

土木研究所資料
第2459号

本州四国連絡橋に関する
研究報告

昭和62年 3 月

建設省土木研究所
構造橋梁部基礎研究室
道路部交通環境研究室

Copyright ©1987年 by P. W. R. I.

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

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

本州四国連絡橋に関する 研究報告

構造橋梁部 基礎研究室
道路部 交通環境研究室

要 旨

本資料は、本州四国連絡橋を調査設計するうえでの問題点について、本州四国連絡橋公団より建設省土木研究所へ委託された「本州四国連絡橋に関する研究」の昭和61年度報告書である。

報告書は、(1)基礎工に関する調査試験、(2)交通環境に関する調査試験よりなる。

(1)では、直接基礎の極限支持力算定法、(2)では浮遊粒子状物質の拡散について、それぞれ検討を行い、本州四国連絡橋の調査設計に有意義な成果を得ている。

キーワード：本州四国連絡橋に関する調査、設計、基礎工、極限支持力、交通環境、
浮遊粒子状物質

目

次

第 1 章 総 則	1
1 - 1 基礎工に関する調査試験	1
1 - 2 交通環境に関する調査試験	2
第 2 章 基礎工に関する調査試験	4
2 - 1 まえがき	4
2 - 2 研究目的	5
2 - 3 各種支持力算定法による三次元基礎の支持力評価	5
2 - 4 地盤定数の変化が各解析法の支持力算定値に及ぼす影響について	5 0
2 - 5 まとめ	5 2
第 3 章 交通環境に関する調査試験	5 3
3 - 1 まえがき	5 3
3 - 2 新たな拡散調査内容	5 4
3 - 3 採取した試料の成分分析に関する検討	5 6
3 - 4 排出係数および拡散モデルに関する検討	5 8
3 - 5 結論	6 8
3 - 6 あとがき	6 9

第1章 総論

昭和61年度における受託研究の課題および分担はつぎのとおりである。

- (1) 基礎工に関する調査試験（基礎研究室）
- (2) 交通環境に関する調査試験（交通環境研究室）

これらの受託研究の調査試験を遂行するための経費の総額は 16,500 千円であった。以下に各課題の概要を紹介する。

1-1 基礎工に関する調査試験

通常、道路橋示方書などの各種基準において直接基礎の極限支持力は、平面ひずみを仮定した剛塑性理論に基づいて算定されている。この手法を用いて三次元支持力を算定する場合には、計算過程において過去の実験結果から求まる形状係数を支持力算定式に導入することにより支持力は求まる。しかし明石海峡大橋基礎の安定照査を行う際、支持力解析については分割法または R B S M、変形解析は F E M をそれぞれ用いて検討するものとされており、現在の時点でこれらの方法で算定された二次元支持力から三次元支持力を求める方法は確立されていない。このため、明石海峡大橋基礎の支持力解析に採用される予定である分割法および R B S M 解析結果から形状効果を考慮した支持力を算定する方法を開発することを目的として、過去数年間検討を加えてきた。本年度は、過去当研究室で実施された載荷試験および現場において実施された載荷試験結果と各種支持力算定法により求まる支持力の比のばらつきを統計的手法により調査し、各種支持力算定法から主として円形基礎の支持力を算定する場合の手法について検討した。また、地盤定数 C 、 ϕ が変化する場合の各種支持力算定法の感度についても調査した。これらの調査結果の概要は以下に示す通りである。

(1) 各種支持力算定法による三次元基礎（主として円形基礎）の支持力算定について

15種類の異なる地盤について、平板載荷試験から求まる支持力 P_{ei} と 4 種類の支持力算定法により算定される支持力 P_i^* の比 $\beta_i (= P_{ei}/P_i^*)$ の分布を調べ、正規分布または対数正規分布に近似することにより以下の結論を得た。

- 1) 分割法, R B S M, Kötter の支持力解, 道路橋示方書公式（以下道示式）のいずれも、平板載荷試験結果（ $\phi 300 \sim \phi 1200$ ）の $1/3.1 \sim 1/1.9$ 倍という安全側の支持力を算定している。
- 2) β_i の分布のばらつきの度合から、上記 4 種類の支持力算定法においては、分割法, Kötter 式, R B S M, 道示式の順に安定した支持力を算定している。
- 3) β_i の分布を正規分布または対数正規分布により近似し、各支持力算定法から求まる支持力 P^* から円形基礎の支持力 P_3 を $P_3 = \beta_\alpha \cdot P^*$ という形で算定する場合、 P による支持力算定値が実地盤の支持力を上回る確率を 5% 以内におさえるためには β_α の値を次のように設定すればよい。

分割法 $\beta_\alpha = 1/1.6$

R B S M	$\beta_a = 1 / 1.2$
Kötter の支持力解	$\beta_a = 1 / 1.2$
道示式	$\beta_a = 1.04$

(2) 各種支持力算定法の地盤定数の変化に対する感度分析について

分割法, R B S M, Kötter の支持力解および道示式によって算定される支持力が地盤の粘着力 c およびせん断抵抗角 ϕ の値の変化に伴い, どの程度の影響を受けるか調査した。その結果, ϕ 300 $\sim$ 1200 程度の基礎における支持力算定値は粘着力の有無により大きく左右されることが明らかになった。また, 載荷幅の小さい自重が全体の支持力に及ぼす影響が小さい基礎においては, 粘着力が存在しさえすれば支持力算定法の違いによる支持力算定値間の差異は小さいことが判明した。

1-2 交通環境に関する調査試験

浮遊粒子状物質 (以下 S P M と略す。また粒径 10 μ m 以上のものを含めた粒子全体を粒子状物質とし, 以下 S P と略す。) の環境影響評価手法の確立を目的として, 道路交通に起因する粒子状物質に関する既存の知見をまとめ, 実測調査を行い, 収集した濃度データを整理し, その拡散性状を検討するとともに, 採取した粒子状物質等の分析を行ってきた。

本年度は, はじめに前年度までの実測調査データからガス状物質に関する既存の拡散モデルの適合性についての検討を行ったが, 気象および濃度分布によってデータを分類すると, 有効なデータが全データの約 10% 程度しか得られなかったため, 有効データを増やすために, 補足調査を行った。そして, これらのデータおよび本調査以外の目的で行った拡散調査データを整理し, S P M の排出係数を推定した上で, ガス状物質に関する既存の拡散モデルが道路及び自動車交通に係わる S P M 寄与濃度 (以下道路寄与濃度と略す。) すなわち (測定濃度 - バックグラウンド濃度) の予測を行うためにどの程度の適合性を有するかの検討を行った。また, ローボリウムサンプラによる S P と S P M の採取を行い, 各々の道路寄与濃度のうち自動車排気管とその他の寄与を推定した。

それらの検討を通して以下のようなことが明らかになった。

(1) S P M の排出係数について

N O x と S P M の排出量の関係から推定した S P M の排出係数は大型車 0.28 $\sim$ 0.35 g / km, 小型車 0.02 $\sim$ 0.05 g / km となり, これまでの既存の調査で得られている排出係数に比べて, 小さい値であった。

(2) ガス状物質に関する既存の拡散モデルの適合性について

本調査で推定した S P M の排出係数を使って, ガス状物質に関する数種類の拡散モデルによる計算を行い, 次のような結果を得た。

- 1) プルームパフモデル (建設省道路局) は, 実測値に対して計算値が小さくなる傾向がある。
- 2) プルームパフモデル (環境庁大気保全局) は, 実測値と計算値の相関が他のモデルに比べて良

くない。

3) J E A モデル（東京都修正）は、実測値に対して計算が、大きくなる傾向がある。

なお、プルームパフモデル（建設省道路局）および J E A モデル（東京都修正）の実測値と計算値の相関係数は、同程度であった。

(3) 採取した試料の成分分析に関する検討

S P M は、S P に比べると路端堆積物の影響は少なく、排気管からの寄与が大きいので、道路寄与濃度に対する S P M としては、ほとんどが排気管からのものであると見てよい。従って、大型車の S P M の排出係数として推定した値が、台上試験により求められたディーゼル貨物車（一般には、大型車に分類する）の排出係数と近い値を示していることは、推定した S P M の排出係数の妥当性を示していると考えられる。また、自動車排気管からの排出係数を使ってもある程度の予測は可能であると思われる。

以上は、道路寄与濃度に関する本年度の研究成果の概要である。ガス状物質に関する拡散モデルを予測計算に利用したが、より精度の高い拡散予測を行うためには、ガス状物質と異なる拡散パラメータと沈降および沈着といった S P M 独特の挙動を取り入れた拡散モデルの構築が必要となる。

バックグラウンド濃度については、検討することが出来なかった。今後、環境影響評価のために、適切な予測手法の研究が必要になると思われる。

第2章 基礎工に関する調査試験

基礎研究室 岡 原 美知夫

小 幡 宏

小 池 信 一

2-1 ま え が き

本州四国連絡橋Aルートに建設される明石海峡大橋は、橋長3,560 m、中央径間1,780 mの世界でも最大級の吊橋であり、その基礎は明石層、神戸層、花崗岩を支持層としている。

通常、道路橋示方書などの各種基準に見られる直接基礎の極限支持力算定式は、平面ひずみを仮定した二次元剛塑性理論に基づいて求められている。これらの支持力算定式は、地盤がせん断破壊する直前の応力状態はすべて塑性に近いという仮定の上に成り立っており、地盤の破壊形態としては全般せん断破壊を想定したものである。しかしながら、実際の基礎地盤がせん断破壊を起こす時点での地盤の応力状態は、塑性域と弾性域が混在しており、破壊も進行的に発生すると考えられる。このような傾向は、特に本四連絡橋で建設されようとしている大型基礎については顕著に現われるであろうと予想される。このため、明石海峡大橋基礎の安定照査を行う際、支持力解析は平面ひずみを仮定した分割法またはRBSM、変形解析はFEMをそれぞれ用いて行うものとされている。これらの手法は地盤の力学定数の変化を解析において考慮できるため、大型基礎の支持力算定に関しては、有力な手法であるといえる。ところが、実際の地盤における基礎の破壊は三次元的であるため、これらの支持力解析から求まる二次元支持力から何らかの方法で三次元支持力を推定する必要がある。

このような理由から、本研究においてはこの数年間、二次元基礎の支持力から三次元基礎の支持力を推定する手法について検討してきた。これまでの実験および解析の概要は以下の通りである。

(1) 模型載荷実験 (58, 59年度)

直径30cmの円形基礎（実基礎の1/300）および幅30cm、奥行1 mの長方形基礎を用いて、神戸層と花崗岩を想定した二層モデル地盤上で載荷試験を実施し、二層地盤の場合の形状効果について検討を行った。なお、この時の条件の設定は次の通りである。

①荷重傾斜角 0° , 16.7°

②上層の厚さ h と基礎幅 B の比 (h/B)

0.6, 0.8, 1.0, 5.0 (8.0)

③下層地盤はソイルセメント、上層地盤は川砂で作成した。

(2) 重回帰分析による形状係数の検討 (60年度)

道路橋示方書の支持力算定式を用いて算定した円形基礎と帯基礎の支持力比 r を算定し、下記 (1-1.1) (1-1.2)式に示す c , ϕ , θ , B , D_f をパラメータとした重回帰式によって、トータルとしての二次支持力算定値から三次元支持力を推定する場合の支持力係数について検討した。

$$r = \frac{q_{円}(c, \phi, \theta, B, Df)}{q_{帯}(c, \phi, \theta, B, Df)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot c + \beta_2 \cdot \phi + \beta_3 \cdot \theta + \beta_4 \cdot B + \beta_5 \cdot Df \cdots (1-1.1)$$

$$r = r(c, \phi, \theta, B, Df) = \beta_0 + \beta_1 \cdot c + \beta_2 \cdot \phi + \beta_3 \cdot \theta + \beta_4 \cdot \frac{Df}{B} \cdots (1-1.2)$$

ここに C : 粘着力

ϕ : 地盤のせん断抵抗角

θ : 荷重傾斜角

B : 基礎幅

Df : 根入れ深さ

(3) FEMによる換算変形係数の検討

二次元平面ひずみFEMおよび三次元軸対称FEMにより、一定の荷重強度を作用させた場合の変位を算定し、両者の比較から二次元解析から三次元変位を推定する場合の換算変形係数の設定の仕方について検討した。

2-2 研究目的

通常、直接基礎の極限支持力は平面ひずみを仮定した二次元剛塑性理論、あるいはFEM、RBSM等の数値解析により算定されることが多い。しかし、実際の構造物の基礎地盤は三次元的な応力状態にあり、その極限支持力は二次元状態を仮定して得られるものとは異なる。そこで現状では主として実験による形状効果の研究結果から、二次元剛塑性理論による支持力公式の粘着力および自重に関する支持力係数を形状係数により修正するかたちで三次元支持力は求められている。

しかしながら、明石海峡大橋の極限支持力算定法として提案されている分割法やRBSM解析の場合、粘着力、自重といった項に分けずに直接極限支持力を算定する手法であるため、従来から提案されている形状係数をそのまま適用することはできない。このため、各種手法による支持力算定値と既存の地盤の載荷試験結果を統計的に比較することにより、二次元支持力算定値から三次元支持力（主として円形基礎）を推定する場合の評価方法について検討するものである。

2-3 各種支持力算定法による三次元基礎の支持力評価

2-3-1 方法

過去に当研究室で行った載荷実験、現場における平板載荷試験（ケーソン内での試験）および本四明石層で実施した平板載荷試験結果から得られる極限支持力を Pe_i とする。次に平板載荷試験を実施した地盤の力学定数を用いて、各支持力算定法により求まる極限支持力を P_i^* とする。全15種類の地盤について載荷試験結果による支持力と各支持力算定法による支持力の比 $\beta_i = Pe_i / P_i^*$ を求め、統計的手法により β_i の平均値 $\bar{\beta}$ および分散 σ^2 を算定する。

各種支持力算定法により得られる支持力 P^* から三次元支持力 P_3 を $P_3 = \beta_a \cdot P^*$ という式を用いて推定する場合、図-3-1.1に示す β_a をもって載荷試験結果から得られる支持力 Pe と P_3 の関係が $Pe < P_3$ となる確率を $\alpha\%$ 以内になることを保障する値とする。

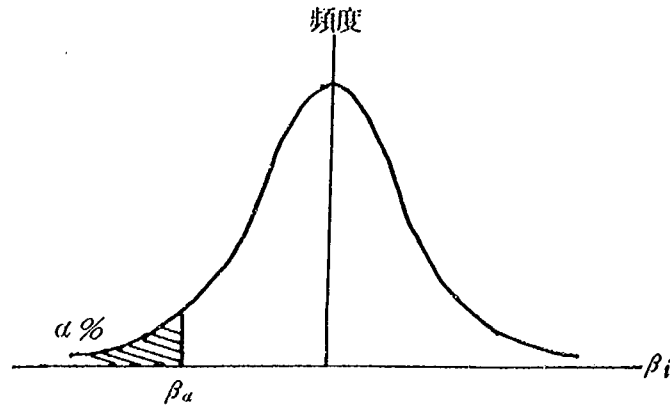


図 - 3 - 1.1 β_i の分布

2 - 3 - 2 過去における載荷試験データ

今回の解析に用いた載荷試験データは以下に示す通りである。

(1) 当研究室における載荷実験

- 1) 地盤反力に関する研究 (56, 57, 59年度)
- 2) 本四受託 (58年度)

(2) ケーソン底面での載荷試験結果 (48~57年)

(3) 本四明石層での載荷試験結果

これらの載荷試験から解析に用いる地盤を以下のように決定した。ここで、 ϕ : せん断抵抗角, c : 粘着力, γ_1 : 単位体積重量, γ_2 : 水中における単位体積重量, E : 変形係数, ν : ポアソン比

(1) 地盤 1

$$\phi = 34.3^\circ \quad c = 0.09 \text{ kgf/cm}^2 \quad \gamma_1 = 1.71 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 245 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$

$B = 30, (60, 90) \text{ cm}$ ()内は極限支持力を降状荷重から推定

(2) 地盤 2

$$\phi = 34.3^\circ \quad c = 0.09 \text{ kgf/cm}^2 \quad \gamma_1 = 1.60 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 245 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$

$B = 30, 60, (1200, 2400) \text{ cm}$

(3) 地盤 3

$$\phi = 37.4^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \gamma_1 = 1.59 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 118 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$

$B = 30, (2400) \text{ cm}$

(4) 地盤 4

$$\phi = 37.7^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \gamma_1 = 1.60 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 62 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$

$B = 30, 60, (1200) \text{ cm}$

(5) 地盤 5

$$\phi = 38^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \gamma_1 = 1.66 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 290 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$

$B = 30.0 \text{ cm}$

(6) 地盤 6

$$\phi = 29^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.84 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 30 \text{ cm}$$

(7) 地盤 7

$$\phi = 35^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.8 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(8) 地盤 8

$$\phi = 30^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_1 = 1.7 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(9) 地盤 9

$$\phi = 35^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 1.0 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(10) 地盤 10

$$\phi = 38^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.9 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(11) 地盤 11

$$\phi = 40^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.9 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(12) 地盤 12

$$\phi = 30^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 1.0 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 50.5 \text{ cm}$$

(13) 地盤 13

$$\phi = 39^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.9 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 250 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 75.0 \text{ cm}$$

(14) 地盤 14

$$\phi = 35^\circ \quad c = 0 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_2 = 0.75 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 200 \text{ kgf/cm}^2 \quad \nu = 0.3$$
$$B = 31.6 \text{ cm}$$

(15) 地盤 15

$$\phi = 35.2^\circ \quad c = 0.42 \text{ kgf/cm}^2 \quad r_1 = 2.25 \text{ gf/cm}^3 \quad E = 600 \text{ kgf/cm}^2$$
$$B = 60, [30, 100] \text{ cm} \quad (\quad) \text{ 内の値は T. P. 17.0 m}$$

2-3-3 支持力算定手法

支持力の算定に用いた手法は、明石海峡大橋の安定照査に用いられる分割法、RBSMの他以下に示す手法を用いた。

(1) 分割法 (Bishop 法)

(2) RBSM

(3) Kötter の支持力理論解

(4) 道路橋示方書，支持力算定式

2 - 3 - 4 解析上の条件

以下に各支持力算定法の概要および解析する上で設定した条件を示す。

(1) 分割法 (Bishop 法)

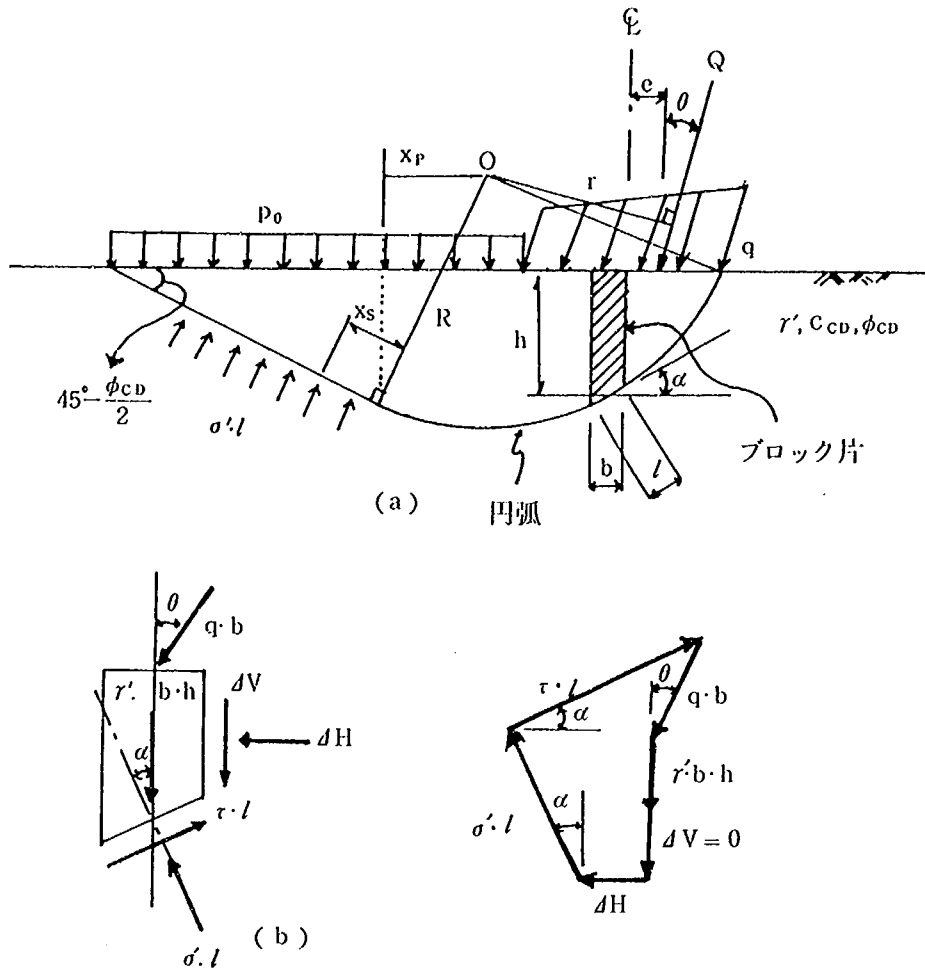


図 - 3 - 4.1 分割法 (Bishop 法) による支持力の計算

分割法は図 - 3 - 4.1 に示すモデルを用いて，円弧の中心点 O をいくつか仮定してすべり線をひき， O 点のモーメントの釣り合いから最小の支持力 Q を求める手法である。その際，次の条件に基づいてすべり線の決定，解析を行った。

1) 仮定するすべり線は，円弧とランキン受働域からなる複合すべり線を用いる。なお，円弧とランキン受働域の接点は，すべり線が水平方向となす角 α が $45^\circ - \phi/2$ となる箇所とする。

2) 土塊の一分割ブロックでの力の釣り合いは Bishop 法による。

O 点のまわりのモーメントの釣り合いから支持力 Q は次式により求まる。

$$Q = \frac{1}{r} \{ R \cdot \sum \tau \cdot \ell - \sum (p_0 + r' \cdot h) \cdot b \cdot x_p - \sum \sigma' \cdot \ell \cdot x_s \} \dots\dots\dots (3-4.1)$$

ここに

$$\sigma' \cdot \ell = \frac{q \cdot b \cdot \cos \theta + r' \cdot b \cdot h - c_{cd} \cdot \ell \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha + \tan \phi_{cd} \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots (3-4.2)$$

$$\tau \cdot \ell = c_{cd} \cdot \ell + \frac{q \cdot b \cdot \cos \theta + r' \cdot b \cdot h - c_{cd} \cdot \ell \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha + \tan \phi_{cd} \cdot \sin \alpha} \cdot \tan \phi_{cd} \dots\dots\dots (3-4.3)$$

Q : 支持力

r : O点から全支持力作用点Qまでのモーメントのうでの長さ

R : 仮定した円弧すべり線の半径

P₀ : サーチャージ

q₀ : 支持力度

θ : 荷重傾斜角

b, h, ℓ, α : 分割ブロック片の幅, 平均高さ, すべり線上の長さ, すべり線が水平となす角

x_p : O点から (P₀ + r' · h) · b 作用点までのモーメントのうでの長さ

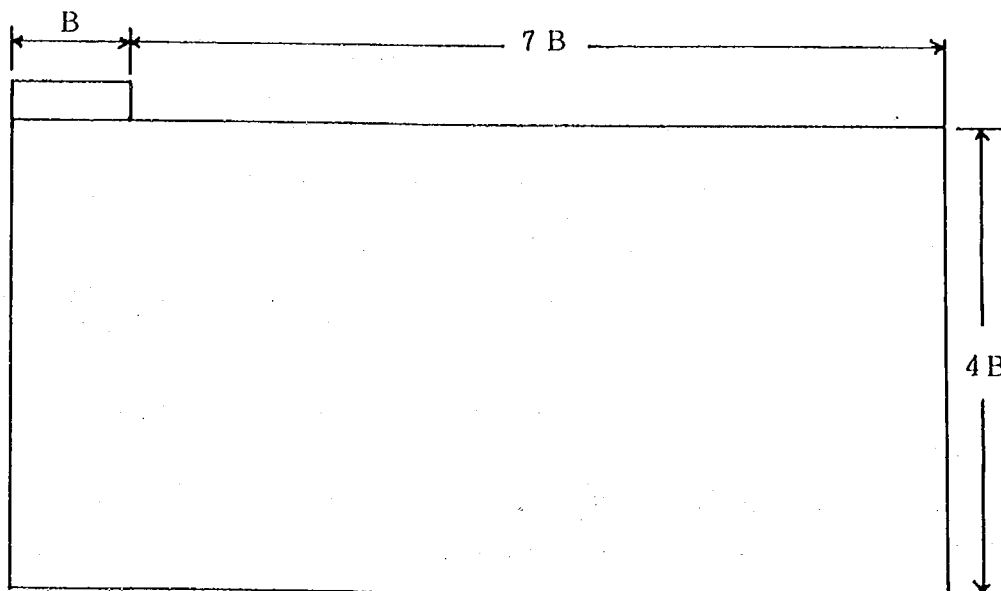
x_s : O点から σ' · ℓ の作用点までのモーメントのうでの長さ

e : 荷重の偏心量

(2) RBSM

RBSM解析は, 基本的に「基礎地盤の支持力および変形に関する静的数値計算要領(案)」に基づいて行った。解析モデルの条件は以下のように設定した。

- 1) 平面ひずみを仮定する。
- 2) 各要素は剛体であり, 要素間はバネにより接続されている。
- 3) 解析範囲は下図に示す範囲以上とする。



4) 要素形状は原則として三角形を用いる。

5) 変位境界は以下のように設定した。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{鉛直境界} \cdots \cdots \text{鉛直方向可動, 水平方向拘束} \\ \text{底面境界} \cdots \cdots \text{鉛直方向拘束, 水平方向拘束} \end{array} \right.$$

6) 自重による初期応力を考慮する。

7) Mohr - Coulomb の破壊基準に従う。

以上のような条件の基で、メッシュ分割は図 - 3 - 4. 1, 3 - 4. 2 のように設定した。分割は 108 要素, 60 節点から成り立っている。

(4) Kötter の支持力理論解

Kötter の支持力理論解は、力学的釣合方程式と Mohr - Coulomb の破壊基準から求まる Kötter の釣合方程式を式 (3 - 4. 4) のように差分化し、特性曲線法により境界値問題 (Rieman 問題 特異点まわりの問題, Cauchy 問題) を解いて行くことにより支持力を求める手法である。支持力算定に用いる差分式は次の通りである。

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 \sigma_m - 2 (\sigma_m \cdot \tan \phi + c) \Delta_1 \alpha = f_1 \cdot \Delta s_1 \\ \Delta_2 \sigma_m + 2 (\sigma_m \cdot \tan \phi + c) \Delta_2 \alpha = f_2 \cdot \Delta s_2 \end{array} \right\} \cdots \cdots (3 - 4. 4)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 x = \cos (\alpha - \mu) \cdot \Delta s_1 \quad \Delta_1 z = \sin (\alpha - \mu) \cdot \Delta s_1 \\ \Delta_2 x = \cos (\alpha + \mu) \cdot \Delta s_1 \quad \Delta_2 z = \sin (\alpha + \mu) \cdot \Delta s_2 \end{array} \right\} \cdots \cdots (3 - 4. 5)$$

ここで Δ_1, Δ_2 は s_1, s_2 すべり線に沿う差分である。

また, σ_m : 平均主応力

c : 粘着力

ϕ : 地盤のせん断抵抗角

α : 主応力 σ_1 が x 軸となす角

μ : σ_1 とすべり線となす角

なお, f_1, f_2 については式 3 - 4. 6 に示す通りである。

$$\left. \begin{array}{l} f_1 = -r \cdot \cos (\alpha + \mu) / \cos \phi + (\sigma_m - c \cdot \tan \phi) \cdot \sin (\alpha - \mu) \frac{\partial \phi}{\partial x} + \sin (\alpha - \mu) \frac{\partial c}{\partial x} \\ \quad - (\sigma_m - c \cdot \tan \phi) \cdot \cos (\alpha - \mu) \frac{\partial \phi}{\partial z} - \cos (\alpha - \mu) \frac{\partial c}{\partial z} \\ f_2 = r \cdot \cos (\alpha - \mu) / \cos \phi - (\sigma_m - c \cdot \tan \phi) \cdot \sin (\alpha + \mu) \frac{\partial \phi}{\partial x} \\ \quad - \sin (\alpha + \mu) \frac{\partial c}{\partial x} + (\sigma_m - c \cdot \tan \phi) \cdot \cos (\alpha + \mu) \frac{\partial \phi}{\partial z} \\ \quad + \cos (\alpha + \mu) \frac{\partial c}{\partial z} \end{array} \right\} \cdots (3-4.6)$$

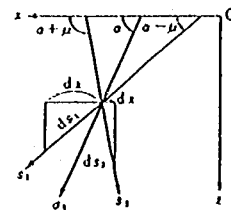
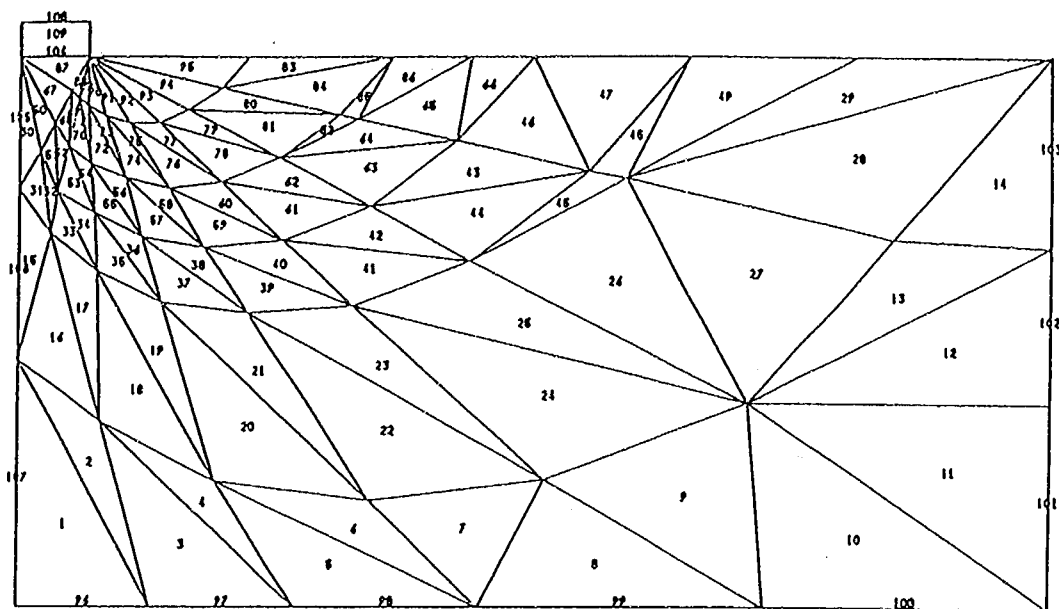


図 - 3 - 4. 3

2 - 3 - 5 解析ケース

各種支持力算定法による解析は, 15 種類の地盤上で全 25 ケースについて実施した。ただし RBSM については, 土質試験が詳細に行われた地盤 11 ケースにしぼって解析した。表 - 3 - 5. 1 に各算定法による解析ケースを示す。

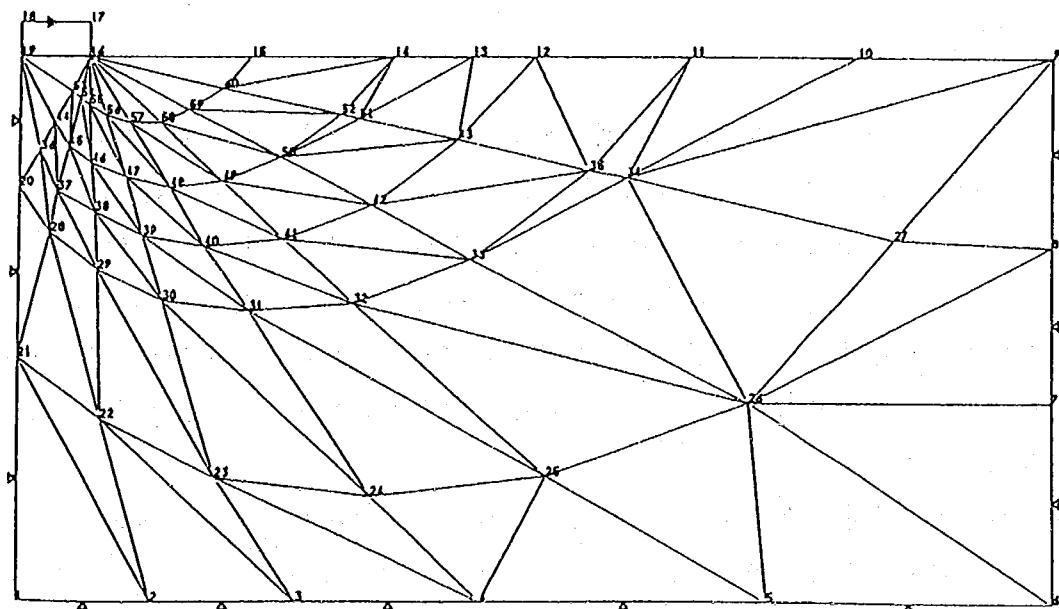
MODEL



SCALE 1/20

图-3-4.1 要素番号図

MODEL



SCALE 1/20

图-3-4.2 節点番号図

表-3-5.1 解析ケース

地盤	ケース	対応 資料数	載荷板 寸法	極限支持力の評価方法			
				分割法	RBSM	Kötter	道示式
1	1-1	4	$\phi 300$	○	○	○	○
	1-2	1	$\phi 600$	○	○	○	○
	1-3	3	$\phi 900$	○	○	○	○
2	2-1	2	$\phi 300$	○	○	○	○
	2-2	1	300×600	○	—	○	○
	2-3	1	300×1200	○	—	○	○
	2-4	1	300×2400	○	—	○	○
3	3-1	1	$\phi 300$	○	○	○	○
	3-2	1	$\phi 2400$	○	—	○	○
4	4-1	1	$\phi 300$	○	○	○	○
	4-2	1	$\phi 600$	○	○	○	○
	4-3	1	$\phi 1200$	○	○	○	○
5	5-1	1	$\phi 300$	○	○	○	○
6	6-1	1	300×300	○	○	○	○
7	7-1	1	316×316	○	—	○	○
8	8-1	1	316×316	○	—	○	○
9	9-1	2	316×316	○	—	○	○
10	10-1	1	316×316	○	—	○	○
11	11-1	2	316×316	○	—	○	○
12	12-1	1	$\phi 505$	○	—	○	○
13	13-1	1	$\phi 750$	○	—	○	○
14	14-1	1	316×316	○	—	○	○
15	15-1	1	$\phi 600$	○	—	○	○
	15-2	1	$\phi 300$	○	○	○	○
	15-3	1	$\phi 1000$	○	—	○	○

2-3-6 解析結果

(1) 分割法

図-3-6. 1～図-3-6. 22に分割法を用いた極限支持力の算定値およびすべり線図を示す。図面において用いられている記号は以下の通りである。 C ：粘着力 (tf/m^2)， ϕ ：地盤のせん断抵抗角($^\circ$)， γ ：単位体積重量 (tf/m^3)， Q_v ：極限支持力 (tf/m)， Q_1 ：極限支持力度（基礎左端） (tf/m^2)， Q_2 ：極限支持力度（基礎右端） (tf/m^2)， X_c ：基礎右端から円弧の中心点までの水平距離 (m)（基礎右端を0とし左方へ+）， Y_c ：基礎右端から円弧の中心点までの鉛直距離（基礎右端から下方へ+）， e ：荷重の偏心量 (m)， θ ：荷重傾斜角($^\circ$)， K_H ：水平震度 (tf/m)

300 cmの載荷幅を設定したモデルを比較してみると、全般に粘着力 $c = 0.9 \text{ tf}/\text{m}^2$ を考慮したモデルは c を考慮しなかったモデルに較べて、2倍以上の支持力を得ていることがわかる。このことから300 cm程度の載荷幅の場合分割法による支持力算定値は、粘着力の有無により大きく影響を受ける傾向があることがうかがえる。

次に同一地盤上で載荷幅を変化しているケース1-1～1-3と4-1～4-3を比較してみ

ると、地盤 1 においては載荷幅が $\phi 300$, $\phi 600$, $\phi 900$ と変化するのに伴い、 $\phi 600$, $\phi 900$ の支持力度は、 $\phi 300$ の 1.3 倍、1.6 倍となっている。また地盤 4 では載荷幅が $\phi 300$, $\phi 600$, $\phi 1200$ となるのに対して支持力度は $\phi 300$ の 2.1 倍、4.4 倍となっており、両者とも載荷幅の増大に伴って支持力も大きくなっている。ここで載荷幅の増分と支持力度の増分が地盤 1 と 4 で大きく異なっていることが注目される。これを「支持力度は粘着力と自重による項に分離して考えることができる」という仮定の基に考えてみると、支持力度 q は

$$q = c \cdot N_c + \frac{1}{2} \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

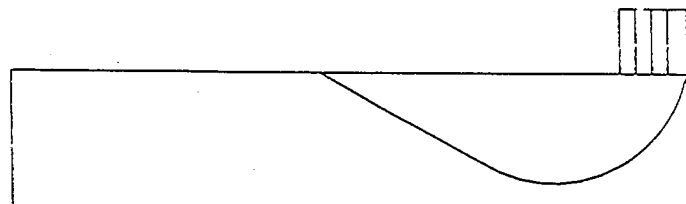
という形で表わすことができる。地盤 4 については粘着力が 0 であるため支持力は第 2 項の自重項のみによって算定される。したがって地盤 4 の支持力度は単位体積重量、載荷面積、支持力係数 N_γ の値に支配されることになるが、同一地盤において γ と N_γ は一定であるため、 $\phi 300$, $\phi 600$, $\phi 900$ の支持力度の値は載荷幅 B の大きさに比例すると考えられる。実際、分割法による試算においても地盤 4 における載荷幅の大きさの変化にほぼ比例して支持力度も大きくなっている。地盤 1 における載荷幅と支持力度の関係が地盤 4 と異なるのは、第 1 項である粘着力項が支持力度に及ぼす影響が、「自重項は載荷幅の大きさに比例する」関係を無視し得るくらい大きいことが原因していると考えられる。先に $\phi 300$ の支持力に及ぼす粘着力の影響について述べたが、上記考察より、この影響は $\phi 900$ 程度の基礎模型についても過大であることがわかる。

** CASE 1-1 **

	1
C	0.9
ϕ	34.3
γ	1.7

地盤支持力

OV- 16.73 (t/m) XC- 0.60 (m)
 O1- 55.78 (t/m') YC- -0.15 (m)
 O2- 55.78 (t/m') θ - 0.0 (°)
 KH- 0.0 (t/m) θ - 0.0 (°)

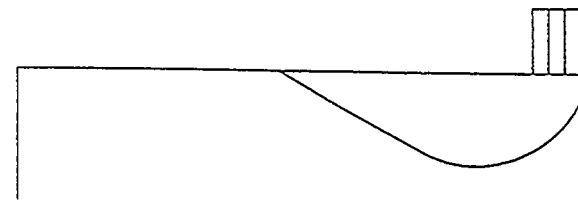


** CASE 1-2 **

	1
C	0.9
ϕ	34.3
γ	1.7

地盤支持力

OV- 43.79 (t/m) XC- 1.20 (m)
 O1- 72.98 (t/m') YC- -0.30 (m)
 O2- 72.98 (t/m') θ - 0.0 (°)
 KH- 0.0 (t/m) θ - 0.0 (°)

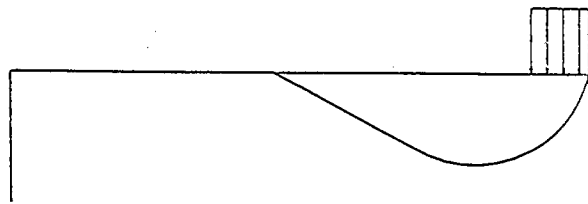


** CASE 1-3 **

	1
C	0.9
ϕ	34.3
γ	1.7

地盤支持力

OV- 80.72 (t/m) XC- 1.80 (m)
 O1- 89.69 (t/m') YC- -0.45 (m)
 O2- 89.69 (t/m') θ - 0.0 (°)
 KH- 0.0 (t/m) θ - 0.0 (°)

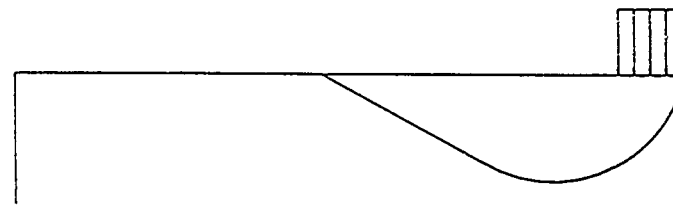


** CASE 2-1 **

	1
C	0.9
ϕ	34.3
γ	1.6

地盤支持力

OV- 16.42 (t/m) XC- 0.60 (m)
 O1- 54.75 (t/m') YC- -0.15 (m)
 O2- 54.75 (t/m') θ - 0.0 (°)
 KH- 0.0 (t/m) θ - 0.0 (°)

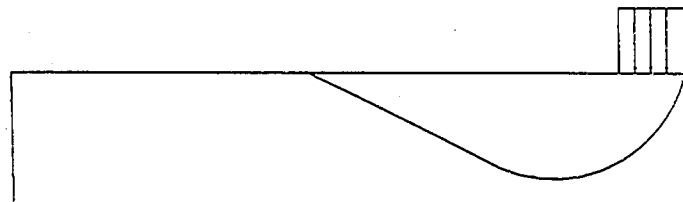


•• CASE 3-1 ••

	1
C	0.0
ϕ	37.4
γ	1.6

地盤支持力

QV= 5.81 (t/m) XC= 0.60 (m)
 Q1= 22.70 (t/m²) YC= -0.15 (m)
 Q2= 22.70 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

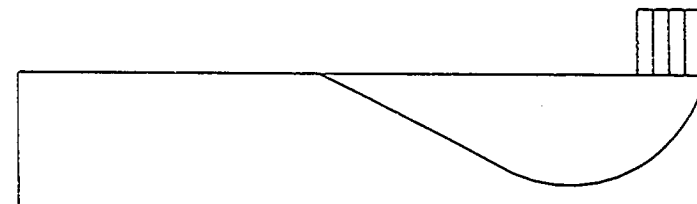


•• CASE 3-2 ••

	1
C	0.0
ϕ	37.4
γ	1.6

地盤支持力

QV=477.83 (t/m) XC= 4.80 (m)
 Q1=199.09 (t/m²) YC= -1.20 (m)
 Q2=199.09 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

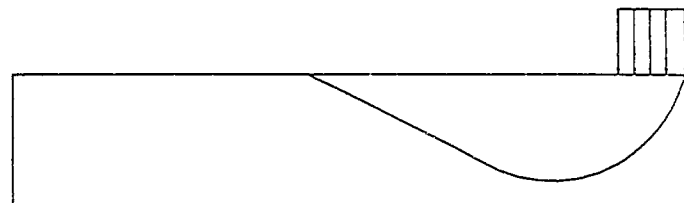


•• CASE 4-1 ••

	1
C	0.0
ϕ	37.7
γ	1.6

地盤支持力

QV= 7.25 (t/m) XC= 0.60 (m)
 Q1= 24.16 (t/m²) YC= -0.15 (m)
 Q2= 24.16 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)



•• CASE 4-2 ••

	1
C	0.0
ϕ	37.7
γ	1.6

地盤支持力

QV= 31.09 (t/m) XC= 1.20 (m)
 Q1= 51.81 (t/m²) YC= -0.30 (m)
 Q2= 51.81 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

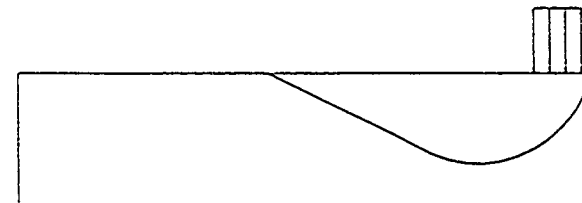


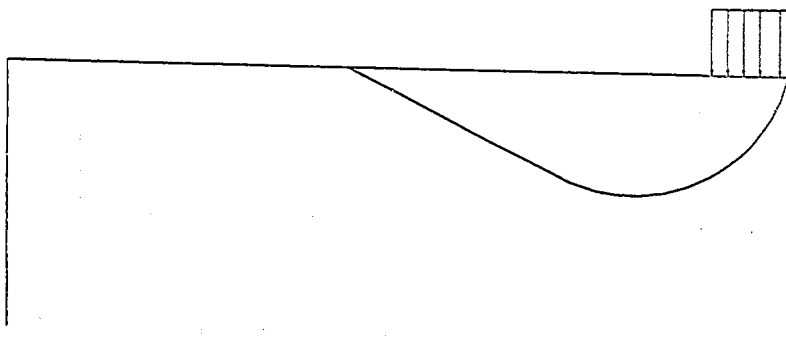
図-3-6.5 ~ 図-3-6.8

** CASE 4-3 **

	1
C	0.0
φ	37.7
γ	1.6

地盤支持力

QV=126.39(t/m) XC= 2.40(m)
Q1=105.33(t/m) YC= -0.60(m)
Q2=105.33(t/m) θ= 0.0 (°)
KH= 0.0 (t/m) θ= 0.0 (°)

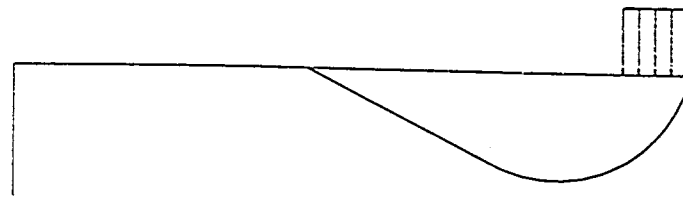


** CASE 5-1 **

	1
C	0.0
φ	38.6
γ	1.7

地盤支持力

QV= 7.96(t/m) XC= 0.60(m)
Q1= 26.54(t/m) YC= -0.15(m)
Q2= 26.54(t/m) θ= 0.0 (°)
KH= 0.0 (t/m) θ= 0.0 (°)

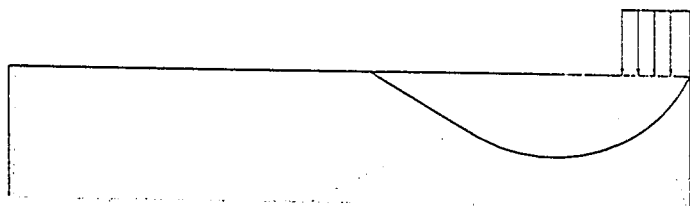


** CASE 6-1 **

	1
C	0.0
φ	29.0
γ	0.8

地盤支持力

QV= 0.83(t/m) XC= 0.60(m)
Q1= 2.75(t/m) YC= -0.30(m)
Q2= 2.75(t/m) θ= 0.0 (°)
KH= 0.0 (t/m) θ= 0.0 (°)

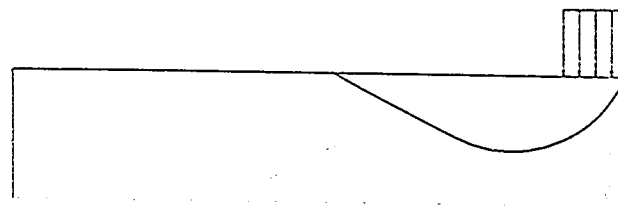


** CASE 7-1 **

	1
C	0.0
φ	35.0
γ	0.8

地盤支持力

QV= 2.20(t/m) XC= 0.59(m)
Q1= 6.97(t/m) YC= -0.24(m)
Q2= 6.97(t/m) θ= 0.0 (°)
KH= 0.0 (t/m) θ= 0.0 (°)

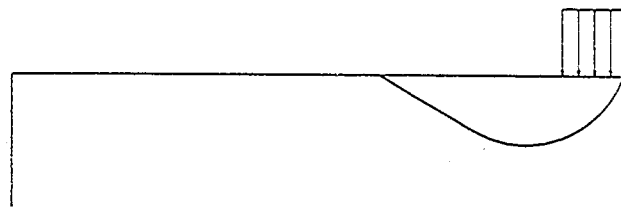


** CASE 8-1 **

	1
C	0.0
ϕ	30.0
γ	1.7

地盤支持力

QV= 2.23(t/m) XC= 0.51(m)
 O1= 7.04(t/m') YC= -0.20(m)
 O2= 7.04(t/m') θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

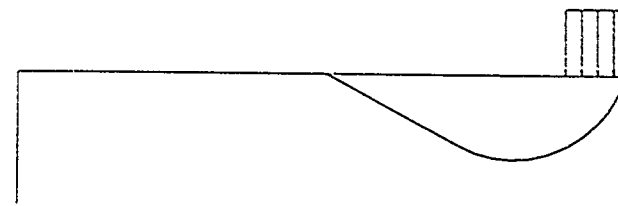


** CASE 9-1 **

	1
C	0.0
ϕ	35.0
γ	1.0

地盤支持力

QV= 2.88(t/m) XC= 0.59(m)
 O1= 9.10(t/m') YC= -0.20(m)
 O2= 9.10(t/m') θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

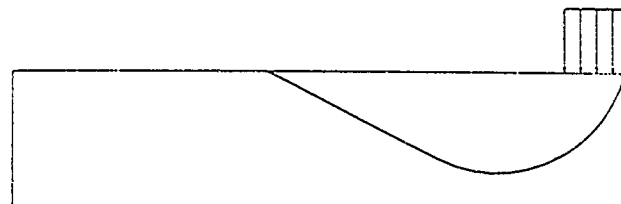


** CASE 10-1 **

	1
C	0.0
ϕ	38.0
γ	0.9

地盤支持力

QV= 4.37(t/m) XC= 0.67(m)
 O1= 13.83(t/m') YC= -0.20(m)
 O2= 13.83(t/m') θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

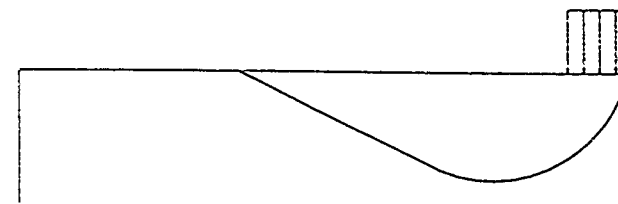


** CASE 11-1 **

	1
C	0.0
ϕ	40.0
γ	0.9

地盤支持力

QV= 6.36(t/m) XC= 0.71(m)
 O1= 20.14(t/m') YC= -0.20(m)
 O2= 20.14(t/m') θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

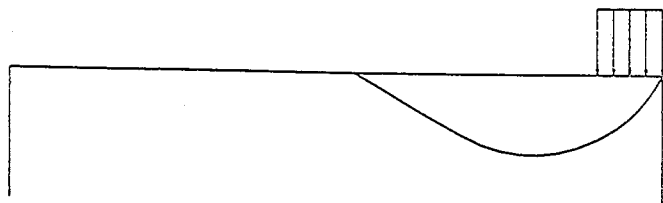


** CASE 12-1 **

	1
C	0.0
ϕ	30.0
γ	1.0

地盤支持力

OV= 3.90 (t/m) XC= 1.01 (m)
 O1= 7.73 (t/m²) YC= -0.50 (m)
 O2= 7.73 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

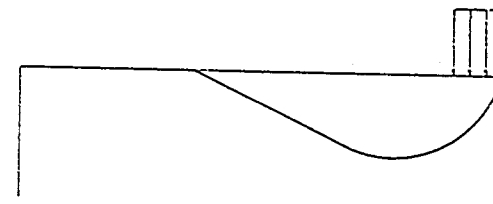


** CASE 13-1 **

	1
C	0.0
ϕ	39.0
γ	0.9

地盤支持力

OV= 33.10 (t/m) XC= 1.69 (m)
 O1= 44.13 (t/m²) YC= -0.47 (m)
 O2= 44.13 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

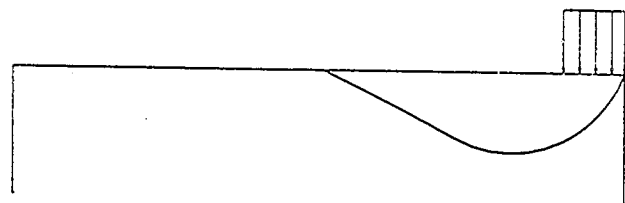


** CASE 14-1 **

	1
C	0.0
ϕ	35.0
γ	0.8

地盤支持力

OV= 2.01 (t/m) XC= 0.59 (m)
 O1= 6.35 (t/m²) YC= -0.20 (m)
 O2= 6.35 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)

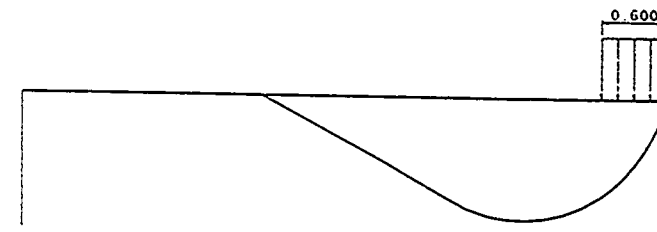


** CASE 15-1 **

地盤支持力 NO.	1
C	4.2
ϕ	35.2
γ	2.25

地盤支持力 (Bishop 法)

OV=148.14 (t/m) XC= 1.35 (m)
 O1=246.90 (t/m²) YC= -0.30 (m)
 O2=246.90 (t/m²) θ = 0.0 (°)
 KH= 0.0 (t/m) θ = 0.0 (°)



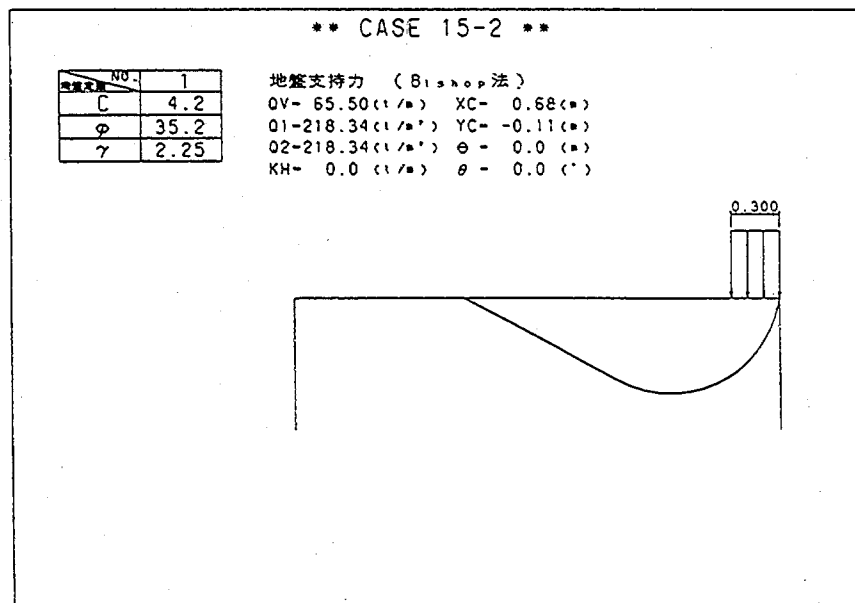


図 - 3 - 6.21

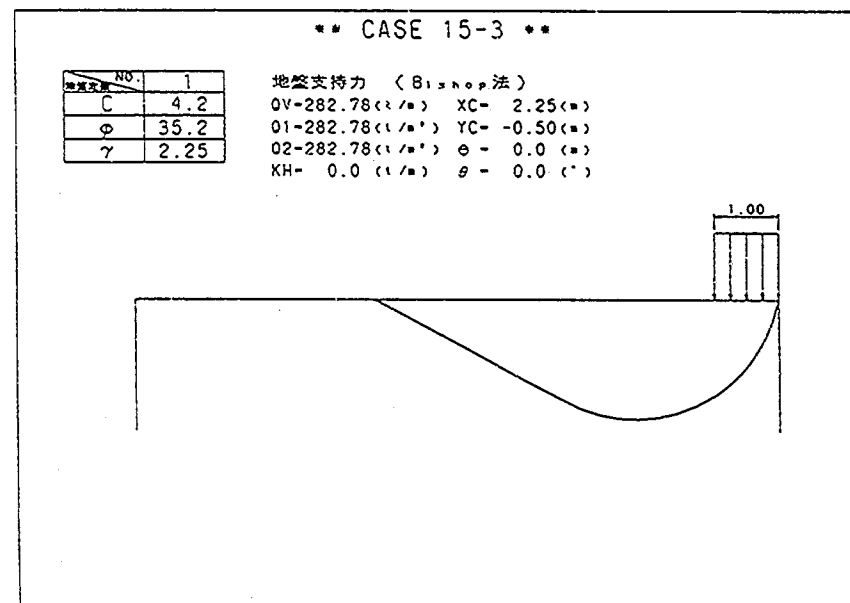


図 - 3 - 6.22

(2) R B S M

図-3-6.23～図-3-6.32は条件の異なる15ケースについてR B S M解析により極限支持力を算定した結果である。これらの図面は、各ケースごとの荷重沈下特性、 $\log P \sim \log S$ 関係（両対数荷重沈下曲線）、地盤破壊時のすべり線図および変位ベクトル図についてまとめたものである。ここで図面上に示される記号は以下の通りである。

B : 基礎幅 (m) , C : 粘着力 (tf/m^2) , FAI : 地盤のせん断抵抗角($^\circ$) , G : 単位体積重量 (tf/m^3) FACTORまたはLOAD FACTOR : 荷重, DISP : 変位 (m)

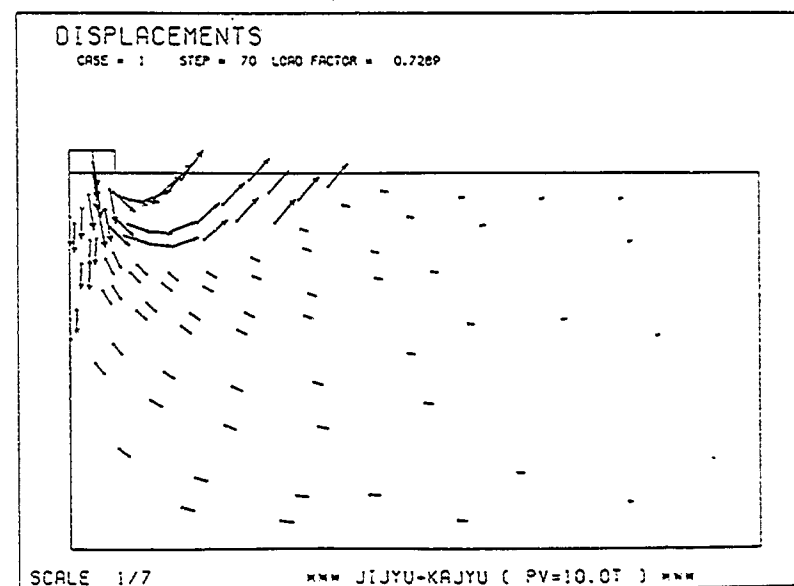
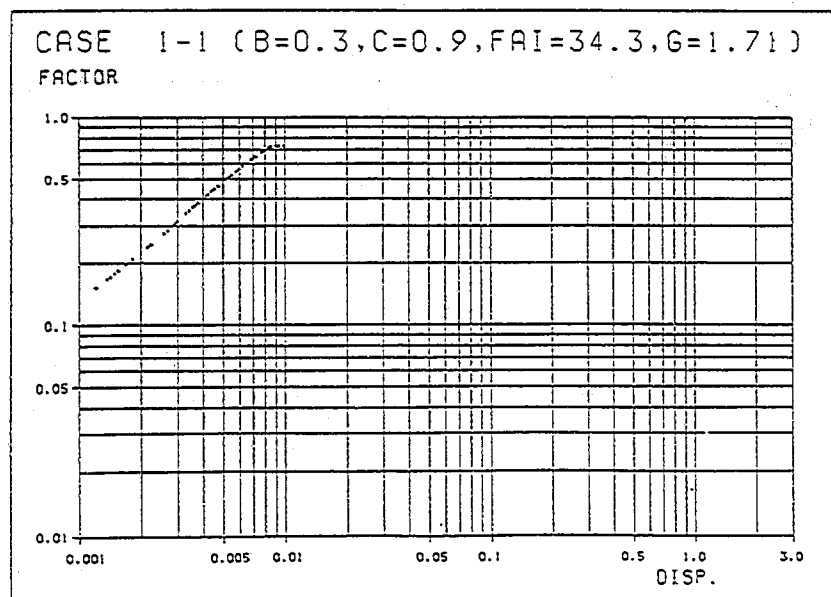
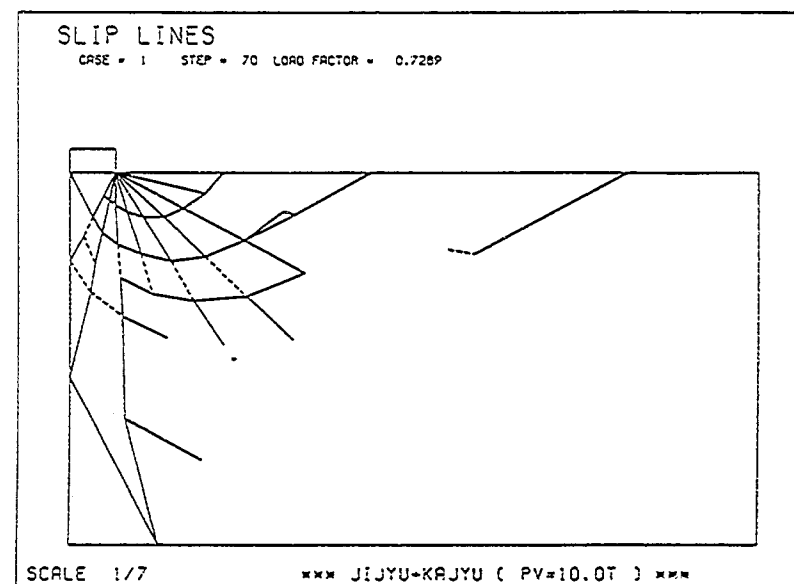
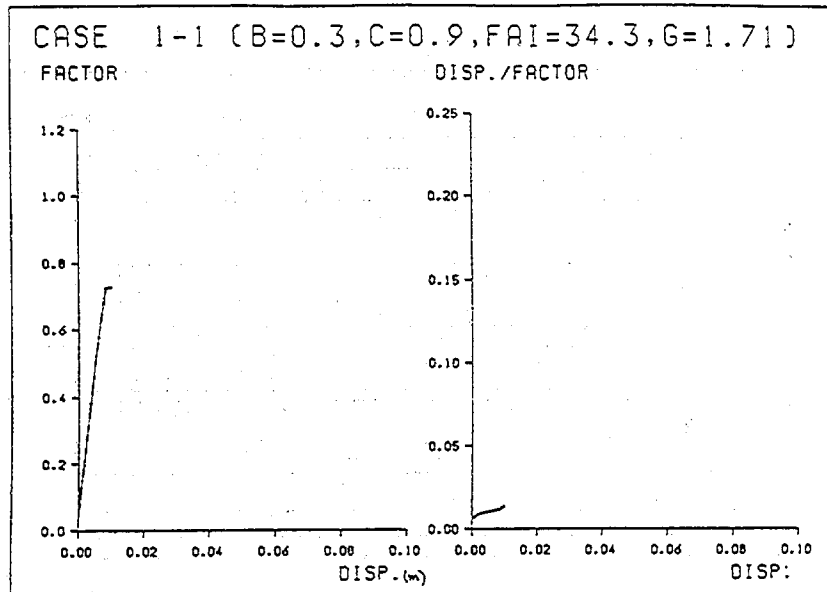
なお、R B S M解析において、荷重-変位曲線 ($\log P \sim \log S$ 図) の屈接点をもって極限荷重と判断しており、要素分割については、要素誤差率30%以下となるように設定している。各解析結果について図面ごとに見てみる。

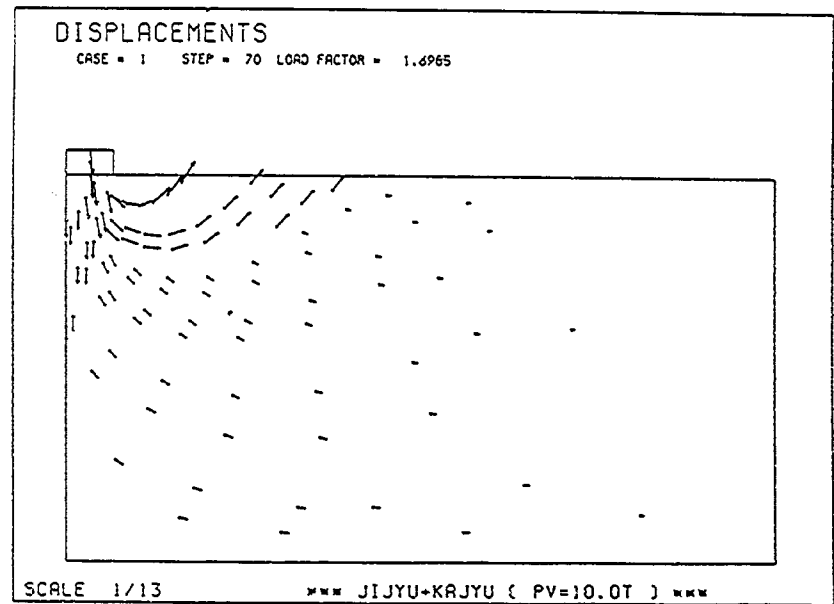
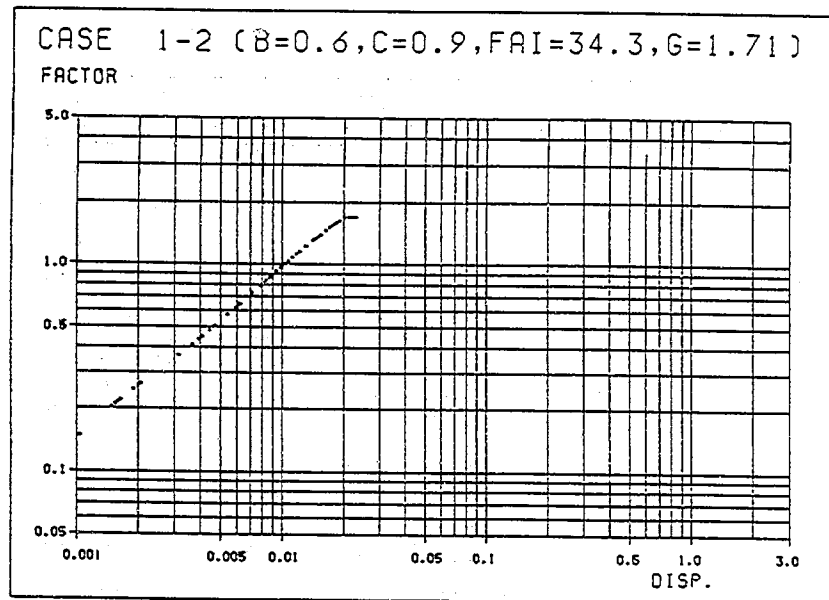
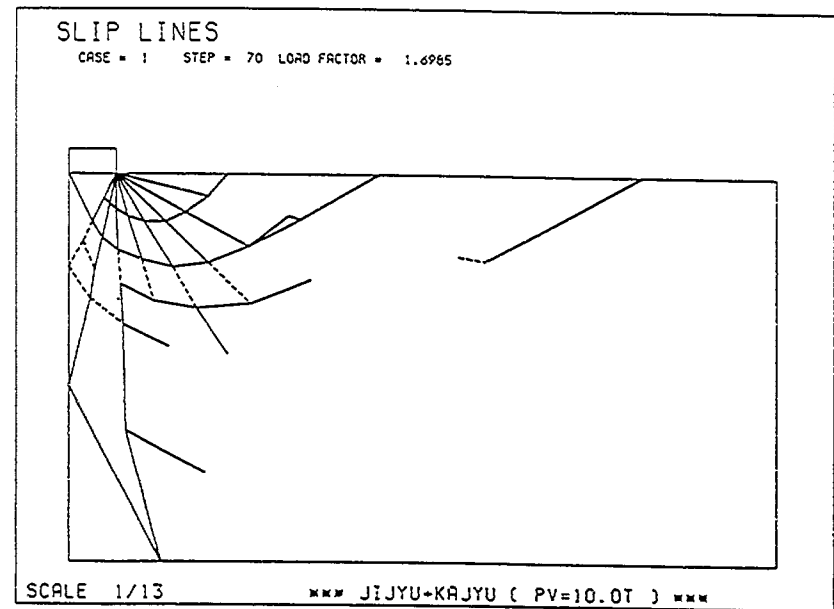
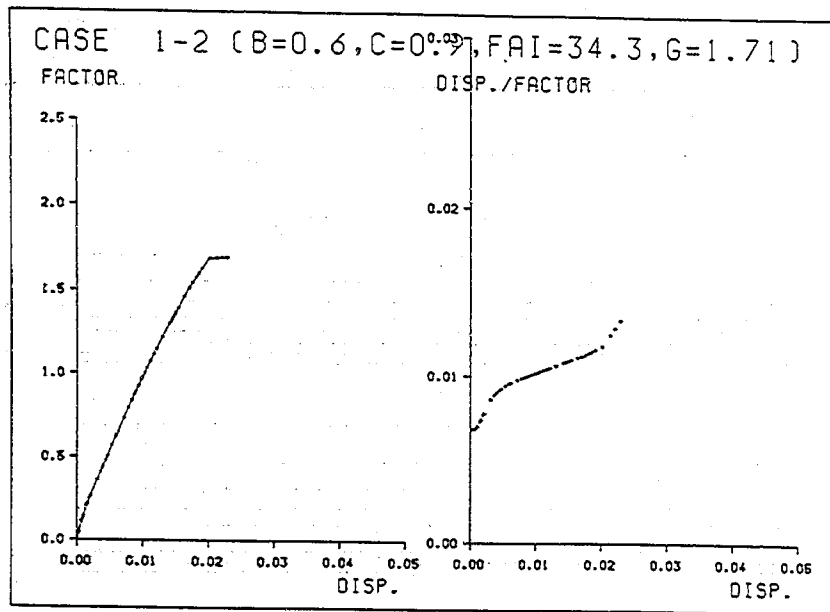
荷重～変位の関係図について見てみると、荷重と変位はほぼbi-linearな関係を示しており、はっきりとした極限荷重が表わされている。

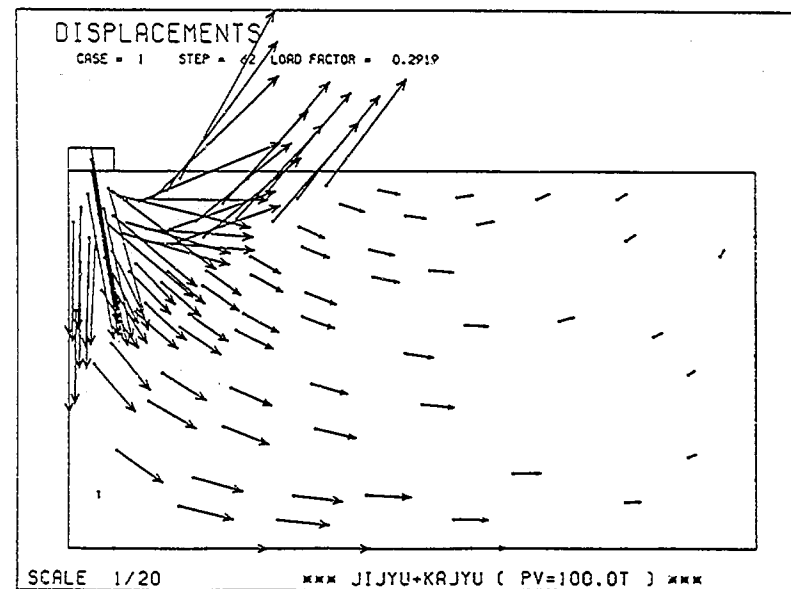
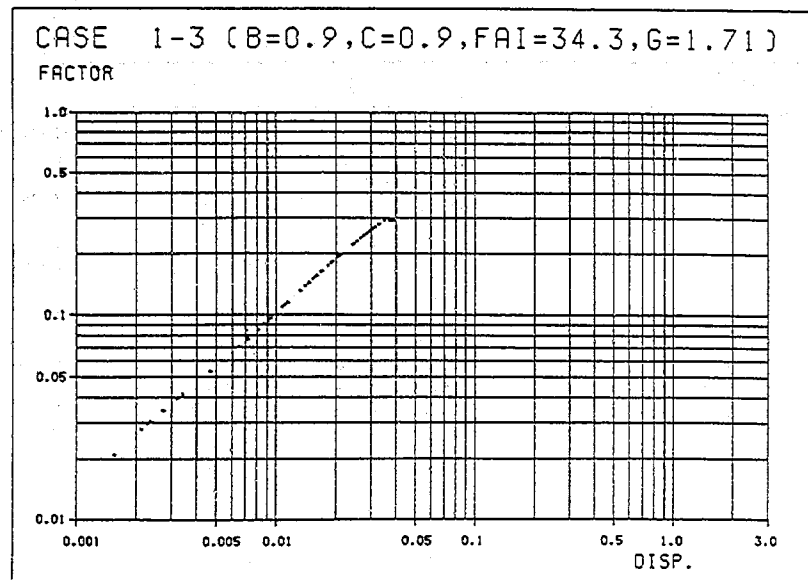
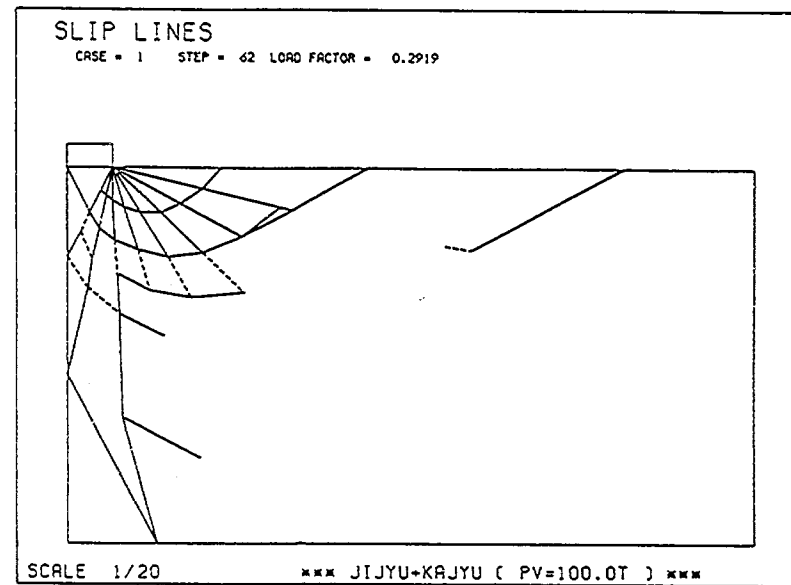
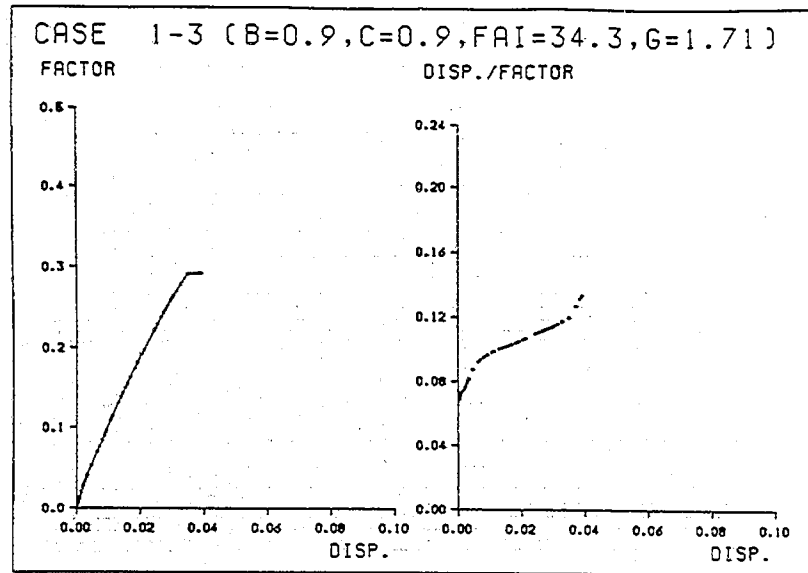
すべり線図については、全ケースが全般せん断により破壊しているのがわかるが、各ケース共、基礎直下へのすべり線が発達している点が特徴的である。

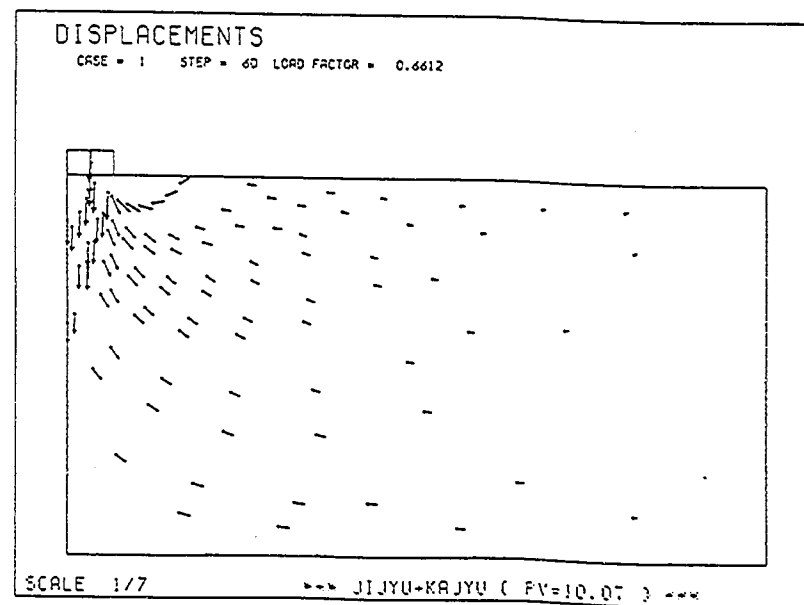
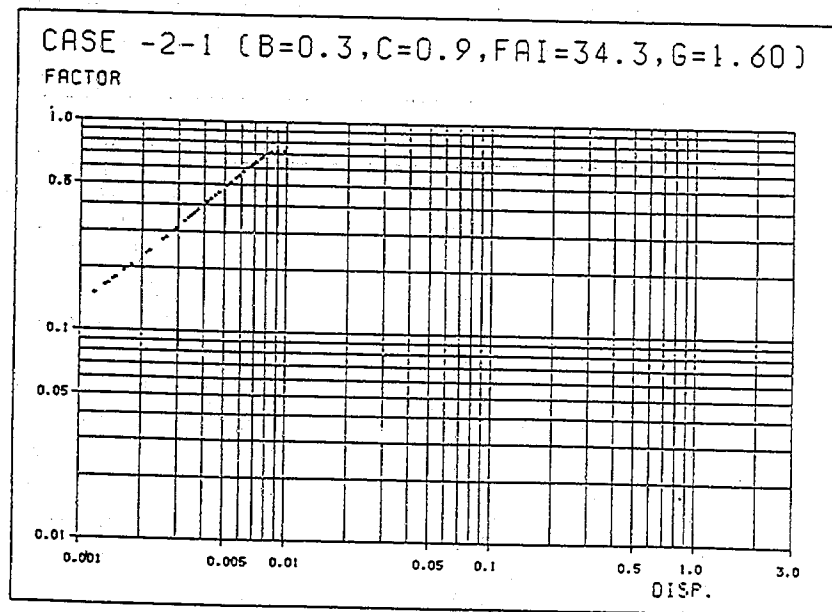
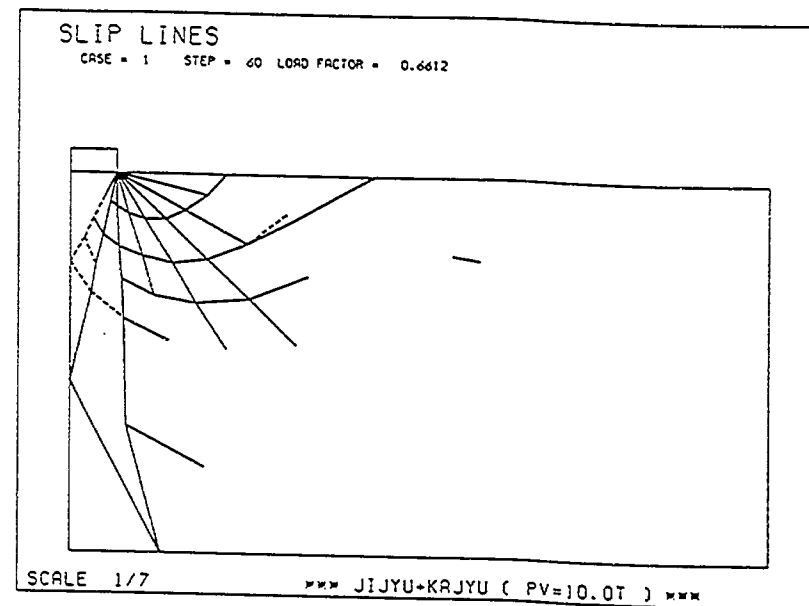
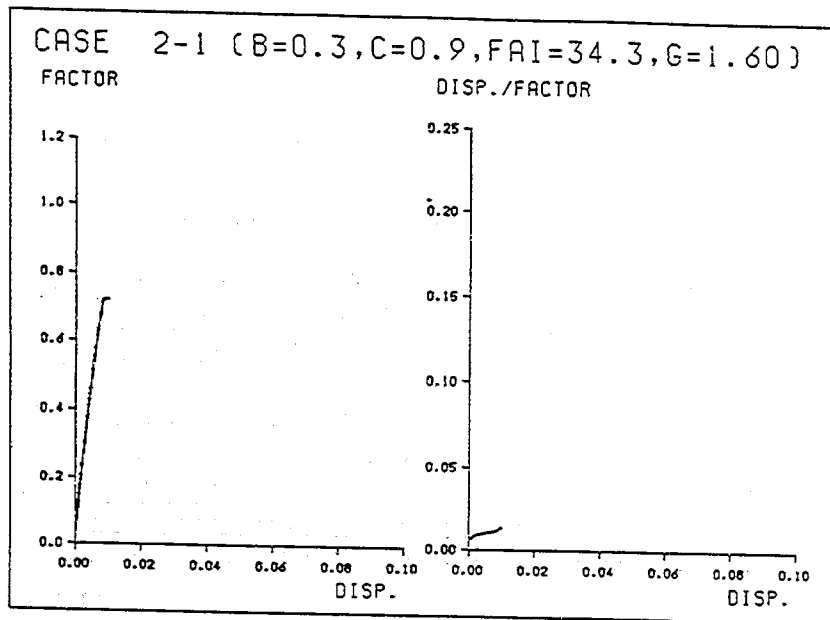
変位ベクトル図は、地盤破壊時の変位の方角を表わしたものである。図面より、破壊時すべり線の外側地盤においても変位は円弧状に進む様子がわかる。また、すべり線に沿った変位のみでなく、載荷板下方にも大きく変位しているのがわかる。

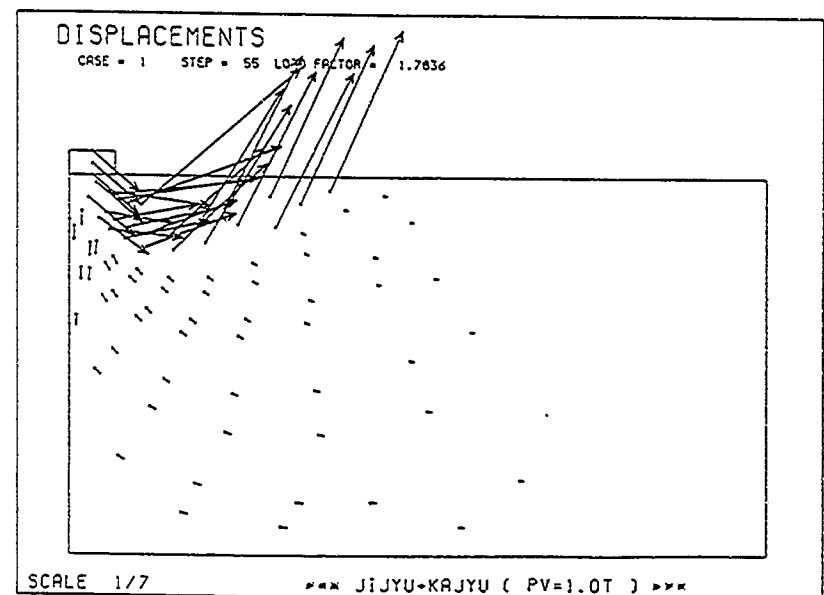
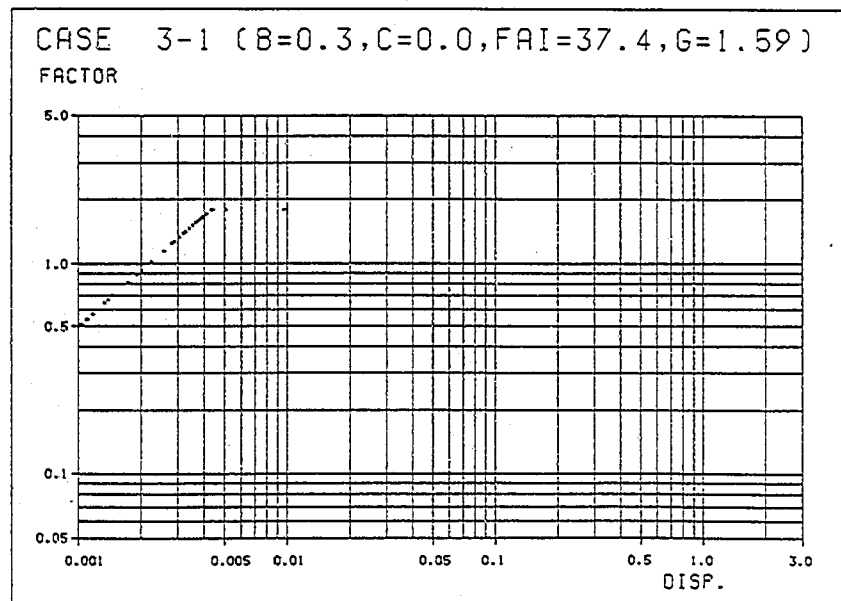
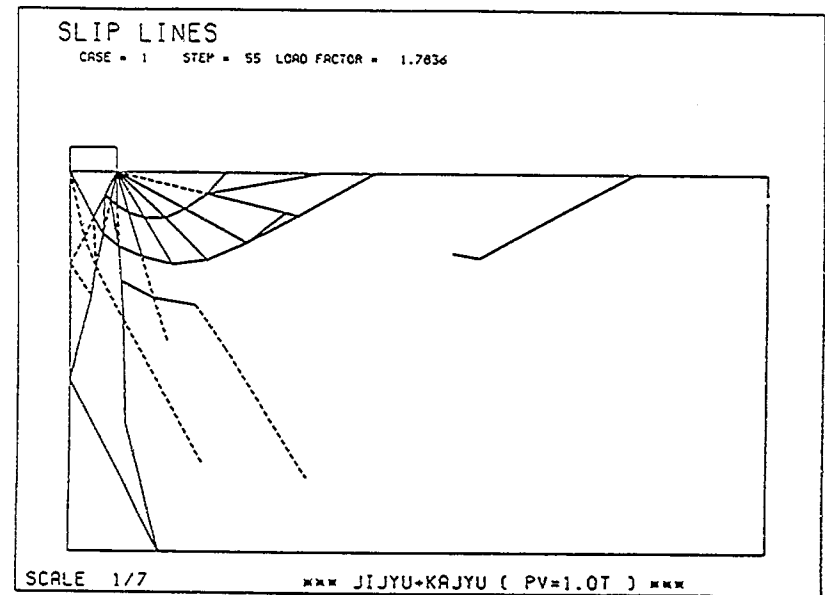
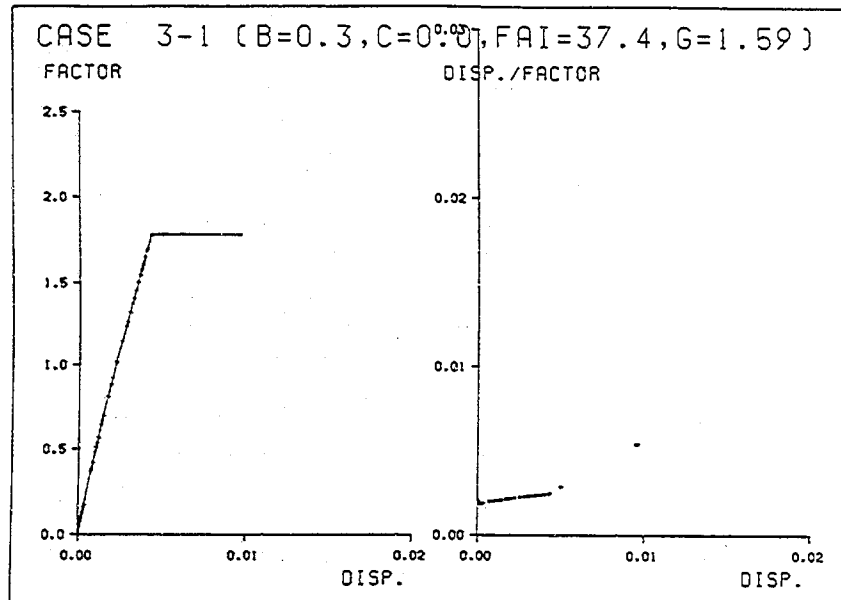
次に、分割法と同様に載荷幅の違いによる支持力度の大きさを地盤1と地盤4について検討してみる。地盤1では載荷幅が $\phi 300$ の2倍、3倍になると地盤の支持力度は、1.2倍、1.3倍となっている。また地盤4においても載荷幅が2倍、4倍になるのに伴って、地盤の支持力度も1.9倍、3.6倍となっており、支持力度は載荷幅が大きくなるほど増大する結果となっている。

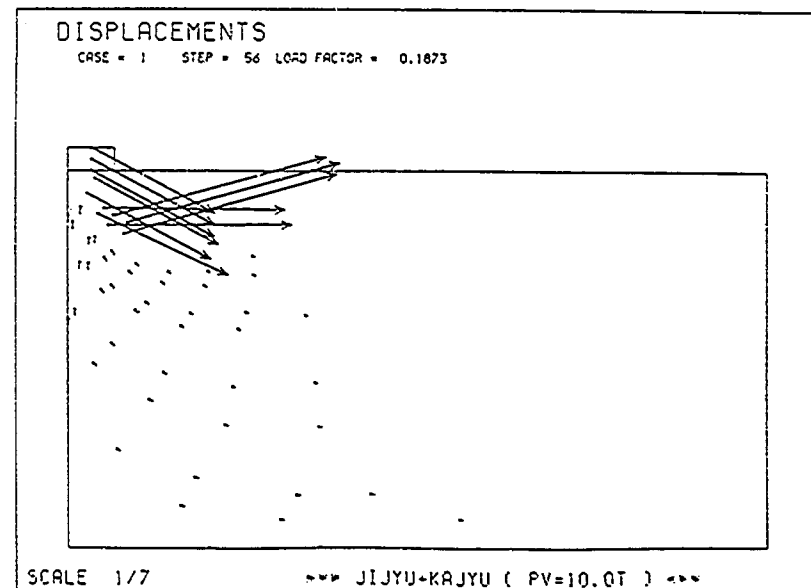
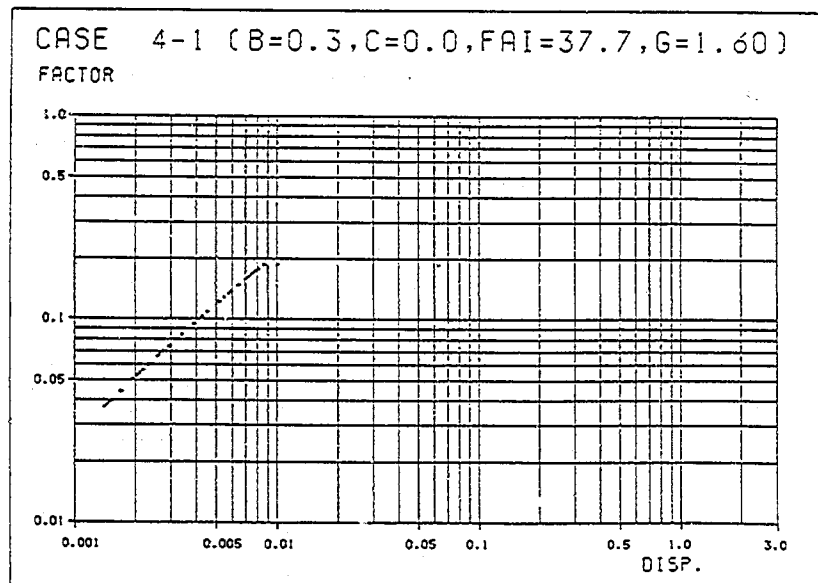
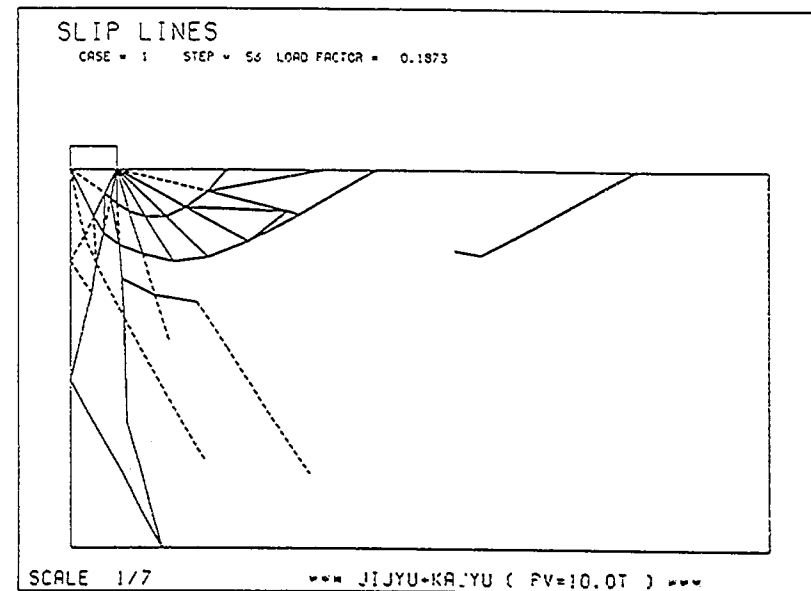
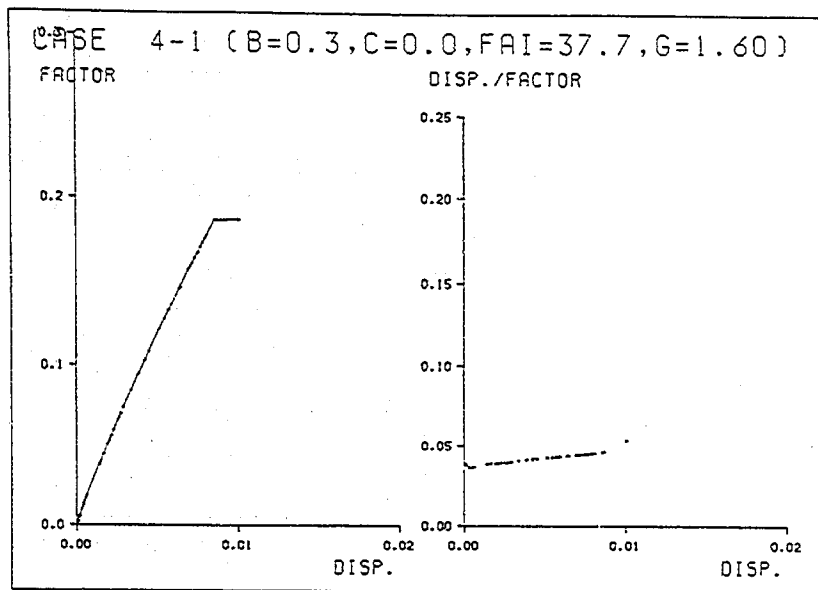


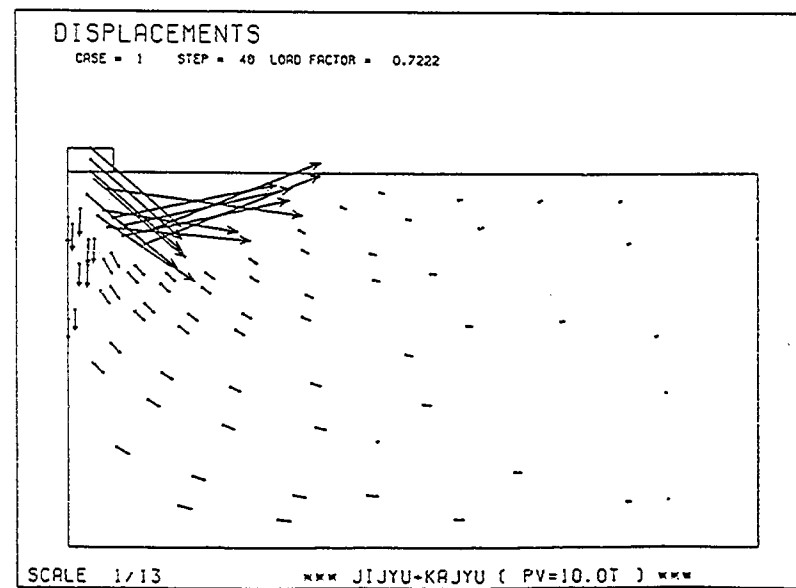
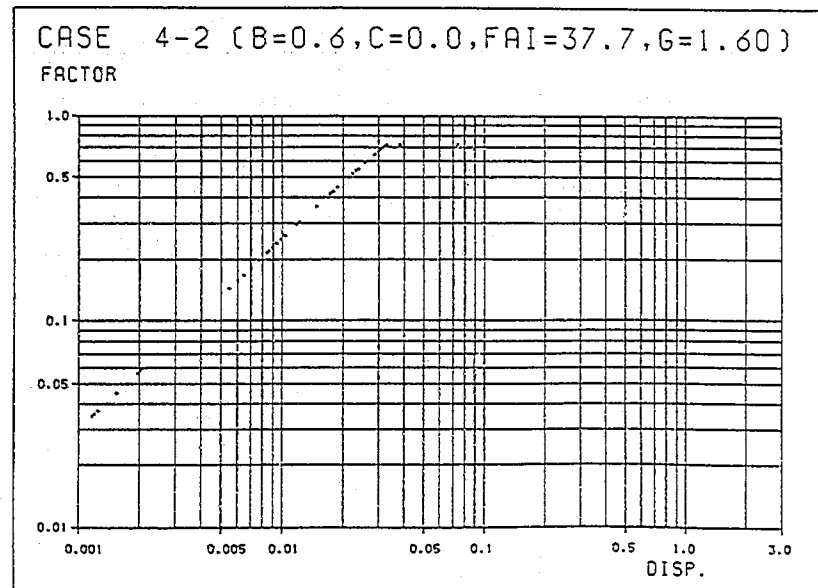
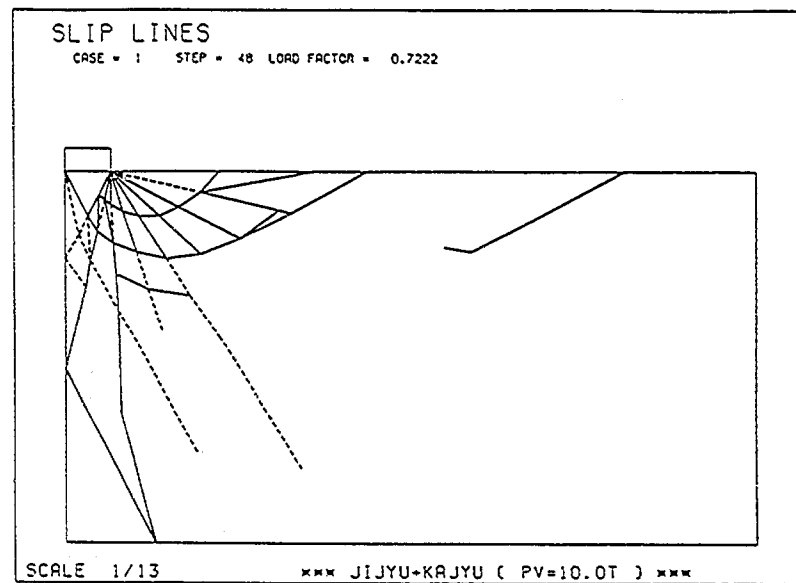
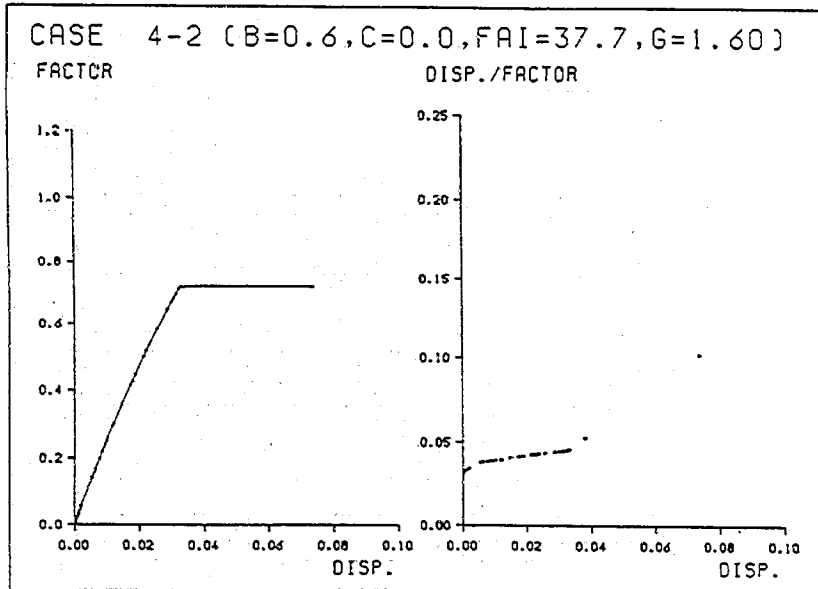


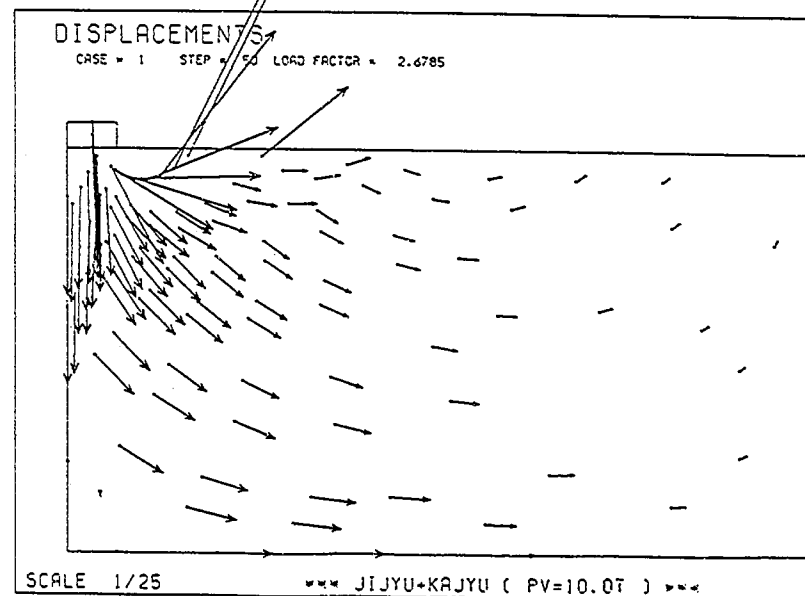
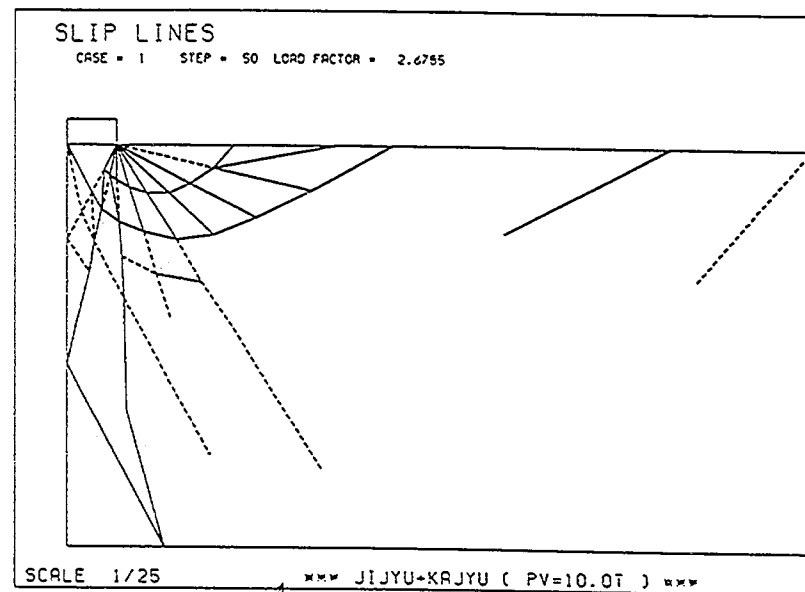
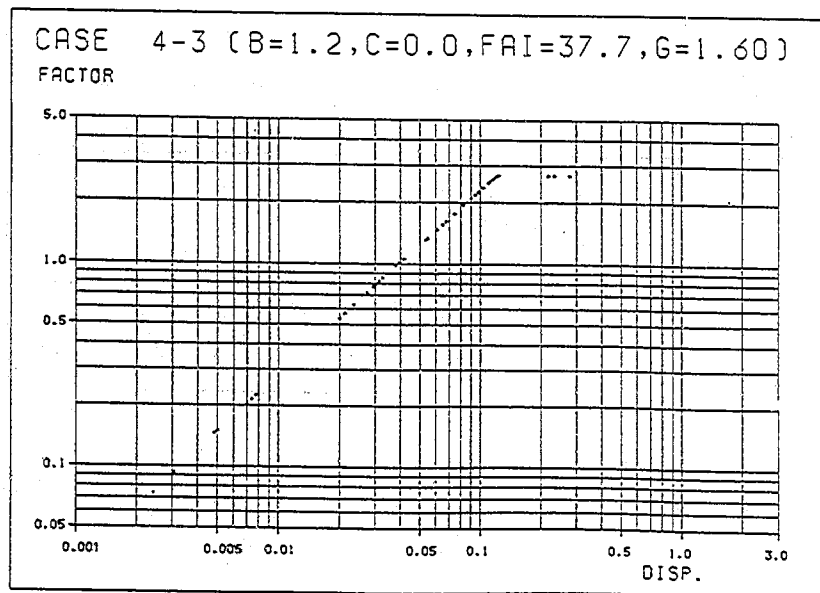
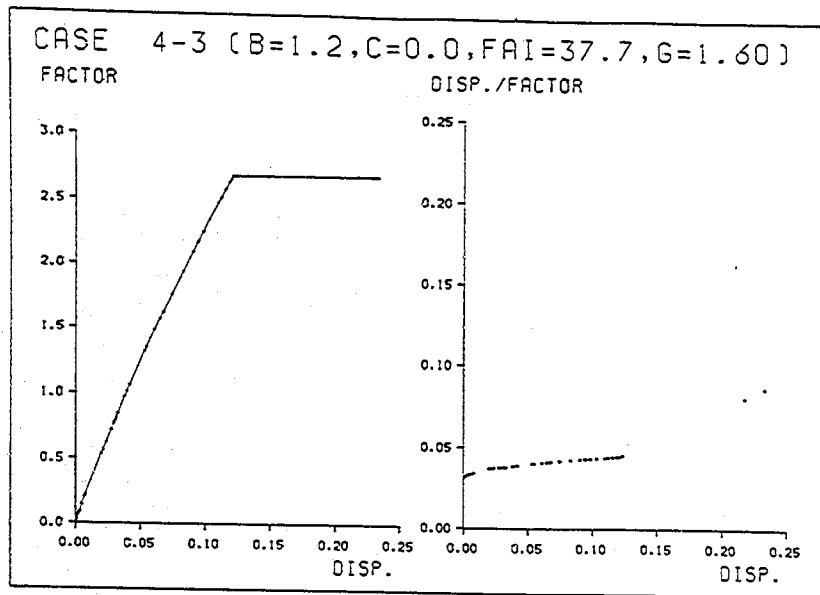


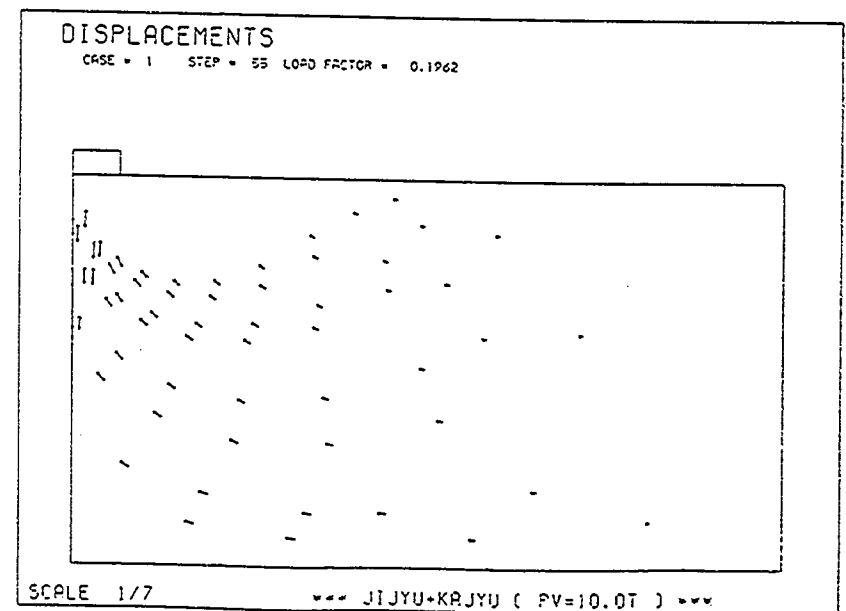
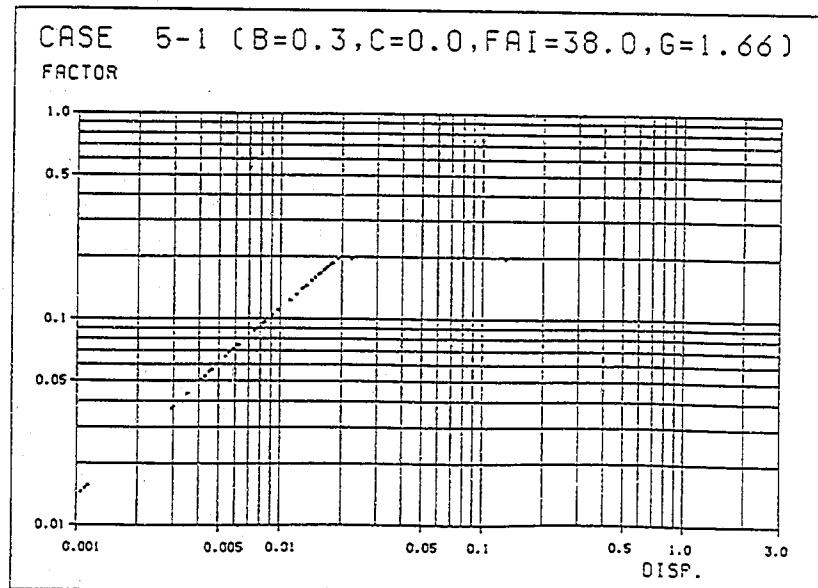
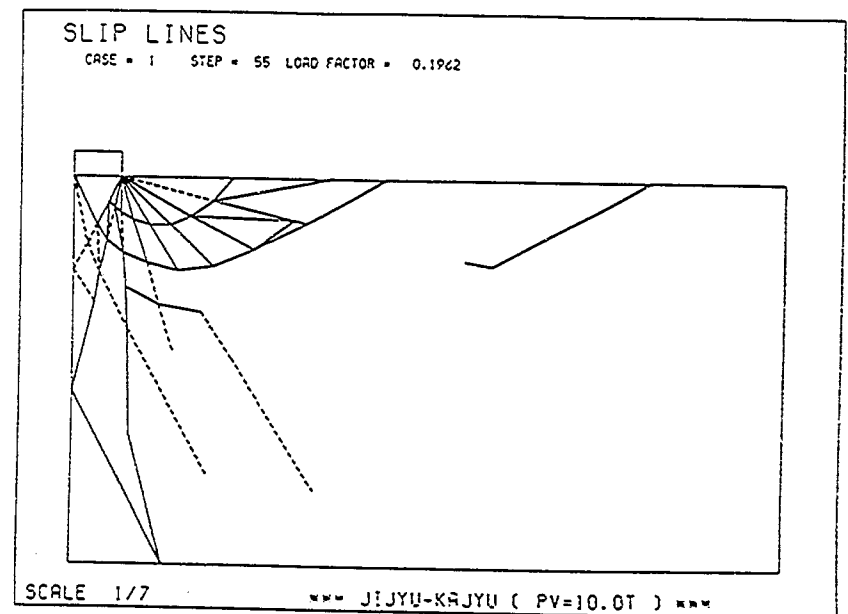
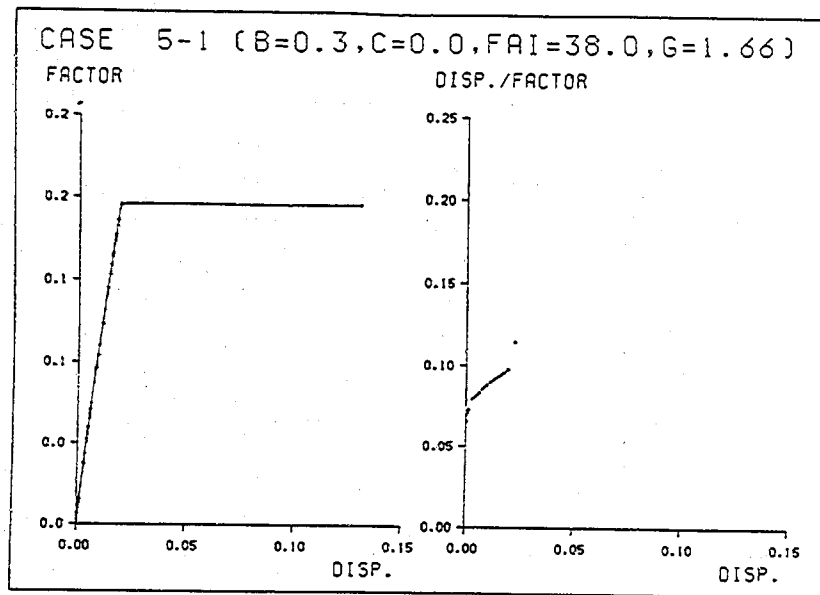


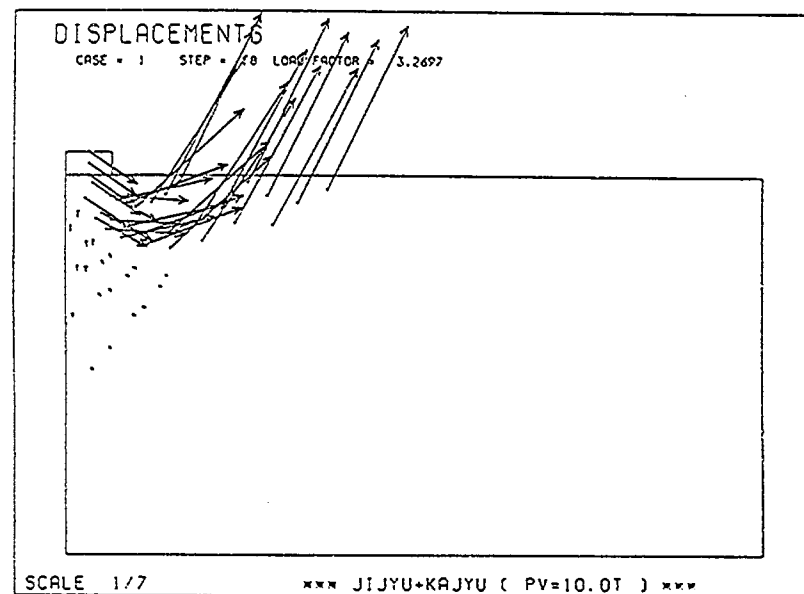
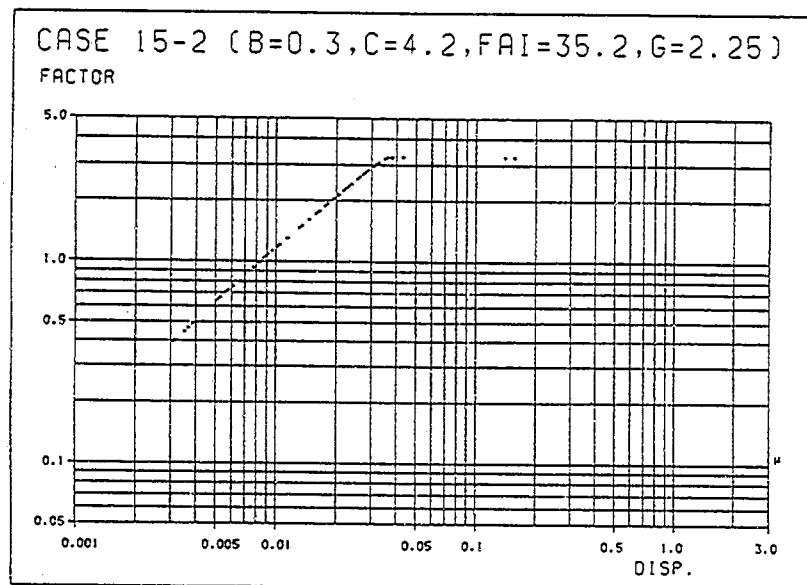
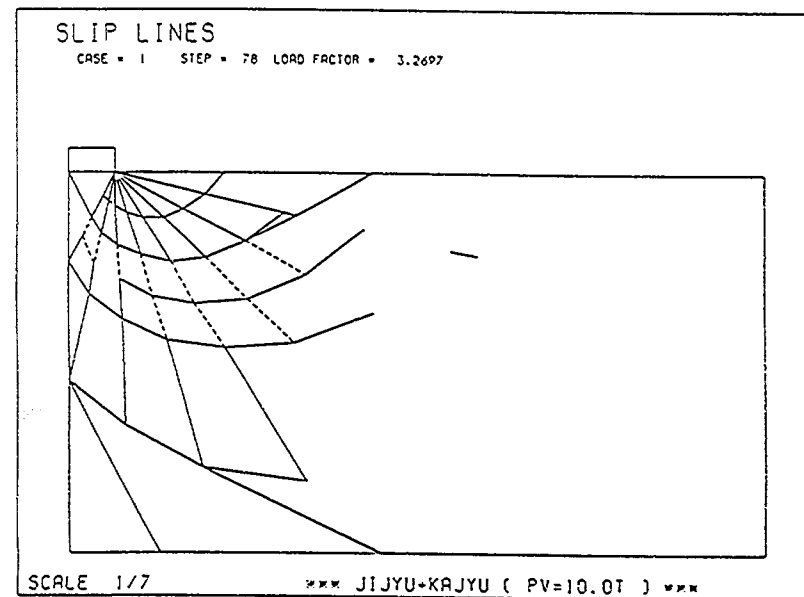
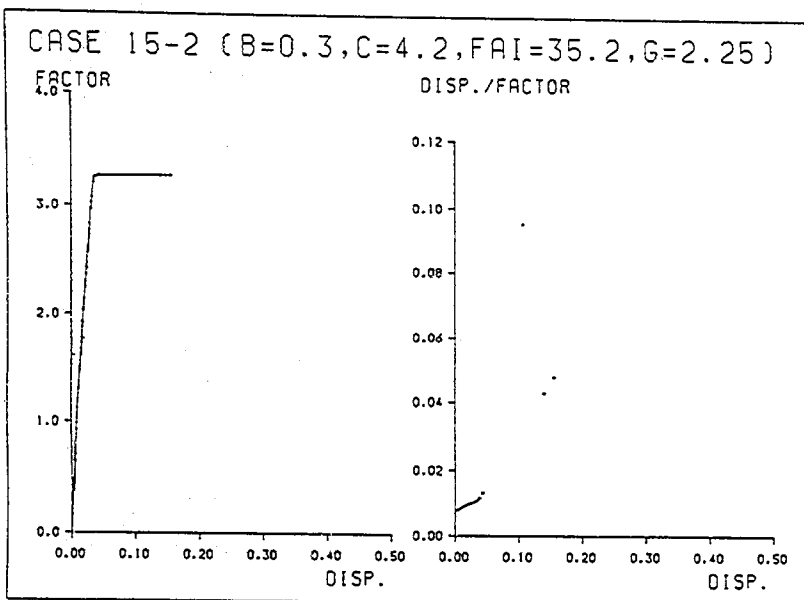












(3) Kötterの支持力理論解

図 -- 3 -- 6.33～図 -- 3 -- 6.54は、Kötterの支持力理論解を差分化し、数値解析を行った結果であり、主応力分布を示したものである。図の左に記した数字は、地盤の極限支持力度 (tf/m^2) および極限支持力 (tf) の算定値であり、SIG-1, SIG-3 はそれぞれ載荷板直下の主応力 σ_{max} σ_{min} の分布を示している。なお、SIG-1, SIG-3 は基礎の右端から左端に向かって順次、番号1から10に対応している。ここで載荷板直下の応力が台形分布を示しているが、これは地盤のすべり線を基礎の片側だけしか考えていないからであると考えられる。

極限支持力度については、分割法、RBSMと同様に粘着力の有無によってはっきり値の大きさが異なる結果となっている。

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 52.66 (TON/H^{1/2})
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/H^{1/2})
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 15.80 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.6418E+02
 2 0.5776E+02
 3 0.5135E+02
 4 0.4493E+02
 5 0.3851E+02
 6 0.3209E+02
 7 0.2567E+02
 8 0.1925E+02
 9 0.1284E+02
 10 0.6418E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.1698E+02
 2 0.1528E+02
 3 0.1358E+02
 4 0.1188E+02
 5 0.1019E+02
 6 0.8488E+01
 7 0.6790E+01
 8 0.5093E+01
 9 0.3395E+01
 10 0.1698E+01

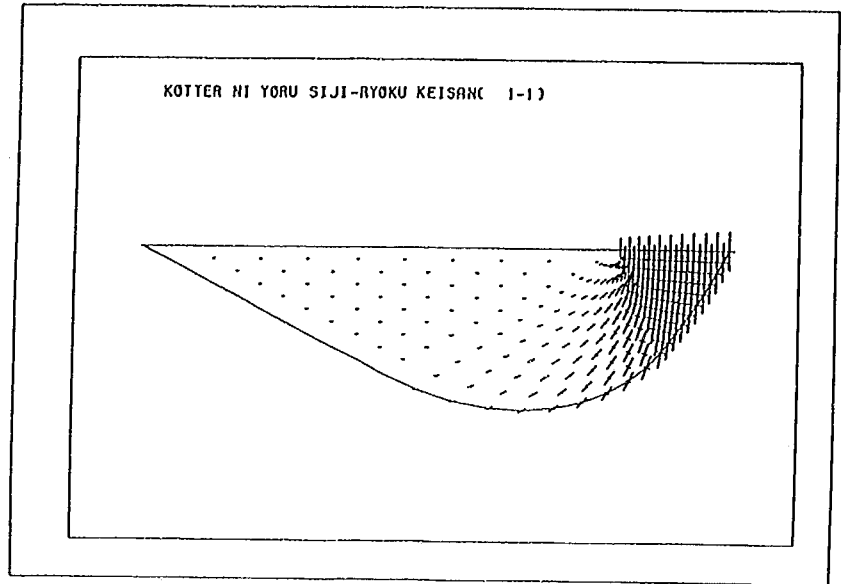


図 - 3 - 6. 33

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 63.99 (TON/H^{1/2})
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/H^{1/2})
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 38.39 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.8514E+02
 2 0.7663E+02
 3 0.6811E+02
 4 0.5960E+02
 5 0.5109E+02
 6 0.4257E+02
 7 0.3406E+02
 8 0.2554E+02
 9 0.1703E+02
 10 0.8514E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.2283E+02
 2 0.2054E+02
 3 0.1826E+02
 4 0.1598E+02
 5 0.1370E+02
 6 0.1141E+02
 7 0.9131E+01
 8 0.6848E+01
 9 0.4565E+01
 10 0.2283E+01

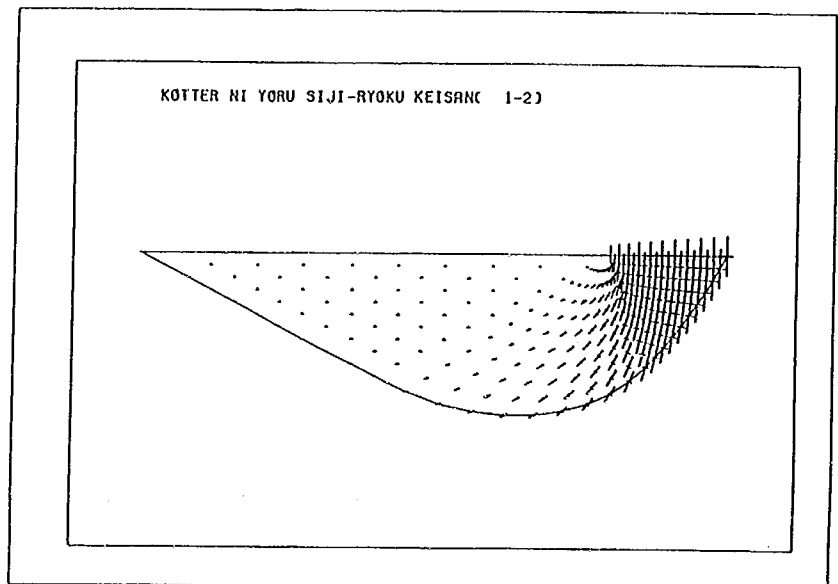


図 - 3 - 6. 34

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 74.58 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 67.13 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.1048E+03
 2 0.9429E+02
 3 0.8382E+02
 4 0.7334E+02
 5 0.6286E+02
 6 0.5238E+02
 7 0.4191E+02
 8 0.3143E+02
 9 0.2095E+02
 10 0.1048E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.2831E+02
 2 0.2548E+02
 3 0.2264E+02
 4 0.1981E+02
 5 0.1698E+02
 6 0.1415E+02
 7 0.1132E+02
 8 0.8492E+01
 9 0.5661E+01
 10 0.2831E+01

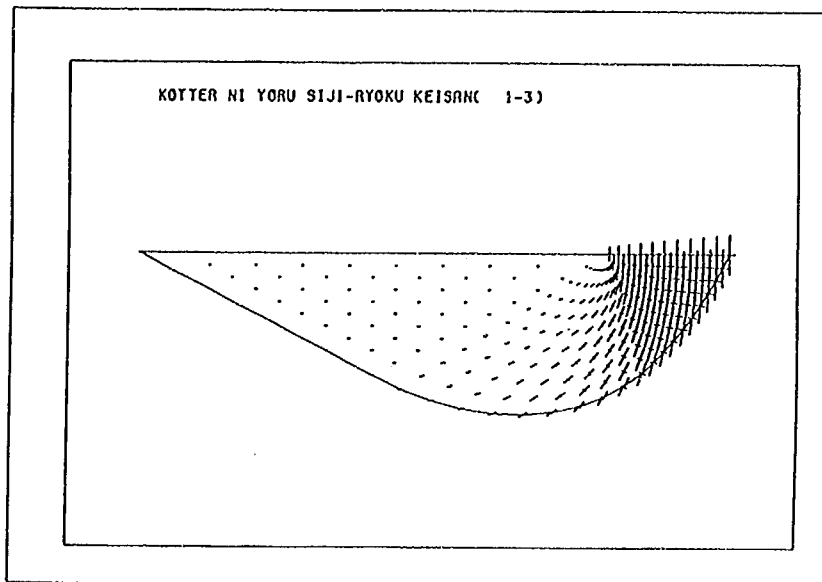


図 - 3 - 6. 35

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 51.88 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 15.56 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.6273E+02
 2 0.5646E+02
 3 0.5019E+02
 4 0.4391E+02
 5 0.3764E+02
 6 0.3137E+02
 7 0.2509E+02
 8 0.1882E+02
 9 0.1255E+02
 10 0.6273E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.1657E+02
 2 0.1491E+02
 3 0.1326E+02
 4 0.1160E+02
 5 0.9943E+01
 6 0.8286E+01
 7 0.6629E+01
 8 0.4971E+01
 9 0.3314E+01
 10 0.1657E+01

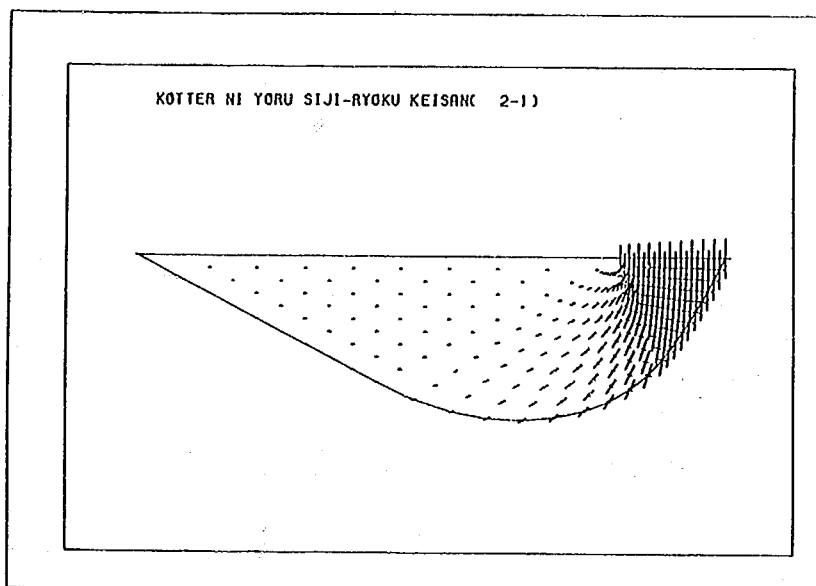


図 - 3 - 6. 36

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 15.53 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 4.66 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2867E+02
 2 0.2580E+02
 3 0.2294E+02
 4 0.2007E+02
 5 0.1720E+02
 6 0.1434E+02
 7 0.1147E+02
 8 0.8601E+01
 9 0.5734E+01
 10 0.2867E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.7003E+01
 2 0.6303E+01
 3 0.5603E+01
 4 0.4902E+01
 5 0.4202E+01
 6 0.3502E+01
 7 0.2801E+01
 8 0.2101E+01
 9 0.1401E+01
 10 0.7003E+00

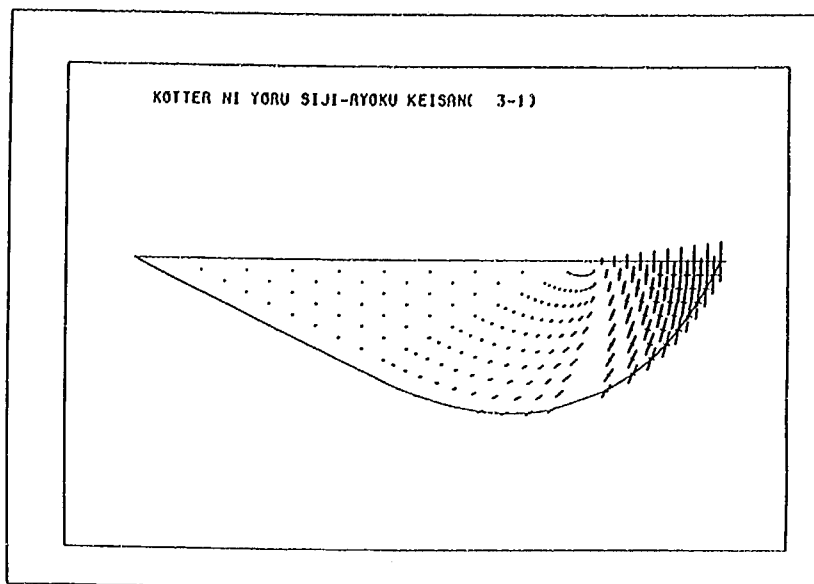


図 - 3 - 6. 37

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 112.94 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 271.06 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2230E+03
 2 0.2007E+03
 3 0.1784E+03
 4 0.1561E+03
 5 0.1338E+03
 6 0.1115E+03
 7 0.8919E+02
 8 0.6689E+02
 9 0.4459E+02
 10 0.2230E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.5446E+02
 2 0.4902E+02
 3 0.4357E+02
 4 0.3812E+02
 5 0.3268E+02
 6 0.2723E+02
 7 0.2179E+02
 8 0.1634E+02
 9 0.1089E+02
 10 0.5446E+01

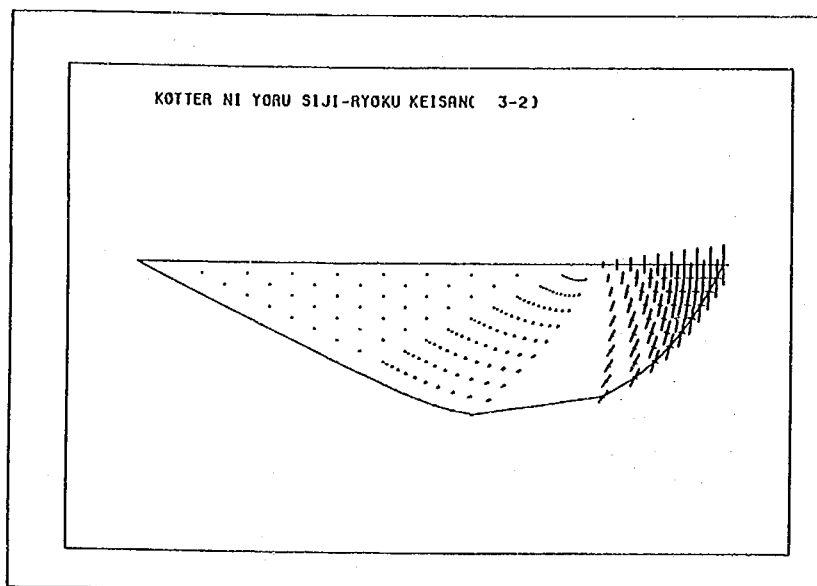


図 - 3 - 6. 38

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 16.45 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 4.94 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.3040E+02
 2 0.2736E+02
 3 0.2432E+02
 4 0.2128E+02
 5 0.1824E+02
 6 0.1520E+02
 7 0.1216E+02
 8 0.9121E+01
 9 0.6081E+01
 10 0.3040E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.7329E+01
 2 0.6596E+01
 3 0.5863E+01
 4 0.5130E+01
 5 0.4397E+01
 6 0.3664E+01
 7 0.2932E+01
 8 0.2199E+01
 9 0.1466E+01
 10 0.7329E+00

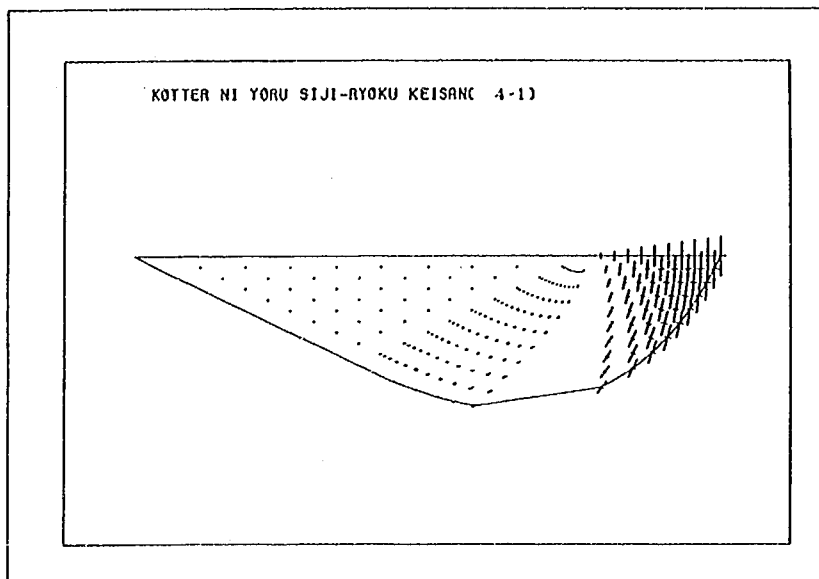


図 - 3 - 6. 39

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 30.56 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 18.34 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.5840E+02
 2 0.5256E+02
 3 0.4672E+02
 4 0.4088E+02
 5 0.3504E+02
 6 0.2920E+02
 7 0.2336E+02
 8 0.1752E+02
 9 0.1168E+02
 10 0.5840E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.1408E+02
 2 0.1267E+02
 3 0.1126E+02
 4 0.9854E+01
 5 0.8447E+01
 6 0.7039E+01
 7 0.5631E+01
 8 0.4223E+01
 9 0.2816E+01
 10 0.1408E+01

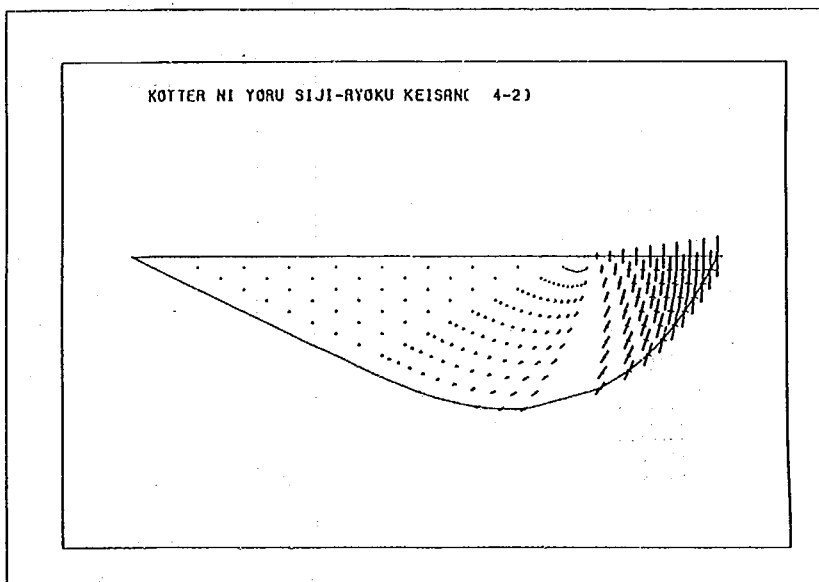


図 - 3 - 6. 40

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 59.45 (TON/H+2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/H+2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 71.34 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.1161E+03
 2 0.1045E+03
 3 0.9289E+02
 4 0.8128E+02
 5 0.6967E+02
 6 0.5806E+02
 7 0.4645E+02
 8 0.3483E+02
 9 0.2322E+02
 10 0.1161E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.2799E+02
 2 0.2519E+02
 3 0.2239E+02
 4 0.1959E+02
 5 0.1679E+02
 6 0.1400E+02
 7 0.1120E+02
 8 0.8397E+01
 9 0.5598E+01
 10 0.2799E+01

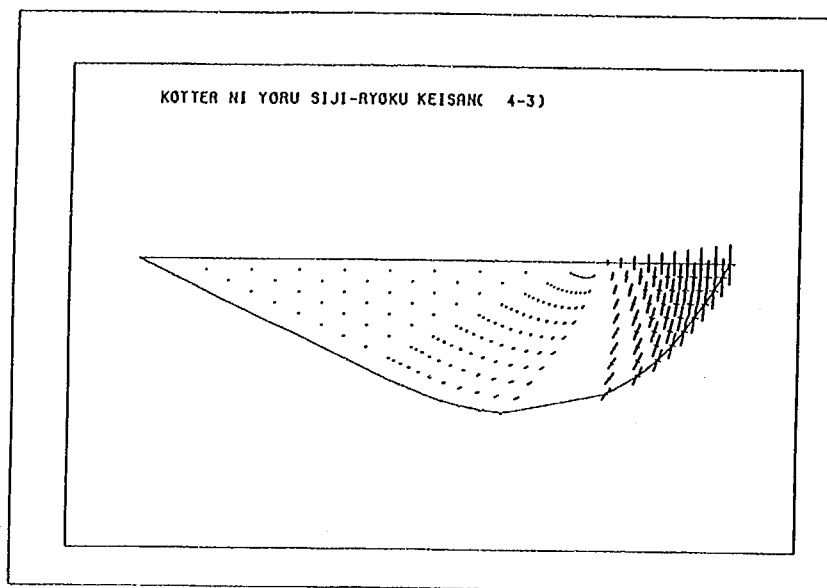


図 - 3 - 6. 41

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 17.89 (TON/H+2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/H+2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 5.37 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.3317E+02
 2 0.2985E+02
 3 0.2653E+02
 4 0.2322E+02
 5 0.1990E+02
 6 0.1658E+02
 7 0.1327E+02
 8 0.9950E+01
 9 0.6633E+01
 10 0.3317E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.7890E+01
 2 0.7101E+01
 3 0.6312E+01
 4 0.5523E+01
 5 0.4734E+01
 6 0.3945E+01
 7 0.3156E+01
 8 0.2367E+01
 9 0.1578E+01
 10 0.7890E+00

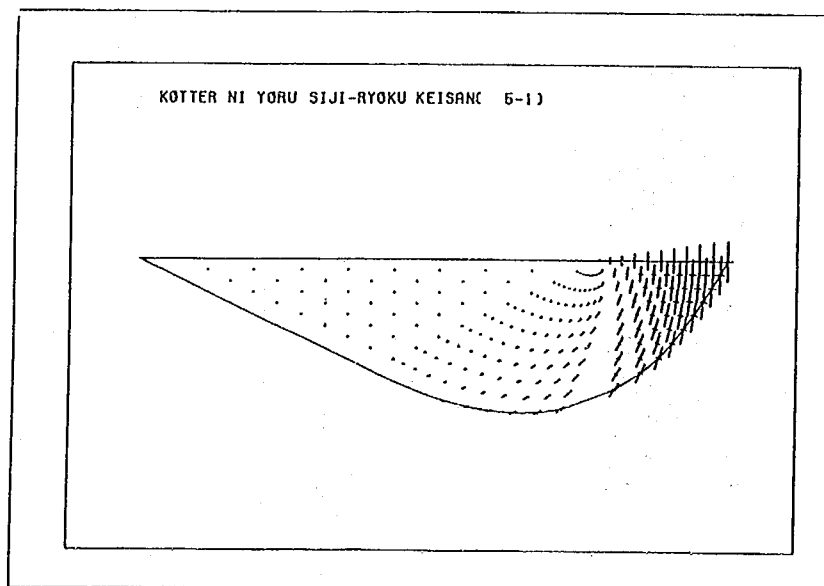


図 - 3 - 6. 42

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 2.71 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 0.81 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.4505E+01
 2 0.4054E+01
 3 0.3604E+01
 4 0.3153E+01
 5 0.2703E+01
 6 0.2252E+01
 7 0.1802E+01
 8 0.1351E+01
 9 0.9009E+00
 10 0.4505E+00

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.1563E+01
 2 0.1407E+01
 3 0.1250E+01
 4 0.1094E+01
 5 0.9378E+00
 6 0.7815E+00
 7 0.6252E+00
 8 0.4689E+00
 9 0.3126E+00
 10 0.1563E+00

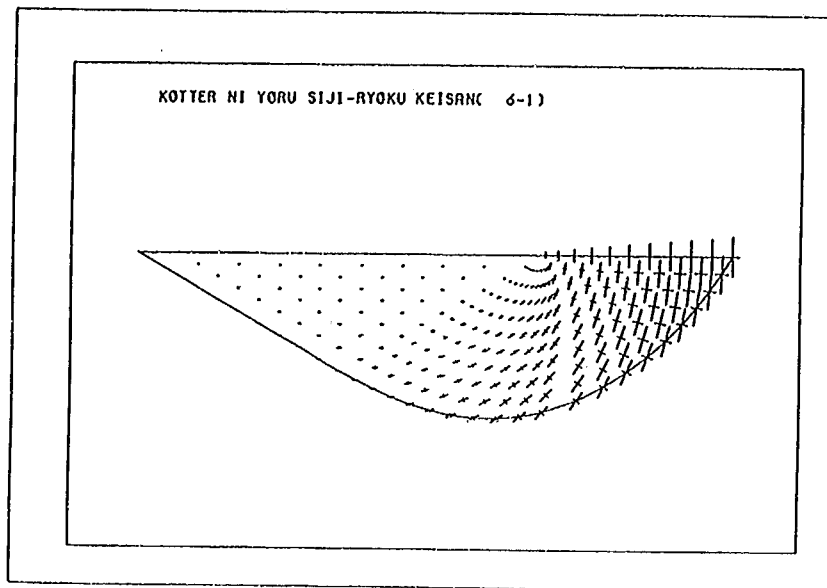


図 - 3 - 6. 43

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 6.23 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 1.97 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.1091E+02
 2 0.9820E+01
 3 0.8729E+01
 4 0.7638E+01
 5 0.6546E+01
 6 0.5455E+01
 7 0.4364E+01
 8 0.3273E+01
 9 0.2182E+01
 10 0.1091E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.2957E+01
 2 0.2661E+01
 3 0.2365E+01
 4 0.2070E+01
 5 0.1774E+01
 6 0.1478E+01
 7 0.1183E+01
 8 0.8870E+00
 9 0.5913E+00
 10 0.2957E+00

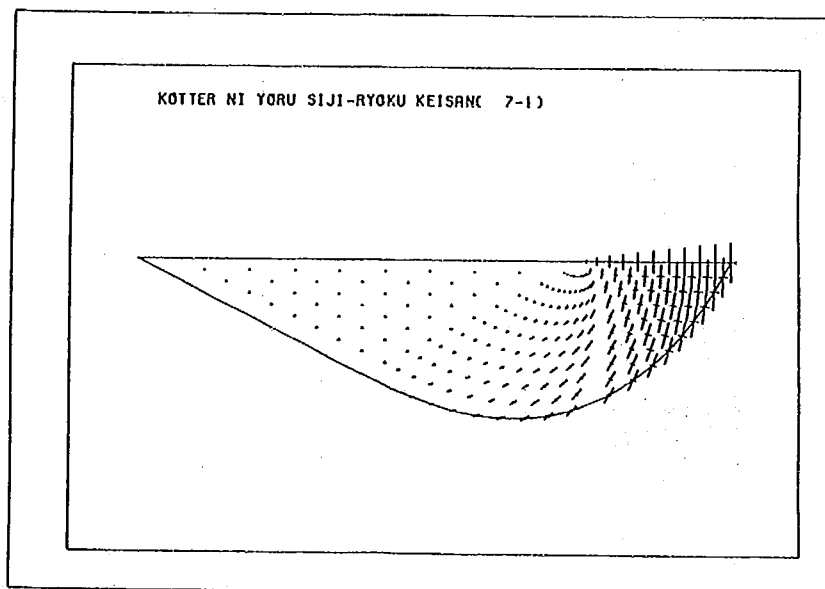


図 - 3 - 6. 44

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 5.47 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 1.73 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.9751E+01
 2 0.8776E+01
 3 0.7801E+01
 4 0.6826E+01
 5 0.5851E+01
 6 0.4876E+01
 7 0.3900E+01
 8 0.2925E+01
 9 0.1950E+01
 10 0.9751E+00

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.3250E+01
 2 0.2925E+01
 3 0.2600E+01
 4 0.2275E+01
 5 0.1950E+01
 6 0.1625E+01
 7 0.1300E+01
 8 0.9751E+00
 9 0.6501E+00
 10 0.3250E+00

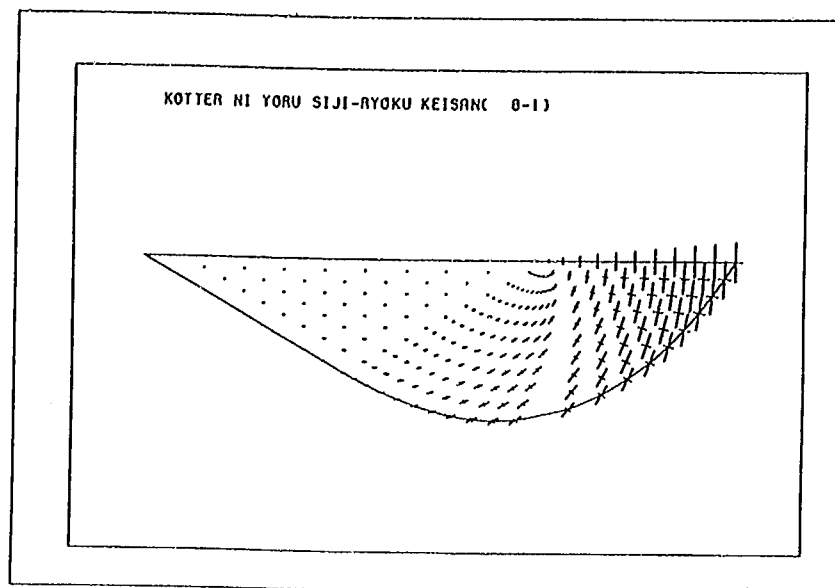


図 - 3 - 6. 45

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 7.91 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 2.50 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.1378E+02
 2 0.1240E+02
 3 0.1103E+02
 4 0.9647E+01
 5 0.8269E+01
 6 0.6891E+01
 7 0.5513E+01
 8 0.4134E+01
 9 0.2756E+01
 10 0.1378E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.3735E+01
 2 0.3361E+01
 3 0.2988E+01
 4 0.2614E+01
 5 0.2241E+01
 6 0.1867E+01
 7 0.1494E+01
 8 0.1120E+01
 9 0.7469E+00
 10 0.3735E+00

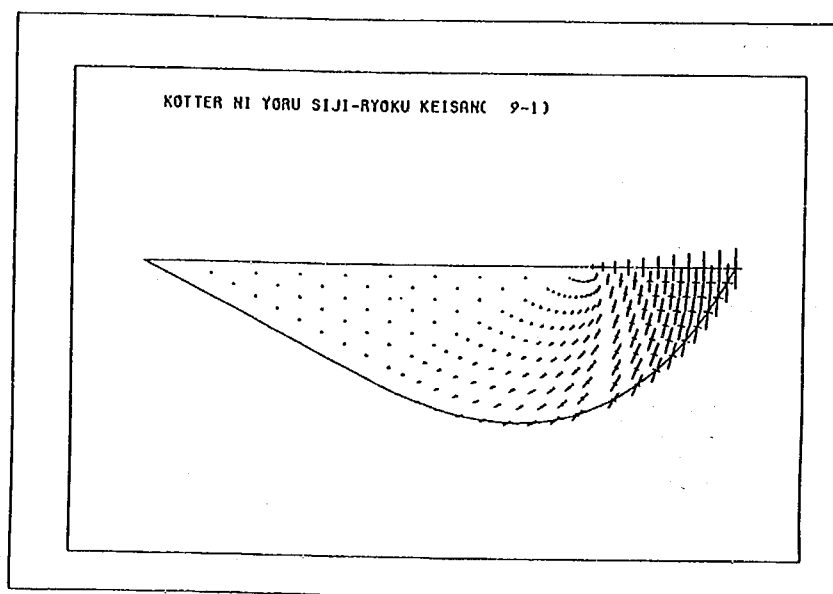


図 - 3 - 6. 46

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 11.98 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 3.79 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2095E+02
 2 0.1885E+02
 3 0.1676E+02
 4 0.1466E+02
 5 0.1257E+02
 6 0.1047E+02
 7 0.8378E+01
 8 0.6284E+01
 9 0.4189E+01
 10 0.2095E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.4983E+01
 2 0.4484E+01
 3 0.3986E+01
 4 0.3488E+01
 5 0.2990E+01
 6 0.2491E+01
 7 0.1993E+01
 8 0.1495E+01
 9 0.9965E+00
 10 0.4983E+00

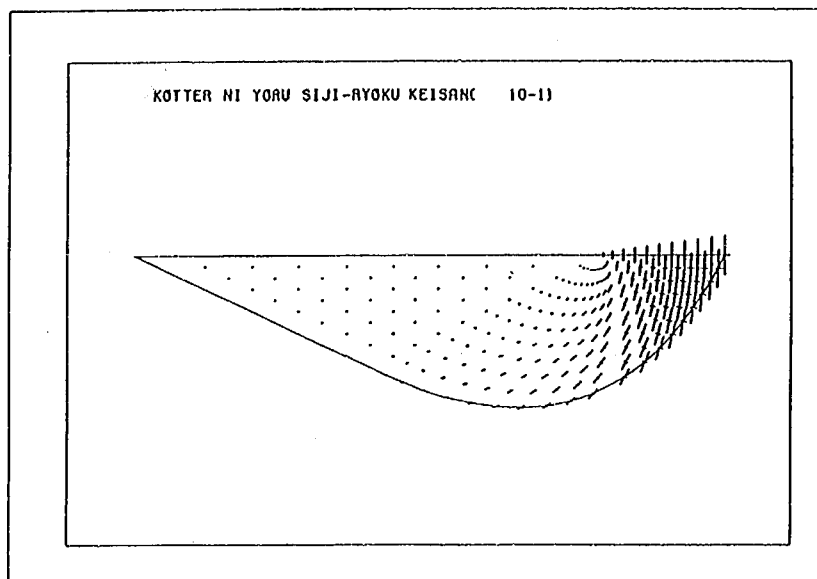


図 - 3 - 6. 47

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 15.97 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 5.05 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2876E+02
 2 0.2589E+02
 3 0.2301E+02
 4 0.2013E+02
 5 0.1726E+02
 6 0.1438E+02
 7 0.1150E+02
 8 0.8629E+01
 9 0.5752E+01
 10 0.2876E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.6254E+01
 2 0.5629E+01
 3 0.5003E+01
 4 0.4378E+01
 5 0.3752E+01
 6 0.3127E+01
 7 0.2502E+01
 8 0.1876E+01
 9 0.1251E+01
 10 0.6254E+00

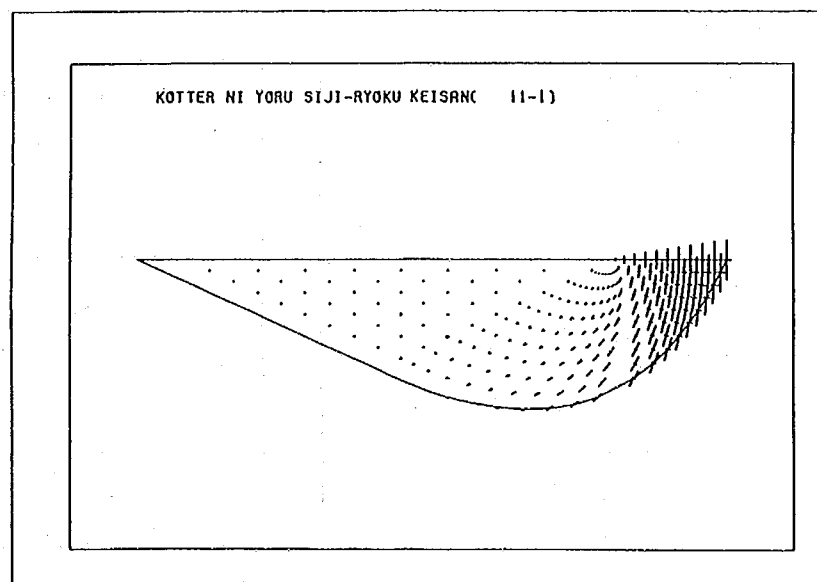


図 - 3 - 6. 48

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 5.21 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 2.63 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.9247E+01
 2 0.8322E+01
 3 0.7398E+01
 4 0.6473E+01
 5 0.5548E+01
 6 0.4623E+01
 7 0.3699E+01
 8 0.2774E+01
 9 0.1849E+01
 10 0.9247E+00

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.3082E+01
 2 0.2774E+01
 3 0.2466E+01
 4 0.2158E+01
 5 0.1849E+01
 6 0.1541E+01
 7 0.1233E+01
 8 0.9247E+00
 9 0.6165E+00
 10 0.3082E+00

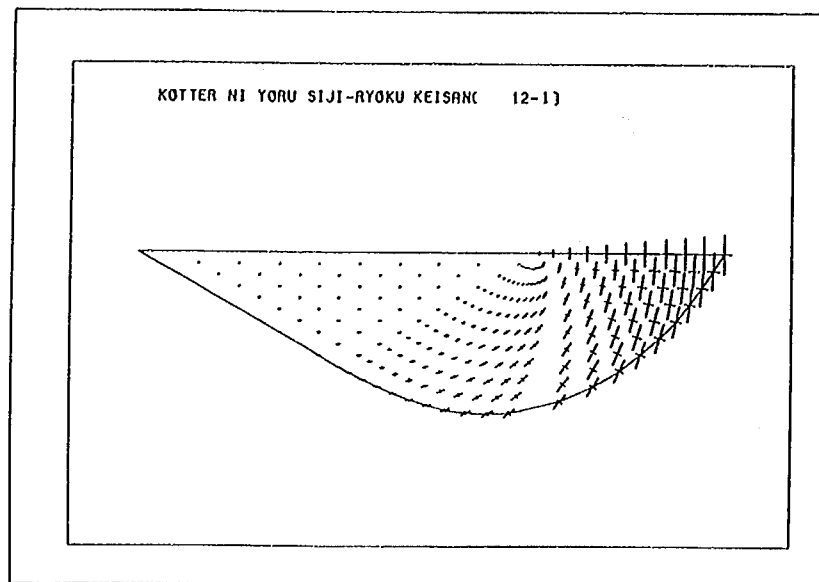


図 - 3 - 6. 49

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 27.97 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 20.98 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.5281E+02
 2 0.4753E+02
 3 0.4225E+02
 4 0.3697E+02
 5 0.3169E+02
 6 0.2640E+02
 7 0.2112E+02
 8 0.1584E+02
 9 0.1056E+02
 10 0.5281E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.1201E+02
 2 0.1081E+02
 3 0.9612E+01
 4 0.8410E+01
 5 0.7209E+01
 6 0.6007E+01
 7 0.4806E+01
 8 0.3604E+01
 9 0.2403E+01
 10 0.1201E+01

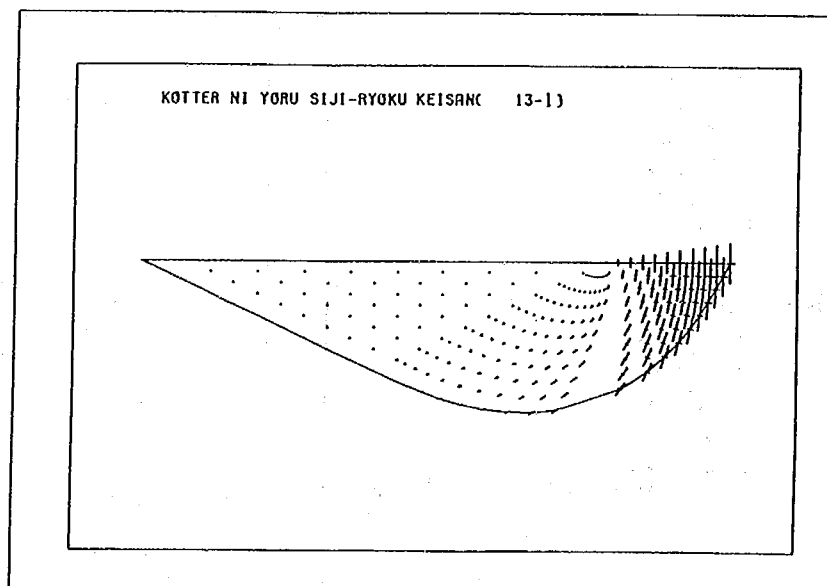


図 - 3 - 6. 50

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 5.93 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 1.87 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.1034E+02
 2 0.9302E+01
 3 0.8269E+01
 4 0.7235E+01
 5 0.6202E+01
 6 0.5168E+01
 7 0.4134E+01
 8 0.3101E+01
 9 0.2067E+01
 10 0.1034E+01

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.2801E+01
 2 0.2521E+01
 3 0.2241E+01
 4 0.1961E+01
 5 0.1681E+01
 6 0.1400E+01
 7 0.1120E+01
 8 0.8403E+00
 9 0.5602E+00
 10 0.2801E+00

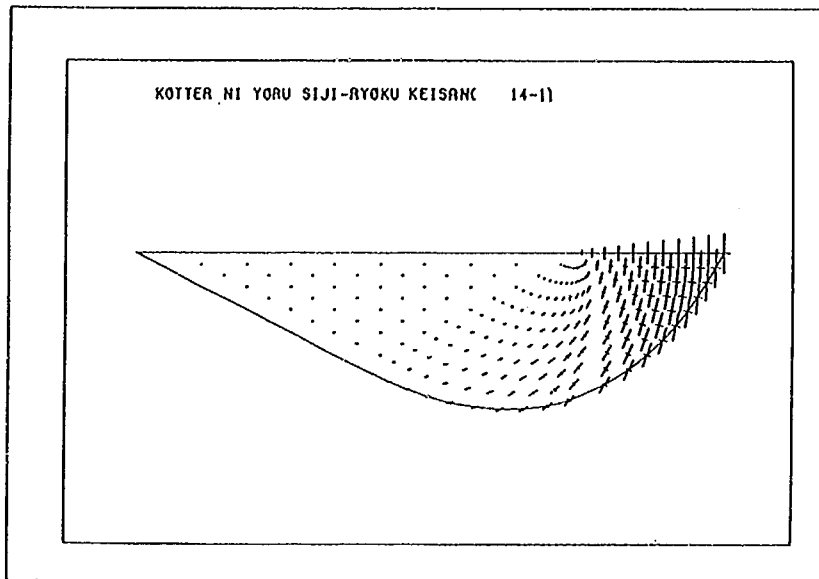


図 - 3 - 6. 51

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 241.83 (TON/M**2)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M**2)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 145.10 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2787E+03
 2 0.2509E+03
 3 0.2230E+03
 4 0.1951E+03
 5 0.1672E+03
 6 0.1394E+03
 7 0.1115E+03
 8 0.8362E+02
 9 0.5575E+02
 10 0.2787E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.7058E+02
 2 0.6352E+02
 3 0.5646E+02
 4 0.4941E+02
 5 0.4235E+02
 6 0.3529E+02
 7 0.2823E+02
 8 0.2117E+02
 9 0.1412E+02
 10 0.7058E+01

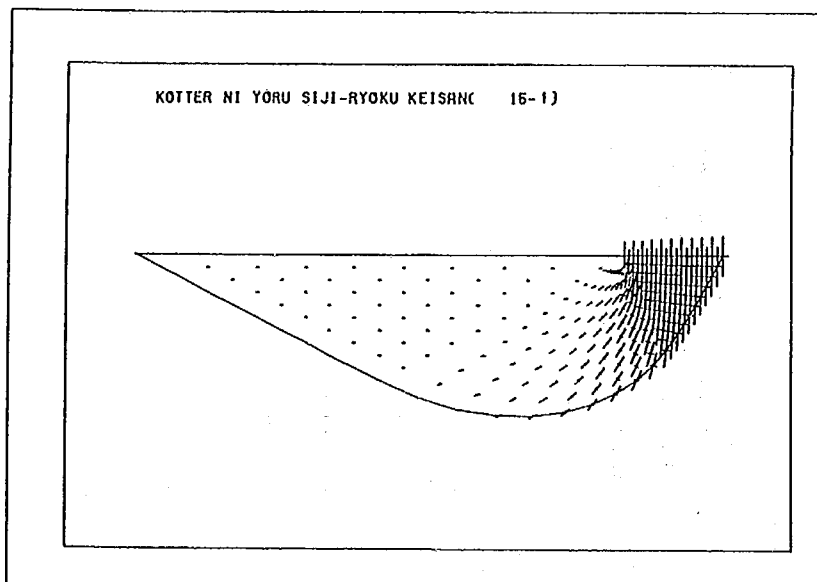


図 - 3 - 6. 52

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 221.39 (TON/M²)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M²)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 66.42 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.2403E+03
 2 0.2163E+03
 3 0.1922E+03
 4 0.1682E+03
 5 0.1442E+03
 6 0.1202E+03
 7 0.9612E+02
 8 0.7209E+02
 9 0.4806E+02
 10 0.2403E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.6026E+02
 2 0.5423E+02
 3 0.4821E+02
 4 0.4218E+02
 5 0.3615E+02
 6 0.3013E+02
 7 0.2410E+02
 8 0.1808E+02
 9 0.1205E+02
 10 0.6026E+01

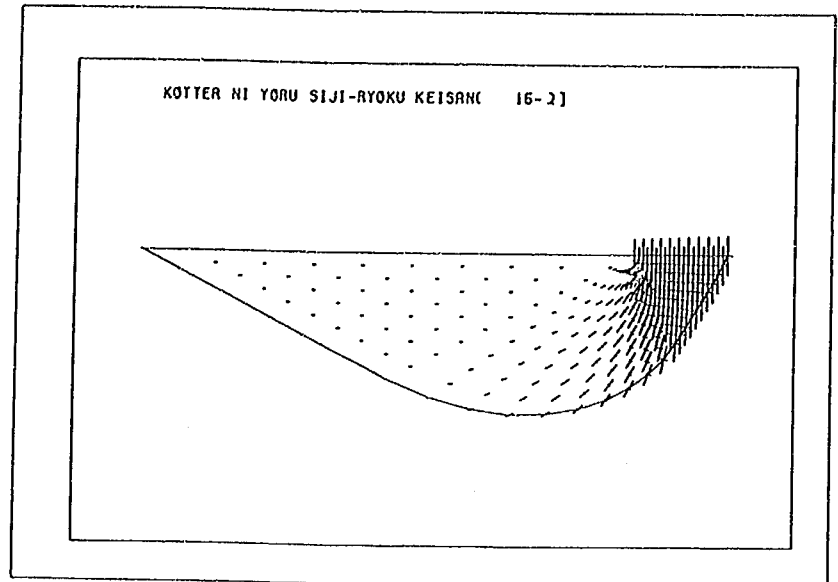


図 - 3 - 6. 53

HEIKIN ENCHOKU SIJIRYOKU = 267.30 (TON/M²)
 HEIKIN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON/M²)
 ZEN ENCHOKU SIJIRYOKU = 267.30 (TON)
 ZEN SUIHEI SIJIRYOKU = 0.00 (TON)
 KAJYU KEISHA KAKU = 0.0 (DEG.)

SIG-1 CONTOUR LEVEL

1 0.3261E+03
 2 0.2934E+03
 3 0.2608E+03
 4 0.2282E+03
 5 0.1956E+03
 6 0.1630E+03
 7 0.1304E+03
 8 0.9782E+02
 9 0.6521E+02
 10 0.3261E+02

SIG-3 CONTOUR LEVEL

1 0.8330E+02
 2 0.7497E+02
 3 0.6664E+02
 4 0.5831E+02
 5 0.4998E+02
 6 0.4165E+02
 7 0.3332E+02
 8 0.2499E+02
 9 0.1666E+02
 10 0.8330E+01

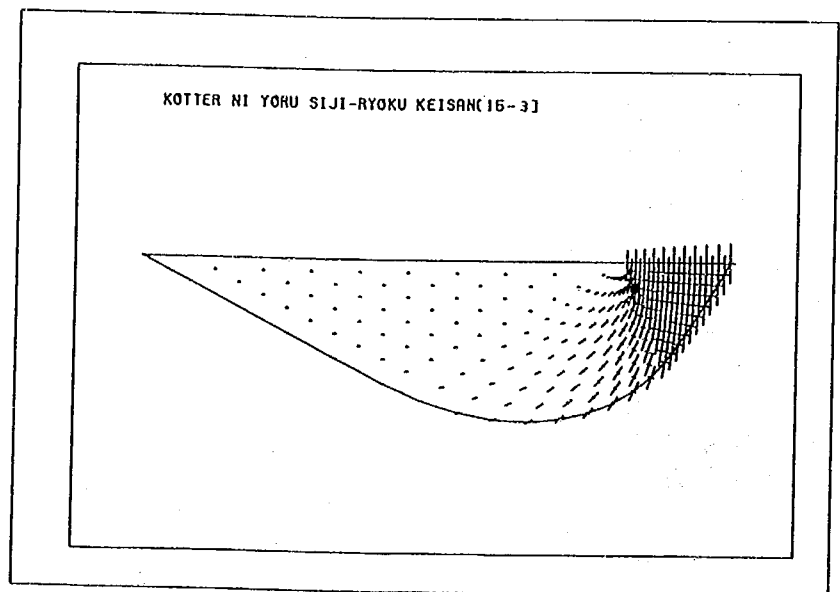


図 - 3 - 6. 54

2-3-7 解析結果の比較

載荷実験により求めた支持力と各種手法による支持力算定値の比較を表-3-7.1に示す。表より、算定値を比較すると全般的に各支持力算定法は平板載荷試験結果より小さめの支持力を与えていることがわかる。手法別の算定値については、分割法、Kötter解、RBSMの順に大きな支持力を与える結果となっている。道示式による支持力については、地盤定数の違いにより、他の手法との相対的な支持力の大小が一定していない。特に道示式に見られる傾向は粘着力の有無により顕著に現われている。載荷板が $\phi 300$ 程度の大きさの場合、粘着力の有無が支持力に及ぼす影響が過大であることの考察については、分割法の解析結果においてすでに述べたが、支持力算定値の一覧表に見られるように、道示式において特にこの影響が著しい理由としては以下のように考えられる。道示式は自重を無視した場合の支持力($\phi \approx 0, C \approx 0, r = 0$)に自重による支持力($\phi \approx 0, C = 0, r \approx 0$)を重ね合せて、地盤の支持力を求める手法である。したがって、サーチャージおよび粘着力の支持力項を算定する場合のすべり線の形状と自重項による支持力を算定する場合のすべり線が異なる。一般に前者では自重を考慮したKötter式のすべり線よりも大きなすべり線を与え、後者は小さめのすべり線を与える。このため他の手法に比較して粘着力の項は自重の項に比べて大きめの支持力を与えることになり、 $\phi 300$ 程度の基礎の場合、粘着力の有無により支持力の値が大きく異なる傾向がある。さらに、式自体が有するこのような特性に加え、今回の道示式による支持力算定においては、形状効果を考慮している。このため、支持力算定の際、粘着力項と自重項には、それぞれ円基礎の形状係数である1.3と0.6を乗じてある。これらの理由により、道示式を用いた支持力算定値は他の手法で算定した支持力よりも粘着力の影響を大きく受ける結果になっていると考えられる。

次に表-3-6.1の中でケース6-1~14-1の載荷試験結果と支持力算定値が大きく異なっているのが注目される。ここでケース6-1~14-1は現場における載荷試験結果である。したがって、これらの地盤における載荷試験結果と支持力算定値の差異については、地盤の不均質性、あるいは土質試験の精度が原因となっているのではないかと考えられる。

図 - 3 - 7.1 計算結果一覧表

計算ケース番号		載荷板寸法 (mm)	極限支持力度 (tf/m ²)	解析による極限支持力度の評価 (tf/m ²)			
				分割法	RBSM	Kötter解	道示式
1	1-1	φ300	129.6 98.5 97.6 98.0	55.78	48.7 (0.23)	52.7	55.4
	1-2	φ600	92.9	72.98	56.7(0.23)	64.0	60.1
	1-3	φ900	— 75.5 —	89.69	65.0 (0.23)	74.6	63.8
2	2-1	φ300	127.4 118.8	54.75	48.1 (0.23)	51.9	55.1
	2-2	300×600	135.0	54.75	—	51.9	50.4
	2-3	300×1200	133.4	54.75	—	51.9	48.1
	2-4	300×2400	135.5	54.75	—	51.9	47.0
3	3-1	φ300	63.0	22.7	11.9(0.25)	15.5	8.0
	3-2	φ2400	53.0	199.09	86.3(0.28)	122.9	63.0
4	4-1	φ300	59.5	24.16	12.5(0.25)	16.5	8.3
	4-2	φ600	75.0	51.81	24.1(0.26)	30.6	16.6
	4-3	φ1200	83.5	105.33	44.7(0.27)	59.5	32.9
5	5-1	φ300	49.67 30.97	26.54	13.1 (0.25)	17.9	9.9
6	6-1	300×300	55.0 55.0 55.0	2.75	2.0 (0.29)	2.7	1.0
7	7-1	316×316	90.0	6.97	—	6.2	2.7
8	8-1	316×316	120.0 88.5 60.0	7.04	—	5.5	2.4
9	9-1	316×316	100.0 390.0 111.0 78.0	9.1	—	7.9	3.3
10	10-1	316×316	285.0	13.83	—	12.0	5.5
11	11-1	316×316	240.0 398.0 375.0	20.14	—	16.0	7.3

計算ケース番号		載荷板寸法 (mm)	極限支持力度 (tf/m ²)	解析による極限支持力度の評価 (tf/m ²)			
				分割法	RBSM	Kötter 解	道示式
12	12-1	φ505	234.0 286.0 308.0 303.0	7.73	—	5.2	2.2
13	13-1	φ750	225.0	44.13	—	28.0	15.4
14	14-1	316×316	126.0	6.35	—	5.9	2.5
15	15-1	φ600	913.0 660.0 610.0	246.9	—	24.1.8	271.6
	15-2	φ300	630.0	218.3	218.0(0.20)	221.4	264.1
	15-3	φ1000	—	282.8	—	267.3	281.6

() 内の数値は要素誤差率

2-3-8 三次元基礎（円基礎）の支持力評価

図-3-8.1～図-3-8.4は、載荷試験（円基礎のみ）により得られた支持力 P_c と同一地盤の土質試験結果より求めた地盤定数を各支持力算定式に適用して得られる支持力 P^* の比 β の分布を正規分布、または対数正規分布によって近似したものである。(1)図における縦軸 f は各区間の頻度の全体数に対する割合である。また(2)図における縦軸 F は超過確率、 S は標準偏差であり、 N はデータ数を意味している。

なお、ここで β の分布を正規分布または対数正規分布で近似することの妥当性については、カイ二乗検定（有意水準5%）により確認している。

各支持力算定法ごとに β の分布の特性について以下に示す。

(1) 分割法

分割法による β （ $=P_c/P^*$ ）の分布を見てみると、平均値 1.968、標準偏差 0.813 となっており、今回取り上げた支持力算定手法の中では、最小のばらつきを示している。この分布を正規分布で近似し、 $\beta < 1.0$ となる部分の確率を算定すると 11.7% となる。したがって、分割法は実地盤における支持力が算定値よりも大であることを 88.3% の確率で保障する算定法であるといえる。逆に分割法で算定した支持力割法で算定した支持力 $P_{\text{分割}}^*$ を $\beta_\alpha \cdot P_{\text{分割}}^*$ （ $=P_3$ ）という形で補正した支持力が実地盤の支持力 P_c を上回る確率を 5% 以内におさえるためには、 β_α の値を $0.63 \doteq \frac{1}{1.6}$ に定め、 $P_3 = \frac{1}{1.6} P_{\text{分割}}^*$ により支持力を算定すればよい。

(2) R B S M

β の平均値は 2.713 となっており、分割法よりも小さな支持力を算出する結果となっている。データのばらつきについては、 $\beta = 4.5 \sim 5.5$ のデータに全体として引きずられており、標準偏差 1.137 という値になっている。 $\beta < 1.0$ となる確率を算定すると、6.6% となっており実地盤の支持力が R B S M による算定支持力を上回る確率は、93.4% となる。したがって R B S M の支持力算定値は、かなり安全側の値を示す結果となっている。R B S M の算定値 P_{RBSM}^* に β_α を乗じ分割法と同様に 95% の安全側を考慮した式にするには、 β_α の値を $0.85 \doteq 1/1.2$ に定めて $P_3 = \frac{1}{1.2} P_{\text{RBSM}}^*$ により支持力を算定すればよい。

(3) Kötter の支持力解

$\beta = 3.5 \sim 4.0$ 付近のデータの影響で、正規分布はやや右ヘシフトしているが、概ね正規分布により近似できる分布となっている。 β の平均値は 2.600 となっており、Kötter の支持力解は分割法と R B S M の中間的な値を算出する手法として位置しているのがわかる。Kötter の支持力解についても $\beta < 1.0$ となる確率を算定すると 6.6% という値になる。したがって、Kötter の支持力解によって算定した支持力を実際の地盤の支持力が上回る確率は 93.4% となる。このように、Kötter の支持力解は、 β の平均値が R B S M の値より小さいにもかかわらず $\beta < 1.0$ となる確率は R B S M と同じ値を与えていることがわかる。これは、Kötter の支持力解を用いた場合の β のばらつきが R B S M を用いた場合よりも小さいことに起因している。Kötter の支持力解を用いて分割法 R B S M と同様に 95% の安全側を見込んだ支持力を得ようとするならば、 $\beta_\alpha = 0.86 \doteq 1/1.2$

1.2 と β_a の値を定め $P_3 = \frac{1}{1.2} P_{\text{Kötter}}^*$ によって支持力を算定すればよい。

(4) 道示式

道示式による β の分布については、正規分布で近似することが適当でないことがカイ二乗検定により確認されたため、対数正規分布により近似した。図-3-8.4の〔 〕内の数値は $\log \beta$ に対する平均、標準偏差、最大値および最小値を示している。3-8.4(1)図からもわかるように β の分布は、対数正規分布に良好な近似を見せている。

道示式を用いた場合の β の平均は3.086、標準偏差は1.889となっており、道示式はここで取り上げた四種類の支持力算定法の中で最も小さな支持力を算定する手法となっている。ここで、対数正規分布から $\beta < 1.0$ となる確率を算定してみると4.3%となる。したがって、道示式で算定した支持力を実際の地盤が下回らない確率を95.7%保障する式であるといえる。ここで、他の手法と同様に道示式によって得られる支持力 $P_{\text{道示}}^*$ を β_a を乗じることで補正し、 $P_3 = \beta_a \cdot P_{\text{道示}}^*$ という形で求まる支持力 P_3 が危険率5%未満になるようにするには、 β_a の値を1.04に定めればよい。

以上の解析結果より、個々の解析手法の違いによりデータのばらつきはあるが、いずれの手法も β の平均値は1.9～3.1の範囲に集まっており、 $\phi 300 \sim \phi 1200$ の円形基礎に対しては安全側の支持力を算出していることがわかった。また、 β のばらつきの度合から見てみると、分割法、Kötterの支持力理論解、RBSM、道示式の順番に安定した支持力の値を算出している結果となっている。ただし、RBSM、道示式により求めた β のばらつきは、2、3のデータに全体が引きずられる形で大きくなっている傾向があり、両者の超過確率のグラフからもわかるように、データ数が増加すればグラフ(2)の傾きは大きくなり安定した支持力を算定している結果を示すものと思われる。

BETA=PE/P= NO KAKUJITU-BUNPU(BUNKATU-MO)

N = 18

MEAN VALUE = 1.968

STANDARD DEVIATIONS = 0.813

MAXIMUM VALUE = 3.700

MINIMUM VALUE = 0.790

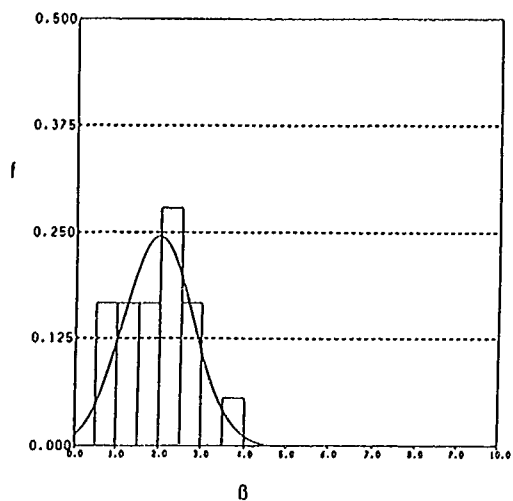


図 - 3 - 8.1 (1)

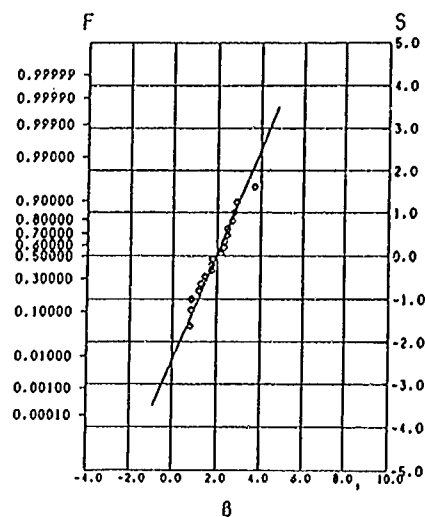


図 - 3 - 8.1 (2)

BETA=PE/P= NO KAKUJITU-BUNPU(ABSH)

N = 15

MEAN VALUE = 2.713

STANDARD DEVIATIONS = 1.137

MAXIMUM VALUE = 5.290

MINIMUM VALUE = 1.160

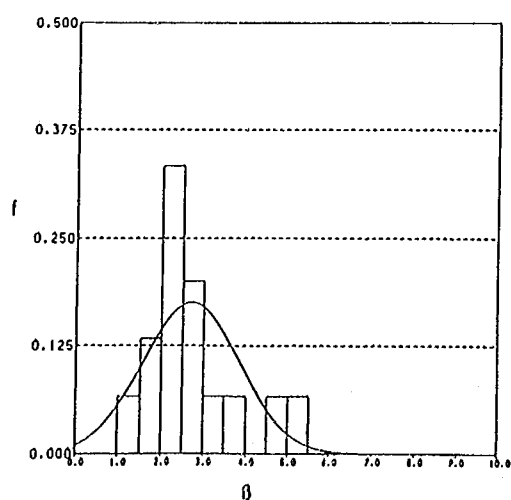


図 - 3 - 8.2 (1)

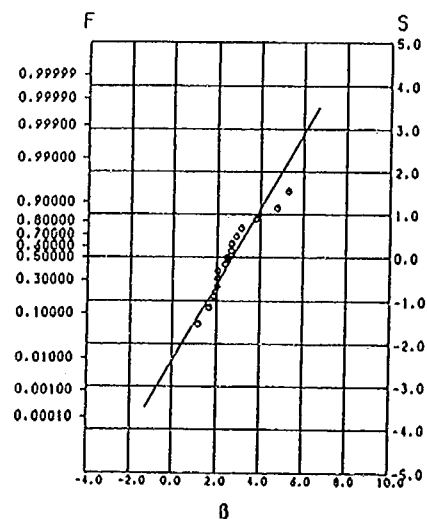


図 - 3 - 8.2 (2)

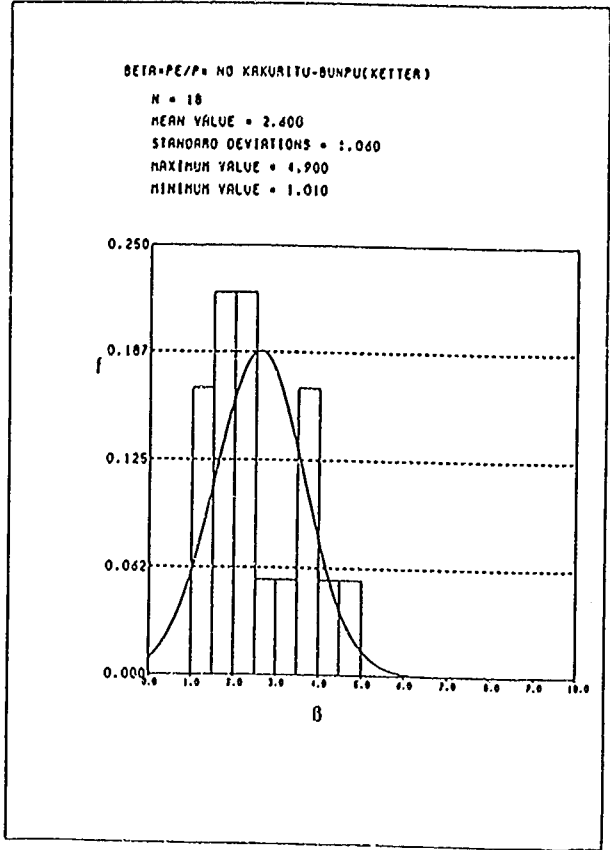


図 - 3 - 8 . 3 (1)

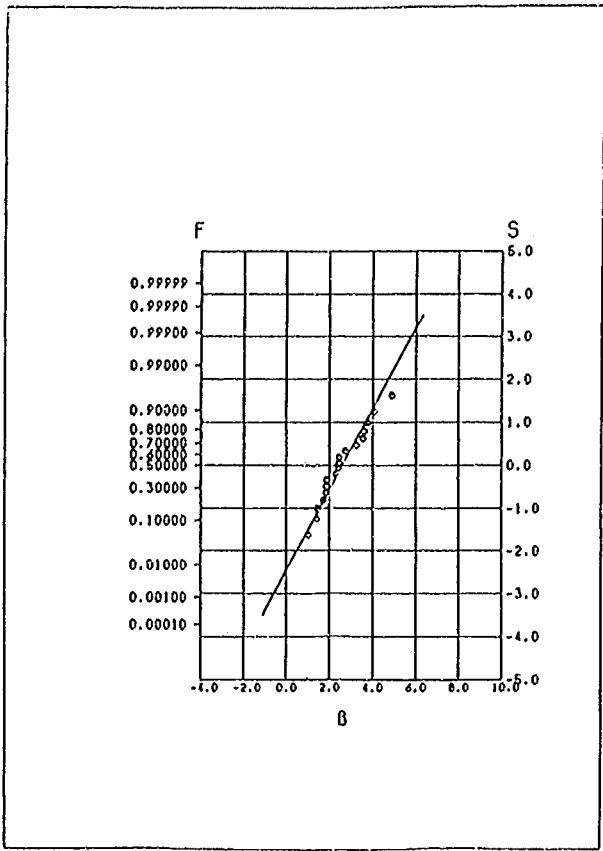


図 - 3 - 8 . 3 (2)

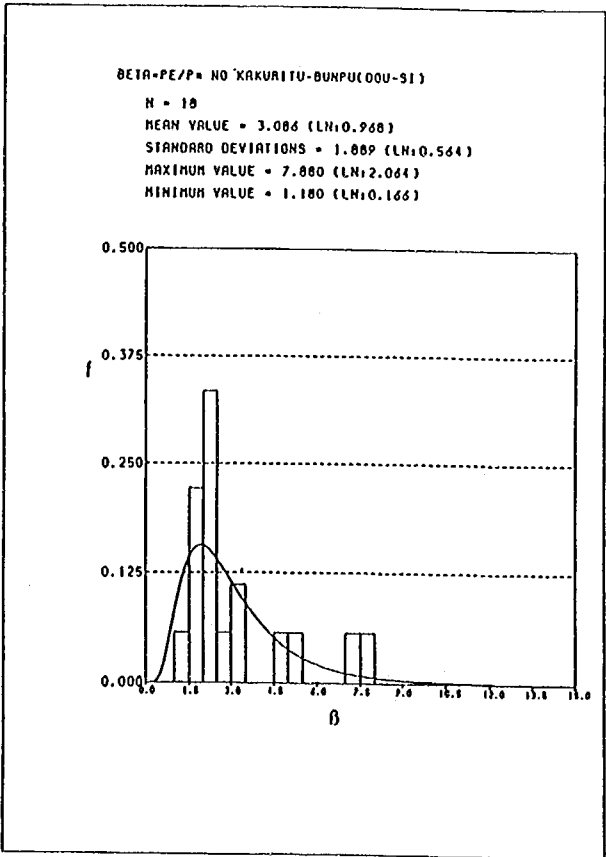


図 - 3 - 8 . 4 (1)

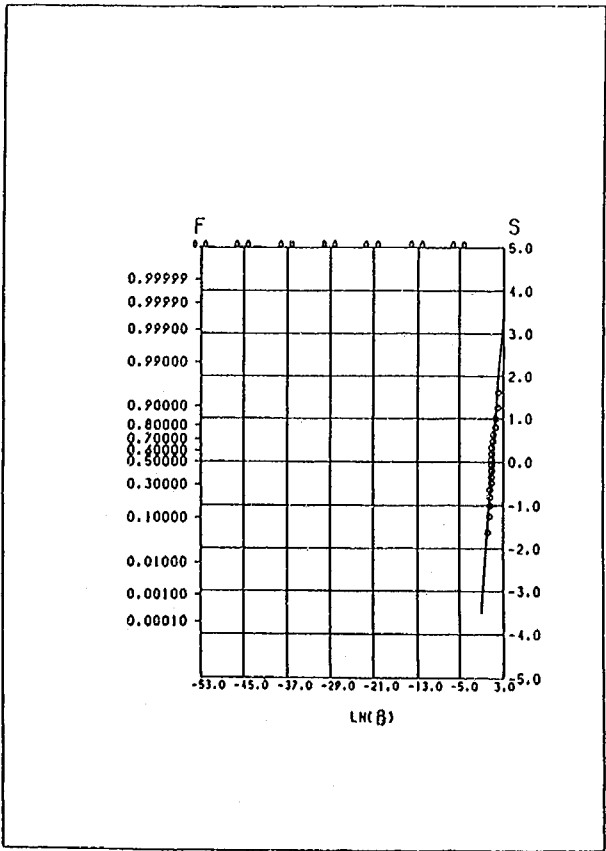


図 - 3 - 8 . 4 (2)

2-4 地盤定数の変化が各解析法の支持力算定値に及ぼす影響について

2-4-1 方法

道示式, Kötterの支持力解, 分割法, RBSMを用いて, 地盤定数 c , ϕ の変化が各手法による支持力算定値に及ぼす影響(支持力算定法の感度)について調べる。計算条件としては基礎幅30cm, 単位体積重量 $2.25\text{tf}/\text{m}^3$, 変形係数 $6700\text{tf}/\text{m}^2$, ポアソン比0.3を設定しており, 地盤は本四明石層を想定している。これらの条件の基に粘着力 c を0.0, 0.5, 1.0(tf/m^2), せん断抵抗角 ϕ を20, 25, 30, 35, 40($^\circ$)に変化させて支持力を算定する。

2-4-2 解析結果

図-4-2.1は試算結果であり, 横軸に ϕ , 縦軸に対数で支持力度 q_u をとっている。解析の結果, 粘着力 c が存在する場合には, 支持力算定における各手法間の差異が小さいが, c が存在しない場合には, 各手法間の支持力算定値のばらつきは大きいことが判明した。この中で $c = 0.0\text{tf}/\text{m}^2$ のとき, 特に道示式のばらつきが大きい, これは道示式による支持力算定には基礎の形状効果(円の場合の形状係数は0.6)を考慮しているためであると考えられる。次に, せん断抵抗角の増加に対する支持力の増加割合について見てみると, 粘着力 c が存在しない場合の方が, c が存在する場合に比べて, ϕ の増加に対する支持力の増加の割合は大きいのがわかる。一般に, 自重に関する支持力係数 N_γ の ϕ の増分に対する増加割合は粘着力に関する支持力係数 N_c よりも大きい。したがって, 支持力算定に粘着力の影響を含む場合よりも, 粘着力の影響を含まない場合の方が, 支持力は ϕ の増分に対して鋭敏に反応する結果となっている。

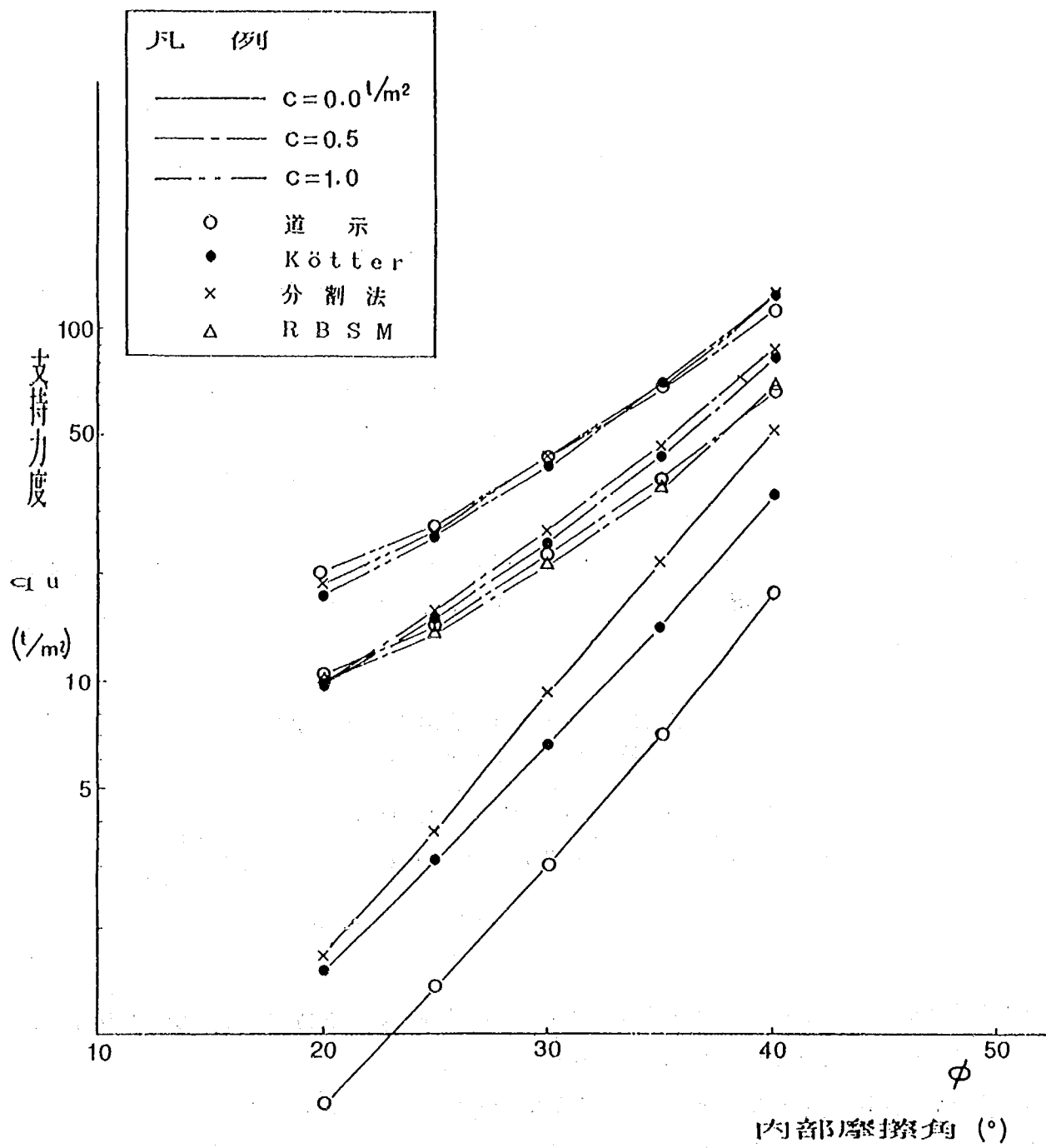


図-4-2.1 計算法の相違に伴う支持力度の感度分析

2-5 まとめ

本年度の調査結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 各支持力算定法および支持力の感度分析から、 $\phi 300 \sim \phi 1200$ 程度の基礎において支持力算定値は粘着力の有無により大きく左右されることが明らかになった。この理由としては、自重による支持力項は載荷幅の大きさに比例して大きくなるのに対し、粘着力による支持力は載荷幅の大きさに影響されないため、載荷幅が小さい場合には支持力の自重項よりも粘着力項の方が支配的になるためであると考えられる。
- (2) 円形基礎の載荷試験と各支持力算定法（分割法，RBSM，Kötter式，道示式）による支持力算定値から、各支持力算定法は実際の $1/3.1 \sim 1/1.9$ の支持力を算定していることが判明した。
- (3) 支持力算定値の安定性については、分割法，Kötter式，RBSM，道示式の順に安定した支持力を算定していることがわかった。ただし，RBSM，道示式については算定値のばらつきが2,3のデータにより引きずられている傾向があり，データを増加すれば今回よりもばらつきが小さい安定した算定式であるという結果が得られるであろうと思われる。
- (4) 今回取り上げた手法による支持力算定値 P^* から円形基礎の支持力 P_3 を $P_3 = \beta_a \cdot P^*$ という形により算定し， P_3 による支持力が実地盤の支持力を上回る確率を5%におさえるためには表-2-5.1のように β_a を定めればよい。

表-2-5.1 算定法による支持力が実地盤の支持力を上回る確率 α に対する β_a の値

	分 割 法	R B S M	Kötter	道 示 式
β_a (5%)	0.63	0.85	0.86	1.04

参 考 文 献

- 1) 本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋明石海峡大橋，基礎地盤の支持力および変形に関する静的数値計算要領（第1次原案），昭和61年9月9日
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（IV下部構造編），丸善，昭和55年
- 3) 川井忠彦：不連続体力学のすすめ（その1～その6），生産研究，1980.6～1983.10
- 4) 竹内則雄，川井忠彦：新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析（その1～その8），生産研究，1980.6～1981.8
- 5) 松尾 稔，木村 孟，太田秀樹：新体系土木工学19，土の力学(IV)，技報堂，1981年7月15日
- 6) 建設省土木研究所：本州四国連絡橋の設計施工に関する調査報告，土木研究所資料，第1973号，昭和58年3月
- 7) 建設省土木研究所：浅い剛体基礎の極限支持力に関する研究，土木研究所資料，第1611号，昭和55年10月

第3章 交通環境に関する調査試験

交通環境研究室 中山 隆
明嵐 政司

3-1 まえがき

浮遊粒子状物質（以下S P Mと略す。また粒径 $10\mu\text{m}$ 以上のものを含めた粒子全体を粒子状物質とし、以下S Pと略す。）環境影響評価手法の確立を目的として、過去3年間に次のような調査を行った。

①文献調査（昭和58年度）

道路交通に起因するS PおよびS P Mに関する既存の知見をまとめ、今後の検討課題を抽出した。

②実測調査(1)（昭和59年度）

河川橋梁の周辺で実測調査を行い、道路交通に起因するS P Mの影響範囲、交通量および気象条件が寄与濃度に与える影響について検討を行った。

③実測調査(2)（昭和60年度）

河川橋梁の周辺で実測調査を行った。前年度の調査結果をもとに、測定点を4倍程度にし、S P Mの水平および鉛直方向濃度分布を測定した。また、ハイボリウムエアサンプラによりS Pの採取を行い、その分析結果からS Pのうち自動車排気管とその他の寄与を推定した。

本年度は、補足調査（実測調査(3)）を行い、昨年度の実測調査データ（実測調査(2)）と本調査研究以外の目的で実施した調査（拡散調査(4)および拡散調査(5)）も含めてデータを整理し、ガス状物質に関する既存の拡散モデルが道路及び自動車交通に係わるS P M寄与濃度（以下道路寄与濃度と略す。）すなわち（測定濃度－バックグラウンド濃度）の予測を行うためにどの程度の適合性を有するかを検討した。

④実測調査(3)（昭和61年度）

前年度までの実測調査データから既存の拡散モデルの適合性に関するデータの検討を行った結果、気象および濃度分布を条件にデータの分類を行ってゆくと、有効データは全データの1割程度になるので、有効データを増やすために、平面道路において実測調査を実施した。また、ローボリウムサンプラによるS PとS P Mの採取を行い、各々の道路寄与濃度のうち自動車排気管とその他の寄与を推定した。

⑤実測調査(4)（昭和60年度）

平面道路付近での実測調査を行った。

⑥実測調査(5)（昭和60年度）

道路橋梁付近での実測調査を行った。

①～③はすでに昭和58年度～昭和60年度報告書で、その概要を述べているので省略する。④～⑥については、その調査内容を次節で説明する。

3-2 新たな拡散調査の内容

3-2-1 実測調査(3)

(1) 調査内容

①調査期間 1ヵ月

②調査場所 一般国道（平面道路）

(2) 調査項目

①S P M

②窒素酸化物

③気象条件

風向風速，温湿度

④交通量（2車種分類）

⑤S P およびS P Mの採取

測定断面を図-1に示した。

3-2-2 実測調査(4)

1) 調査内容

①調査期間 15日間

②調査場所 一般国道（平面道路）

測定断面を図-2に示した。

2) 調査項目

①窒素酸化物

②S P M

③気象条件

風向・風速，温湿度，日射量，放射収支量，降水量

④交通量（2車種分類）

3-2-3 実測調査(5)

1) 調査内容

①調査期間 15日間

②調査場所 一般国道（橋梁）

測定断面を図-3に示した。

2) 調査項目

①S P M

②気象条件

風向・風速，温湿度，日射量，放射収支量，降水量

③交通量（2車種分類）

④SPの採取

○ SPM濃度測定位置

● NOx濃度測定位置

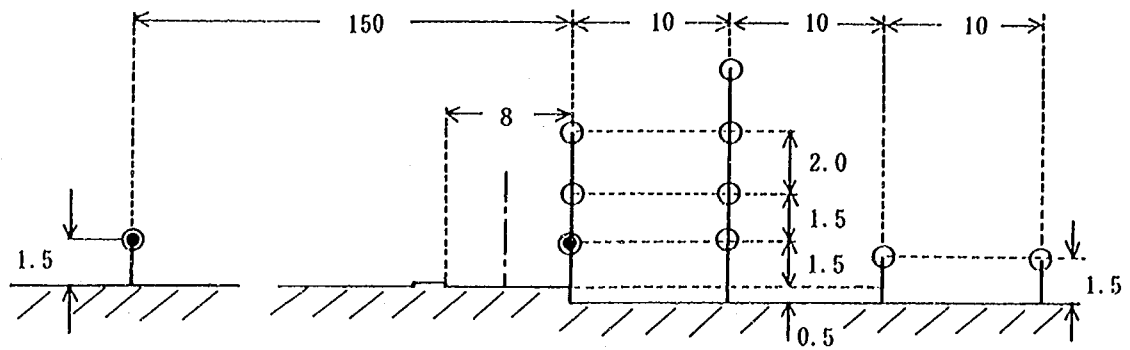


図-1 実測調査(3)の測定断面（単位：m）

○ SPM濃度測定位置

● NOx濃度測定位置

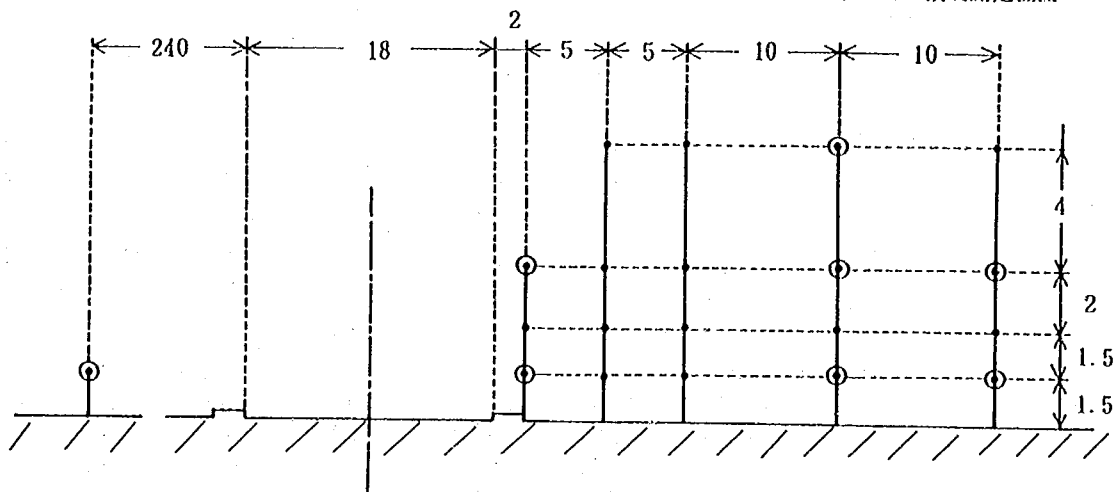


図-2 実測調査(4)の測定断面（単位：m）

○ SPM濃度測定位置

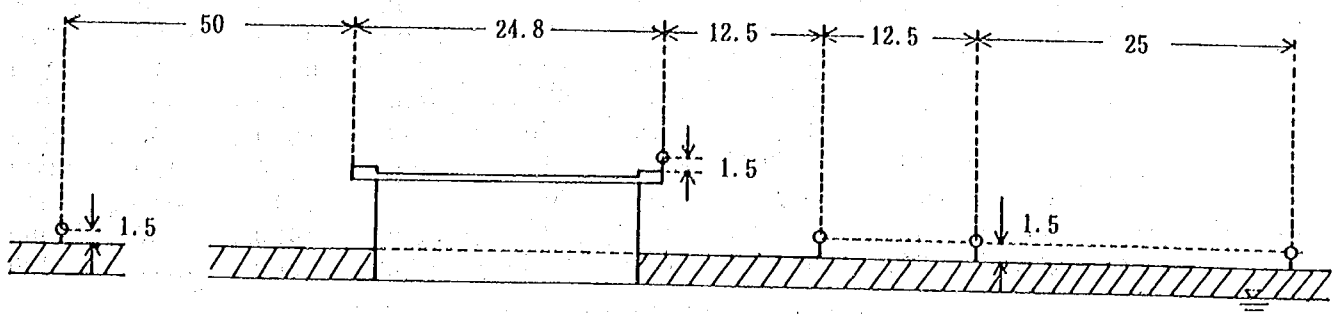


図-3 実測調査(5)の測定断面（単位：m）

3-3 採取した試料の成分分析に関する検討

実測調査(3)において道路端地点とバックグラウンド地点の2箇所でS PおよびSPMの採取をローリウムサンプラで行った。分析項目の関係からS PとS P Mともに2種類のろ紙が必要となるため1地点当たり4台の装置が必要であった。なお道路に対して道路端の採取地点が風下のときのみ採取するようにした。

表-1 成分分析結果

(単位: ng/m³)

分析 方 法	採取期間	昭和61年 9 月 18 日 ~ 9 月 29 日				昭和61年 9 月 29 日 ~ 10 月 13 日			
	採取場所	道 路 端		バックグラウンド地点		道 路 端		バックグラウンド地点	
	分析項目	SPM	SP	SPM	SP	SPM	SP	SPM	SP
放射化分析	Ag	ND	ND	ND	0.38	ND	ND	ND	ND
	Al	410	550	360	390	1750	2360	130	130
	As	3.4	3.7	4.4	7.0	3.4	4.9	2.7	4.4
	Ba	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Br	6.3	6.0	5.3	9.8	8.3	7.5	3.3	4.2
	Ca	520	500	570	710	1540	1730	280	320
	Ce	0.54	0.51	ND	ND	1.3	1.5	0.40	ND
	Cl	380	65	60	640	2830	970	52	230
	Co	ND	ND	0.29	ND	5.7	5.5	0.33	1.7
	Cr	7.4	5.7	6.1	9.2	9.4	11	5.7	6.1
	Cs	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cu	ND	27	ND	42	76	92	8.9	17
	Fe	430	660	490	450	1740	2080	160	340
	Hf	ND	ND	ND	ND	ND	0.17	ND	ND
	K	ND	ND	ND	ND	770	ND	ND	ND
	La	ND	ND	ND	ND	0.82	1.44	ND	ND
	Lu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Mg	ND	340	210	ND	480	900	ND	ND
	Mn	14	16	14	20	32	42	8.1	12
	Na	970	760	830	1640	1840	1730	350	650
	Sb	6.9	12.0	4.2	9.7	8.5	17.4	3.3	6.2
	Sc	0.068	0.106	0.054	0.063	0.284	0.509	0.020	0.014
	Se	0.93	0.69	0.68	1.4	1.1	1.5	0.49	0.83
	Sm	0.031	0.047	0.026	0.025	0.120	0.200	0.011	0.021
	Th	ND	ND	0.095	ND	ND	0.29	ND	ND
	Ti	31	45	39	53	98	170	10	9.0
	V	5.3	4.3	4.0	8.7	7.8	7.8	2.1	4.3
	W	ND	ND	ND	1.0	ND	ND	ND	ND
	Zn	123	123	95	170	690	431	57	101
蛍光 X 線分析	Cd	2.4	1.6	2.3	1.0	3.8	3.1	1.3	2.4
	Ni	36	3.8	7.4	2.6	4.7	37	5.0	ND
	Pb	18	42	57	14	66	43	18	3.6
	S	3350	2740	2440	2890	3400	3020	1420	1570
	Si	2400	8670	1090	1680	1710	6770	710	1100
CHNコーダー	C	25000	29700	5800	6500	23600	20400	5500	6700
	N	1750	1820	770	700	60	1610	150	900
イオンクロマト分析	Cl ⁻	180	560	ND	180	920	1820	420	940
	Br ⁻	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	SO ₄ ²⁻	3980	4410	3240	3700	3900	4420	2050	2360
	NO ₃ ⁻	960	1740	770	1390	1730	2260	1070	1430

(注) ND は検出限界を下まわっていたことを示す。

分析結果を表-1に示す。また、路端堆積物（粒径 $74\mu\text{m}$ 以下）とガソリン車およびディーゼル車の排気管から直接採取したS P（既存の調査結果から $10\mu\text{m}$ 以下のS P Mと見なしてよい。）の分析結果を表-2に示す。これらの分析結果を基にC E B法を適用してS PおよびS P Mの道路寄与濃度に対する発生源別寄与を推定した。

表-2 自動車排ガス中のS P路端堆積物の分析結果 (単位: ppm)

分析 方 法	分析項目	ガ ソ リ ン 車		デ ィ ー ゼ ル 車		路端堆積物
		A	B	C	D	
放 射 化 分 析	Ag	ND	ND	0.60	0.73	ND
	Al	2160	6300	171	195	7900
	As	ND	ND	ND	5.3	8.1
	Ba	3900	ND	ND	45	330
	Br	229	ND	ND	ND	ND
	Ca	ND	8430	ND	970	28000
	Ce	ND	ND	ND	ND	43
	Cl	ND	13000	ND	ND	ND
	Co	13.6	4.17	ND	0.79	17
	Cr	ND	ND	73.8	152	100
	Cs	ND	ND	ND	ND	3.9
	Cu	ND	ND	99	ND	ND
	Fe	2660	4000	ND	852	45000
	Hf	ND	0.9	ND	ND	6.0
	K	ND	ND	ND	ND	16400
	La	ND	ND	ND	ND	26
	Lu	ND	ND	ND	ND	0.72
	Mg	14800	ND	ND	ND	7300
	Mn	50.7	ND	ND	12.8	860
	Na	ND	ND	ND	ND	16500
	Sb	11.1	ND	0.99	0.73	4.5
	Sc	0.20	ND	0.03	0.02	12
	Se	ND	ND	ND	ND	ND
	Sm	0.538	ND	0.07	ND	4.8
	Th	ND	ND	ND	ND	7.7
	Ti	ND	ND	ND	ND	4400
	V	ND	29	ND	ND	140
	W	ND	ND	ND	ND	ND
	Zn	3590	463	180	97	700
蛍 光 X 線 分 析	Cd	ND	ND	ND	ND	1.0
	Ni	ND	ND	ND	18	36
	Pb	3400	834	198	225	126
	S	4950	ND	32400	42600	2600
	Si	ND	ND	ND	ND	253000
C H N コ ー ダ ー	C	382000	467000	730000	735000	43000
	N	144000	57300	36200	14600	ND
イ オン ク ロ マ ト 分 析	Cl ⁻	18700	110000	ND	ND	87
	Br ⁻	ND	ND	ND	ND	97
	SO ₄ ²⁻	27200	ND	22500	30744	480
	NO ₃ ⁻	ND	ND	ND	ND	34

(注) NDは検出限界を下まわっていたことを示す。

自動車排気管からのS Pと路端堆積物の指標元素は、それぞれ炭素と珪素とした。なお、自動車排気管からのS Pの指標元素の値は、ガソリン車およびディーゼル車の分析値の平均をとった。

表-3に結果を示す。これによるとS P MはS Pに比べて、路端堆積物の影響は少なく、排気管からの寄与が大きいことが明らかになった。

表-3 道路寄与濃度に対する発生源別寄与

(単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

採取期間		①排気管	②その他	① + ②	道路寄与濃度
9/18	S P	38	28	66	53
9/29	S P M	33	5	38	26
9/29	S P	22	22	44	47
10/13	S P M	31	4	35	27

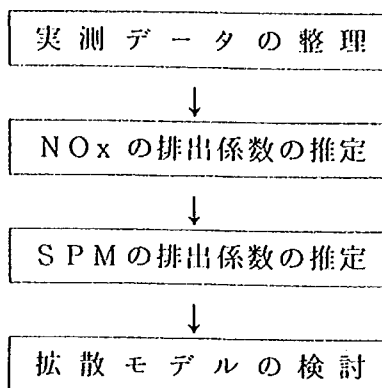


図-4 拡散モデル検討の流れ

3-4 排出係数および拡散モデルに関する検討

拡散モデルの検討の手順を図-4に示す。

3-4-1 排出係数に関する検討

拡散モデルの検討を行うためには、S P Mの排出係数を推定する必要がある。そこで、以下に示す方法によって排出係数を推定した。

[1] NOxの排出係数の推定

S P Mの排出係数をNOx濃度とS P M濃度から推定する場合には、NOxの排出係数が既知でなければならない。そこで、NOxの排出係数は、NOx濃度の実測値と車種別交通量と風速から正規型拡散モデル(プルーム・パフモデル(後に述べるD O Cモデル))を用いて、最小自乗法により推定した。

具体的な推定方法を説明すると以下のようなになる。

(プルームモデル)

$$C = \frac{Q}{u} \cdot F(\sigma, x, y, z) \quad (1)$$

C: NOx濃度

Q : NO_x の排出源強度

u : 風速

F (σ , x , y , z) : 拡散幅 σ と予測点の位置座標の関数

(パフモデル)

$$C = Q \cdot G (\sigma , x , y , z) \quad (2)$$

C : NO_x 濃度

Q : NO_x の排出源強度

G (σ , x , y , z) : 拡散幅 σ の関数と予測点の位置座標の関数

(1)式, (2)式を変形して

$$Q = \frac{C \cdot u}{F (\sigma , x , y , z)} \quad (3)$$

$$Q = \frac{C}{G (\sigma , x , y , z)} \quad (4)$$

ところで,

$$Q = a \cdot HV + b \cdot LV \quad (5)$$

a : 大型車のNO_xの排出係数

b : 小型車のNO_xの排出係数

HV : 大型車交通量

LV : 小型車交通量

であり, C , u , σ , x , y , z は既知であるから, Q が計算できる。

ただし, C としては,

$$C = C_R - C_B \quad (6)$$

C_R : NO_x の道路端における濃度

C_B : NO_x のバックグラウンド地点における濃度

を使う。

1 時間値のデータが n 個あった場合,

$$\begin{aligned} a \cdot HV_1 + b \cdot LV_1 &= Q_1 \\ &\vdots \\ a \cdot HV_n + b \cdot LV_n &= Q_n \end{aligned} \quad (7)$$

となり, 求める変数が a , b の 2 つに対して式が n 個 (n > 2) となる。

このような場合には, パラメータ π を導入して

$$\pi = \sum_i (C_i - (a \cdot HV_i + b \cdot LV_i))^2 \quad (8)$$

とし, これを a , b で偏微分すると連立方程式が得られ, それを解くことによって, a , b すなわち大型車及び小型車の排出係数を求めることができる。

〔2〕SPMの排出係数の推定方法

ガス状物質の拡散予測式は一般的には次式のような形をとる。

(有風時)

$$C = \frac{Q}{u} \cdot F_1(\sigma, x, y, z) \quad (9)$$

C : ガス状物質濃度

Q : ガス状物質の排出源強度

u : 風速

$F_1(\sigma, x, y, z)$: 拡散幅 σ と予測点の位置座標の関数

(無風時)

$$C = Q \cdot F_2(\sigma, x, y, z) \quad (10)$$

C : ガス状物質濃度

Q : ガス状物質の排出源強度

$F_2(\sigma, x, y, z)$: 拡散幅 σ の関数と予測点の位置座標の関数

従って、SPMにも近似的にこれらの拡散式が成立つと仮定すると

(有風時)

$$C_{NOx} = \frac{Q_{NOx}}{u} \cdot F_1(\sigma, x, y, z)_{NOx} \quad (11)$$

$$C_{SPM} = \frac{Q_{SPM}}{u} \cdot F_1(\sigma, x, y, z)_{SPM} \quad (12)$$

(無風時)

$$C_{NOx} = Q_{NOx} \cdot F_2(\sigma, x, y, z)_{NOx} \quad (13)$$

$$C_{SPM} = Q_{SPM} \cdot F_2(\sigma, x, y, z)_{SPM} \quad (14)$$

〔(11) 式 / (12) 式〕 および 〔(13) 式 / (14) 式〕 から

$$\frac{C_{NOx}}{C_{SPM}} = \frac{Q_{NOx}}{Q_{SPM}} \cdot \frac{F_1(\sigma, x, y, z)_{NOx}}{F_1(\sigma, x, y, z)_{SPM}} \quad (15)$$

$$\frac{C_{NOx}}{C_{SPM}} = \frac{Q_{NOx}}{Q_{SPM}} \cdot \frac{F_2(\sigma, x, y, z)_{NOx}}{F_2(\sigma, x, y, z)_{SPM}} \quad (16)$$

ところで、すでに排出係数のわかっているNOxとSPMの拡散状況が、排出源からすぐ近くの道路端においてはほぼ等しい、すなわち、

$$F_1(\sigma, x, y, z)_{NOx} \doteq F_1(\sigma, x, y, z)_{SPM} \quad (17)$$

$$F_2(\sigma, x, y, z)_{NOx} \doteq F_2(\sigma, x, y, z)_{SPM} \quad (18)$$

と仮定すると、(17) 式、(18) 式を(15) 式、(16) 式に代入して、

$$\frac{C_{NOx}}{C_{SPM}} = \frac{Q_{NOx}}{Q_{SPM}} \quad (19)$$

ところで,

$$Q_{NOx} = A_{NOx} \cdot HV + B_{NOx} \cdot LV \quad (20)$$

$$Q_{SPM} = A_{SPM} \cdot HV + B_{SPM} \cdot LV \quad (21)$$

A_{NOx} : 大型車の NOx の排出係数

B_{NOx} : 小型車の NOx の排出係数

A_{SPM} : 大型車の SPM の排出係数

B_{SPM} : 小型車の SPM の排出係数

HV : 大型車交通量

LV : 小型車交通量

であり, A_{NOx} , B_{NOx} , HV , LV は既知であるから, Q_{NOx} が計算できる。

また, (19) 式に (21) 式を代入して,

$$A_{SPM} \cdot HV + B_{SPM} \cdot LV = Q_{NOx} \cdot \frac{C_{SPM}}{C_{NOx}} \quad (22)$$

ただし, C_{NOx} , C_{SPM} としては, 沿道における調査データから

$$C_{NOx} = [C_{NOx}]_R - [C_{NOx}]_B \quad (23)$$

$$C_{SPM} = [C_{SPM}]_R - [C_{SPM}]_B \quad (24)$$

$[C_{NOx}]_R$: NOx の道路端における濃度

$[C_{NOx}]_B$: NOx のバックグラウンド地点における濃度

$[C_{SPM}]_R$: SPM の道路端における濃度

$[C_{SPM}]_B$: SPM のバックグラウンド地点における濃度

を使う。

ここで,

$$A_{SPM} = a, B_{SPM} = b, Q_{NOx} \cdot \frac{C_{SPM}}{C_{NOx}} = C \text{ とおくと,}$$

$$a \cdot HV + b \cdot LV = C \quad (25)$$

1 時間値のデータが n 個あった場合,

$$\begin{aligned} a \cdot HV_1 + b \cdot LV_1 &= C_1 \\ \vdots & \\ a \cdot HV_n + b \cdot LV_n &= C_n \end{aligned} \quad (26)$$

となり, 求める変数が a , b の 2 つに対して式が n 個 ($n > 2$) となる。

このような場合には, パラメータ π を導入して

$$\pi = \sum_i (C_i - (a \cdot HV_i + b \cdot LV_i))^2 \quad (27)$$

とし, これを a , b で偏微分すると連立方程式が得られ, それを解くことによって, a , b すなわち大型車及び小型車の排出係数を求めることができる。

〔3〕 推定のために用いるデータの選択

NO_xとSPMの沿道寄与濃度からSPMの排出係数を推定するには両者の濃度分布の相関性が重要となってくる。また一般に、SPMとNO_xの相関性は道路端から離れるに従って悪くなる。これは、測定精度あるいは両者の拡散特性の差によるものと思われる。従って、道路端から最も近い位置で測定したデータのうち下記の条件を満たすもののみを使って推定した。

SPMの道路寄与濃度>0かつNO_xの道路寄与濃度>0

〔4〕 推定結果と既存の推定値との比較

(1) NO_xの排出係数の推定結果

既に説明した方法によって求めたNO_xの排出係数は、表-4のようになった。ただしこの計算には、ブルームハフモデル（建設省道路局）を用いた。推定した値は「建設省所管道路事業環境影響評価に用いる自動車排出ガスの排出係数（案）について」（昭和61年2月）の年式別車種分類別排出係数表（表-5）の昭和54年度以降のそれにはほぼ対応していることが分かる。

表-4 NO_xの排出係数

(単位: g/km・台)

		実測調査(2)	実測調査(4)
推定車速(km/h)		80	40~60
排出係数 (g/km・台)	大型車	3.78	3.29
	小型車	1.44	0.84

表-5 年式別車種別走行速度別排出係数

(単位: g/km・台)

車種	汚染物質	走行速度	50年式	51年式	52年式	53年式	54年式	55年式	56年式	57年式	58年式	59年式	60年式
小型車類	CO	10 km/h	9.68	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		20	4.90	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		30	3.28	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		40	2.41	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		50	1.83	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		60	1.40	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		80	0.91	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		100	0.97	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	NO _x	10 km/h	1.79	1.47	1.42	1.05	0.77	←	0.66	0.61	←	←	←
		20	1.48	1.23	1.19	0.88	0.65	←	0.55	0.51	←	←	←
		30	1.44	1.21	1.17	0.87	0.64	←	0.55	0.51	←	←	←
		40	1.43	1.22	1.18	0.87	0.65	←	0.55	0.51	←	←	←
		50	1.40	1.22	1.17	0.87	0.64	←	0.55	0.51	←	←	←
		60	1.33	1.17	1.13	0.83	0.62	←	0.53	0.49	←	←	←
大型車類	CO	80	1.90	1.89	1.83	1.30	0.97	←	0.84	0.78	←	←	←
		100	3.22	3.29	3.21	2.10	1.60	←	1.37	1.31	←	←	←
	NO _x	10 km/h	4.65	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		20	2.88	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		30	2.29	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		40	1.97	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		50	1.77	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		60	1.64	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
大型車類	CO	80	1.38	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
		100	1.77	←	←	←	←	←	←	←	←	←	←
	NO _x	10 km/h	8.67	←	7.32	←	6.12	←	←	6.02	5.31	←	←
		20	7.13	←	6.02	←	5.04	←	←	4.95	4.37	←	←
		30	6.89	←	5.82	←	4.87	←	←	4.78	4.23	←	←
		40	6.80	←	5.74	←	4.81	←	←	4.71	4.17	←	←
		50	6.61	←	5.58	←	4.67	←	←	4.58	4.05	←	←
		60	6.22	←	5.25	←	4.40	←	←	4.31	3.82	←	←
大型車類	NO _x	80	5.71	←	4.82	←	4.06	←	←	3.93	3.51	←	←
		100	6.49	←	5.48	←	4.62	←	←	4.45	3.99	←	←

(2) SPMの排出係数の推定結果

これまでに説明した方法でSPMの排出係数を推定した結果を表-6に示す。

また、比較のために台上試験から得られたSP（既存の文献によればSPMと見なして差し支えない）の排出係数を表-7に、これまでにいろいろな機関が推定したSPおよびSPMの排出係数を表-8に示した。表-8に比べると

求めた排出係数はかなり小さい。しかし、先にも述べたようにSPMは、路端堆積物の影響は少なく、排気管からの寄与が大きいので、道路寄与濃度に対するSPMとしては、ほとんどが排気管からのものであるといってもよい。従って、SPMの大型車排出係数として推定した値が、台上試験により求められたディーゼル貨物車（表-7中の車両の大部分は一般には、大型車に分類する）の排出係数と近い値を示していることは、推定したSPMの排出係数の妥当性を示していると思われる。

表-6 SPMの排出係数

(単位: $g/km \cdot 台$)

		実測調査(2)	実測調査(4)
推定車速 (km/h)		80	40~60
排出係数 ($g/km \cdot 台$)	大型車	0.33	0.275
	小型車	0.02	0.04

表-7 台上試験によるディーゼル車のSP排出係数

車両番号	車両重量 (kg)	積 載 量 (kg)	エンジン型式	排 出 係 数 (g/km・台)	
				車 速 60km/h	車 速 80km/h
1	8925	12000	直 噴 式	0.556	0.407
2	8020	11500		0.374	0.505
3	9480	9500		0.344	0.336
4	7180	12000		0.285	0.295
5	8920	10750		0.451	0.311
6	8455	11000		0.555	0.656
7	8315	11250		0.581	0.728
8	9040	10500		0.748	0.663
9	2070	2000		0.145	0.185
10	3305	4250		0.337	0.365
11	3500	4000		0.109	0.120
12	4370	5000		0.147	0.182
13	1610	1500	渦 室 式	0.061	0.061
14	1290	1000		0.054	0.095
全 車 両 の 平 均 値				0.339	0.351

注1) 積載条件は半積載によるものである。

注2) 既存の調査結果からSPMの排出係数とみなしてよい。

表-8 S P およびS P Mの排出係数

(単位: g/km・台)

	測定場所・日時	排出係数
①	東名高速・都夫良野トンネル (下り線) 1976年12月18日～20日	大型車 1.14 (SP) 小型車 0.04 (SP)
②	東京湾第2航路トンネル (13号地行) 1981年6月～1982年5月	大型車 2.0 (SP) 小型車 0.2 (SP)
③	中央高速・笹子トンネル (上り線) 1980年1月	大型車 2.8 (SP) 小型車 0.74 (SP)
④	高速道路トンネル 1983年秋	大型車 0.97 (SP) 小型車 -
⑤	茨城県神栖町奥谷国道124号 1977年11月15日～18日	大・中型車 1.60 (SPM), 2.08 (SP) 小型車 0.32 (SPM), 0.42 (SP)

①～③は、ハイボリウムサンプラ、④はアンダーセンサンプラによるものであるが、S P Mの基準の測定装置であるローボリウムサンプラとはカット特性が異なるので、その値をS P Mの排出係数として使うことはできない。⑤は本報告書と基本的には同じ考え方によって推定しているのであるが、計算方法の基本となる仮定を満足していないデータを使っていると思われるので参考程度のものでしかないと考えられる。

3-4-2 拡散モデルの検討

〔1〕 拡散モデル

S P M寄与濃度を推定するためのモデルとして、下記に示すガス状物質に対する沿道拡散モデルを取り上げた。

- 1) プルームパフモデル (建設省道路局) 以下D O Cモデルと略す。
- 2) プルームパフモデル (環境庁大気保全局) 以下P Gモデルと略す。
- 3) J E A (東京都修正) モデル

これらのモデルのうちD O CモデルおよびP Gモデルは正規型拡散モデル、J E Aモデルは非正規型拡散モデルに分類される。

〔2〕 検討結果

(1) 実測調査(2)

拡散計算の対象としたデータは、次の条件を満足するものである。

- 1) 排出源高さにおける道路寄与濃度が、道路端から離れるに従って低くなる。

2) 風向が、風下直角風，斜風あるいは静穏である。

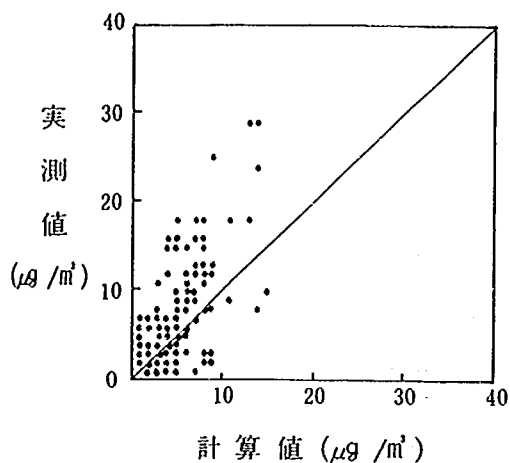
全データ 144 時間帯のうち上記条件を満たすものは，18 時間帯であり，データの有効率は 10% 程度であった。

表 - 9 は実測値と計算値の回帰分析結果を示している。図 - 5 より，D O C モデルでは，実測値に対して計算値は小さく，J E A モデルでは大きくなる傾向示していることがわかる。

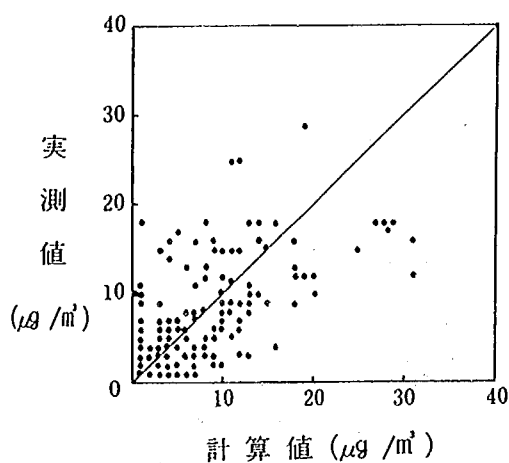
表 - 9 計算値と実測値の回帰分析 (実測調査(2))

$$(\text{実測値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) = a \cdot (\text{計算値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) + b$$

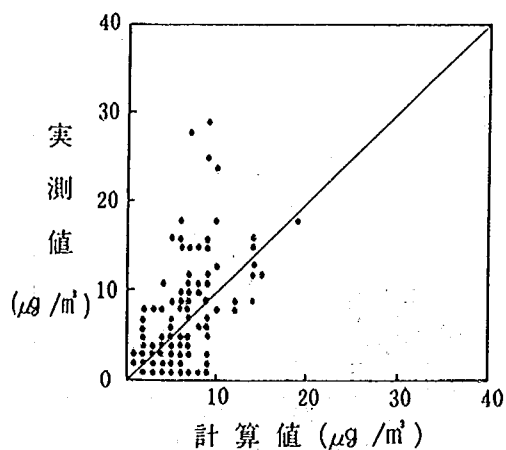
モ デ ル	データ数 N	相関係数 r	傾 き a	切 片 b
D O C	1 4 7	0.645	1.39	0.2
P G		0.600	0.47	3.2
J E A		0.508	0.86	1.7



(a) D O C モデルによる計算



(b) P G モデルによる計算



(c) J E A モデルによる計算

図 - 5 実測調査(2)に対する拡散モデルの検討

(2) 実測調査(4)

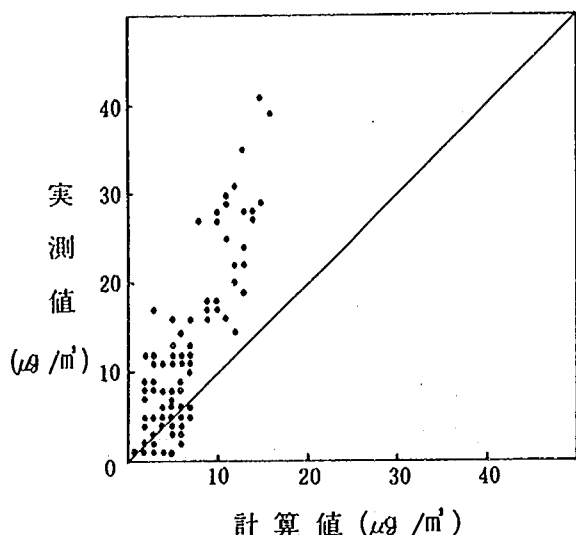
拡散計算の結果は図-6と表-10に示す。J E Aモデルでは計算値が実測値よりも大きくなり、D O Cモデルでは小さくなる傾向があるが、相関係数はともに比較的高く、0.7以上である。しかし、P Gモデルは実測値との相関が低い。

これまでの拡散計算結果からP Gモデルは、計算値と実測値の適合性が良くないので、以下の調査ではP Gモデルを除外して、D O CモデルとJ E Aモデルについての検討を行った。

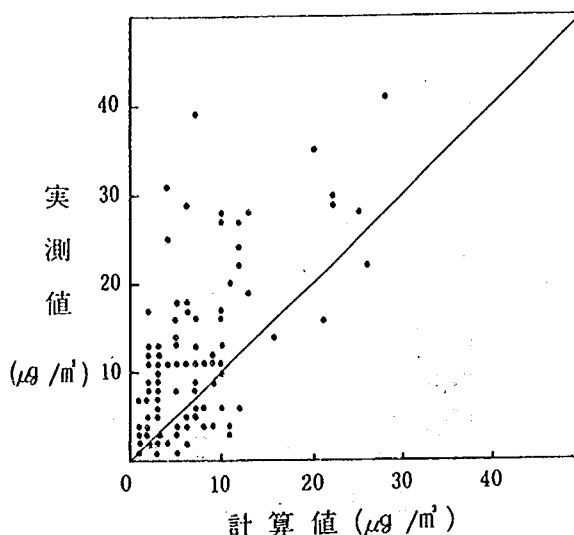
表-10 計算値と実測値の回帰分析(実測調査(4))

$$(\text{実測値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) = a \cdot (\text{計算値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) + b$$

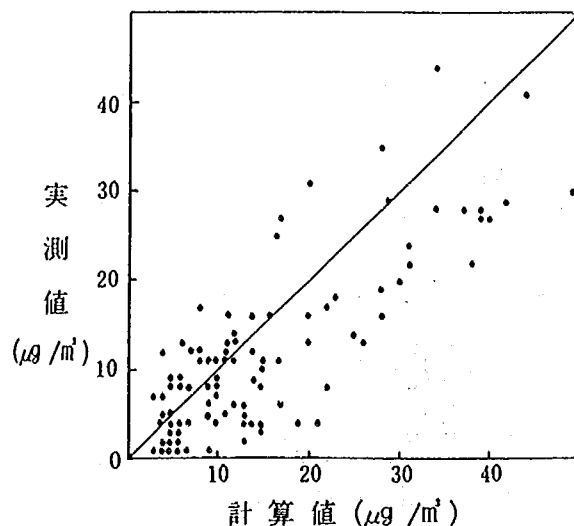
モデル	データ数 N	相関係数 r	傾き a	切片 b
D O C	252	0.740	1.55	-0.7
P G		0.515	0.68	4.9
J E A		0.794	0.75	0.5



(a) D O Cモデルによる計算



(b) P Gモデルによる計算



(c) J E Aモデルによる計算

図-6 実測調査(4)に対する拡散モデルの検討

(3) 実測調査(3)

ここでもS P Mの排出係数は、調査データと拡散式から新たに求めたNO_xの排出係数から推定した。NO_xの排出係数を求めるために利用した拡散モデルは、DOCモデルである。NO_xの排出係数は、大型車4.8 g / km, 小型車0.7 g / kmとなり、「建設省所管道路事業環境影響評価に用いる自動車排出ガスの排出係数(案)について」(昭和61年2月)の年式別車種別排出係数表(表-5)の昭和54年~56年度に対応している。このNO_xの排出係数を用いて計算するとS P Mの排出係数は、大型車が0.35 g / km, 小型車が0.05 g / kmとなった。DOCモデルとJ E Aモデルによる計算値と実測値との対応は、図-7に示す。また、計算値を実測値の回帰分析結果を表-12に示す。DOCモデルは実測値に対して計算値は小さく、J E Aモデルは大きくなる傾向があり、実測調査(2)および(4)の場合と同様の結果となった。また、相関係数はDOCモデルに比べてJ E Aモデルの方がやや高い値を示している。しかし両モデルは、ともに切片が実測調査(2)の場合に比べて大きい。

(4) 実測調査(5)

拡散調査(3)から推定したS P Mの排出係数を用いてDOCモデルとJ E Aモデルの適合性の検討を行う。検討結果を図-8と表-13に示す。これをみるとJ E Aモデルはこれまで同様に実測値に対して計算値が大きくなるが、DOCモデルはこれまでと異なり、やや計算値が大きくなる傾向が窺える。また相関係数は、DOCモデルの方が若干良く、約0.7であった。

表-11 計算値と実測値の回帰分析(実測調査(3))

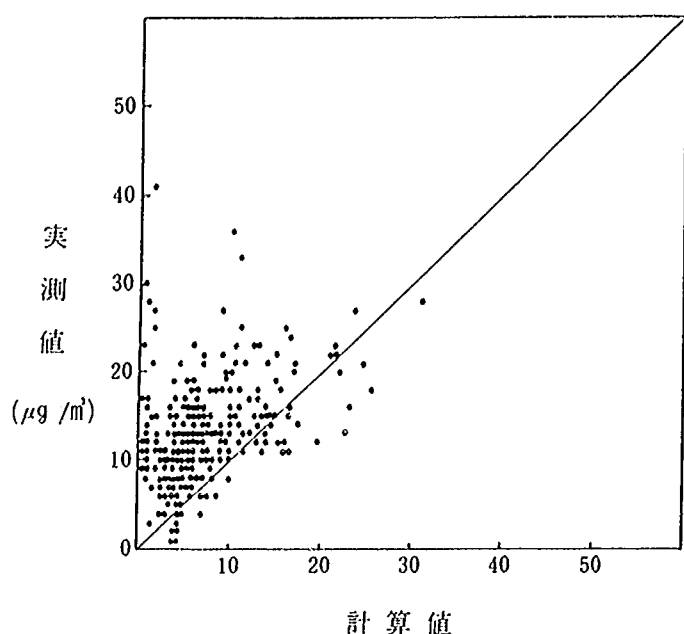
$$(\text{実測値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) = a \cdot (\text{計算値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) + b$$

モデル	データ数 N	相関係数 r	傾き a	切片 b
DOC	280	0.575	0.56	8.0
J E A		0.613	0.25	8.3

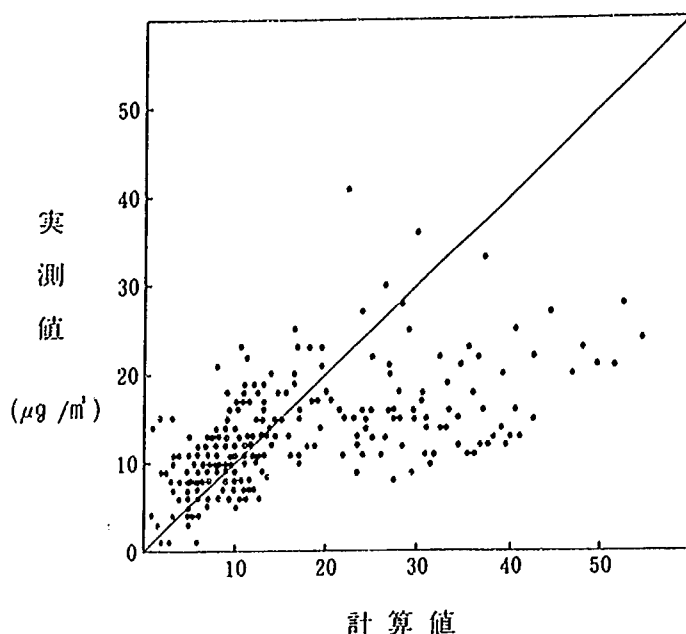
表-12 計算値と実測値の回帰分析(実測調査(5))

$$(\text{実測値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) = a \cdot (\text{計算値 } \mu\text{g}/\text{m}^3) + b$$

モデル	データ数 N	相関係数 r	傾き a	切片 b
DOC	148	0.699	0.50	2.4
J E A		0.627	0.22	2.5

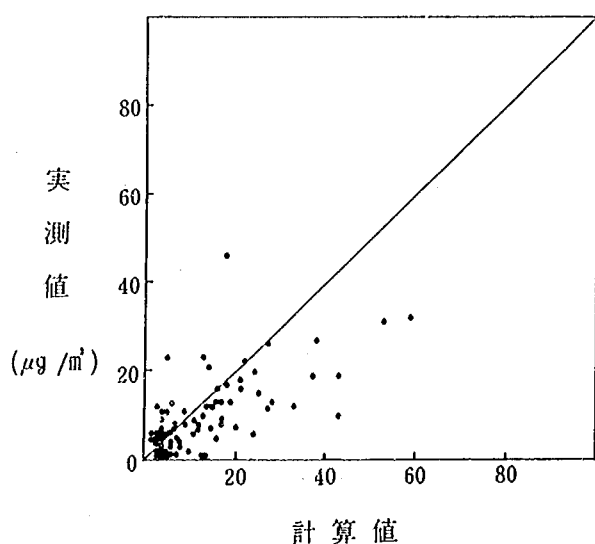


(a) D O C モデルによる計算

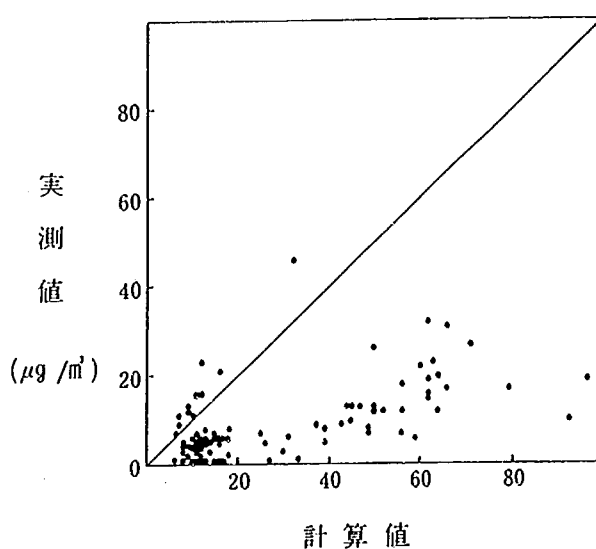


(b) J E A モデルによる計算

図-7 実測調査(3)に対する拡散モデルの検討



(a) D O C モデルによる計算



(b) J E A モデルによる計算

図-8 実測調査(5)に対する拡散モデルの検討

3-5 結 論

これまでの調査結果から以下のことが分かった。

1) S P Mの排出係数

NO_xの量とS P Mの排出量の関係から推定したS P Mの排出係数は

大型車 0.28～0.35 g/km・台

小型車 0.02～0.05 g/km・台

となり、これまでの既存の調査で得られているS P あるいはS P Mの排出係数に比べてかなり小

さい値となった。

2) 既存の拡散モデルの適合性

本調査で推定したS P Mの排出係数を使って、ガス状物質に関する数種類の拡散モデルによる計算を行い、次のような結果を得た。

①D O C モデル

実測値に対して計算値は小さくなる傾向をもつ。

②P G モデル

D O C モデル、J E A モデルに比べて相関係数が低く、計算値と実測値の適合性が悪い。

③J E A モデル

D O C モデルとは逆に、実測値に対して計算値は大きくなる傾向をもつ。

3) S P およびS P Mの濃度寄与の検討

S P Mは、S P に比べると路端堆積物の影響は少なく、排気管からの寄与が大きい。この中で、道路寄与濃度に対する浮遊粒子状物質としては、ほとんどが排気管からのものであるので、自動車の排出係数として台上試験により求められた排出係数を使ってもある程度の予測は可能であると思われる。

3-6 あとがき

これまでに、S P Mの環境影響評価手法の確立を目的として、次のような成果が得られた。

(昭和58年度)

道路交通に起因するS P およびS P Mに関する既存の知見をまとめ、今後の検討課題を抽出した。

(昭和59年度)

河川橋梁の周辺で実測調査を行い、道路交通に起因するS P Mの影響範囲、交通量および気象条件が寄与濃度に与える影響について検討を行った。

(昭和60年度)

河川橋梁の周辺で実測調査を行った。前年度の調査結果をもとに、測定点を4倍程度にした。その結果、S P Mの拡散性状が明らかになった。また、S P の採取を行い、S P のうち自動車排気管とその他の寄与を推定した。

(昭和61年度)

S P Mの排出係数を推定し、S P M分析結果をもとにその妥当性を検証すると共に、ガス状物質に関する既存の拡散モデルをそのまま使い、推定した排出係数を使ってその適合性を検討した。

今後、より精度の高い拡散予測を行うためには、ガス状物質と異なる拡散パラメータと沈降および沈着といった独特の挙動を取り入れた新しい拡散モデルの構築が必要となる。

バックグラウンド濃度については、検討することが出来なかった。今後、環境影響評価のために、適切な予測手法の研究が必要になると思われる。

参考文献

- (1) 建設省道路局：建設省所管道路事業環境影響評価に関する実施上の運用（案）について：昭和61年2月
- (2) 環境庁大気保全局大気規制課：窒素酸化物総量規制マニュアル：昭和57年5月
- (3) 東京都環境保全局：道路沿道を対象にした大気汚染予測手法に関する検討報告書：昭和58年3月
- (4) 建設省道路局：建設省所管道路事業環境影響評価に用いる自動車排出ガスの排出係数（案）について：昭和61年2月
- (5) 北林興二：道路近傍における粉塵濃度の解析：大気汚染学会誌 第17巻第5・6号（1982年）
- (6) 溝 畑朗：高速道路トンネル内における自動車排気粒子の測定：昭和59年度大気汚染学会講演要旨集
- (7) 伊瀬洋昭ら：自動車排出汚染物質の排出実態に関するトンネル調査 -第一報-：東京都公害研究所年報（1983年）
- (8) 福岡三郎ら：自動車排出汚染物質の排出実態に関するトンネル調査 -第二報-：東京都公害研究所年報（1984年）
- (9) 伊瀬洋昭ら：粒子状物質等汚染物質の発生源寄与に関する調査 -トンネル調査による大型ディーゼル車の排出実態の検討-：東京都公害研究所年報（1981年）
- (10) 斉木三郎，斉藤輝男：高速道路沿道における自動車排出ガス濃度の予測手法：高速道路と自動車 VOL. XX No. 6（1977年）

本州四国連絡橋に関する研究報告

ISSN 0386-5878

土研資料第2459号

昭和62年3月()

要旨

本資料は、本州四国連絡橋を調査設計するうえでの問題点について、本州四国連絡橋公団より建設省土木研究所へ委託された「本州四国連絡橋に関する研究」の昭和61年度報告書である。

報告書は、(1)基礎工に関する調査試験、(2)交通環境に関する調査試験よりなる。

(1)では、直接基礎の極限支持力算定法、(2)では浮遊粒子状物質の拡散について、それぞれ検討を行い、本州四国連絡橋の調査設計に有意義な成果を得ている。

キーワード：本州四国連絡橋に関する調査、設計、基礎工、極限支持力、交通環境、浮遊粒子状物質



郵便はがき

四十円切手
をはって
さい。

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

橋梁計画官

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2459 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印