

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

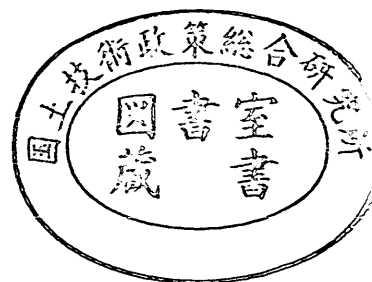
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 17

NO. 3

SEPT. 1978

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第17巻 第3号 (Vol. 17, No. 3), 1978年9月 (Sept. 1978)

目 次 (CONTENTS)

1. 港湾地域における土の工学的諸係数の相関性
.....小川富美子・松本一明..... 3
(The Correlation of the Mechanical and Index Properties
of Soils in Harbour Districts...Fumiko OGAWA, Kazuaki MATSUMOTO)
2. 高圧水ジェットによる珊瑚礁岩の掘削性について
.....中島忠男・小岩苔生・岩崎峯夫・石塚浩次・東海林秀幸.....91
(Coral Rock Excavation by High Pressure Water Jets
.....Tadao NAKAJIMA, Taisei KOIWA, Mineo IWASAKI,
Koji ISHIZUKA and Hideyuki SHOJI)

1. 港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

小川富美子* 松本 一明**

要 旨

日本の港湾地域の建設工事では、沖積層の特性がしばしば構造物の挙動を支配する。港湾技研資料 No. 71 では、沖積層の物理特性、コンシステンシー限界、圧密特性を統計的に処理して相互の相関を示した。

その後、土質試験法が改訂されたこと、そして土質調査で入手した信頼し得るデータがこの十数年間に蓄積されてきたため、筆者等はデータを再度解析した。

本報告では前回に取り上げた特性に加えて、一軸圧縮強さ、有効土かぶり圧、圧密降伏応力を解析に加えた。沖縄、北海道を除く全国のデータの相関を議論し、さらに6特定地域のデータについては個別に相関を求めた。

幾つかの特性は良い相関性を示しており、土質調査試験の計画段階において、また結果の評価において有効な利用が期待される。

* 土質部 土質調査研究室

** 土質部 土質調査研究室長

1. Correlation of the Mechanical and Index Properties of Soils in Harbour Districts

Fumiko OGAWA*

Kazuaki MATSUMOTO**

Synopsis

In the construction works in Japanese harbour area, the properties of alluvial deposit often govern the behavior of the structures. In the Previous report, Technical Note of PHRI No. 71 physical properties, consistency limits and consolidation characteristics of the alluvium are put in order statically and the correlations between them were presented.

As the Japanese soil testing manual has changed since the time of Previous report and the reliable soil test data obtained by the Soil Investigation Laboratory have been accumulated in these decades, the authors analysed the data again. In the present report, unconfined compressive strength, effective overburden pressure and Pre-Consolidation Pressure are included in the analyses in addition to the properties treated in the Previous report. Correlations between these properties are discussed on all data throughout Japan except for Okinawa and Hokkaido, and also correlations between the properties for six special regions are discussed separately.

Some of the properties show good correlations in between them. Practical and effective applications of these correlations are expected in the planning and execution of soil investigation and also in the evaluation of the test results.

* Member of soil Investigation Laboratory, Soil Division

** Chief of Soil Investigation Laboratory, Soil Division

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	7
2. 資 料	7
3. 土 の 分 類	7
3.1 塑性図による分類	7
3.2 土粒子比重の頻度分布	13
4. 分類特性相互の相関性	18
4.1 含水比とコンシステンシーおよび単位体積重量の関係	18
4.2 間げき比とコンシステンシーの関係	21
4.3 単位体積重量とコンシステンシーの関係	29
5. 圧密特性と分類特性の相関性	30
5.1 圧縮指数と分類指数の関係	31
5.2 体積圧縮係数と分類指数の関係	35
5.3 圧密係数と分類指数の関係	40
5.4 圧密降伏応力と有効土かぶり圧の関係	40
6. 強度特性と分類特性の相関性	44
6.1 圧縮強さと分類指数の関係	44
6.2 圧縮ひずみと分類指数の関係	54
6.3 圧縮強さと有効土かぶり圧の関係	59
6.4 圧縮強さと圧密降伏応力の関係	70
6.5 圧縮強さの深さに対する増加割合と分類指数の関係	70
6.6 変形係数と粘着力の関係	79
7. あ と が き	83
8. 謝 辞	89
参考文献	89

1. ま え が き

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性について、とくに分類特性相互間の相関、および圧密特性と分類特性の相関などについて港湾技研資料 No. 71¹⁾で報告したが、その後、試験法が一部改正されたり、これまでの試料の蓄積もあるのでこれらを再度取り上げて検討し、さらに土の分類と強度特性を追加して考察を加えた。

最近では、土質調査結果を設計などに利用したあとは各建設局ごとに管内土質台帳という形でとりまとめられたり、同一地域で多くの土質資料が蓄積されたところでは、土質性状の考察という形で諸指数の相関性を検討したのも多く残されるようになってきた。これらは地域的に数量も多く、優れたものもあろうと思われるが、筆者らがとりまとめた資料は全国的な広い範囲を網羅していること、土質試験の精度に信頼性がもてるということなどから、各地の調査結果の評価に物指しの役割を果たす意味で有効に利用し得るであろう。

2. 資 料

今回の報告で相関関係を求めた資料は、港湾技研資料 No. 71 で用いた港湾各地域の資料に更に約 1,600 の資料を追加してあらためて検討を加えたものである。これらの資料は当土質調査研究室が実際に試料採取、土質試験を行なったもの、あるいは監督・指導をした、いわゆる当研究室が何らかの形で関与したものの中から、深さ方向に対してできるだけ連続的に試料が採取され、しかも分類特性、力学特性の両者が精度よく求められたものを採用した。

資料の地域的な分布図を図-2.1に、地方別試料数を表-2.1に、試験別試料数を表-2.2に示す。表-2.1に見られ

るように各地域の試料数は南関東、近畿、中国地方に集中しているきらいがあり、それに対して東北や四国、九州地方の資料数はきわめて少ないが、各地域の特色を調べる意味からこれらのものもできるだけ取り入れるようにした。

3. 土 の 分 類

3.1 塑性図による分類

土の分類は、統一された約束ごとにもとづいて分類し



図-2.1 資料の分布図

土質名を命名しなければ、土に関する情報の交換などにおいて共通の論議はできない。

従来、土の分類は、粗粒土（砂質土）、細粒土（粘性土）とも粒度によって行われてきた。すなわち、粗粒土

表-2.1 地方別試料数

該当建設局名	地方名	地名	試料数		
第一港湾建設局	北 陸		188		
		七尾	64		
		富山	77		
		穴水	19		
		新湊	28		
第二港湾建設局	東北・北関東		358		
		青森	22		
		久慈	5		
		大槌	3		
		大船渡	6		
		気仙沼	10		
		塩釜	40		
		霞ヶ浦	272		
		"	南 関 東		1,057
				東京	366
千葉	26				
川崎	304				
横浜	218				
横須賀	143				
第三港湾建設局	近畿・中国・四国		1,111		
		神戸	11		
		和歌山	59		
		錦海	374		
		福山	30		
		広島	580		
		小松島	28		
		八幡浜	29		
第四港湾建設局	中国・九州		64		
		久賀	9		
		佐世保	9		
		佐賀ノ関	7		
		長崎	29		
第五港湾建設局	中部・東海		382		
		清水	66		
		名古屋	240		
		四日市	45		
		衣浦	31		

°……力学試験関係なし 試料合計数 3,160

表-2.2 試験別試料数

種 類	試料数
塑性図	2,172
圧密係数, 体積圧縮係数と分類特性が共に求められたもの	270
圧縮指数, 圧密降伏応力と分類特性が共に求められたもの	574
一軸圧縮強さと分類特性が共に求められたもの	1,931
土粒子比重の頻度分布	2,073
体積圧縮係数の頻度分布	310

は、ふるいによって直接粒径が求められ、れき、砂に分類される。細粒土は比重計による沈降分析によって求められた粒径からシルト、粘土に分類され、その割合いを三角座標上にプロットして詳細に命名される。しかし、細粒土の工学的性質は、粒度との対応が悪く土の性質を示す指標とはならないことから最近では、土のコンシテンシーによって土を分類する方法いわゆる土質工学会基準の日本統一土質分類法²⁾の塑性図が重要な意味をもつようになってきた。

今回は、そのことを踏まえて、当研究室で処理された既存の2,172試料すべてについて塑性図上にプロットした。それを図-3.1に示す。

この図はカサグランデの塑性図³⁾を基本にして日本の土質に最も対応のよいものに修正されたもので、原典の塑性図のA, B線にC, D, E線が追加された。カサグランデは、土の性質の異なる一つの境界としてA線を示したが日本の土質、主として海成粘土については、A線近傍の上下であっても、工学的性質に有意な相異が認められないことから、C, D線が設けられ、A線より上限のCHの土と同じグループとして取扱うことにした。しかし、A線の下でC, D線内にあることを示すためにC'Hと表示して区別された。なお、このC, D線は、港湾地域のものを整理した図-3.1をもとにして引かれたものである。また、E線は、今回の内容に直接関係しないので詳細な説明は割愛するが、火山灰質粘性土(VH)は、液性限界 w_L 80%を境にして性質が異なることから設けられたものである。

図-3.1からわかることは、今回整理したほとんどの試料がA線を中心に両方に分布しているが、とくに液性限界 w_L 100%±30%あたりはA線の下のいわゆるC, D線内に分布するものが多い。また、液性限界 w_L 、塑性指数 I_p が増大するにつれてA線から上方に離れる傾向がみられた。

この図は、全国的な試料を示すものであるから地域別

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

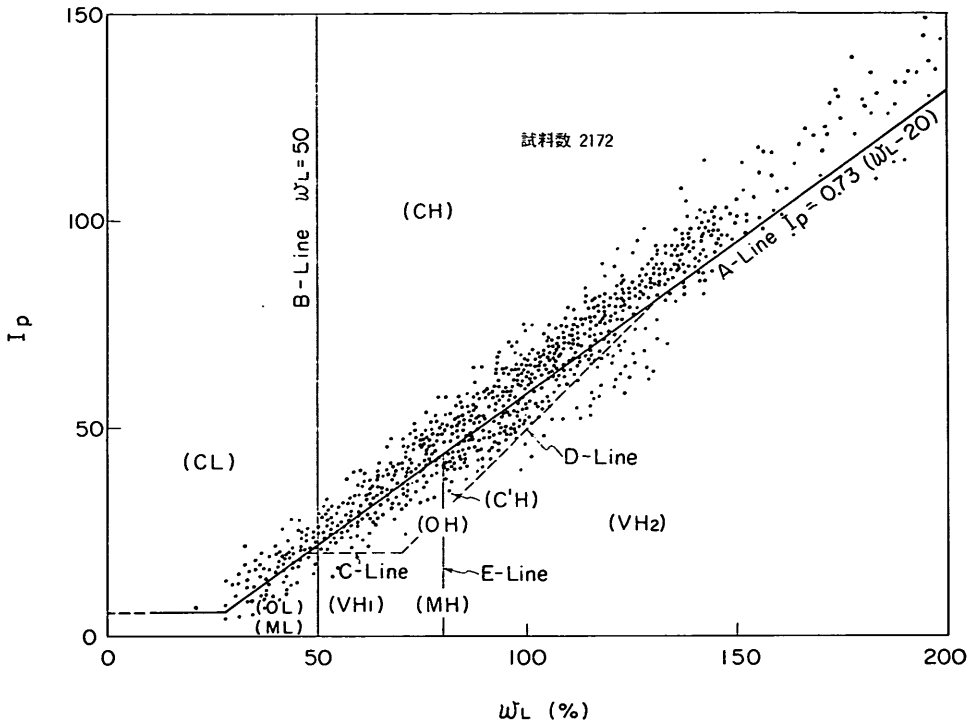


図-3.1 塑性図 (全試料)

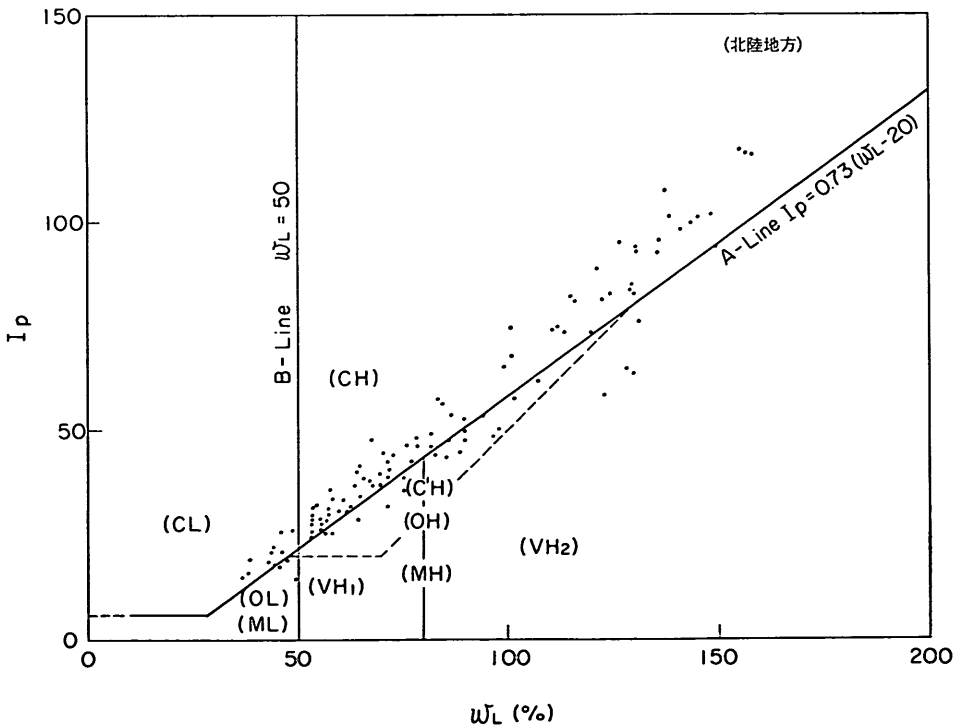


図-3.2 塑性図 (北陸地方)

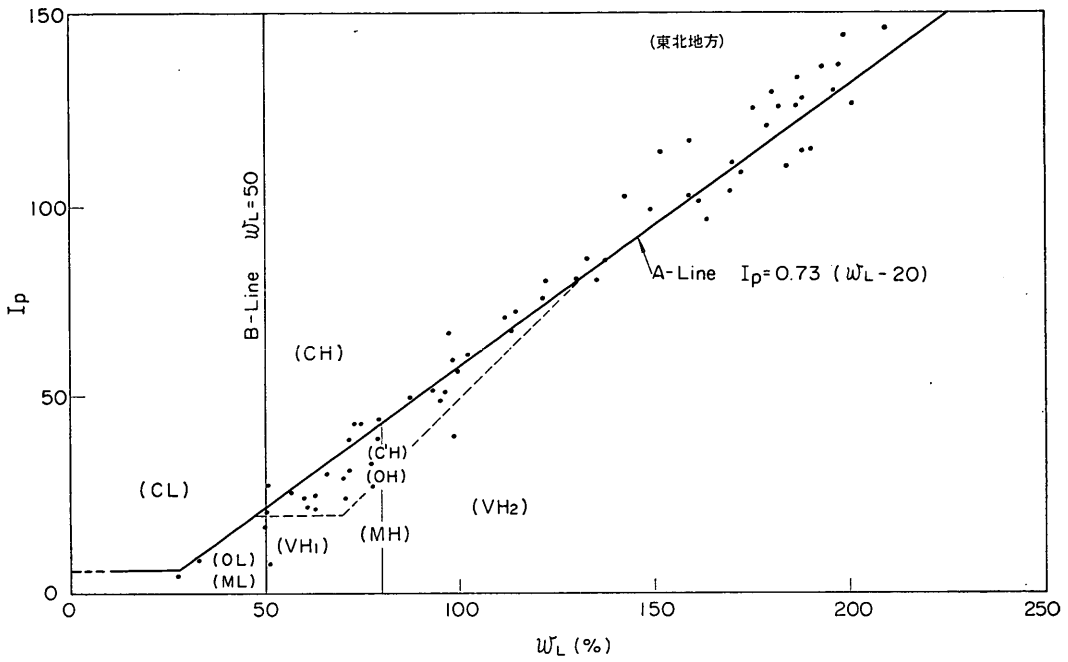


図-3.3 塑性図 (東北地方)

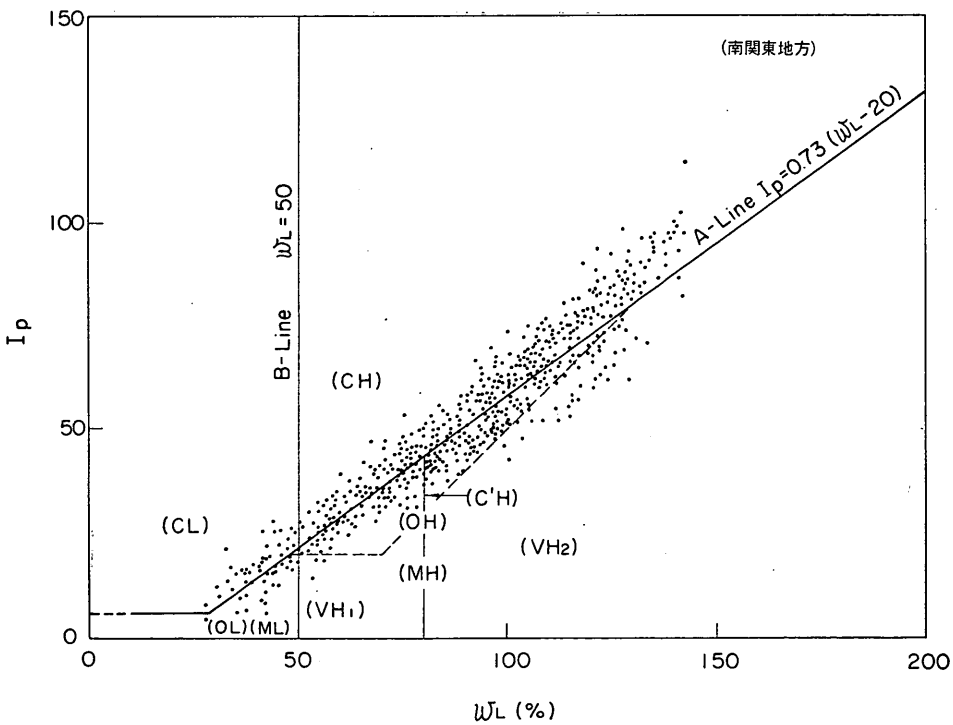


図-3.4 塑性図 (南関東地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

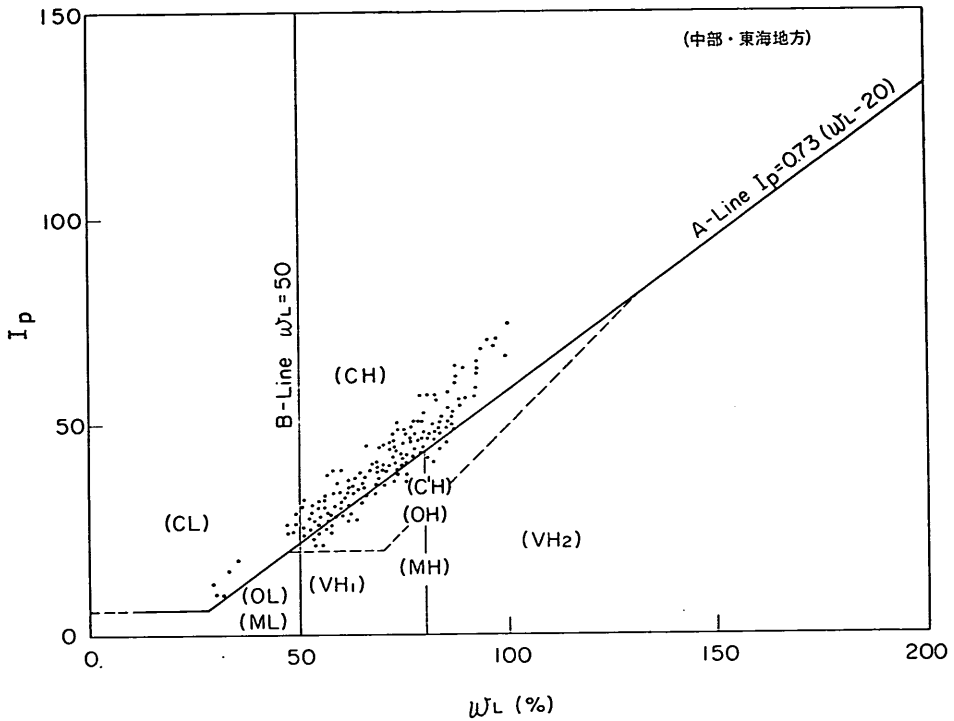


図-3.5 塑性図 (中部・東海地方)

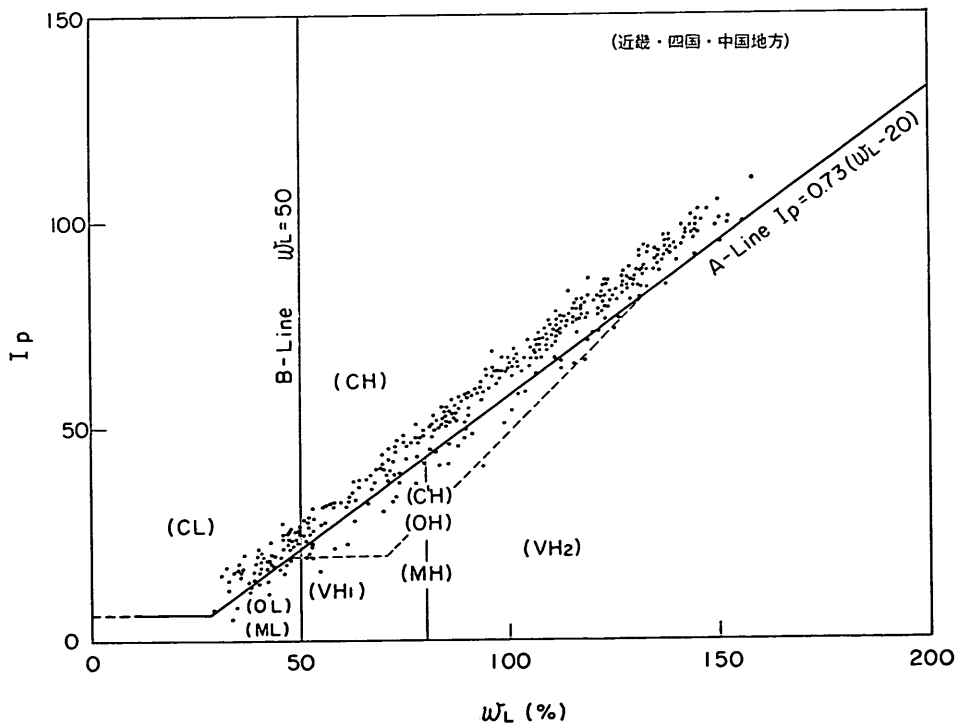


図-3.6 塑性図 (近畿・中国・四国地方)

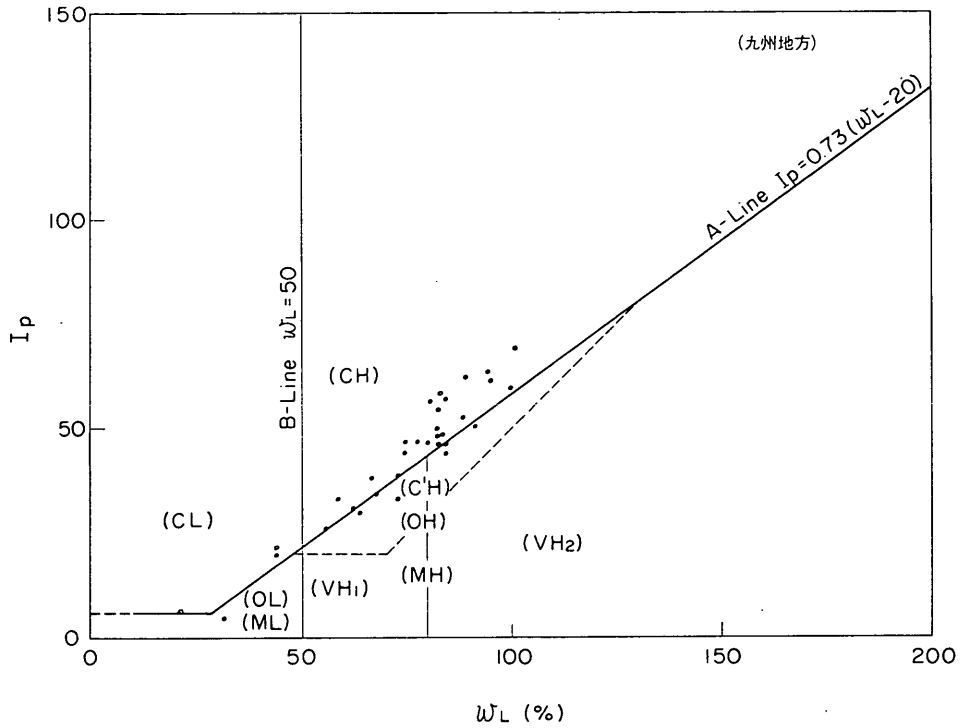


図-3.7 塑性図 (九州地方)

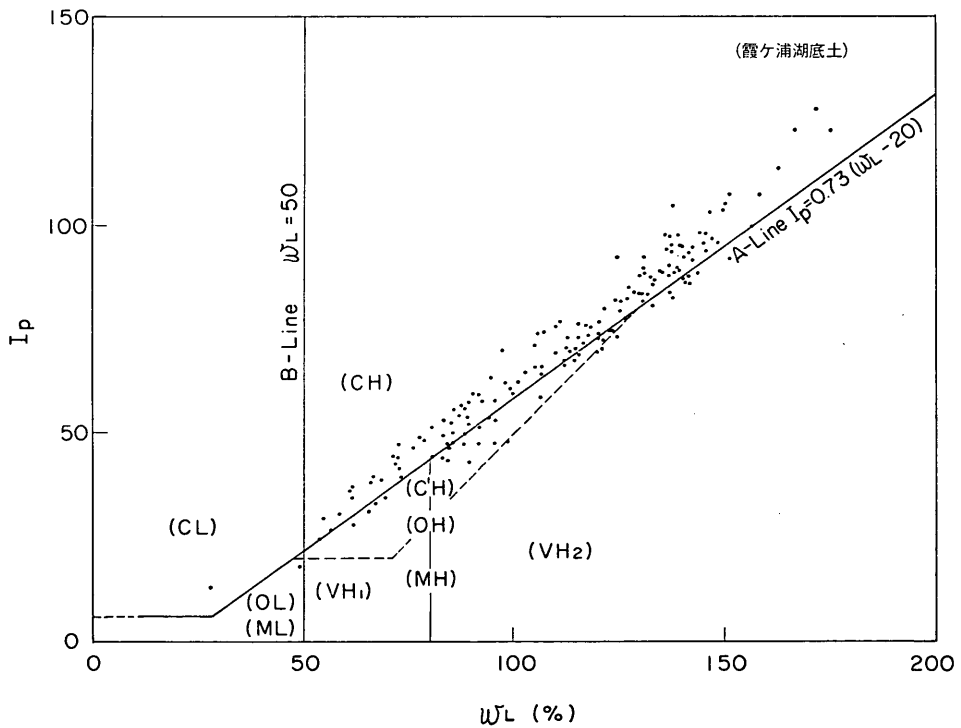


図-3.8 塑性図 (霞ヶ浦湖底土)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

の特徴をみるために、全体を6地方に大きく分割し、それぞれについて整理した。それを図-3.2~3.7に示す。また、霞ヶ浦湖底土は港湾地域の範ちゅうではないが、以前大々的な土質調査が行われデータ数も豊富かつ測定値もバライアビリティに富んでいるので、圧縮特性、圧密特性の検討に加えた関係から分類特性についても示すことにした。これを図-3.8に示す。

図-3.2~3.8が示すように、地方別に分けると試料数

3.2 土粒子比重の頻度分布

土粒子比重 G_s は、土の基本的性質である間げき比 e 、飽和度 S_r の計算に不可欠なものであり、土を構成する鉱物組成によって異なることは当然である。しかし土粒子群の平均値であるため、鉱物そのものの比重でないことに注意する必要がある。

土粒子比重の頻度分布については、前回にも報告したが、それと異なる点はさらに500試料程度追加して2,073

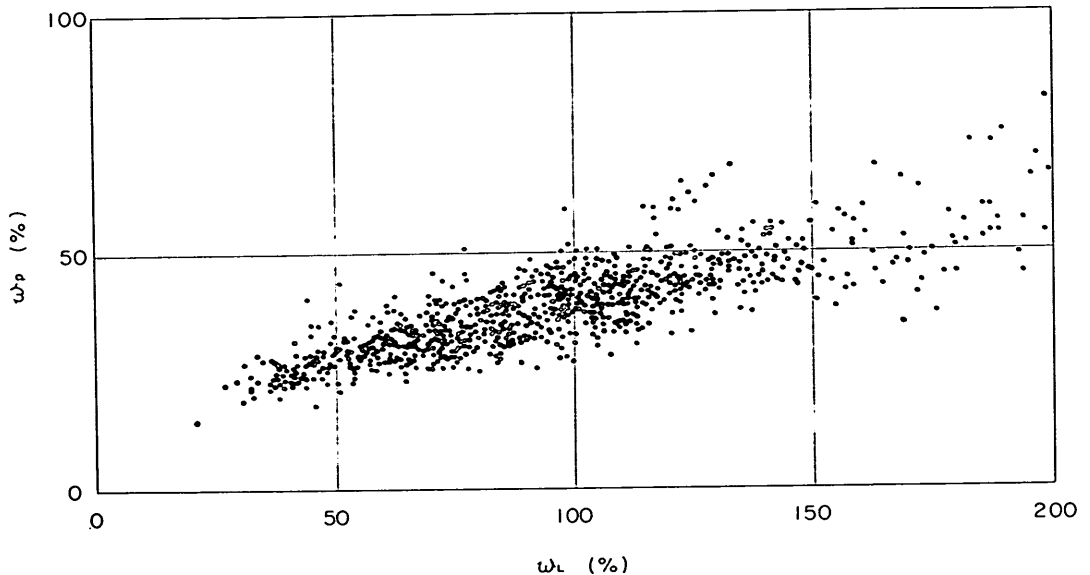


図-3.9 液性限界と塑性限界の相関図

の少ない東北、九州地方などはその特色をみることはできないが、試料数の比較的多い、南関東地方と近畿、中国、四国地方についてみると、前者は、A線をはさんでほぼ均等に分布しているのに対し、後者は、そのほとんどがA線より上側に分布する傾向がみられる。この傾向は、関東以西についていえるようである。

参考として、液性限界 w_L と塑性限界 w_p の相関を図-3.9に示す。

図-3.10に日本統一土質分類法の三角座標に対し整理したものを示す。細粒土は、コンシステンシーによって分類する方法が確立している現在、粒度による分類は不適当であるかも知れないが、依然として比重計を用いて粒度分布（粒径加積曲線）は調べられているので、歴史のある三角座標上に、プロットしてその存在位置を確かめることは無意味とは思われない。その評価については種々の考え方があろうからここでは考察は加えずプロットのみにとどめた。

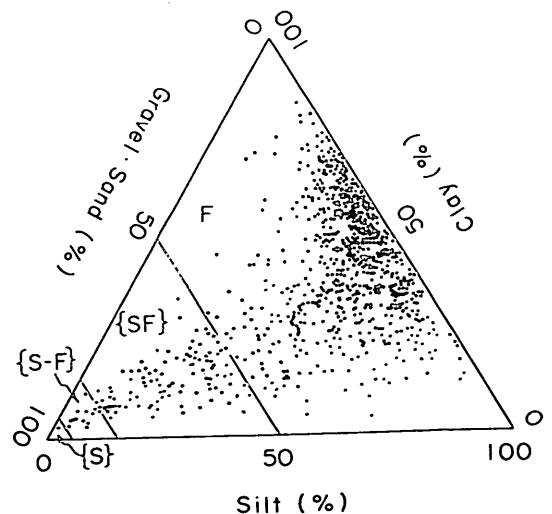


図-3.10 三角座標（全試料）

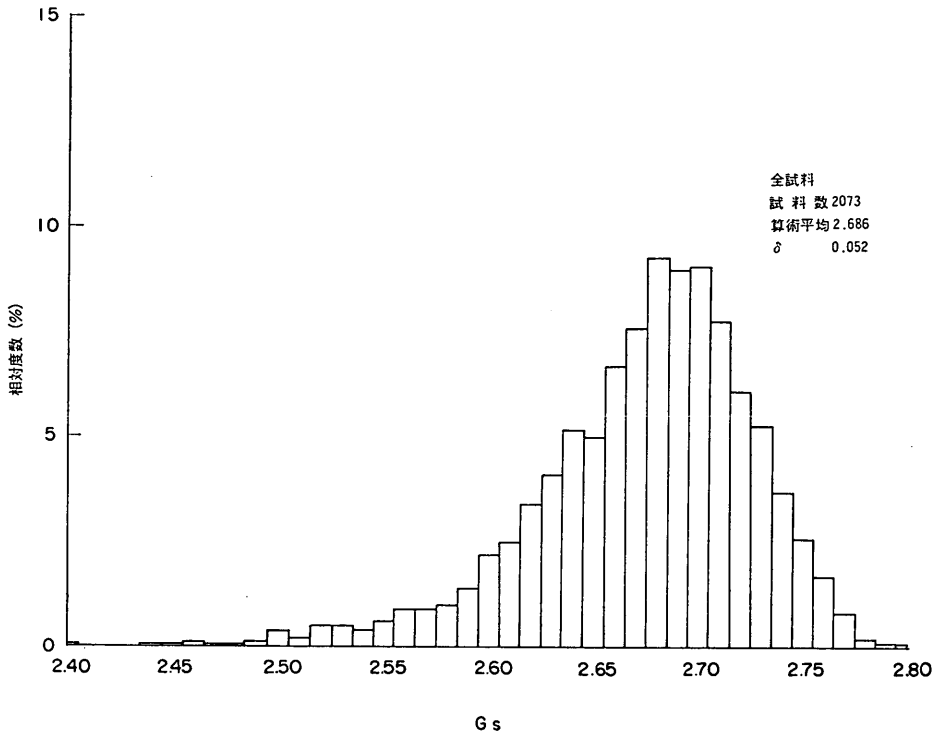


図-3.11 土粒子比重の頻度分布図 (全試料)

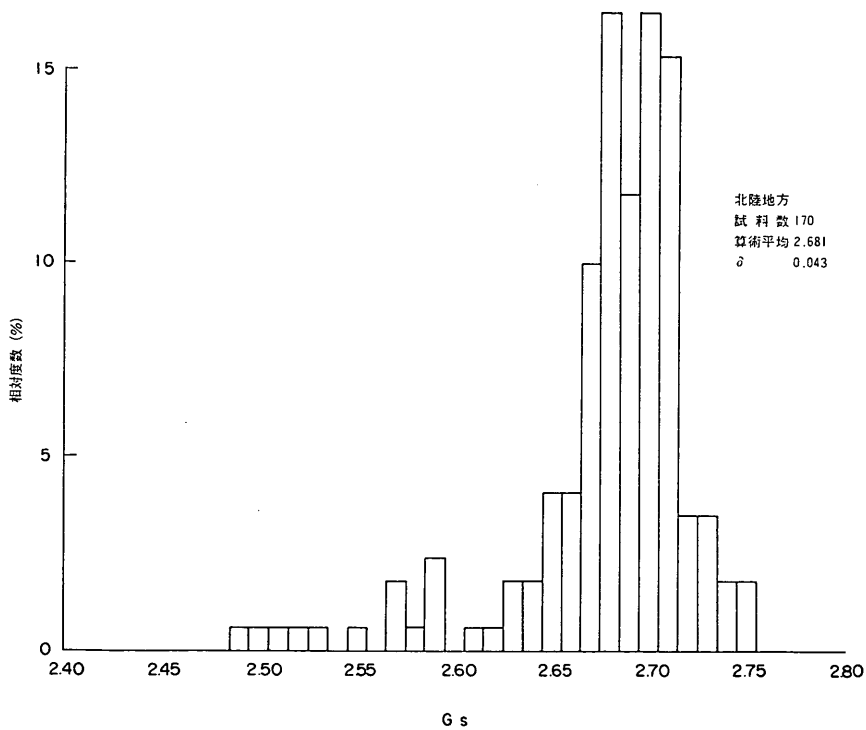


図-3.12 土粒子比重の頻度分布図 (北陸地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

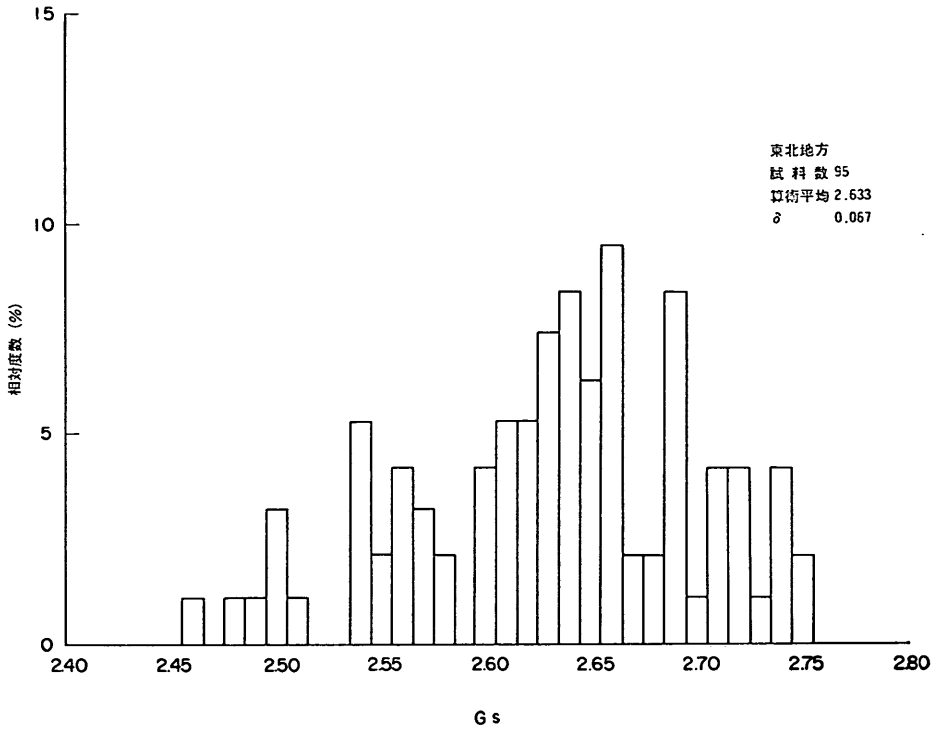


図-3.13 土粒子比重の頻度分布図 (東北地方)

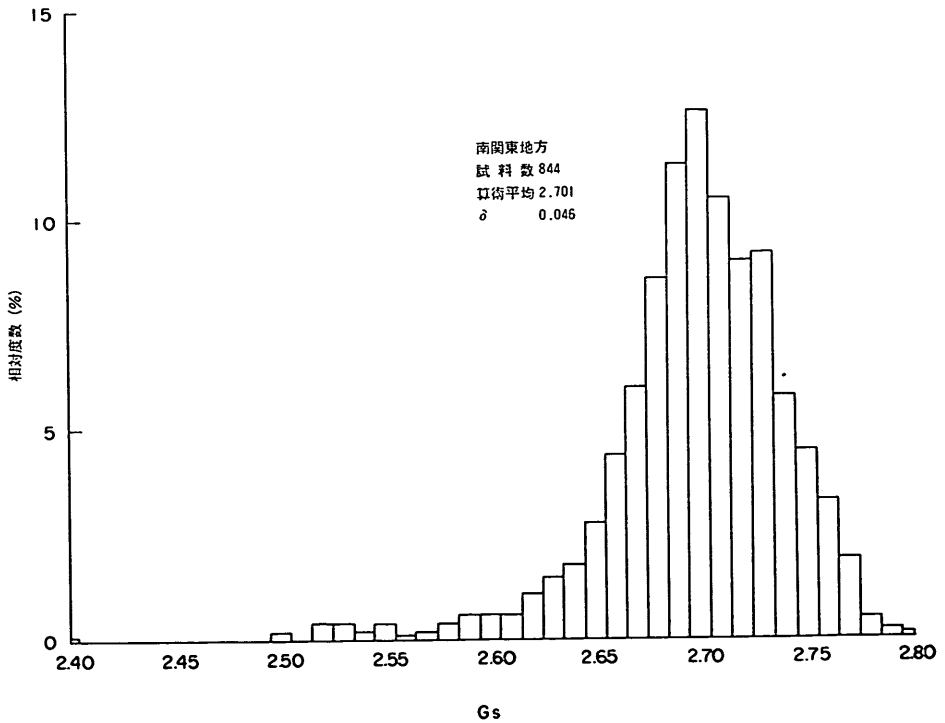


図-3.14 土粒子比重の頻度分布図 (南関東地方)

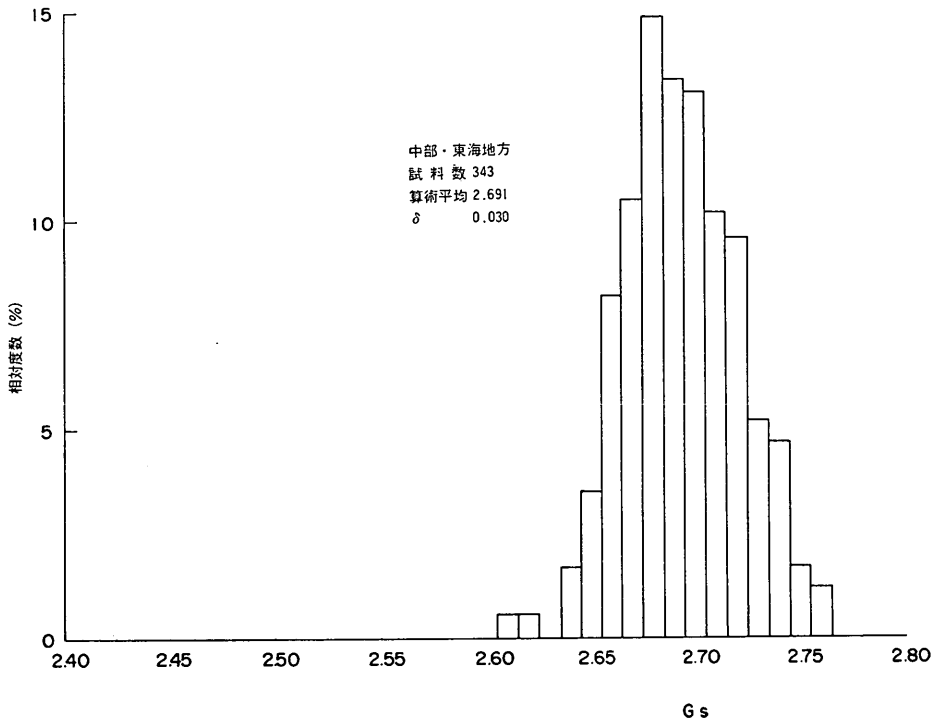


図-3.15 土粒子比重の頻度分布図 (中部・東海地方)

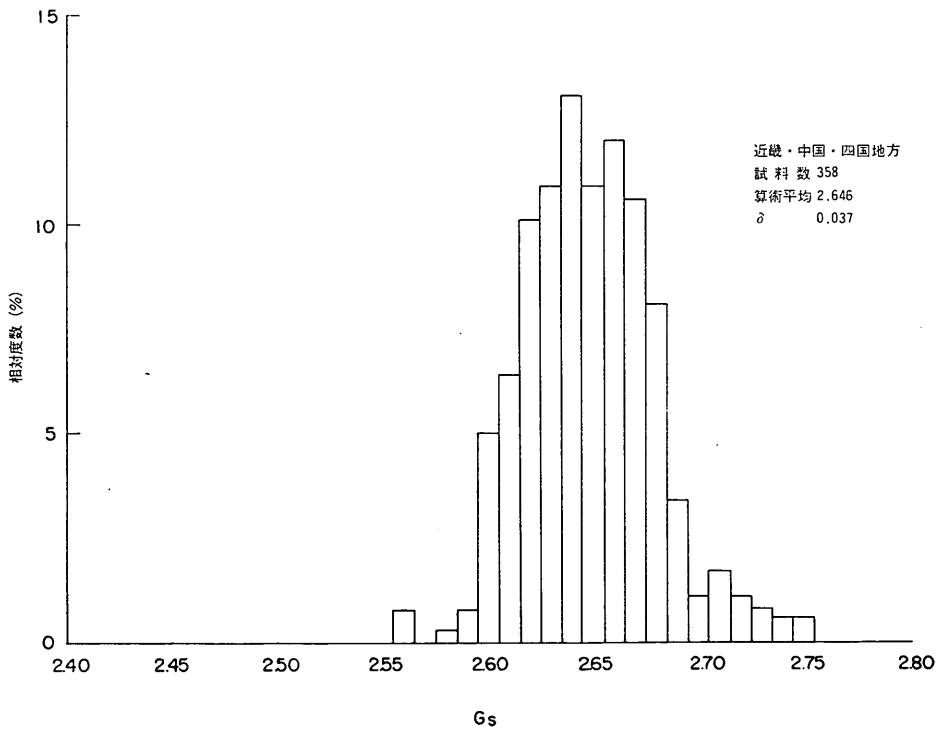


図-3.16 土粒子比重の頻度分布図 (近畿・中国・四国地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

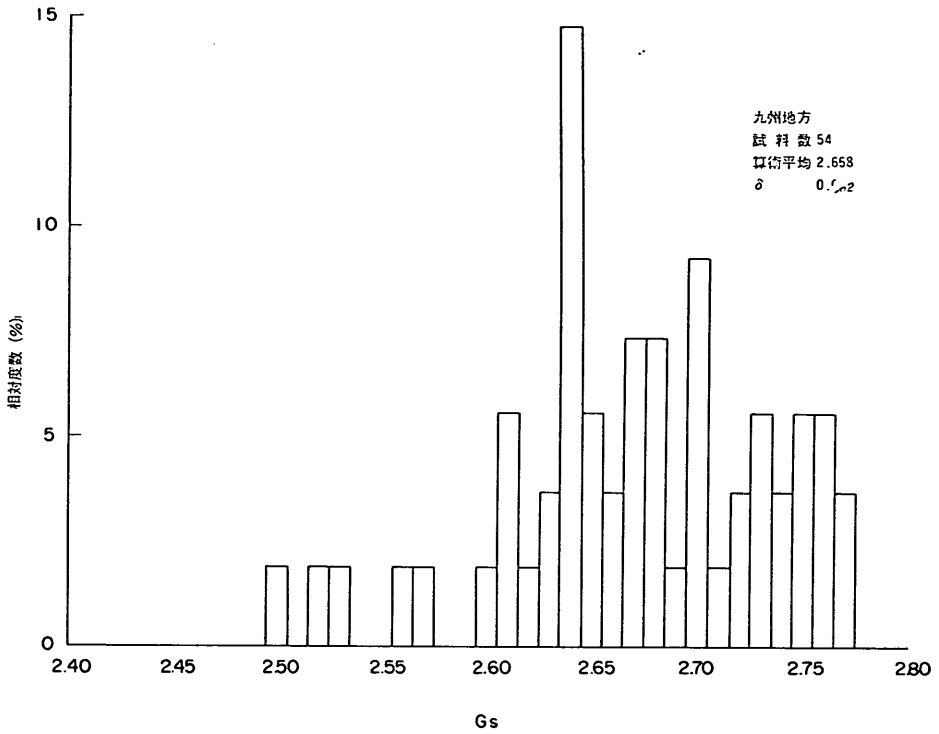


図-3.17 土粒子比重の頻度分布図 (九州地方)

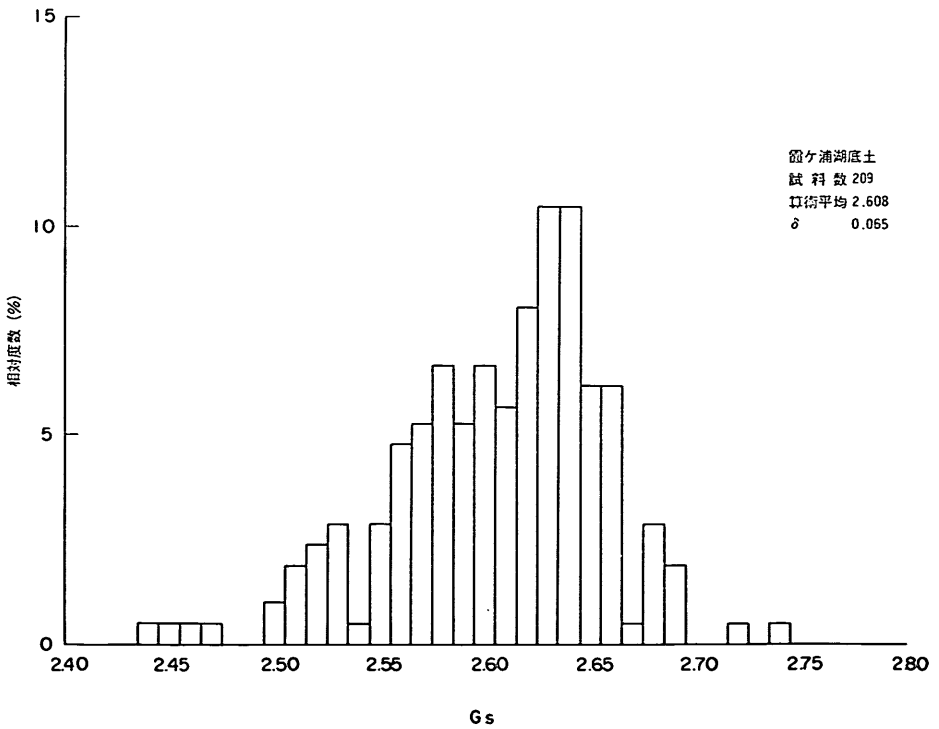


図-3.18 土粒子比重の頻度分布図 (霞ヶ浦湖底土)

試料としたこと、および地方別に分割して頻度分布を求めたことである。全試料の頻度分布を図3.11に、地方別を図-3.12~3.18に示す。

図-3.11は、前回にくらべて極大値が平均化して2.686を示している。試料数が多くなればなるほど平均化してなだらかな正規分布曲線となるのは当然の結果であろう。

一方図-3.12~3.18に示す地方別のものは、試料数の少ないものもあり、頻度分布の精度上問題もあるが、これらの結果からいえることは、土を構成する鉱物の母材の違いによると思われる地方別の特色がみられる。すなわち、東北、九州は試料数も少なくはっきりしたことはいえないが、土粒子比重のばらつきが大きく、極大値も明確でない。これは、両者とも有機質土の多い地方であることから理解できよう。また、霞ヶ浦湖底土については、ややそれらと似た傾向を示しており、極大値も2.63~2.64と小さめの値である。しかし、南関東地方、中部、東海地方、近畿、中国、四国地方は試料数も多く比較的よい分布を示している。試料数は少ないが北陸地

方についても同様のことがいえる。極大値に着目すると南関東地方は、2.70、中部、東海地方および北陸は、2.68、近畿、中国、四国地方は、2.64と西へ行くほど土粒子比重は小さくなる傾向がみられる。これは上述のように母材の影響を受けているためである。ちなみに南関東、東海地方に多い火山岩に属するいわゆる安山岩や玄武岩の平均的比重は2.7程度を示し、近畿、中国地方に多い深成岩に属する花崗岩の平均的比重は、2.6程度であることから妥当な値といえる。

4. 分類特性相互の相関性

4.1 含水比とコンシステンシーおよび単位体積重量の関係

港湾地域における粘性土は、飽和状態のものが多く、含有する水の量によって土の諸特性は支配されるといっても過言ではない。含水量を求める試験は、土質試験の中でもっとも単純で個人差がない。このような単純な測定値から複雑な試験過程を経て得られる諸数値が推定できれば便利であることは誰も考えることである。そこ

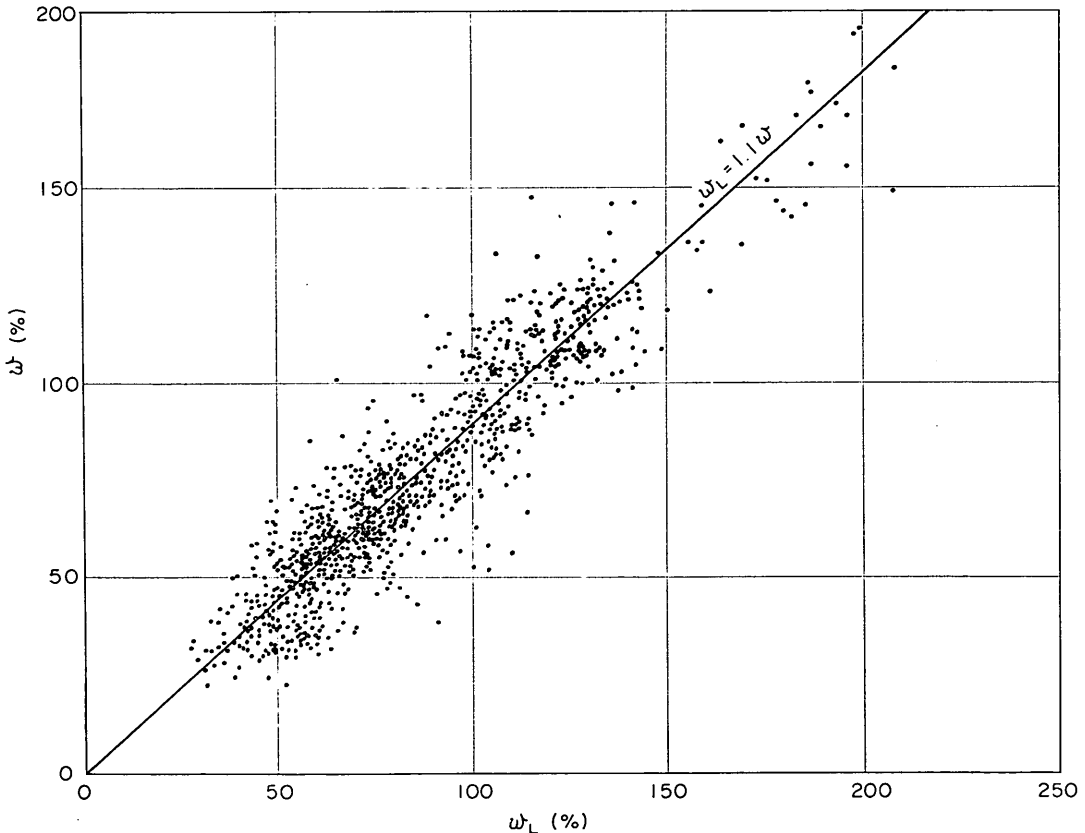


図-4.1 含水比と液性限界の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

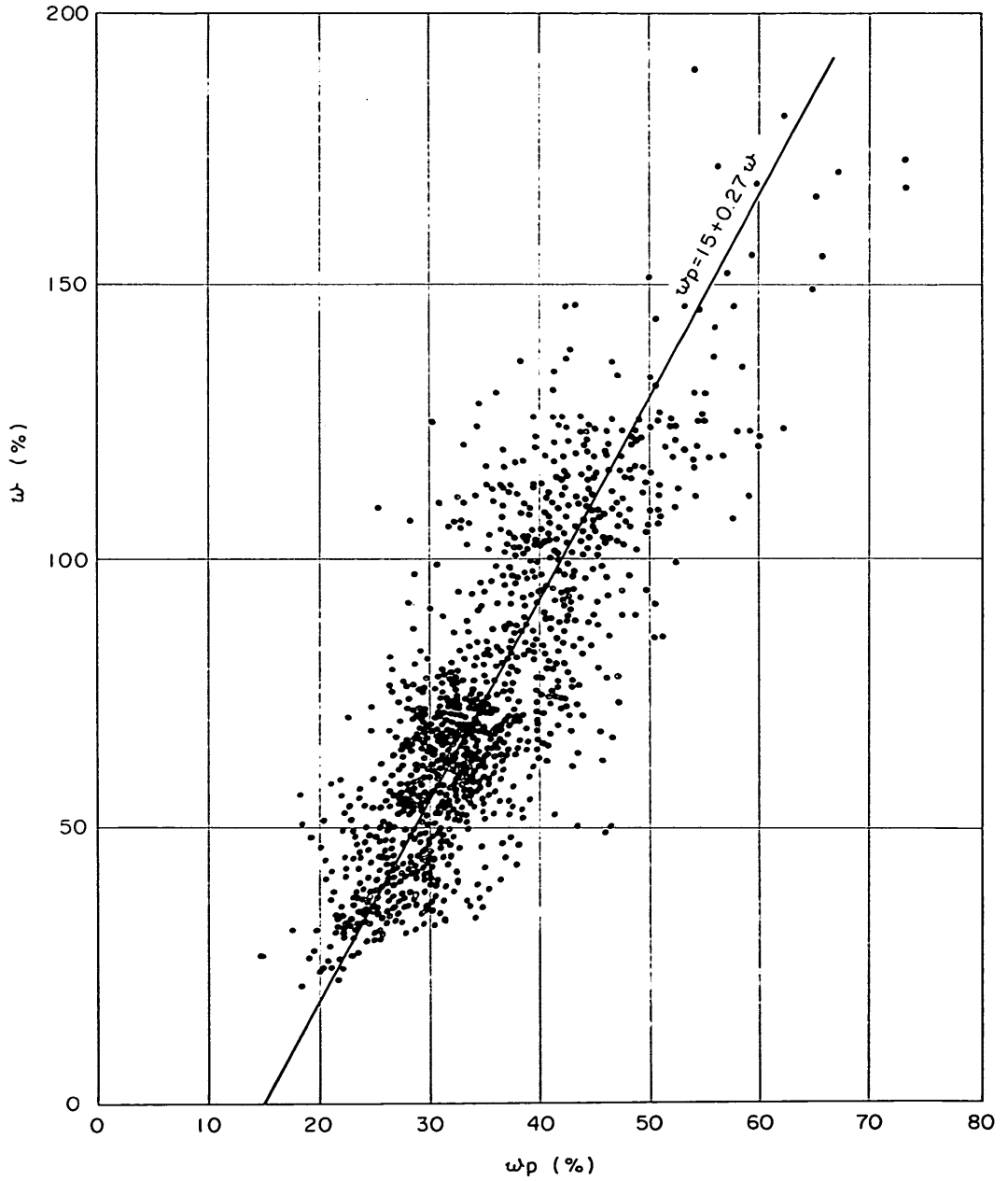


図-4.2 含水比と塑性限界の相関図

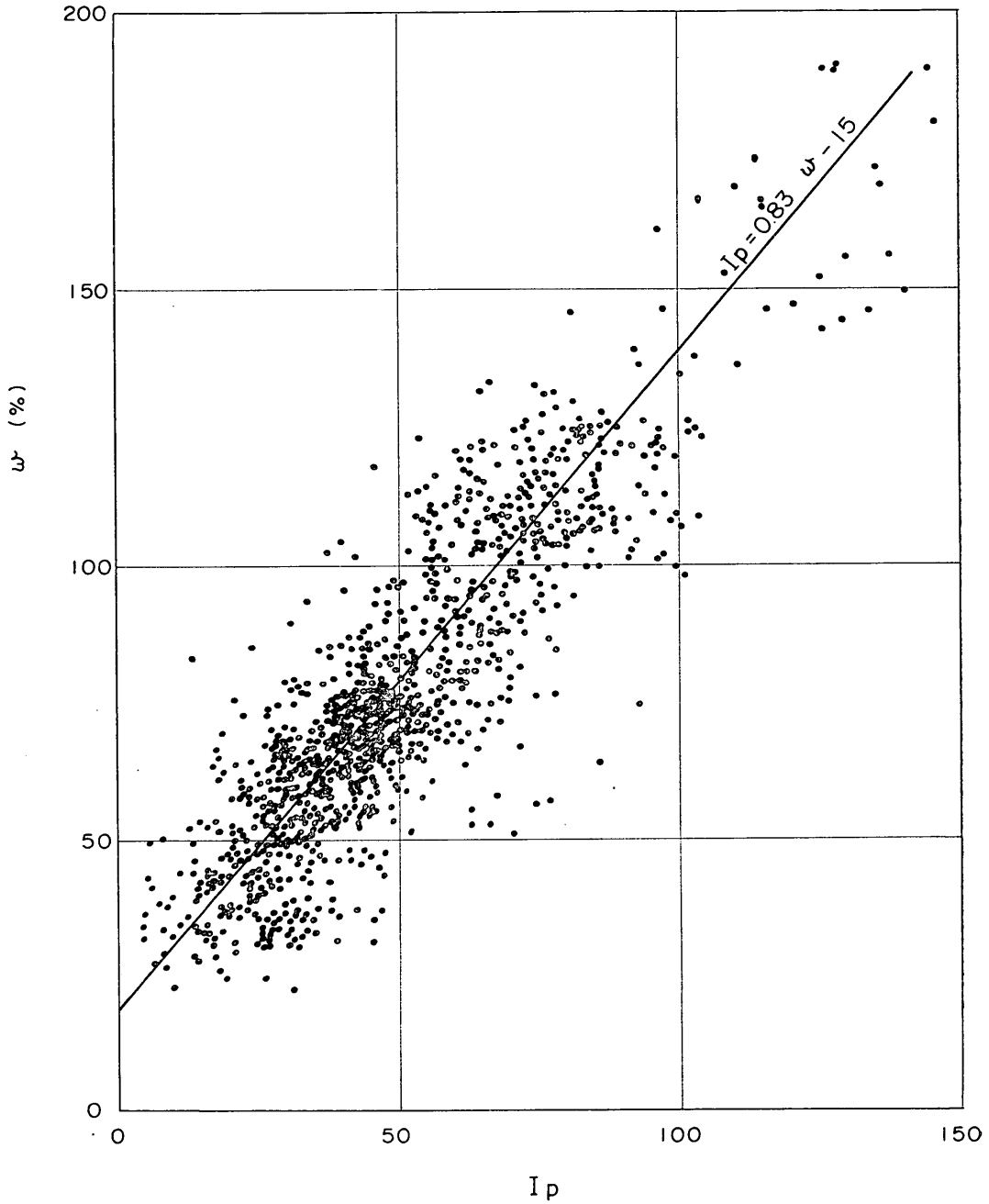


図-4.3 含水比と塑性指数の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

で、含水比 w と液性限界 w_L 、塑性限界 w_P 、塑性指数 I_P いわゆる土のコンシステンシーの関係について調べた。それを図-4.1, 図-4.2, 図-4.3に示す。

図-4.1, 4.2, 4.3にみられるように、いずれもバラツキはあるがほぼ直線的な関係にあり、次式で表わすことができる。

$$\begin{aligned} w_L &= 1.1w \\ w_P &= 0.27w + 15 \\ I_P &= 0.83w - 15 \end{aligned}$$

含水比と単位体積重量の関係は、土粒子比重 G_s 、飽和度 S_r から式(1)で表わすことができる。

$$\gamma_t = \frac{G_s(1+w)}{1 + \frac{G_s \cdot w}{S_r}} \text{ (gf/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

この関係を図-4.4に示す。図中実線は、上式から、

$G_s=2.9\sim 2.5$ の範囲について飽和度100%の条件について求めた理論曲線である。

図-4.4からわかるように、実測値は理論曲線に対しばらつきはあるものの比較的よい一致を示し、 $w\sim\gamma_t$ の測定値チェックに活用できよう。

また、単位体積重量を含水比の対数との関係でプロットした図-4.5からは、次の関係が得られた。

$$\gamma_t = 3.24 - 0.907 \log w$$

これらの関係式から単純な操作によって得られる含水比 w を知ること、コンシステンシー w_L, w_P, I_P や単位体積重量 γ_t の概略値を予測することが可能となろう。

4.2 間げき比とコンシステンシーの関係

間げき比 e は、土の状態を表わす指標の一つで、土の強度、圧密特性および透水性など土の力学特性を支配す

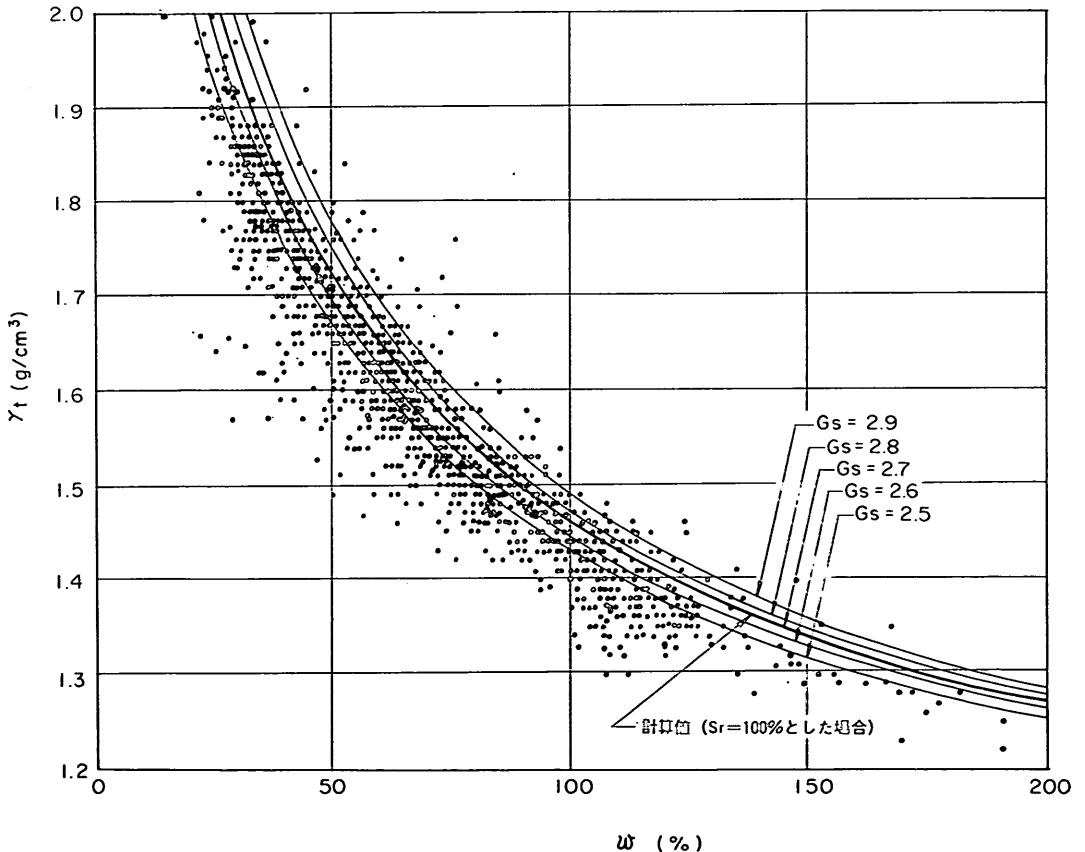


図-4.4 含水比と単位体積重量の相関図

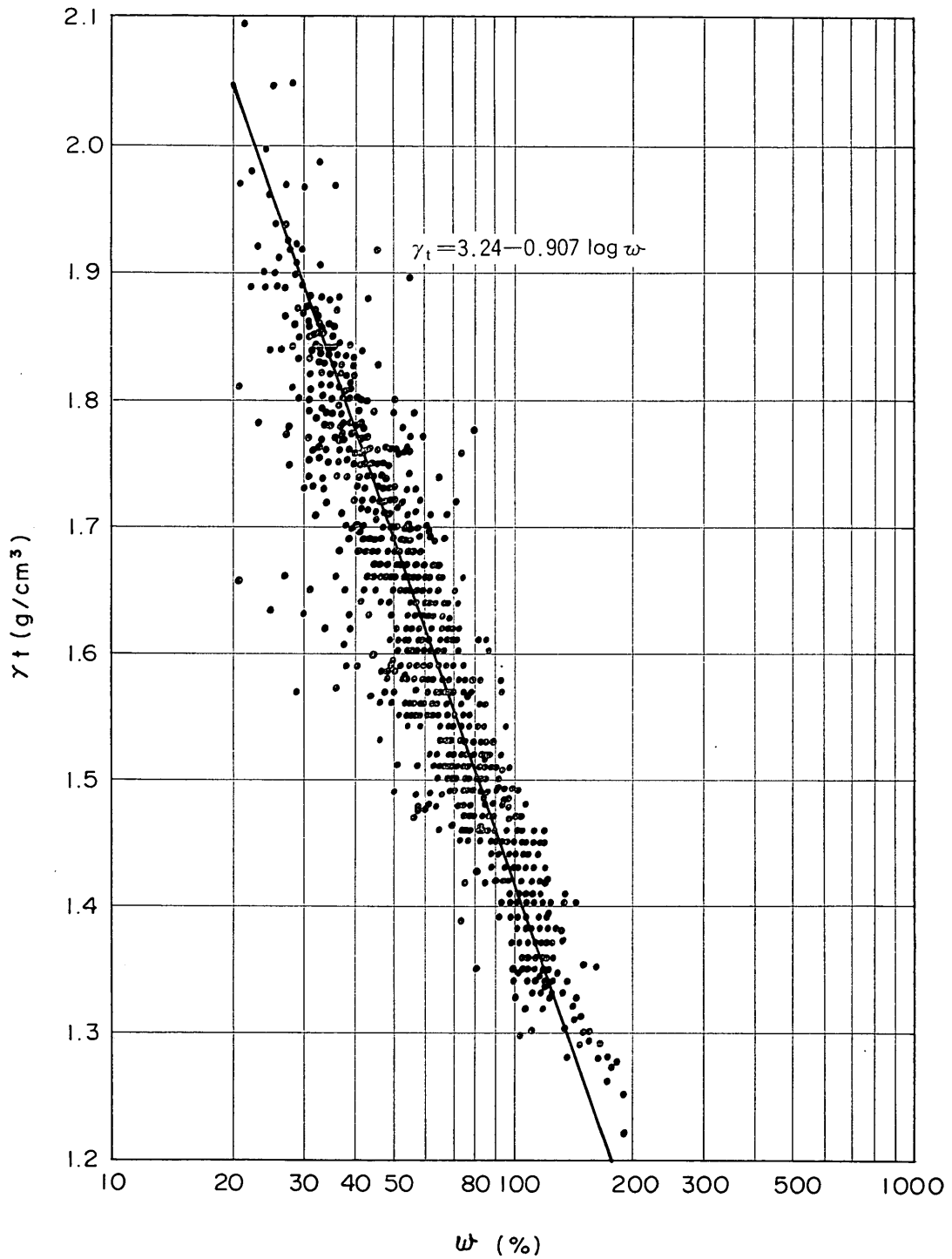


図-4.5 含水比と単位体積重量の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

る重要な定数である。

港湾地域における土の間げきは水で満されている。いわゆる飽和状態にあるのが普通で、含水量と密接な関連がある。すなわち飽和状態の粘性土の間げき比 e は、含有する水の量つまり含水比 w と土粒子比重 G_s から式(2)

により容易に求められる。

$$e = w \cdot G_s \dots \dots \dots (2)$$

このように含有する水の量によって左右される値であるからコンシステンシーと密接な関係にあることは容易に想像がつく。ここに間げき比 e と液性限界 w_L 、塑性

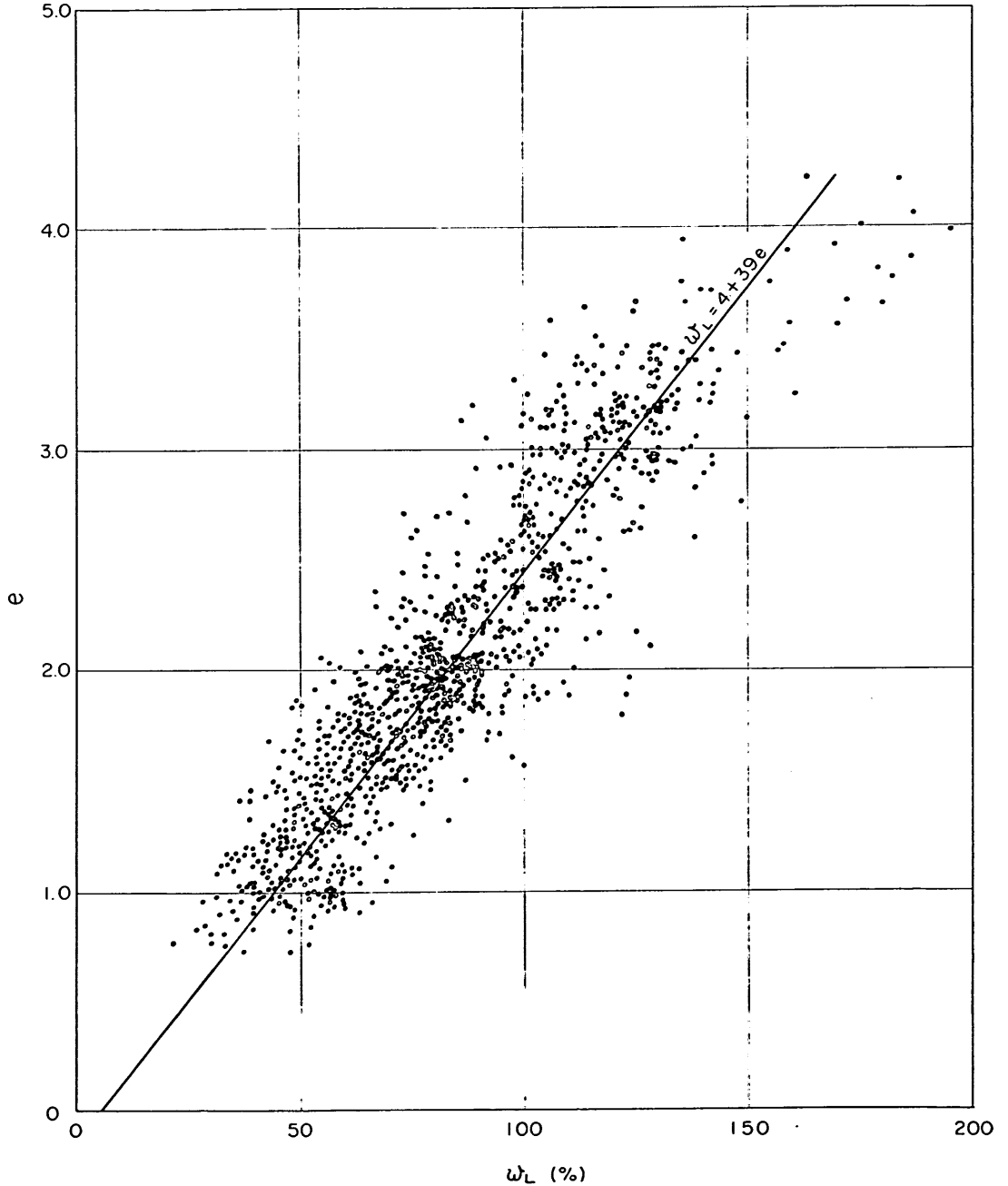


図-4.6 間げき比と液性限界の相関図

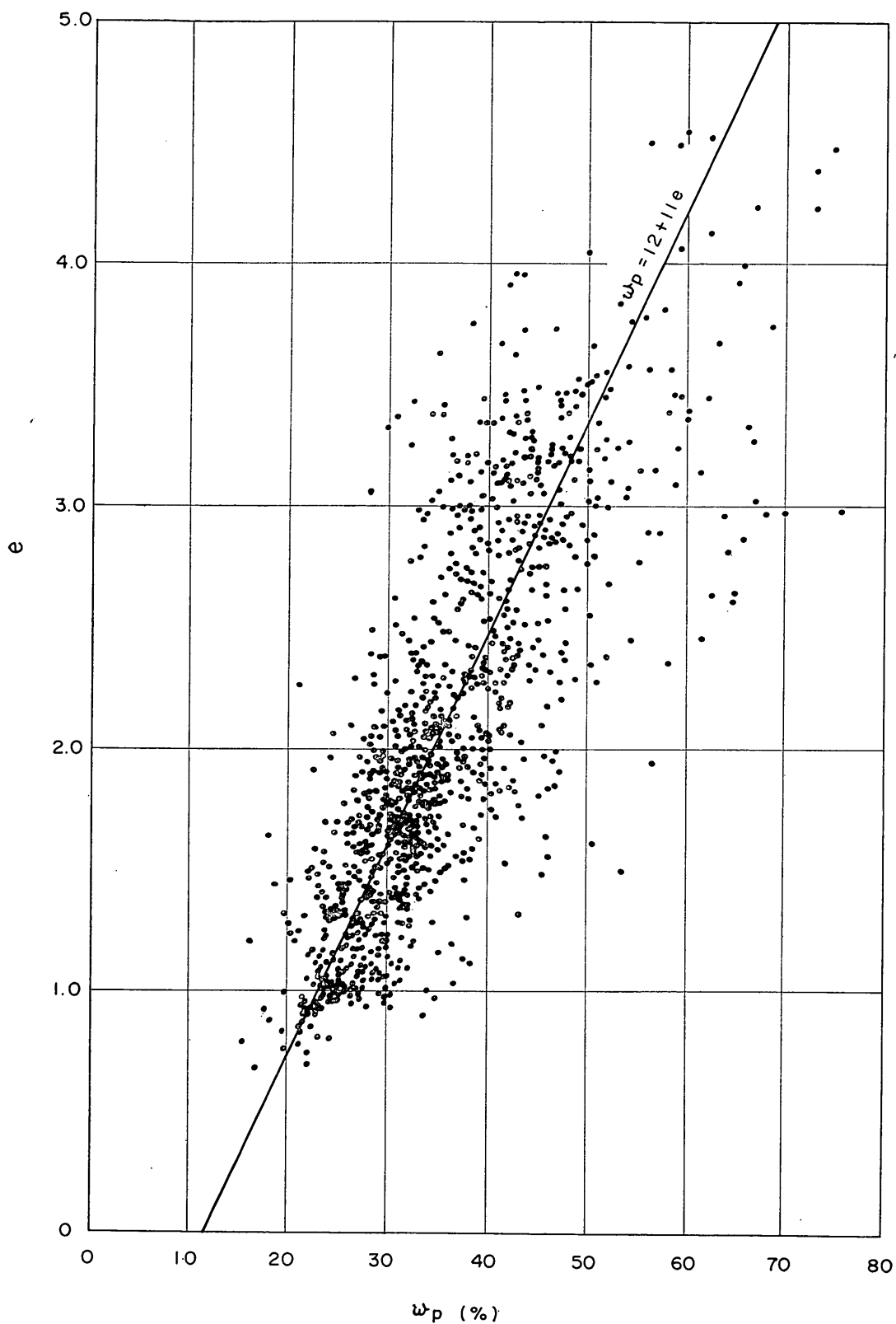


図-4.7 間げき比と塑性限界の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

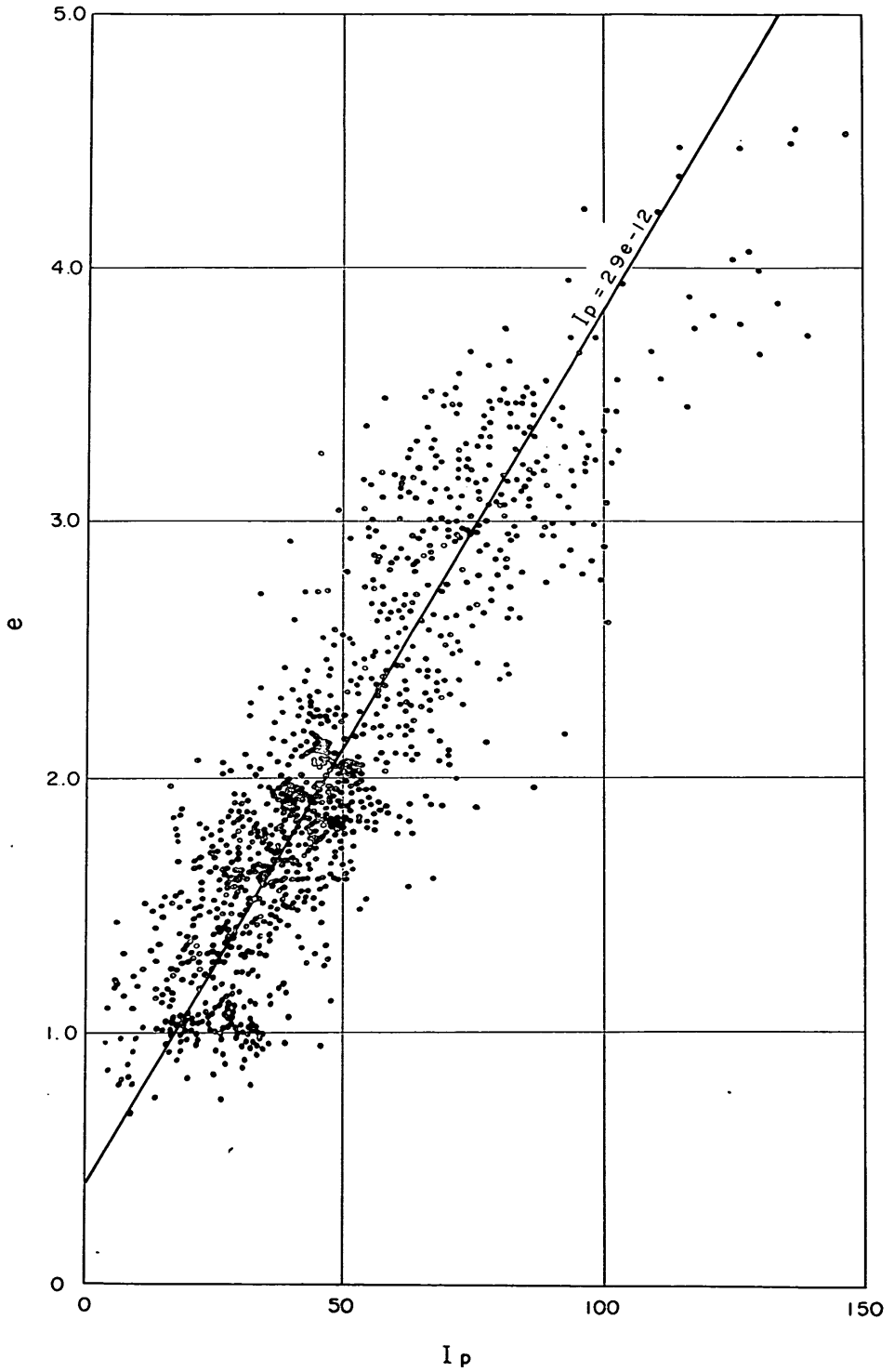


図-4.8 間げき比と塑性指数の相関図

限界 w_p , 塑性指数 I_p の関係について図-4.6. 図-4.7, 図-4.8に示す。

これらの図が示すように、ばらつき幅は大きいですが、比較的よい相関性がみられ、次式の関係が得られた。

$$w_L = 39e + 4$$

$$w_p = 11e + 12$$

$$I_p = 29e - 12$$

また、間げき比 e は、粘土含有量とも関連があり、図-4.9に示すように、粘土含有量が増大すると間げき比も増大する傾向がみられる。

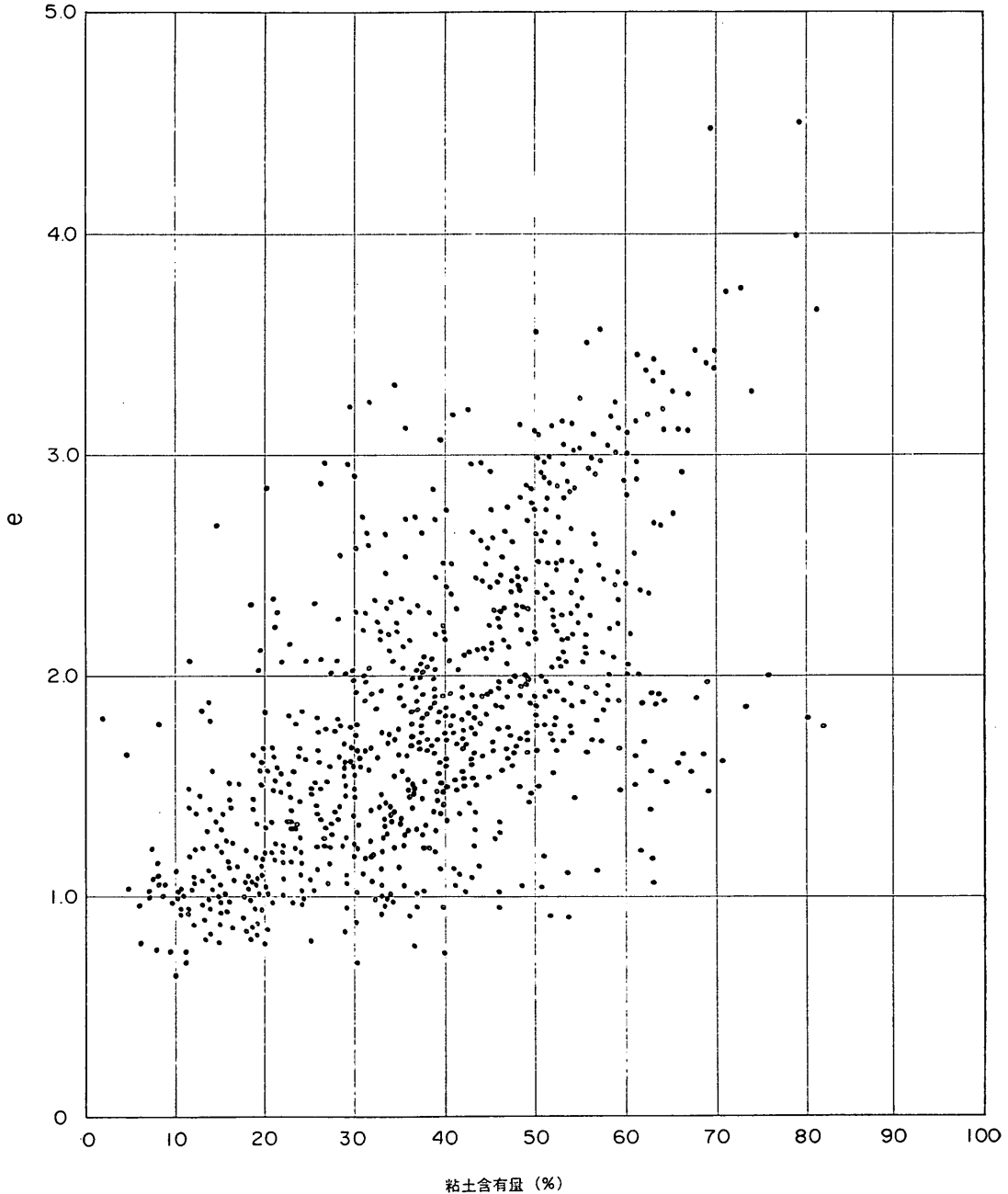


図-4.9 粘土含有量と間げき比の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

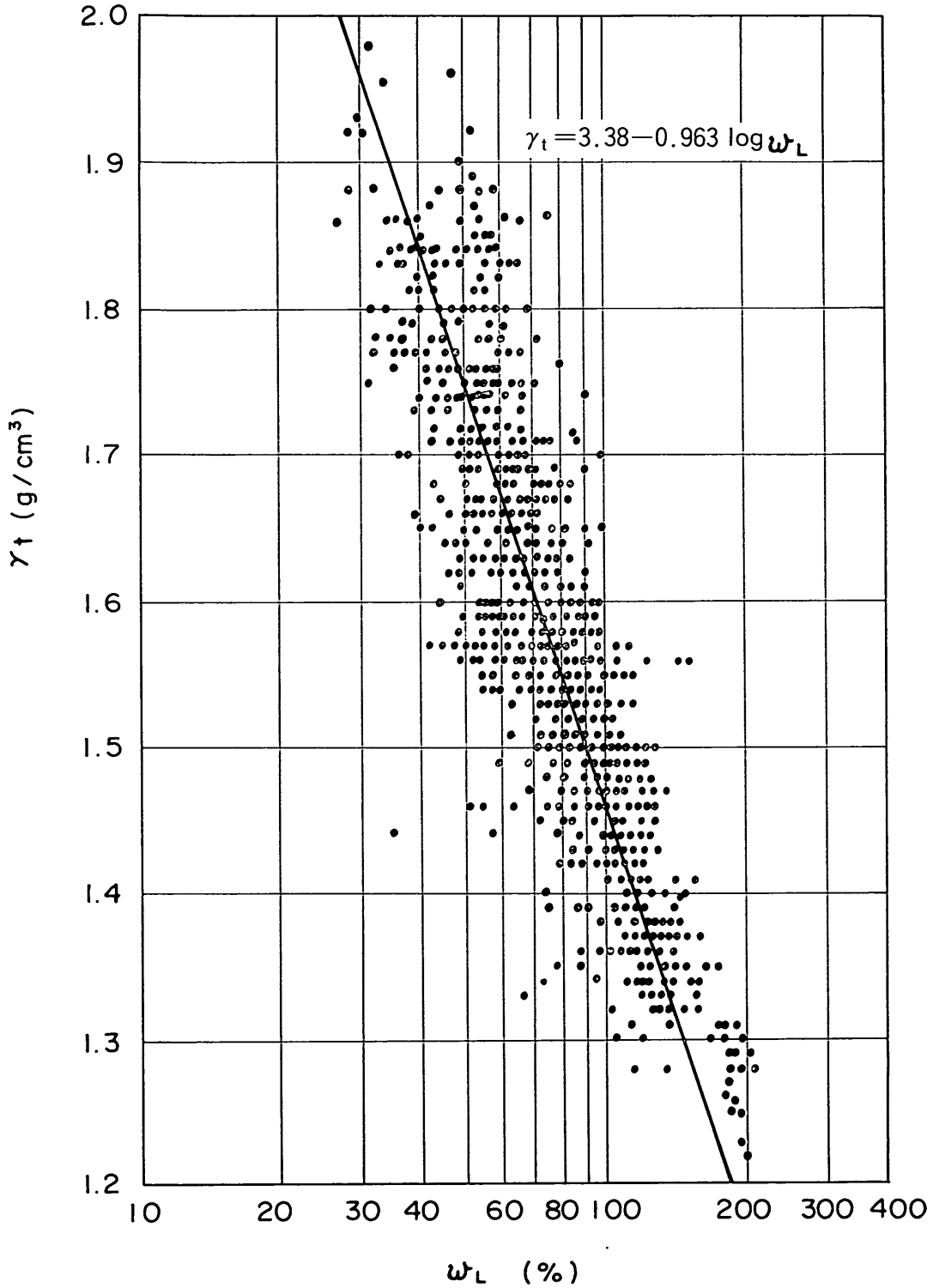


図-4.10 単位体積重量と液性限界の相関図

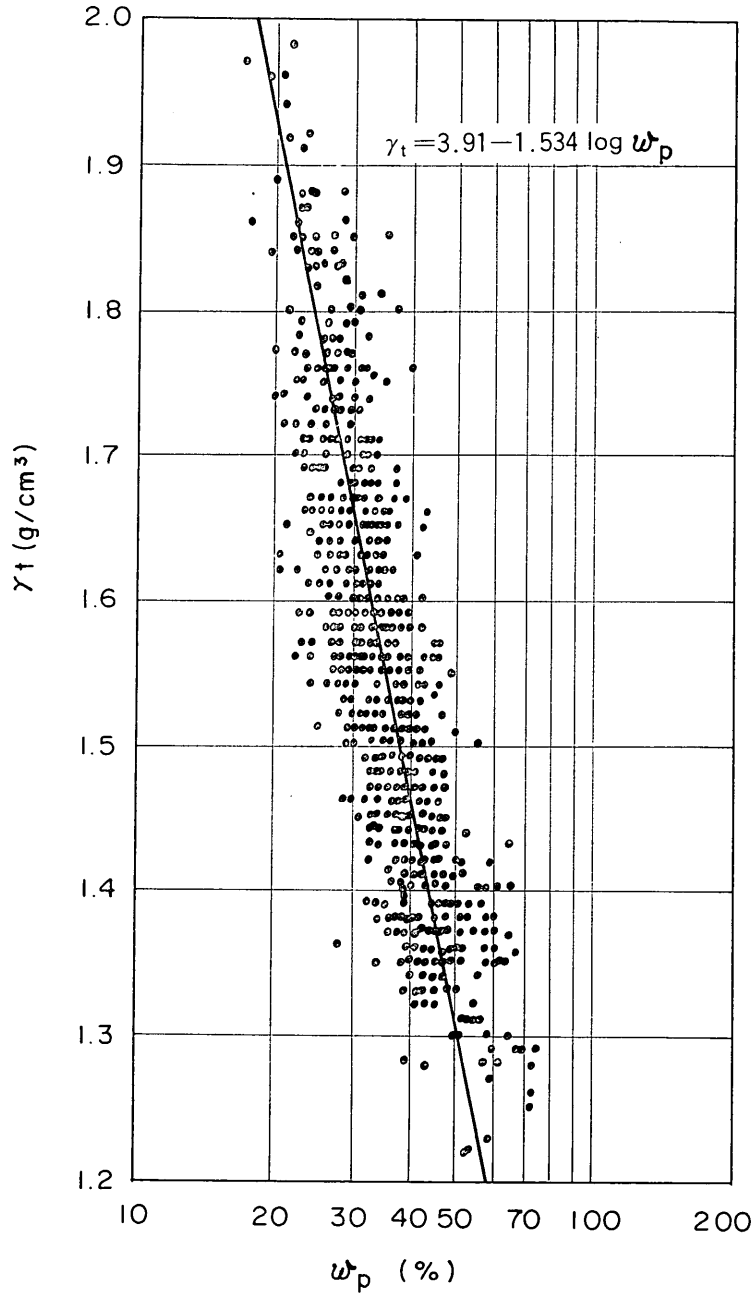


図-4.11 単位体積重量と塑性限界の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

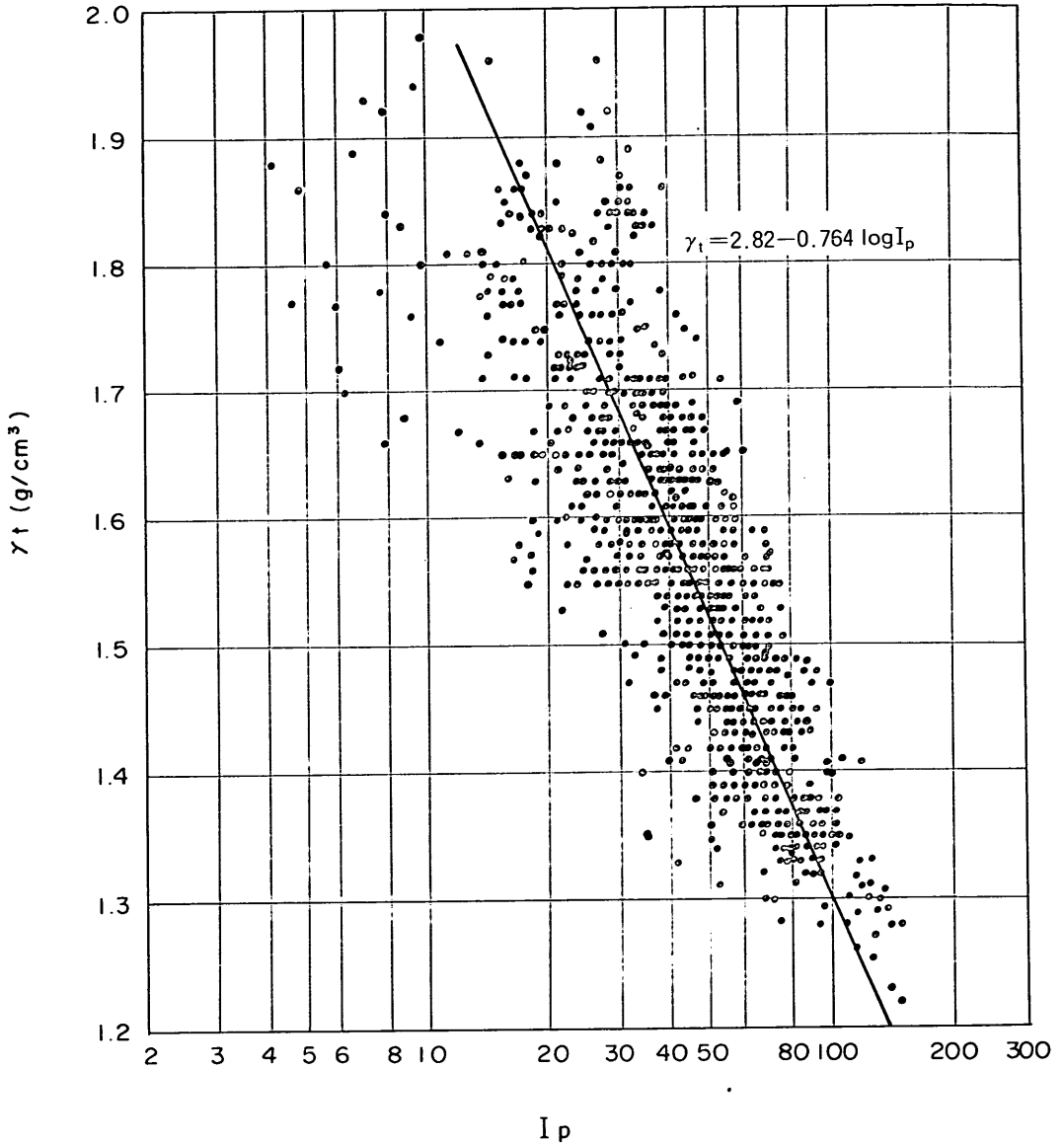


図-4.12 単位体積重量と塑性指数の相関図

4.3 単位体積重量とコンシステンシーの関係

単位体積重量 γ_t は、土圧、支持力、斜面安定、基礎地盤の沈下などの設計々算に必要な土の自重の算出に利用される重要な指標の一つである。

γ_t は、上述のように設計々算に直接的によく利用される指数であるが、乱さない試料から求められるため、乱さない試料のサンプリングという煩雑な過程を経て得られるので、乱した試料の指数からこの γ_t が推定できれば都合よい。4.1 で示したように γ_t は、含水比 w と関

係が深く、含水比 w とコンシステンシーの相関もよいことから γ_t とコンシステンシーとの間にもよい相関が予想される。

図-4.10、図-4.11、図-4.12 にそれらの関係を示す。

これらの図からわかるように、それぞれにはばらつきはあるが、コンシステンシー限界 (w_L, w_P, I_P) を対数目盛にとると、一応直線的な関係があり、 w_L, w_P, I_P の増大と共に γ_t は減少する傾向がみられ、次式が得られる。

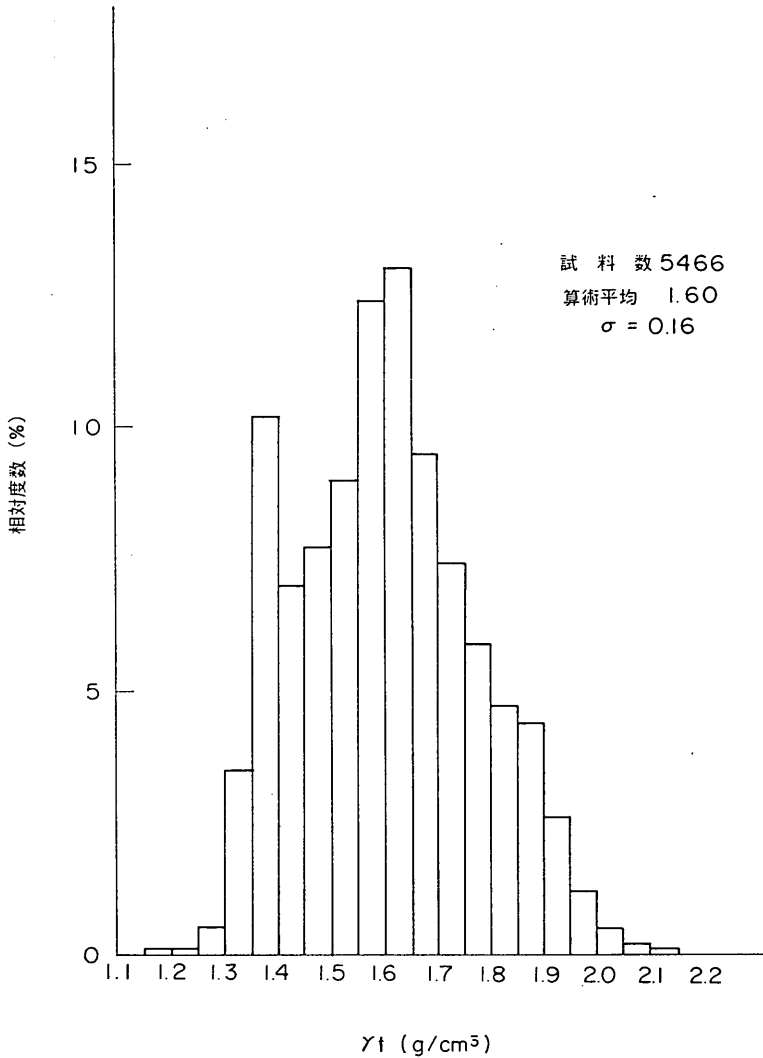


図-4.13 単位体積重量の頻度分布図

$$\gamma_t = 3.38 - 0.963 \log w_L$$

$$\gamma_t = 3.91 - 1.534 \log w_P$$

$$\gamma_t = 2.82 - 0.764 \log I_P$$

また、 γ_t の頻度分布を表-1の全試料およびそれ以外の試料をも含めて一括して整理した。これを図-4.13に示す。

図に示すように平均値 1.60 tf/m^3 標準偏差 0.16 を示しているが、筆者らの取扱った γ_t は、 $1.55 \sim 1.65 \text{ tf/m}^3$ の範囲のものが約 $1/4$ を占めていることがわかる。なお、 $\gamma_t = 1.35 \sim 1.40 \text{ tf/m}^3$ が突出した分布になっているのは、港湾地域特有の軟弱粘性土の多く存在することを示して

いるものと思われる。

また、 γ_t は粘土含有量や砂含有量と関連があり、図-4.14に示すように粘土含有量の多いものは小さく、砂含有量が多くなるにつれて大きくなる傾向がみられる。

5. 圧密特性と分類特性の相関性

圧密試験によって圧密諸係数を得るまでには、かなりの長い日数を要する。しかし、場合によっては試料を採取してすぐに圧密沈下に関する概算設計を行ないたいことも多く、乱した試料から簡易に得られる分類指数などから圧密諸係数を推定することができれば概算も可能と

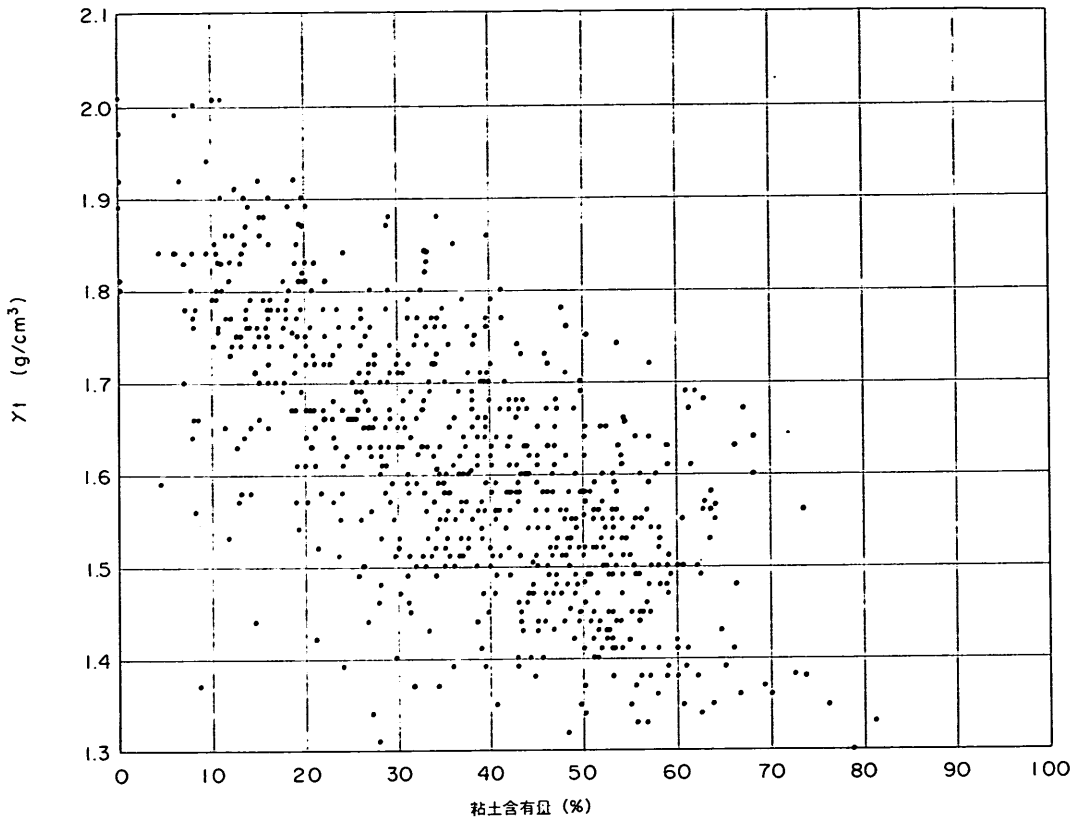


図-4.14 粘土含有量と単位体積重量

なり都合よい。このような観点から圧密諸係数と分類指数との相関について調べた。すなわち、圧縮指数 C_c 、体積圧縮係数 m_v 、圧密係数 c_c と、含水比 w 、間げき比 e 、単位体積重量 γ 、液性限界 w_L 、塑性指数 I_P の相関である。以下に順を追って述べる。

5.1 圧縮指数と分類指数の関係

圧縮指数 C_c は、土の圧縮性を表わすもので、圧密試験から得られる $e \sim \log p$ 曲線に現われる直線部の傾度をいい、直線上で2点の $e(e_a, e_b)$ とその e 点に相当する $p(p_a, p_b)$ を読みとれば式(3)により求められる。

$$C_c = \frac{e_a - e_b}{\log 10 \frac{p_b}{p_a}} \dots \dots \dots (3)$$

しかし、実際には、 $e \sim \log p$ 曲線の傾きは、求めやすい直線ではなく図-5.1に示すように下方にたわむ曲線を示すものが少なくない。従来は、このようにわん曲したものは、求める C_c 値に個人差が生ずることから港湾関係では求めないことにしていたが、圧密試験法の改訂によって最急傾度をとることに意思統一された⁴⁾ ので、す

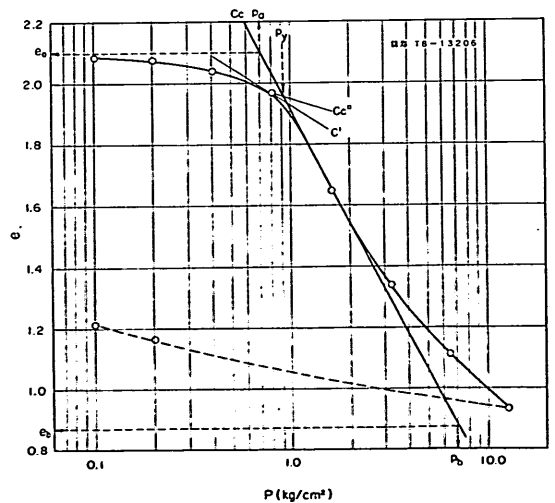


図-5.1 圧縮指数、圧密降伏応力の求め方

べての試験結果から求め方の統一された C_c が得られるようになった。

前回の報告では、 $e \sim \log p$ 曲線の傾きの比較的直線性

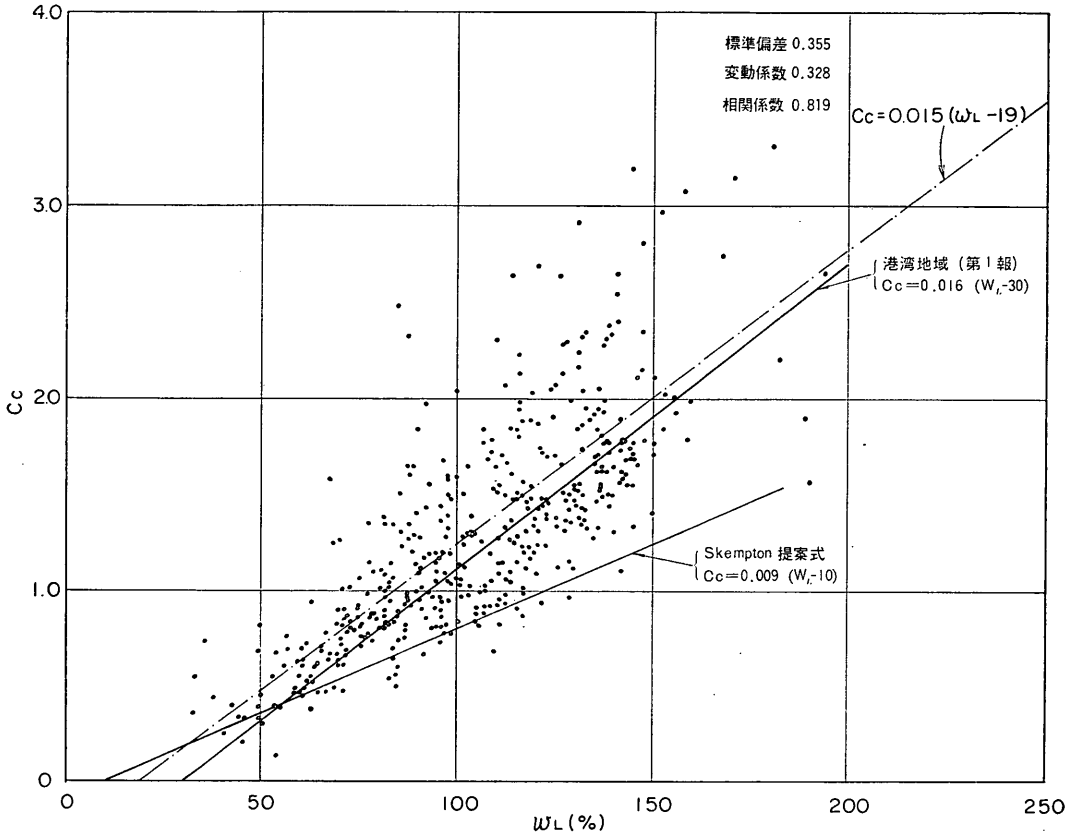


図-5.2 圧縮指数と液性限界の相関図

のよい求めやすいものだけをピックアップして分類指数と対比した。このうち、 C_c と液性限界 w_L の関係は、 $C_c=0.016(w_L-30)$ の式が得られ、スケンプトン (Skempton) の提案式 $C_c=0.009(w_L-10)$ とごく一部は一致するものの多くは異なることを示した。今回は、最急傾度をとることによって今まで採用できなかったものも加えることができた。その結果を図-5.2 に示す。この図から、 C_c と w_L の関係式は $C_c=0.015(w_L-28)$ が得られた。また、 w_L 以外の分類指数との相関についても前回と

同じように整理した。すなわち、塑性指数 I_p 、間げき比 e である。今回はさらに含水比 w および単位体積重量 γ_s についても相関性を検討した。それらを図-5.3~5.6 にそれぞれ示す。

図-5.2が示すように、最急勾配をとる方法によると、先に示した平均値よりもさらに上方に分布するものが多い、スケンプトンの式との差は一段と大きくなった。

図-5.3, 5.4についても前に示した値よりもばらつきが大きく相関性が悪くなっている。図-5.5, 5.6は今回新ら

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

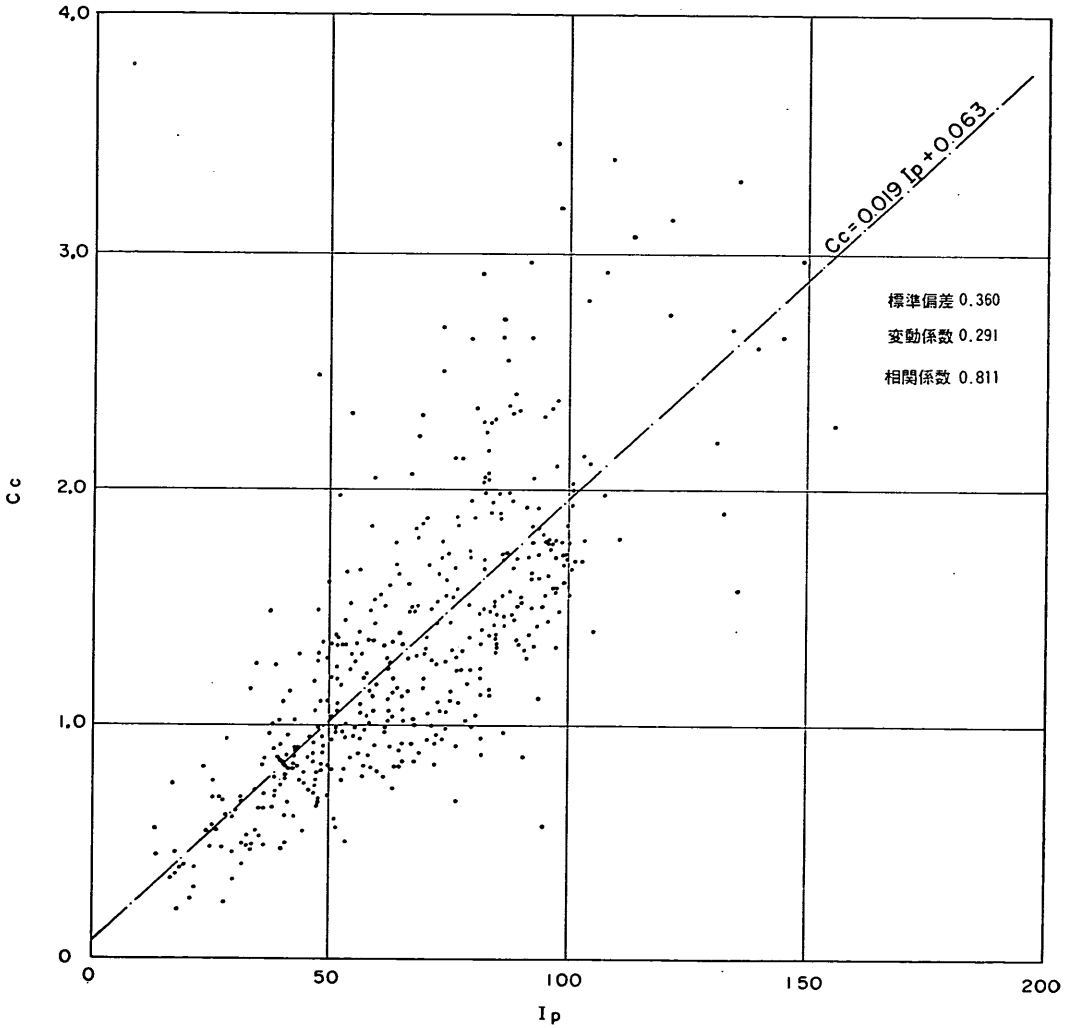


図-5.3 圧縮指数と塑性指数の相関図

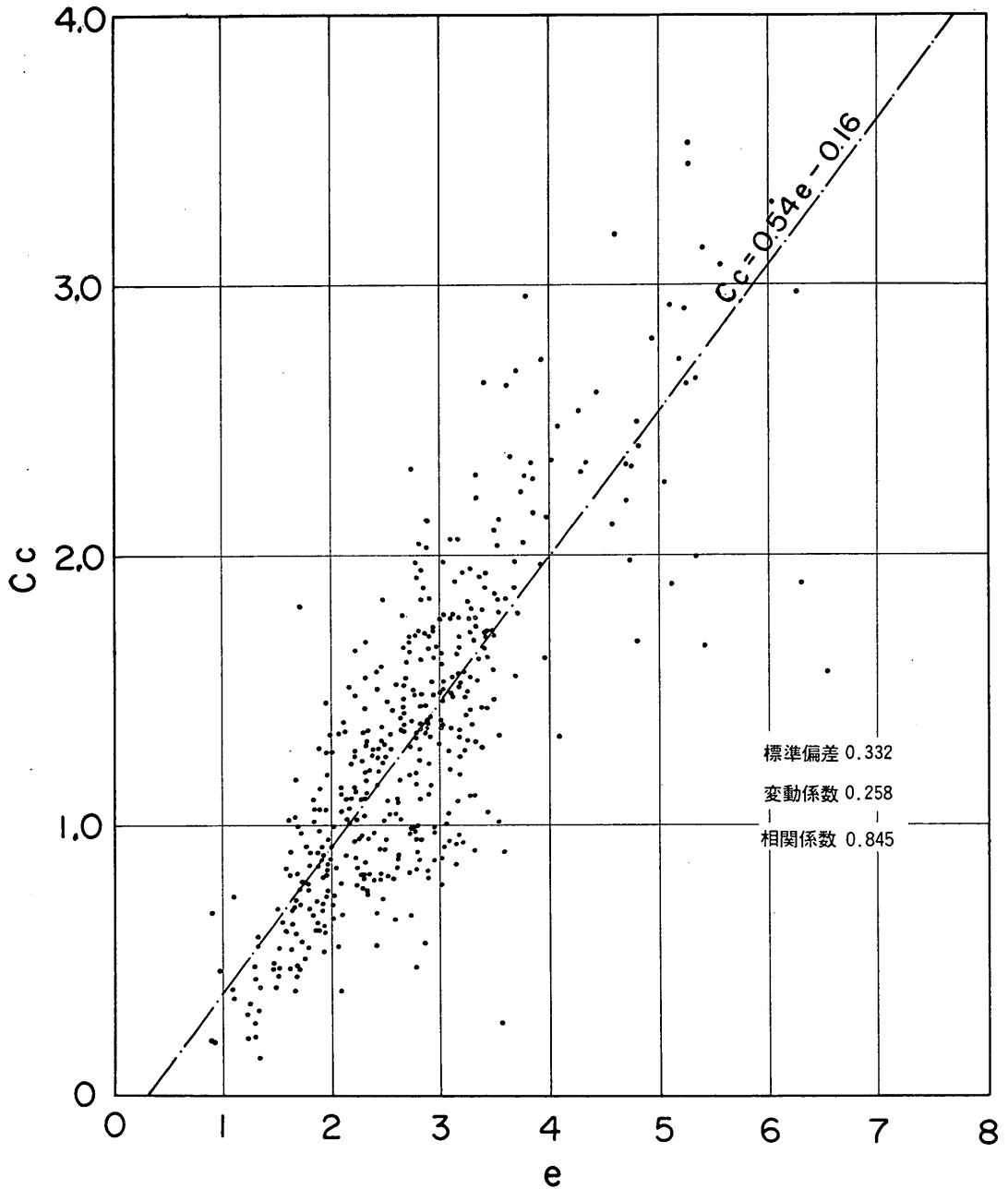


図-5.4 圧縮指数と間げき比の相関図

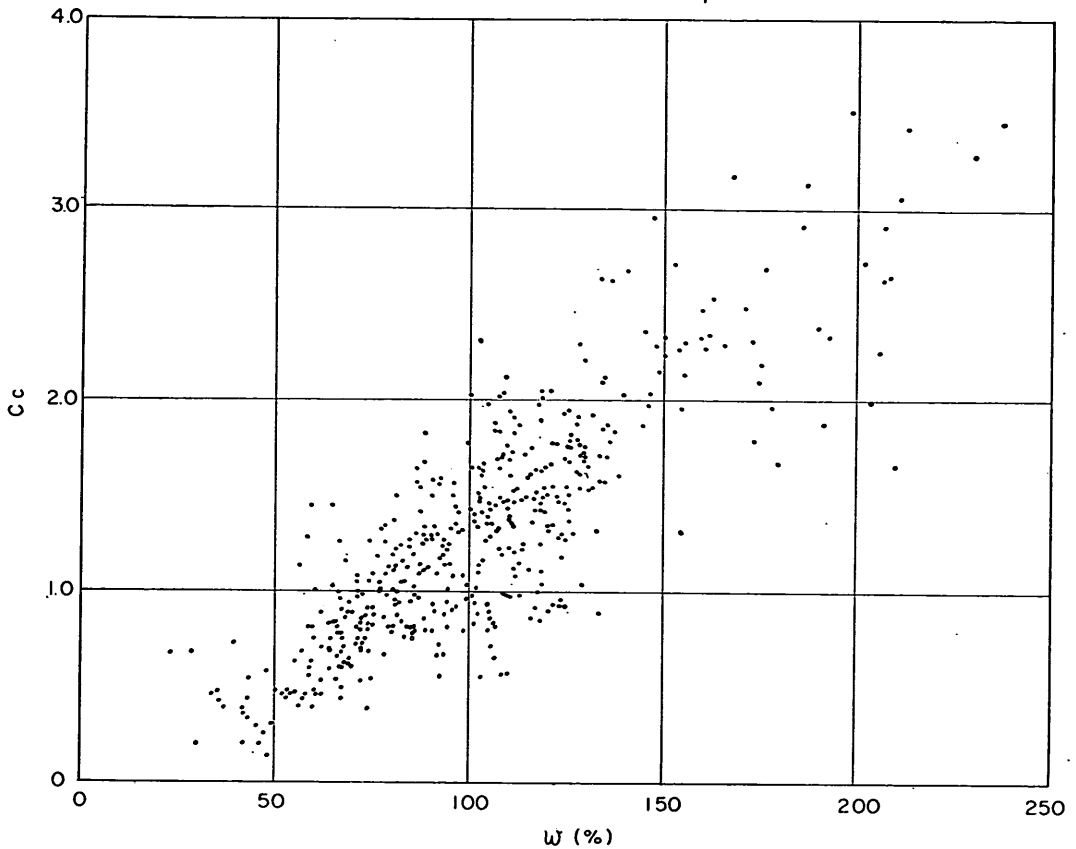


図-5.5 圧縮指数と含水比の相関図

たに加えたものであるから対比はできないが両者とも相関性は認められるもののばらつきは大きいものとなった。

これらの結果を総合すると、今まで求められなかったわん曲したのも最急勾配をとるという統一条件で数値的に定安したことは一つの前進かも知れないが、強引に求めるためのばらつきの拡大は避けられないように思われる。したがって利用にあたっては、港湾技研資料 No. 71と本報告を勘案して検討されるとよい。

5.2 体積圧縮係数と分類指数の関係

体積圧縮係数 m_v は、圧縮指数 C_c と同じように圧密沈下量の計算に利用される指数である。港湾関係では、軟弱粘性土を多く取扱う関係上、前述したように $e \sim \log$

p 曲線の直線部が下方にわん曲したものが多く C_c が正確に求められないこともあって沈下計算にはもっぱら体積圧縮係数 m_v が用いられてきた経緯がある。今後も特別の事情がない限り m_v を用いた沈下計算が主体をなすものと思われる。ここに m_v 値を用いた沈下量の計算式を参考として式(4)に示す。

すなわち、 m_v 値は両対数グラフ上ではほぼ直線になることから、直線上の $p_0 + \Delta p/2$ の点の m_v 値を用いて計算される。

$$S = m_v \cdot \Delta p \cdot H \cdot \mu \dots\dots\dots(4)$$

ここに、
 S ; 圧密沈下量 (cm)

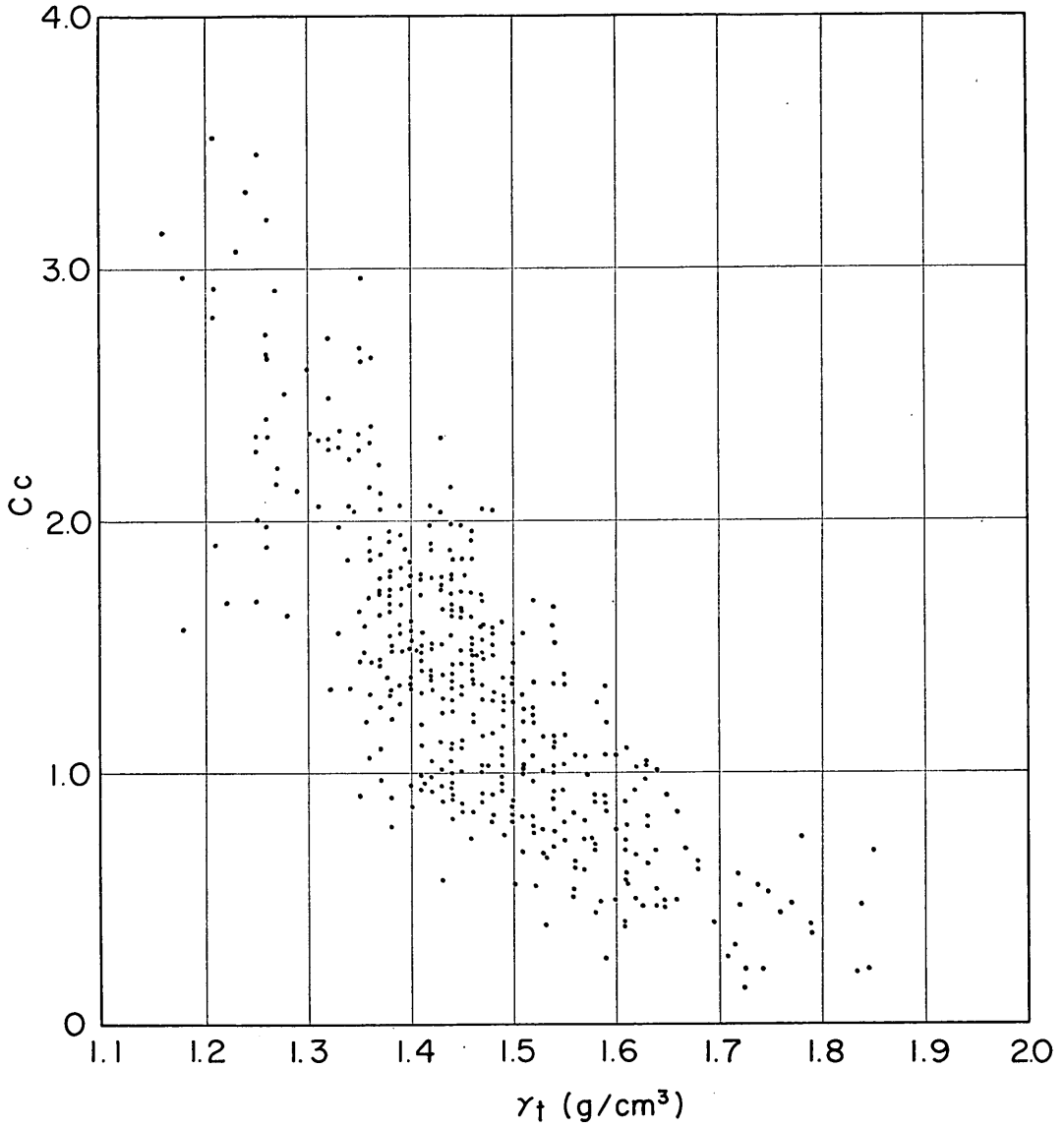


図-5.6 圧縮指数と単位体積重量の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

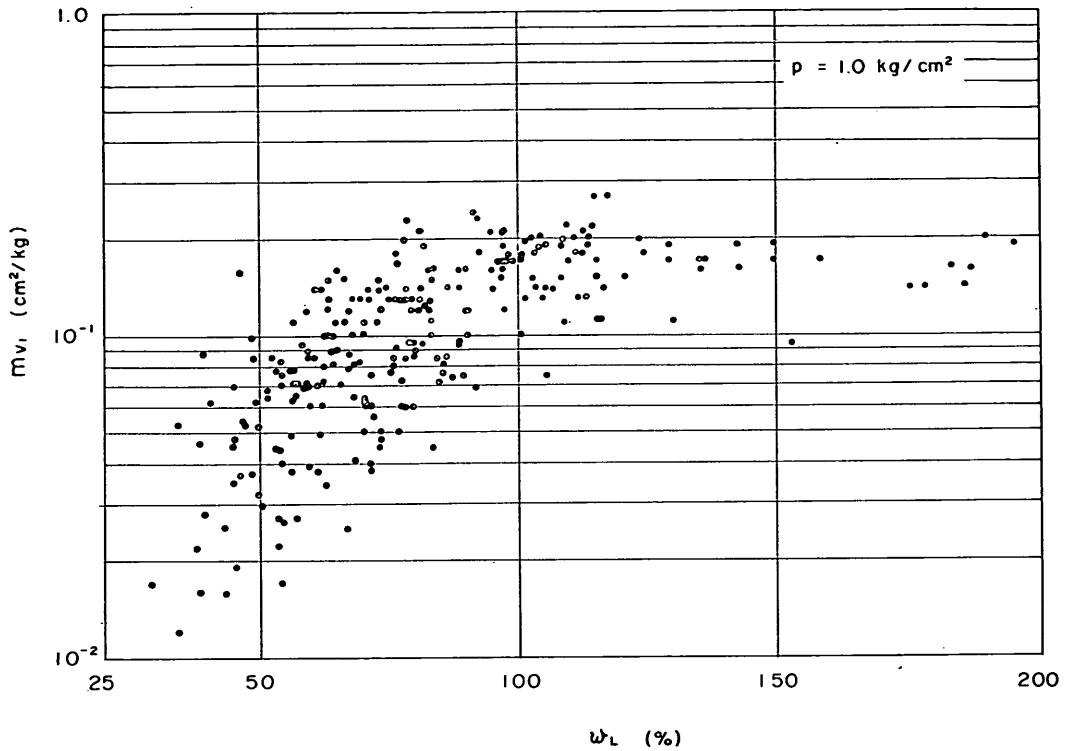


図-5.7(a) 体積圧縮係数と液性限界の相関図

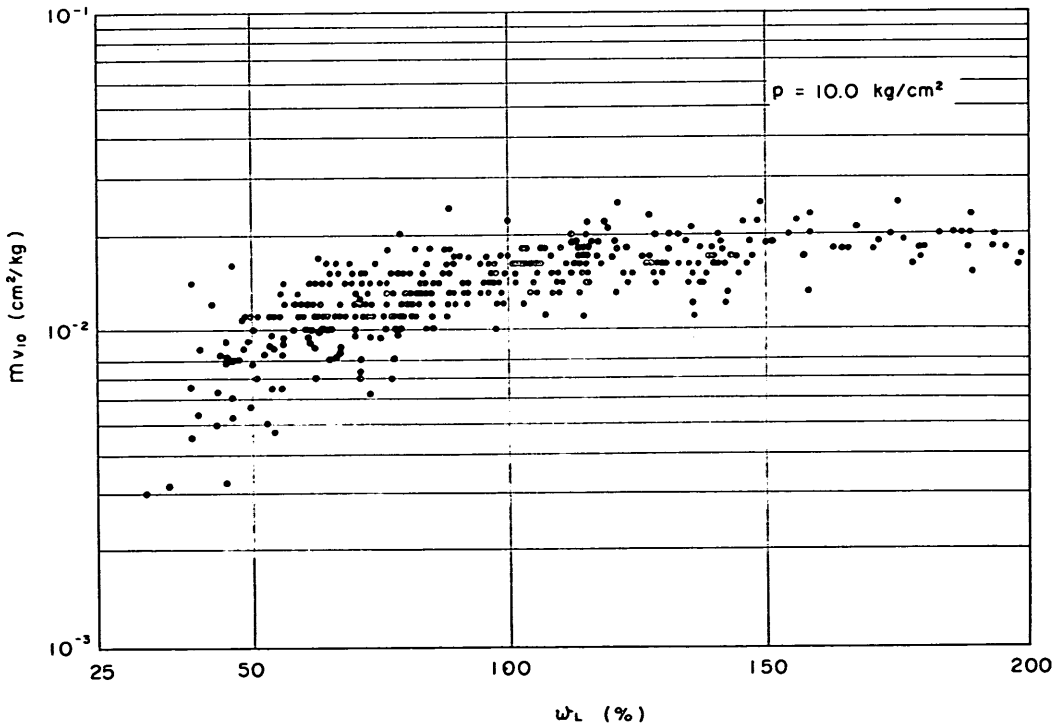


図-5.7(b) 体積圧縮係数と液性限界の相関図

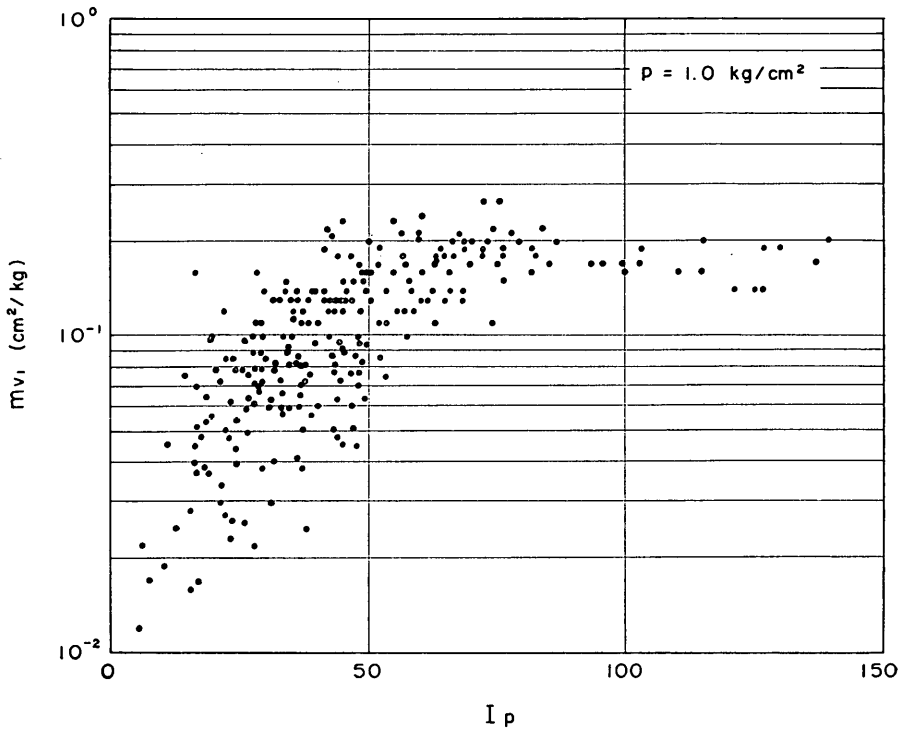


図-5.8(a) 体積圧縮係数と塑性指数の相関図

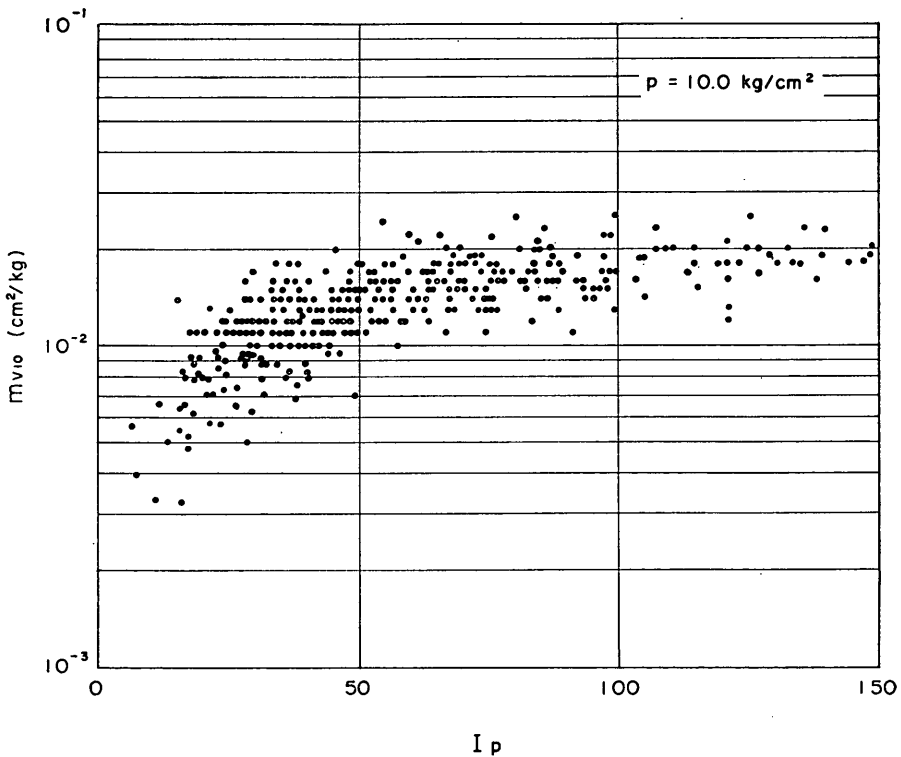


図-5.8(b) 体積圧縮係数と塑性指数の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

m_v ; 体積圧縮係数 (cm^2/kgf)

Δp ; 圧力増分 (kgf/cm^2)

H ; 層厚 (cm)

μ ; 圧密度

乱さない試料から得られる m_v 値は、圧密圧力の増大に伴って減少し、正規圧密領域において両対数グラフ上ではほぼ直線的に変化するので、本報告では、その直線上の $p=1.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ と $p=10.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ の2点の m_v 値と、液性限界 w_L および塑性指数 I_P の関係について、それぞれ調べた。それを 図-5.7(a), 5.7(b), 5.8(a), 5.8(b)

に示す。

これらの図からわかるように、 $m_v \sim w_L$ の関係において、 $w_L \geq 100\%$ では w_L に関係なく一定値になり、その値は $p=1.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ で、 $2 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ となり、 $p=10 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ では、 $2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ となって、ちょうど1けた小さい。これは m_v 値の直線部の傾度が $1(\tan 45^\circ)$ に近いことが知られており、これによく一致することを示している。また、 $w_L \leq 100$ では $m_v = 2 \times 10^{-1} \sim 2 \times 10^{-2}$ の範囲で w_L が減少すると m_v も小さくなる傾向を示している。

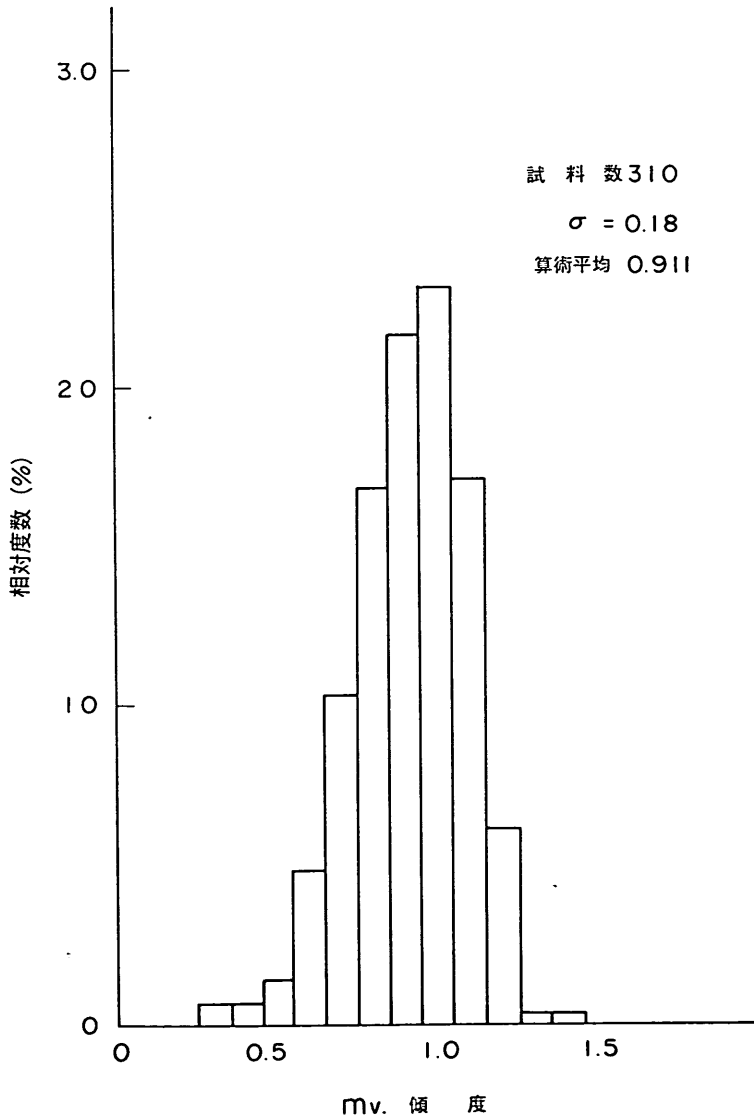


図-5.9 体積圧縮係数傾度の頻度分布

一方、 I_p についても、 $I_p \geq 60$ では I_p に関係なく一定値になる。その値は、 $p=1.0 \text{ kgf/cm}^2$ で、 $2 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ 、 $p=10.0 \text{ kgf/cm}^2$ で、 $2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$ となっており、 w_L の場合と同じように $p=1.0$ と $p=10.0$ で1桁異なる、傾度1の値を示している。

また、 $I_p \leq 60$ では、 $p=1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $p=10.0 \text{ kgf/cm}^2$ とも I_p の減少に対し、 m_v 値も減少する傾向を示している。

上記の結果から、きわめて軟弱な粘土($w_L \geq 100$, $I_p \geq 60$)では、 m_v 値が一定になる傾向は特筆すべきことである。

上述した m_v 値の正規圧密領域における直線部の傾度を調べるため、310 試料についてヒストグラムを作成した。これを図-5.9に示す。

図-5.9が示すように、極大値は1を示し、平均値0.911、標準偏差0.18となっている。

5.3 圧密係数と分類指数の関係

圧密係数 c_v は、粘性土層の圧密速さの計算に不可欠な指数である。乱さない試料から得られる c_v 値は、過圧密領域と正規圧密領域とでは、3~5倍程度の違いがある。設計値として利用される c_v 値は、圧密降伏応力を超えた、いわゆる正規圧密領域から圧密圧力(p)に対して一定となった部分の値を採用することが多いので、その一定になった c_v 値を整理し、液性限界 w_L および塑性指数 I_p と対応させた。それを図-5.10および図-5.11に示す。

これらの図からわかるように、 c_v 値と w_L , I_p との間には、かなりのバラツキはあるが、両者には一応相関関係があり、 w_L および I_p の増加に対し、 c_v 値は減少する逆比例の傾向がみられる。ばらつき幅が大きいので関係式を求めることはできないが、港湾地域における粘性土の c_v と w_L , I_p との関係は、この範囲から大きくはずれるものではなく、データチェックの指標にはなり得るものと思われる。

参考までに圧密沈下時間 t の計算を式(5)に示す。

$$t = \frac{1}{c_v} \cdot H^2 \cdot T_r \text{ (min)} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、

- c_v ; 圧密係数 (cm^2/min)
- H ; 層厚 (cm)
- T_r ; 時間係数

5.4 圧密降伏応力と有効土かぶり圧の関係

圧密降伏応力 p_v は、従来先行圧密圧力 p_0 と呼ばれていたものであるが、今日では三笠氏の提案³⁾によって塑性域から塑性域への転移点の圧力として表示されるよう

になった。その求め方を図-5.1に示した。この値は土が過去に受けていた最大の有効圧力を示す指標の一つといわれており、粘土層の生成に関する歴史的背景を物語るものである。(圧密降伏応力 p_v は現在圧密先行応力 p_0 と呼ばれるようになった。)

粘土の圧密沈下および強度増加量を問題にするとき、その粘土がもつ過去の経歴が重要となる。すなわち、現在の有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)を基準にして、 p_v が $\Sigma \bar{\sigma}'/h$ より大きい値を示す場合は、過去にそれ以上の地層が載っていたものが流れによる浸食によって取り去られたり、あるいは海水面が一時的に低下して余分の荷重が加わったりしたことを示しており、それを過圧密粘土と呼んでいる。

一方、有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)と p_v がほぼ同じ値を示すものは、その土のたい積環境がそのまま保たれたことを示すもので、これを正規圧密粘土と呼んでいる。

また、正規圧密粘土領域より小さい値のものは、その土の自重による圧密が完了していないことを示すもので、これを未圧密と呼んでおり、試験結果としてはよくある現象であるが、地質学的には説明できないことが多く、実際問題としてはきわめて稀れなことのようと思われる。

これらのことについて検討するために当研究室で処理された全試料について調べた。それを図-5.12に示す。

ここで、正規圧密粘土と過圧密粘土の区分けは、ボーリング孔1本ごとに圧密降伏応力 p_v と有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)のプロットを行い、その全体的平均が正規圧密領域にあるか、過圧密領域にあるかを判断して区別し、プロットしたものである。したがって、ばらつきのあるこの関係は、本来過圧密領域にあってしかるべきものが、正規圧密領域にプロットされる場合もあり得る訳である。

図-5.12からわかるように、過圧密領域に属するものも多いが、反対に正規圧密粘土より下回るものも多い。これらを一括して平均値を求めてみると、 p_v は、有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)の1.1倍すなわち、

$$P_v = 1.1 \Sigma \bar{\sigma}'/h$$

となる。

また、正規圧密粘土と思われるものだけの平均値から、 p_v は有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)の0.9倍が得られ、有効土かぶり圧でまだ圧密が終了していない様相を呈しているが、これらの値には誤差も多く p_v と有効土かぶり圧($\Sigma \bar{\sigma}'/h$)とは1:1にあると考えた方が適当であろう。

過圧密粘土領域のものは、地域的なものが大きいので一括して平均直線を求めることには意味がないので、範囲として示すにとどめた。

なお、正規圧密領域を下回るものに地質学的考察を加

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

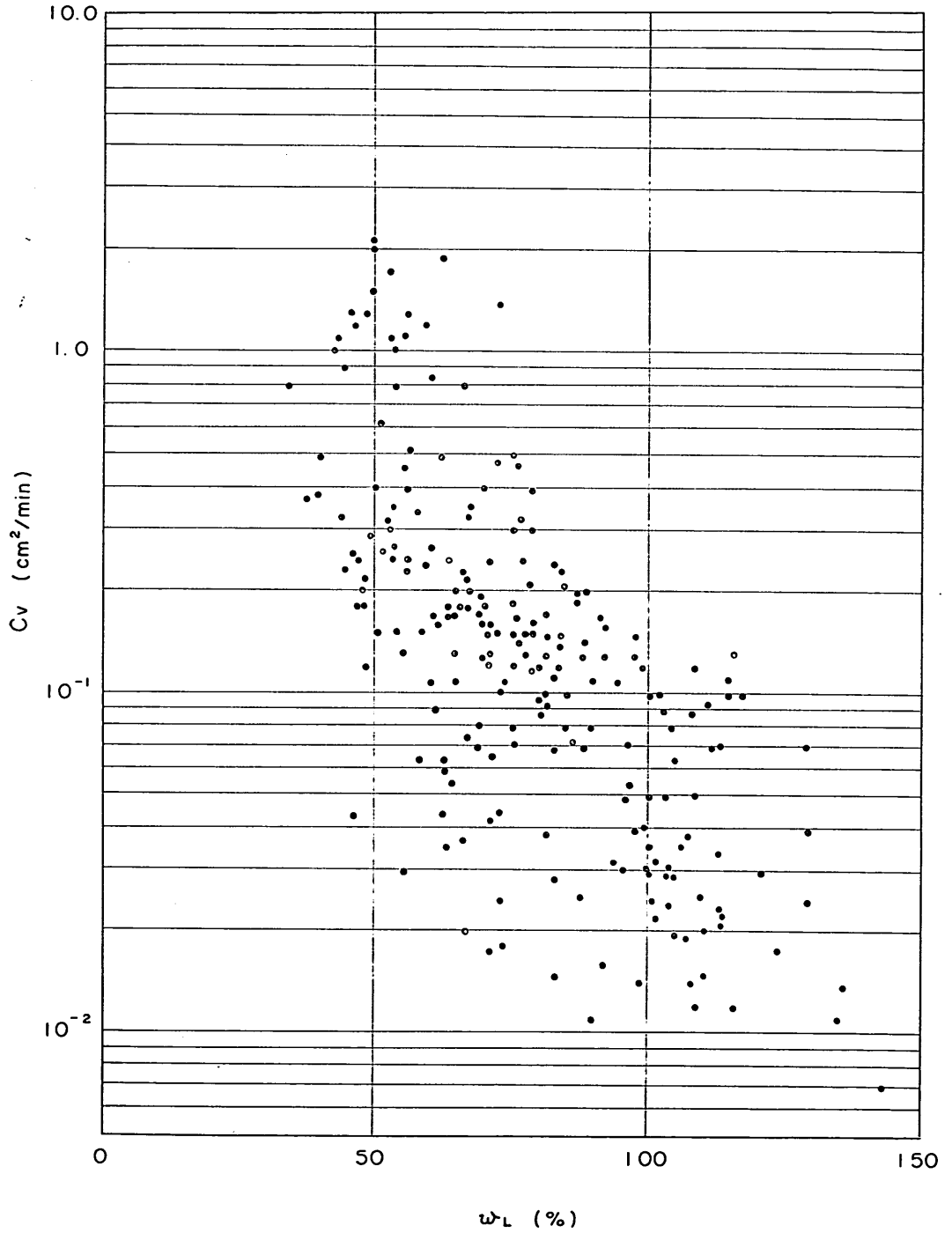


図-5.10 圧密係数と液性限界の相関図

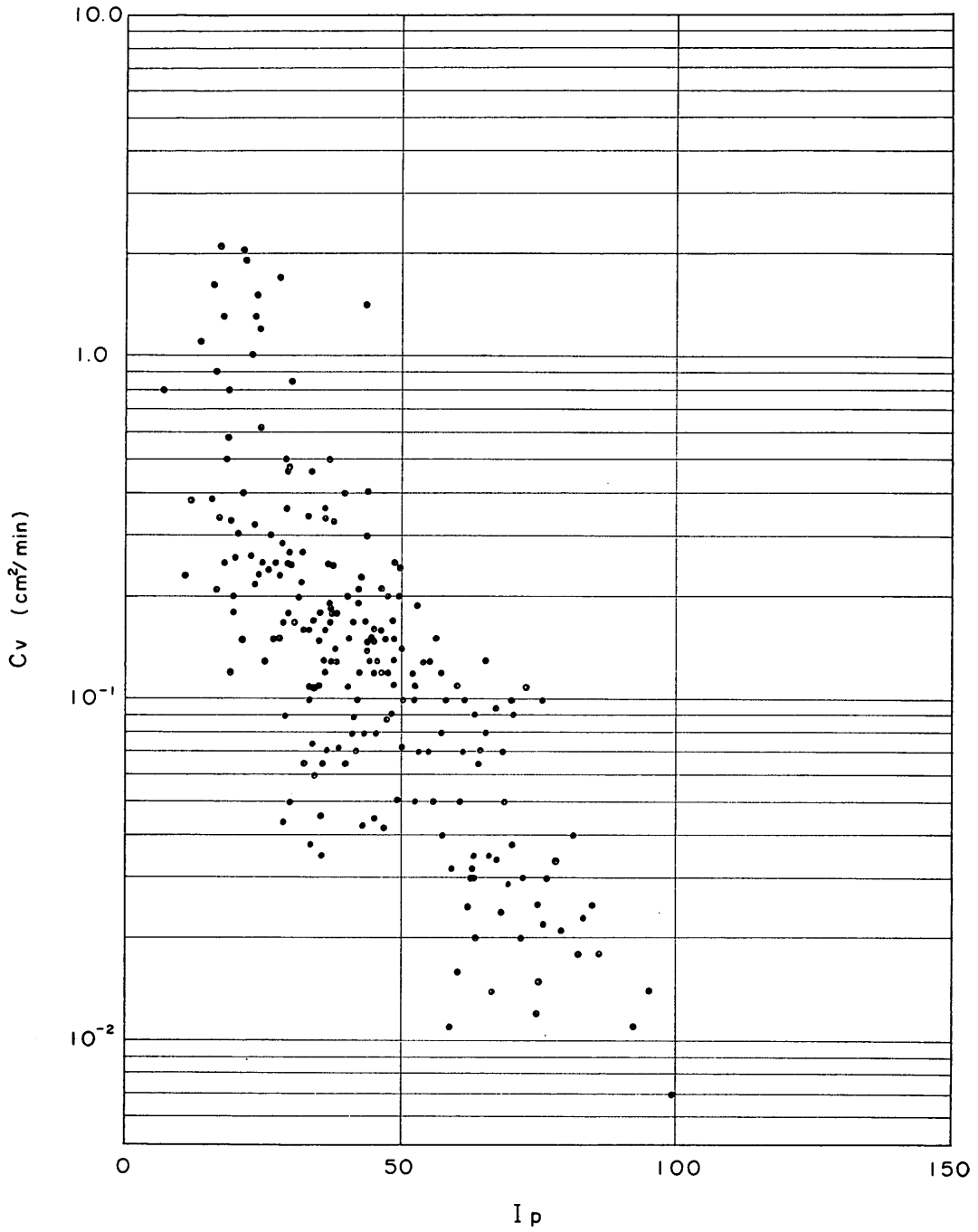


図-5.11 圧密係数と塑性指数の相関図

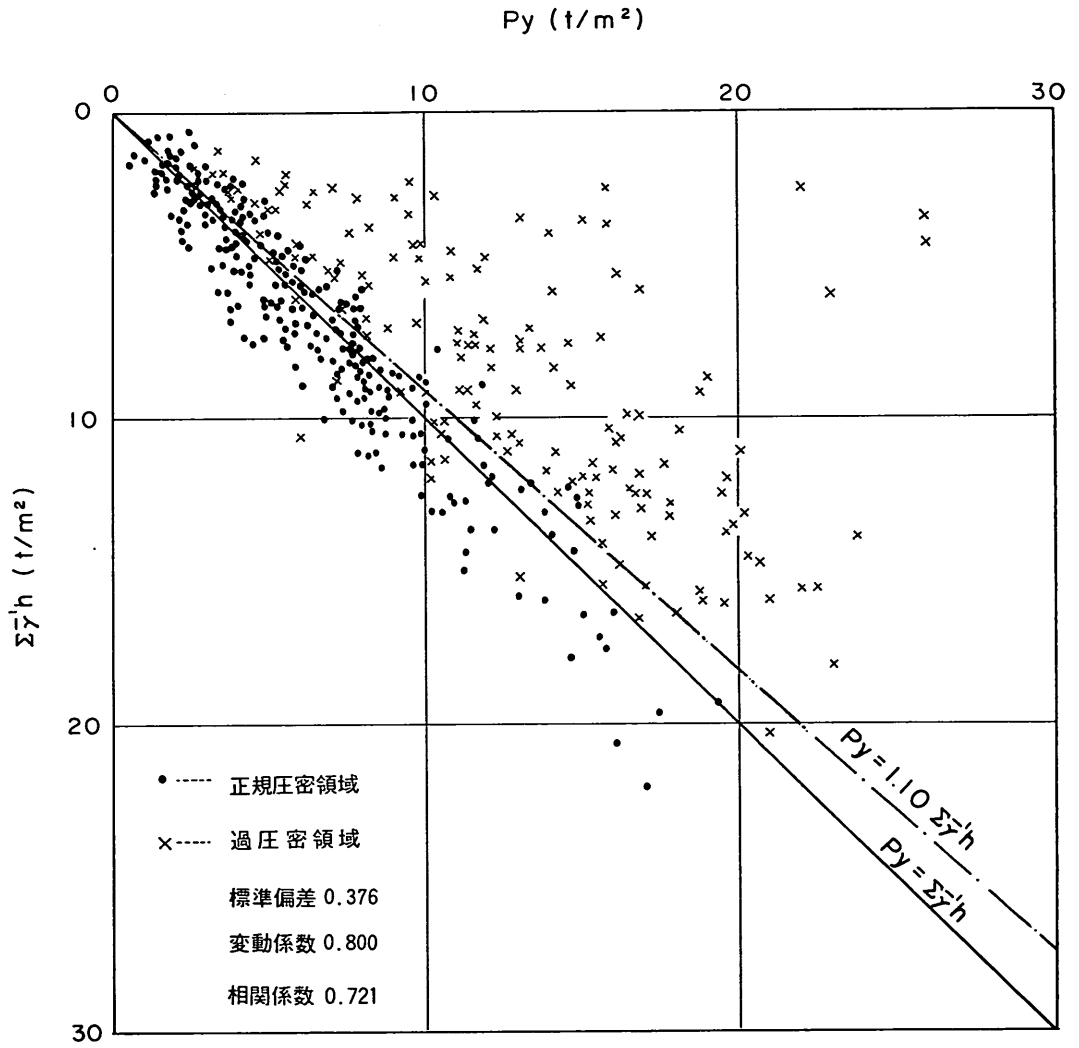


図-5.12 圧密降伏応力と有効土かぶり圧の相関図

えることは容易ではないので、上述のようにここでは正規圧密領域のものとして取扱うことにした。

6. 強度特性と分類特性の相関性

6.1 圧縮強さと分類指数の関係

粘性土地盤の強さは普通、一軸圧縮強さ q_u によって示されることが多い。この q_u は、土質調査および試験時における乱れの影響を敏感に表わす性質のものであるから、含水比 w や単位体積重量 γ_t のように骨組構造が若干変化しても q_u ほど鋭敏でないもの、あるいは完全に乱してから求めるコンシステンシー特性との間に相関関係があれば容易に q_u 値を推定することができる。

このような意図から q_u と分類特性の間の相関関係を

調べた。本来、土の力学的性質は、一義的に決まるものではなく土の種類、密度、含水比、骨組構造など、いくつかの要因によって定まるものであるといわれており⁹⁾ 多変量解析 (Multi Variate Analysis) による相関を求めることが必要であろうが、今回は不本意ながら単純に2つの間の相関関係を調べたものである。

この整理にあたって、次の点に留意した。

- ① 含水比 w , 単位体積重量 γ_t , 間げき比 e など粘土層の生成過程に影響されるものは、圧密経歴いわゆる正規圧密、過圧密領域の区別なく一括して表示した。
- ② 液性限界 w_L , 塑性限界 w_P , 塑性指数 I_P などのコンシステンシー特性のように試験時に自然状態を破壊しねり返してから求めるものは圧密経歴を考慮

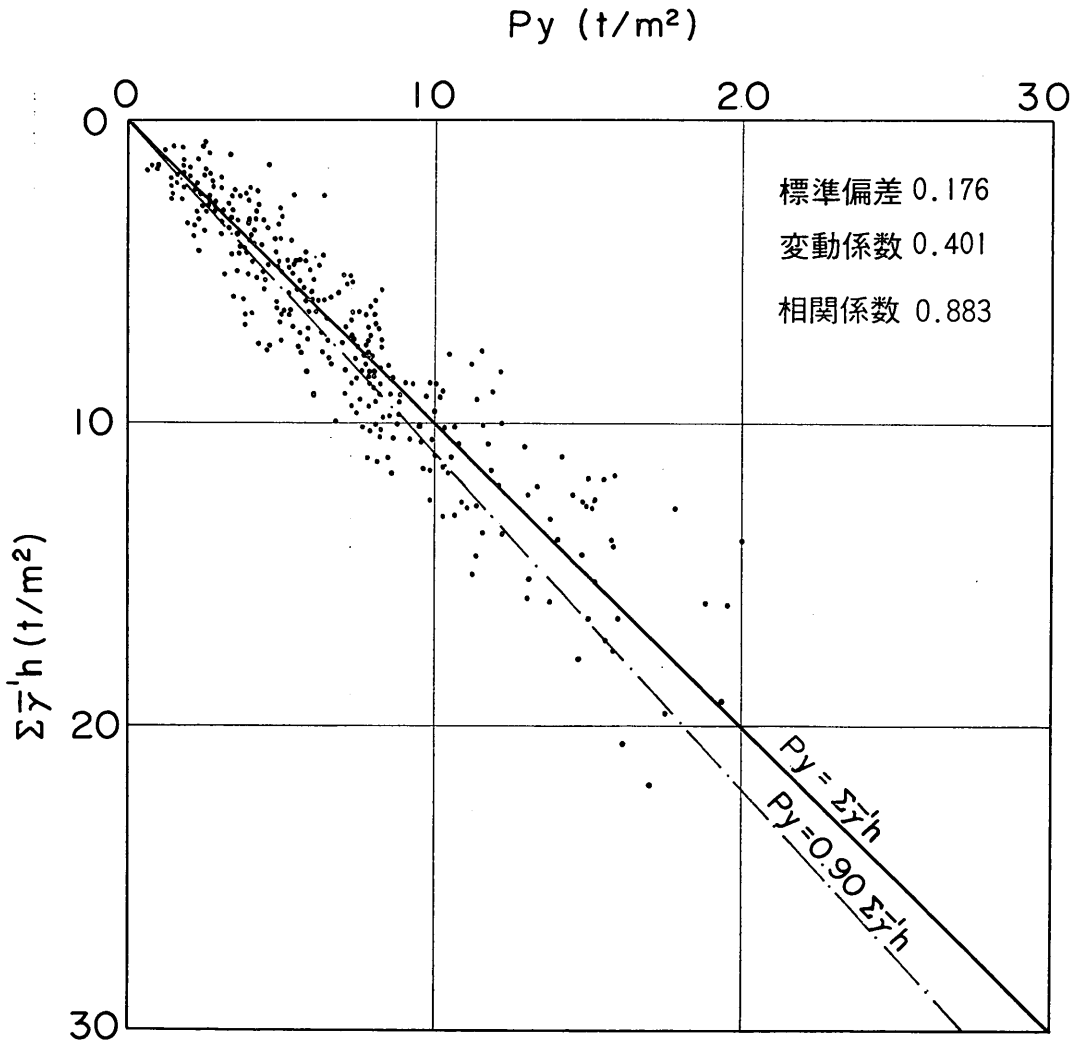


図-6.1 圧密降伏応力と有効土かぶり圧の相関図 (正規圧密領域試料)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

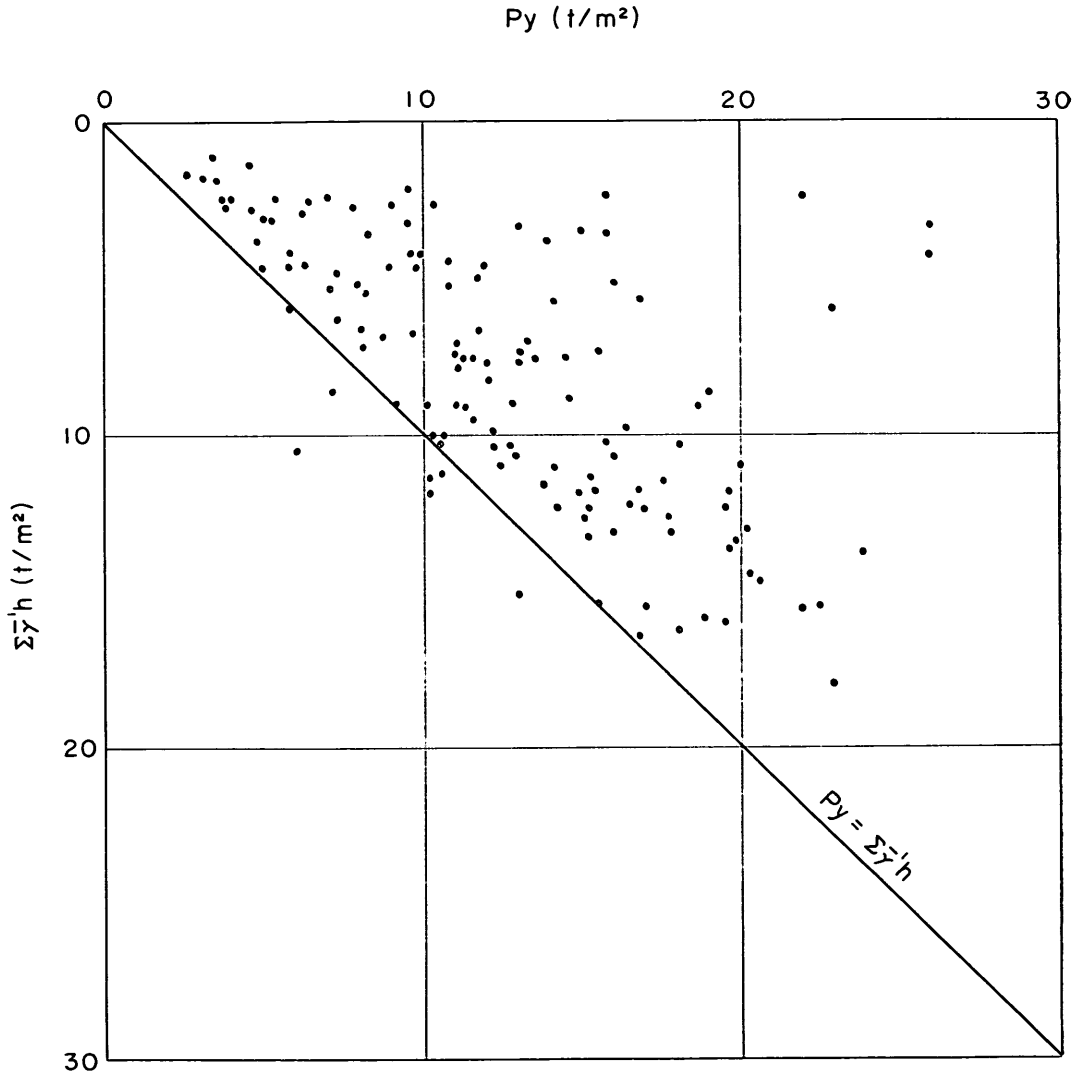


図-6.2 圧密降伏応力と有効土かぶり圧の相関図 (過圧密領域試料)

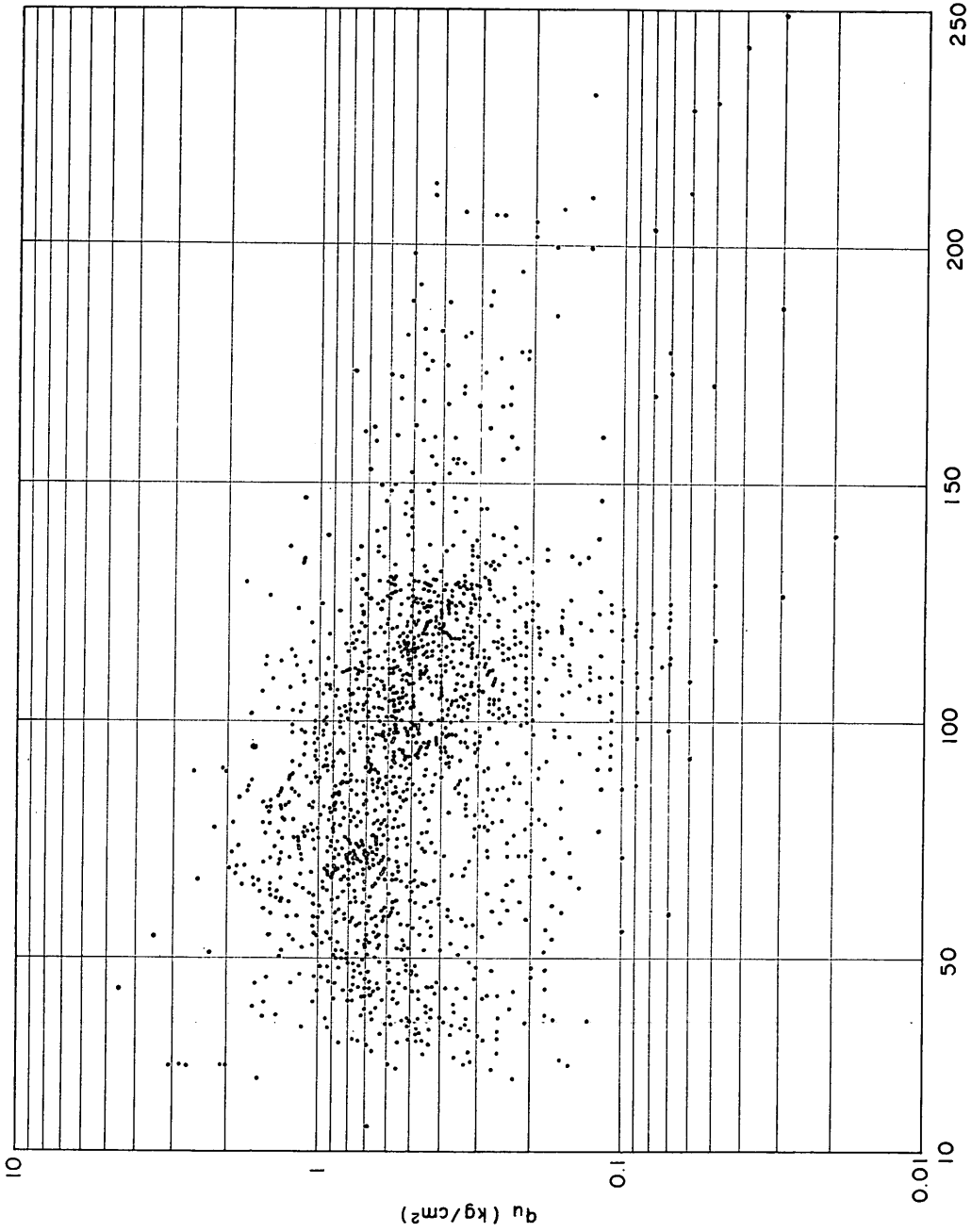


図-6.3 一軸圧縮強さと含水比の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

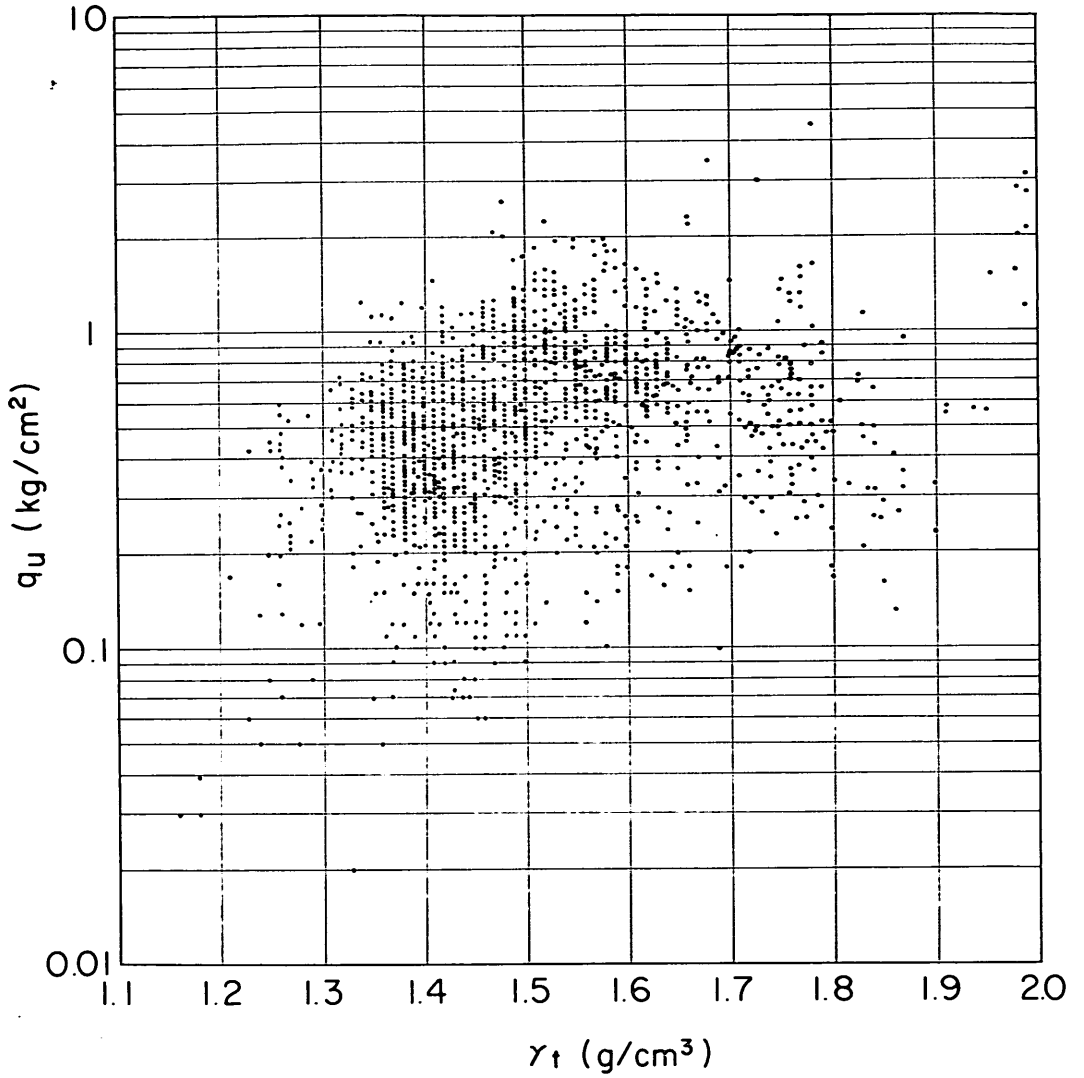


図-6.4 一軸圧縮強さと単位体積重量の相関図

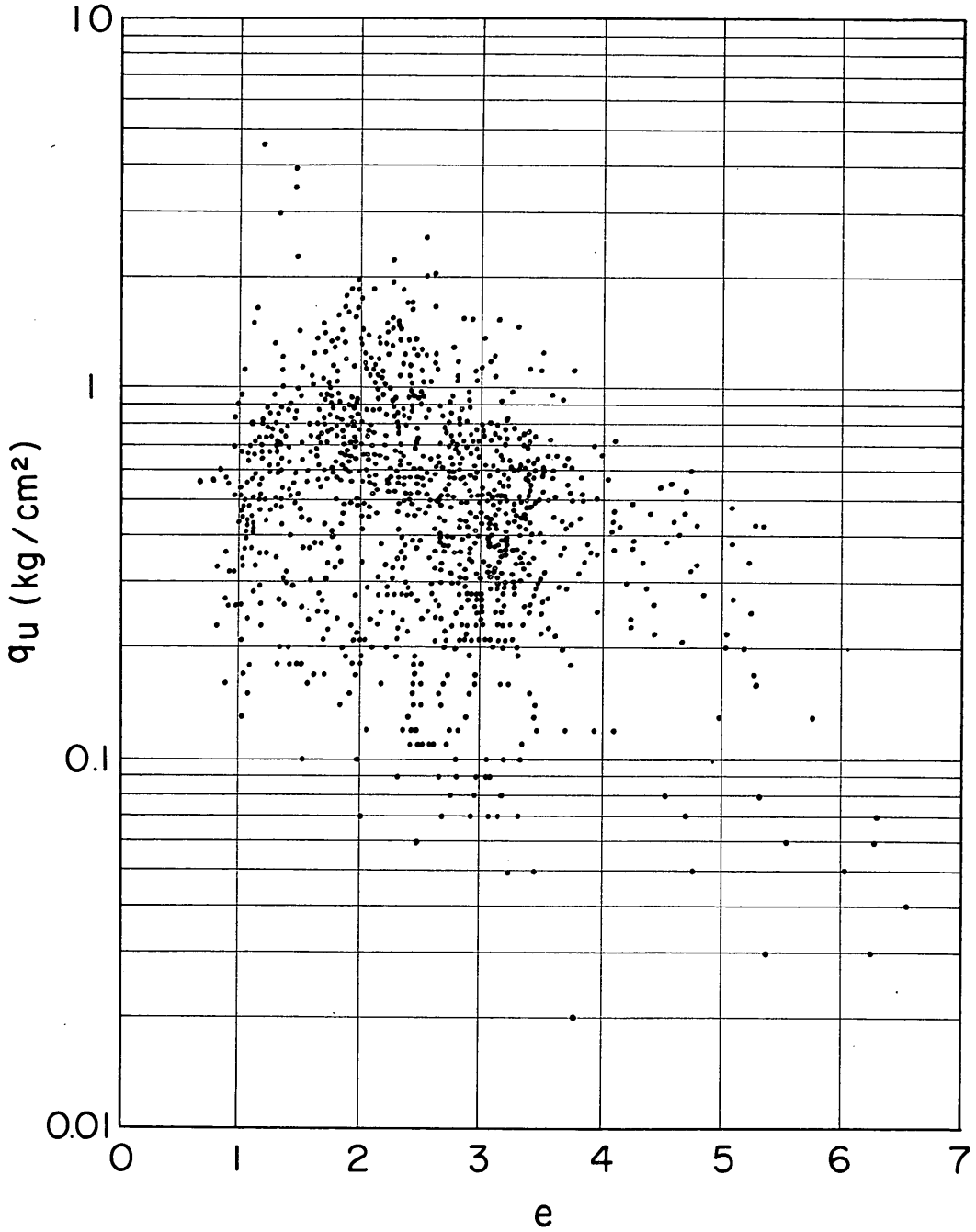


図-6.5 一軸圧縮強さと間げき比の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

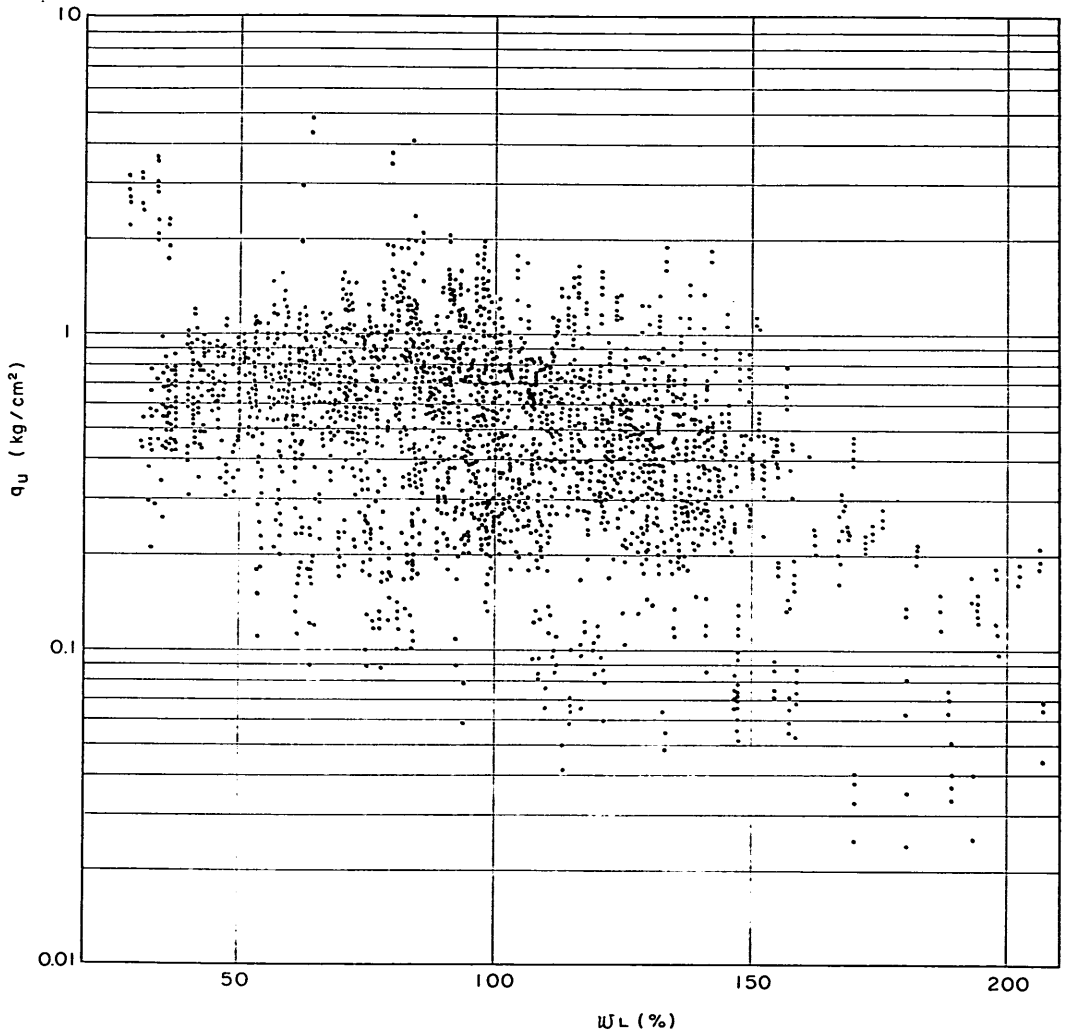


図-6.6 一軸圧縮強さと液性限界の相関図

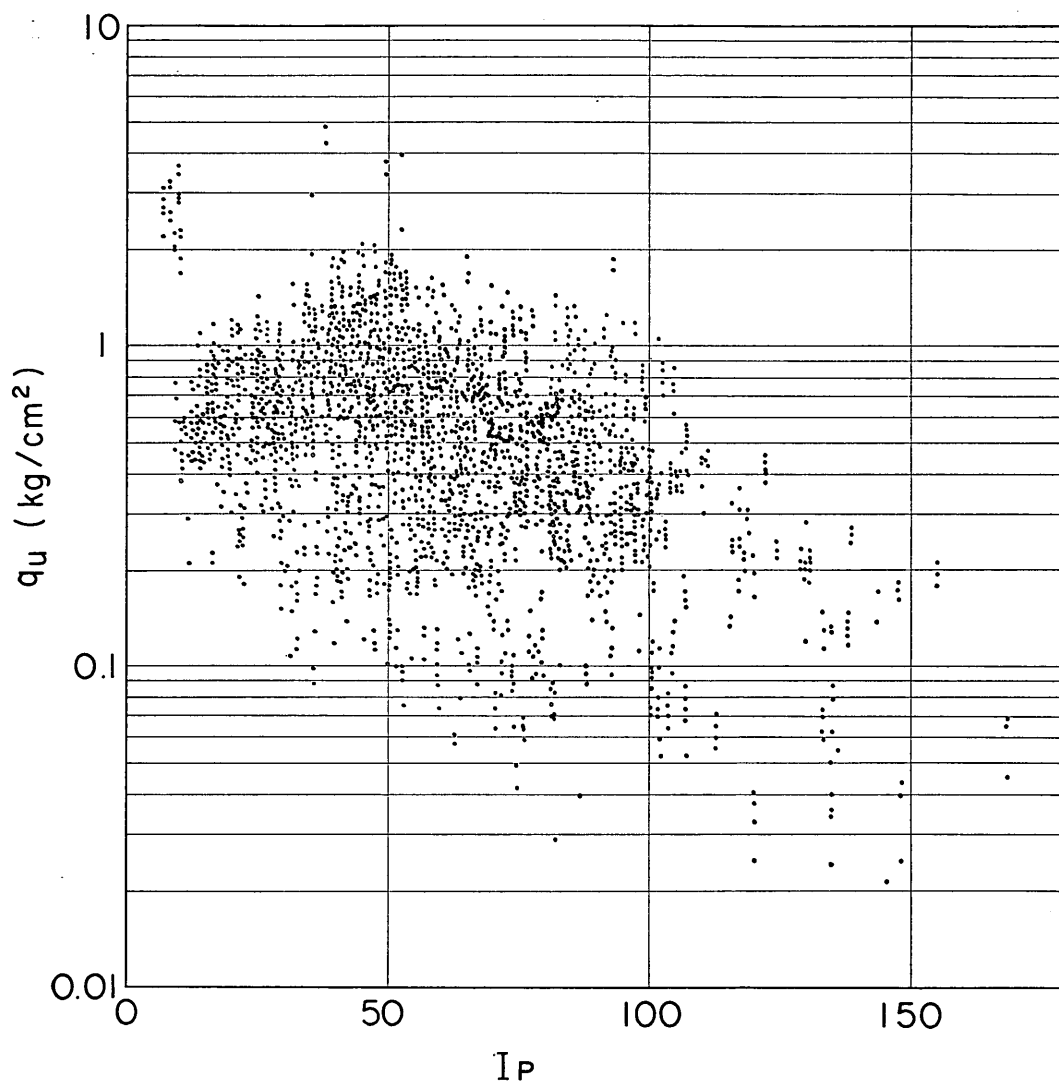


図-6.7 一軸圧縮強さと塑性指数の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

して正規圧密領域と過圧密領域を区別して表示した。この区別を図-6.1に正規圧密粘土領域、図-6.2に過圧密粘土領域を示す。

①により整理したものを図-6.3, 6.4, 6.5に示す。また②の関係を図-6.6, 6.7に示す。

図-6.3~6.7 からわかるように、いずれも明らかな相関はみられない。ただし、これらは堆積環境の異なるものを一括して整理したものであって、同一地層についてのみ整理した場合、よい相関性のあるものも見受けられる。しかし、いずれにしても土のせん断強さは、間げき比に依存するところが多いとはいえ多くの要素によって定まるもので一義的に定まるものではないことに注意しなければならない。

また、この図の横軸に示した w, γ_t, e の間には、前出の式(1)および式(2)で示すような関係があり、飽和した粘土で、同一地層の場合同じ鉱物質のものがたい積していることが多いので土粒子比重 G_s がほぼ一定とするとこれらの変数 (e, γ_t) は含水比 w によって決まる値であるから、これらの結果が同じ傾向を示すのは当然のことと思われる。

一方、図-6.6~6.7についても、よい相関はみられないが、大局的にみるとある程度の相関があると考えてよいのではなからうか。

次に、図-6.8~6.12は $p_v = \Sigma \bar{\gamma} h$ と考えられる条件の試料について、 q_u を $\Sigma \bar{\gamma} h$ で除して無次元表示したものと、分類特性、すなわち w, e, I_p , 砂含有量, 粘土含有量との関係を調べたものである。これらはいずれも明

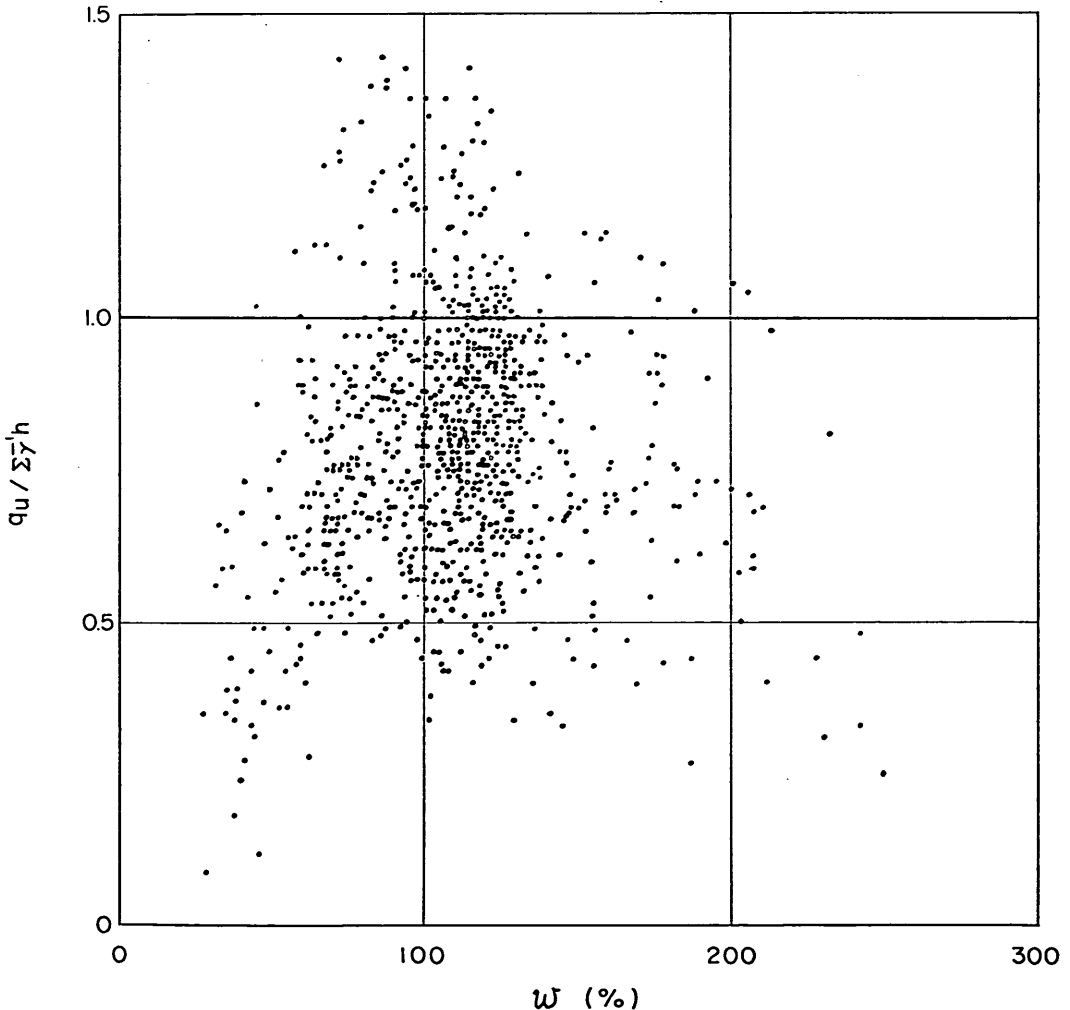


図-6.8 有効土かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比と含水比の相関図

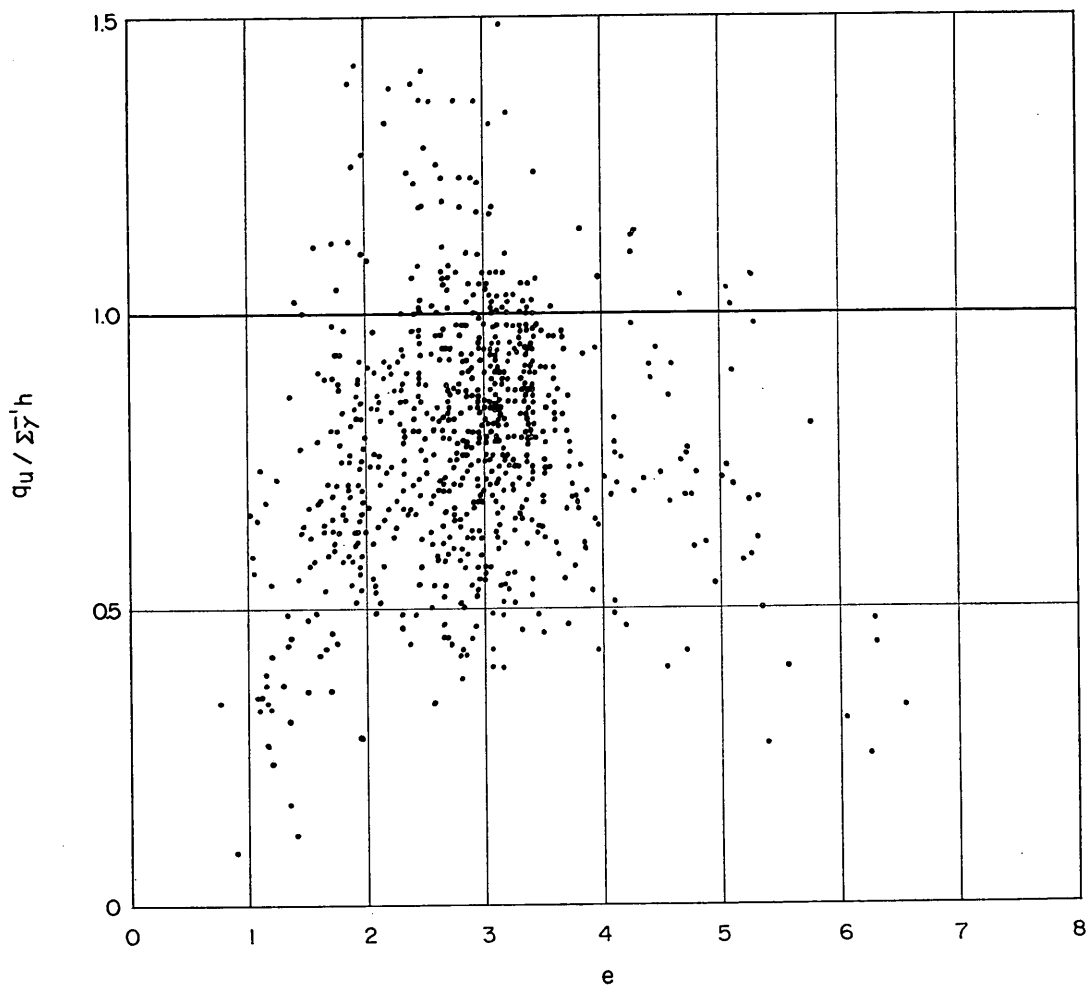


図-6.9 有効土かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比と間げき比の相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

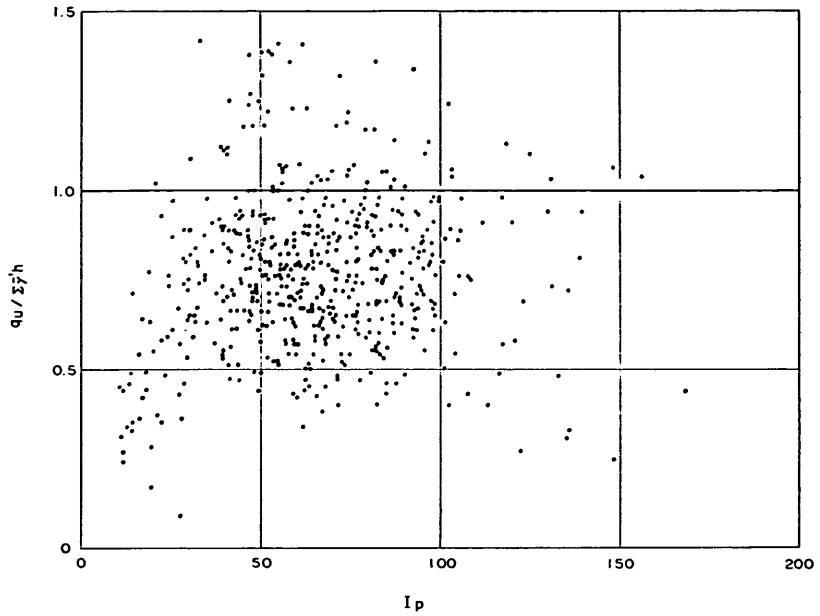


図-6.10 有効かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比と塑性指数の相関図

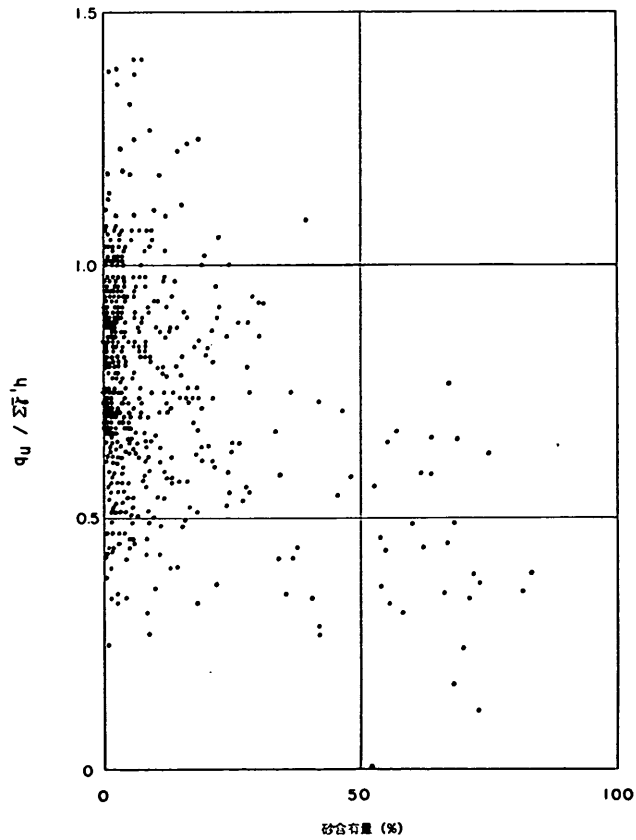


図-6.11 有効土かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比と砂含有量の相関図

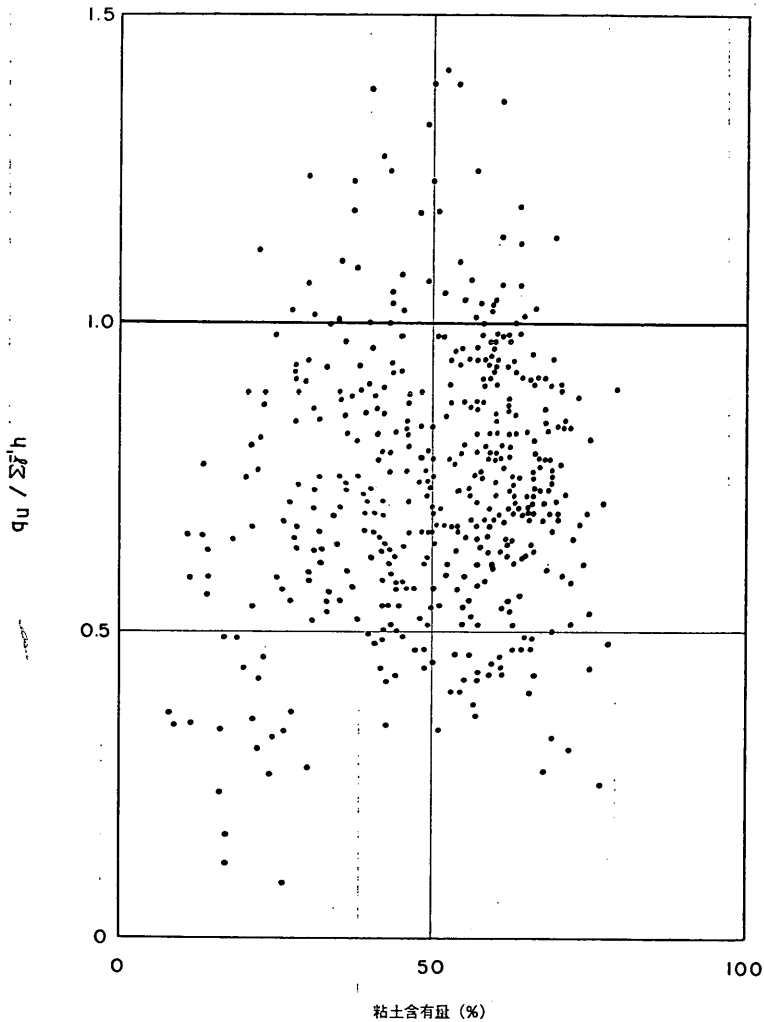


図-6.12 有効土かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比と粘土含有量の相関図

らかな相関はみられないが、今後得られるデータと対比評価する場合の範囲を示すものとしてあえて取り上げたものである。

6.2 圧縮ひずみと分類特性の関係

ここでいう圧縮ひずみ ϵ は、土の圧縮試験における応力～ひずみ曲線から求められるもので最大圧縮応力に対応するひずみいわゆる破壊ひずみである。

一軸圧縮試験における破壊ひずみはサンプリングなどによって生ずる乱れに敏感に反応するので土の乱れの判定に利用できる。すなわち、破壊ひずみは乱れが大きくなるにつれて増大するのが普通であり、かく乱比の対数にはほぼ比例して増大するといわれている²⁾。

一軸圧縮試験における破壊時のひずみは、土の種類、

すなわちたい積環境によっても異なるので、一概に決めつけることはできないが、海成粘土の場合、5%前後のものが多く見受けられる。これについて調べたものが図-6.13である。

この図によると破壊ひずみ5%以下のものが圧倒的に多く、それ以上のものは比較的少ない。 q_u と ϵ の間には一応相関関係があるようにみられる。すなわち、ひずみが大きくなると q_u 値が低下する傾向はあるがよい相関とはいえない。これは土の種類によっては、同じ強度でもひずみが異なるものがあることを示すものである。筆者らが以前よくサンプリングのテストフィールドとして利用した岡山県錦海湾粘土は、一軸圧縮強さ q_u が深さ方向に $0.1 \sim 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ と変化するのに対し破壊ひ

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

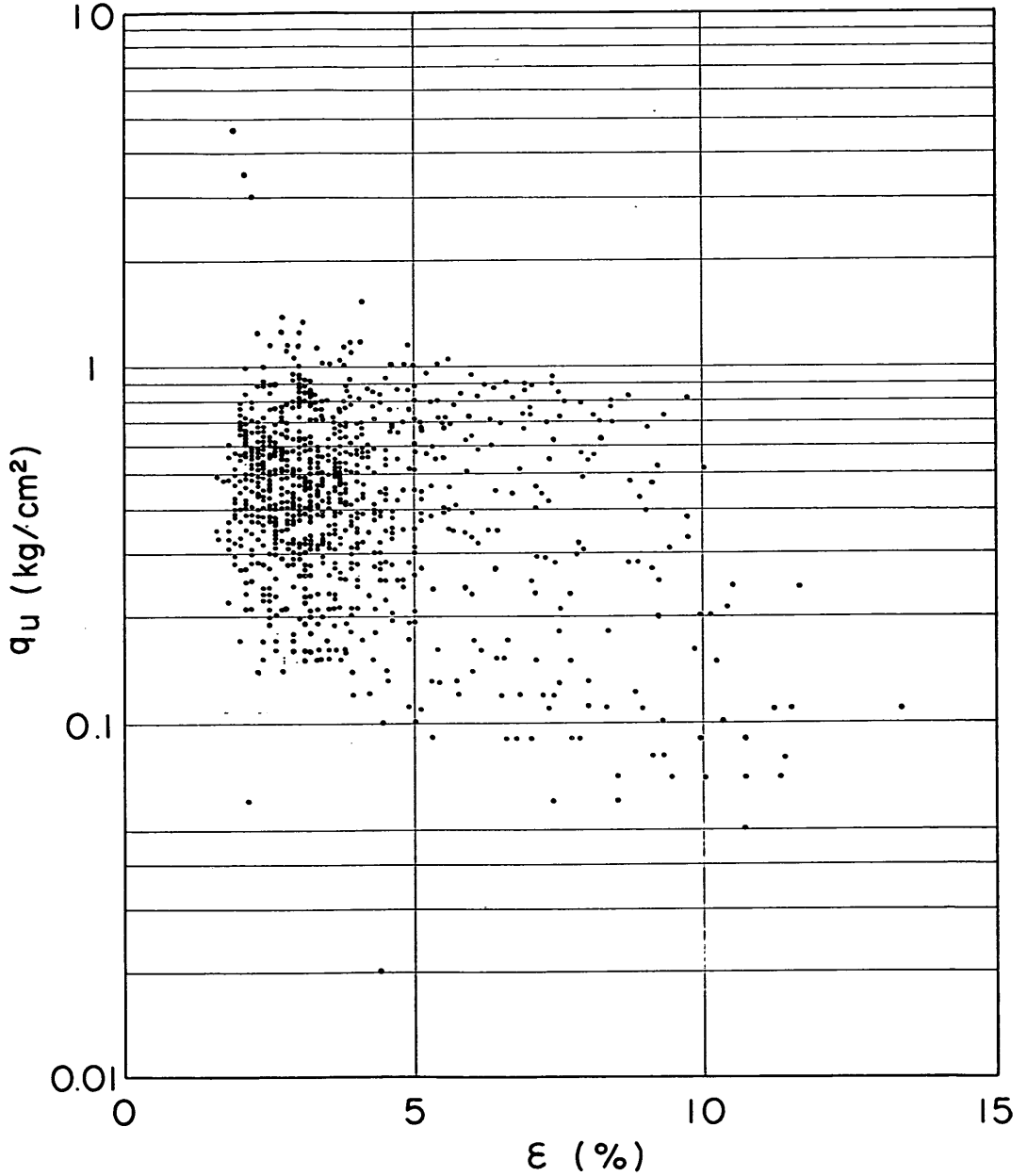


図-6.13 圧縮ひずみと一軸圧縮強さの相関図

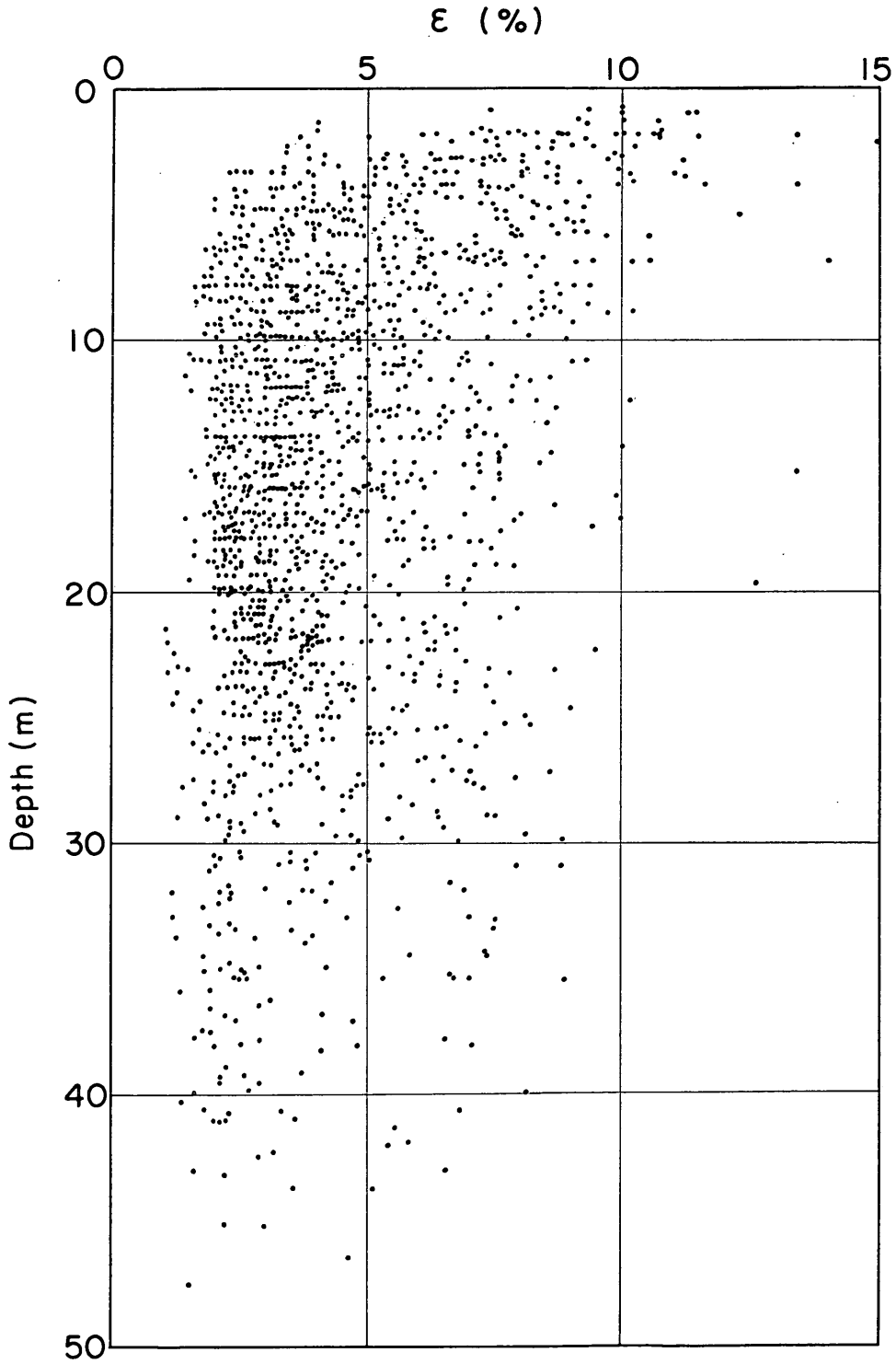


図-6.14 圧縮ひずみと深さの相関図

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

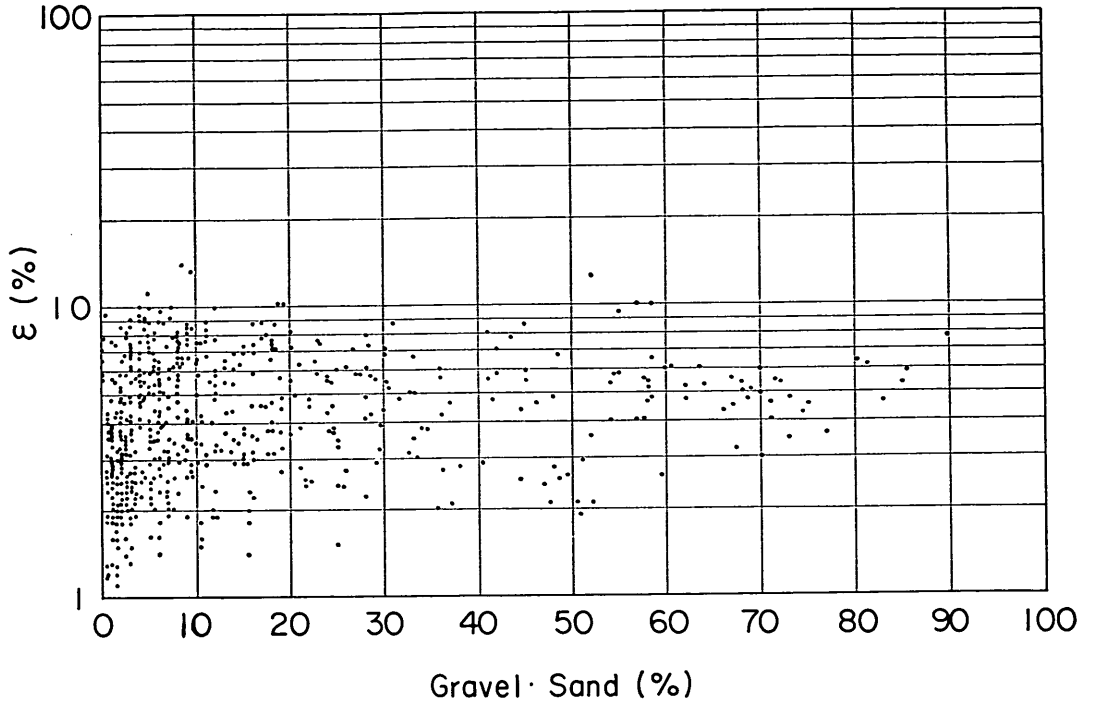


図-6.15 圧縮ひずみとれき・砂含有量の相関図

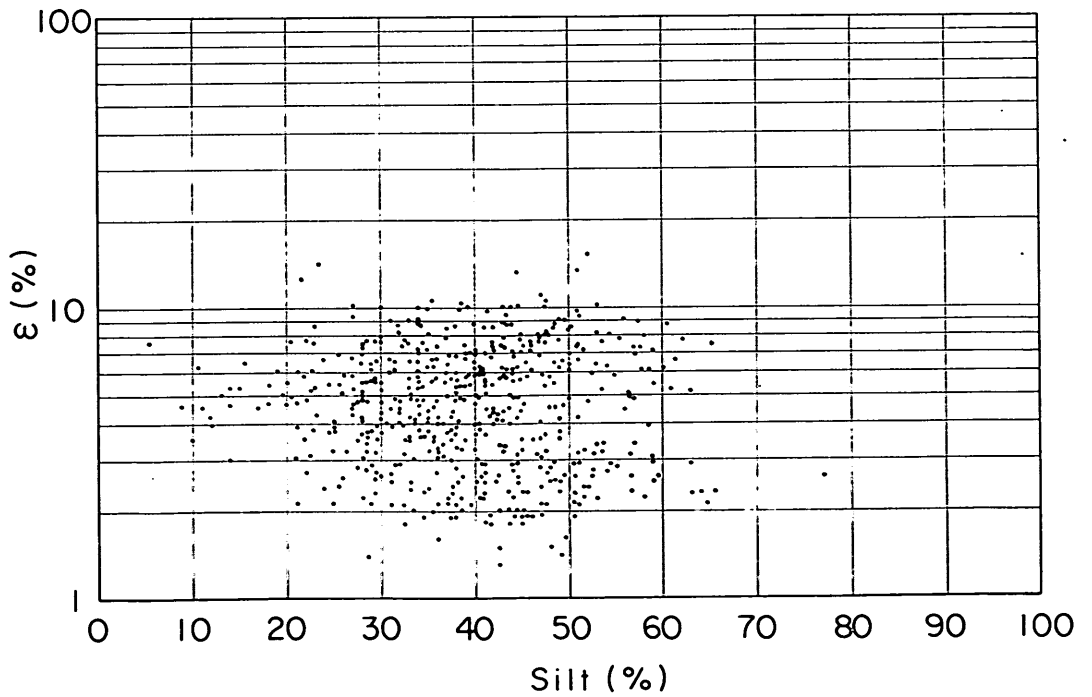


図-6.16 圧縮ひずみとシルト含有量の相関図

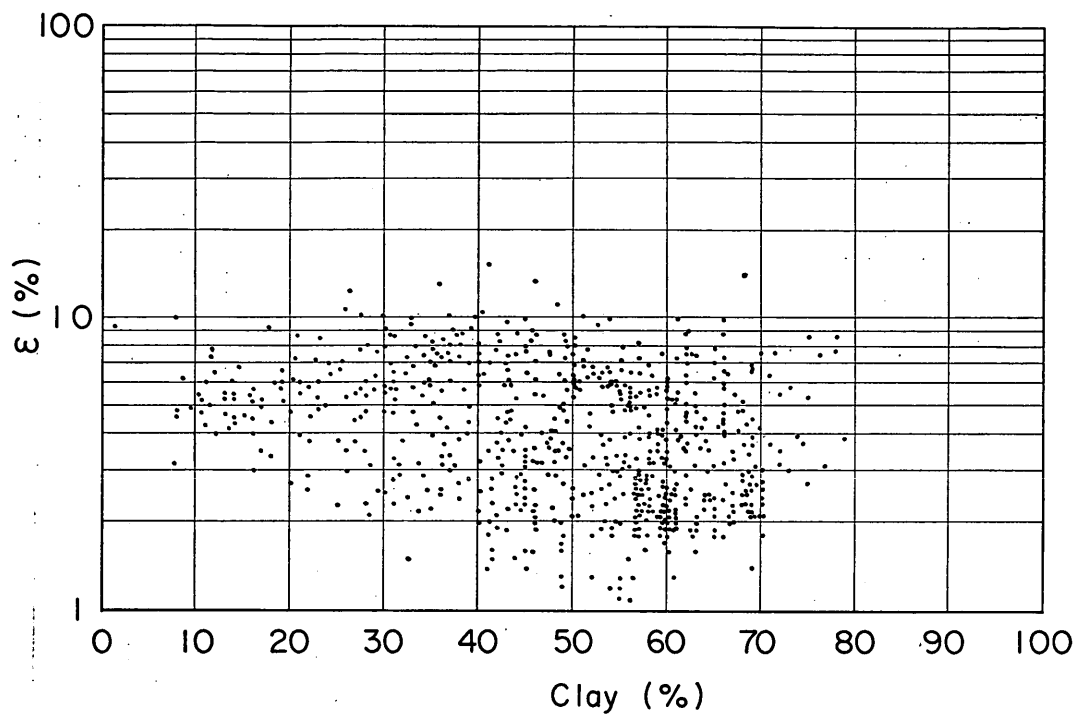


図-6.17 圧縮ひずみと粘土含有量の相関図

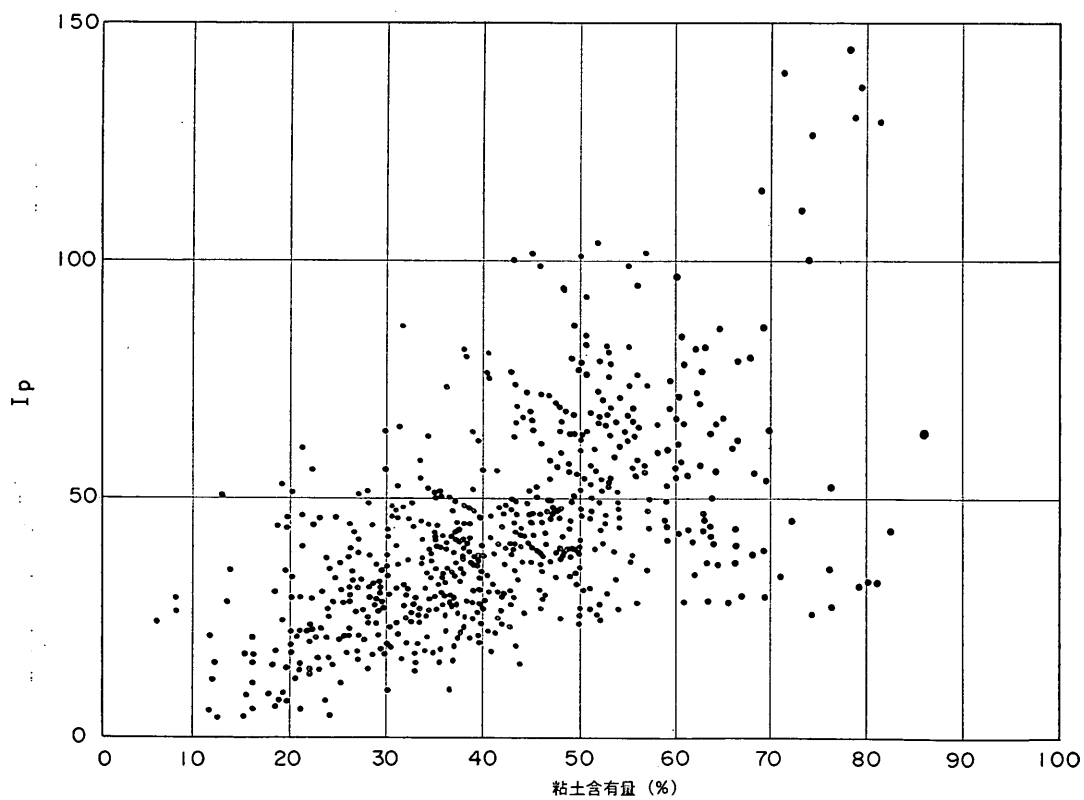


図-6.18 粘土含有量と塑性指数の相関図

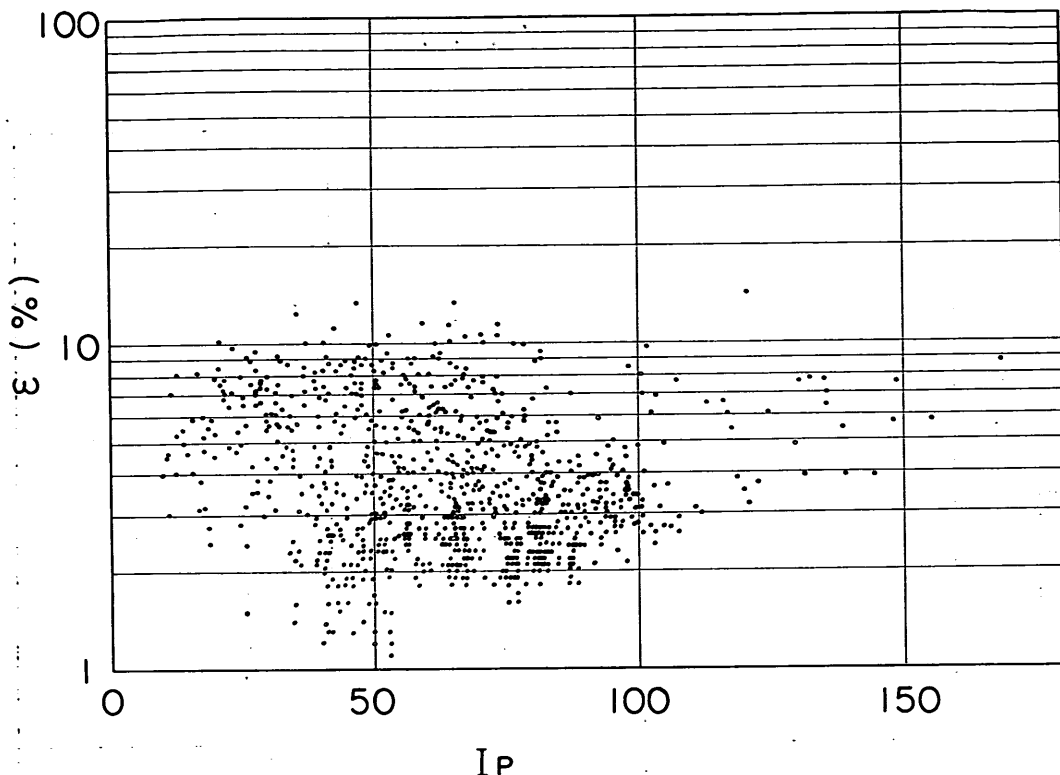


図-6.19 圧縮ひずみと塑性指数の相関図

ずみは、1～2%とほぼ様な値となっていることで説明できよう。

図-6.14 は、破壊時のひずみの深さ分布である。この図によると、海底表面部でひずみが大きく、深くなるにつれて減少する傾向がみられる。これは港湾特有の海底表層部に多い超軟弱土の影響が大きいものと思われる。

図-6.15～6.17 は、粒度組成の影響について調べたものである。砂分が多くなると、粘着力が減少し、せん断抵抗角 ϕ の要素がよくなるので、拘束圧のない軸圧縮試験では崩れやすくなりひずみ、強度とも小さめになることが考えられる。しかし、図-6.15, 6.16, 6.17 から粒度組成とひずみの関係を見出すことは困難である。

中瀬ら⁹⁾は砂含有量の多い粘土では、サンプリングによって地中から取出されることによって拘束圧が除去され膨張して不飽和状態になり $\phi=0$ とならないことから見掛けの粘着力 c を過小評価しているとして、それを補正することを提案している。このとき I_p を砂分が多いとか、逆に粘土分が少ないとか、粒度組成の物指しとして利用しているので、 I_p と粘土含有量の関係および強度減少との関連でひずみと I_p との関係を調べた。これを

図-6.18および図-6.19に示す。

図-6.18, 6.19からは明らかな相関はみられなかった。これは前述したように土の種類の違いによるものが大きく、同一地層について整理すると明らかな傾向がみられることも考えられるが、本報告では全体的傾向をとらえて考察することを主目的としているので詳細の検討は割愛した。

6.3 圧縮強さと有効土かぶり圧の関係

一軸圧縮強さ q_u と有効土かぶり圧 $\Sigma \bar{\sigma}'_h$ の関係は、圧密による強度増加の指標となる強度増加率 c_u/p を求めるのによく利用される。基礎地盤の設計に必要な c_u/p 値を求めようとするとき、その地域のものについてプロットし、その平均的な勾配から得られるが、ここでは当研究室で処理した全国的なデータを一括してプロットし図-6.20に示す。この図からわかるように変動係数0.75とばらつきは大きいが直線の関係式を求めてみると、 $q_u=0.74 \Sigma \bar{\sigma}'_h$ なる関係が得られる。つまり、 q_u 値は土かぶり圧の74%程度であることがわかる。また、この図から、きわめて概略的であるが c_u/p 値の上限と下限値を求めてみると、

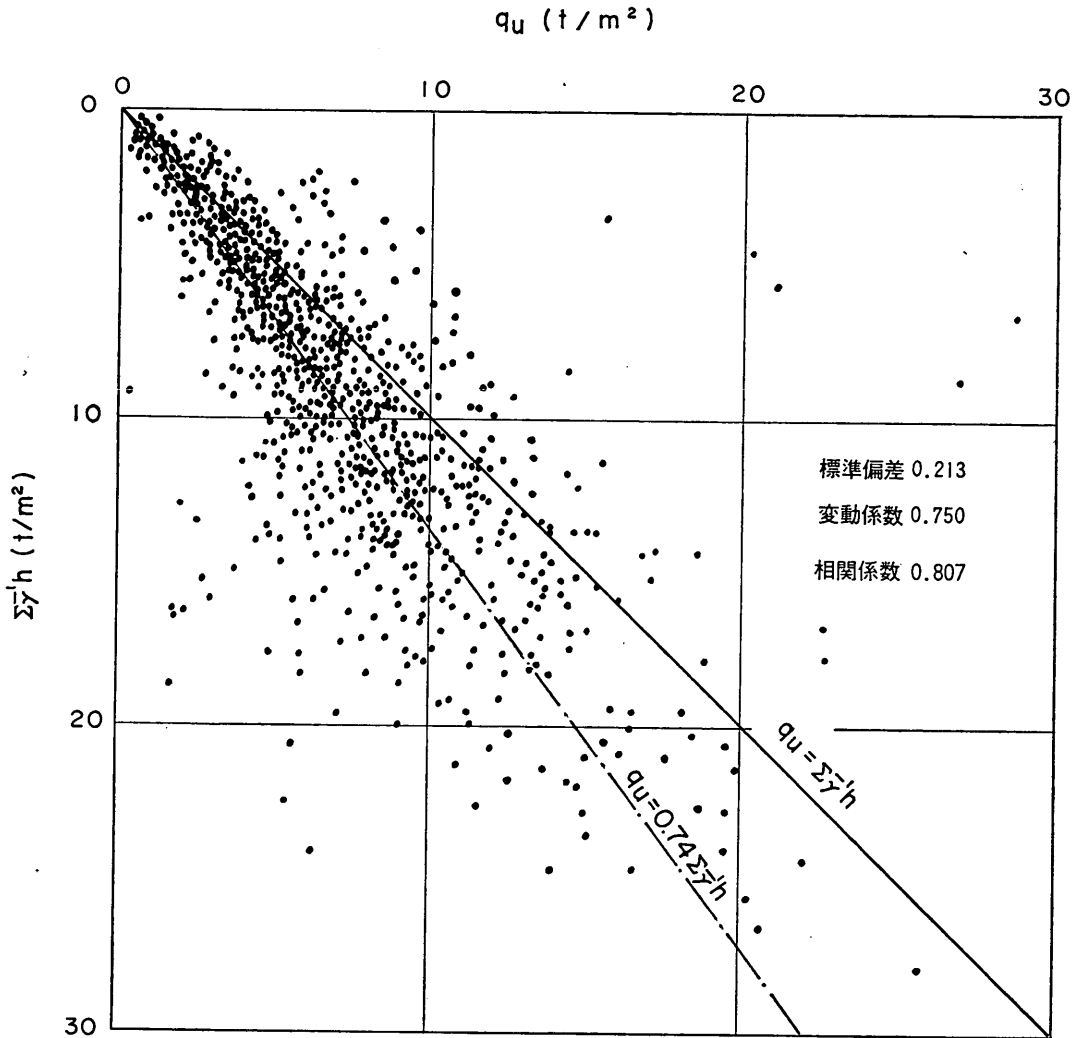


図-6.20 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図

上限値 $c/p=0.5$

下限値 $c/p=0.2$

が得られる。これは、当然であろうが c/p 値として利用される範囲をよく示している。

前述したように、有効土かぶり圧は圧密試験から得られる圧密降伏応力 p_v と関連があるので、有効土かぶり圧に対し p_v が同じかもしくは小さいもの、いわゆる正規圧密領域のものと、有効土かぶり圧より p_v が大きいもの、いわゆる過圧密領域のものすべての試料について整理したものを図-6.21, 6.22 に示し、それをさらに 6.1 で述べたように砂分や超軟弱土（有機質土）による強度減少の著しい範囲のもの（ $30 \geq I_p \geq 100$ ）を削除して表示

したものを、図-6.23, 6.24 に示す。

図-6.21 に示す正規圧密領域の粘性土の一軸圧縮強さ q_u は、有効土かぶり圧 $\Sigma \bar{\sigma}'_v h$ の約70%程度であることがわかる。すなわち

$$q_u = 0.68 \Sigma \bar{\sigma}'_v h$$

である。

これに対し、過圧密領域の粘性土は、有効土かぶり圧 $\Sigma \bar{\sigma}'_v h$ の約80%程度であることがわかる。すなわち、

$$q_u = 0.81 \Sigma \bar{\sigma}'_v h$$

である。

しかし両者とも有効土かぶり圧 10 tf/m^2 あたりから q_u 値が減少し、ばらつきも大きくなるので、この近傍に一

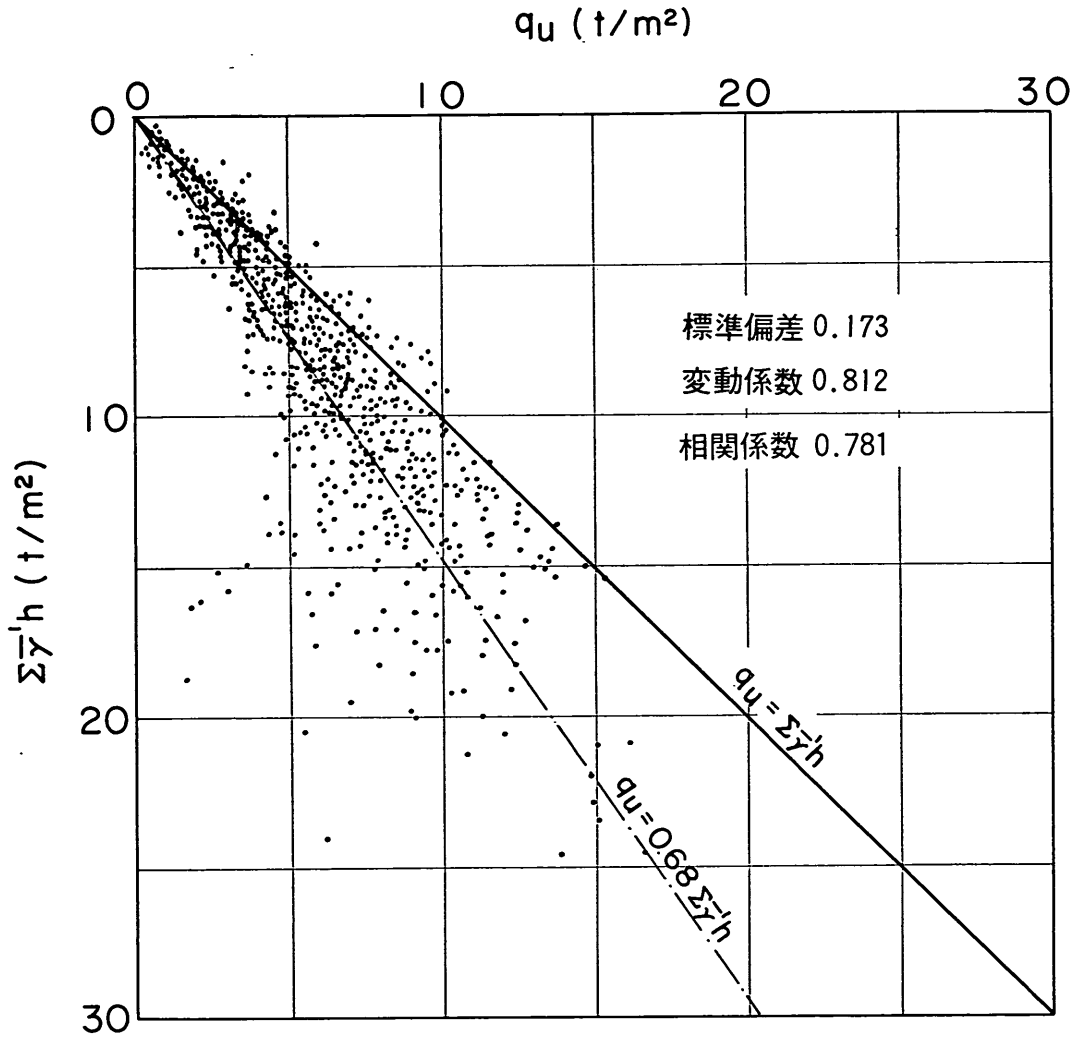


図-6.21 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (正規圧密領域試料)

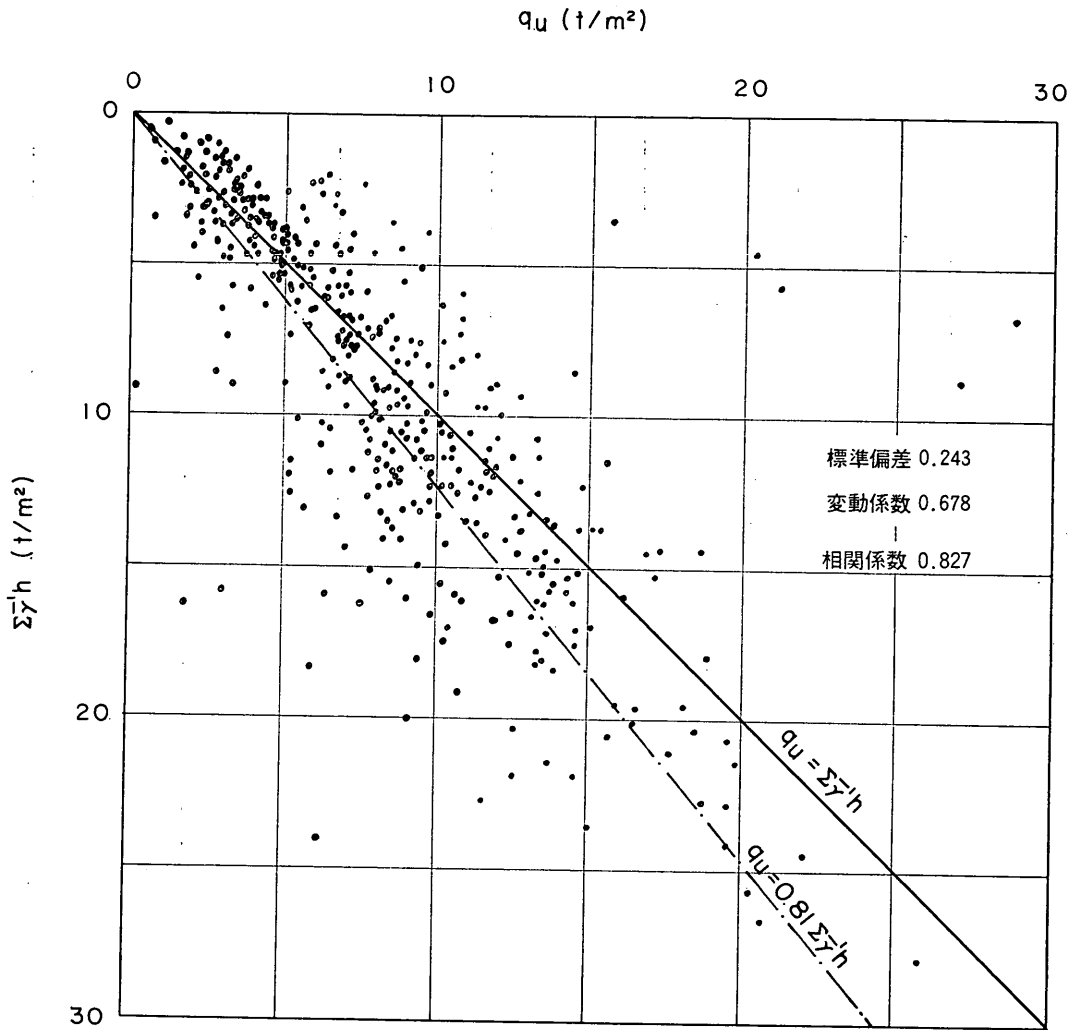


図-6.22 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (過圧密領域試料)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

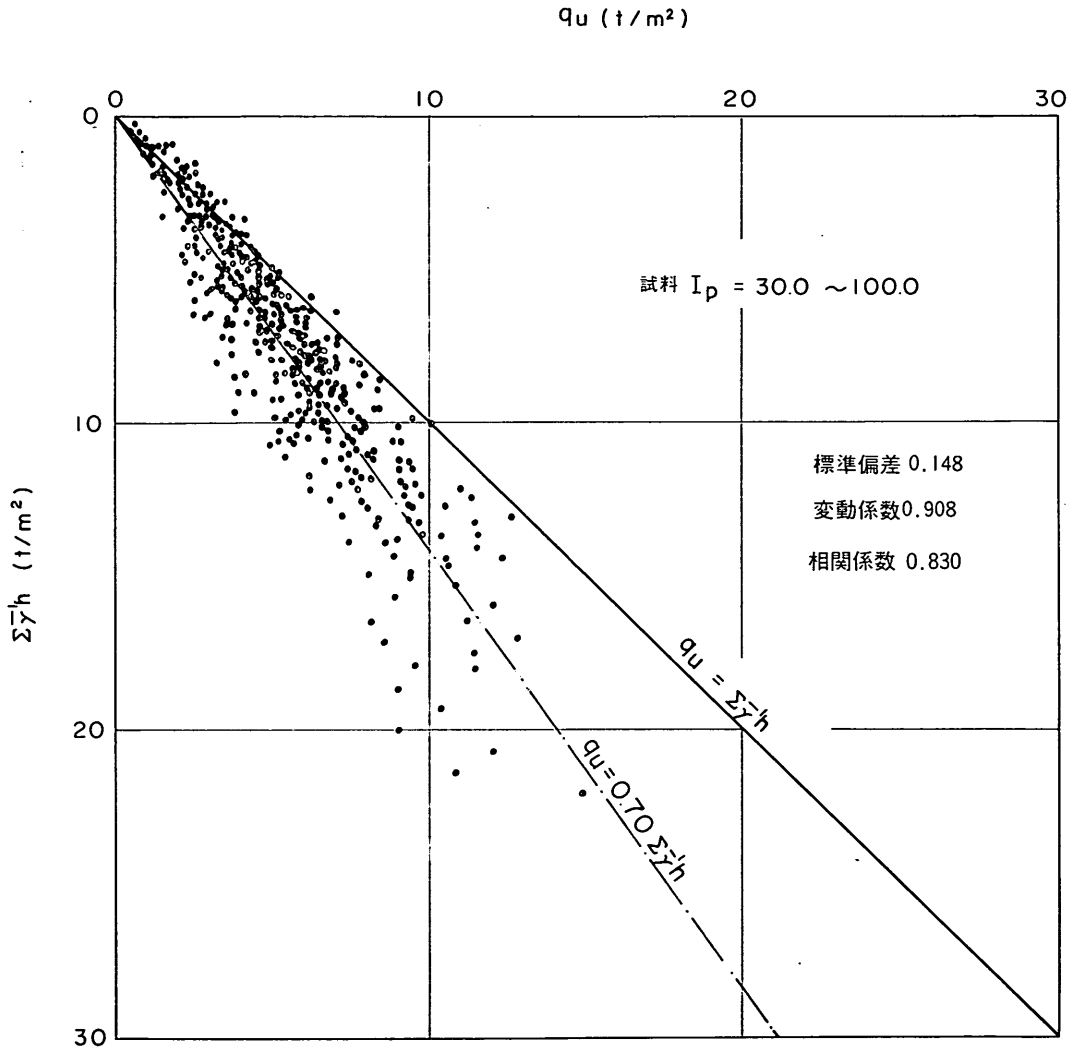


図-6.23 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (正規圧密領域試料 $I_p=30\sim100$)

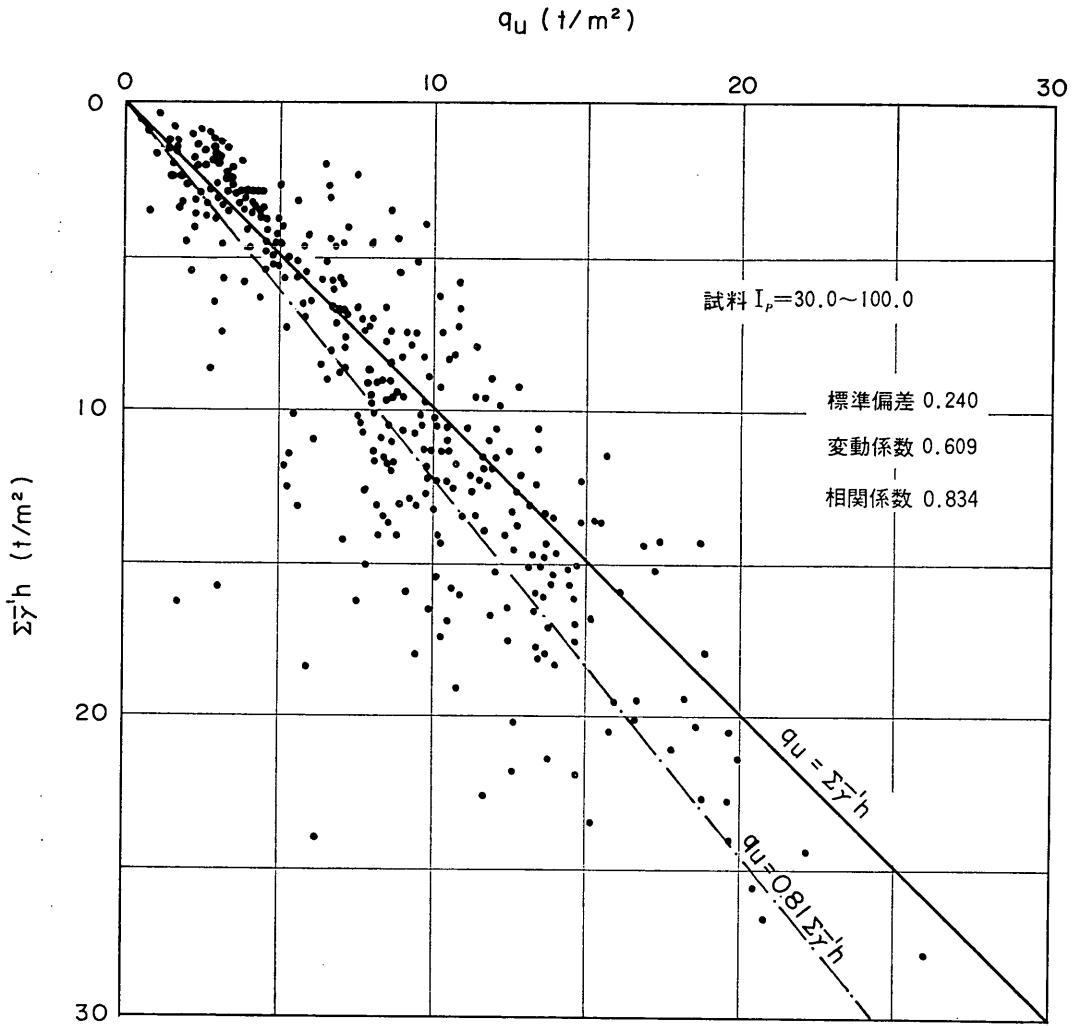


図-6.24 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (過圧密領域試料 $I_p=30\sim 100$)

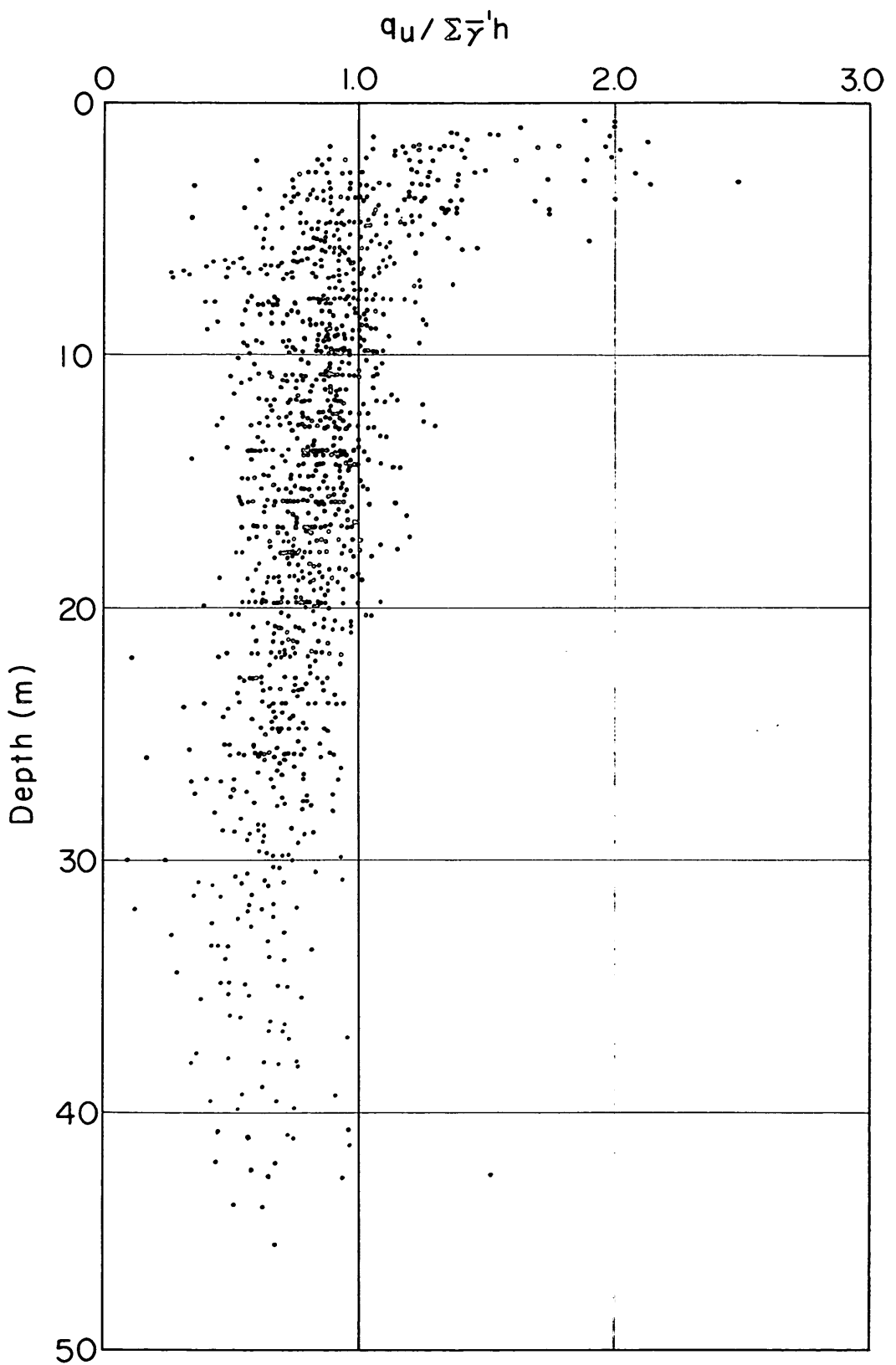


図-6.25 深さと有効土かぶり圧に対する一軸圧縮強さ比の相関図

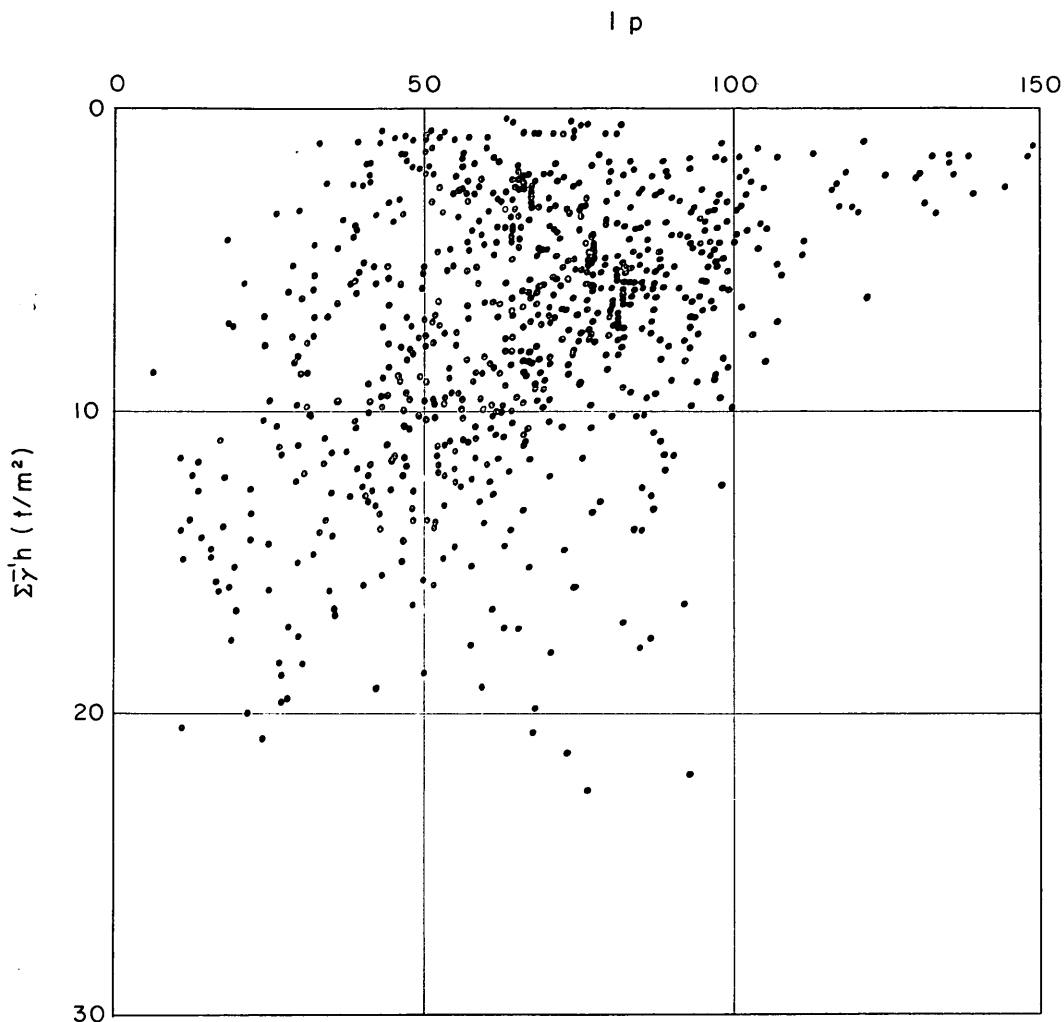


図-6.26 有効土かぶり圧と塑性指数の相関図

つの境界があるように思われる。今、仮に、土の水中単位体積重量 γ' を 0.5 t/m^3 とすると、層厚は 20m となる。この深さは、サンプリングによって生じる試料の乱れが著しくなる境界を示しているようにも考えられ、サンプリングの困難性を示す一つの境界つまりサンプリング時に注意をうながすガイドラインとしてもよいのではないだろうか。

このことについて、もう少し詳しくみるために図-6.25を示す。これは q_u を $\Sigma\gamma'h$ で除して無次元表示し、それを深さ方向に対してプロットしたものである。

これによると、 20m までは、 $q_u/\Sigma\gamma'h$ の 1.0 近傍のものが多くみられるが、 20m 以深になると、 1.0 より小さいものが多くなり、 $\Sigma\gamma'h$ に対し q_u 値の低下が著し

くなることをよく表わしている。

しかし一般的には深くなると砂分を多く含有することによる強度低下があるので、サンプリングのさいの深さによる機械的乱れだけとして片付けてしまうこともできない。この関連データとして、有効土かぶり圧と塑性指数 I_p の関係を図-6.26 に示す。これによると $\Sigma\gamma'h$ が大きくなると、つまり深くなると I_p が減少する傾向がみられる。また同様に砂含有量と $\Sigma\gamma'h$ の関係を図-6.27 に示す。この図からも、深さ方向に砂含有量が増加する傾向がみられる。これに関連して、 $\Sigma\gamma'h$ と含水比 w の関係についても検討してみた。それを図-6.28, 6.29 に示す。

図-6.28 は、いわゆる正規圧密粘土 $p_v = \Sigma\gamma'h$ と呼ば

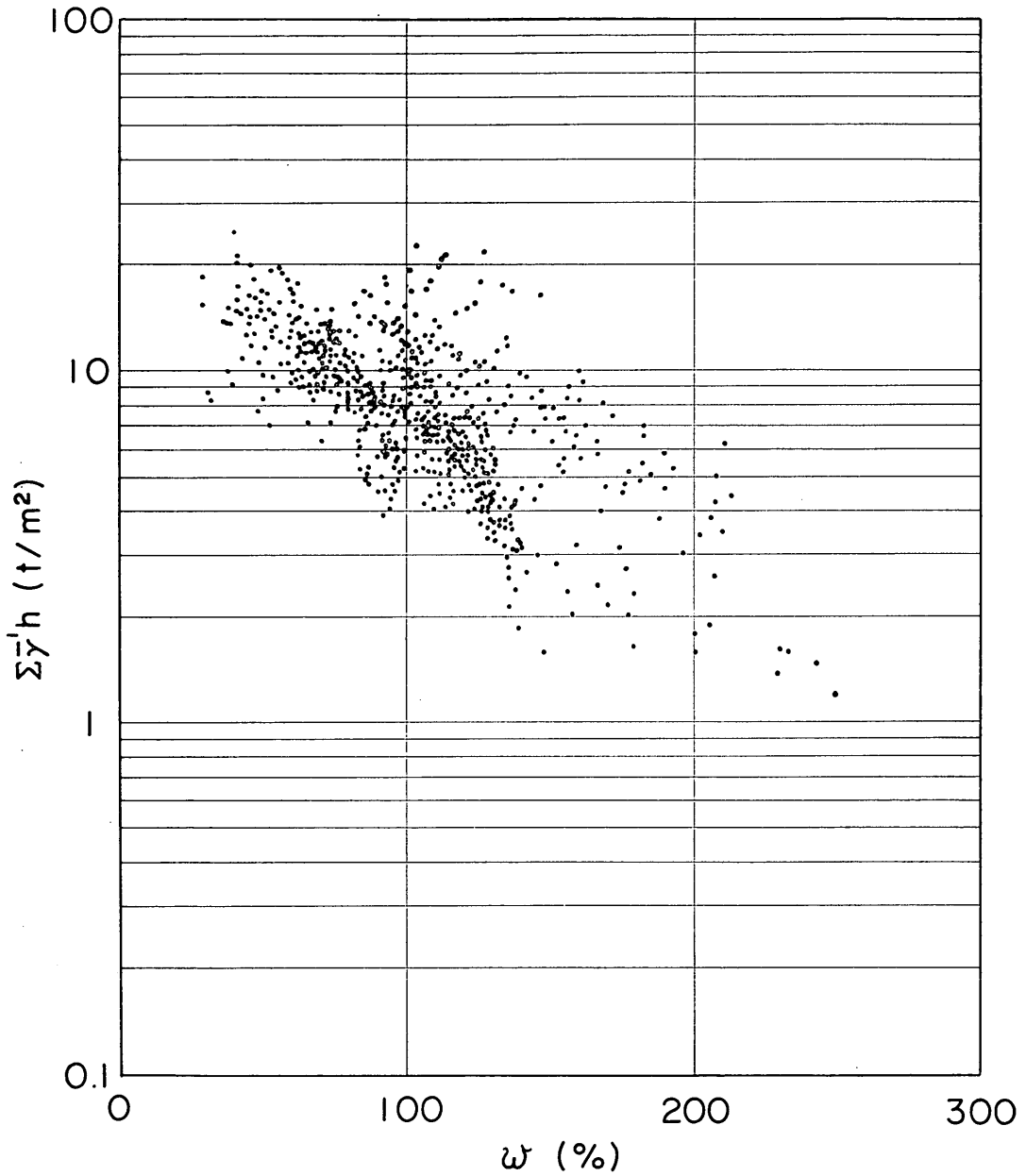


図-6.28 有効土かぶり圧と含水比の相関図（正規圧密領域試料）

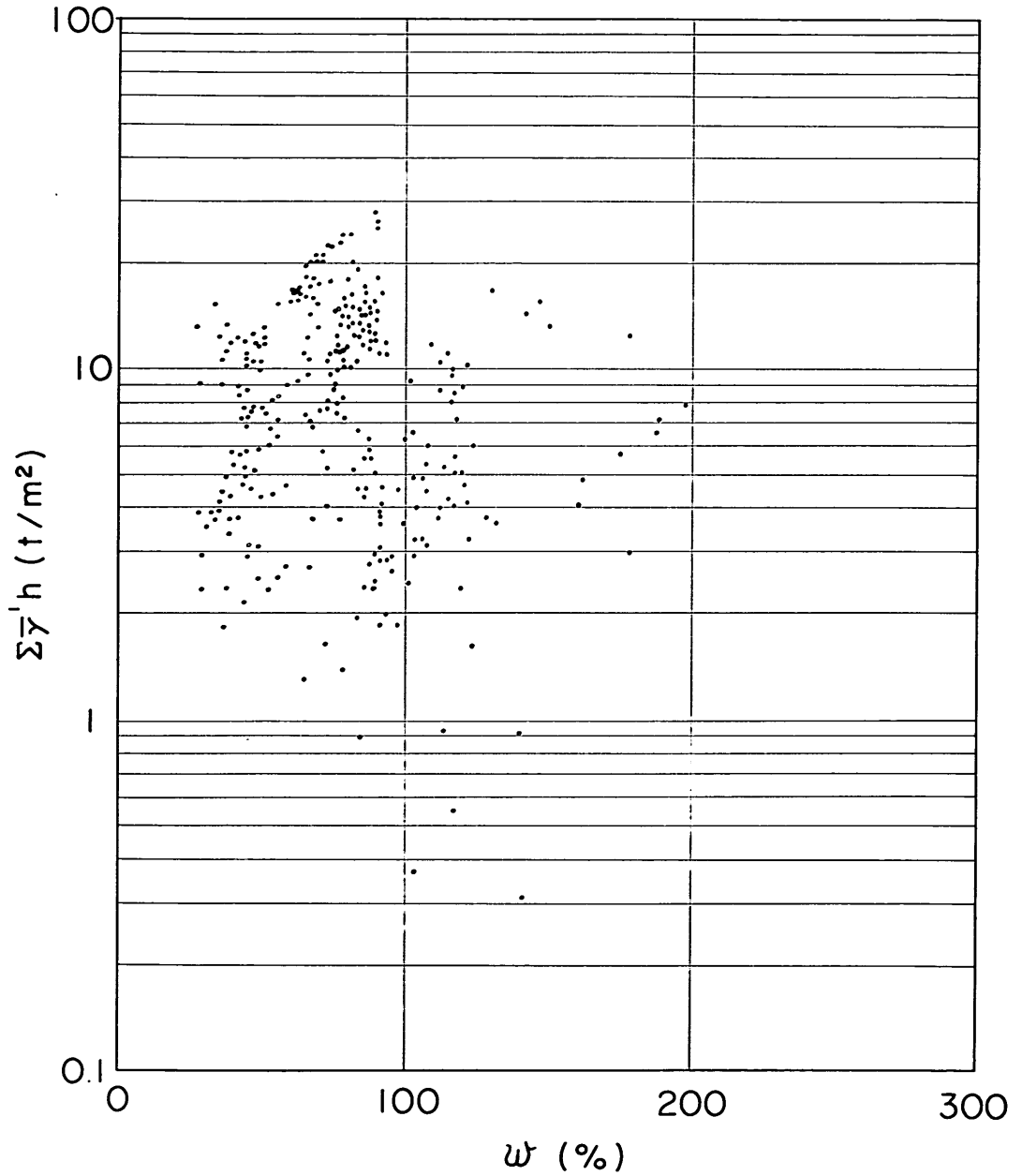


図-6.29 有効土かぶり圧と含水比の相関図 (過圧密領域試料)

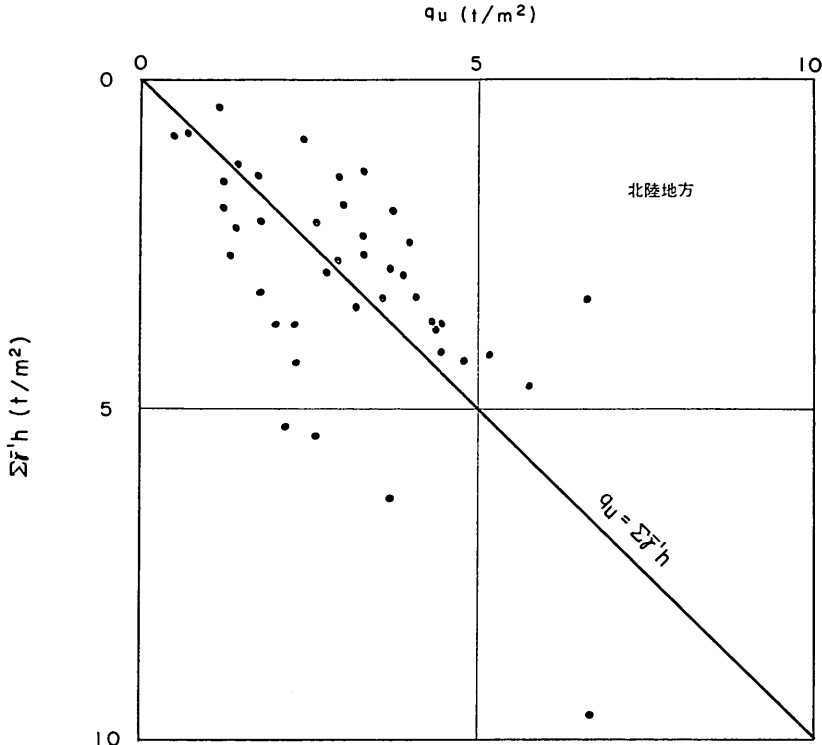


図-6.30 有効土被りと圧と一軸圧縮強さの相関図（北陸地方）

れる領域のもので、図-6.29 は、いわゆる過圧密領域粘土 $p_v > \Sigma \bar{f}'h$ と呼ばれる領域のものである。

図-6.28 の $p_v = \Sigma \bar{f}'h$ における含水比 w は $\Sigma \bar{f}'h$ の対数にほぼ逆比例しており、相関性が認められる。しかし、図-6.29 における $p_v > \Sigma \bar{f}'h$ の条件においては、上述のような相関性は認められない。

図-6.30～6.37 には $q_u \sim \Sigma \bar{f}'h$ の地方別の関係を示す。

地方別は、地域によってはプロット数の少ないものもあり、相関性を調べるには適当でないものもあるが、地方の特殊性を示す意味であえて表示した。

これらの図のうち特徴的な2～3のものについて述べる。南関東地方のものは、 $q_u = \Sigma \bar{f}'h$ の直線に対し、両方に幅広く分布している。これは、南関東のほとんどは東京湾（東京大井、横浜大黒、千葉など）のものであるから東京湾内は、地域によって相当バラエティーに富んだ土質が分布していることがわかる。

つぎに東海地方はすべて清水港袖師地域のものである。ここは海底面からこう積世のものと思われる硬質粘土が露出した特殊な地層で有効土かぶり圧に対して q_u 値が極端に大きい値を示しているのが特徴である。

その他については、全試料のものが集中している範囲におおむね入るのでここでは説明を割愛する。

6.4 圧縮強さと圧密降伏応力の関係

一軸圧縮強さ q_u と圧密降伏応力 p_v の関係は、有効土かぶり圧 $\Sigma \bar{f}'h$ と q_u および p_v が密接な関係があるように対応のよいことが考えられる。これを調べたものが図-6.38である。

この図は、 $\Sigma \bar{f}'h$ にほぼ等しいものと、 $\Sigma \bar{f}'h$ より大きいものを分けて印をかえプロットしたものであり、正規圧密領域に属すると思われる粘土については、次式が得られる。

$$q_u = 0.69 p_v$$

また、 $p_v > \Sigma \bar{f}'h$ の場合は、ばらつきが大きく、直線関係を求めることは適当でないかも知れないが一応直線式で示すと次のとおりである。

$$q_u = 0.57 p_v$$

ただし、変動係数は、0.42とばらつきは大きい。

6.5 圧縮強さの深さに対する増加割合と分類指数の関係

一軸圧縮強さ q_u の深さ方向に対する増加傾度 k は、

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

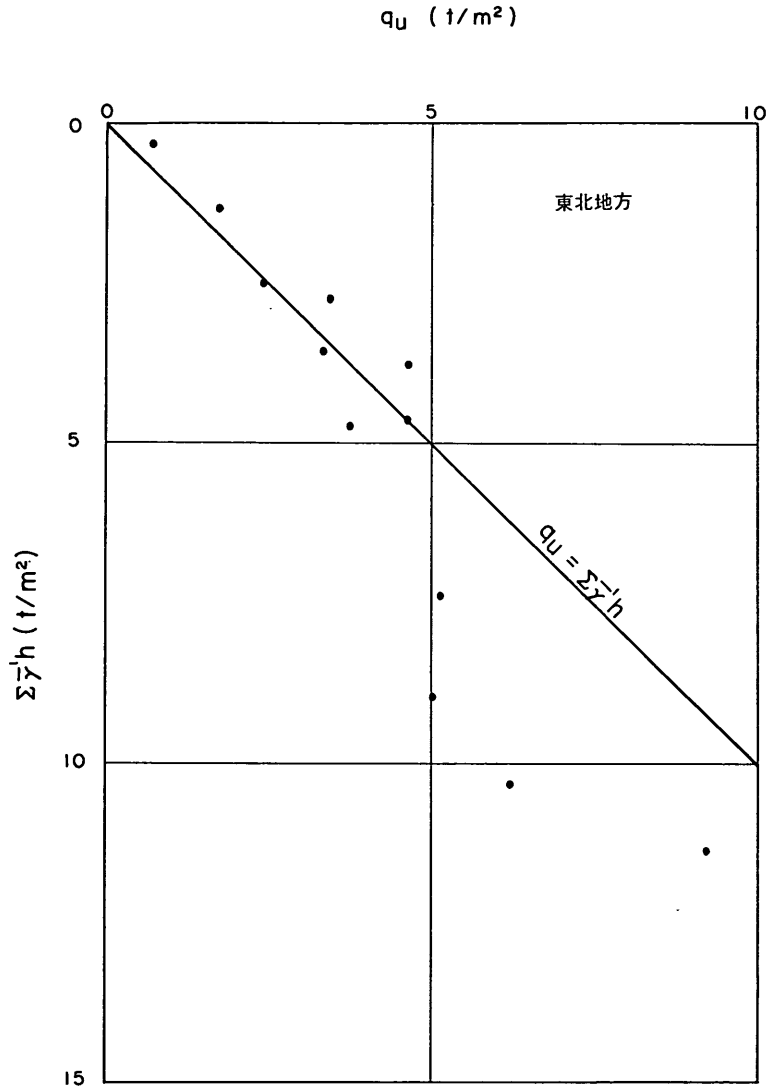


図-6.31 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図（東北地方）

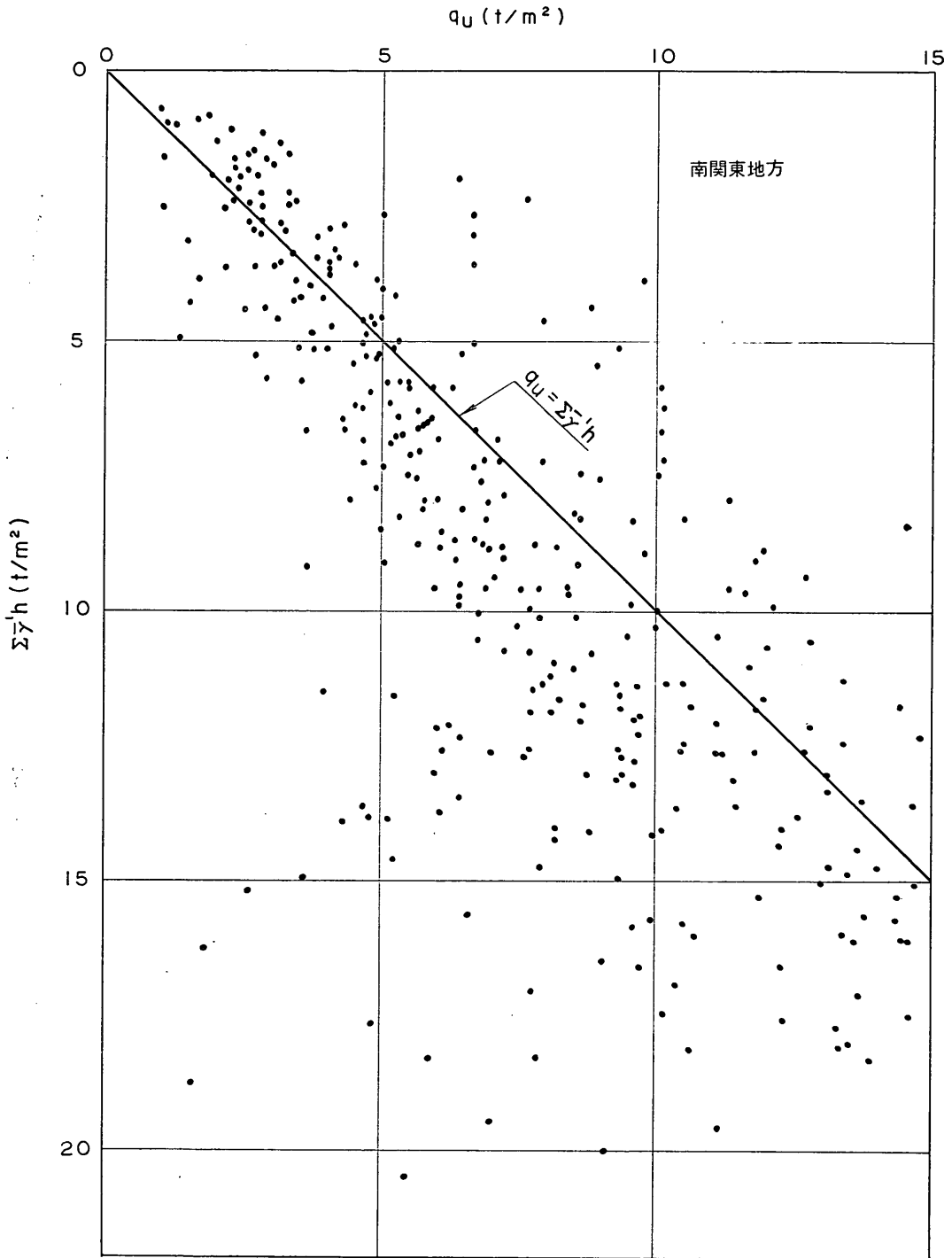


図-6.32 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (南関東地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

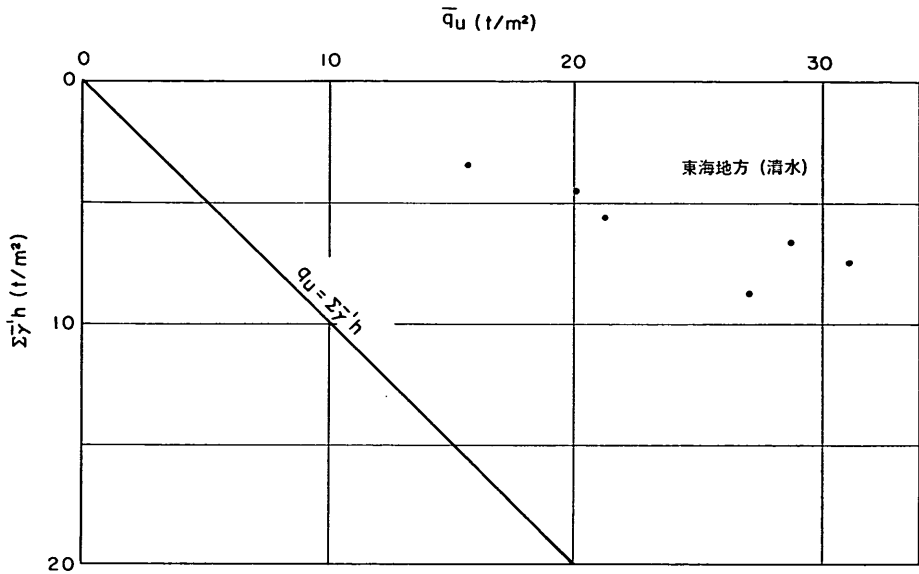


図-6.33 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (東海地方)

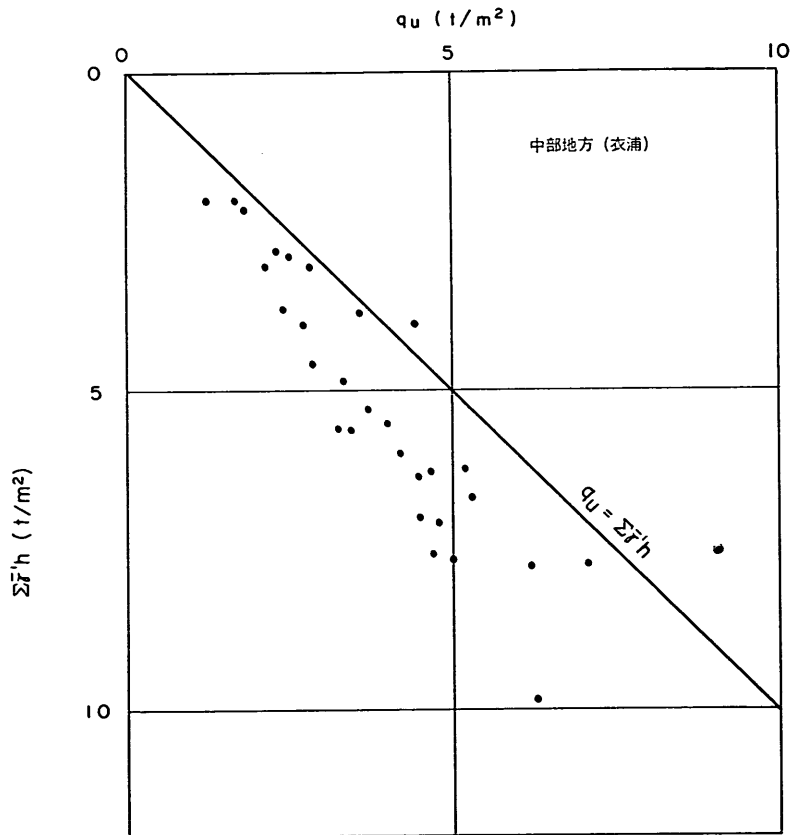


図-6.34 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (中部地方)

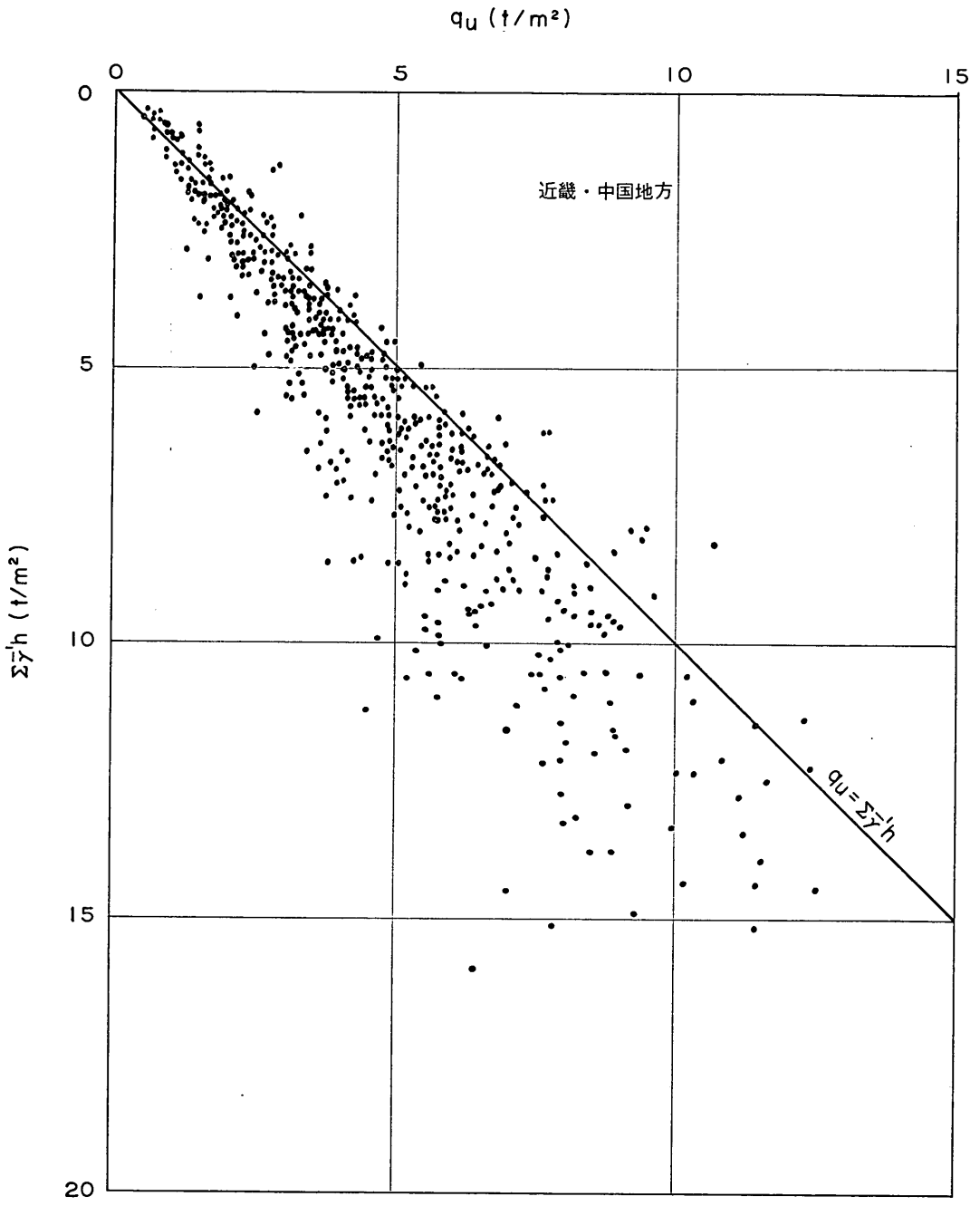


図-6.35 有効土かぶりと圧と一軸圧縮強さの相関図 (近畿・中国地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

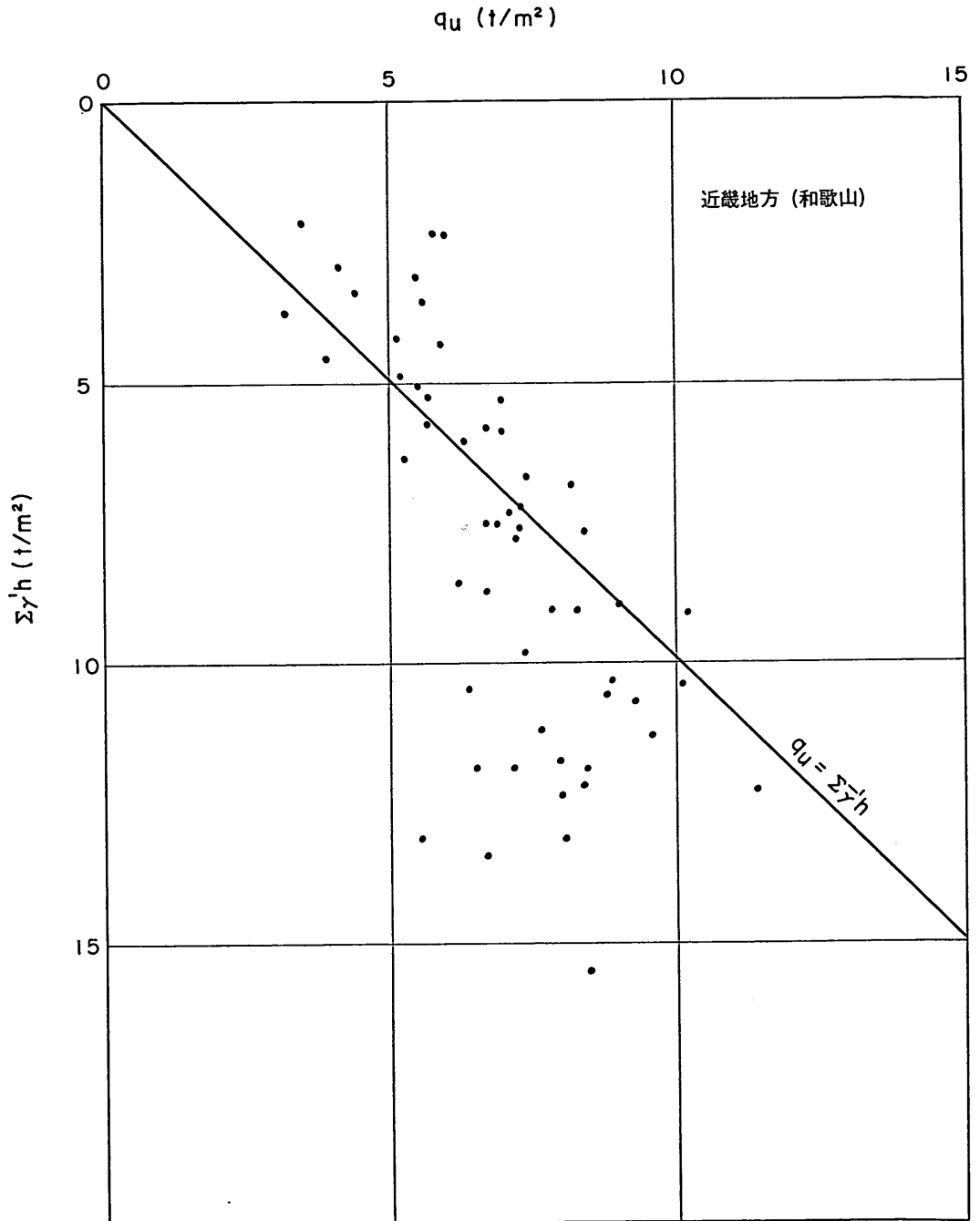


図-6.36 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (近畿地方)

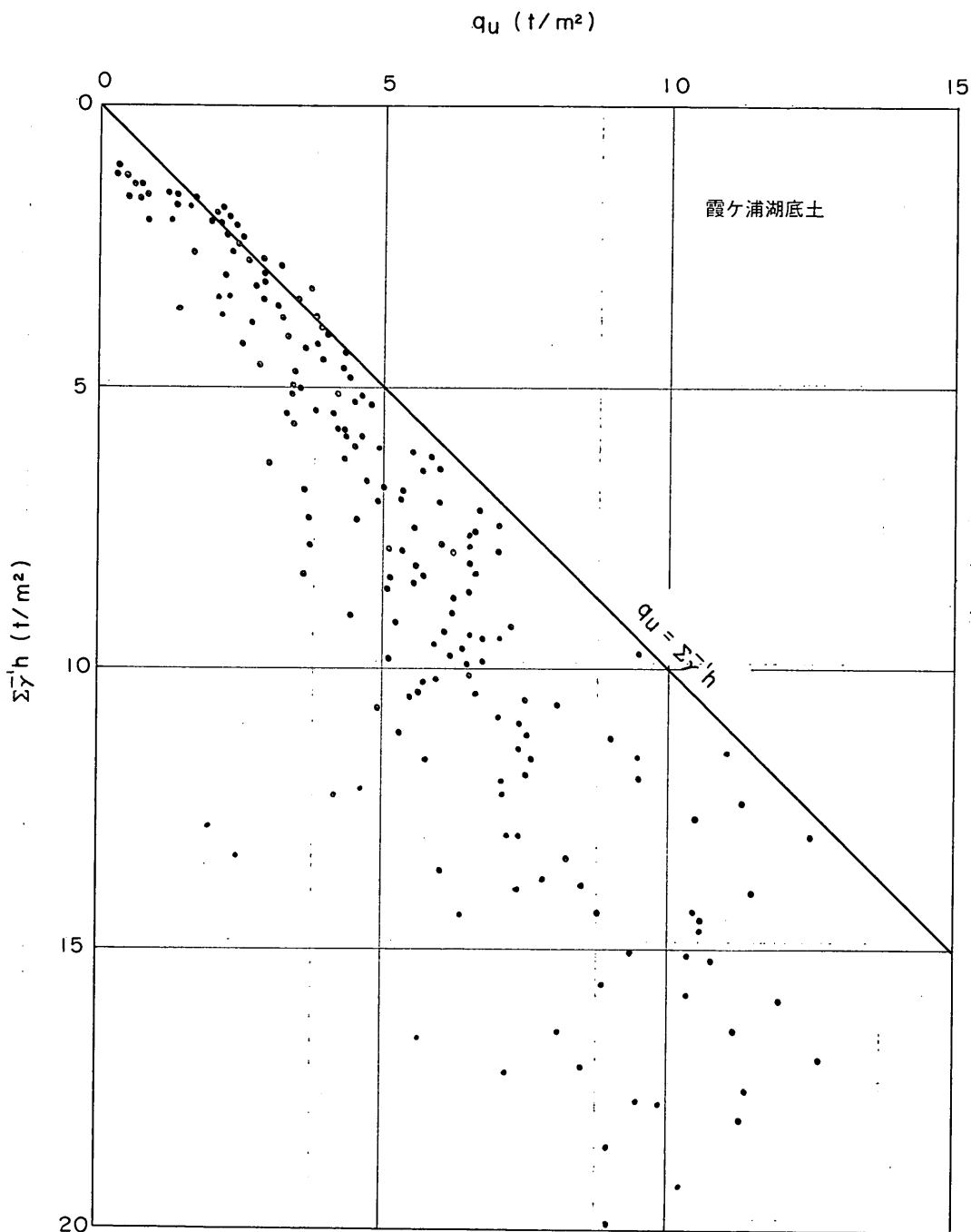


図-6.37 有効土かぶり圧と一軸圧縮強さの相関図 (霞ヶ浦湖底土)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

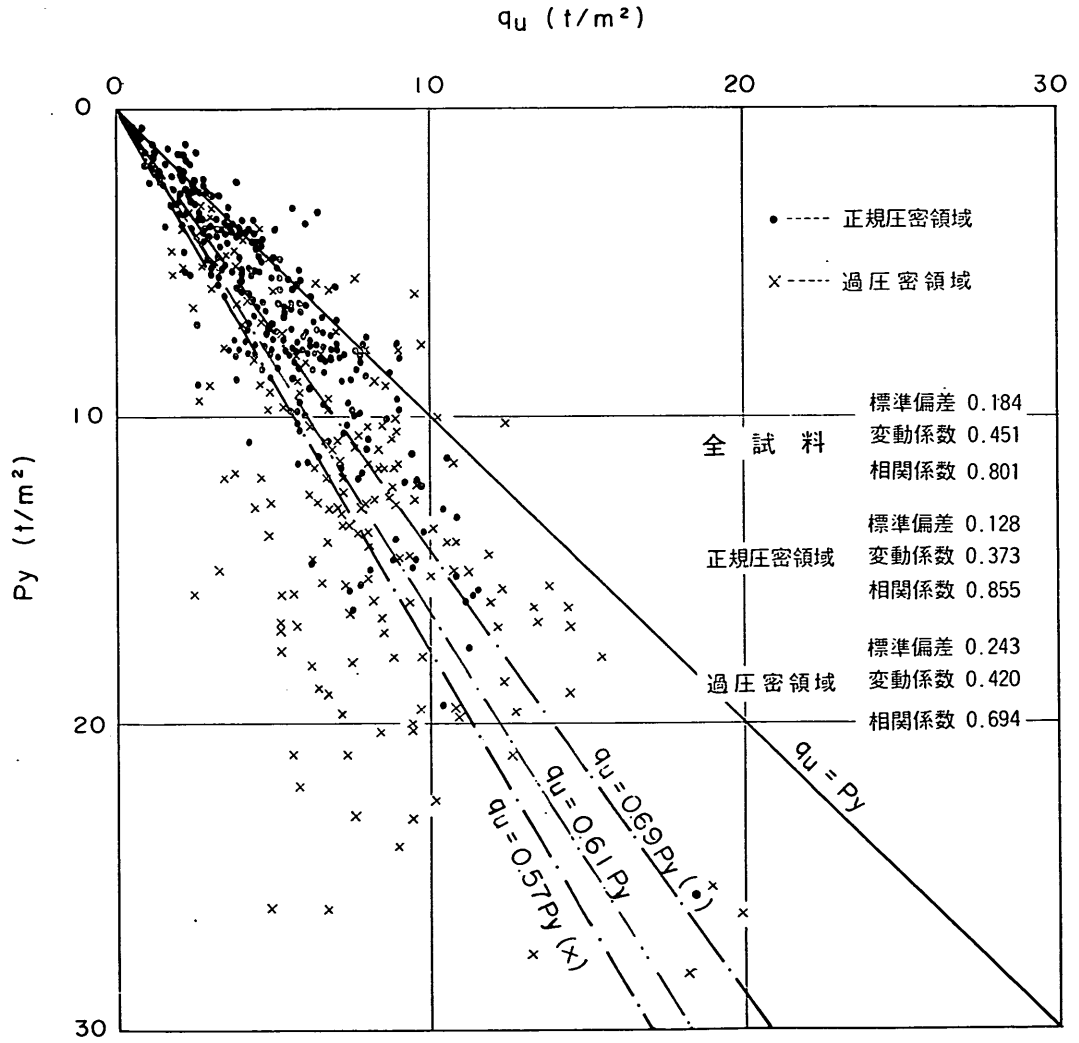


図-6.38 圧密降伏応力と一軸圧縮強さの相関図

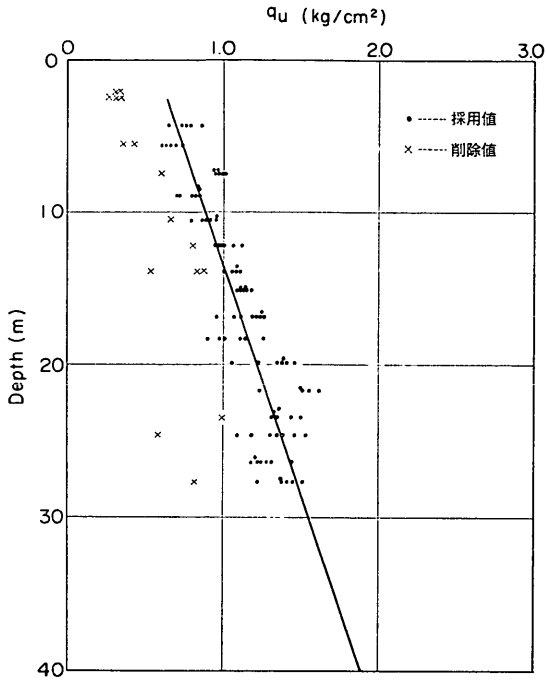


図-6.39 深さに対する強度増加傾度の求め方

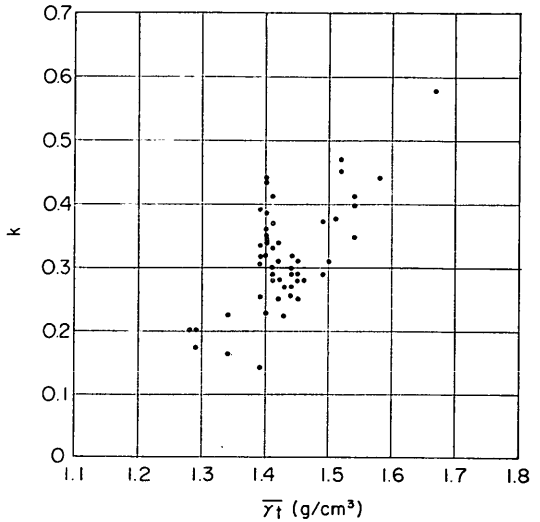


図-6.41 深さに対する強度増加傾度と平均単位体積重量の相関図

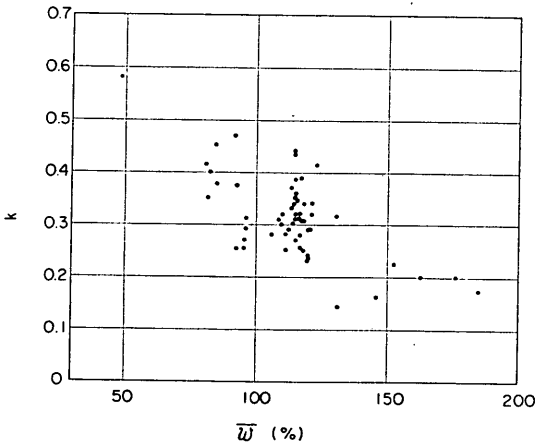


図-6.40 深さに対する強度増加傾度と平均含水比の相関図

円形すべりなどの計算に必要な数値として、また粘土の強度増加率 c_u/p を求めるのによく用いられる重要なものである。増加傾度 k を求めるにあたっては、図-6.39に示すように、試験時に目視観察した記録から貝殻、クラックなどにより明らかに強度低下をきたしているものは削除し適正な値が得られているもののみを採用して、最少自乗法によって求めた直線の傾度である。こ

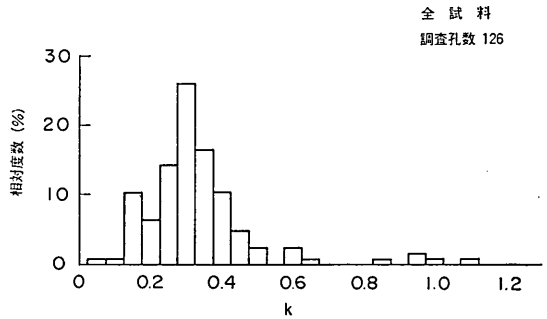


図-6.42 深さに対する強度増加傾度の頻度分布図(全試料)

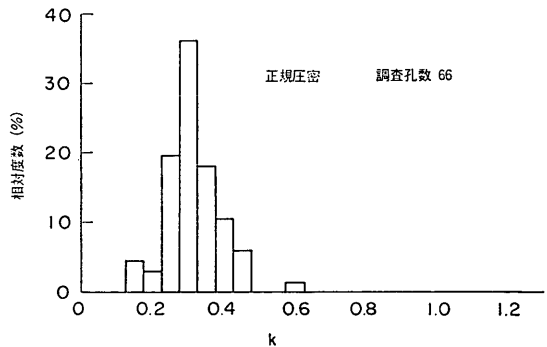


図-6.43 深さに対する強度増加傾度の頻度分布図(正規圧密領域試料)

れについて含水比 w と、単位体積重量 γ_t との対応について調べてみた。それを図-6.40, 6.41に示す。また増加傾度 k の頻度分布を図-6.42, 6.43に示す。

図-6.40および図-6.41からわかるように、 k は w, γ_t ともに相関が認められる。一方、図-6.42, 6.43からは、 $p_v \leq \Sigma \bar{d}'/h$ および $p_v > \Sigma \bar{d}'/h$ とも $k=0.3$ を極大値とした正規分布に近い曲線が得られる。

6.6 変形係数と粘着力の関係

変形係数 E_{50} は、サンプリングなどによる土の乱れの指標の一つとしてよく用いられ、サンプリングにおける品質評価や土質試験精度の評価に有力な手がかりとなる重要な指数である。

変形係数 E_{50} は、図-6.44に示す応力～ひずみ曲線から式(6)によって求められる。

$$E_{50} = \frac{\frac{q_u}{2}}{\frac{q_u}{2} \text{ に対応する軸ひずみ}} \times 100 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

.....(6)

E_{50} は、 q_u 値が得られている6,650個すべてについて求めたが、粘着力 $c(q_u/2)$ との関係を表示した図-6.45はこの値の範囲を示す上限、下限の線を引くために必要

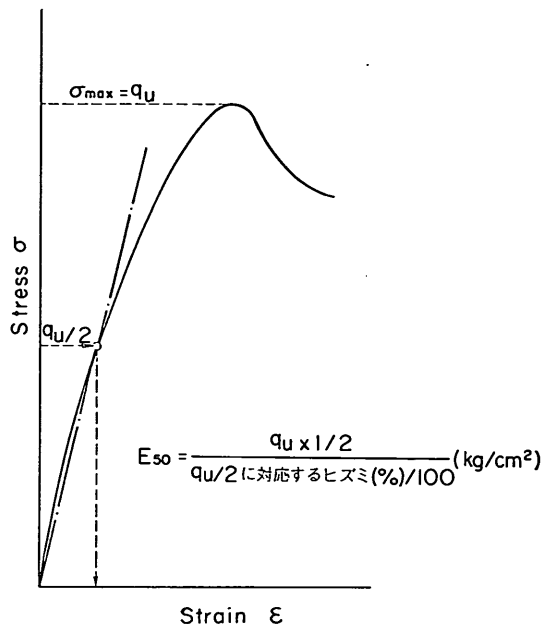


図-6.44 変形係数の求め方

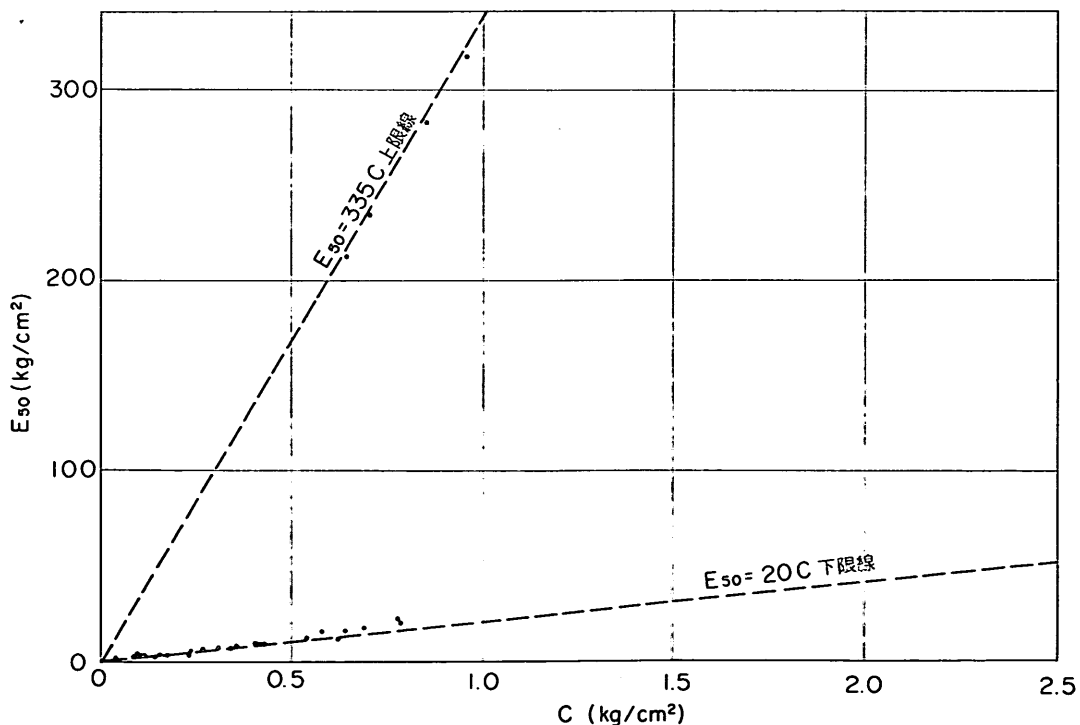


図-6.45 変形係数の上下限分布図

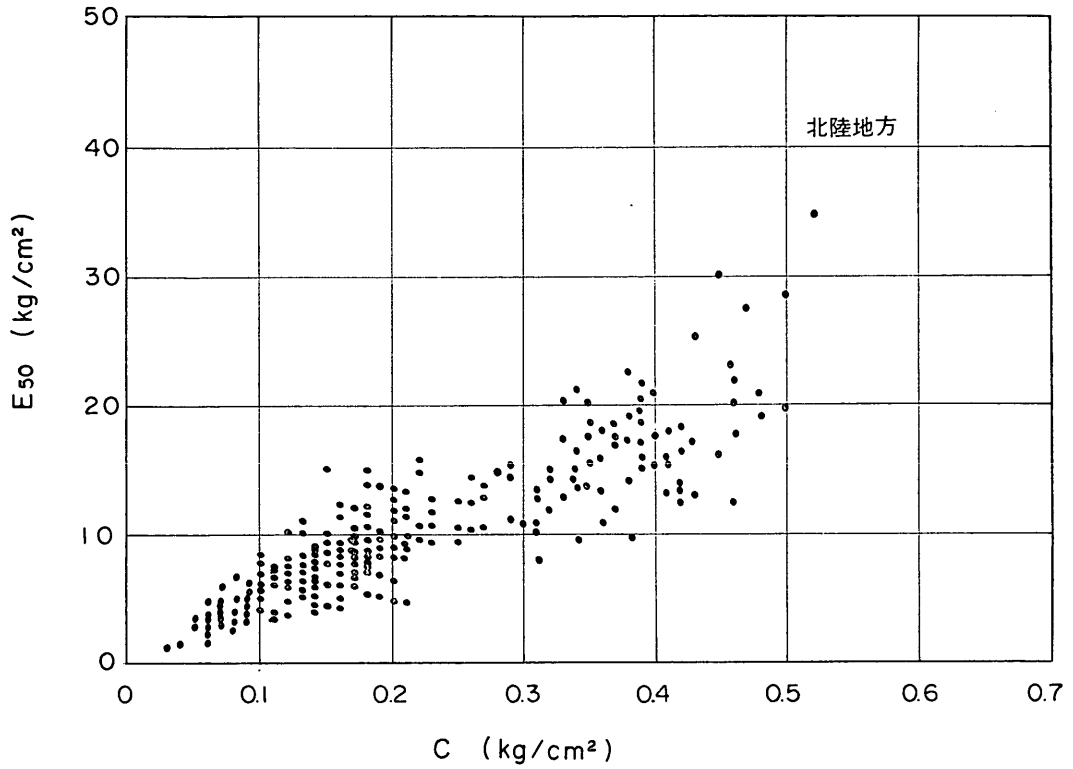


図-6.46 変形係数と粘着力の相関図（北陸地方）

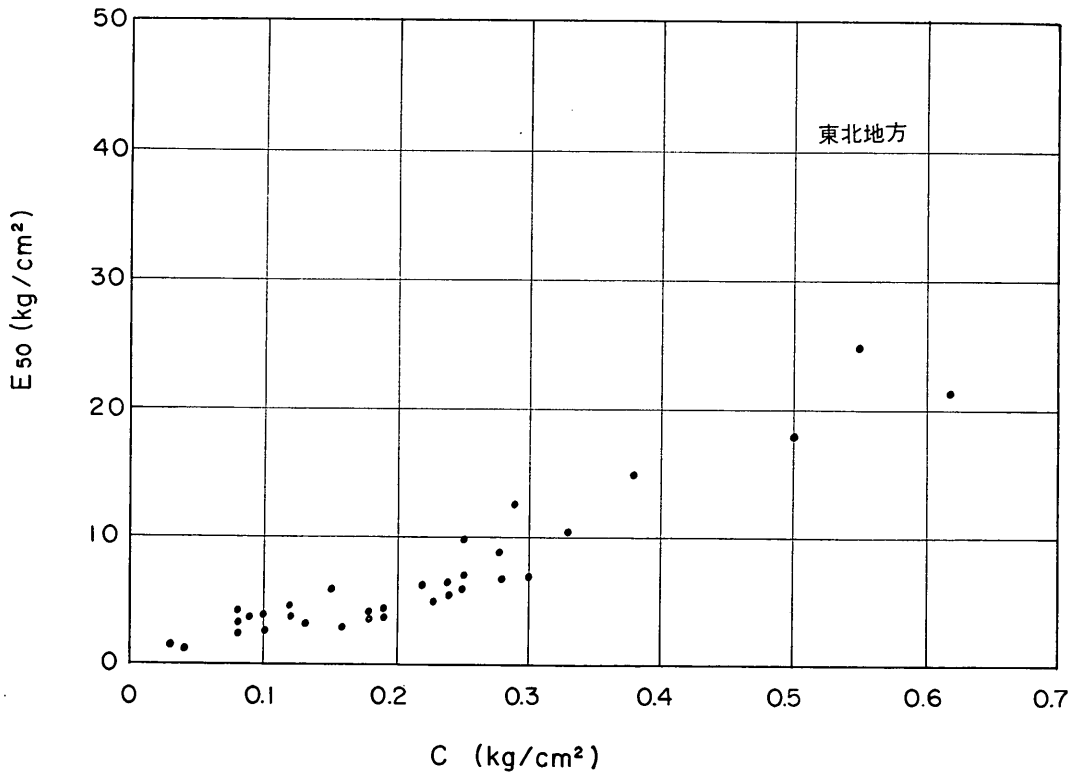


図-6.47 変形係数と粘着力の相関図（東北地方）

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

な数点のプロットのみとし途中のプロットは試料数が極めて多く点が重複するため省略した。全体的な分布の様子については後述する頻度分布を参照されたい。

図-6.45 からわかるように、ばらつきが大きく、上限値 $E_{50}=335c$ から下限値 $E_{50}=20c$ までかなり広い範囲にわたって分布している。

この関係について、ラッド (Ladd) は、ノルウェイの正規圧密粘土について一軸圧縮試験およびベーン試験による非排水せん断強さ c_u との間に次のような関係を示している。⁹⁾

$$E_{50}=(200\sim 500)c_u$$

この結果下限値として示されている $E_{50}\geq 200c_u$ を今回の結果にあてはめると全体の2%程度しかなく、あとはすべてそれ以下の値となっており、乱れの大きい結果となってしまう。しかし、筆者らの取扱った試料の品質は、サンプリングあるいは土質試験のさいに不可避な乱れは当然あるものかなりよい精度で得られていると思われるので、土の種類が E_{50} を変化させる大きな要

素であるように考えられる。これについて調べるため地方別に分けたものを図-6.46~6.55に示す。

これらの図のうち、南関東地方のものは2つに分けて図示した。すなわち、東京港大井地区と、横浜港大黒地区の c および E_{50} は他に比べて特別に大きい値を示しており、分離した方がわかりやすくなるためである。

また、図のうちで2.3のものは、プロットの点が放射状に分布しているが、これは変形係数 E_{50} を求めるさいのひずみ量 ϵ_{50} の図上の読取り精度に限界があるためである。

図-6.46~6.55 からわかるように地方によってかなりの差異がみられる。これは、地方別による土の種類つまり地域性の違いに起因すると考えることはできないであろうか。

変形係数 E_{50} を非排水せん断強度 c_u との比によって無次元表示すると、同一地層ではほぼ同程度の値を示すこと、および乱した試料を再圧密したような場合でも変

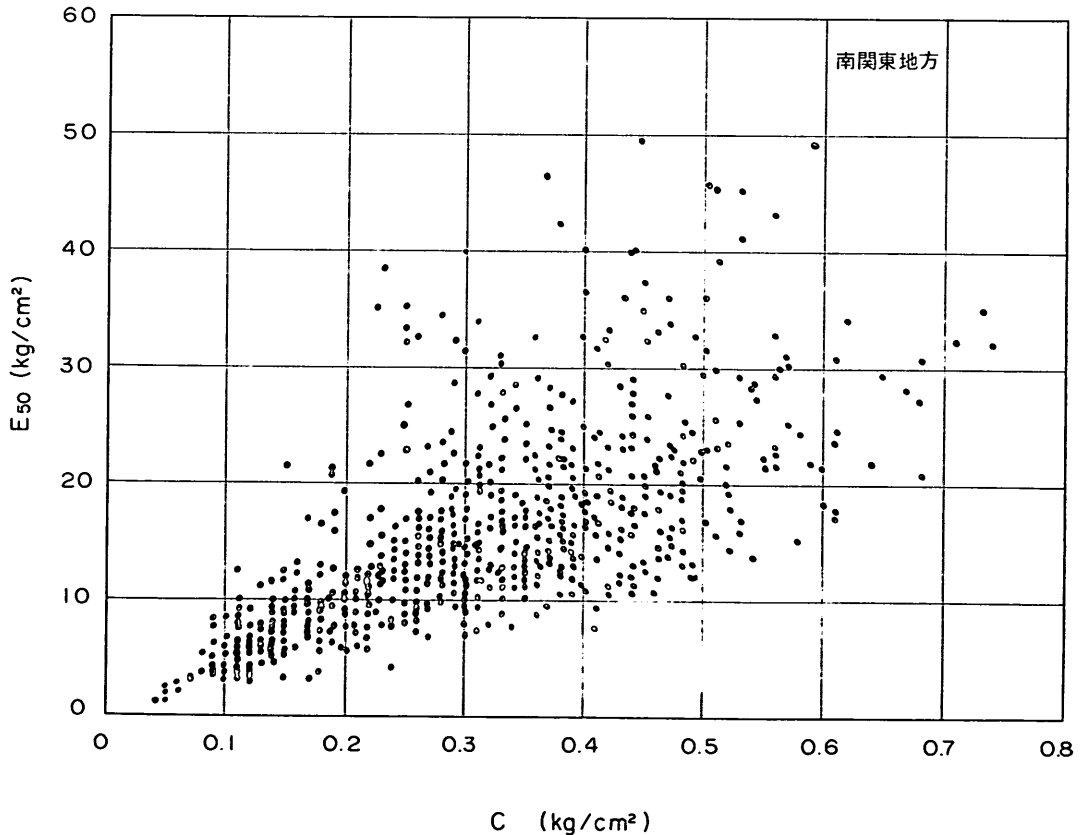


図-6.48 変形係数と粘着力の相関図 (南関東地方)

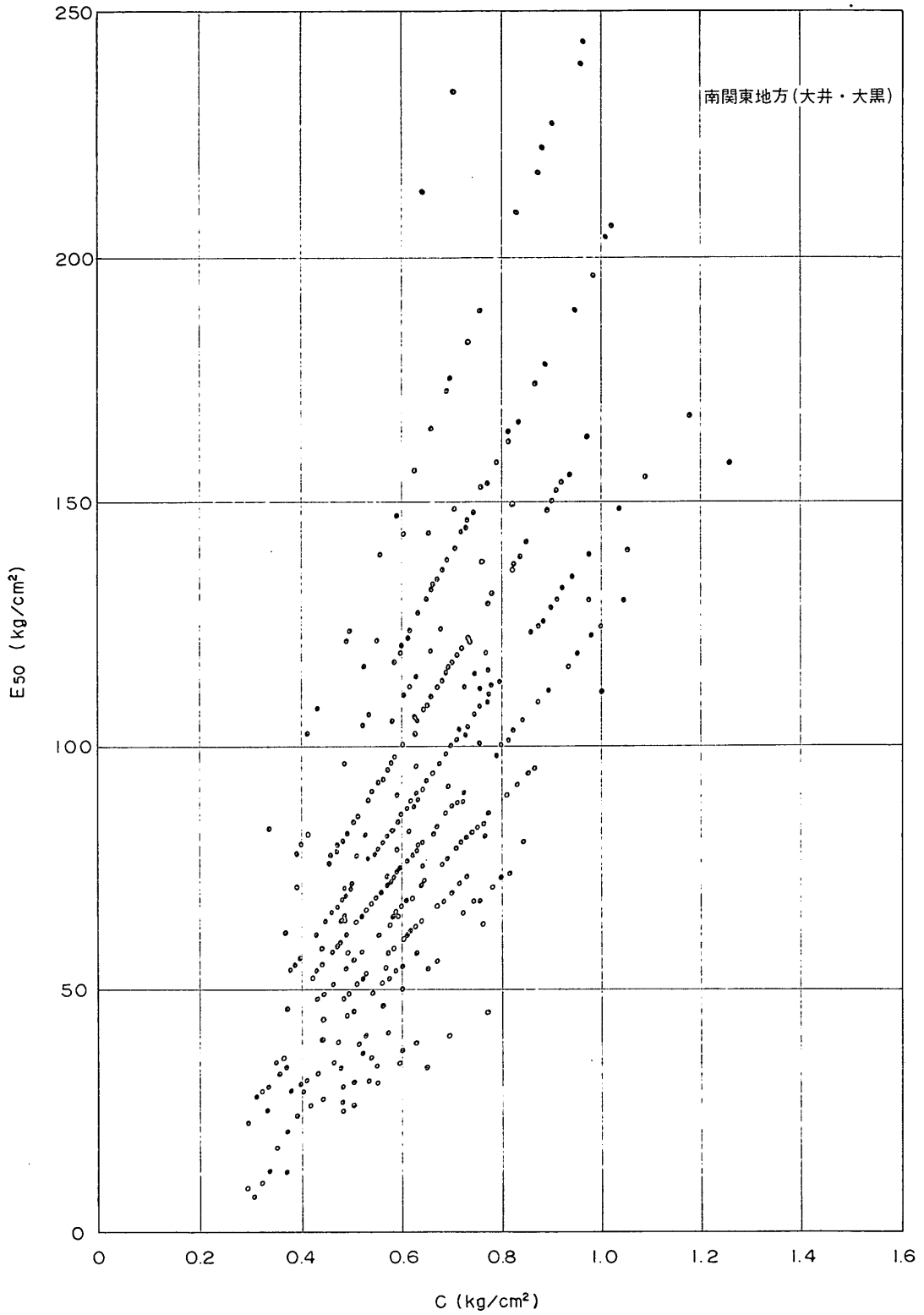


図-6.49 変形係数と粘着力の相関図 (南関東地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

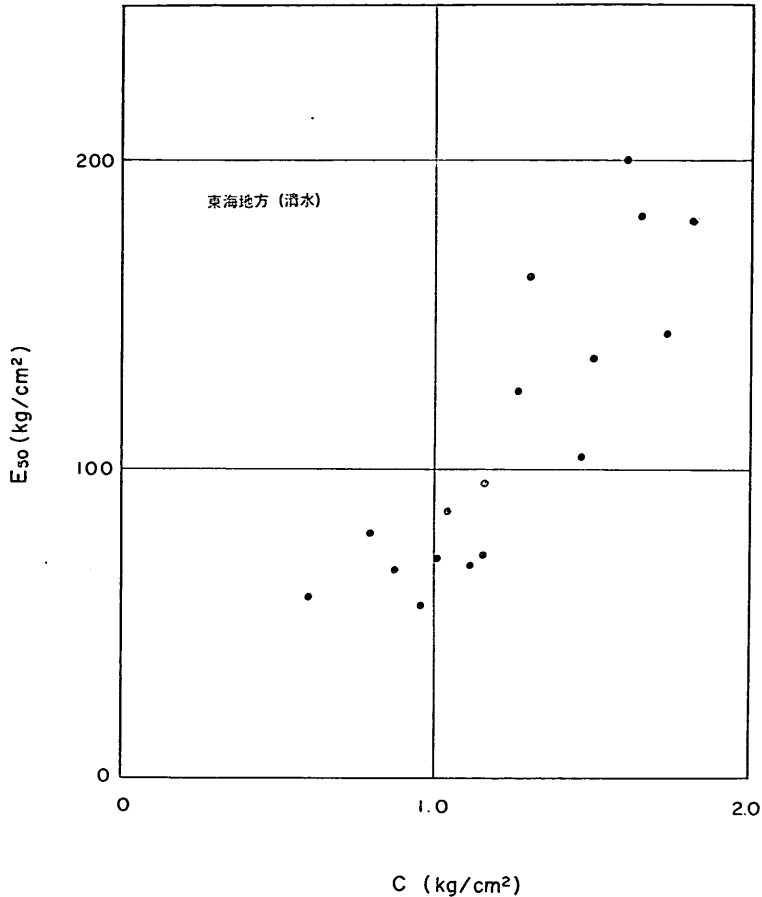


図-6.50 変形係数と粘着力の相関図 (東海地方)

化しないことがいわれている¹⁰⁾ので、その頻度分布について調べたものを図-6.56に示す。

この図によると E_{50}/c の極大値は 100 で、ほぼ正規分布曲線に近い形を示している。

以上の結果からいえることは、土の種類、つまり地域性を考慮しないで E_{50} 、あるいは E_{50}/c の範囲を定めてそれより小さい値のものは乱れが生じているという判定は適当でないように思われる。

7. あとがき

今回は土の分類特性、強度特性の相関性を調べ、港湾技研資料 No. 71 で報告した土の分類特性、圧密特性についても併せて検討を加え報告した。

分類特性相互の関係からは比較的よい相関性が認められ、また地方別に示した分類特性からは各地域のおよその特色を知ることができた。

圧密特性と分類特性の関係から、分類特性を知ることによって港湾地域における圧密諸係数の概略値を得ることが可能となった。

強度特性については分類特性との明らかな相関関係は見出せなかったが、港湾地域の土質の概略を知る有力な手がかりがつかめた。これらの結果から、調査の予備資料として、また試験結果の評価や概算のための設計値を知る上で実用に役立つであろうと思われる。

今回の報告は、一部電算機を使用したものの比較的単純な手法で求めた相関関係である。今後土質調査、試験に関するデータはますます増え続けることが予想され、これらを有効に活用するために、現在は各地域のデータを電算にバンクし、必要に応じて出力しました、各種の相関関係を容易に求められるプログラムを準備中である。今後は今回取り上げられなかった沖積等のデータを加えて電算機を活用し、多変量解析による相関関係を求め実

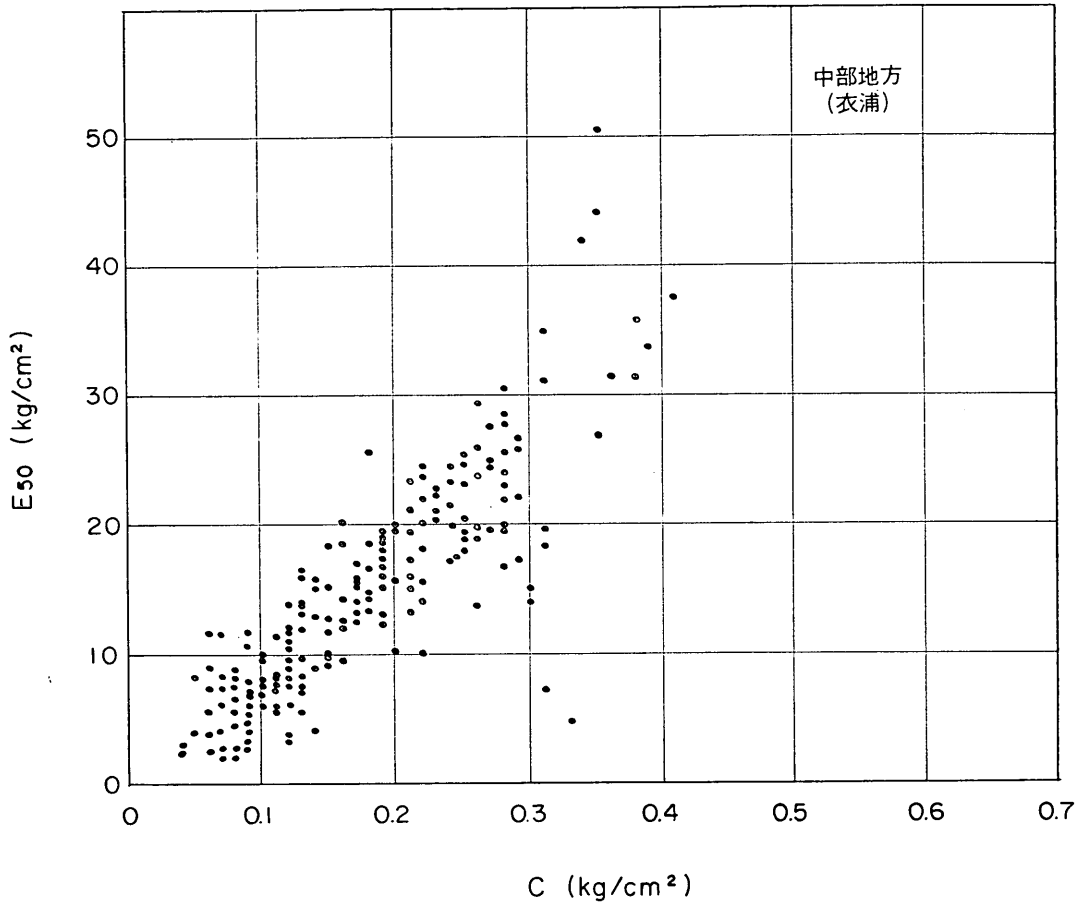


図-6.51 変形係数と粘着力の相関図 (中部地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

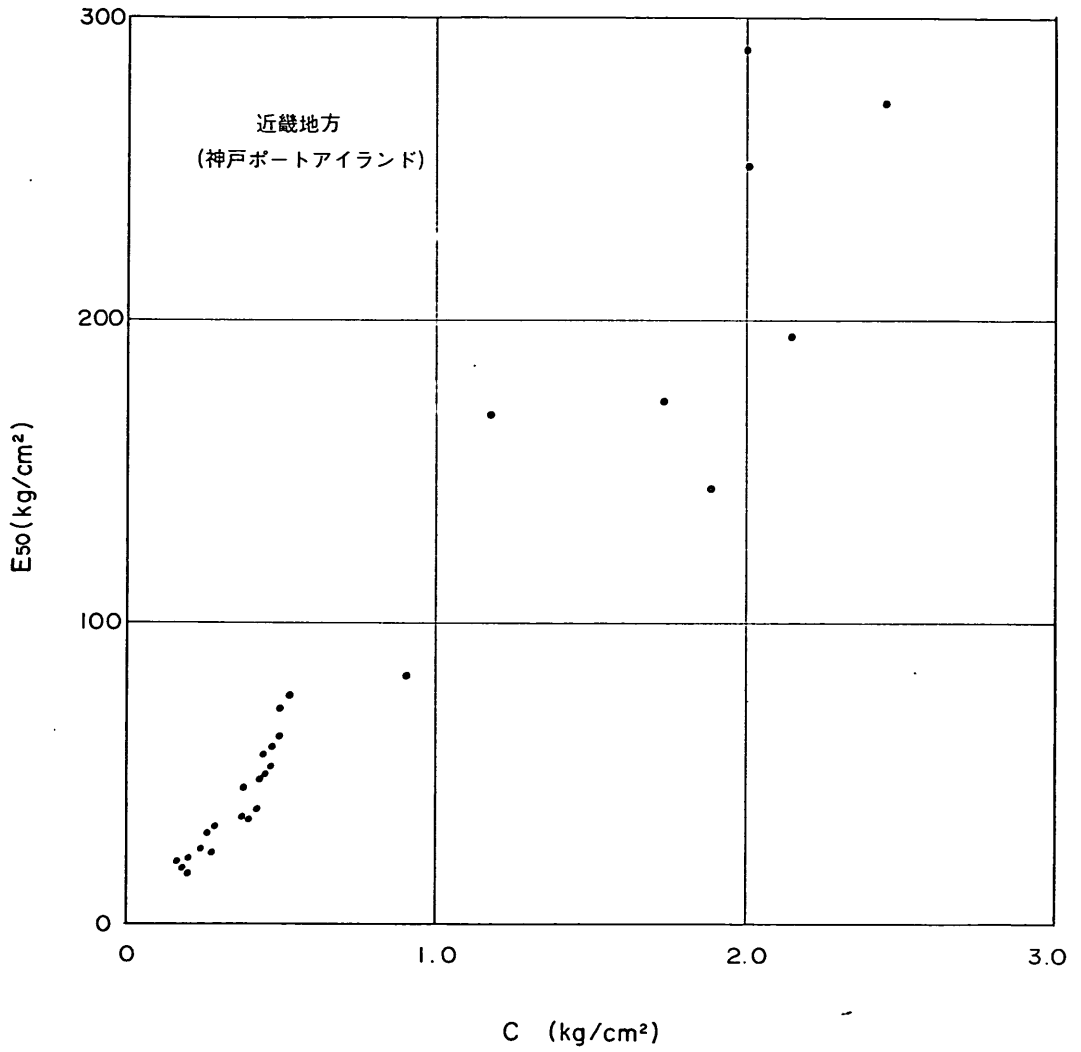


図-6.52 変形係数と粘着力の相関図 (近畿地方)

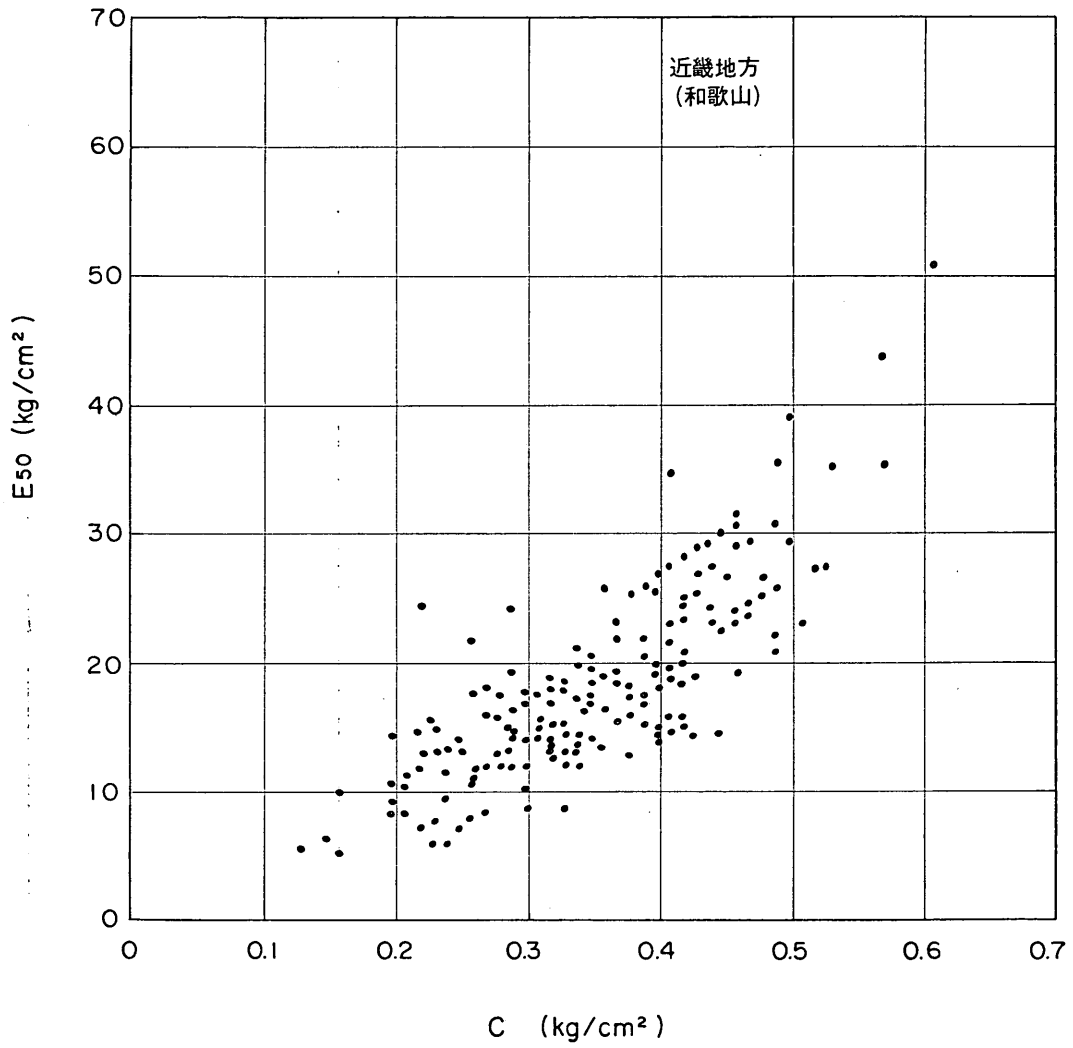


図-6.53 変形係数と粘着力の相関図 (近畿地方)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

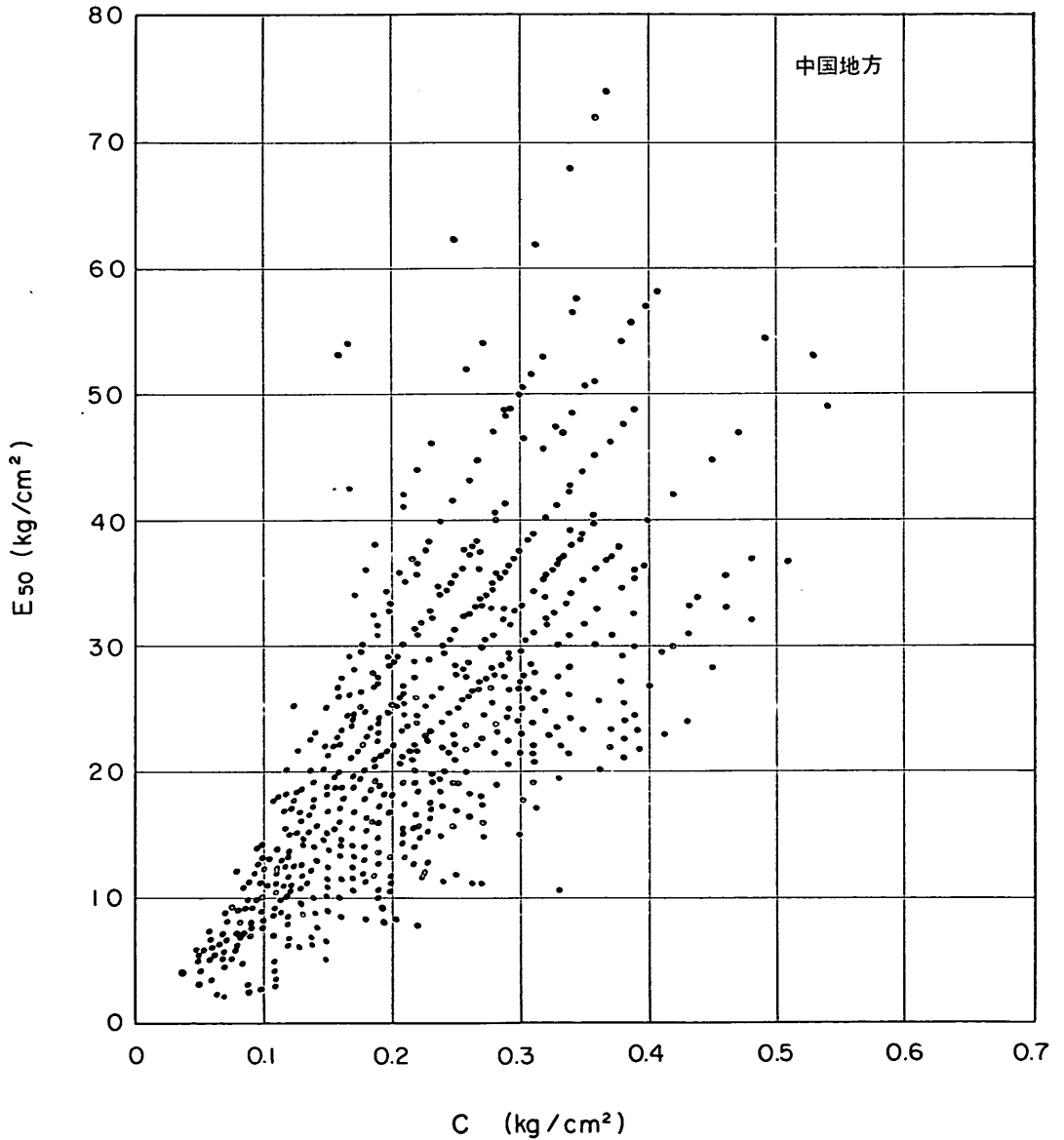


図-6.54 変形係数と粘着力の相関図 (中国地方)

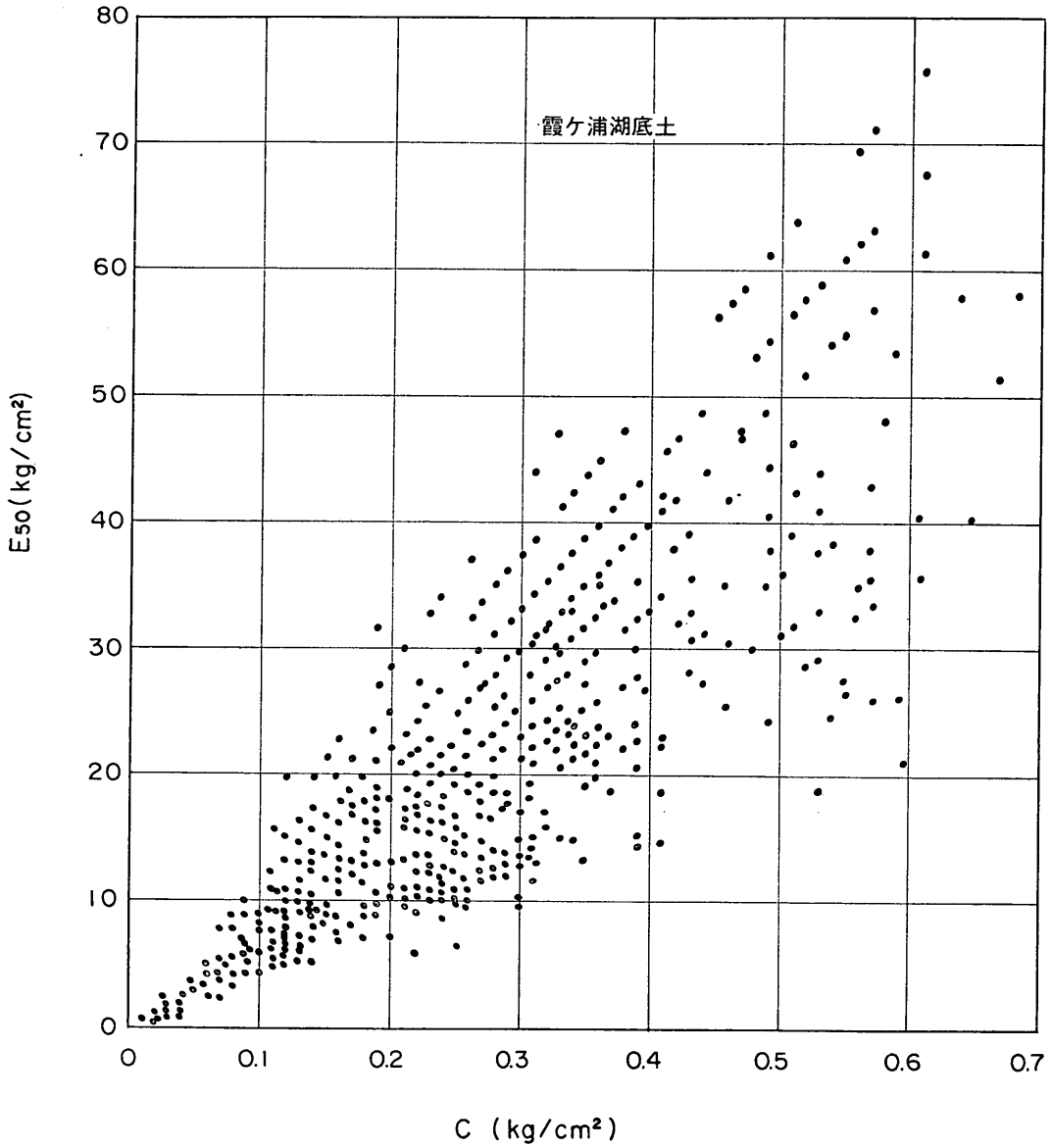


図-6.55 変形係数と粘着力の相関図 (霞ヶ浦湖底土)

港湾地域における土の工学的諸係数の相関性

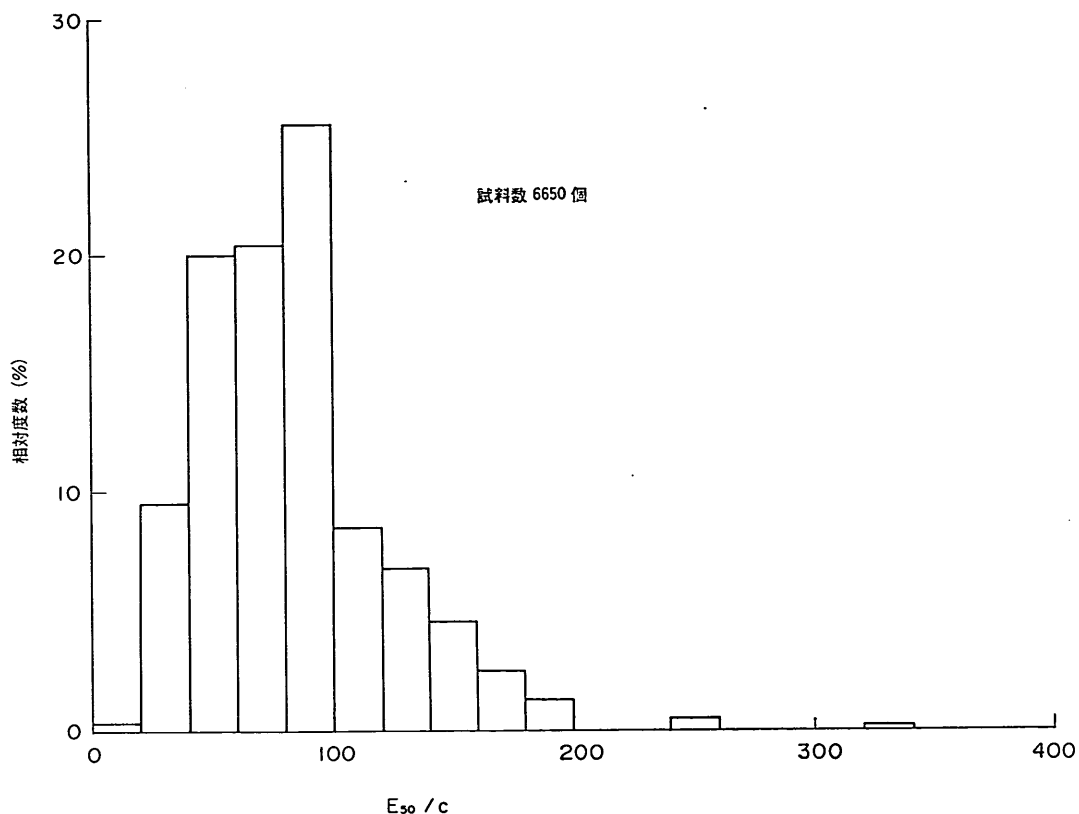


図-6.56 変形係数と粘着力の頻度分布図

用に役立つよう内容の充実をはかりたい。

8. 謝 辞

本報告書の作成にあたって、奥村樹郎土質部長、梅原靖文動土質研究室長、ならびに寺師昌明地盤改良研究室長に貴重な御教示をいただいた。ここに厚く謝意を表する次第である。(1978年6月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 松本, 小川: 港湾地域における土の工学的諸係数の相関性について(第1報), 港湾技研資料, No. 71 1969年, pp. 1~40.
- 2) 土質工学会: 土質工学会基準, 土質分類法ならびに分類結果表示法(日本統一土質分類法)土と基礎, Vol. 21, No. 5, 1973, pp. 63~70.
- 3) Casagrande, A.: Classification and Identification of Soil, Trans. ASCE Vol. 113, 1948 pp. 901~991.
- 4) 土質工学会編, 土質試験法, 圧密試験, 1969, pp. 274~325.
- 5) 4) に同じ.
- 6) 三笠正人: 土の工学的性質の分類表とその意義, 土と基礎, Vol. 12, No. 4, 1964, pp. 17~24.
- 7) 奥村樹郎: 粘土のかく乱とサンプリング方法の改善に関する研究, 港湾技研資料, No. 139, 1974, pp. 37~43.
- 8) 中瀬明男, 勝野克, 小林正樹: 砂分の多い粘性土の一軸圧縮強度, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 4, 1972, pp. 83~102.
- 9) C.C. Ladd: Stress-Strain modulus of clay in Undrained Shear, Jour. of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 90, No. SM5, 1964, pp. 103~132.
- 10) 中瀬明男, 小林正樹, 兼近明男: 粘土の非排水せん断強度と変形係数, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 2, 1972, pp. 243~259.