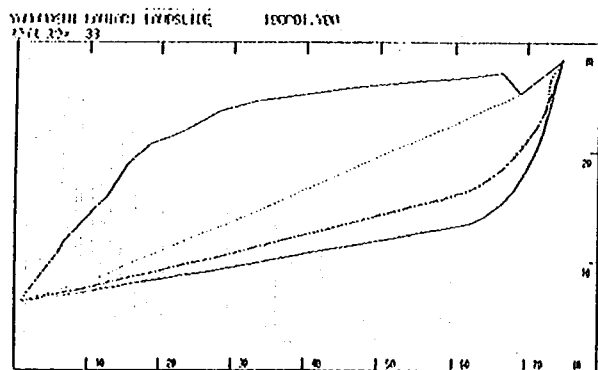
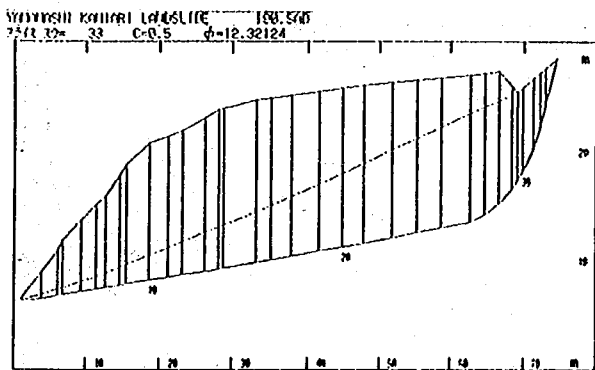
[1 6]



[1 7]

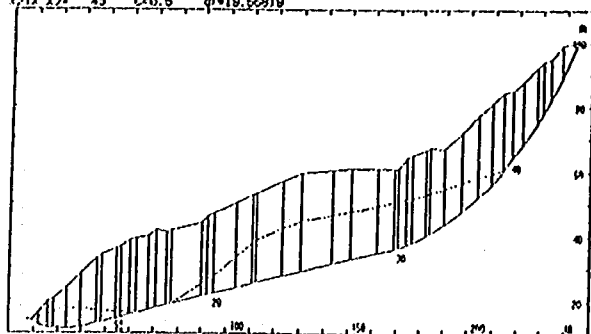


[1 8]

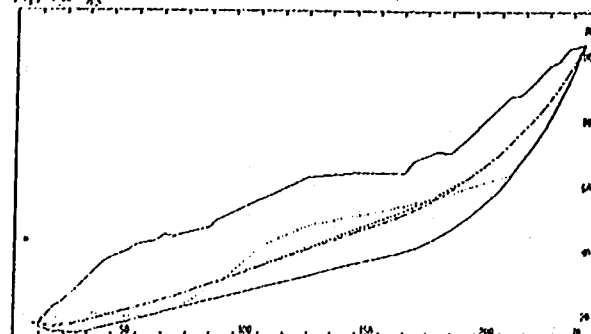


[1 9]

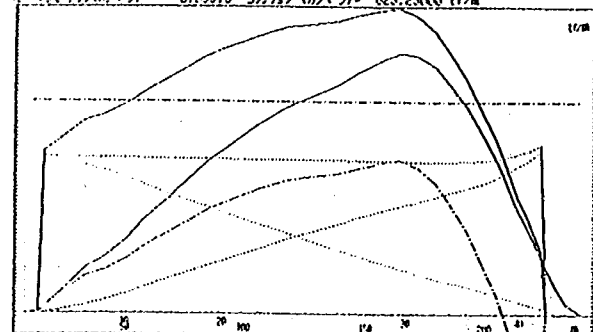
1950K.VCO
195.940
45 22° 45' C=0.5 $\phi=19.66819$



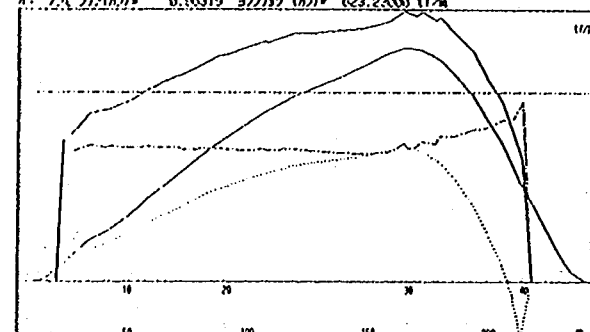
1950K.VCO
195.940
45 22° 45' C=0.5 $\phi=19.66819$



1950K.VCO
195.940
45 22° 45' C=0.5 $\phi=19.66819$

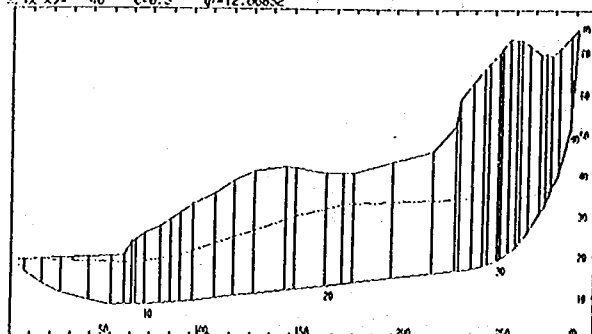


1950K.VCO
195.940
45 22° 45' C=0.5 $\phi=19.66819$

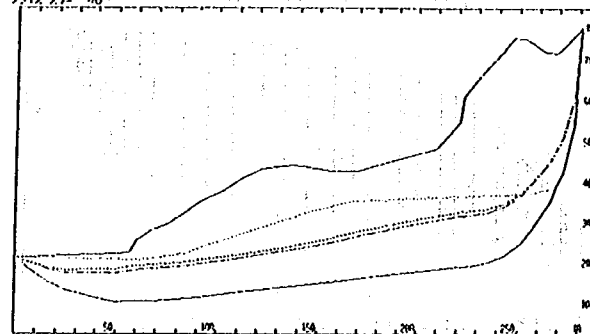


[2 0]

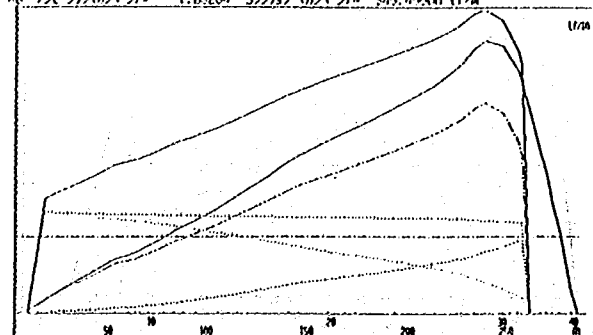
249K.VCO
249.540
40 22° 40' C=0.5 $\phi=12.66852$



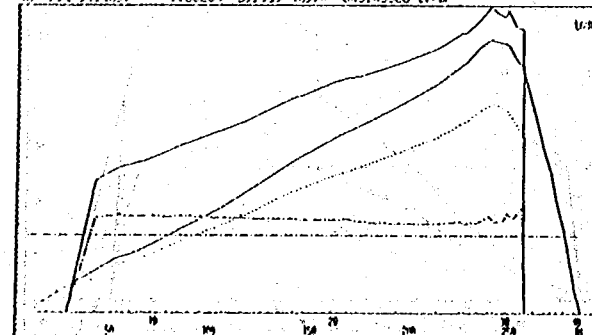
249K.VCO
249.540
40 22° 40' C=0.5 $\phi=12.66852$



249K.VCO
249.540
40 22° 40' C=0.5 $\phi=12.66852$

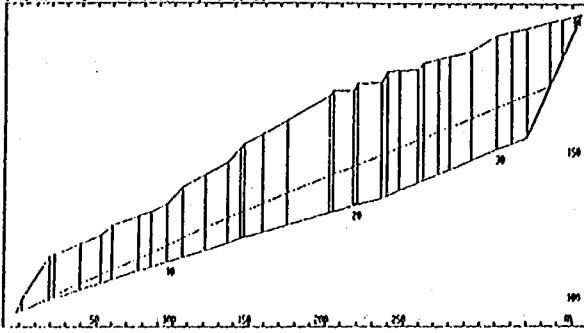


249K.VCO
249.540
40 22° 40' C=0.5 $\phi=12.66852$

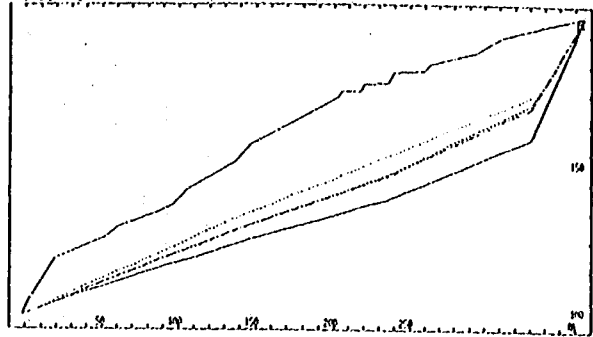


[2 1]

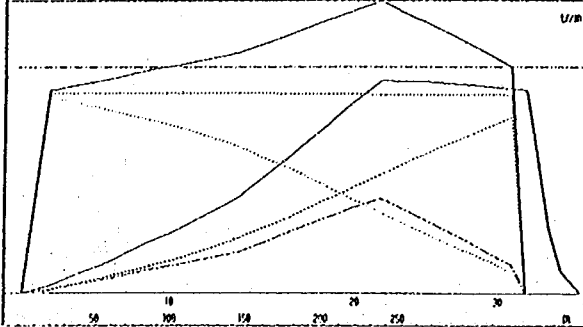
SHIHOYA INVERSE LANDSLIDE 250K.Y00
24 7.2° 22' 34" C=0.5 $\phi=14.67897$



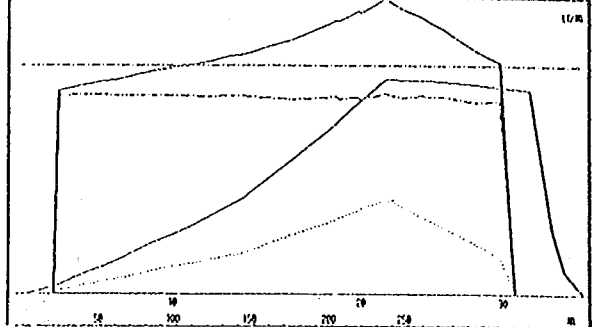
SHIHOYA INVERSE LANDSLIDE 250K.Y00
24 7.2° 22' 34" C=0.5 $\phi=14.67897$



SHIHOYA INVERSE LANDSLIDE 250K.Y00
24 7.2° 22' 34" C=0.5 $\phi=14.67897$

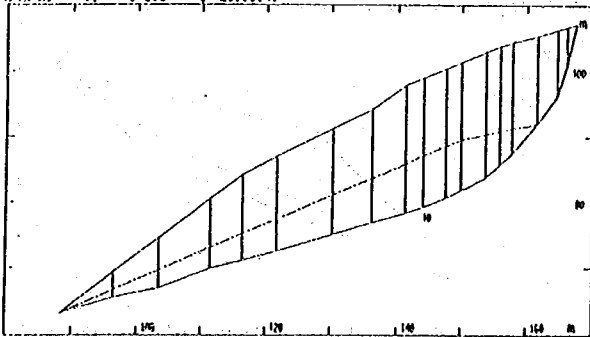


SHIHOYA INVERSE LANDSLIDE 250K.Y00
24 7.2° 22' 34" C=0.5 $\phi=14.67897$

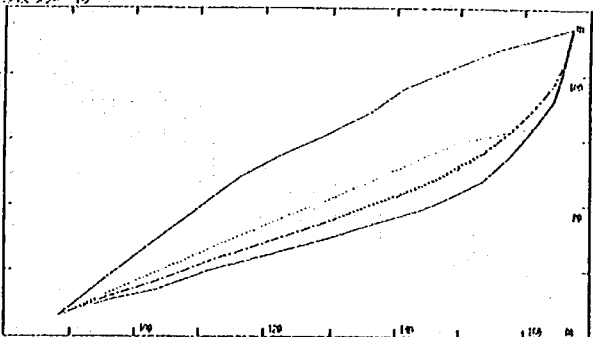


[2 2]

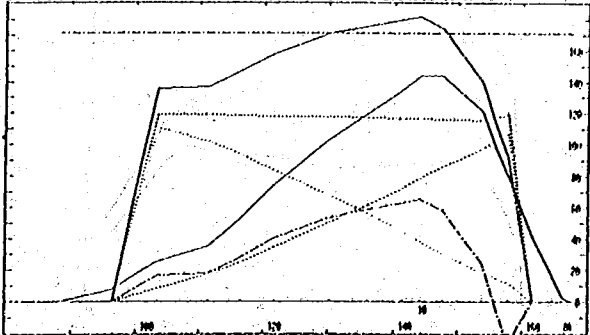
TOHOKU YUOCHI LANDSLIDE 300K.Y00
18 7.2° 22' 18" C=0.5 $\phi=26.86841$



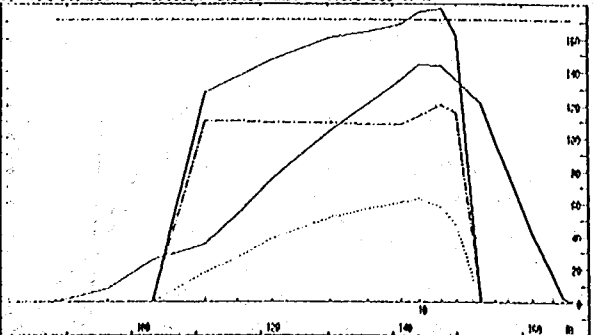
TOHOKU YUOCHI LANDSLIDE 300K.Y00
18 7.2° 22' 18" C=0.5 $\phi=26.86841$



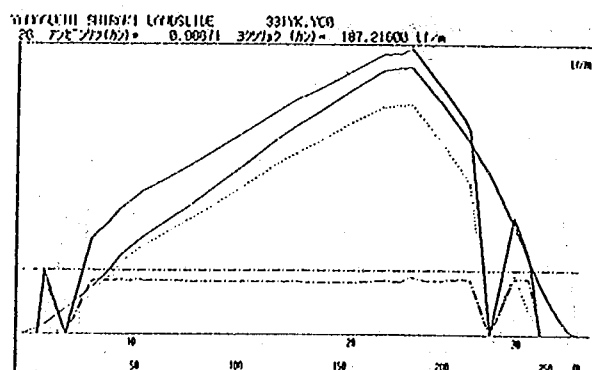
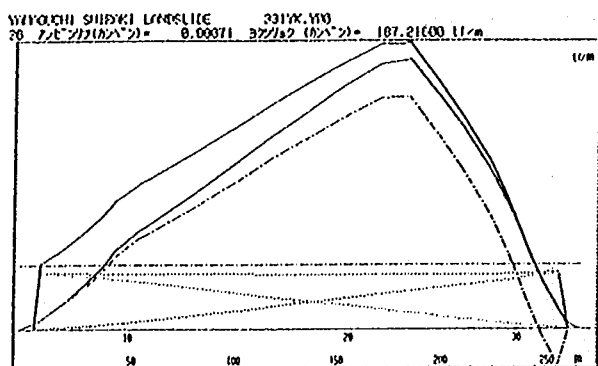
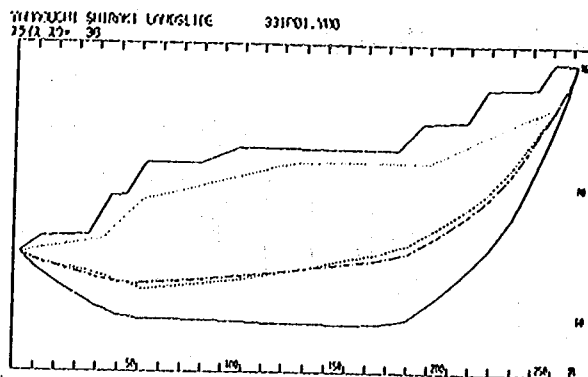
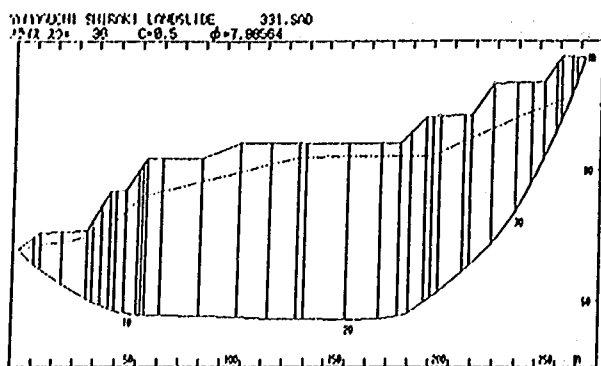
TOHOKU YUOCHI LANDSLIDE 300K.Y00
18 7.2° 22' 18" C=0.5 $\phi=26.86841$



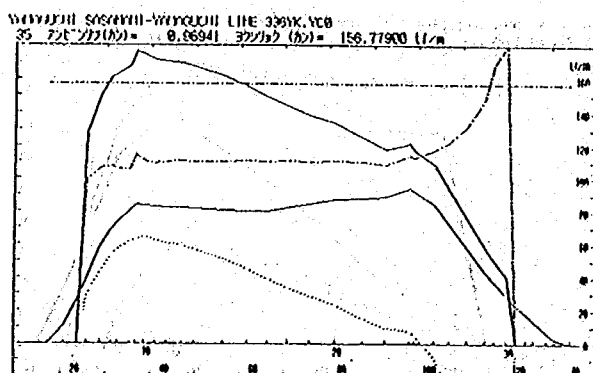
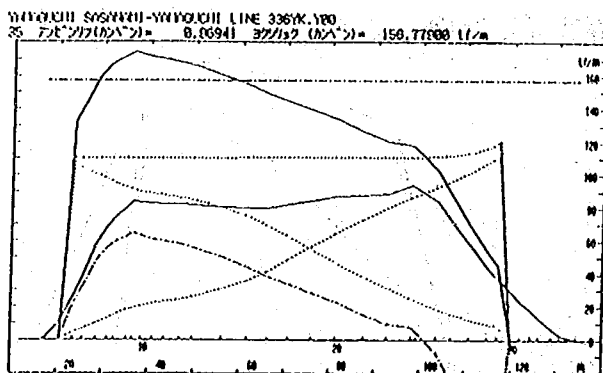
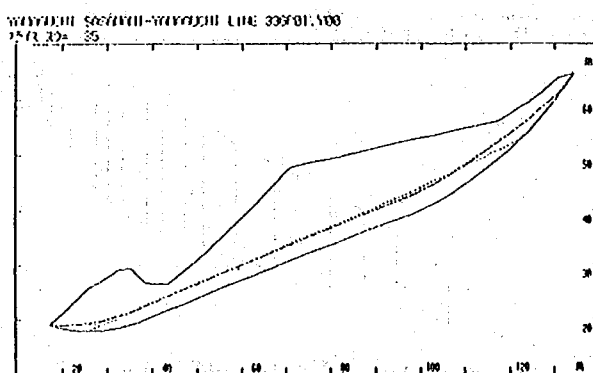
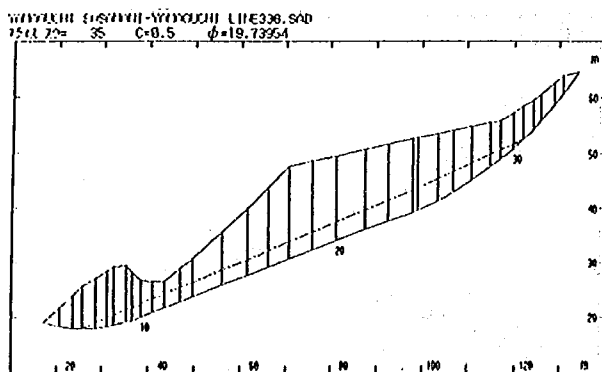
TOHOKU YUOCHI LANDSLIDE 300K.Y00
18 7.2° 22' 18" C=0.5 $\phi=26.86841$



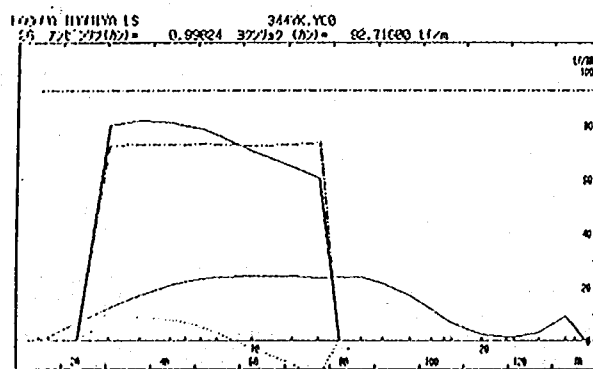
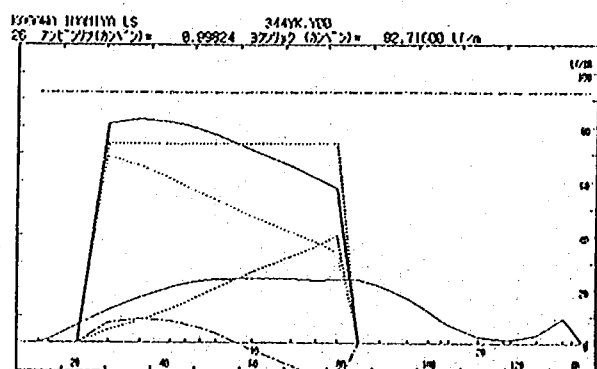
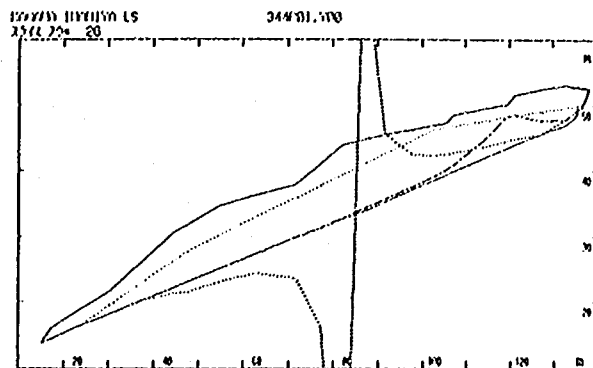
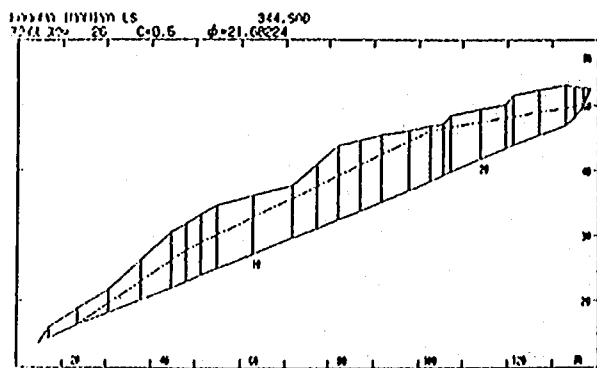
[2 3]



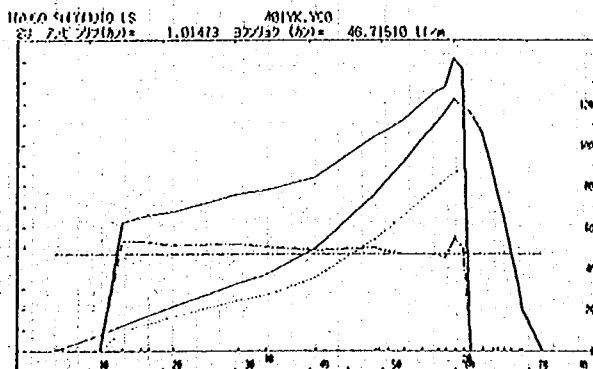
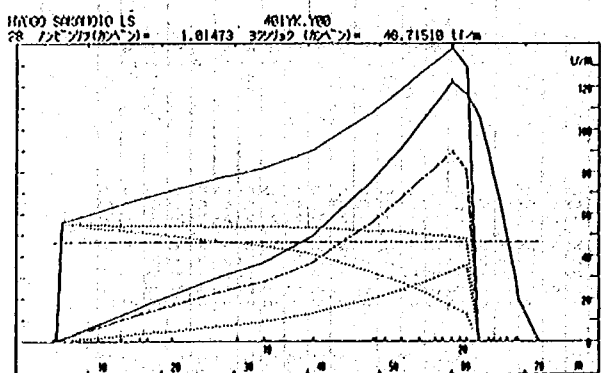
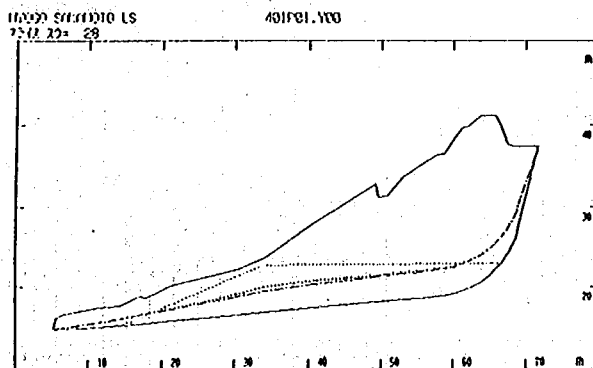
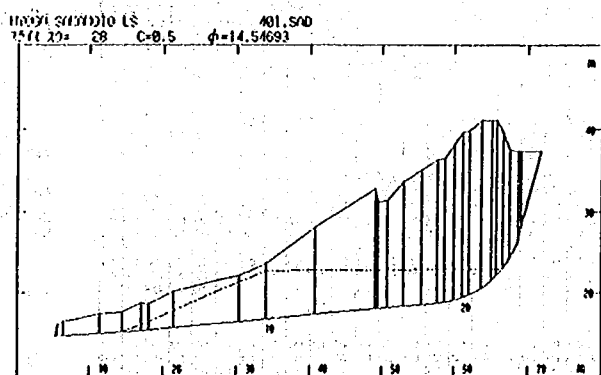
[2 4]



[2 5]



[2 6]



ファイル名	F_K	F_M/F_K	Y_K	全数	n	Y_{MAX}	$ Y_{MAX}-Y_M $	$Y_M\%$	Y_{MIN}	$ Y_{MIN}-Y_M $	$Y_M\%$	Y_M	標準偏差	Y_M/Y_K
1 013YK.Y00	0.99088	1.00920	161.75700	38	28	131.47200	0.46992	130.33700	0.39743	130.85700	0.31226	0.80897		
2 022YK.Y00	1.03583	0.96541	118.99000	35	28	136.81400	1.11423	132.64200	1.96914	135.30600	1.19059	1.13712		
3 040YK.Y00	0.96384	1.03752	20.35970	25	18	15.04560	1.32134	14.69110	1.06596	14.84940	0.11033	0.72935		
4 045YK.Y00	0.94492	1.05830	20.25370	29	22	14.12810	2.52895	13.61060	1.22659	13.77960	0.16227	0.68035		
5 049YK.Y00	0.95660	1.04537	18.83610	31	20	13.05430	2.22898	12.61590	1.20416	12.76970	0.13595	0.67794		
6 075YK.Y00	0.99511	1.00492	47.27630	43	12	36.72250	0.11890	36.65140	0.07494	36.67890	0.02412	0.77584		
7 087YK.Y00	0.98957	1.01055	164.51200	43	34	133.66300	0.72160	132.07300	0.47655	132.70500	0.53456	0.80666		
8 090YK.Y00	1.01153	0.98860	266.87500	45	37	269.65600	1.87074	259.29400	2.04382	264.70400	3.09845	0.99187		
9 091YK.Y00	1.05868	0.94457	45.46760	38	31	68.56150	2.29508	64.17790	4.24533	67.02330	1.03857	1.47409		
10 093YK.Y00	0.99130	1.00878	11.30500	36	17	8.80799	0.47742	8.73855	0.31472	8.76614	0.02018	0.77542		
11 095YK.Y00	0.96877	1.03224	182.17600	41	32	130.07200	0.93147	127.39100	1.14891	128.87200	0.82508	0.70740		
12 101YK.Y00	0.98820	1.01194	35.12710	28	19	27.94170	0.58396	27.68630	0.33543	27.77950	0.07090	0.79083		
13 125YK.Y00	1.03865	0.96279	30.76510	27	19	36.14620	1.42823	34.36780	3.56205	35.63720	0.49339	1.15837		
14 130YK.Y00	0.92964	1.07569	1039.83000	41	24	662.86600	2.90497	635.27100	1.37895	644.15400	9.21028	0.61948		
15 131YK.Y00	0.96728	1.03383	132.83100	32	25	105.15200	3.45703	99.70600	1.90119	101.63800	1.29426	0.76517		
16 136YK.Y00	0.98622	1.01397	9.25948	41	24	7.01278	0.70133	6.92741	0.52456	6.96394	0.02222	0.75209		
17 170YK.Y00	0.98839	1.01174	103.34400	37	29	82.77690	0.46798	82.10920	0.34242	82.39130	0.20294	0.79725		
18 190YK.Y00	1.01926	0.98110	48.35610	34	25	49.86540	1.40164	47.97950	2.43335	49.17610	0.53806	1.01696		
19 195YK.Y00	0.96319	1.03822	623.23000	46	36	462.73200	2.23101	446.36500	1.38494	452.63400	4.18117	0.72627		
20 249YK.Y00	1.03264	0.96839	346.45600	41	32	458.31800	6.17019	408.37900	5.39827	431.68200	13.23710	1.24599		
21 250YK.Y00	1.00233	0.99768	812.10300	35	29	716.68900	0.42816	705.91700	1.08130	713.63400	2.91678	0.87875		
22 306YK.Y00	0.96094	1.04065	170.94800	19	11	118.99900	1.47444	115.51300	1.49819	117.27000	1.17682	0.68600		
23 331YK.Y00	0.98671	1.01347	187.21600	37	29	164.06700	2.86502	157.19400	1.44415	159.49700	1.79829	0.85194		
24 336YK.Y00	0.96941	1.03156	156.77900	36	22	110.91000	0.47238	109.94800	0.39909	110.38900	0.34218	0.70410		
25 344YK.Y00	0.99824	1.00176	92.71600	27	6	73.85330	0.00101	73.85180	0.00102	73.85260	0.00055	0.79655		
26 401YK.Y00	1.01473	0.98548	46.71510	29	19	55.12710	5.66055	48.16770	7.67833	52.17380	2.34087	1.11685		
27 512YK.Y00	0.94010	1.06372	22.40650	25	18	15.15500	1.31543	14.83050	0.85328	14.95820	0.10196	0.66759		
28 513YK.Y00	1.00223	0.99778	280.05300	45	37	269.89800	1.78524	260.88000	1.61567	265.16400	2.60969	0.94684		
29 514YK.Y00	1.03628	0.96499	52.67410	38	31	69.34340	2.36411	64.92720	4.15504	67.74190	1.12900	1.28606		
30 515YK.Y00	0.92867	1.07681	1043.54000	41	24	663.75000	3.01744	634.94400	1.45341	644.30800	9.54221	0.61743		
31 516YK.Y00	0.96062	1.04100	136.63200	32	25	105.50300	3.57634	100.06000	1.76726	101.86000	1.30944	0.74551		
32 517YK.Y00	1.01185	0.98829	50.33810	34	25	50.42280	1.50796	48.79490	1.76922	49.67370	0.48763	0.98680		
33 518YK.Y00	0.99244	1.00762	52.33550	29	20	56.81240	7.18998	48.69900	8.11786	53.00160	2.93197	1.01273		
34 521YK.Y00	0.99724	1.00277	156.83900	38	27	131.05800	0.43944	129.77800	0.54152	130.48500	0.36112	0.83197		
35 522YK.Y00	0.98496	1.01527	18.53870	25	18	15.01410	1.72135	14.41570	2.33285	14.76000	0.19106	0.79617		
36 523YK.Y00	1.03721	0.96413	230.52000	45	36	269.88000	2.47696	246.13700	6.53857	263.35700	6.51731	1.14245		
37 524YK.Y00	1.07890	0.92687	38.96080	38	31	68.04700	2.49761	63.01320	5.08468	66.38890	1.14364	1.70399		
38 525YK.Y00	0.93505	1.06946	1019.01000	41	25	658.20600	2.48438	634.64500	1.18412	642.25000	7.48883	0.63027		
39 526YK.Y00	0.97980	1.02062	125.68700	32	25	104.59200	3.35322	98.22670	2.93669	101.19900	1.49971	0.80516		
40 527YK.Y00	1.02648	0.97420	46.42420	34	25	48.91300	1.59934	44.82460	6.89285	48.14300	1.04239	1.03702		
41 528YK.Y00	1.04943	0.95290	37.96410	29	17	53.13520	4.60415	46.39760	8.65977	50.79650	2.02675	1.33801		
42 533YK.Y00	1.05185	0.95071	209.79300	45	34	271.04800	2.80050	238.00500	9.73173	263.66400	8.49654	1.25678		
43 534YK.Y00	1.09664	0.91188	33.25380	38	30	67.79460	2.80045	62.56690	5.12659	65.94780	1.27249	1.98316		
44 535YK.Y00	0.93839	1.06566	1006.19000	41	25	655.52100	2.23164	634.49400	1.04762	641.21200	6.64324	0.63727		
45 536YK.Y00	0.99540	1.00462	116.78100	32	24	104.34700	3.51398	92.50040	8.23805	100.80500	2.56224	0.86320		
46 537YK.Y00	1.01883	0.98152	48.47270	34	24	48.55600	2.96796	38.64100	18.05780	47.15640	2.41747	0.97285		
47 538YK.Y00	1.06928	0.93521	32.96050	29	15	52.67660	5.68287	43.44390	12.84030	49.84400	2.75622	1.51224		
48 542YK.Y00	1.00283	0.99718	16.99850	25	17	15.07300	2.47471	13.83450	5.94530	14.70900	0.35588	0.86531		
49 543YK.Y00	1.05814	0.94505	200.88400	45	33	272.05700	2.97856	235.39300	10.89940	264.18800	9.40829	1.31513		
50 544YK.Y00	1.11145	0.89973	28.49120	38	29	67.82740	3.43849	61.26890	6.56339	65.57270	1.68215	2.30151		
51 545YK.Y00	0.94194	1.06164	992.51000	41	25	652.76200	1.97011	633.65300	1.01497	640.15000	5.83414	0.64498		
52 546YK.Y00	1.00226	0.99775	112.86300	32	24	104.80100	4.45239	82.49220	17.78220	100.33400	4.86110	0.88899		
53 548YK.Y00	1.07041	0.93422	32.67530	29	14	53.31780	7.21116	41.71990	16.10980	49.73160	3.62943	1.52199		

付表3-1 考え方1による抑止力一覧表
(ここには付録5で計算した値とその他全て含めてある。)

ファイル名	F _K	F _M /F _K	Y _K	全数	n	Y _{MAX}	Y _{MAX} -Y _M		Y _{MIN}	Y _{MIN} -Y _M		Y _M	標準偏差	Y _M /Y _K
							Y _M	%		Y _M	%			
1 013YK.YC0	0.99088	1.00920	161.75700	38	28	136.53900	4.95903	128.74000	1.03615	130.08800	2.16737	0.80422		
2 022YK.YC0	1.03583	0.96541	118.99000	35	27	141.46900	5.75823	129.58100	3.12891	133.76500	2.81514	1.12418		
3 040YK.YC0	0.96384	1.03752	20.35970	25	16	15.66160	7.74167	13.94710	4.05298	14.53630	0.47287	0.71397		
4 046YK.YC0	0.94492	1.05830	20.25370	29	22	15.02230	8.59266	13.01540	5.91475	13.83360	0.66520	0.68302		
5 049YK.YC0	0.95660	1.04537	18.83610	31	20	13.24440	8.89125	10.88330	10.52100	12.16300	0.79844	0.64573		
6 076YK.YC0	0.99511	1.00492	47.27630	43	11	35.97820	3.52669	32.82840	5.53681	34.75260	0.93033	0.73510		
7 087YK.YC0	0.98957	1.01055	164.51200	43	33	138.00400	3.97916	129.40800	2.49749	132.72300	2.17344	0.80677		
8 090YK.YC0	1.01153	0.98860	266.87500	45	34	289.18800	10.68540	248.65800	4.82727	261.27000	8.75753	0.97900		
9 091YK.YC0	1.05868	0.94457	45.46760	38	29	67.37760	3.48371	59.95440	7.91742	65.10940	1.67838	1.43200		
10 093YK.YC0	0.99130	1.00878	11.30500	36	17	9.23871	4.00927	8.51134	4.17945	8.88258	0.24230	0.78572		
11 095YK.YC0	0.96877	1.03224	182.17600	41	32	139.95500	11.42370	119.52900	4.83822	125.60600	4.76100	0.68948		
12 101YK.YC0	0.98820	1.01194	35.12710	28	18	28.22950	2.86571	27.02610	1.51937	27.44310	0.33646	0.78125		
13 125YK.YC0	1.03865	0.96279	30.76510	27	17	35.82170	2.17080	33.32550	4.94887	35.06060	0.67375	1.13962		
14 130YK.YC0	0.92964	1.07569	1039.83000	41	23	664.98300	3.58954	612.86600	4.52912	641.94000	16.36150	0.61735		
15 131YK.YC0	0.96728	1.03383	132.83100	32	23	106.95100	8.65205	95.56740	2.91260	98.43440	3.14188	0.74105		
16 136YK.YC0	0.98622	1.01397	9.25948	41	22	7.44564	5.46849	6.85391	2.91345	7.05959	0.15327	0.76242		
17 170YK.YC0	0.98839	1.01174	103.34400	37	28	84.43300	3.34231	80.58290	1.37004	81.70230	0.86820	0.79059		
18 190YK.YC0	1.01926	0.98110	48.35610	34	24	51.87530	7.27404	44.49420	7.98949	48.35770	1.49580	1.00003		
19 195YK.YC0	0.96319	1.03822	623.23000	46	34	529.80300	18.95940	414.03600	7.03437	445.36500	24.49230	0.71461		
20 249YK.YC0	1.03264	0.96839	346.45600	41	29	475.50200	12.52150	397.08100	6.03587	422.58800	16.14020	1.21974		
21 250YK.YC0	1.00233	0.99768	812.10300	35	27	713.16500	1.50483	685.16700	2.48013	702.59200	6.53044	0.86515		
22 306YK.YC0	0.96094	1.04065	170.94800	19	9	120.30200	8.05417	107.72000	3.24687	111.33500	3.91141	0.65128		
23 331YK.YC0	0.98671	1.01347	187.21600	37	27	168.78000	6.58109	152.15000	3.92041	158.35800	3.34140	0.84586		
24 336YK.YC0	0.96941	1.03156	156.77900	36	21	114.11100	4.33307	98.71240	9.74605	109.37200	3.26519	0.69762		
25 344YK.YC0	0.99824	1.00176	92.71600	27	6	73.03540	0.25523	72.60770	0.33187	72.84950	0.13067	0.78573		
26 401YK.YC0	1.01473	0.98548	46.71510	29	16	54.36620	9.30555	44.84310	9.84105	49.73780	2.56590	1.06471		

付表3-2 考え方2による抑止力一覧表

n : 全数のうち実際に採用した数値の数

F_K : 簡便法による安全率

F_M : M-P法による安全率 (この場合は $F_M=1.0$)

Y_K : 簡便法による抑止力

Y_M : M-P法による抑止力の平均値

Y_{MAX} : M-P法による抑止力のうち最大値

Y_{MIN} : M-P法による抑止力のうち最小値

4 考え方4の計算例

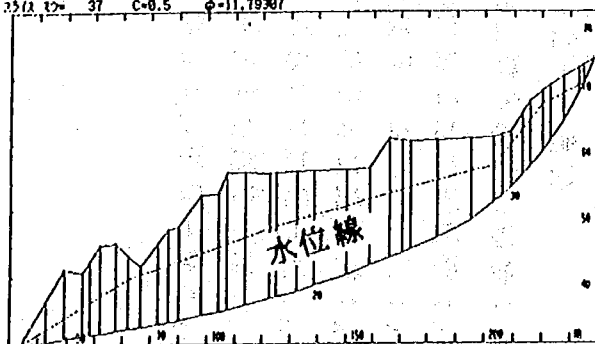
12の断面について、考え方4の方法で計算した結果を示す。左側が断面形、右側が抑止力図である。なお、断面8は収束しなかった。

断面	ファイル名	c tf/m ² (粘着力)	ϕ° (内部摩擦角)
1	013YK.S00	0.5	11.79307
2	022YK.S00	0.5	10.09054
3	040YK.S00	0.5	16.46828
4	046YK.S00	0.5	9.79664
5	049YK.S00	0.0	24.16005
6	076YK.S00	0.0	27.71749
7	087YK.S00	0.5	10.22264
8	090YK.S00	0.5	14.27515
9	091YK.S00	0.5	11.77504
10	093YK.S00	0.5	13.94635
13	125YK.S00	0.5	7.71608
15	131YK.S00	0.5	16.13109

凡 例

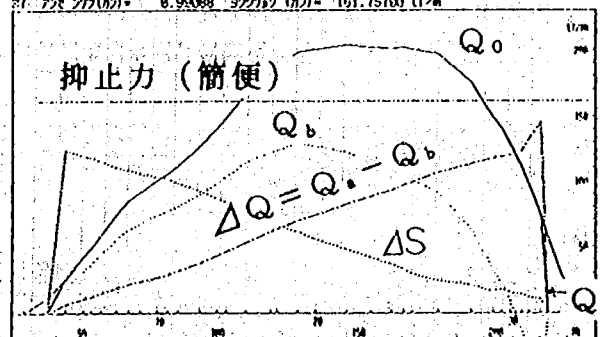
[1]

MODEL HIERZMAN LANDSLIDE 13.S40
25/12/97 C=0.5 $\phi=11.79307$

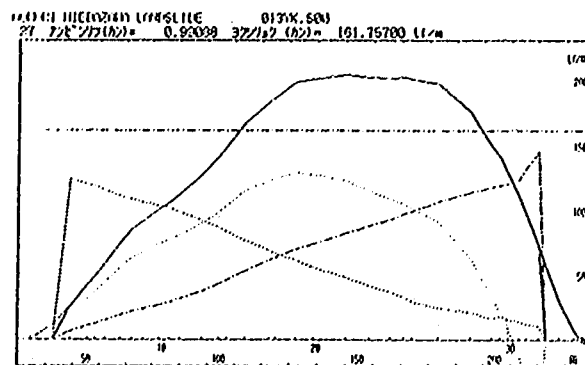
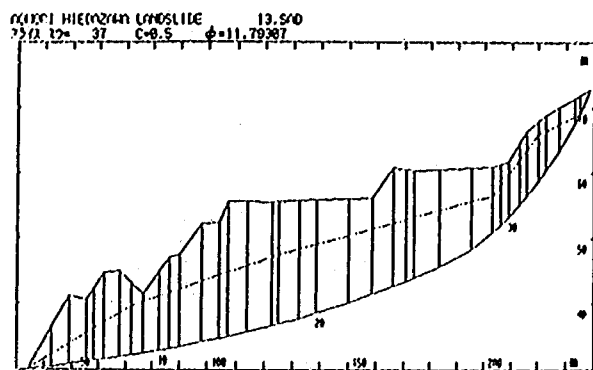


↑
断面形図

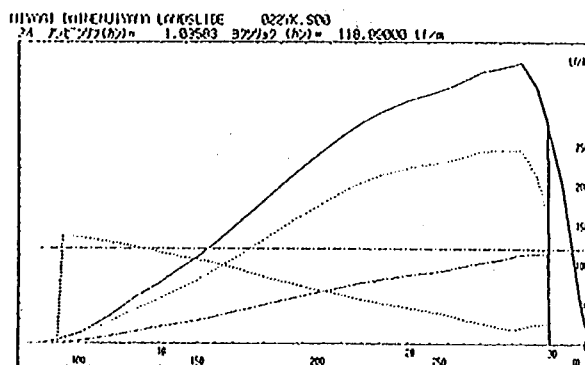
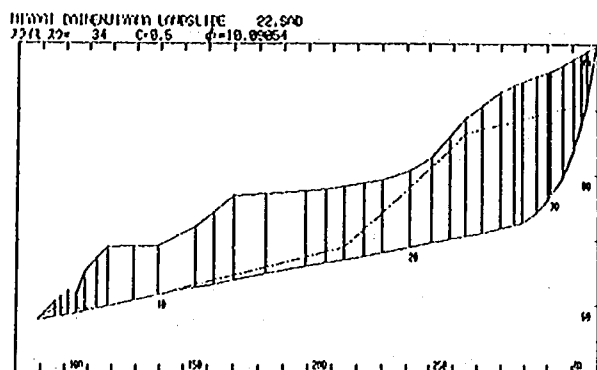
MODEL HIERZMAN LANDSLIDE 013YK.S00
25/12/97 C=0.5000 $\phi=11.79307$



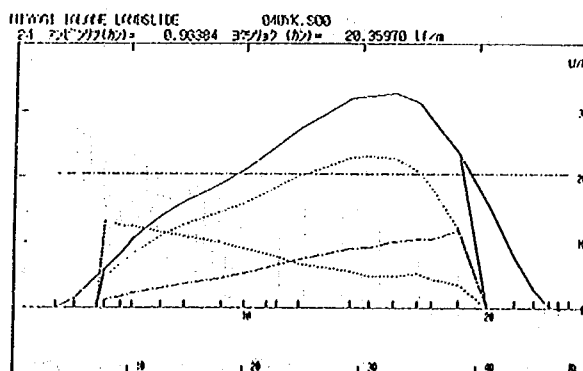
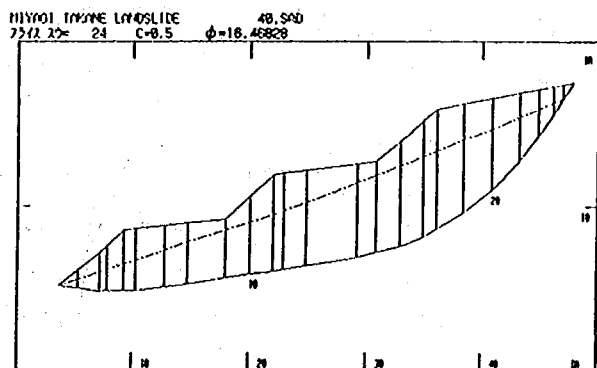
[1]



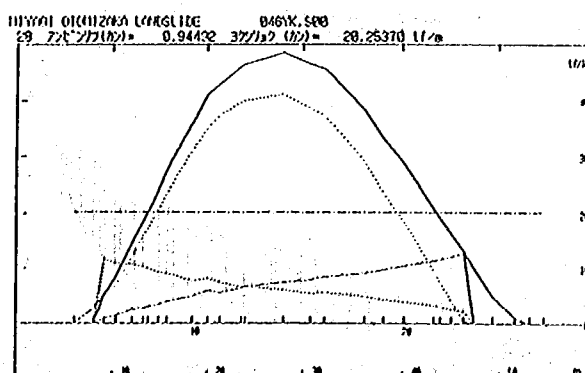
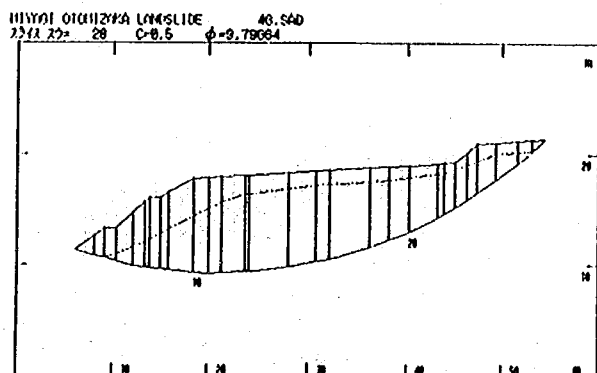
[2]



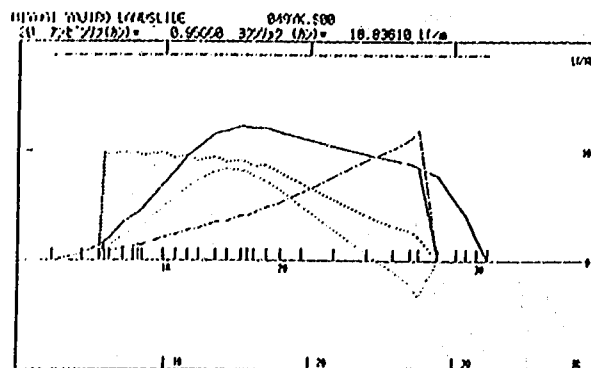
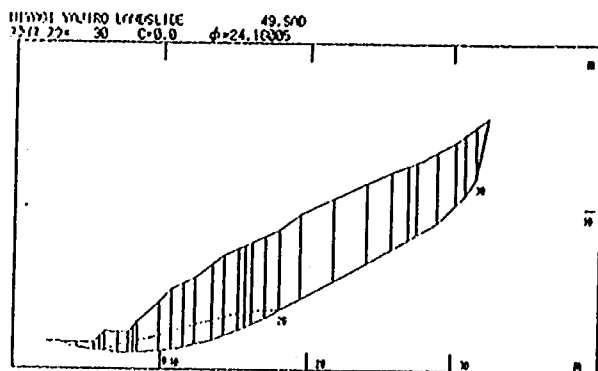
[3]



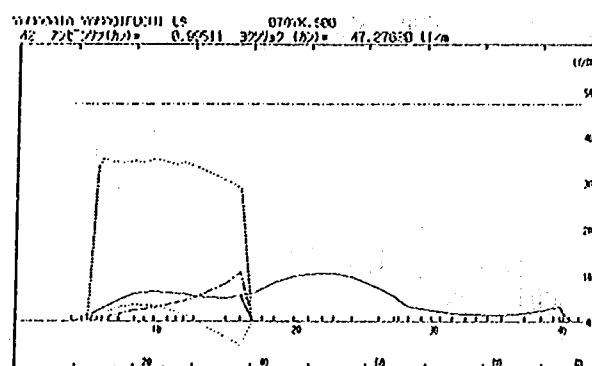
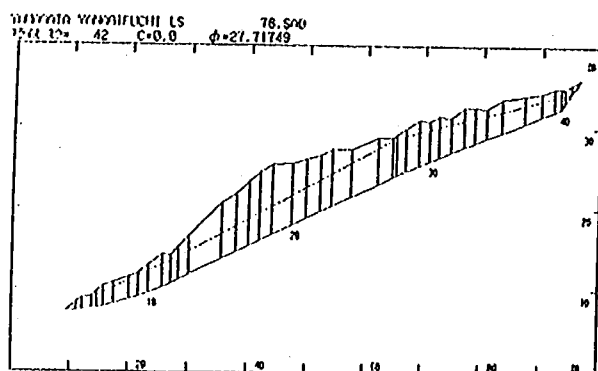
[4]



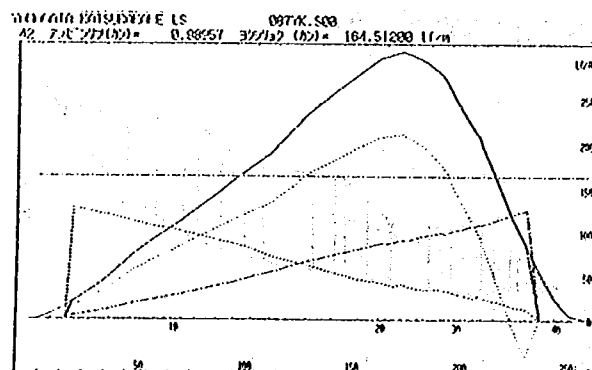
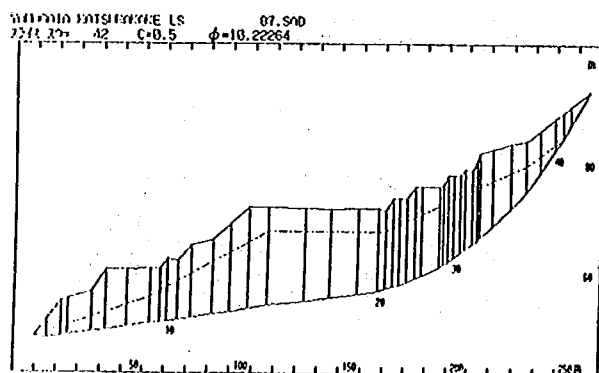
[5]



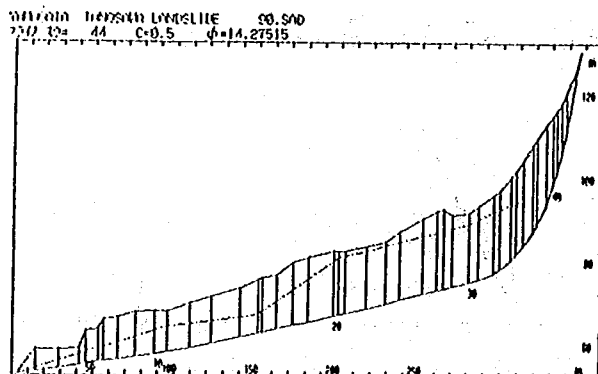
[6]



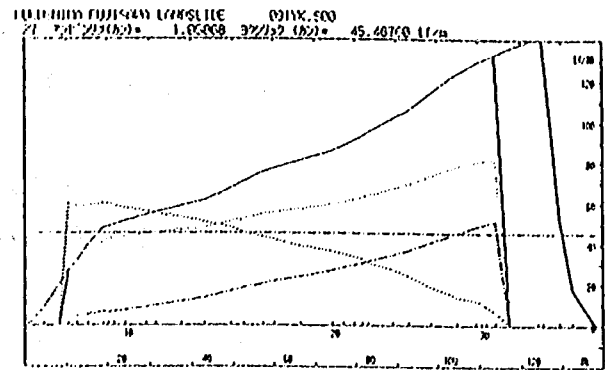
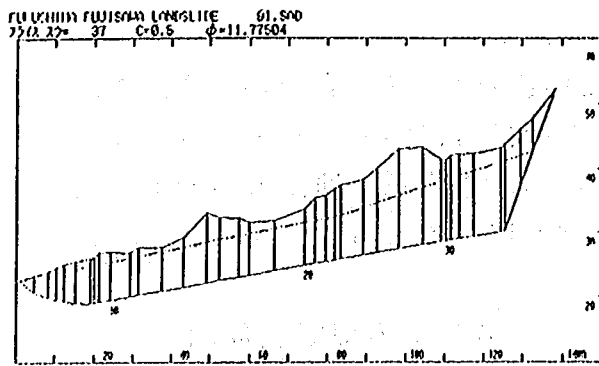
[7]



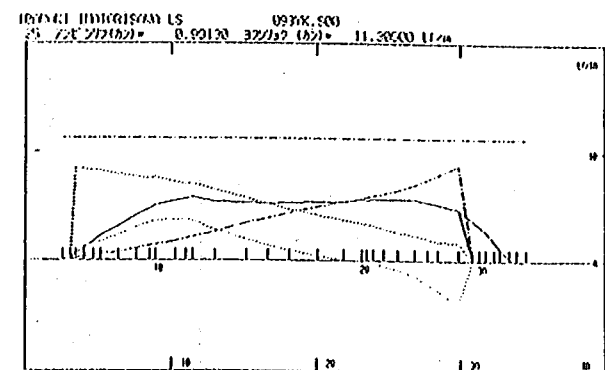
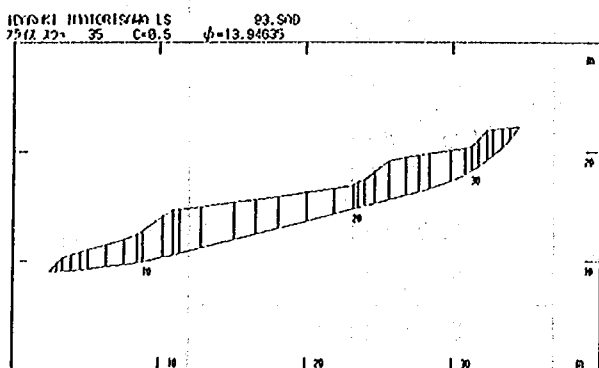
[8]



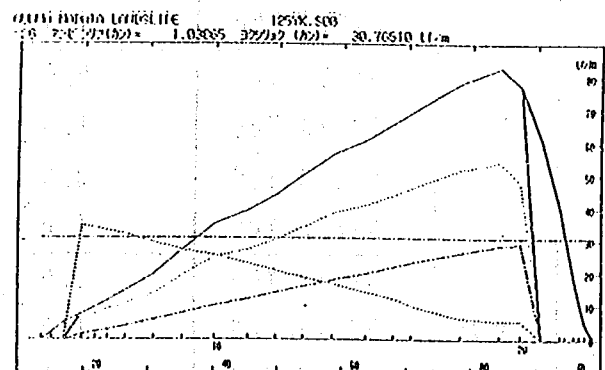
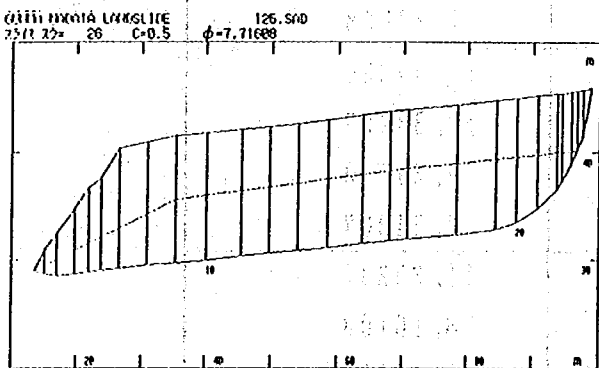
[9]



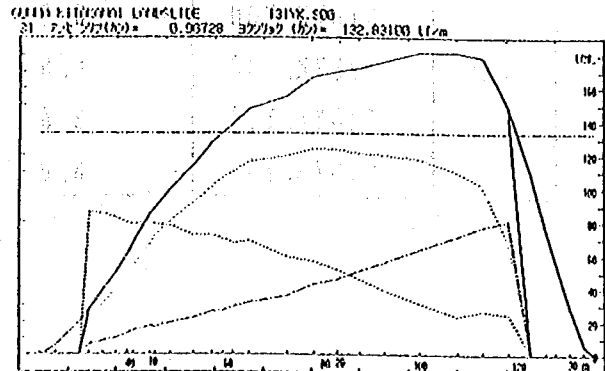
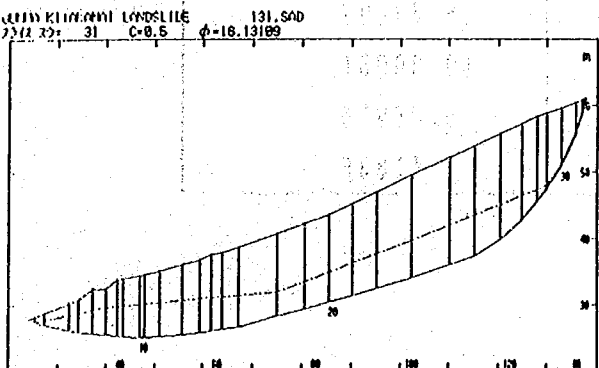
[10]



[13]



[15]



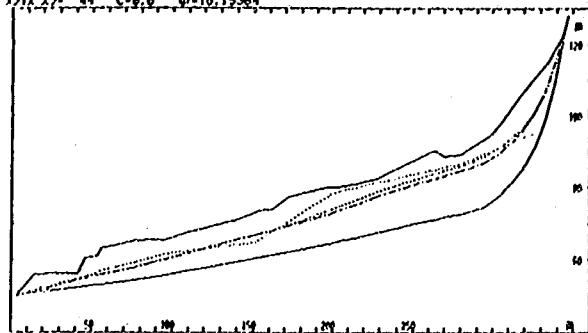
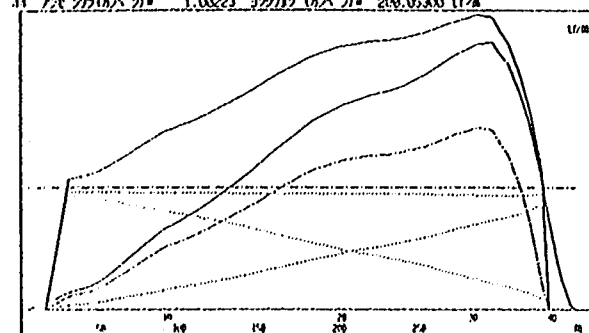
5 考え方1の計算法による、 c 、 ϕ の違いによる変化

6つの断面について c 、 ϕ の値を変化させた場合の抑止力の計算結果を示す。

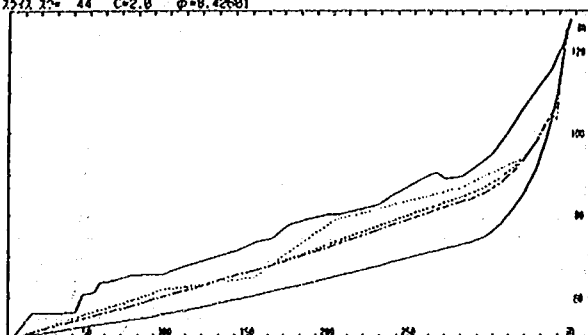
向かって、左側がおのこの c 、 ϕ の値ごとの推力線図で、図中の水位線、推力線は付録3における推力線図と同じである。右側が、抑止力の図で、図中の抑止力は付録3の考え方1の抑止力の図と同じである。

断面	ファイル名	c tf/m ² (粘着力)	ϕ° (内部摩擦角)
8	513YK.Y00	0.0	16.15384
	523YK.Y00	2.0	8.42601
	533YK.Y00	3.0	4.37719
	543YK.Y00	3.5	2.31667
9	514YK.Y00	0.0	14.69947
	524YK.Y00	1.0	8.75627
	534YK.Y00	1.5	5.65204
	544YK.Y00	2.0	2.47170
14	515YK.Y00	0.0	9.26127
	525YK.Y00	2.5	4.83628
	535YK.Y00	3.5	3.05478
	545YK.Y00	4.5	1.26958
15	516YK.Y00	0.0	17.97234
	526YK.Y00	1.5	12.33227
	536YK.Y00	3.0	6.37113
	546YK.Y00	4.0	2.24207
18	517YK.Y00	0.0	14.33281
	527YK.Y00	1.5	8.10103
	537YK.Y00	2.5	3.57625
	547YK.Y00	3.0	1.13366
26	518YK.Y00	0.0	16.67697
	528YK.Y00	1.5	10.00081
	538YK.Y00	2.5	5.06916
	548YK.Y00	3.0	2.41835

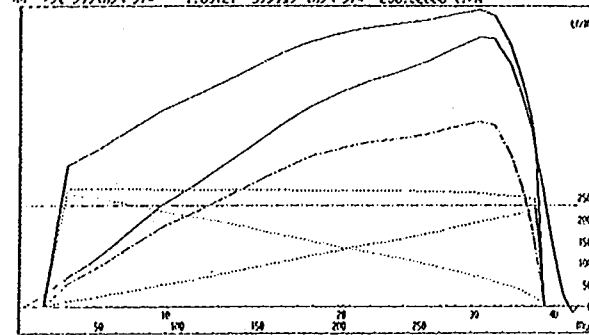
WYTHIA TUDOR LANDSLIDE 060801.100
2312 27= 44 C=0.0 $\phi=16.15384$

[illegible]

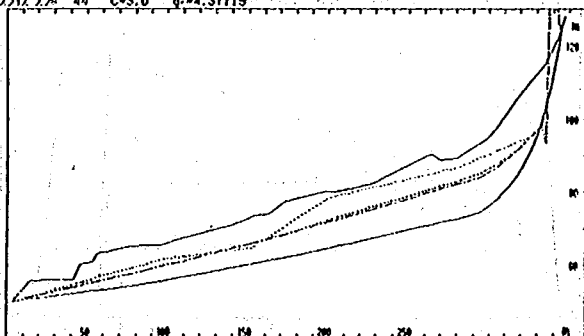
YUKATA TAYOSAKA LANDSLIDE 030F01.Y00
25/12 27= 44 C=2.8 ϕ =8.42681



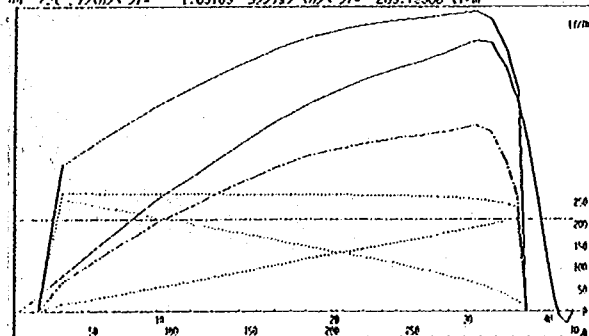
WATKINS TRADING COMPANY BOX 100 C-2.8 d=0.42601
44 アビツカ(ハバ) = 1.03721 377/19 (ハバ) = 230.52000 l/a



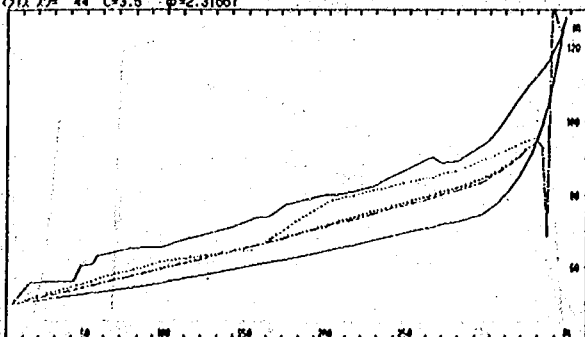
2512 27a 44 C=3.0 ϕ =4.37719 090801.120



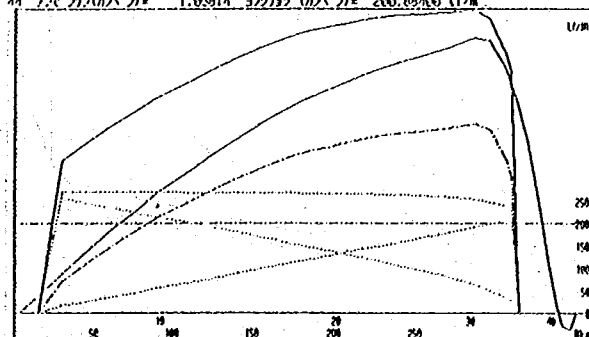
44. $\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{7} \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{10!} = \frac{1}{3628800}$



WYNNIA TANKS LANDSLIDE 08/01/88
7/12/88 44 C=3.5 $\phi=2.31687$

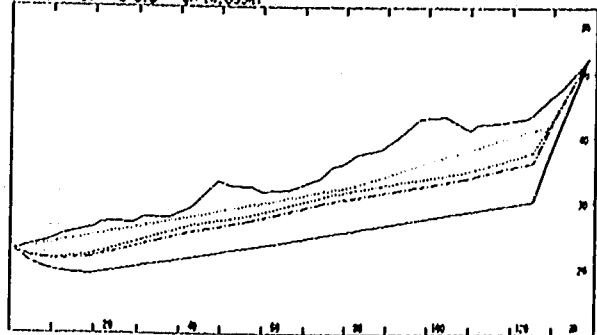


מחירי המוצרים הנמכרים: 0-3.5 ש"ח, 3.5-7.0 ש"ח, 7.0-14.0 ש"ח, 14.0-28.0 ש"ח, 28.0-56.0 ש"ח, 56.0-112.0 ש"ח, 112.0-224.0 ש"ח, 224.0-448.0 ש"ח, 448.0-896.0 ש"ח, 896.0-1792.0 ש"ח, 1792.0-3584.0 ש"ח, 3584.0-7168.0 ש"ח, 7168.0-14336.0 ש"ח, 14336.0-28672.0 ש"ח, 28672.0-57344.0 ש"ח, 57344.0-114688.0 ש"ח, 114688.0-229376.0 ש"ח, 229376.0-458752.0 ש"ח, 458752.0-917504.0 ש"ח, 917504.0-1835008.0 ש"ח, 1835008.0-3670016.0 ש"ח, 3670016.0-7340032.0 ש"ח, 7340032.0-14680064.0 ש"ח, 14680064.0-29360128.0 ש"ח, 29360128.0-58720256.0 ש"ח, 58720256.0-117440512.0 ש"ח, 117440512.0-234881024.0 ש"ח, 234881024.0-469762048.0 ש"ח, 469762048.0-939524096.0 ש"ח, 939524096.0-1879048192.0 ש"ח, 1879048192.0-3758096384.0 ש"ח, 3758096384.0-7516192768.0 ש"ח, 7516192768.0-15032385536.0 ש"ח, 15032385536.0-30064771072.0 ש"ח, 30064771072.0-60129542144.0 ש"ח, 60129542144.0-120259084288.0 ש"ח, 120259084288.0-240518168576.0 ש"ח, 240518168576.0-481036337152.0 ש"ח, 481036337152.0-962072674304.0 ש"ח, 962072674304.0-1924145348608.0 ש"ח, 1924145348608.0-3848290697216.0 ש"ח, 3848290697216.0-7696581394432.0 ש"ח, 7696581394432.0-15393162788864.0 ש"ח, 15393162788864.0-30786325577728.0 ש"ח, 30786325577728.0-61572651155456.0 ש"ח, 61572651155456.0-123145302310912.0 ש"ח, 123145302310912.0-246290604621824.0 ש"ח, 246290604621824.0-492581209243648.0 ש"ח, 492581209243648.0-985162418487296.0 ש"ח, 985162418487296.0-1970324836974592.0 ש"ח, 1970324836974592.0-3940649673949184.0 ש"ח, 3940649673949184.0-7881299347898368.0 ש"ח, 7881299347898368.0-15762598695796736.0 ש"ח, 15762598695796736.0-31525197391593472.0 ש"ח, 31525197391593472.0-63050394783186944.0 ש"ח, 63050394783186944.0-126100789566373888.0 ש"ח, 126100789566373888.0-252201579132747776.0 ש"ח, 252201579132747776.0-504403158265495552.0 ש"ח, 504403158265495552.0-1008806316530991104.0 ש"ח, 1008806316530991104.0-2017612633061982208.0 ש"ח, 2017612633061982208.0-4035225266123964416.0 ש"ח, 4035225266123964416.0-8070450532247928832.0 ש"ח, 8070450532247928832.0-16140901064495857664.0 ש"ח, 16140901064495857664.0-32281802128991715328.0 ש"ח, 32281802128991715328.0-64563604257983430656.0 ש"ח, 64563604257983430656.0-129127208515966861312.0 ש"ח, 129127208515966861312.0-258254417031933722624.0 ש"ח, 258254417031933722624.0-516508834063867445248.0 ש"ח, 516508834063867445248.0-1033017668127734890496.0 ש"ח, 1033017668127734890496.0-2066035336255469780992.0 ש"ח, 2066035336255469780992.0-4132070672510939561984.0 ש"ח, 4132070672510939561984.0-8264141345021879123968.0 ש"ח, 8264141345021879123968.0-16528282690043758247936.0 ש"ח, 16528282690043758247936.0-33056565380087516495872.0 ש"ח, 33056565380087516495872.0-66113130760175032991744.0 ש"ח, 66113130760175032991744.0-132226261520350065983488.0 ש"ח, 132226261520350065983488.0-264452523040700131966976.0 ש"ח, 264452523040700131966976.0-528905046081400263933952.0 ש"ח, 528905046081400263933952.0-1057810092162800527867904.0 ש"ח, 1057810092162800527867904.0-2115620184325601055735808.0 ש"ח, 2115620184325601055735808.0-4231240368651202111471616.0 ש"ח, 4231240368651202111471616.0-8462480737302404222943232.0 ש"ח, 8462480737302404222943232.0-16924961474604808445886464.0 ש"ח, 16924961474604808445886464.0-33849922949209616891772928.0 ש"ח, 33849922949209616891772928.0-67699845898419233783545856.0 ש"ח, 67699845898419233783545856.0-135399691796838467567091712.0 ש"ח, 135399691796838467567091712.0-270799383593676935134183424.0 ש"ח, 270799383593676935134183424.0-541598767187353870268366848.0 ש"ח, 541598767187353870268366848.0-1083197534374707740536733696.0 ש"ח, 1083197534374707740536733696.0-2166395068749415481073467392.0 ש"ח, 2166395068749415481073467392.0-4332790137498830962146934784.0 ש"ח, 4332790137498830962146934784.0-8665580274997661924293869568.0 ש"ח, 8665580274997661924293869568.0-17331160549995323848587739136.0 ש"ח, 17331160549995323848587739136.0-34662321099990647697175478272.0 ש"ח, 34662321099990647697175478272.0-69324642199981295394350956544.0 ש"ח, 69324642199981295394350956544.0-138649284399962590788701913088.0 ש"ח, 138649284399962590788701913088.0-277298568799925181577403826176.0 ש"ח, 277298568799925181577403826176.0-554597137599850363154807652352.0 ש"ח, 554597137599850363154807652352.0-1109194275199700726309615304704.0

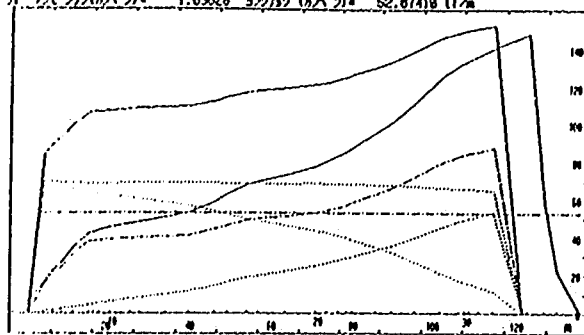


[9]

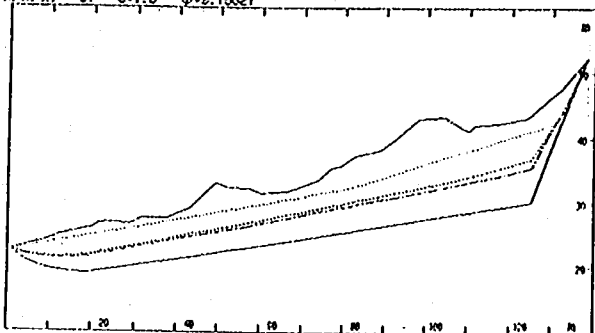
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091F01.Y00
 $\gamma/\gamma_s = 37$ $C=0.0$ $\phi=14.69947$



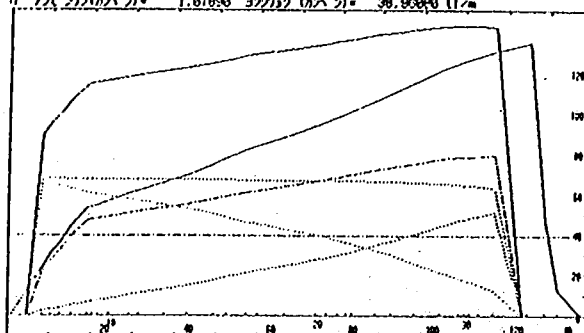
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091YK.Y00 $C=0.0$ $\phi=14.69947$
 $\gamma/\gamma_s = 1.03629$ $37/\gamma_s^2 (\Delta\gamma/\gamma_s^2) = 52.07418$ (1/m)



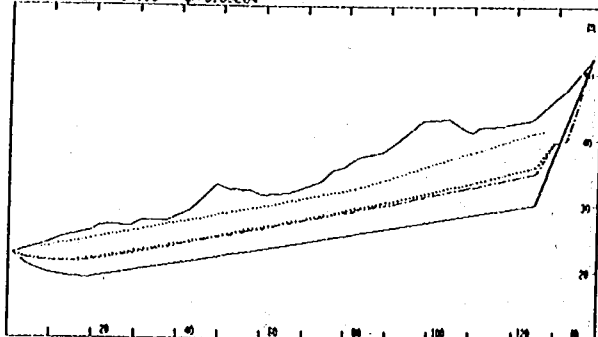
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091F01.Y00
 $\gamma/\gamma_s = 37$ $C=1.0$ $\phi=8.75627$



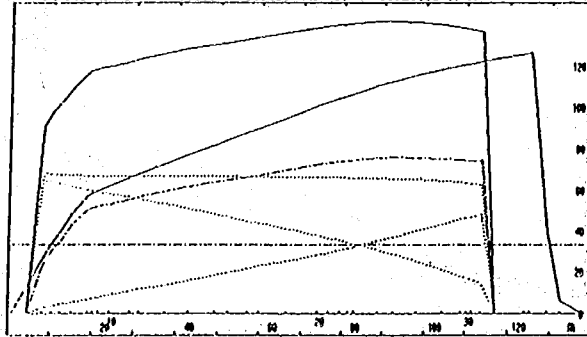
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091YK.Y00 $C=1.0$ $\phi=8.75627$
 $\gamma/\gamma_s = 1.07890$ $37/\gamma_s^2 (\Delta\gamma/\gamma_s^2) = 30.90890$ (1/m)



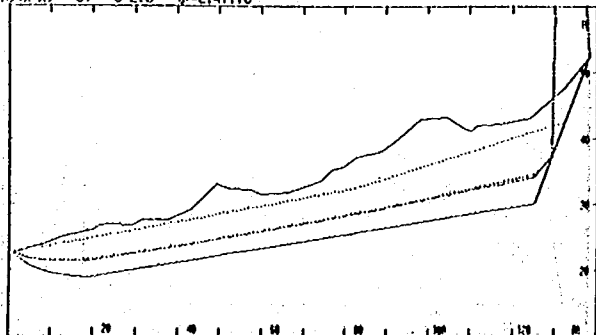
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091F01.Y00
 $\gamma/\gamma_s = 37$ $C=1.5$ $\phi=5.65204$



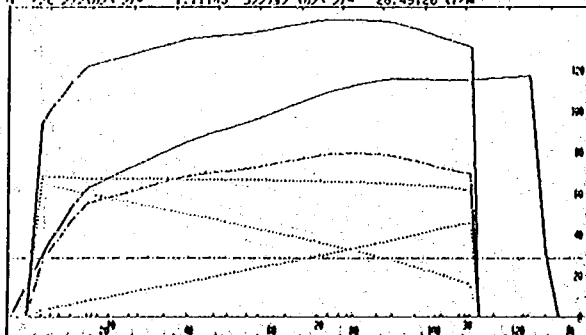
FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091YK.Y00 $C=1.5$ $\phi=5.65204$
 $\gamma/\gamma_s = 1.03064$ $37/\gamma_s^2 (\Delta\gamma/\gamma_s^2) = 33.25380$ (1/m)



FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091F01.Y00
 $\gamma/\gamma_s = 37$ $C=2.0$ $\phi=2.47170$

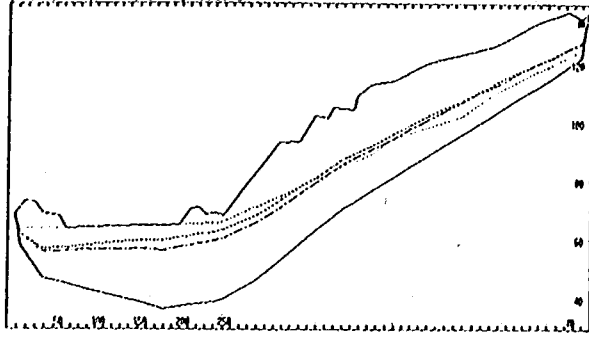


FUJISHIMA FUJISAKI LANDSLIDE 091YK.Y00 $C=2.0$ $\phi=2.47170$
 $\gamma/\gamma_s = 1.11145$ $37/\gamma_s^2 (\Delta\gamma/\gamma_s^2) = 28.49120$ (1/m)

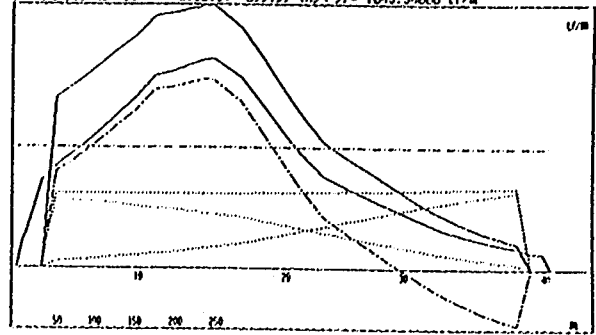


[1 4]

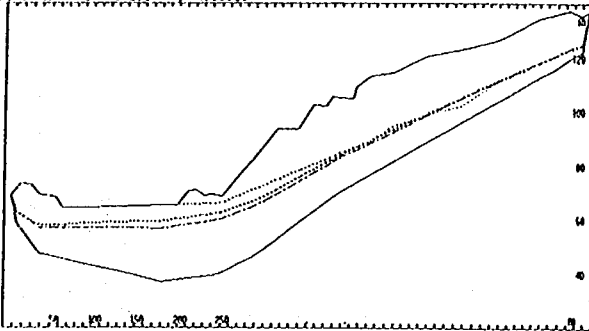
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000
75 ft 20' 40' C=0.0 $\phi=9.26127$



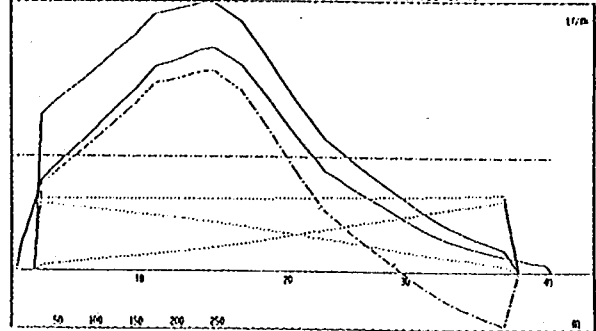
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000 C=0.0 $\phi=9.26127$
40' 72 ft 20' 40' 2) = 0.92007 377/12 (ft/s) = 1043.54000 ft/m



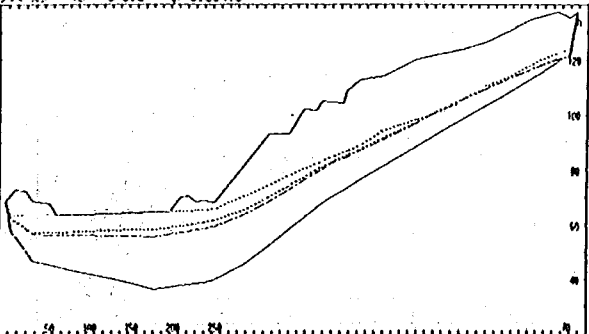
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000
75 ft 20' 40' C=2.5 $\phi=4.83628$



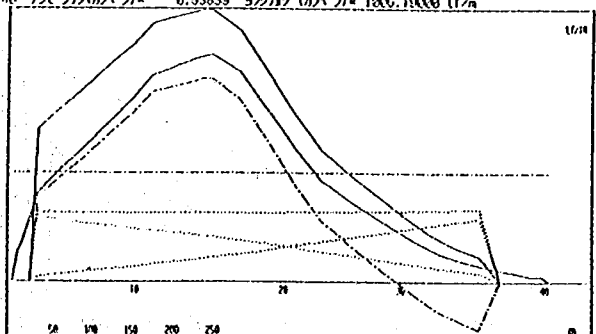
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000 C=2.5 $\phi=4.83628$
40' 72 ft 20' 40' 2) = 0.93505 377/12 (ft/s) = 1019.01000 ft/m



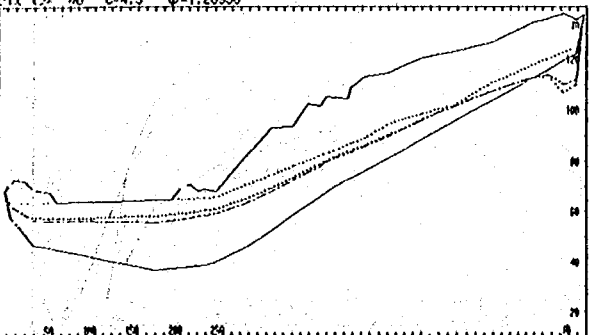
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000
75 ft 20' 40' C=3.5 $\phi=3.05478$



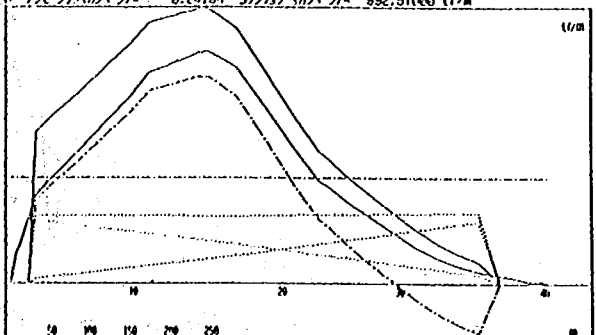
OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000 C=3.5 $\phi=3.05478$
40' 72 ft 20' 40' 2) = 0.93839 377/12 (ft/s) = 1000.10000 ft/m



OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000
75 ft 20' 40' C=4.5 $\phi=1.28950$

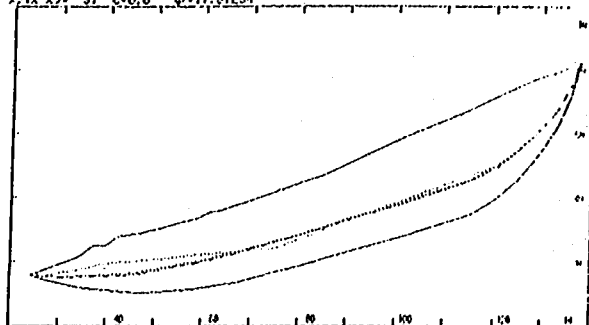


OPEN SLOTTED LAYSIDE 13001.000 C=4.5 $\phi=1.28950$
40' 72 ft 20' 40' 2) = 0.94184 377/12 (ft/s) = 992.51000 ft/m

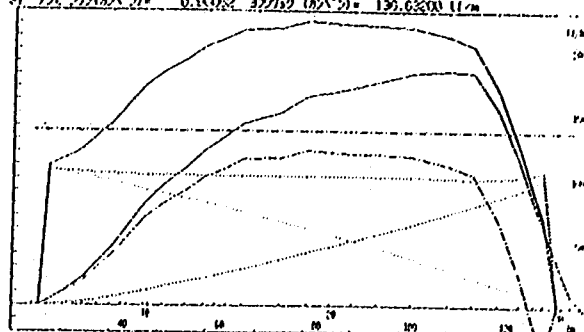


[1 5]

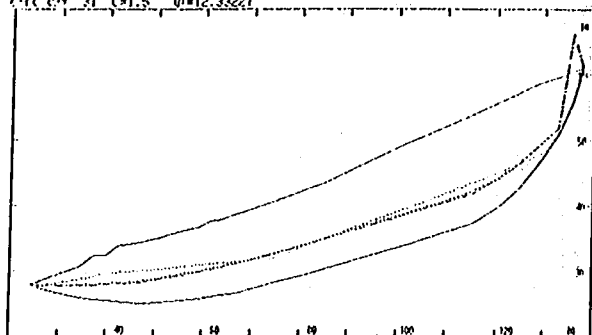
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00
 25/12/31 C=0.0 $\phi=17.97234$



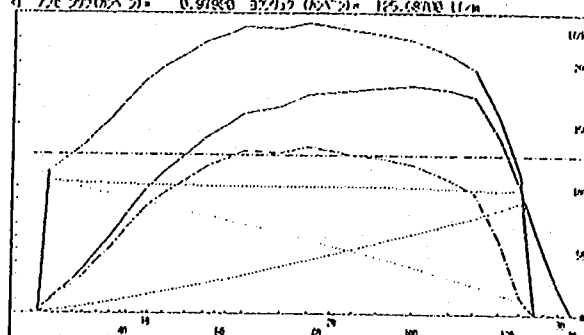
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00 C=0.0 $\phi=17.97234$
 31 72E 272162N 20= 0.6022 372162 (62N 20)= 120.62303 U/m



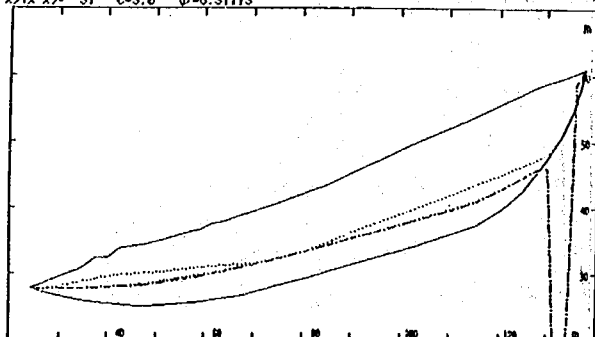
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00
 25/12/31 C=1.5 $\phi=12.33227$



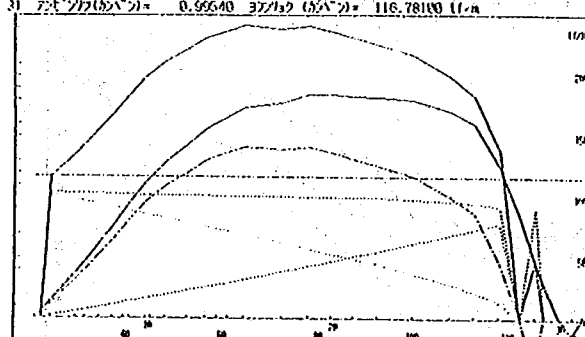
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00 C=1.5 $\phi=12.33227$
 31 72E 272162N 20= 0.91850 372162 (62N 20)= 125.68003 U/m



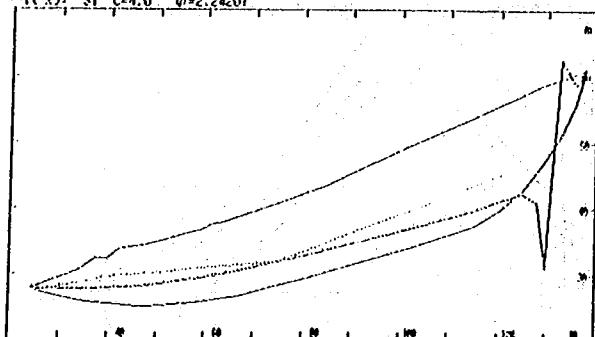
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00
 25/12/31 C=3.0 $\phi=6.37113$



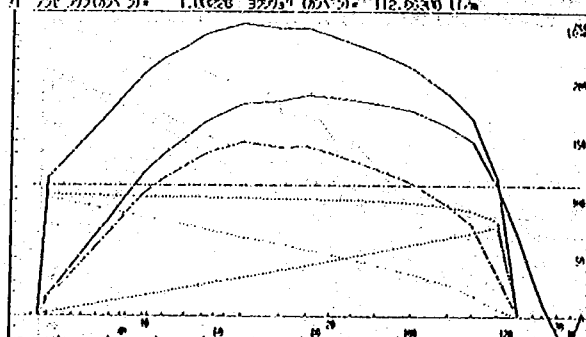
GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00 C=3.0 $\phi=6.37113$
 31 72E 272162N 20= 0.95640 372162 (62N 20)= 116.78100 U/m



GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00
 25/12/31 C=4.0 $\phi=2.24207$

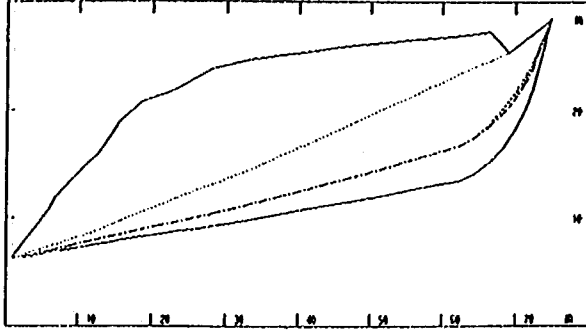


GUNN KITAOKAWA LANDSLIDE 131P01.V00 C=4.0 $\phi=2.24207$
 31 72E 272162N 20= 1.00226 372162 (62N 20)= 112.68303 U/m

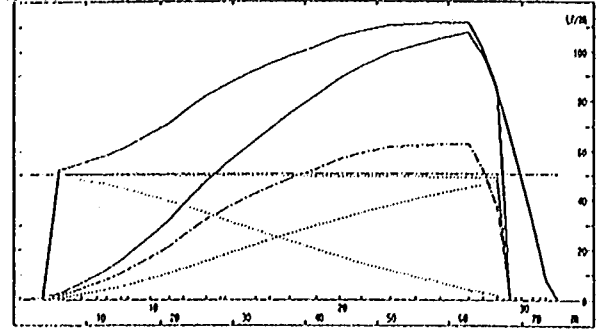


[18]

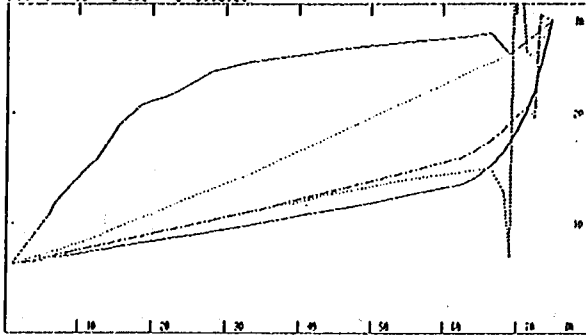
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000
 22/1 22= 33 C=0.0 $\phi=14.33281$



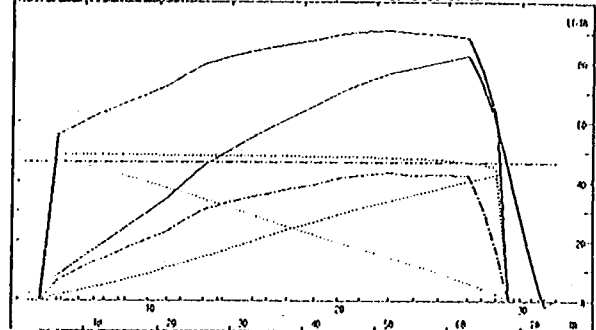
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000 C=0.0 $\phi=14.33281$
 23 22/1 22/2 (hA')= 1.01105 372/12 (hA')= 50.33910 (1/m)



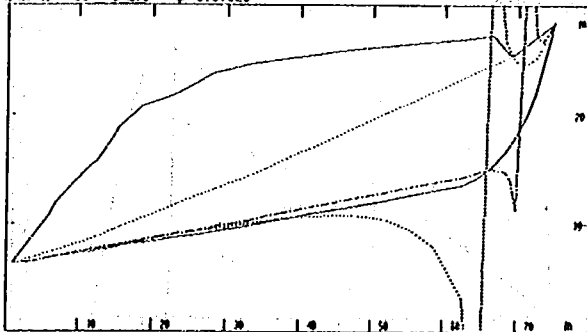
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000
 22/1 22= 33 C=1.5 $\phi=8.10103$



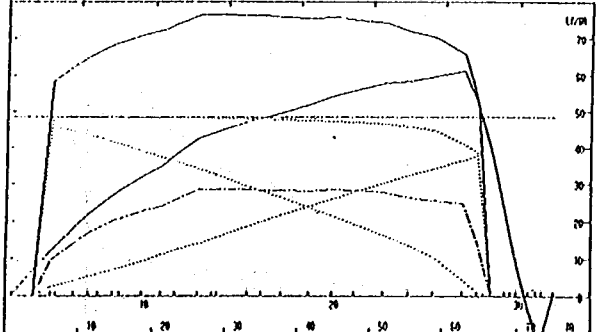
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000 C=1.5 $\phi=8.10103$
 23 22/1 22/2 (hA')= 1.00640 372/12 (hA')= 49.42460 (1/m)



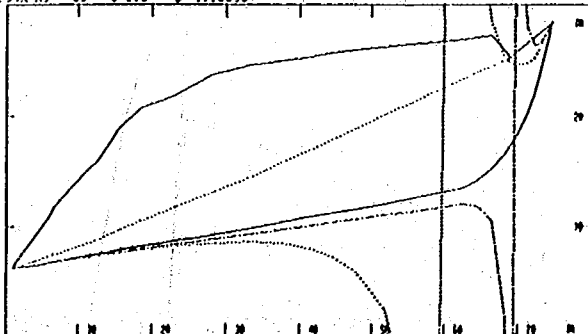
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000
 22/1 22= 33 C=2.5 $\phi=3.57625$



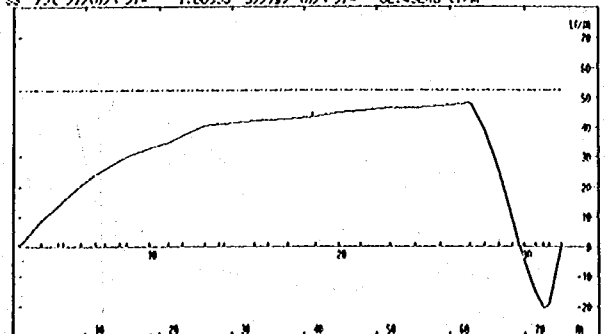
YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000 C=2.5 $\phi=3.57625$
 23 22/1 22/2 (hA')= 1.01083 372/12 (hA')= 48.47270 (1/m)



YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000
 22/1 22= 33 C=3.0 $\phi=1.13366$

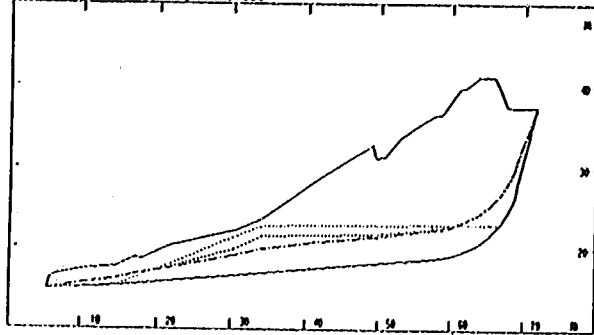


YAMAGUCHI KAIHAKU LANDSLIDE 10000.000 C=3.0 $\phi=1.13366$
 23 22/1 22/2 (hA')= 1.00395 372/12 (hA')= 52.45240 (1/m)

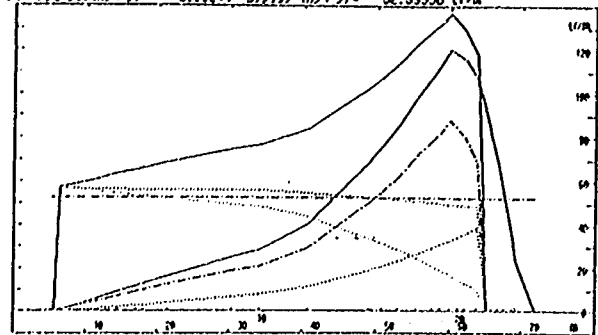


[2 6]

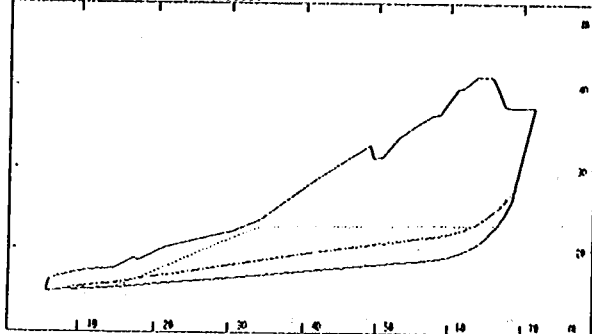
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=0.8 $\phi=10.67697$ 401P81.100



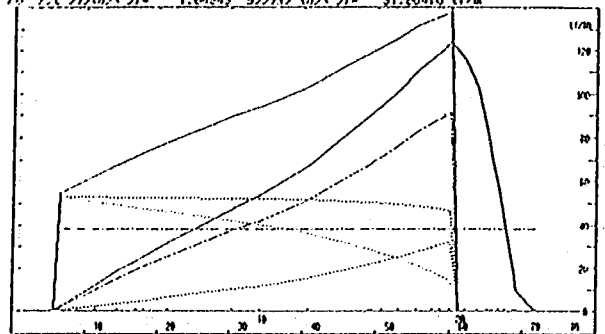
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=0.8 $\phi=16.67697$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=0.8 $\phi=16.67697$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=0.8 $\phi=16.67697$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=0.8 $\phi=16.67697$ 401YK.100



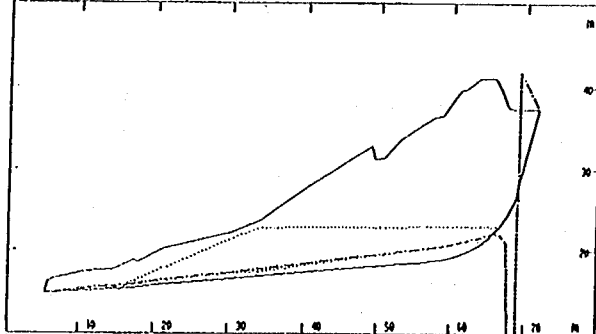
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=1.5 $\phi=10.00000$ 401P81.100



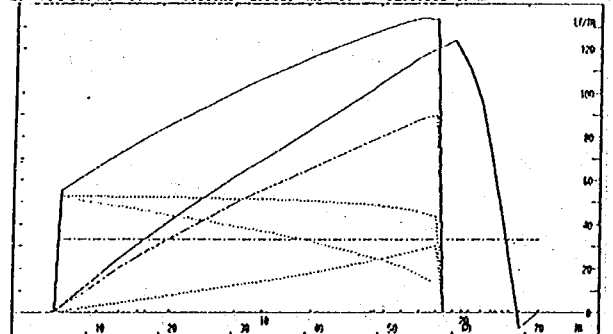
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=1.5 $\phi=10.00000$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=1.5 $\phi=10.00000$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=1.5 $\phi=10.00000$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=1.5 $\phi=10.00000$ 401YK.100



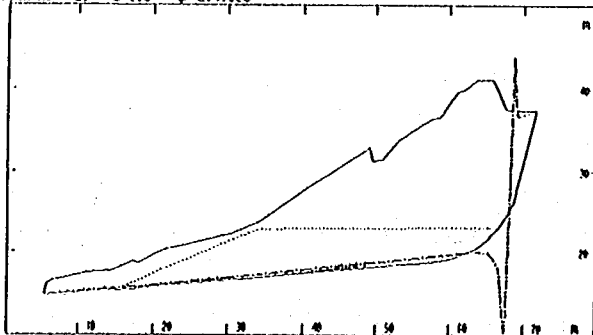
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=2.5 $\phi=5.06916$ 401P81.100



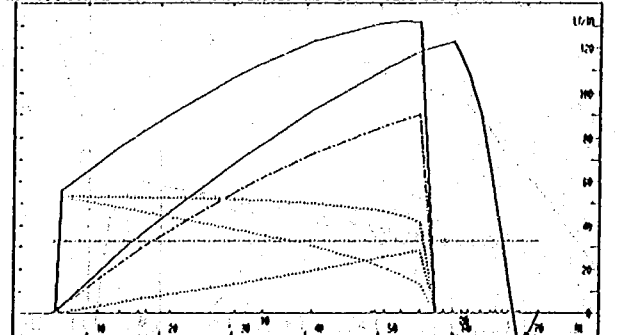
Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=2.5 $\phi=5.06916$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=2.5 $\phi=5.06916$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=2.5 $\phi=5.06916$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=2.5 $\phi=5.06916$ 401YK.100



Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=3.0 $\phi=2.41835$ 401P81.100



Итого сыпучего LS
 77 (1.2) = 28 C=3.0 $\phi=2.41835$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=3.0 $\phi=2.41835$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=3.0 $\phi=2.41835$ 401YK.100
 77 (1.2) = 28 C=3.0 $\phi=2.41835$ 401YK.100



6 伝達マトリックス法による杭の解析——プログラムリスト及び計算例

(1) プログラムリスト

①入力フォーマット

1) 設定した層の総数

NT (15)

(*) 杭の剛性と地盤の反力係数の違いにより、層の数を決める。従って地質の違いのみによる分け方ではない。

2) タイトル

HED (1) (10A4)

(*) 40字(半角)以内で、タイトルをいれる。

3) すべり土塊の層数

NM (15)

(*) 従って不動土塊の層数は $NT - NM$ である。

4) ダミー

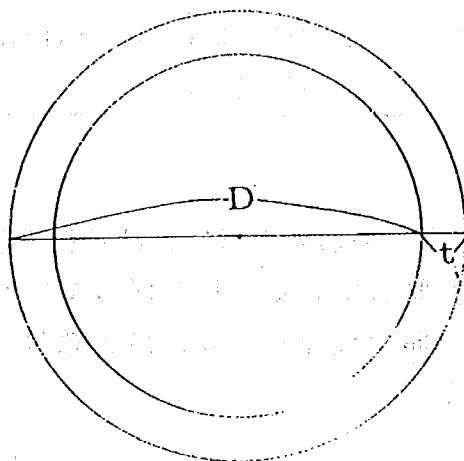
IJ (15)

(*) 層の番号を上から第一層として、順にいれる。

5) 第 i 層の杭の断面2次モーメント (m^4)

DI (1) (E10.0)

(*) 参考文献 16) 等に掲げられている表などを参考にして直接入力する。なお、杭の断面が円形の場合には、この値 (I) は杭径 (D) と杭厚 (t) から以下の式で計算できる。



$$I = \frac{\pi}{64} \{D^4 - (D - 2t)^4\}$$

6) 第 i 層の杭の直径 (m)

BO (1) (E10.0)

(*) 杭径が不連続にかわる場合を想定している。

7) 第 i 層の厚さ (m)

H1 (1) (E10.0)

(*) これは第 i 層の杭の長さに等しい

8) 第 i 層の変形係数 (tf/m^2)

ES (1) (E10.0)

(*) 前もって求めておいて、直接入力する。

9) 必要抑止力 (tf/m)

QYK (E10.0)

(*) 杭にかかる集中荷重とする。

Ⅹ) 杭打設位置におけるすべり面の座標値 (m) Y (E10.0)

(*) 前の章との関連から、Morgenstern-Price法と同じく、鉛直下方が+である。この時の原点は地表面の上方であれば、どこにとってもよい。仮にこの原点を地表面に一致させると、この Y 値はすべり土塊中の杭の長さとは一致しなくてはならない。

Ⅾ) 杭打設位置における必要抑止力の作用座標値 (m) YT (E10.0)

(*) 原点は Ⅹ) の場合と同じにしなくてはならない。YとYTからQYKを分布荷重に展開する。この際地表面の座標が必要となるが、杭の地表面上の出っ張りはないとしているので、

地表面の座標 = Y - すべり土塊中の杭の長さ
により、計算できる。

以上の入力変数の入力並びは以下の通りである。

NT	(15)
(HED (I), I=1, 10)	(10A4)
NM	(15)
IJ, DI (I), BO (I), HI (I), ES (I)	(15, 4E10.0) : NT行
QYK, Y, YT	(3E10.0)

② 出力フォーマット

ここでは各層を50分割して、おのこの点における杭の変位、たわみ角、内力モーメント、せん断力を計算している。したがって、層の厚さは、一般に異なるので出力点の間隔も層間で異なる。また出力数は

$$50 \times (\text{層の総数}) + 1$$

である。

本プログラムにおいては、出力ファイルは二つである。第一のファイルでは、入力データの記述を含む。第二のファイルは図示のために出力データであり、以下ではこの第二のファイルのフォーマットを示す。この二つのファイル共にファイル名は半角11文字以内で自由につけることができる。

ⅰ) タイトル HED (I) (10A4)

ⅱ) 設定した層の総数 NT (15)

ⅲ) すべり土塊の層数 NM (15)

ⅳ) 必要抑止力 (tf/m) QYK (E10.3)

ⅴ) 杭打設位置におけるすべり面の座標値 (m) Y (E10.3)

- へ) 杭打設位置における必要抑止力の作用座標値 (m) YT (E10.3)
 ト) 杭打設位置における地表面の座標値 (m) ZSU (E10.3)
 ㇏) 各層の分割数 (今の場合50に固定) KBU (I5)
 リ) 杭先端から分割点までの杭の長さ (m) XTEI (E10.3)
 (*) これは地表面からその点まで測った杭の長さに等しくなければなら

ない。

- ヌ) その点における杭の水平方向変位 (m) VX (1) (E10.3)
 ㇑) その点における杭のたわみ角 (rad) VX (2) (E10.3)
 ㇒) その点における杭の内力モーメント (tf・m) VX (3) (E10.3)
 ㇓) その点における杭のせん断力 (tf) VX (4) (E10.3)

層の数が二層の場合は福岡式を使った以下の量も算出してある。

- ㇔) その点における杭の水平方向変位 (m) RRX (E10.3)
 ㇕) その点における杭のたわみ角 (rad) RRT (E10.3)
 ㇖) その点における杭の内力モーメント (tf・m) RRM (E10.3)
 ㇗) その点における杭のせん断力 (tf) RRQ (E10.3)

以上の出力変数の出力並びは以下の通りである。

(HED (I), I=1, 10)	(10A4)
NT, NM, QYK, Y, YT	(2I5, 3E10.3)
ZSU	(E10.3)
KBU	(I5)
XTEI, VX (1), VX (2), VX (3), VX (4)	(5E10.3) : (50 × NT + 1行)

層の数が二層の場合

(HED (I), I=1, 10)	(10A4)
NT, NM, QYK, Y, YT	(2I5, 3E10.3)
ZSU	(E10.3)
KBU	(I5)
XTEI, VX (1), VX (2), VX (3), VX (4)	(5E10.3) }
RRX, RRT, RRM, RRQ	(4E10.3) }

(実際の入・出力データ例は(2)、(3)参照)

③ プログラムリスト

次ページ以下にプログラムリストを掲げる。

```

$DEBUG
C *****
C      PILE ANALYSIS(マケクサヒ クイ)
C      BY 伝達マトリックス法
C      1992年 10月
C *****
C      PROGRAM MAIN
C      IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)

C      OPEN (4,FILE='CON' ,)
C      OPEN (5,FILE=' ,STATUS= 'OLD')
C      OPEN (6,FILE=' ,STATUS= 'NEW')
C      OPEN (7,FILE=' ,STATUS= 'NEW')

C ***** NT= TOTAL NUMBER OF LAYER *****
C
C      DATA KBU / 50 /
C      READ ( 5,100) NT
100 FORMAT (I5)
C
C      CALL PILE (NT,KBU)
C
C      STOP
C      END

C.....PILE CALCULATION
C
C      SUBROUTINE PILE (NT,KBU)
C      IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
C      COMMON / DATA1/ NM, DI(50),EI(50) , B0(50)
C      COMMON / LENGTH / DL(51)
C      COMMON / QTE1 / QQ1,QQ2,SL1,SL2
C      COMMON / QTE2 / MEM1 , MEM2
C      COMMON / BETA / BE
C      COMMON / ITER / KAI , KAJ
C      DIMENSION A(4,4),B(4,4),C(4,4),H1(50),ES(50),DDL(51),
*      ZI(4),Z(4),ZO(4),VO(4), VX(4),BET(50)
C
C      DATA EY / 2.1E+07 /
C      CALL DATAIN (NT,H1,ES,QYK,YSU,YTSU)
C
C
C      DL(1)=0.0
C      DO 11 I=1 ,NM
C          DL(I+1)=DL(I)+H1(I)
C          EI(I)=EY*DI(I)
C          BET(I)= (ES(I)/(4.0*EI(I)))*0.25
11 CONTINUE
C      ZSU=YSU-DL(NM+1)
C      WRITE (7 ,1005) ZSU
1005 FORMAT (E10.3)
C
C      DO 12 I=NM+1 ,NT
C          DL(I+1)=DL(I)+H1(I)
C          EI(I)=EY*DI(I)
C          BET(I)= (ES(I)/(4.0*EI(I)))*0.25
12 CONTINUE

```

C CALL TENKAI(QYK,YSU,YTSU,ZSU)

C IPA1=0

IPA2=0

MEM1=0

MEM2=0

DO 13 I=1 ,NM

IF ((IPA1 .EQ. 0) .AND. (DL(I+1) .GT. SL1)) THEN

IPA1=1

MEM1=I

END IF

C IF ((IPA2 .EQ. 0) .AND. (DL(I+1) .GT. SL2)) THEN

IPA2=1

MEM2=I

END IF

13 CONTINUE

C IF (MEM1 .GT. MEM2) THEN

KM=0

ELSE IF (MEM1 .EQ. MEM2) THEN

KM=1

ELSE IF ((MEM1+1) .EQ. MEM2) THEN

KM=2

ELSE IF (MEM1 .LT. MEM2) THEN

KM=3

END IF

C DO 10 KAI=1 , NT

XX=H1(KAI)

C BE= (ES(KAI)/(4.0*EI(KAI)))*0.25

C CALL FCALC(XX, A)

IF (KAI .LE. NM) THEN

CALL QCALCU(KM,XX, Z)

ELSE

CALL QCALCD (Z)

END IF

C IF (KAI .EQ. 1) THEN

CALL CHAN1 (A, B , 4)

CALL CHAN2 (Z, ZI, 4)

GO TO 10

END IF

C CALL FMAT (A,B,C)

CALL CHAN1 (C,B,4)

C CALL QMAT (A,ZI,Z,ZO)

CALL CHAN2 (ZO,ZI,4)

10 CONTINUE

C CALL GAKGYO(C , ZO , V0)

XTEI=0.0

KAI=0

KAJ=0

KBU=50

```

CALL PRINT ( KBU , XTEI , VO )
WRITE (7 , 1003) KBU
1003 FORMAT (I5)
IF (NT .EQ. 2 ) THEN
    XXX=H1(1)
    CALL KANB1(BET, QYK, XXX, RRX, RRT, RRM, RRQ)
END IF

C
WRITE (7 , 1000) XTEI , VO(1), VO(2), VO(3), VO(4)
C
IF (NT .EQ. 2 ) WRITE (7,3000) RRX , RRT , RRM , RRQ
C
DO 20 KAI=1 , NT
C
    BE= (ES(KAI)/(4.0*EI(KAI)))*0.25
C
    DDL(1)=0.0
    DDX=H1(KAI)/KBU
C
    DO 30 KAJ=1 , KBU
        DDL(KAJ+1)=DDL(KAJ)+DDX
        XX=DDL(KAJ+1)
C
        IF ((NT .EQ. 2 ) .AND. (KAI .EQ. 1 )) THEN
            XXX=H1(1)-XX
            CALL KANB1(BET, QYK, XXX, RRX, RRT, RRM, RRQ)
        ELSE IF ((NT .EQ. 2 ) .AND. (KAI .EQ. 2 )) THEN
            XXX=XX
            CALL KANB2(BET, QYK, XXX, RRX, RRT, RRM, RRQ)
        END IF
C
        CALL FCALC( XX, A)
        IF (KAI .LE. NM ) THEN
            CALL QCALCU( KM, XX, Z)
        ELSE
            CALL QCALCD( Z )
        END IF
C
        CALL VMAT (A, VO, Z, VX)
        XTEI=DL(KAI)+DDL(KAJ+1)
        CALL PRINT ( KBU , XTEI , VX )
        WRITE (7 , 1000) XTEI , VX(1) , VX(2) , VX(3) , VX(4)
        IF (NT .EQ. 2 ) WRITE (7,3000) RRX , RRT , RRM , RRQ
1000   FORMAT (5E10.3)
3000   FORMAT (4E10.3)
    30   CONTINUE
C
    CALL CHAN2 ( VX , VO , 4)
C
    WRITE (4 , 2004 ) ((A(I , J ) , J=1 , 4) , I=1 , 4 )
C
    WRITE (4 , 2004 ) (Z(I) , I=1 , 4 )
C
    WRITE (4 , 2004 ) (VX(I) , I=1 , 4 )
C
20 CONTINUE
C
RETURN
END
C.....DATA READ
C

```

```

SUBROUTINE DATAIN (NT,H1,ES,QYK ,Y ,YT)
IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
COMMON / DATA1/ NM, DI(50),EI(50) , B0(50)
DIMENSION H1(50),ES(50)
CHARACTER*4 HED(10)

```

C*****

```

C      "UNIT"      DI(T/M**2),B0(M),H1(M),DK(T/M**3)
C
C      HED ... THE TITLE OF THIS CALCULATION      '20A4'
C
C      NM ... TOTAL NUMBER OF MOVING LAYERS      '1-5'      COLUMN 15
C
C      IJ ... DUMMY      '1-5'      COLUMN 15
C
C      DI .... MOMENT OF INERTIA      '6-15'      COLUMN E10.0
C
C      B0 ... PILE DIAMETER      '16-25'      COLUMN E10.0
C
C      H1 ... WIDTH OF EACH LAYER      '26-35'      COLUMN E10.0
C
C      DK ... MODULUS OF ELASTICITY IN EACH LAYER '36-45'      COLUMN E10.0
C
C      QYK ... ヒツヨウ ヨクシリョク (シュウチュウ カシ`ユウ)      '1 -10'      COLUMN E10.0
C
C      Y ... DEPTH OF SLIP SURFACE      '11-20'      COLUMN E10.0
C
C      YT ... ACTION POINT OF QYK      '21-30'      COLUMN E10.0

```

C*****

```

C      READ (5,105) (HED(I),I=1,10)
C      WRITE(6,105) (HED(I),I=1,10)
C      WRITE(7,105) (HED(I),I=1,10)
C
C      READ (5,100) NM
C      DO 10 I=1 ,NT
C          READ (5,110) IJ,DI(I),B0(I),H1(I),ES(I)
10 CONTINUE
C
C      READ (5,120) QYK ,Y ,YT
C
C      WRITE (7,200) NT ,NM ,QYK ,Y ,YT
C
C      WRITE (6,500)
C      WRITE (6,507) NT ,NM,QYK ,Y ,YT
C      WRITE (6,509)
C      DO 12 I=1 ,NT
C          WRITE (6,510) I,DI(I),B0(I),H1(I),ES(I)
12 CONTINUE
C
C      105 FORMAT (10A4)
C      100 FORMAT (15)
C      110 FORMAT (15,4E10.0)
C      120 FORMAT (3E10.0)
C
C      200 FORMAT (215,3E10.3)
C

```

```

500 FORMAT (/ 'NUM.TOTAL : NUM.MOV. : LOAD.Q(T) : DEP.SLIP.S : REACT.PO
+. '/' )
507 FORMAT (2(3X,I5,3X),3(E10.3,2X))
509 FORMAT (//, ' NO : DI(m4) : 杭 径(m) : 杭 長(m) : 变形系数(tf
+/m2) '/' )
510 FORMAT (I5,4(E10.3,2X))

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
SUBROUTINE PRINT( K , XX , V )
IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
COMMON / ITER / KAI , KAJ
DIMENSION V(4)

```

```

C
IF (KAI .EQ. 0 ) THEN
WRITE (6 ,100)
100 FORMAT (/ 'LAYER: ITER :DEPTH(m) : DIS.(m): THETA(rad):MOMENT
+(tf*m):SHEAR(tf) '/' )
END IF

```

```

C
I=KAI
IF (KAJ .EQ. 0 ) THEN
J=KAJ
WRITE (6 ,110 ) I+1 , J+1 , XX ,V(1) ,V(2) ,V(3) ,V(4)
ELSE IF (KAJ .EQ. K ) THEN
J=0
WRITE (6 ,110 ) I+1 , J+1 , XX ,V(1) ,V(2) ,V(3) ,V(4)
ELSE
J=KAJ
WRITE (6 ,120 ) J+1 , XX , V(1) ,V(2) ,V(3) ,V(4)
END IF

```

```

C
110 FORMAT(2I5 ,5(E10.3,2X))
120 FORMAT(5X,I5 ,5(E10.3,2X))

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
FUNCTION F1(X)
IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
COMMON / BETA / BE

```

```

C
F1=0.5*(DEXP(BE*X)+DEXP(-BE*X))*DCOS(BE*X)
C
RETURN
END

```

```

C
FUNCTION F2(X)
IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
COMMON / BETA / BE

```

```

      F2 = 0.5*(0.5*(DEXP(BE*X)+DEXP(-BE*X))*DSIN(BE*X)
*      + 0.5*(DEXP(BE*X)-DEXP(-BE*X))*DCOS(BE*X))

```

```

      RETURN
      END

```

```

      FUNCTION F3(X)
      IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
      COMMON / BETA / BE

```

```

      F3=0.5*0.5*(DEXP(BE*X)-DEXP(-BE*X))*DSIN(BE*X)

```

```

      RETURN
      END

```

```

      FUNCTION F4(X)
      IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
      COMMON / BETA / BE

```

```

      F4 = 0.25*(0.5*(DEXP(BE*X)+DEXP(-BE*X))*DSIN(BE*X)
*      - 0.5*(DEXP(BE*X)-DEXP(-BE*X))*DCOS(BE*X))

```

```

      RETURN
      END

```

```

C.....COEFFICIENTS IN 'F' MATRIX(DENTATSU MATRIX)

```

```

      SUBROUTINE FCALC(X,A)
      IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
      COMMON / DATA1/ NM, DI(50),EI(50) , BO(50)
      COMMON / ITER / KAI , KAJ
      COMMON / BETA / BE
      DIMENSION A(4,4)

```

```

      A(1,1)=F1(X)
      A(1,2)=F2(X)/BE
      A(1,3)=F3(X)/(EI(KAI)*BE**2)
      A(1,4)=-F4(X)/(EI(KAI)*BE**3)

```

```

      A(2,1)=-4.0*BE*F4(X)
      A(2,2)=F1(X)
      A(2,3)=F2(X)/(EI(KAI)*BE)
      A(2,4)=-F3(X)/(EI(KAI)*BE**2)

```

```

      A(3,1)=-4.0*EI(KAI)*(BE**2)*F3(X)
      A(3,2)=-4.0*EI(KAI)*BE*F4(X)
      A(3,3)=F1(X)
      A(3,4)=-F2(X)/BE

```

```

      A(4,1)=4.0*EI(KAI)*(BE**3)*F2(X)
      A(4,2)=4.0*EI(KAI)*(BE**2)*F3(X)
      A(4,3)=4.0*BE*F4(X)
      A(4,4)=F1(X)

```

```

      RETURN
      END

```

```

C
C
C.....MULTIPLY IN 'C=A*B'
C
  SUBROUTINE FMAT(A,B,C)
  IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
  DIMENSION  A(4,4) , B(4,4) ,C(4,4)
C
  DO 30 I=1 ,4
    DO 30 J=1 , 4
      C(I,J)=0.0
      DO 30 L=1 ,4
        C(I,J)=C(I,J)+A(I,L)*B(L,J)
30 CONTINUE
C
  RETURN
  END

```

```

C
C.....EXCHANGE OF 'A' => 'B'
C

```

```

  SUBROUTINE CHAN1 (A,B,N)
  IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
  DIMENSION A(N,N), B(N,N)
C
  DO 15 I=1 ,N
    DO 15 J=1 , N
      B(I,J)=A(I,J)
15 CONTINUE

```

```

C
  RETURN
  END

```

```

C
  SUBROUTINE CHAN2 (A,B,N)
  IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
  DIMENSION A(N), B(N)
C
  DO 10 I=1 ,N
    B(I)=A(I)
10 CONTINUE

```

```

C
  RETURN
  END

```

```

C
C
  SUBROUTINE TENKAI(Q,Y,YT,Z)
  IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
  COMMON / QTE1 / QQ1,QQ2,SL1,SL2
C
  PAR1=Y-Z
  PAR2=Y-YT
  PARA=PAR2/PAR1
  IF ( PARA .LT. 1.0/3.0 ) THEN
    SL1=3.0*YT-2.0*Y-Z
    SL2=Y-Z
    QQ1=0.0
    QQ2=2.0*Q/(3.0*PAR2)

```

```

ELSE IF (PARA .LT. 2.0/3.0 ) THEN
  SL1=0.0
  SL2=Y-Z
  QQ1=2.0*Q*(3.0*PAR2-PAR1)/PAR1**2
  QQ2=2.0*Q*(2.0*PAR1-3.0*PAR2)/PAR1**2
ELSE
  SL1=0.0
  SL2=(YT-Z)*3.0
  QQ1=2.0*Q/((YT-Z)*3.0)
  QQ2=0.0
END IF

```

```

RETURN
END

```

```

FUNCTION QQ(X)
IMPLICIT REAL*8(A-H , O-Z)
COMMON / QTE1 / QQ1,QQ2,SL1,SL2

```

```

IF ( X .LT. SL1 ) THEN
  QQ =0.0
ELSE IF ( X .LE. SL2) THEN
  QQ =(QQ2-QQ1)*(X-SL1)/(SL2-SL1)+QQ1
ELSE
  QQ =0.0
END IF

```

```

RETURN
END

```

```

SUBROUTINE QCALCU(KM,XX,ZZ)
IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
COMMON / DATA1 / NM, DI(50),EI(50) , B0(50)
COMMON / LENGTH / DL(51)
COMMON / ITER / KAI , KAJ
COMMON / QTE1 / QQ1,QQ2,SL1,SL2
COMMON / QTE2 / MEM1 , MEM2
COMMON / BETA / BE
DIMENSION ZZ(4)

```

```

IF (KM .EQ. 0 ) THEN
  GO TO 10
ELSE IF (KM .EQ. 1 ) THEN
  GO TO 11
ELSE IF (KM .EQ. 2 ) THEN
  GO TO 12
ELSE
  GO TO 13
END IF

```

C

```

10  IF ( KAI .LT. MEM1 ) THEN
      KK=1
    ELSE IF ( KAI .EQ. MEM1 ) THEN
      Q1=QQ1
      Q2=QQ(DL(KAI+1))
      B=SL1-DL(KAI)
      A=DL(KAI+1)-DL(KAI)
      KK=2
    ELSE
      Q1=QQ(DL(KAI))
      Q2=QQ(DL(KAI+1))
      B=0.0
      A=DL(KAI+1)-DL(KAI)
      KK=2
    END IF
    GO TO 20

```

C

```

11  IF ( KAI .LT. MEM1 ) THEN
      KK=1
    ELSE IF ( KAI .EQ. MEM1 ) THEN
      Q1=QQ1
      Q2=QQ2
      B=SL1-DL(KAI)
      A=SL2-DL(KAI)
      KK=2
    ELSE
      KK=1
    END IF
    GO TO 20

```

C

```

12  IF ( KAI .LT. MEM1 ) THEN
      KK=1
    ELSE IF ( KAI .EQ. MEM1 ) THEN
      Q1=QQ1
      Q2=QQ(DL(KAI+1))
      B=SL1-DL(KAI)
      A=DL(KAI+1)-DL(KAI)
      KK=2
    ELSE IF ( KAI .EQ. MEM2 ) THEN
      Q1=QQ(DL(KAI))
      Q2=QQ2
      B=0.0
      A=SL2-DL(KAI)
      KK=2
    ELSE
      KK=1
    END IF
    GO TO 20

```

C

```

13  IF ( KAI .LT. MEM1 ) THEN
      KK=1

```

```

ELSE IF ( KAI .EQ. MEM1 ) THEN
  Q1=QQ1
  Q2=QQ(DL(KAI+1))
  B=SL1-DL(KAI)
  A=DL(KAI+1)-DL(KAI)
  KK=2
ELSE IF ( KAI .LT. MEM2 ) THEN
  Q1=QQ(DL(KAI))
  Q2=QQ(DL(KAI+1))
  B=0.0
  A=DL(KAI+1)-DL(KAI)
  KK=2
ELSE IF ( KAI .EQ. MEM2 ) THEN
  Q1=QQ(DL(KAI))
  Q2=QQ2
  B=0.0
  A=SL2-DL(KAI)
  KK=2
ELSE
  KK=1
END IF
20 CONTINUE
C
  IF (KK .EQ. 1 ) CALL KAJU1(QKA,RKA,SKA,TKA)
  IF (KK .EQ. 2 ) CALL KAJU2(Q1,Q2,A,B,XX,QKA,RKA,SKA,TKA)
C
  ZZ(1)=-TKA/EI(KAI)
  ZZ(2)=-SKA/EI(KAI)
  ZZ(3)=-RKA
  ZZ(4)=QKA
C
  RETURN
  END
C
  SUBROUTINE QCALCD(ZZ)
  IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
  DIMENSION ZZ(4)
C
  ZZ(1)=0.0
  ZZ(2)=0.0
  ZZ(3)=0.0
  ZZ(4)=0.0
C
  RETURN
  END
C
C.....KAJUKANSU NO KEISAN
C
  SUBROUTINE KAJU1( Q ,R ,S ,T)
  IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
C
  Q = 0.0
  R = 0.0
  S = 0.0
  T = 0.0
C
  RETURN
  END

```

```

C
SUBROUTINE KAJU2( Q1, Q2 , A, B, X, Q ,R ,S ,T)
IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
COMMON / BETA / BE

```

```

C
IF ( X .LT. B ) THEN

```

```

    Q=0.0
    R=0.0
    S=0.0
    T=0.0

```

```

ELSE IF ( X .LE. A ) THEN

```

```

    U=X-B

```

```

    Q = Q1/BE*F2(U)+(Q2-Q1)*F3(U)/((A-B)*BE**2)

```

```

    R = Q1*F3(U)/BE**2+(Q2-Q1)*F4(U)/((A-B)*BE**3)

```

```

    S = Q1*F4(U)/BE**3-(F1(U)-1)*(Q2-Q1)/(4.0*(A-B)*BE**4)

```

```

    T = (Q1+(Q2-Q1)*U/(A-B))/(4.0*BE**4)-Q1*F1(U)/(4.0*BE**4)

```

```

*      -(Q2-Q1)*F2(U)/((A-B)*4.0*BE**5)

```

```

ELSE

```

```

    U=X-B

```

```

    V=X-A

```

```

    Q = Q1/BE*(F2(U)-(F3(U)-F3(V))/(BE*(A-B)))

```

```

*      -Q2/BE*(F2(V)-(F3(U)-F3(V))/(BE*(A-B)))

```

```

    R = Q1/(BE**2)*(F3(U)-(F4(U)-F4(V))/(BE*(A-B)))

```

```

*      -Q2/(BE**2)*(F3(V)-(F4(U)-F4(V))/(BE*(A-B)))

```

```

    S = Q1/(BE**3)*(F4(U)+(F1(U)-F1(V))/(4.0*BE*(A-B)))

```

```

*      -Q2/(BE**3)*(F4(V)+(F1(U)-F1(V))/(4.0*BE*(A-B)))

```

```

    T = Q1/(4.0*BE**4)*(-F1(U)+(F2(U)-F2(V))/(BE*(A-B)))

```

```

*      -Q2/(4.0*BE**4)*(-F1(V)+(F2(U)-F2(V))/(BE*(A-B)))

```

```

END IF

```

```

C
RETURN

```

```

END

```

```

C
C.....MATRIX 'Z' CALC

```

```

SUBROUTINE QMAT(A,ZI,Z,ZO)

```

```

IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)

```

```

DIMENSION A(4,4) ,ZI(4), Z(4), ZO(4)

```

```

C
DO 10 I=1 ,4

```

```

    ZO(I)=0.0

```

```

    DO 15 J=1,4

```

```

        ZO(I)=ZO(I)+A(I,J)*ZI(J)

```

```

15    CONTINUE

```

```

        ZO(I)=ZO(I)+Z(I)

```

```

10    CONTINUE

```

```

C
RETURN

```

```

END

```

```

SUBROUTINE GAKGYO( C, Z ,V0)
IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
DIMENSION C(4,4) ,Z(4) ,V0(4)

```

```

C
DET=C(3,1)*C(4,2)-C(3,2)*C(4,1)
V0(1)=(C(4,2)*(-Z(3))+C(3,2)*Z(4))/DET
V0(2)=(C(4,1)*Z(3)-C(3,1)*Z(4))/DET
V0(3)=0.0
V0(4)=0.0

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
SUBROUTINE VMAT( F,V0, Q ,V)
IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
DIMENSION F(4,4) ,V0(4) ,Q(4) , V(4)

```

```

C
DO 10 I=1 ,4
  V(I)=0.0
  DO 20 J =1 ,4
    V(I)=V(I)+F(I,J)*V0(J)
20  CONTINUE
  V(I)=V(I)+Q(I)
10 CONTINUE

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
SUBROUTINE KANBI(BE,QY, X,RY,RT,RM,RQ)
IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
COMMON / DATA1/ NM, DI(50),EI(50) , B0(50)
COMMON / ITER / KAI , KAJ
DIMENSION BE(50)

```

```

C
BG1=1.0/BE(1)
BG2=1.0/BE(2)
B1=BG1+BG2
B2=BG1-BG2
RY=-(QY/(4.0*EI(1)*BE(1)**2.0))*DEXP(-BE(1)*X)*(B1*DCOS(BE(1)*X)
* +B2*DSIN(BE(1)*X))
RT=(QY/(2.0*EI(1)*BE(1)))*DEXP(-BE(1)*X)*(BG2*DCOS(BE(1)*X)
* +BG1*DSIN(BE(1)*X))
RM=(QY/2.0)*DEXP(-BE(1)*X)*(B2*DCOS(BE(1)*X)-B1*DSIN(BE(1)*X))
RQ=QY*BE(1)*DEXP(-BE(1)*X)*(BG1*DCOS(BE(1)*X)-BG2*DSIN(BE(1)*X))

```

```

C
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE KANB2( BE,QY,X,RY,RT,RM,RQ)
IMPLICIT REAL*8 (A-H , O-Z)
COMMON / DATA1/ NM, DI(50),EI(50) , B0(50)
COMMON / ITER / KAI , KAJ
DIMENSION BE(50)

```

```

C
BG1=1.0/BE(1)
BG2=1.0/BE(2)
B1=BG1+BG2
B2=BG1-BG2
RY=-(QY/(4.0*EI(2)*BE(2)**2.0))*DEXP(-BE(2)*X)*(B1*DCOS(BE(2)*X)
* -B2*DSIN(BE(2)*X))
RT=(QY/(2.0*EI(2)*BE(2)))*DEXP(-BE(2)*X)*(BG1*DCOS(BE(2)*X)
* +BG2*DSIN(BE(2)*X))
RM=-(QY/2.0)*DEXP(-BE(2)*X)*(B2*DCOS(BE(2)*X)+B1*DSIN(BE(2)*X))
RQ=QY*BE(2)*DEXP(-BE(2)*X)*(BG2*DCOS(BE(2)*X)-BG1*DSIN(BE(2)*X))

```

```

C
RETURN
END

```

(2) 計算例

①各種定数

ここでの計算は参考文献 16) の p 88 (くさび杭の設計事例) の値をそのまま採用した。

地盤の強度定数

土層	密度 tf/m ³	粘着力 c tf/m ²	内部摩擦角 φ°	変形係数 E _s tf/m ²	杭の長さ m
移動層	1.8	3	28	3000	12
不動層	2.1	10	40	15000	12

杭の諸元

直径 mm	厚さ mm	許容応力度 tf/m ²	断面積 cm ²	断面二次モーメント cm ⁴	断面係数 cm ³
508.0	14	σ _s = 16000 τ _s = 9000	217.3	663 × 10 ²	261 × 10

②杭にかかる荷重について

1) 福岡式を使う場合

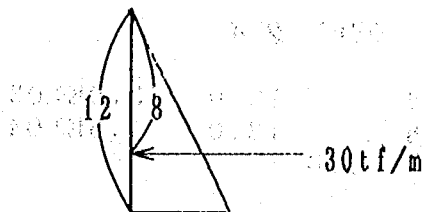
参考文献 16) においては、くさび杭として、福岡式を使って、すべり面に

$$S = 30 \text{ tf/m}$$

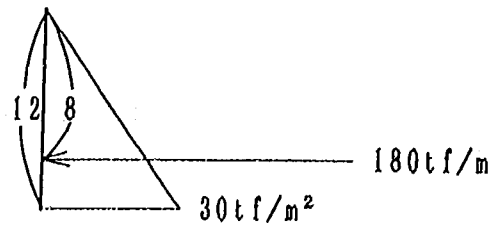
の集中荷重をかけて計算している。

本報告のプログラムでは、以下の三つの場合について計算した。

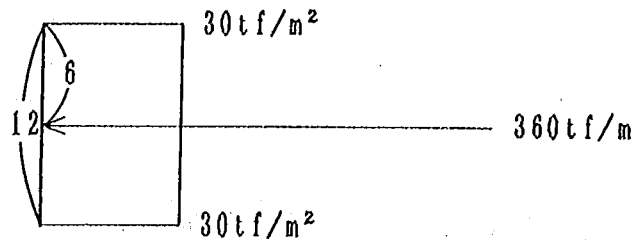
- ロ) 杭の移動層の部分のすべり面から 1/3 の部分に 30 tf/m の力をかけ、それを分布荷重に展開した場合



- ハ) 分布荷重に展開した場合にすべり面にかかる力が 30 tf/m になるように力かける。これは杭の移動層の部分のすべり面より 1/3 のところに 180 tf/m の集中荷重をかけることを意味する。



ニ) 分布荷重に展開した場合に杭の移動層部分の全体に30tf/mの力がかかるようにする。これは、杭の移動層部分の1/2のところに360tf/mの集中荷重をかけることを意味する。



③入力データ

イ)、ロ)

```

2
PILE ANALYSIS (TEST) マケゝ クサヒゝ グゝイ
1
1  6.63E-04      0.508      12.0      3.0E+03
2  6.63E-04      0.508      12.0      1.5E+04
30.0      12.0      8.0

```

ハ)

```

2
PILE ANALYSIS (TEST) マケゝ クサヒゝ グゝイ
1
1  6.63E-04      0.508      12.0      3.0E+03
2  6.63E-04      0.508      12.0      1.5E+04
180.0      12.0      8.0

```

ニ)

```

2
PILE ANALYSIS (TEST) マケゝ クサヒゝ グゝイ
1
1  6.63E-04      0.508      12.0      3.0E+03
2  6.63E-04      0.508      12.0      1.5E+04
360.0      12.0      6.0

```

(3)計算結果

次ページ以降に出力データとそれを図化したものを掲げる。この場合は二層なので、図化用データの出力形式は上に述べたうち、二番目のものである。

イ) とロ) を比較すると、福岡式によるもののほうが、明らかに過大な値を与えることがわかる。つまり安全側にくるわけであって、実務においては、同じ抑止力使う以上、理論的には問題があっても、福岡式を使うべきであろう。

これで見ると、イ) の福岡式の場合と、ハ) とニ) の場合のように、分布荷重に展開した場合に、すべり面における荷重が福岡式による計算の場合と同じになるように（つまりこの場合30tと）した場合と、ほぼ同程度なるということは、福岡式による計算がかなりの安全側になっていることを意味するものである。

さらに詳しくみると、一番問題となる最大曲げモーメントは、ハ) 、ニ) に比べて、福岡式（イ) によるもののほうが大きい値を示す。この場合必要抑止力は、ニ) はイ) の1.2倍にも達している。但し、このことは現実の地すべり推力とここでいう必要抑止力の関係が明確でない以上、必ずしも十分に安全であるということの意味するものではないであろう。

イ)、ロ) の出力データ

PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

NUM.TOTAL : NUM.MOV. : LOAD.Q(T) : DEP.SLIP.S : REACT.PO.

2 1 .300E+02 .120E+02 .800E+01

NO : DI(m4) : 杭 径(m) : 杭 長(m) : 変形係数(tf/m2)

1 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .300E+04
2 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .150E+05

LAYER: ITER : DEPTH(m) : DIS.(m) : THETA(rad) : MOMENT(tf*m) : SHEAR(tf)

1	1	.000E+00	-.104E-04	-.143E-03	.000E+00	.000E+00
	2	.240E+00	-.239E-04	-.143E-03	-.872E-03	.715E-02
	3	.480E+00	-.582E-04	-.143E-03	-.337E-02	.136E-01
	4	.720E+00	-.926E-04	-.143E-03	-.733E-02	.193E-01
	5	.960E+00	-.127E-03	-.143E-03	-.126E-01	.242E-01
	6	.120E+01	-.161E-03	-.144E-03	-.189E-01	.284E-01
	7	.144E+01	-.196E-03	-.144E-03	-.262E-01	.318E-01
	8	.168E+01	-.231E-03	-.145E-03	-.341E-01	.343E-01
	9	.192E+01	-.265E-03	-.145E-03	-.425E-01	.358E-01
	10	.216E+01	-.300E-03	-.146E-03	-.512E-01	.362E-01
	11	.240E+01	-.335E-03	-.147E-03	-.598E-01	.354E-01
	12	.264E+01	-.371E-03	-.148E-03	-.681E-01	.332E-01
	13	.288E+01	-.406E-03	-.149E-03	-.757E-01	.294E-01
	14	.312E+01	-.442E-03	-.151E-03	-.821E-01	.239E-01
	15	.336E+01	-.479E-03	-.152E-03	-.869E-01	.162E-01
	16	.360E+01	-.515E-03	-.154E-03	-.897E-01	.635E-02
	17	.384E+01	-.553E-03	-.155E-03	-.898E-01	-.610E-02
	18	.408E+01	-.590E-03	-.157E-03	-.866E-01	-.214E-01
	19	.432E+01	-.628E-03	-.158E-03	-.793E-01	-.397E-01
	20	.456E+01	-.666E-03	-.159E-03	-.672E-01	-.614E-01
	21	.480E+01	-.704E-03	-.160E-03	-.495E-01	-.866E-01
	22	.504E+01	-.743E-03	-.161E-03	-.254E-01	-.116E+00
	23	.528E+01	-.782E-03	-.161E-03	.621E-02	-.148E+00
	24	.552E+01	-.820E-03	-.161E-03	.461E-01	-.185E+00
	25	.576E+01	-.859E-03	-.160E-03	.953E-01	-.225E+00
	26	.600E+01	-.897E-03	-.157E-03	.155E+00	-.269E+00
	27	.624E+01	-.934E-03	-.154E-03	.225E+00	-.316E+00
	28	.648E+01	-.971E-03	-.150E-03	.307E+00	-.366E+00
	29	.672E+01	-.101E-02	-.144E-03	.401E+00	-.418E+00
	30	.696E+01	-.104E-02	-.136E-03	.507E+00	-.470E+00
	31	.720E+01	-.107E-02	-.126E-03	.626E+00	-.522E+00
	32	.744E+01	-.110E-02	-.114E-03	.758E+00	-.572E+00
	33	.768E+01	-.113E-02	-.998E-04	.900E+00	-.617E+00
	34	.792E+01	-.115E-02	-.830E-04	.105E+01	-.656E+00
	35	.816E+01	-.117E-02	-.635E-04	.121E+01	-.684E+00
	36	.840E+01	-.118E-02	-.411E-04	.138E+01	-.700E+00
	37	.864E+01	-.118E-02	-.159E-04	.155E+01	-.699E+00
	38	.888E+01	-.119E-02	.123E-04	.171E+01	-.676E+00
	39	.912E+01	-.118E-02	.432E-04	.187E+01	-.628E+00
	40	.936E+01	-.116E-02	.767E-04	.201E+01	-.548E+00
	41	.960E+01	-.114E-02	.112E-03	.213E+01	-.430E+00
	42	.984E+01	-.111E-02	.150E-03	.222E+01	-.269E+00
	43	.101E+02	-.107E-02	.189E-03	.226E+01	-.584E-01
	44	.103E+02	-.102E-02	.227E-03	.224E+01	-.209E+00
	45	.106E+02	-.960E-03	.265E-03	.215E+01	.540E+00

PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

2 1 .300E+02 .120E+02 .800E+01

2	1	.300E+02	.120E+02	.800E+01
.000E+00				
50				
.000E+00	.104E-04	-.143E-03	.000E+00	.000E+00
-.194E-04	.150E-05	.105E+00	.111E+00	
.240E+00	-.239E-04	-.143E-03	-.872E-03	.715E-02
-.195E-04	-.546E-06	.133E+00	.125E+00	
.480E+00	-.582E-04	-.143E-03	-.337E-02	.136E-01
-.191E-04	-.311E-05	.165E+00	.139E+00	
.720E+00	-.926E-04	-.143E-03	-.733E-02	.193E-01
-.180E-04	-.625E-05	.200E+00	.152E+00	
.960E+00	-.127E-03	-.143E-03	-.126E-01	.242E-01
-.160E-04	-.100E-04	.238E+00	.165E+00	
.120E+01	-.161E-03	-.144E-03	-.189E-01	.284E-01
-.131E-04	-.145E-04	.279E+00	.175E+00	
.144E+01	-.196E-03	-.144E-03	-.262E-01	.318E-01
-.901E-05	-.196E-04	.322E+00	.183E+00	
.168E+01	-.231E-03	-.145E-03	-.341E-01	.343E-01
-.360E-05	-.256E-04	.366E+00	.188E+00	
.192E-01	-.265E-03	-.145E-03	-.425E-01	.358E-01
.333E-05	-.323E-04	.412E+00	.188E+00	
.216E+01	-.300E-03	-.146E-03	-.512E-01	.362E-01
.120E-04	-.398E-04	.456E+00	.183E+00	
.240E+01	-.335E-03	-.147E-03	-.598E-01	.354E-01
.225E-04	-.480E-04	.499E+00	.170E+00	
.264E+01	-.371E-03	-.148E-03	-.681E-01	.332E-01
.351E-04	-.569E-04	.537E+00	.150E+00	
.288E+01	-.406E-03	-.149E-03	-.757E-01	.294E-01
.498E-04	-.665E-04	.570E+00	.119E+00	
.312E+01	-.442E-03	-.151E-03	-.821E-01	.239E-01
.670E-04	-.765E-04	.594E+00	.773E-01	
.336E+01	-.479E-03	-.152E-03	-.869E-01	.162E-01
.866E-04	-.869E-04	.606E+00	.222E-01	
.360E+01	-.515E-03	-.154E-03	-.897E-01	.635E-02
.109E-03	-.973E-04	.603E+00	.480E-01	
.384E+01	-.553E-03	-.155E-03	-.898E-01	-.610E-02
.133E-03	-.108E-03	.581E+00	.135E+00	
.408E+01	-.590E-03	-.157E-03	-.866E-01	-.214E-01
.160E-03	-.117E-03	.537E+00	-.241E+00	
.432E+01	-.628E-03	-.158E-03	-.793E-01	-.397E-01
.189E-03	-.126E-03	.464E+00	.366E+00	
.456E+01	-.666E-03	-.159E-03	-.672E-01	-.614E-01
.221E-03	-.133E-03	.359E+00	-.514E+00	
.480E+01	-.704E-03	-.160E-03	-.495E-01	-.866E-01
.253E-03	-.138E-03	.216E+00	-.684E+00	
.504E+01	-.743E-03	-.161E-03	-.254E-01	-.116E+00
.287E-03	-.140E-03	.287E-01	-.879E+00	
.528E+01	-.782E-03	-.161E-03	.621E-02	-.148E+00
.320E-03	-.139E-03	.208E+00	-.110E+01	
.552E+01	-.820E-03	-.161E-03	.461E-01	-.185E+00
.353E-03	-.133E-03	.500E+00	-.134E+01	
.576E+01	-.859E-03	-.160E-03	.953E-01	-.225E+00
.383E-03	-.121E-03	.853E+00	-.160E+01	
.600E+01	-.897E-03	-.157E-03	.155E+00	-.269E+00
.411E-03	-.103E-03	-.127E+01	-.189E+01	
.624E+01	-.934E-03	-.154E-03	.225E+00	-.316E+00
.432E-03	-.769E-04	-.176E-01	-.219E+01	
.648E+01	-.971E-03	-.150E-03	.307E+00	-.366E+00
.447E-03	-.418E-04	-.233E-01	-.251E+01	

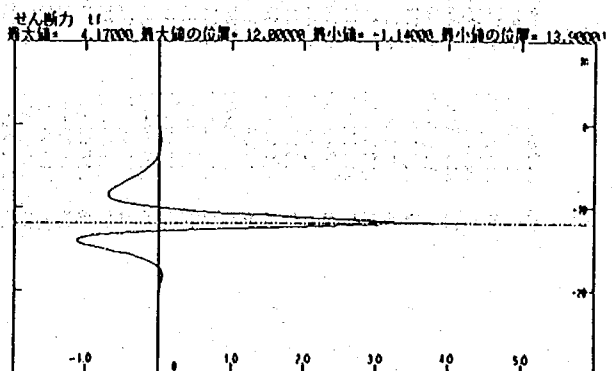
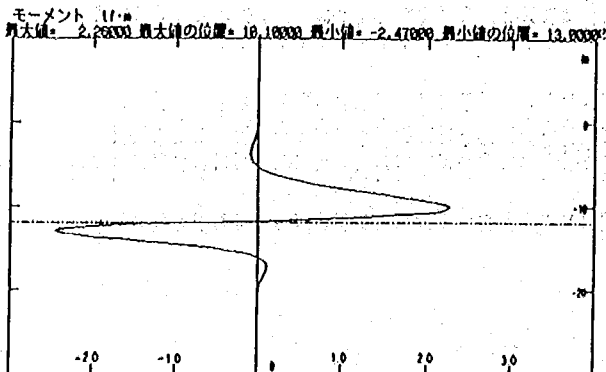
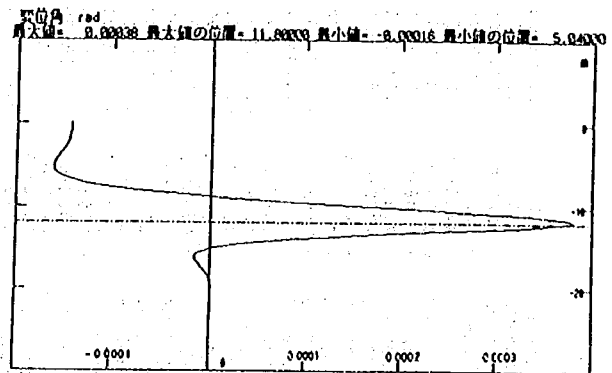
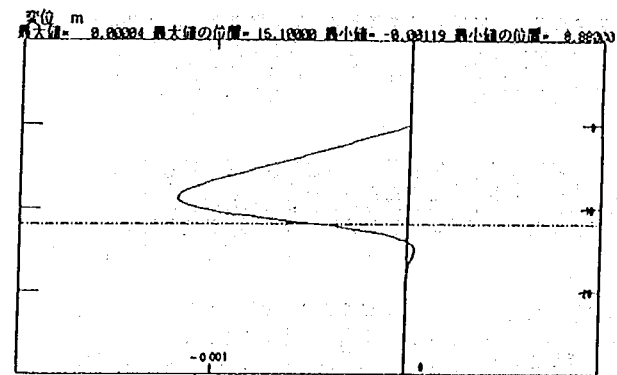
2

46	.108E+02	-.892E-03	.301E-03	.198E+01	.940E+00
47	.110E+02	-.816E-03	.333E-03	.169E+01	.142E+01
48	.113E+02	-.733E-03	.359E-03	.129E+01	.197E+01
49	.115E+02	-.645E-03	.377E-03	.739E+00	.262E+01
50	.118E+02	-.553E-03	.383E-03	.244E+01	.335E+01
1	.120E+02	-.462E-03	.376E-03	-.877E+00	.417E+01
2	.122E+02	-.374E-03	.354E-03	-.169E+01	.267E+01
3	.125E+02	-.293E-03	.320E-03	-.218E+01	.147E+01
4	.127E+02	-.221E-03	.280E-03	-.242E+01	.553E+00
5	.130E+02	-.159E-03	.237E-03	-.247E+01	-.127E+00
6	.132E+02	-.107E-03	.195E-03	-.238E+01	-.601E+00
7	.134E+02	-.647E-04	.156E-03	-.219E+01	-.907E+00
8	.137E+02	-.316E-04	.120E-03	-.195E+01	-.108E+01
9	.139E+02	-.664E-05	.888E-04	-.168E+01	-.114E+01
10	.142E+02	.114E-04	.621E-04	-.141E+01	-.113E+01
11	.144E+02	.235E-04	.401E-04	-.114E+01	-.107E+01
12	.146E+02	.310E-04	.225E-04	-.899E+00	-.970E+00
13	.149E+02	.347E-04	.895E-05	-.680E+00	-.851E+00
14	.151E+02	.355E-04	-.111E-05	-.491E+00	-.724E+00
15	.154E+02	.344E-04	-.817E-05	-.333E+00	-.598E+00
16	.156E+02	.318E-04	-.128E-04	-.204E+00	-.478E+00
17	.158E+02	.284E-04	-.154E-04	-.102E+00	-.370E+00
18	.161E+02	.246E-04	-.164E-04	-.255E-01	-.274E+00
19	.163E+02	.206E-04	-.164E-04	.303E-01	-.193E+00
20	.166E+02	.168E-04	-.155E-04	.682E-01	-.126E+00
21	.168E+02	.132E-04	-.141E-04	.916E-01	-.717E-01
22	.170E+02	.100E-04	-.124E-04	.104E+00	-.299E-01
23	.173E+02	.728E-05	-.106E-04	.107E+00	.115E-02
24	.175E+02	.497E-05	-.875E-05	.104E+00	.231E-01
25	.178E+02	.308E-05	-.702E-05	.963E-01	.374E-01
26	.180E+02	.158E-05	-.544E-05	.863E-01	.457E-01
27	.182E+02	.448E-06	-.406E-05	.748E-01	.493E-01
28	.185E+02	-.379E-06	-.287E-05	.629E-01	.493E-01
29	.187E+02	-.945E-06	-.188E-05	.513E-01	.468E-01
30	.190E+02	-.130E-05	-.109E-05	.405E-01	.427E-01
31	.192E+02	-.148E-05	-.481E-05	.309E-01	.377E-01
32	.194E+02	-.154E-05	-.225E-07	.225E-01	.322E-01
33	.197E+02	-.151E-05	.303E-06	.154E-01	.267E-01
34	.199E+02	-.141E-05	.517E-06	.966E-02	.214E-01
35	.202E+02	-.127E-05	.643E-06	.511E-02	.166E-01
36	.204E+02	-.110E-05	.699E-06	.165E-02	.123E-01
37	.206E+02	-.934E-06	.705E-06	-.864E-03	.868E-02
38	.209E+02	-.768E-06	.674E-06	-.257E-02	.562E-02
39	.211E+02	-.612E-06	.620E-06	-.361E-02	.314E-02
40	.214E+02	-.471E-06	.553E-06	-.412E-02	.119E-02
41	.216E+02	-.347E-06	.481E-06	-.422E-02	-.274E-03
42	.218E+02	-.240E-06	.409E-06	-.402E-02	-.133E-02
43	.221E+02	-.150E-06	.343E-06	-.361E-02	-.202E-02
44	.223E+02	-.748E-07	.286E-06	-.307E-02	-.242E-02
45	.226E+02	-.122E-07	.238E-06	-.247E-02	-.258E-02
46	.228E+02	.402E-07	.201E-06	-.185E-02	-.252E-02
47	.230E+02	.849E-07	.174E-06	-.127E-02	-.230E-02
48	.233E+02	.124E-06	.156E-06	-.759E-03	-.192E-02
49	.235E+02	.161E-06	.147E-06	-.357E-03	-.141E-02
50	.238E+02	.195E-06	.143E-06	-.943E-04	-.765E-03
3	1	.240E+02	.230E-06	.143E-06	-.223E-09

.672E+01	-.101E-02	-.144E-03	.401E+00	-.418E+00
.452E-03	.371E-05	-.297E+01	-.284E+01	
.696E+01	-.104E-02	-.136E-03	.507E+00	-.470E+00
.444E-03	.510E-04	-.369E+01	-.316E+01	
.720E+01	-.107E-02	-.126E-03	.626E+00	-.522E+00
.421E-03	.131E-03	-.448E+01	-.347E+01	
.744E+01	-.110E-02	-.114E-03	.758E+00	-.572E+00
.380E-03	.216E-03	-.535E+01	-.376E+01	
.768E+01	-.113E-02	-.998E-04	.900E+00	-.617E+00
.316E-03	.316E-03	-.629E+01	-.401E+01	
.792E+01	-.115E-02	-.830E-04	.105E+01	-.656E+00
.227E-03	.433E-03	-.727E+01	-.421E+01	
.816E+01	-.117E-02	-.635E-04	.121E+01	-.684E+00
.107E-03	.567E-03	-.830E+01	-.433E+01	
.840E+01	-.118E-02	-.411E-04	.138E+01	-.700E+00
-.469E-04	.719E-03	-.935E+01	-.436E+01	
.864E+01	-.118E-02	-.159E-04	.155E+01	-.699E+00
-.240E-03	.889E-03	-.104E-02	-.426E+01	
.888E+01	-.119E-02	.123E-04	.171E+01	-.676E+00
-.475E-03	.108E-02	-.114E+02	-.400E+01	
.912E+01	-.118E-02	.432E-04	.187E+01	-.628E+00
-.758E-03	.128E-02	-.123E+02	-.356E+01	
.936E+01	-.116E-02	.767E-04	.201E+01	-.548E+00
-.109E-02	.150E-02	-.131E+02	-.290E+01	
.960E+01	-.114E-02	.112E-03	.213E+01	-.430E+00
-.148E-02	.173E-02	-.137E+02	-.198E+01	
.984E+01	-.111E-02	.150E-03	.222E+01	-.269E+00
-.192E-02	.197E-02	-.140E+02	-.755E+00	
.101E-02	-.107E-02	.189E-03	.226E+01	-.584E-01
-.242E-02	.221E-02	-.140E+02	.806E+00	
.103E+02	-.102E-02	.227E-03	.224E+01	.209E+00
-.298E-02	.245E-02	-.136E+02	.275E+01	
.106E+02	-.960E-03	.265E-03	.215E+01	.540E+00
-.360E-02	.268E-02	-.126E+02	.512E+01	
.108E+02	-.892E-03	.301E-03	.198E+01	.940E+00
-.427E-02	.288E-02	-.111E+02	.794E+01	
.110E+02	-.816E-03	.333E-03	.169E+01	.142E+01
-.498E-02	.305E-02	-.879E+01	.113E+02	
.113E+02	-.733E-03	.359E-03	.129E+01	.197E+01
-.573E-02	.318E-02	-.563E+01	.151E+02	
.115E+02	-.645E-03	.377E-03	.739E+00	.262E+01
-.650E-02	.324E-02	-.148E+01	.195E+02	
.118E+02	-.553E-03	.383E-03	.244E+01	.335E+01
-.728E-02	.322E-02	.379E+01	.245E+02	
.120E+02	-.462E-03	.376E-03	-.377E+00	.417E+01
-.804E-02	.310E-02	.103E+02	.300E+02	
.122E+02	-.374E-03	.354E-03	-.169E+01	.267E+01
-.288E-02	.287E-02	-.161E+02	.184E+02	
.125E+02	-.293E-03	.320E-03	-.218E+01	.147E+01
-.222E-02	.256E-02	-.193E+02	.921E+01	
.127E+02	-.221E-03	.280E-03	-.242E+01	.553E+00
-.165E-02	.222E-02	-.207E+02	.227E+01	
.130E+02	-.159E-03	.237E-03	-.247E+01	-.108E+01
-.116E-02	.186E-02	-.206E+02	-.276E+01	
.132E+02	-.107E-03	.195E-03	-.238E+01	-.601E+00
-.754E-03	.151E-02	-.195E+02	-.617E+01	
.134E+02	-.647E-04	.156E-03	-.219E+01	-.907E+00
-.430E-03	.119E-02	-.177E+02	-.828E+01	

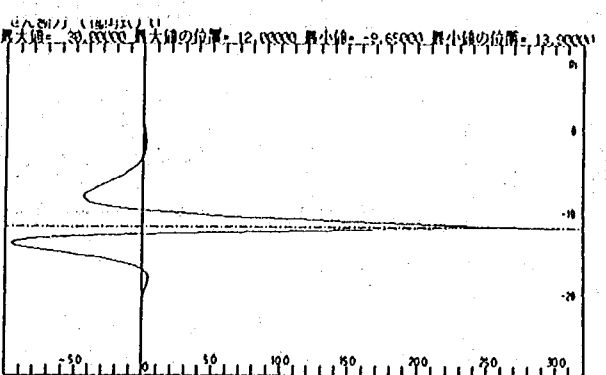
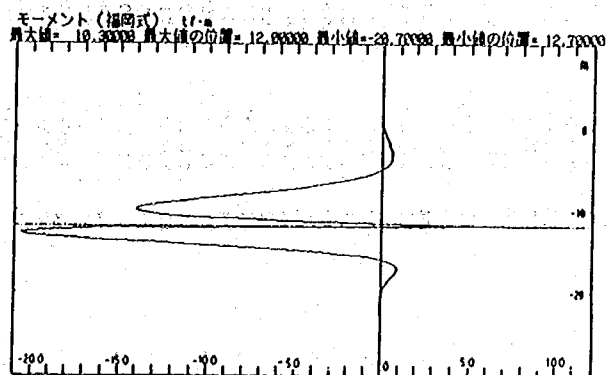
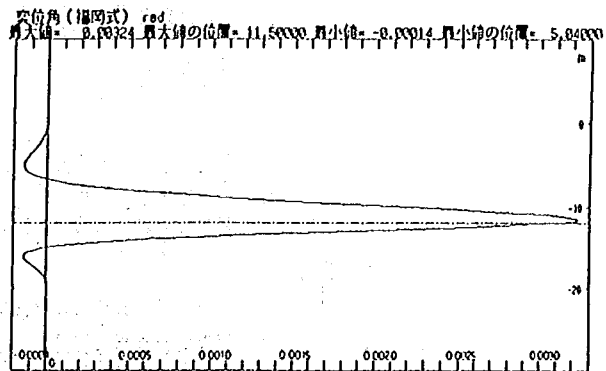
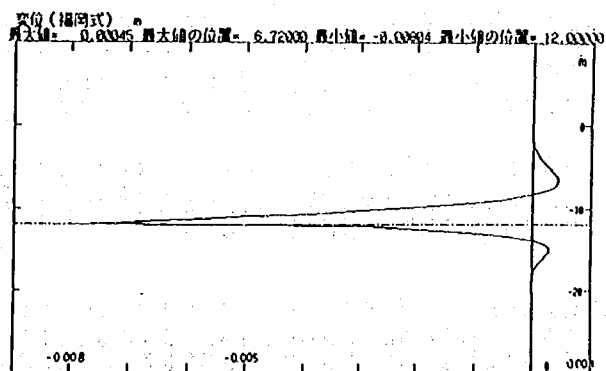
.137E+02	-3.16E-04	.120E-03	-.195E+01	-.108E+01
-.179E-03	.906E-03	-.156E-02	-.936E+01	
.139E+02	-.564E-05	.888E-04	-.168E+01	-.114E+01
.766E-05	.657E-03	-.133E-02	-.965E+01	
.142E+02	.114E-04	.621E-04	-.141E+01	-.113E+01
.139E-03	.448E-03	-.110E-02	-.937E+01	
.144E+02	.235E-04	.401E-04	-.114E+01	-.107E+01
.226E-03	.277E-03	-.882E-01	-.870E+01	
.146E+02	.310E-04	.225E-04	-.899E+00	-.970E+00
.275E-03	.142E-03	-.684E+01	-.779E+01	
.149E+02	.347E-04	.895E-05	-.680E+00	-.851E+00
.297E-03	.400E-04	-.509E+01	-.675E+01	
.151E+02	.355E-04	.111E-05	-.491E+00	-.724E+00
.297E-03	.344E-04	-.360E+01	-.568E+01	
.154E+02	.344E-04	-.817E-05	-.333E+00	-.598E+00
.282E-03	.854E-04	.236E+01	-.463E+01	
.155E+02	.318E-04	-.128E-04	-.204E+00	-.478E+00
.257E-03	.117E-03	-.137E-01	-.366E+01	
.158E+02	.284E-04	.154E-04	-.102E+00	-.370E+00
.227E-03	.134E-03	-.594E+00	-.279E+01	
.161E+02	.246E-04	-.164E-04	-.255E-01	-.274E+00
.194E-03	.139E-03	-.179E-01	-.203E+01	
.163E+02	.206E-04	.164E-04	.303E-01	-.193E+00
.161E-03	.135E-03	.391E+00	-.139E+01	
.166E+02	.186E-04	.155E-04	-.832E-01	-.126E+00
.129E-03	.126E-03	.660E+00	-.872E+00	
.168E+02	.132E-04	.141E-04	.916E-01	-.717E-01
.101E-03	.113E-03	.818E+00	-.458E+00	
.170E+02	.100E-04	-.124E-04	.104E+00	-.299E-01
.752E-04	.984E-04	.888E+00	-.143E+00	
.173E+02	.728E-05	.106E-04	.107E+00	-.115E-02
.534E-04	.830E-04	.893E+00	.874E-01	
.175E+02	.497E-05	-.875E-05	.104E+00	-.231E-01
.353E-04	.679E-04	.852E+00	.246E+00	
.178E+02	.308E-05	.702E-05	.963E-01	-.374E-01
.207E-04	.538E-04	.780E+00	.346E+00	
.180E+02	.158E-05	-.544E-05	.863E-01	-.457E-01
.938E-05	.411E-04	.690E+00	.399E+00	
.182E+02	.448E-06	.406E-05	.748E-01	-.493E-01
.864E-06	.301E-04	.591E+00	.417E+00	
.185E+02	.379E-06	.287E-05	.629E-01	-.493E-01
.520E-05	.208E-04	.492E+00	.408E+00	
.187E+02	.945E-06	.188E-05	.513E-01	-.468E-01
.924E-05	.131E-04	.397E+00	.382E+00	
.190E+02	.130E-05	.109E-05	.405E-01	-.427E-01
.116E-04	.704E-05	.309E+00	.344E+00	
.192E+02	.148E-05	.431E-06	.309E-01	-.377E-01
.127E-04	.239E-05	.232E+00	.300E+00	
.194E+02	.154E-05	.225E-07	.225E-01	-.322E-01
.129E-04	.102E-05	.168E+00	.253E+00	
.197E+02	.151E-05	.303E-06	.154E-01	-.267E-01
.123E-04	.338E-05	.110E+00	.208E+00	
.199E+02	.141E-05	.517E-06	.965E-02	-.214E-01
.113E-04	.488E-05	.656E-01	.165E+00	
.202E+02	.127E-05	.643E-06	.511E-02	-.166E-01
.109E-04	.570E-05	.307E-01	.127E+00	
.204E+02	.110E-05	.699E-06	.165E-02	-.123E-01
.863E-05	.599E-05	.447E-02	.930E-01	

ロ) の結果の図化



205E-02 - .934E-06 705E-06 - .864E-03 - .888E-02
 - .719E-05 - .590E-05 - .143E-01 - .646E-01
 - .209E-02 - .768E-06 - .674E-06 - .257E-02 - .562E-02
 - .582E-05 - .553E-05 - .269E-01 - .412E-01
 - .211E-02 - .612E-06 - .620E-06 - .361E-02 - .314E-02
 - .455E-05 - .500E-05 - .345E-01 - .225E-01
 - .214E-02 - .471E-06 - .553E-06 - .412E-02 - .119E-02
 - .343E-05 - .437E-05 - .381E-01 - .823E-02
 - .215E-02 - .347E-06 - .481E-06 - .422E-02 - .274E-03
 - .246E-05 - .370E-05 - .387E-01 - .231E-02
 - .218E-02 - .240E-06 - .409E-05 - .402E-02 - .133E-02
 - .165E-05 - .304E-05 - .372E-01 - .966E-02 - .202E-02
 - .221E-02 - .150E-06 - .343E-01 - .144E-01
 - .993E-06 - .243E-05 - .286E-06 - .307E-02 - .242E-02
 - .223E-02 - .748E-07 - .286E-06 - .170E-01
 - .480E-06 - .187E-05 - .305E-01 - .170E-01
 - .226E-02 - .122E-07 - .238E-06 - .247E-02 - .258E-02
 - .921E-07 - .138E-05 - .263E-01 - .180E-01
 - .228E-02 - .402E-07 - .201E-06 - .185E-02 - .252E-02
 - .187E-06 - .961E-06 - .220E-01 - .178E-01
 - .230E-02 - .849E-07 - .174E-06 - .127E-02 - .230E-02
 - .375E-06 - .618E-06 - .178E-01 - .167E-01
 - .233E-02 - .124E-06 - .158E-06 - .759E-03 - .192E-02
 - .489E-06 - .345E-06 - .140E-01 - .152E-01
 - .235E-02 - .161E-06 - .147E-06 - .357E-03 - .141E-02
 - .545E-06 - .134E-06 - .106E-01 - .133E-01
 - .238E-02 - .195E-06 - .143E-06 - .943E-04 - .765E-03
 - .558E-06 - .223E-07 - .761E-02 - .113E-01
 - .240E-02 - .230E-06 - .143E-06 - .223E-09 - .130E-09
 - .538E-06 - .132E-06 - .514E-02 - .931E-02

イ) の結果の図化 (福岡式)



ハ) の出力データ

PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

NUM.TOTAL : NUM.MOV. : LOAD.Q(T) : DEP.SLIP.S : REACT.PO.

2 1 .180E+03 .120E+02 .800E-01

NO : DI(m) : 杭 径(m) : 杭 長(m) : 変形係数(tf/m2)

1 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .300E+04
2 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .150E+05

LAYER: ITER :DEPTH(m) : DIS.(m) : THETA(rad):MOMENT(tf*m):SHEAR(tf)

1	1	.000E+00	.626E-04	-.858E-03	.000E+00	.000E+00
	2	.240E+00	-.143E-03	-.858E-03	-.523E-02	.429E-01
	3	.480E+00	-.349E-03	-.858E-03	-.202E-01	.815E-01
	4	.720E+00	-.555E-03	-.859E-03	-.440E-01	.116E+00
	5	.960E+00	-.762E-03	-.860E-03	-.754E-01	.145E+00
	6	.120E+01	-.968E-03	-.862E-03	-.113E+00	.171E+00
	7	.144E+01	-.118E-02	-.864E-03	-.157E+00	.191E+00
	8	.168E+01	-.138E-02	-.867E-03	-.205E+00	.206E+00
	9	.192E+01	-.159E-02	-.871E-03	-.255E+00	.215E+00
	10	.216E+01	-.180E-02	-.876E-03	-.307E+00	.217E+00
	11	.240E+01	-.201E-02	-.882E-03	-.359E+00	.213E+00
	12	.264E+01	-.222E-02	-.888E-03	-.409E+00	.213E+00
	13	.288E+01	-.244E-02	-.896E-03	-.454E+00	.177E+00
	14	.312E+01	-.265E-02	-.904E-03	-.493E+00	.143E+00
	15	.336E+01	-.287E-02	-.913E-03	-.522E+00	.975E-01
	16	.360E+01	-.309E-02	-.922E-03	-.538E+00	.381E-01
	17	.384E+01	-.332E-02	-.931E-03	-.539E+00	-.366E-01
	18	.408E+01	-.354E-02	-.940E-03	-.519E+00	-.128E-00
	19	.432E+01	-.377E-02	-.949E-03	-.476E+00	-.238E+00
	20	.456E+01	-.400E-02	-.956E-03	-.403E+00	-.368E+00
	21	.480E+01	-.423E-02	-.963E-03	-.297E+00	-.520E+00
	22	.504E+01	-.446E-02	-.967E-03	-.152E+00	-.693E+00
	23	.528E+01	-.469E-02	-.968E-03	.373E-01	-.890E+00
	24	.552E+01	-.492E-02	-.965E-03	.277E+00	-.111E+01
	25	.576E+01	-.515E-02	-.958E-03	.572E+00	-.135E+01
	26	.600E+01	-.538E-02	-.945E-03	.927E+00	-.162E+01
	27	.624E+01	-.560E-02	-.925E-03	.135E+01	-.190E+01
	28	.648E+01	-.582E-02	-.898E-03	.184E+01	-.220E+01
	29	.672E+01	-.604E-02	-.862E-03	.240E+01	-.251E+01
	30	.696E+01	-.624E-02	-.815E-03	.304E+01	-.282E+01
	31	.720E+01	-.643E-02	-.756E-03	.376E+01	-.313E+01
	32	.744E+01	-.660E-02	-.685E-03	.455E+01	-.343E+01
	33	.768E+01	-.675E-02	-.599E-03	.540E+01	-.370E+01
	34	.792E+01	-.688E-02	-.498E-03	.632E+01	-.393E+01
	35	.816E+01	-.699E-02	-.381E-03	.729E+01	-.411E+01
	36	.840E+01	-.707E-02	-.247E-03	.828E+01	-.420E+01
	37	.864E+01	-.711E-02	-.952E-04	.929E+01	-.419E+01
	38	.888E+01	-.711E-02	.736E-04	.103E+02	-.406E+01
	39	.912E+01	-.707E-02	.259E-03	.112E+02	-.377E+01
	40	.936E+01	-.699E-02	.460E-03	.121E+02	-.329E+01
	41	.960E+01	-.685E-02	.675E-03	.128E+02	-.258E+01
	42	.984E+01	-.666E-02	.900E-03	.133E+02	-.162E+01
	43	.101E+02	-.642E-02	.113E-02	.135E+02	-.350E+00
	44	.103E+02	-.612E-02	.136E-02	.134E+02	.125E+01
	45	.106E+02	-.576E-02	.159E-02	.129E+02	.324E+01

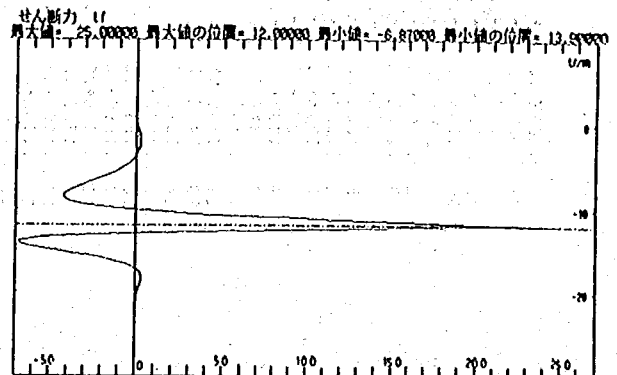
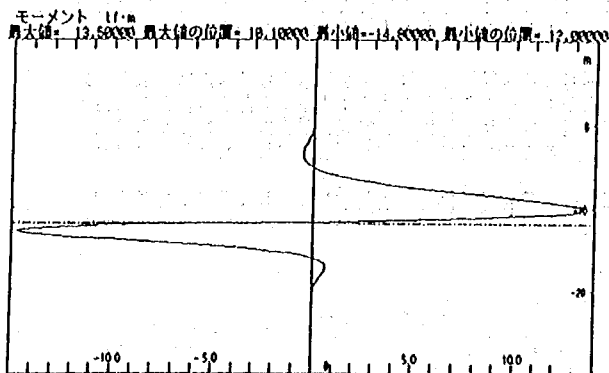
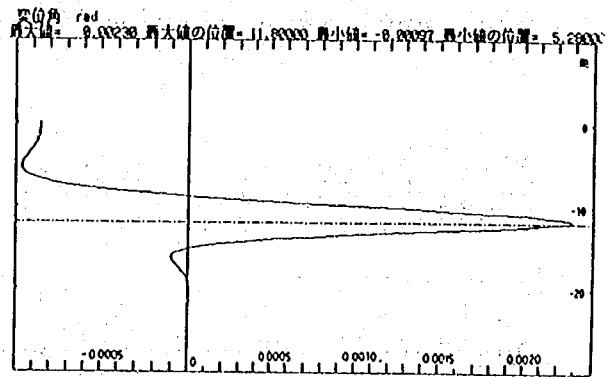
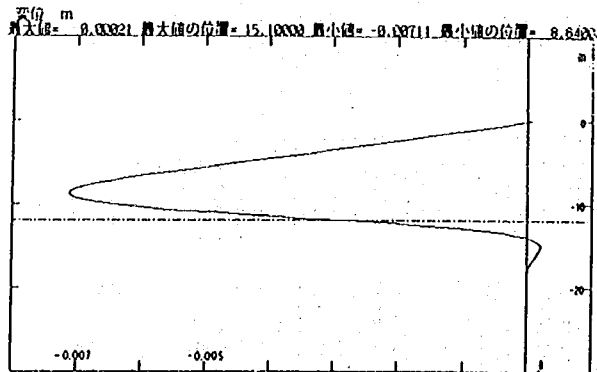
PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

2 1 .180E+03 .120E+02 .800E+01

50	.000E+00	.626E-04	-.858E-03	.000E+00	.000E+00
	.116E-03	.902E-05	.630E+00	.666E+00	
	.240E+00	-.143E-03	-.858E-03	-.523E-02	.429E-01
	.117E-03	-.328E-05	.800E+00	.750E+00	
	.480E+00	-.349E-03	-.858E-03	-.202E-01	.815E-01
	.114E-03	-.187E-04	.990E+00	.833E+00	
	.720E+00	-.556E-03	-.859E-03	-.440E-01	.116E+00
	.108E-03	-.375E-04	.120E+01	.913E+00	
	.960E+00	-.762E-03	-.860E-03	-.754E-01	.145E+00
	.961E-04	-.601E-04	.143E+01	.987E+00	
	.120E+01	-.968E-03	-.862E-03	-.113E+00	.171E+00
	.786E-04	-.868E-04	.167E+01	.105E+01	
	.144E+01	-.118E-02	-.864E-03	-.157E+00	.191E+00
	.541E-04	-.118E-03	.193E+01	.110E+01	
	.168E+01	-.138E-02	-.867E-03	-.205E+00	.206E+00
	.216E-04	-.153E-03	.220E+01	.113E+01	
	.192E+01	-.159E-02	-.871E-03	-.255E+00	.215E+00
	.200E-04	-.194E-03	.247E+01	.113E+01	
	.216E+01	-.180E-02	-.876E-03	-.307E+00	.217E+00
	.717E-04	-.239E-03	.274E+01	.110E+01	
	.240E+01	-.201E-02	-.882E-03	-.359E+00	.213E+00
	.135E-03	-.288E-03	.299E+01	.102E+01	
	.264E+01	-.222E-02	-.888E-03	-.409E+00	.199E+00
	.210E-03	-.342E-03	.322E+01	.898E+00	
	.288E+01	-.244E-02	-.896E-03	-.454E+00	.177E+00
	.299E-03	-.399E-03	.342E+01	.715E+00	
	.312E+01	-.265E-02	-.904E-03	-.493E+00	.143E+00
	.402E-03	-.459E-03	.356E+01	.464E+00	
	.336E+01	-.287E-02	-.913E-03	-.522E+00	.975E-01
	.520E-03	-.521E-03	.363E+01	.133E+00	
	.360E+01	-.309E-02	-.922E-03	-.538E+00	.381E-01
	.652E-03	-.584E-03	.362E+01	-.288E+00	
	.384E+01	-.332E-02	-.931E-03	-.539E+00	-.366E-01
	.800E-03	-.645E-03	.349E+01	-.810E+00	
	.408E+01	-.354E-02	-.940E-03	-.519E+00	-.128E-00
	.962E-03	-.703E-03	.322E+01	-.144E+01	
	.432E+01	-.377E-02	-.949E-03	-.476E+00	-.238E+00
	.114E-02	-.755E-03	.279E+01	-.220E+01	
	.456E+01	-.400E-02	-.956E-03	-.403E+00	-.368E+00
	.132E-02	-.798E-03	.215E+01	-.308E+01	
	.480E+01	-.423E-02	-.963E-03	-.297E+00	-.520E+00
	.152E-02	-.828E-03	.129E+01	-.411E+01	
	.504E+01	-.446E-02	-.967E-03	-.152E+00	-.693E+00
	.172E-02	-.841E-03	.172E+00	-.527E+01	
	.528E+01	-.469E-02	-.968E-03	.373E-01	-.390E+00
	.192E-02	-.833E-03	.125E+01	-.658E+01	
	.552E+01	-.492E-02	-.965E-03	.277E+00	-.111E+01
	.212E-02	-.797E-03	.300E+01	-.804E+01	
	.576E+01	-.515E-02	-.958E-03	.572E+00	-.135E-01
	.230E-02	-.727E-03	.512E+01	-.963E+01	
	.600E+01	-.538E-02	-.945E-03	.927E+00	-.162E-01
	.246E-02	-.618E-03	-.763E+01	-.113E+02	
	.624E+01	-.560E-02	-.925E-03	.135E+01	-.190E-01
	.259E-02	-.462E-03	-.106E+02	-.132E+02	
	.648E+01	-.582E-02	-.898E-03	.184E+01	-.220E+01
	.268E-02	-.251E-03	-.140E+02	-.151E+02	

46	.108E+02	-.535E-02	.181E-02	.119E+02	.564E+01	.672E+01	-.604E-02	-.862E-03	.240E+01	-.251E+01
47	.110E+02	-.490E-02	.200E-02	.102E+02	.850E+01	.271E-02	.223E-04	-.178E+02	-.170E+02	
48	.113E+02	-.440E-02	.215E-02	.773E+01	.118E+02	.696E+01	-.624E-02	-.815E-03	.304E+01	-.282E+01
49	.115E+02	-.387E-02	.226E-02	.443E+01	.157E+02	.266E-02	.366E-03	-.221E+02	-.190E+02	
50	.118E+02	-.332E-02	.230E-02	.146E+00	.201E+02	.720E+01	-.643E-02	-.756E-03	.376E+01	-.313E+01
1	.120E+02	-.277E-02	.226E-02	-.526E+01	.250E+02	.253E-02	.788E-03	-.269E-02	-.208E+02	
2	.122E+02	-.224E-02	.212E-02	-.102E+02	.160E+02	.744E+01	-.660E-02	-.685E-03	.455E+01	-.343E+01
3	.125E+02	-.176E-02	.192E-02	-.131E+02	.885E+01	.228E-02	.130E-02	-.321E+02	-.226E+02	
4	.127E+02	-.132E-02	.168E-02	-.145E+02	.332E+01	.768E+01	-.675E-02	-.599E-03	.540E+01	-.370E+01
5	.130E+02	-.952E-03	.142E-02	-.148E+02	-.759E+00	.190E-02	.190E-02	-.377E+02	-.241E+02	
6	.132E+02	-.641E-03	.117E-02	-.143E+02	-.361E+01	.792E+01	-.688E-02	-.498E-03	.632E+01	-.393E+01
7	.134E+02	-.388E-03	.936E-03	-.132E+02	-.544E+01	.136E-02	.260E-02	-.436E+02	-.253E+02	
8	.137E+02	-.190E-03	.721E-03	-.117E+02	-.647E+01	.816E+01	-.699E-02	-.381E-03	.729E+01	-.411E+01
9	.139E+02	-.399E-04	.533E-03	-.101E+02	-.687E+01	.643E-03	.340E-02	-.498E+02	-.260E+02	
10	.142E+02	.682E-04	.373E-03	-.846E+01	-.680E+01	.840E+01	-.707E-02	-.247E-03	.828E+01	-.420E+01
11	.144E+02	.141E-03	.241E-03	-.687E+01	-.642E+01	-.281E-03	.432E-02	-.561E+02	-.261E+02	
12	.146E+02	.186E-03	.135E-03	-.540E+01	-.582E+01	.864E+01	-.711E-02	-.952E-04	.929E+01	-.419E+01
13	.149E+02	.208E-03	.537E-04	-.408E+01	-.511E+01	-.144E-02	.534E-02	-.623E+02	-.255E+02	
14	.151E+02	.213E-03	-.666E-05	-.295E+01	-.434E+01	.888E+01	-.711E-02	.736E-04	.103E+02	-.406E+01
15	.154E+02	.206E-03	-.490E-04	-.200E+01	-.359E+01	-.285E-02	.646E-02	-.683E+02	-.240E+02	
16	.156E+02	.191E-03	-.765E-04	-.122E+01	-.287E+01	.912E+01	-.707E-02	.259E-03	.112E+02	-.377E+01
17	.158E+02	.170E-03	-.922E-04	-.615E+00	-.222E+01	-.455E-02	.769E-02	-.737E+02	-.214E+02	
18	.161E+02	.147E-03	-.986E-04	-.153E+00	-.164E+01	.936E+01	-.699E-02	.460E-03	.121E+02	-.329E+01
19	.163E+02	.124E-03	-.982E-04	.182E+00	-.116E+01	-.655E-02	.900E-02	-.784E+02	-.174E+02	
20	.166E+02	.101E-03	-.929E-04	.409E+00	-.753E+00	.960E+01	-.685E-02	.675E-03	.128E+02	-.258E+01
21	.168E+02	.793E-04	-.846E-04	.550E+00	-.430E+00	-.887E-02	.104E-01	-.819E+02	-.119E+02	
22	.170E+02	.602E-04	-.744E-04	.621E+00	-.179E+00	.984E+01	-.666E-02	.900E-03	.133E+02	-.162E+01
23	.173E+02	.437E-04	-.634E-04	.641E+00	.692E-02	-.115E-01	.118E-01	-.839E+02	-.453E+01	
24	.175E+02	.298E-04	-.525E-04	.622E+00	.138E+00	.101E-02	-.642E-02	.113E-02	.135E+02	-.350E+00
25	.178E+02	.185E-04	-.421E-04	.578E+00	.225E+00	-.145E-01	.133E-01	-.840E+02	.484E+01	
26	.180E+02	.950E-05	-.327E-04	.518E+00	.274E+00	.103E-02	-.612E-02	.136E-02	.134E+02	.125E+01
27	.182E+02	.269E-05	-.243E-04	.449E+00	.296E+00	-.179E-01	.147E-01	-.814E+02	.165E+02	
28	.185E+02	-.227E-05	-.172E-04	.377E+00	.296E+00	.106E-02	-.576E-02	.159E-02	.129E+02	.324E+01
29	.187E+02	-.567E-05	-.113E-04	.308E+00	.281E+00	-.216E-01	.161E-01	-.758E+02	.307E+02	
30	.190E+02	-.780E-05	-.657E-05	.243E+00	.256E+00	.108E+02	-.535E-02	.181E-02	.119E+02	.564E+01
31	.192E+02	-.891E-05	-.288E-05	.185E+00	.226E+00	-.256E-01	.173E-01	-.665E+02	.477E+02	
32	.194E+02	-.925E-05	-.135E-06	.135E+00	.193E+00	.110E+02	-.490E-02	.200E-02	.102E+02	.850E+01
33	.197E+02	-.904E-05	.182E-05	.926E-01	.160E+00	-.299E-01	.183E-01	-.527E+02	.676E+02	
34	.199E+02	-.844E-05	.310E-05	.580E-01	.129E+00	.113E+02	-.440E-02	.215E-02	.773E+01	.118E+02
35	.202E+02	-.759E-05	.386E-05	.307E-01	.997E-01	-.344E-01	.191E-01	-.338E+02	.907E+02	
36	.204E+02	-.662E-05	.420E-05	.988E-02	.741E-01	.115E+02	-.387E-02	.226E-02	.443E+01	.157E+02
37	.206E+02	-.560E-05	.423E-05	-.519E-02	.521E-01	-.390E-01	.195E-01	-.390E+01	.117E+03	
38	.209E+02	-.461E-05	.405E-05	-.154E-01	.337E-01	.118E+02	-.332E-02	.230E-02	.146E+00	.201E+02
39	.211E+02	-.367E-05	.372E-05	-.216E-01	.188E-01	-.437E-01	.193E-01	.227E+02	.147E+03	
40	.214E+02	-.283E-05	.332E-05	-.247E-01	.716E-02	.120E+02	-.277E-02	.226E-02	-.526E+01	.250E+02
41	.216E+02	-.208E-05	.288E-05	-.253E-01	-.164E-02	-.482E-01	.186E-01	.619E+02	.180E+03	
42	.218E+02	-.144E-05	.246E-05	-.241E-01	-.795E-02	.122E+02	-.224E-02	.212E-02	-.102E+02	.160E+02
43	.221E+02	-.901E-06	.206E-05	-.217E-01	-.121E-01	-.173E-01	.172E-01	-.964E+02	.110E+03	
44	.223E+02	-.449E-06	.171E-05	-.184E-01	-.145E-01	.125E+02	-.176E-02	.192E-02	-.131E+02	.885E+01
45	.226E+02	-.734E-07	.143E-05	-.148E-01	-.155E-01	-.133E-01	.154E-01	-.116E+03	.553E-02	
46	.228E+02	.241E-06	.120E-05	-.111E-01	-.151E-01	.127E+02	-.132E-02	.168E-02	-.145E+02	.332E+01
47	.230E+02	.509E-06	.104E-05	-.761E-02	-.138E-01	-.989E-02	.133E-01	-.124E+03	.136E+02	
48	.233E+02	.746E-06	.939E-06	-.455E-02	-.115E-01	.130E+02	-.952E-03	.142E-02	-.148E+02	-.759E+00
49	.235E+02	.964E-06	.882E-06	-.214E-02	-.844E-02	-.695E-02	.112E-01	-.123E+03	-.165E+02	
50	.238E+02	.117E-05	.860E-06	-.566E-03	-.459E-02	.132E+02	-.641E-03	.117E-02	-.143E+02	-.361E+01
3	1	.240E+02	.138E-05	.857E-06	-.787E-09	-.453E-02	.908E-02	-.117E+03	-.370E+02	
					.677E-10	.134E+02	-.388E-03	.936E-03	-.132E+02	-.544E+01
						-.258E-02	.716E-02	-.106E+03	-.497E+02	

ハ) の結果の図化



.137E+02	-.190E-03	.721E-03	-.117E-02	-.647E+01
-.107E-02	.543E-02	-.935E-02	-.562E-02	
.139E+02	-.399E-04	.533E-03	-.101E-02	-.687E+01
.460E+04	-.394E-02	-.797E-02	-.579E-02	
.142E+02	.682E-04	.373E-03	-.846E+01	-.680E+01
.838E+03	.269E-02	-.680E-02	-.562E-02	
.143E+02	.141E-03	.241E-03	-.687E-01	-.642E+01
.135E-02	.166E-02	-.529E-02	-.522E-02	
.146E+02	.186E-03	.135E-03	-.540E+01	-.582E+01
.165E-02	.855E-03	.410E-02	-.467E-02	
.149E+02	.208E-03	.537E-04	-.408E+01	-.511E+01
.178E-02	.240E-03	.305E-02	.405E-02	
.151E+02	.213E-03	.666E-05	-.295E+01	-.434E+01
.178E-02	.207E-03	.216E-02	-.341E-02	
.154E+02	.206E-03	.490E-04	-.200E+01	-.359E+01
.169E-02	-.513E-03	.142E+02	-.278E-02	
.156E+02	.191E-03	.765E-04	-.122E+01	-.287E+01
.154E-02	.703E-03	.820E+01	-.220E-02	
.138E+02	.170E-03	.922E-04	.615E+00	-.222E+01
.136E-02	-.803E-03	.356E-01	-.167E-02	
.161E+02	.147E-03	.986E-04	-.153E+00	-.164E+01
.116E-02	-.833E-03	.108E+00	-.122E-02	
.183E+02	.124E-03	.932E-04	.182E+00	-.116E+01
.965E-03	.312E-03	.234E-01	-.836E+01	
.166E+02	.101E-03	.923E-04	.409E+00	-.753E+00
.776E-03	-.757E-03	.396E+01	-.523E-01	
.168E+02	.793E-04	.846E-04	.550E+00	-.430E+00
.604E-03	-.680E-03	.491E-01	-.275E+01	
.170E+02	.602E-04	.744E-04	.621E+00	-.179E+00
.451E-03	-.591E-03	.533E-01	-.858E+00	
.173E+02	.437E-04	.634E-04	.641E+00	-.692E-02
.321E-03	.498E-03	.536E-01	.524E+00	
.175E+02	.298E-04	.525E-04	.622E+00	.138E+00
.212E-03	-.407E-03	.511E-01	.148E+01	
.178E+02	.185E-04	.421E-04	.578E+00	-.225E+00
.124E-03	-.323E-03	.488E-01	.208E+01	
.180E+02	.950E-05	.327E-04	.513E+00	-.274E+00
.563E-04	-.247E-03	.414E+01	.240E+01	
.132E+02	.269E-05	.243E-04	.449E+00	.396E+00
.518E-05	-.181E-03	.355E+01	.250E-01	
.185E+02	-.227E-05	.172E-04	.377E+00	-.296E+00
-.312E-04	-.125E-03	.295E+01	.245E+01	
.137E+02	.567E-05	.113E-04	.308E+00	.281E+00
-.554E-04	.787E-04	.238E+01	.229E+01	
.190E+02	.780E-05	.657E-05	.243E+00	.256E+00
-.697E-04	.423E-04	.186E-01	.206E+01	
.192E+02	-.891E-05	.288E-05	.185E+00	-.226E+00
-.764E-04	.144E-04	.139E+01	.180E-01	
.194E+02	-.925E-05	-.135E-06	.139E+00	.193E+00
-.772E-04	.610E-05	.994E+00	.152E-01	
.197E+02	-.904E-05	.182E-05	.926E-01	.160E+00
-.740E-04	.203E-04	.662E+00	.125E+01	
.199E+02	-.844E-05	.310E-05	.580E-01	.129E+00
-.679E-04	.293E-04	.394E+00	.991E+00	
.202E+02	-.759E-05	.386E-05	.307E-01	.997E-01
-.602E-04	.342E-04	.184E+00	.760E+00	
-.204E-02	-.662E-05	.420E-05	.988E-02	.741E-01
-.518E-04	.359E-04	.268E-01	.538E+00	

.206E+02	-.560E-05	.423E-05	-.519E-02	.521E-01
-.432E-04	.354E-04	-.860E-01	.387E+00	
.209E+02	-.461E-05	.405E-05	-.154E-01	.337E-01
-.349E-04	.332E-04	-.162E+00	.247E+00	
.211E+02	-.367E-05	.372E-05	-.216E-01	.188E-01
-.273E-04	.300E-04	-.207E+00	.135E+00	
.214E+02	-.283E-05	.332E-05	-.247E-01	.716E-02
-.206E-04	.262E-04	-.229E+00	.494E-01	
.216E+02	-.208E-05	.288E-05	-.253E-01	-.164E-02
-.147E-04	.222E-04	-.232E+00	-.139E-01	
.218E+02	-.144E-05	.246E-05	-.241E-01	-.795E-02
-.989E-05	.183E-04	-.223E+00	-.579E-01	
.221E+02	-.901E-06	.206E-05	-.217E-01	-.121E-01
-.596E-05	.146E-04	-.206E+00	-.862E-01	
.223E+02	-.449E-06	.171E-05	-.184E-01	-.145E-01
-.288E-05	.112E-04	-.183E+00	-.102E+00	
.226E+02	-.734E-07	.143E-05	-.148E-01	-.155E-01
-.552E-06	.826E-05	-.158E+00	-.108E+00	
.228E+02	.241E-06	.120E-05	-.111E-01	-.151E-01
.112E-05	.576E-05	-.132E+00	-.107E+00	
.230E+02	.509E-06	.104E-05	-.761E-02	-.138E-01
.225E-05	.371E-05	-.107E+00	-.100E+00	
.233E+02	.746E-06	.939E-06	-.455E-02	-.115E-01
.293E-05	.207E-05	-.839E-01	-.910E-01	
.235E+02	.964E-06	.882E-06	-.214E-02	-.844E-02
.327E-05	.802E-06	-.634E-01	-.797E-01	
.238E+02	.117E-05	.860E-06	-.566E-03	-.459E-02
.335E-05	-.134E-06	-.457E-01	-.677E-01	
.240E+02	.138E-05	.857E-05	-.787E-09	.677E-10
.323E-05	-.789E-06	-.308E-01	-.558E-01	

ニ) の出力データ

PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

NUM.TOTAL : NUM.MOV. : LOAD.Q(T) : DEP.SLIP.S : REACT.PO.

2 1 .360E+03 .120E+02 .600E+01

NO : DI(m4) : 杭 径(m) : 杭 長(m) : 変形係数(tf/m2)

1 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .300E+04
2 .663E-03 .508E+00 .120E+02 .150E+05

LAYER: ITER :DEPTH(m) : DIS.(m) : THETA(rad) :MOMENT(tf*m) :SHEAR(tf)

1	1	.000E+00	-.994E-02	-.269E-04	.000E+00	.000E+00
	2	.240E+00	-.995E-02	-.269E-04	-.510E-02	.418E-01
	3	.480E+00	-.995E-02	-.271E-04	-.197E-01	.789E-01
	4	.720E+00	-.996E-02	-.277E-04	-.426E-01	.111E+00
	5	.960E+00	-.997E-02	-.287E-04	-.727E-01	.139E+00
	6	.120E+01	-.997E-02	-.302E-04	-.109E+00	.162E+00
	7	.144E+01	-.998E-02	-.324E-04	-.150E+00	.179E+00
	8	.168E+01	-.999E-02	-.354E-04	-.194E+00	.191E+00
	9	.192E+01	-.100E-01	-.392E-04	-.241E+00	.197E+00
	10	.216E+01	-.100E-01	-.437E-04	-.288E+00	.195E+00
	11	.240E+01	-.100E-01	-.491E-04	-.334E+00	.187E+00
	12	.264E+01	-.100E-01	-.552E-04	-.377E+00	.170E+00
	13	.288E+01	-.100E-01	-.620E-04	-.415E+00	.143E+00
	14	.312E+01	-.101E-01	-.695E-04	-.445E+00	.105E+00
	15	.336E+01	-.101E-01	-.773E-04	-.464E+00	.560E-01
	16	.360E+01	-.101E-01	-.854E-04	-.471E+00	-.675E-02
	17	.384E+01	-.101E-01	-.935E-04	-.460E+00	-.843E-01
	18	.408E+01	-.101E-01	-.101E-03	-.429E+00	-.178E+00
	19	.432E+01	-.102E-01	-.108E-03	-.373E+00	-.289E+00
	20	.456E+01	-.102E-01	-.114E-03	-.289E+00	-.419E+00
	21	.480E+01	-.102E-01	-.118E-03	-.170E+00	-.568E+00
	22	.504E+01	-.103E-01	-.120E-03	-.141E-01	-.738E+00
	23	.528E+01	-.103E-01	-.118E-03	.186E+00	-.929E+00
	24	.552E+01	-.103E-01	-.113E-03	.433E+00	-.114E+01
	25	.576E+01	-.103E-01	-.103E-03	.734E+00	-.137E+01
	26	.600E+01	-.104E-01	-.872E-04	.109E+01	-.162E+01
	27	.624E+01	-.104E-01	-.648E-04	.151E+01	-.188E+01
	28	.648E+01	-.104E-01	-.347E-04	.200E+01	-.215E+01
	29	.672E+01	-.104E-01	.435E-05	.255E+01	-.243E+01
	30	.696E+01	-.104E-01	.535E-04	.316E+01	-.271E+01
	31	.720E+01	-.104E-01	.114E-03	.385E+01	-.298E+01
	32	.744E+01	-.103E-01	.186E-03	.459E+01	-.323E+01
	33	.768E+01	-.103E-01	.273E-03	.540E+01	-.345E+01
	34	.792E+01	-.102E-01	.373E-03	.625E+01	-.362E+01
	35	.816E+01	-.101E-01	.488E-03	.713E+01	-.372E+01
	36	.840E+01	-.996E-02	.619E-03	.803E+01	-.375E+01
	37	.864E+01	-.979E-02	.765E-03	.892E+01	-.366E+01
	38	.888E+01	-.959E-02	.926E-03	.977E+01	-.344E+01
	39	.912E+01	-.935E-02	.110E-02	.106E+02	-.306E+01
	40	.936E+01	-.906E-02	.129E-02	.112E+02	-.249E+01
	41	.960E+01	-.873E-02	.149E-02	.117E+02	-.170E+01
	42	.984E+01	-.835E-02	.169E-02	.120E+02	-.650E+00
	43	.101E+02	-.792E-02	.190E-02	.120E+02	.692E+00
	44	.103E+02	-.744E-02	.211E-02	.117E+02	.236E+01
	45	.106E+02	-.691E-02	.230E-02	.109E+02	.440E+01

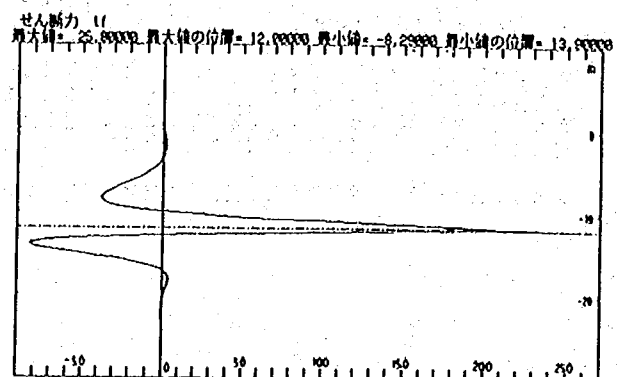
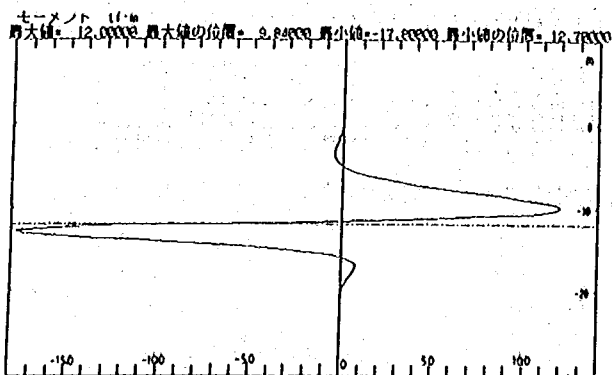
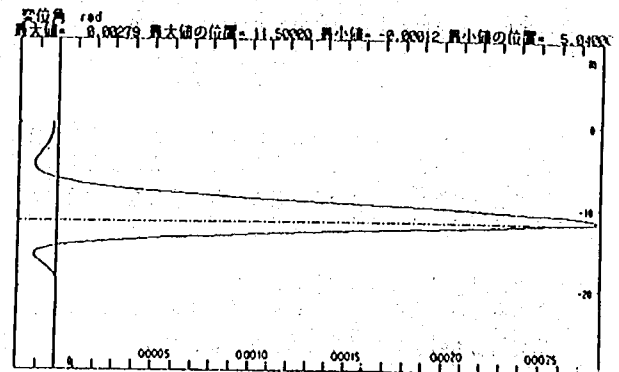
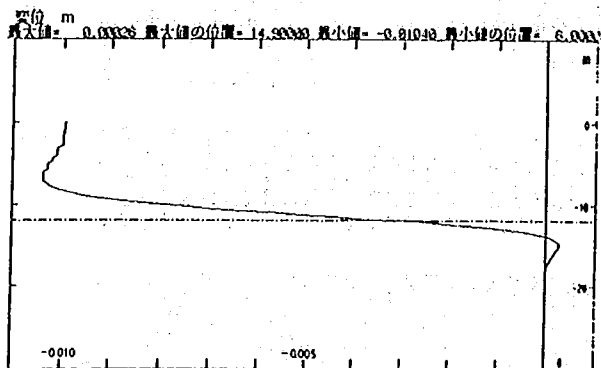
PILE ANALYSIS (TEST) マケ クサヒ クイ

2 1 .360E+03 .120E+02 .600E+01

50	.000E+00	-.994E-02	-.269E-04	.000E+00	.000E+00
	-.232E-03	.180E-04	.126E+01	.133E+01	
	.240E+00	-.995E-02	-.269E-04	-.510E-02	-.418E-01
	-.234E-03	-.655E-05	.160E+01	.150E+01	
	.480E+00	-.995E-02	-.271E-04	-.197E-01	.789E-01
	-.229E-03	-.373E-04	.198E+01	.167E+01	
	.720E+00	-.996E-02	-.277E-04	-.426E-01	.111E+00
	-.215E-03	-.750E-04	.240E+01	.183E+01	
	.960E+00	-.997E-02	-.287E-04	-.727E-01	.139E+00
	-.192E-03	-.120E-03	.286E+01	.197E+01	
	.120E+01	-.997E-02	-.302E-04	-.109E+00	.162E+00
	-.157E-03	-.174E-03	.335E+01	.210E+01	
	.144E+01	-.998E-02	-.324E-04	-.150E+00	.179E+00
	-.108E-03	-.236E-03	.386E+01	.220E+01	
	.168E+01	-.999E-02	-.354E-04	-.194E+00	.191E+00
	-.432E-04	-.307E-03	.440E+01	.225E+01	
	.192E+01	-.100E-01	-.392E-04	-.241E+00	.197E+00
	.399E+04	-.387E-03	.494E+01	.225E+01	
	.216E+01	-.100E-01	-.437E-04	-.288E+00	.195E+00
	.143E-03	-.477E-03	.547E+01	.219E+01	
	.240E+01	-.100E-01	-.491E-04	-.334E+00	.187E+00
	.270E-03	-.576E-03	.598E+01	.204E+01	
	.264E+01	-.100E-01	-.552E-04	-.377E+00	.170E+00
	.421E-03	-.683E-03	.645E+01	.180E+01	
	.288E+01	-.100E-01	-.620E-04	-.415E+00	.143E+00
	.598E-03	-.798E-03	.684E+01	.143E+01	
	.312E+01	-.101E-01	-.695E-04	-.445E+00	.105E+00
	.804E-03	-.918E-03	.712E+01	.928E+00	
	.335E+01	-.101E-01	-.773E-04	-.464E+00	.560E-01
	.104E-02	-.104E-02	.727E+01	.266E+00	
	.360E+01	-.101E-01	-.854E-04	-.471E+00	-.675E-02
	.130E-02	-.117E-02	.724E+01	.576E+00	
	.384E+01	-.101E-01	-.935E-04	-.460E+00	-.843E-01
	.160E-02	-.129E-02	.698E+01	-.162E+01	
	.408E+01	-.101E-01	-.101E-03	-.429E+00	-.178E+00
	.192E-02	-.141E-02	.644E+01	-.289E+01	
	.432E+01	-.102E-01	-.108E-03	-.373E+00	-.289E+00
	.227E-02	-.151E-02	.557E+01	-.440E+01	
	.456E+01	-.102E-01	-.114E-03	-.289E+00	-.419E+00
	.265E-02	-.160E-02	.431E+01	-.617E+01	
	.480E+01	-.102E-01	-.118E-03	-.170E+00	-.568E+00
	.304E-02	-.166E-02	.259E+01	-.821E+01	
	.504E+01	-.103E-01	-.120E-03	-.141E-01	-.738E+00
	.344E-02	-.168E-02	.345E+00	-.105E+02	
	.528E+01	-.103E-01	-.118E-03	.186E+00	-.929E+00
	.384E-02	-.167E-02	.249E+01	-.132E+02	
	.552E+01	-.103E-01	-.113E-03	.433E+00	-.114E+01
	.423E-02	-.159E-02	-.600E+01	-.161E+02	
	.576E+01	-.103E-01	-.103E-03	.734E+00	-.137E+01
	.460E-02	-.145E-02	-.102E+02	-.193E+02	
	.600E+01	-.104E-01	-.872E-04	.109E+01	-.162E+01
	.493E-02	-.124E-02	-.153E-02	-.227E+02	
	.624E+01	-.104E-01	-.648E-04	.151E+01	-.188E+01
	.519E-02	-.923E-03	-.211E+02	-.263E+02	
	.648E+01	-.104E-01	-.347E-04	.200E+01	-.215E+01
	.536E-02	-.502E-03	-.279E+02	-.301E+02	

46	.108E+02	-.633E-02	.248E-02	.952E+01	.683E+01	.672E+01	-.104E-01	.435E-05	.255E+01	-.243E+01
47	.110E+02	-.572E-02	.262E-02	.755E+01	.969E+01	.542E-02	.445E-04	-.356E+02	-.340E+02	
48	.113E+02	-.508E-02	.273E-02	.484E+01	.130E+02	.696E+01	-.104E-01	.535E-04	.316E+01	-.271E+01
49	.115E+02	-.441E-02	.279E-02	.127E+01	.168E+02	.533E-02	.732E-03	-.442E+02	-.379E+02	
50	.118E+02	-.374E-02	.277E-02	-.325E+01	.210E+02	.720E+01	-.104E-01	.114E-03	.385E+01	-.298E+01
2	1	.120E+02	-.309E-02	.267E-02	-.886E+01	.258E+02	.505E-02	.158E-02	-.538E+02	-.417E+02
	2	.122E+02	-.247E-02	.247E-02	-.138E+02	.158E+02	.744E+01	-.103E-01	.186E-03	.459E+01
	3	.125E+02	-.191E-02	.220E-02	-.166E+02	.792E+01	.456E-02	.259E-02	-.642E+02	-.451E+02
	4	.127E+02	-.142E-02	.191E-02	-.178E+02	.195E+01	.768E+01	-.103E-01	.273E-03	.540E+01
	5	.130E+02	-.996E-03	.160E-02	-.177E+02	-.237E+01	.380E-02	.379E-02	-.754E+02	-.482E+02
	6	.132E+02	-.648E-03	.130E-02	-.167E+02	-.531E+01	.792E+01	-.102E-01	.373E-03	.625E+01
	7	.134E+02	-.370E-03	.103E-02	-.152E+02	-.712E+01	.272E-02	.520E-02	-.873E+02	-.505E+02
	8	.137E+02	-.154E-03	.778E-03	-.134E+02	-.804E+01	.816E+01	-.101E-01	.488E-03	.713E+01
	9	.139E+02	.659E-05	.564E-03	-.114E+02	-.829E+01	.129E-02	.681E-02	-.996E+02	-.520E+02
	10	.142E+02	.120E-03	.385E-03	-.945E+01	-.805E+01	.840E+01	-.996E-02	.619E-03	.803E+01
	11	.144E+02	.194E-03	.238E-03	-.758E+01	-.748E+01	-.563E-03	.863E-02	-.112E+03	-.523E+02
	12	.146E+02	.237E-03	.122E-03	-.587E+01	-.669E+01	.864E+01	-.979E-02	.765E-03	.892E+01
	13	.149E+02	.255E-03	.344E-04	-.437E+01	-.580E+01	-.287E-02	.107E-01	-.125E+03	-.511E+02
	14	.151E+02	.255E-03	-.296E-04	-.309E+01	-.488E+01	.888E+01	-.959E-02	.926E-03	.977E+01
	15	.154E+02	.242E-03	-.734E-04	-.203E+01	-.398E+01	-.570E-02	.129E-01	-.137E+03	-.480E+02
	16	.156E+02	.221E-03	-.101E-03	-.117E+01	-.315E+01	.912E+01	-.935E-02	.110E-02	.106E+02
	17	.158E+02	.195E-03	-.115E-03	-.511E+00	-.240E+01	-.909E-02	.154E-01	-.147E+03	-.427E+02
	18	.161E+02	.167E-03	-.119E-03	-.154E-01	-.175E+01	.936E+01	-.906E-02	.129E-02	.112E+02
	19	.163E+02	.138E-03	-.116E-03	.336E+00	-.120E+01	-.131E-01	.180E-01	-.157E+03	-.348E+02
	20	.166E+02	.111E-03	-.108E-03	.567E+00	-.749E+00	.960E+01	-.873E-02	.149E-02	.117E+02
	21	.168E+02	.865E-04	-.973E-04	.703E+00	-.394E+00	-.177E-01	.208E-01	-.164E+03	-.237E+02
	22	.170E+02	.646E-04	-.846E-04	.763E+00	-.123E+00	.984E+01	-.835E-02	.169E-02	.120E+02
	23	.173E+02	.459E-04	-.713E-04	.768E+00	.752E-01	-.231E-01	.236E-01	-.168E+03	-.906E+01
	24	.175E+02	.304E-04	-.584E-04	.732E+00	.212E+00	.101E-02	.792E-02	.190E-02	.120E+02
	25	.178E+02	.178E-04	-.463E-04	.670E+00	.297E+00	-.291E-01	.265E-01	-.168E+03	.968E+01
	26	.180E+02	.806E-05	-.354E-04	.593E+00	.343E+00	-.103E-02	.744E-02	.211E-02	.117E+02
	27	.182E+02	.738E-06	-.259E-04	.508E+00	.358E+00	-.358E-01	.294E-01	-.163E+03	.330E+02
	28	.185E+02	-.448E-05	-.179E-04	.422E+00	.351E+00	.106E+02	-.691E-02	.230E-02	.109E+02
	29	.187E+02	-.795E-05	-.113E-04	.341E+00	.328E+00	-.432E-01	.321E-01	-.152E+03	.614E+02
	30	.190E+02	-.100E-04	-.608E-05	.266E+00	.296E+00	.108E+02	-.633E-02	.248E-02	.952E+01
	31	.192E+02	-.110E-04	-.209E-05	.199E+00	.257E+00	-.512E-01	.346E-01	-.133E+03	.953E+02
	32	.194E+02	-.111E-04	.834E-06	.142E+00	.218E+00	.110E+02	-.572E-02	.262E-02	.755E+01
	33	.197E+02	-.106E-04	.286E-05	.946E-01	.178E+00	-.597E-01	.366E-01	-.105E+03	.135E+03
	34	.199E+02	-.979E-05	.415E-05	.564E-01	.141E+00	.113E+02	-.508E-02	.273E-02	.484E+01
	35	.202E+02	-.870E-05	.485E-05	.265E-01	.108E+00	-.687E-01	.382E-01	-.676E+02	.181E+03
	36	.204E+02	-.749E-05	.511E-05	.416E-02	.789E-01	.115E+02	-.441E-02	.279E-02	.127E+01
	37	.206E+02	-.627E-05	.503E-05	-.117E-01	.541E-01	-.780E-01	.389E-01	-.178E+02	.234E+03
	38	.209E+02	-.510E-05	.473E-05	-.222E-01	.337E-01	.118E+02	-.374E-02	.277E-02	-.325E+01
	39	.211E+02	-.401E-05	.430E-05	-.282E-01	.173E-01	-.873E-01	.387E-01	.454E+02	.294E+03
	40	.214E+02	-.304E-05	.378E-05	-.308E-01	.466E-02	.120E+02	-.309E-02	.267E-02	-.886E+01
	41	.216E+02	-.220E-05	.325E-05	-.307E-01	-.473E-02	-.965E-01	.373E-01	.124E+03	.360E+03
	42	.218E+02	-.148E-05	.274E-05	-.287E-01	-.113E-01	.122E+02	-.247E-02	.247E-02	-.138E+02
	43	.221E+02	-.879E-06	.227E-05	-.254E-01	-.155E-01	-.345E-01	.345E-01	-.193E+03	.220E+03
	44	.223E+02	-.385E-06	.186E-05	-.214E-01	-.178E-01	.125E+02	-.191E-02	.220E-02	-.166E+02
	45	.226E+02	.211E-07	.153E-05	-.171E-01	-.184E-01	-.267E-01	.308E-01	-.232E+03	.111E+03
	46	.228E+02	.356E-06	.127E-05	-.127E-01	-.177E-01	.127E+02	-.142E-02	.191E-02	-.178E+02
	47	.230E+02	.639E-06	.109E-05	-.865E-02	-.159E-01	-.198E-01	.266E-01	-.248E+03	.273E+02
	48	.233E+02	.885E-06	.973E-06	-.515E-02	-.131E-01	.130E+02	-.996E-03	.160E-02	-.177E+02
	49	.235E+02	.111E-05	.910E-06	-.241E-02	-.954E-02	-.139E-01	.223E-01	-.247E+03	-.331E+02
	50	.238E+02	.133E-05	.885E-06	-.633E-03	-.515E-02	.132E+02	-.648E-03	.130E-02	-.167E+02
3	1	.240E+02	.154E-05	.881E-06	-.186E-07	-.869E-08	-.905E-02	.182E-01	-.234E+03	-.741E+02
							.134E+02	-.370E-03	.103E-02	-.152E+02
							-.516E-02	.143E-01	-.213E+03	-.994E+02

二) の結果の図化



-137E+02	-154E-03	-134E-03	-778E-03	-134E+02	-804E-01
-215E-02	-109E-01	-187E-03	-112E+03	-112E+03	-112E+03
-139E-02	-659E-05	-564E-03	-114E-02	-829E-01	-829E-01
-920E-04	-788E-02	-159E-03	-116E+03	-116E+03	-116E+03
-142E-02	-120E-03	-385E-03	-945E-01	-805E-01	-805E-01
-167E-02	-537E-02	-132E-03	-112E+03	-112E+03	-112E+03
-144E-02	-194E-03	-238E-03	-758E-01	-748E-01	-748E-01
-271E-02	-332E-02	-106E-03	-104E+03	-104E+03	-104E+03
-146E-02	-237E-03	-122E-03	-587E-01	-669E-01	-669E-01
-330E-02	-171E-02	-320E-02	-935E-02	-935E-02	-935E-02
-149E-02	-255E-03	-344E-04	-437E-01	-580E-01	-580E-01
-356E-02	-480E-03	-611E-02	-810E-02	-810E-02	-810E-02
-151E-02	-255E-03	-296E-04	-309E-01	-483E-01	-483E-01
-356E-02	-413E-03	-432E-02	-682E-02	-682E-02	-682E-02
-154E-02	-242E-03	-734E-04	-203E-01	-398E-01	-398E-01
-338E-02	-103E-02	-283E-02	-556E-02	-556E-02	-556E-02
-156E-02	-221E-03	-101E-03	-117E-01	-315E-01	-315E-01
-309E-02	-141E-02	-164E-02	-439E-02	-439E-02	-439E-02
-158E-02	-195E-03	-115E-03	-511E+00	-240E+01	-240E+01
-272E-02	-161E-02	-713E-01	-335E-02	-335E-02	-335E-02
-161E-02	-167E-03	-119E-03	-154E-01	-175E-01	-175E-01
-233E-02	-167E-02	-215E-00	-244E-02	-244E-02	-244E-02
-163E-02	-138E-03	-116E-03	-336E-00	-120E+01	-120E+01
-193E-02	-162E-02	-469E-01	-167E-02	-167E-02	-167E-02
-166E-02	-111E-03	-108E-03	-567E+00	-749E+00	-749E+00
-155E-02	-151E-02	-792E-01	-105E-02	-105E-02	-105E-02
-168E-02	-855E-04	-973E-04	-703E-00	-394E+00	-394E+00
-121E-02	-136E-02	-981E-01	-550E-01	-550E-01	-550E-01
-170E-02	-646E-04	-846E-04	-763E-00	-123E+00	-123E+00
-902E-03	-118E-02	-107E-02	-172E-01	-172E-01	-172E-01
-173E-02	-459E-04	-713E-04	-768E-00	-752E-01	-752E-01
-641E-03	-996E-03	-107E-02	-105E-01	-105E-01	-105E-01
-175E-02	-304E-04	-584E-04	-732E-00	-212E+00	-212E+00
-424E-03	-815E-03	-102E-02	-295E-01	-295E-01	-295E-01
-178E-02	-178E-04	-463E-04	-670E-00	-297E-00	-297E-00
-249E-03	-646E-03	-936E-01	-415E-01	-415E-01	-415E-01
-180E-02	-806E-05	-354E-04	-593E-00	-343E+00	-343E+00
-113E-03	-494E-03	-828E-01	-479E-01	-479E-01	-479E-01
-182E-02	-738E-06	-259E-04	-508E-00	-358E+00	-358E+00
-104E-04	-361E-03	-709E-01	-500E-01	-500E-01	-500E-01
-185E-02	-443E-05	-179E-04	-422E-00	-351E+00	-351E+00
-624E-04	-249E-03	-590E-01	-490E-01	-490E-01	-490E-01
-187E-02	-795E-05	-113E-04	-341E+00	-328E+00	-328E+00
-111E-03	-157E-03	-476E-01	-458E-01	-458E-01	-458E-01
-190E-02	-100E-04	-608E-05	-266E-00	-266E-00	-266E-00
-139E-03	-845E-04	-371E-01	-413E-01	-413E-01	-413E-01
-192E-02	-110E-04	-209E-05	-199E-00	-257E+00	-257E+00
-135E-03	-287E-04	-278E-01	-360E-01	-360E-01	-360E-01
-194E-02	-111E-04	-834E-06	-142E-00	-218E+00	-218E+00
-154E-03	-122E-04	-199E-01	-304E-01	-304E-01	-304E-01
-197E-02	-106E-04	-286E-05	-946E-01	-178E+00	-178E+00
-148E-03	-406E-04	-132E-01	-249E-01	-249E-01	-249E-01
-199E-02	-979E-05	-415E-05	-564E-01	-141E+00	-141E+00
-136E-03	-586E-04	-788E-00	-198E-01	-198E-01	-198E-01
-202E-02	-870E-05	-485E-05	-265E-01	-108E+00	-108E+00
-120E-03	-684E-04	-369E-00	-152E-01	-152E-01	-152E-01
-204E-02	-749E-05	-511E-05	-416E-02	-789E-01	-789E-01
-104E-03	-719E-04	-536E-01	-112E+01	-112E+01	-112E+01

.206E+02	-.627E-05	.503E-05	-.117E-01	.541E-01
-.863E-04	.708E-04	-.172E+00	.775E+00	
.209E+02	-.510E-05	.473E-05	-.222E-01	.337E-01
-.698E-04	.664E-04	-.323E+00	.494E+00	
.211E+02	-.401E-05	.430E-05	-.282E-01	.173E-01
-.546E-04	.600E-04	-.414E+00	.270E+00	
.214E+02	-.304E-05	.378E-05	-.308E-01	.466E-02
-.411E-04	.524E-04	-.457E+00	.987E-01	
.216E+02	-.220E-05	.325E-05	-.307E-01	-.473E-02
-.295E-04	.444E-04	-.465E+00	-.278E-01	
.218E+02	-.148E-05	.274E-05	-.287E-01	-.113E-01
-.198E-04	.365E-04	-.447E+00	-.116E+00	
.221E+02	-.879E-06	.227E-05	-.254E-01	-.155E-01
-.119E-04	.291E-04	-.412E+00	-.172E+00	
.223E+02	-.385E-06	.186E-05	-.214E-01	-.178E-01
-.576E-05	.224E-04	-.366E+00	-.204E+00	
.226E+02	.211E-07	.153E-05	-.171E-01	-.184E-01
-.110E-05	.165E-04	-.315E+00	-.216E+00	
.228E+02	.356E-06	.127E-05	-.127E-01	-.177E-01
.224E-05	.115E-04	-.264E+00	-.213E+00	
.230E+02	.639E-06	.109E-05	-.865E-02	-.159E-01
.450E-05	.742E-05	-.214E+00	-.201E+00	
.233E+02	.885E-06	.973E-06	-.515E-02	-.131E-01
.587E-05	.413E-05	-.168E+00	-.182E+00	
.235E+02	.111E-05	.910E-06	-.241E-02	-.954E-02
.654E-05	.160E-05	-.127E+00	-.159E+00	
.238E+02	.133E-05	.885E-06	-.633E-03	-.515E-02
.669E-05	-.267E-06	-.913E-01	-.135E+00	
.240E+02	.154E-05	.881E-06	-.186E-07	-.869E-08
.646E-05	-.158E-05	-.617E-01	-.112E+00	

配布先住所

土木研究所資料第3178号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印