

# 港湾技研資料

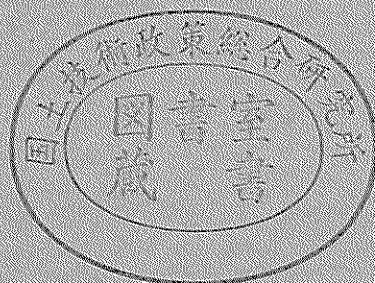
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 719      Dec. 1991

港湾地域における土の一次性質の統計解析

田 中 洋 行  
榊 原 基 生

運輸省港湾技術研究所



# 目 次

要旨	3
1. まえがき	3
2. 土質データベースシステムの概要	3
2.1 土質データベースシステムの目的および特徴	3
2.2 データ登録の流れ	4
2.3 データの項目と入力時のチェック機能	5
3. 統計解析	5
3.1 統計解析の項目	5
3.2 地域の区分	6
3.3 統計解析データの特徴	7
4. 統計解析結果	10
4.1 土粒子の密度	10
4.2 コンシステンシー限界	11
4.3 活性度	13
4.4 圧縮指数	15
4.5 圧密係数	16
5. 結論	16
参考文献	16
付録A 土粒子密度の頻度分布図	18
付録B 液性限界の頻度分布図	19
付録C 塑性限界の頻度分布図	20
付録D 塑性指数の頻度分布図	21
付録E 塑性図	23
付録F A線からの距離と液性限界の関係	25
付録G 塑性指数と粘土含有量の関係	27
付録H 活性度の頻度分布図	29
付録I 塑性指数と75 $\mu\text{m}$ 以下の含有量の関係	30
付録J 圧縮指数と液性限界の関係	32
付録K 圧密係数と液性限界の関係	34

# Statistic Analysis of Primary Properties of Soils on Japanese Coastal Areas

Hiroyuki TANAKA\*

Motoo SAKAKIBARA\*\*

## Synopsis

A lot of soil investigations have been carried out in construction of port facilities. To utilize these data effectively, Soil Data Base System has been developed and the number of boring data recorded in the system in 10,654 in September, 1990.

To make use of the data system, statistics analysis is carried out on properties of soil, especially primary properties, such as index and consolidation properties, on Japanese coastal areas.

**Key Words** : Consolidation, Plasticity, Statistic Analysis

---

\* Chief of Geotechnical Survey Laboratory, Geotechnical Engineering Division

\*\* Member of Geotechnical Survey Laboratory, Geotechnical Engineering Division

# 港湾地域における土の一次性質の統計解析

田中 洋行\*

榊原 基生\*\*

## 要 旨

運輸省港湾建設局が実施した土質調査結果の有効利用を図るため、調査結果のデータベース化が進められており、1990年10月現在までに10,654本のボーリングデータが登録されている。登録されているボーリングデータは北海道を除く日本全国の港湾地域で実施されたものである。

本資料はこの土質データベースを用いて、わが国の沿岸域における土の物理特性と圧密特性に焦点を絞って統計解析を行った。日本列島を地形・地質学的に11の地域に分割し、種々の特性の相関を調べた。

キーワード：圧密、塑性、統計解析

## 1. まえがき

土の特性は地域によって大きく異なるうえに、応力状態や時間によっても変化する非常にやっかいな材料である。しかしながら、設計に必要な定数の値はある範囲に集中しており、またこれらの定数は相互に深く関連している。例えば、土の基本的な特性を表す土粒子の密度は、特殊土でない限り2.6から2.8 g/cm<sup>3</sup>であり、コンシステンシー限界の一つである液性限界と塑性限界は、特別な関係にあることが多い。このように、土質に関する定数の概算値や定数相互の関連を把握しておく、概略設計を行う際や、土質調査の結果をチェックするときに非常に役立つ。

土の基本的性質を表しているコンシステンシー限界と、力学特性や圧密特性の定数とを経験的に結びつけることが、世界中の多くの研究者によってなされ、今までに多くの経験式が提唱されてきた。このなかで有名な式に、Skemptonが提案した圧縮指数  $C_c$  と塑性指数  $I_p$  の関係式や、圧密荷重に対する強度増加率を  $I_p$  と関連づけた Bjerrum の研究がある。これらの研究は、あまりにも有名すぎるために、一般に行われている土質調査報告書や研究レポートには必ずといっていいほど引用されており、これらの関係と一致している、していない等の検討が行われている。しかしながら、彼らが対象とした土は北ヨーロッパや北米の水河期の影響を強く受けた粘性土であり、わが国の土とは性質が著しく異なる。例えば、後で詳しく論じるが、Skempton の  $C_c$  と  $I_p$  の関係式をわが国の粘

性土に適用すると  $C_c$  を過小に評価することが知られており、また Bjerrum の強度増加率と  $I_p$  の関係は Hanzawa and Tanaka<sup>1)</sup> によって、少なくともわが国には適用できないことが指摘されている。

運輸省港湾建設局は、今までに行われた港湾地域における土質調査結果の有効利用を図るために、昭和45年以降に実施された土質調査の結果のデータベース化を進めており、現在(1990年10月)までに10,654本ものボーリングデータが登録されている。このデータベースは当初大型計算機を対象として開発されたが<sup>2)</sup>、より柔軟な利用を図るために、平成元年度から2年度にかけてパーソナルコンピュータによる処理もできるように大幅に改良した。

本資料は、まず新しく開発した土質データベースシステムを簡単に紹介した後、このデータベースを用いて、わが国の沿岸域における土質特性、特に物理特性と圧密特性についての統計解析結果を述べる。

## 2. 土質データベースシステムの概要<sup>3)</sup>

### 2.1 土質データベースシステムの目的および特徴

現在、各建設局において地盤特性の把握のために土質調査および土質試験が数多く実施されている。これら結果は港湾や空港施設の設計、施工、維持管理のために利用され、その後は報告書等として保管されている。これらの情報は、港湾計画策定や新たな港湾施設の建設のた

\* 土質部地盤調査研究室長

\*\* 土質部地盤調査研究室

めの土質調査の計画、施設の改修や補修のときに有効となる。しかしながら、目的に応じた情報を迅速に得るためには、報告書としての形態は非常に使い難いため、過去の貴重なデータが必ずしも有効に利用されているとはいえない。このため、コンピューターを利用したデータベース化が望まれていた。これらの土質データを管理し有効利用を図るために、昭和59年度に港湾技術研究所の大型計算機を用いた土質データベースシステムが開発された。

さらに近年では、パーソナルコンピューターの機能の充実がめざましく、これを用いた多量データの収集・蓄積が可能な環境が整備されてきている。そこで、地盤調査研究室では平成元年度から平成2年度にかけてパーソナルコンピューターによるデータベースシステムの開発を行った。今回開発したデータベースシステムは、既存の大型計算機によるシステムで問題が指摘されていた、土質データ登録の省力化、登録データの即時性の向上、検索機能の充実といった実務的な要請に応えるものである。

図-1は土質工学会の「地盤情報のデータベース化に関する研究委員会」が平成元年度に実施したアンケート結果の一部を抜粋したものである<sup>4)</sup>。この結果によると、22の機関が土質データベースを保有しており、9の機関が開発中となっている。このように土質データベースの整備は時代の趨勢となっている。

港湾土質データベースシステムは、他機関のシステムと比較して、以下の特徴を有する。

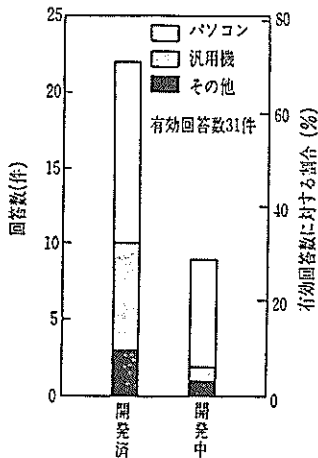


図-1 データベース開発状況<sup>4)</sup>

① 対象とする地域

本システムに登録されているデータは、北海道（今回の解析では対象としていない）から沖縄までの日本列島の港湾地域から得られたデータである。

② データの質

本システムのデータは、すべて直轄工事において実施された土質調査結果である。当工事における調査は港湾調査指針に従って実施されており、このため登録されたデータの質は高い。

③ 利用目的の多用途

本システムは港湾計画の策定、構造物の設計、施工、管理等の実務的に使われる場合や、本資料のように研究的にも使われるなど、利用目的が多い。したがって利用者も、実務者から研究者と幅広い。

2.2 データ登録の流れ

新しく開発した港湾土質データベースシステムで最も重視した点は、データの登録をいかにスムーズに行うかであった。図-2に土質データの登録作業の流れを示す。通常、港湾建設局においては、工事事務所が土質調査の発注を行う。この発注の際に入力プログラムが入ったフロッピーディスク (FD) を調査を受注した調査会社に渡す。調査会社は入力プログラムに従って土質データを入力し、調査終了後調査報告書と同時に土質データが入力されたFDを工事事務所に提出する。このFDは各港湾建設局の調査設計事務所へ送られ、データベースシステムに登録される。調査設計事務所では各建設局の管轄内のデータを維持・管理している。また、現段階では数が限られているが工事事務所レベルでも、事務所の管轄内の土質調査結果を管理しているところもある。また、港湾技術研究所には各建設局の調査設計事務所を通してFDが送られてくる。

本システムにおける港湾技術研究所の役割は二つある。

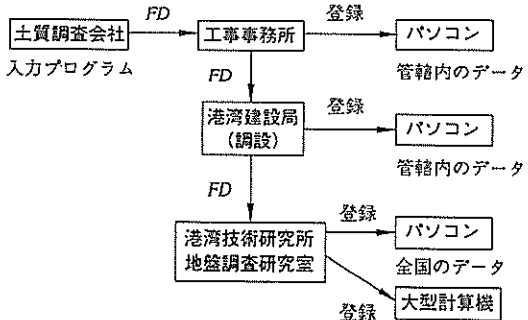


図-2 データ登録の流れ

一つは全国的な土質データを基にして、例えば設計基準の見直しによって生じる影響の度合いを調査したり、今回の資料のようにわが国の港湾地域における土質特性を把握することである。もう一つは、各建設局がコンピューターの誤操作、あるいは故障によってデータを消失した場合に対するバックアップである。

### 2.3 データの項目と入力時のチェック機能

土質調査においては、調査目的に応じて様々な土質試験が実施されている。これらの試験結果すべてをシステムに登録することがデータベースとして理想とされるが、試験によっては実施頻度の極めて少ないものや特殊なものもあるので、港湾で標準的に行っている土質試験を参考にして、本システムに登録する土質データの内容を表一に示すとおりに決めた。表題部は、調査の名称や調査地点に関する情報である。土質調査データはボーリングに関するデータであり、ボーリング時に観察された事項、標準貫入試験のデータ、サンプリングの採取に関するデータがとりまとめられている。土質試験データは、サンプリングによって得られた試料に対して実施された物理試験、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験、圧密試験結果である。

既存のシステムでは、データ入力はコーディングを必要とするカード形式であったため、コーディングの際の

カラムずれ等のトラブルが多く、何度も入力・修正の作業を繰り返していた。しかし、新しく開発したシステムではフロピイディスクベースの対話形式プログラムを使用しており、入力者は画面上の指示に従って入力を行えばよい。入力ミスを防ぐために、個々の項目の値に制限範囲が設定されており、その範囲を越える値を入力すると異常値と判断して、画面上にメッセージを示すようになってきている。例えば、土粒子の密度の制限範囲は2.50から2.77 g/cm<sup>3</sup>としており、入力値がこの範囲外であると画面に警告のメッセージが出る。

## 3. 統計解析

### 3.1 統計解析の項目

土は応力状態によって非常に変化する材料である。例えば、圧密応力を増加させると同じ土でも単位体積重量、せん断強度は増加し、含水比、圧密係数は低下する。しかし、土粒子の密度、コンシステンシー限界等は応力状態によらない定数である。すなわち、含水比や強度を対象として例えばA、Bの2箇所について統計解析を行うと、A、Bの地層の土の性質が同じでも、調査の深度が異なると、深度が大きいところまで調査を行っている方が、含水比が小さくなり、また強度が大きいとの結論を得る。このため、このような応力状態によって変化する

表一 土質データの名称と内容

分類	データの名称	データの内容
表題部	表題	土質データ名称、登録番号、調査名、地盤高基準、地盤高、孔深基準、孔深、地下水位基準、地下水位、調査年月、局/県/港湾コード、調査位置、調査者コード、施工業者コード、マシンの種類コード、ボーリングの方法コード、ヤグラの種類コード、地層データ深度基準、標準貫入試験データ深度基準、サンプリングデータ深度基準、データ種類、事前ボーリング名称
土質調査データ	地層データ 標準貫入試験データ サンプリングデータ 原位置試験	下限深度、土質コード、土質記号1、土質記号2、色調コード 上限深度、下限深度、打撃数、貫入量、自然含水比、土粒子比重、液性・塑性限界、粒度塑性 上限深度、下限深度、試料番号、回収長、押込長、採取方法コード サウンディング・載荷試験・物理探査実施の有無
土質試験データ	土質試験表題 物理試験結果 一軸圧縮試験結果 三軸圧縮試験結果 圧密試験結果 室内特殊試験	試料採取深度上限・下限、有効土被り重量 自然含水比、土粒子比重、液性・塑性限界、粒度塑性、粒径、質量百分率 湿潤密度、含水比、間げき比、飽和度、一軸圧縮強度、破壊ひずみ 変形係数、鋭敏比、供試体の状態コード 内部マサツ角、粘着力、湿潤密度、含水比、間げき比、飽和度、試験方法、潤圧、主応力差、破壊ひずみ、供試体の状態コード 圧縮指数、圧密降伏応力、圧密係数、体系圧縮係数 (P=1,10,30)、土粒子比重、断面積、初期高さ、乾燥質量、初期間げき比、圧力、圧密度、 $\sqrt{t}$ 法/曲線定規法、t90またはt50、一次圧密度 動的室内試験・その他の特殊な室内試験の実施の有無

値を検討するためには、特別な処理が必要となる。例えば、強度であれば有効土被り圧で正規化した強度増加率  $s_u/p'$  の値として検討するなどである。このように、われわれが必要とする土の工学的な値は、応力状態によって変化しない、いわゆる一次性質と、変化する二次性質に分けることができる。二次性質は、現在の応力状態だけではなく、過去に受けた応力履歴によっても変化するもので、その定量化は非常に難しい。このため、本資料では、手始めに一次性質である土粒子の密度、コンシステンシー限界、粒度分布を解析の対象とする。圧密特性については、圧縮指数  $C_c$  と正規圧密状態における圧密係数  $c_c$  を一次性質と考え、この二つの値について解析を行う。

### 3.2 地域の区分

土の工学的特性を決める基本的な因子は、母岩の性質と堆積環境である。土粒子の鉱物組成は粒度によって次の三つに分けられる<sup>5)</sup>。粒径が 2 mm 以上の礫分は、主として岩石が砕けて母岩の化学的、鉱物学的組成が不変のままの性質を有している。砂、シルト分の土粒子は、一次鉱物と呼ばれる母岩の組成中の鉱物が、物理的、化学的風化の産物の中にそのまま移動してできた鉱物粒子から成る。粒径が小さく土のコロイド成分を占める粘土分は、いわゆる粘土鉱物と呼ばれる一次鉱物が化学的変化した二次鉱物から成る。

このように、土の性質は母岩とその粒径分布によって大きく変化する。このため、土の性質の地域特性を明らかにするためには、日本列島の母岩の性質を左右する地質構造と、粒径分布を決める堆積環境、すなわち、海底地形によって地域を分割する必要がある。このため、地質の分野で広く用いられている地質構造と、田中<sup>6)</sup>がわが国の漂砂の研究において用いた地域区分を基本として、日本列島を図-3 に示す地域に分割し、各地域毎に土の一次性質の統計解析を試みた。

わが国は、地質構造的にみて糸魚川～静岡線のフォッサマグナによって東北日本と西南日本とに分けられる。西南日本は中央構造線によって内帯（西南日本海）と外帯（西南太平洋）とに分けられる。東北日本においては、西南日本のように内帯・外帯を分ける構造線が明確に存在しないが、白河～盛岡線によって西帯（東北日本海）と東帯（東北太平洋）とに区分した。これらの区分を基本として、わが国の大きな内湾である、陸奥湾、東京湾、伊勢湾（三河湾を含む）、大阪湾、瀬戸内海、有明海（島原湾、八代湾を含む）の 6 地域を追加した。さらに琉球列島を沖縄として区分し、日本列島を合計 11 地域に分割した。



図-3 地域区分

### 3.3 統計解析データの特徴

今回統計解析の対象としたデータは、現在までに土質データベースに登録されている北海道を除く全国の91港の土質データである。図-4に各地域における土質調査の実施数（ボーリング数）を示す。港湾における土質調査指針<sup>7)</sup>では、対象とする地盤が砂質地盤であると、標準貫入試験によるサウンディングを実施している。一方、地盤が粘性土であると判断されると、乱さない試料の採取を目的としたサンプリングを実施している。図に示す円グラフは全ボーリング数に対して1回でもサンプリングを行った割合を示している。すなわち、この割合が多い地域ほど、粘性土地盤が多く存在することになる。

図からわが国の大港湾を有する東京湾、わが国に復帰して以来急速な港湾整備を進めている沖縄地区、また地域が広く多くの港湾を有している西南日本海や瀬戸内海のボーリング数が多いのがわかる。すなわち、昭和45年以降、これらの地域において港湾建設が数多く実施され

ていることを意味する。また、内湾は総じて粘性土地盤が多く、地域別に見てみると東日本では太平洋側、西日本では日本海側が粘性土地盤が多いことがわかる。

表-2に各地域における物理試験と圧密試験数、港湾名と港湾数を示す。標準貫入試験においてもレイモンドサンプラーによって乱された試料の採取は可能であり、この試料を用いて土粒子の密度やコンシステンシー限界試験などが実施される場合がある。しかし、今回解析の対象としたデータはすべてサンプリングによって採取された試料、すなわち粘性土地盤から求められたものである。表に示すように、物理試験数は44,762、圧密試験数は16,571とかなりの数にのぼっている。

統計解析にあたり留意することがある。一つは、得られた解析結果は必ずしもその地域の代表値を表してはいないことである。例えば、東京湾を例にとると、表-2に掲げる数字は東京湾に対して等間隔で実施した土質調査結果ではなく、港湾施設の建設が集中している横浜港、

地域名(全ボーリング数)

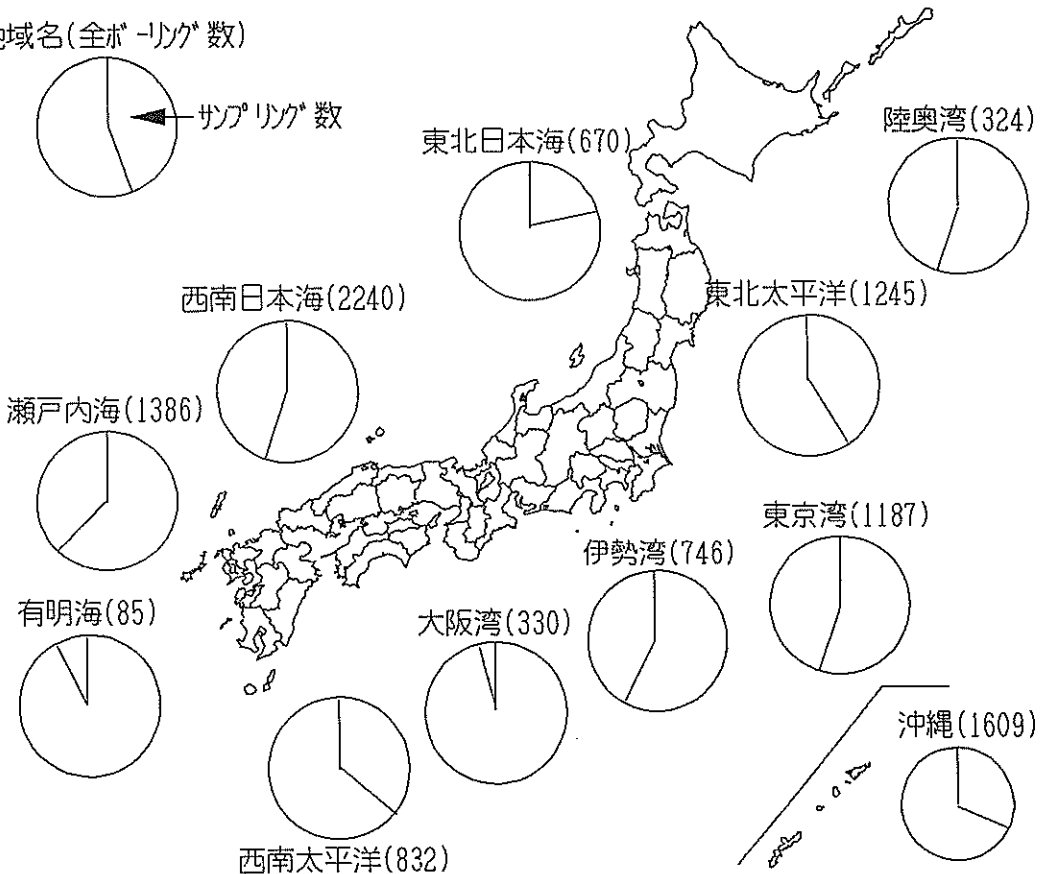


図-4 地域別の土質調査数



表一 地域別の試験試料数、港湾名、港湾数

地域区分名	物理試験試料数	圧密試験試料数	港 湾 名	港湾数
東北日本海	1047	275	深浦, 熊代, 船川, 秋田, 沼田, 新潟	6
東北太平洋	1792	883	新定保港, 八戸, 久慈, 宮古, 釜石, 大船渡, 石巻, 塩釜, 小名浜, 下田	10
西南日本海	6448	2371	伏木富山, 七尾, 輪島, 金沢, 福井, 敦賀, 舞鶴, 田後, 鳥取, 境, 江島, 松江, 吉浦 (三隅), 下関, 北九州, 博多, 唐津, 呼子, 伊万里, 郷ノ浦, 白ノ浦, 青方, 長崎, 口之津, 福江, 瀬戸	26
西南太平洋	1889	424	清水, 御前崎, 日高, 室津, 高知, 須崎, 上川口, 諸港 (高知県), 宮崎, 志布志, 鹿児島	11
陸 奥 湾	1061	568	青森	1
東 京 港	9847	4334	千葉, 羽田沖, 川崎, 横浜, 横須賀	5
伊 勢 湾	5106	758	三河, 衣浦, 名古屋, 四日市	4
大 阪 湾	7486	3877	大阪, 泉州沖, 尼崎, 神戸	4
瀬 戸 内 海	6604	2024	和歌山下津, 中島, 小松島, 今切, 栗津, 撫養, 諸港 (徳島県), 高松, 宇野, 水島, 福山, 今治, 呉, 広島, 松山, 徳山下松, 苅田, 国東, 別府	19
有 明 海	1286	505	熊本, 本渡	2
沖 縄	2196	552	平良, 中城港, 那覇, 石垣	4
合 計	44762	16571		91

川崎港で実施された結果が主であり、最近では東京国際空港沖合展開工事に伴って羽田地域のデータが増加している。東京湾の土質特性を述べる上で重要な港と思われる東京港では国の直轄工事を実施していないため、この地区のデータは皆無である。同様に、大阪湾においても大阪港ではほとんど直轄工事を実施していないため、この地域のデータは国が実施した関西国際空港建設に伴う泉州沖の土質調査結果と、神戸、尼崎港のデータだけである。

二つは、今回の統計解析では土の特性を地域だけに着目して区分したため、年代的な影響が無視されていることである。図-5 に羽田で得られた土質調査結果の一例を示すが、羽田地区の土層は大きく三つに分かれる。上部の粘性土地盤は AC<sub>1</sub>層と呼ばれる東京湾の浚渫へどろや、下水処理場の汚泥を捨て込んで形成された土層であり、その下に AC<sub>2</sub>層と呼ばれる自然に堆積した沖積粘性土層、さらにその下に DC<sub>1</sub>層と呼ばれる洪積世に堆積したといわれる洪積粘性土がある。また、同様に図-6 に大阪湾の泉州沖の土質調査結果の例を示す。海底面から 20 m 程度が沖積粘性土で、その下に砂層を挟みながら洪積粘性土が数百 m 続く。洪積層は年代によって海水、淡水、気水の条件で堆積したといわれている。このように、同じ地点の土といっても、堆積した年代、その

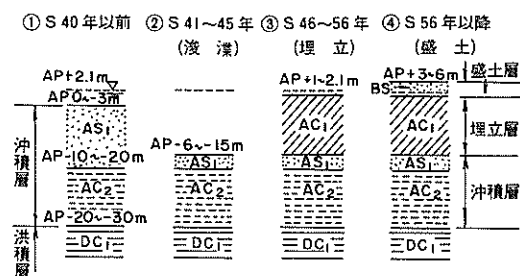
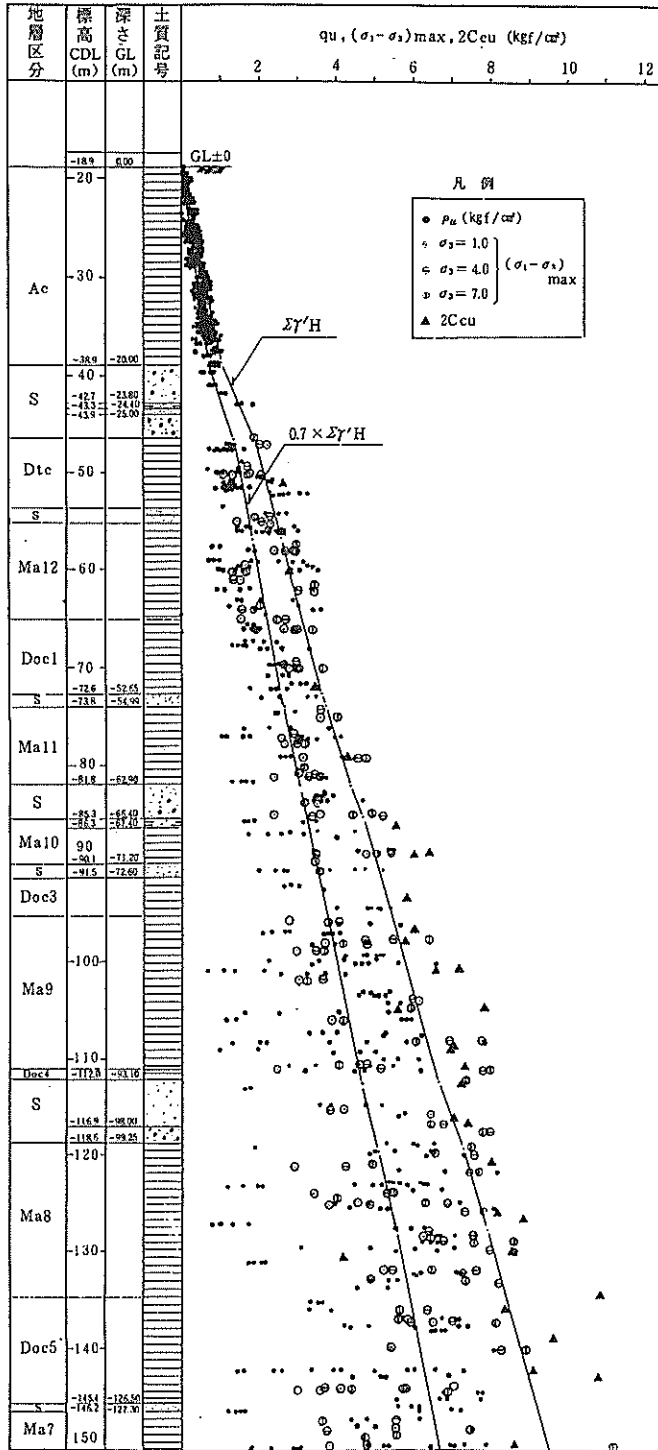


図-5 土質断面図 (羽田)

環境、堆積過程によって土の性質は大きく異なり、土の特性の地域性を議論する場合には、これらの要因を明らかにして解析を進める必要がある。しかしながら、とりあえず地域だけに着目して解析を行うことにして、堆積環境の要因は今後の課題とすることにする。

三つは、調査あるいは試験者の誤差である。小川・松本は港湾技術研究所で実施した土質試験の結果に対して、今回の資料と同様に統計解析を行っている<sup>8)</sup>。この場合のデータは港湾技術研究所の 1 機関で実施したものであり、試験者の違いによる結果の違いは、ほぼ無視できると考えられる。これに対して、今回統計解析の対象とした土質調査・試験は、数十社の土質調査会社が実施したもので、これらの会社や試験者によるばらつきはある程

B-ライン



注) 柱状図および  $\Sigma\gamma'H$  の線はBラインの代表孔としてNo.56~10のものを用いた。  
 試験結果は標高を合わせてプロットした。  
 Bライン各孔の見極深さはC.D.L-18.2m~18.9mに存在する。

図-6 土質断面図 (関空)

度避けられない。しかしながら、土質試験法が土質工学会によって詳細に規定されており、また土質調査会社でも独自に、あるいは協会などを通じて試験を担当する職員の教育を行っており、これらの要因による試験結果のばらつきは小さいと考えられる。

#### 4. 統計解析結果

##### 4.1 土粒子の密度

土粒子の密度  $\rho_s$  とは、土の固体部分の単位体積重量である。この値は設計に直接使用することはないが、間げき比や飽和度、圧密試験の結果の整理に欠かせない基本的な土の定数である。

地球上の表面を覆っている岩石を構成する造岩鉱物は表-3<sup>9)</sup>に示す通りで、これらの鉱物の密度  $\rho_s$  もあわせて載せる。この中の60から70%は無色鉱物で、石英が大部分を占める。有色鉱物の  $\rho_s$  は無色鉱物より大きい。すでに述べたように、土の砂やシルト分に相当する粒径の土粒子は、母岩そのままの性質を有している。

一方、粘土分は母岩が化学的に変化した二次鉱物である粘土鉱物から成っている。主な粘土鉱物は表-4<sup>9)</sup>に示す4種類であり、粘土鉱物によってわずかに  $\rho_s$  が異なる。

表-3 主要造岩鉱物<sup>9)</sup>

造 岩 鉱 物		密 度
有 色 鉱 物	かくらん石類	3.2-4.3
	輝石類	2.9-3.7
	角せん石類	2.8-3.55
	雲母類	2.8-3.4
無 色 鉱 物	斜長石類	2.605-2.765
	正長石類	2.56-2.58
	石英類	2.654-2.653

表-4 主要粘土鉱物<sup>9)</sup>

粘度鉱物	密度
カオリナイト	2.60-2.68
モンモリロナイト	2.35-2.70
イライト	2.60-3.00
クロライト	2.60-2.96

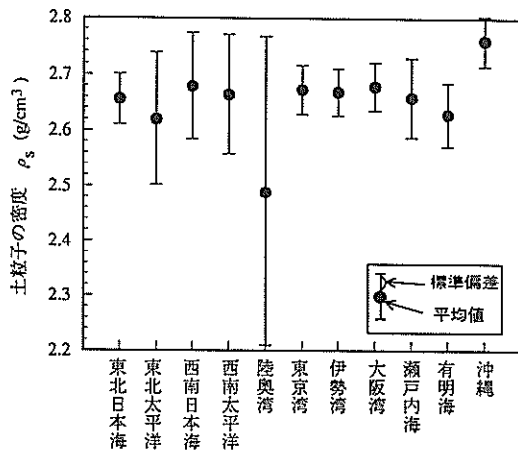
各地域における  $\rho_s$  のヒストグラムを付録Aに示す。図から、比較的狭い範囲内に分布している地域と、大きなばらつきを有する地域との二つに分けることができる。前者のグループに属するのは東京湾、伊勢湾、大阪湾、沖縄であり、後者は陸奥湾、東北太平洋、西南日本海、西南太平洋、瀬戸内海であり、残りの地域はその中間にある。大きなばらつきを有する地域は、図-3や表-2に示すように、区分された地域が広く、またこれに属する港湾の数も多い。このため、大きなばらつきを示したものと思われる。しかしながら、陸奥湾については、これに属する港湾は青森港だけである。付図-5に示したような大きなばらつきを示す原因として、青森地区は有機物の一つであるピートの地層が多く分布しているためと考えられる。ピートの  $\rho_s$  は一般の土の  $\rho_s$  より小さく、この影響を受けて付図に示すように  $\rho_s$  が小さきところにも分布していると思われる。沖縄を除いて、 $\rho_s$  の下限値は陸奥湾ほどではないにしてもばらついている。しかしながら、 $\rho_s$  の上限値については2.75から2.80の間と、比較的まとまっており、また地域による差は認められない。このように、 $\rho_s$  の分布は必ずしも平均値に対して対称な正規分布とはならないが、各地域毎に平均値と標準偏差を求めると表-5と図-7のようになる。図-7に示すように沖縄は他の地域と比べて  $\rho_s$  が大きいのがわかる。日本全体の平均値が2.667に対して沖縄の平均値は

表-5 地域別の土粒子密度の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	2.656	0.045	1003
東北太平洋	2.620	0.118	1692
西南日本海	2.679	0.094	6234
西南太平洋	2.664	0.106	1861
陸 奥 湾	2.488	0.279	1050
東 京 湾	2.673	0.044	7325
伊 勢 湾	2.669	0.042	2300
大 阪 湾	2.679	0.043	7015
瀬 戸 内 海	2.659	0.071	6136
有 明 海	2.629	0.057	1286
沖 繩	2.760	0.044	1930
全 体	2.667		37832

2.760 となりその差は0.1程度となる。沖縄地区において設計を行うときは、本土を対象とした値をそのまま安易に使用することは危険である。

$\rho_s$ の測定において、脱気が不十分であると土粒子の体積が大きく計測され、その結果 $\rho_s$ は小さく計算される。小川・松本がまとめた $\rho_s$ の全国の平均値は2.686であり、今回得られた2.667と比べると、ほぼ同じである。したがって、 $\rho_s$ については調査会社の違いによる影響は



図一七 地域別の土粒子密度  $\rho_s$

表一六 地域別の液性限界の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	60.93	19.57	589
東北太平洋	82.88	33.53	1206
西南日本海	70.85	31.65	5397
西南太平洋	49.47	14.85	1372
陸奥湾	77.44	63.47	697
東京湾	82.63	22.11	8105
伊勢湾	77.71	19.49	1677
大阪湾	87.65	23.66	7087
瀬戸内海	74.32	35.80	5819
有明海	84.63	20.93	987
沖縄	62.99	18.55	1170
全体	77.73		34106

ないと判断される。

#### 4.2 コンシステンシー限界

コンシステンシー限界は試料を完全に練り返した状態で求められる値なので、応力状態や履歴によらない土の一次性質と考えられる。コンシステンシー限界で一般に求められているのは液性限界 $w_L$ と塑性限界 $w_p$ である。また、 $w_L$ と $w_p$ の差を表す塑性指数 $I_p$ も土の性質を表す重要な指標として広く使われている。

付録B, C, Dに各地域の $w_L$ ,  $w_p$ ,  $I_p$ のヒストグラムを示す。また、表一六から表一八、図一八から図一十に各地域の $w_L$ ,  $w_p$ ,  $I_p$ の平均値と標準偏差を示す。

$w_p$ は陸奥湾を除いて20から50%の間にあり、ヒストグラムの分布形状も正規分布に近い形を呈する。一方、 $w_L$ や $I_p$ は非常に大きなばらつきを示す。しかしながら、最大値に着目すると $w_L$ では110%、 $I_p$ では75程度であり、この値を越す試料は少ない。各地域の $I_p$ をさらに詳細にみると、東北日本海、西南太平洋が低塑性であり、大阪湾が高塑性を示していることがわかる。

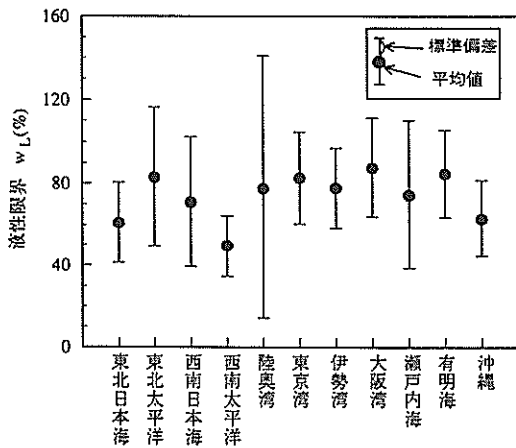
土の工学的分類は、砂質土に対しては粒度による分類が行われているが、粘性土についてはコンシステンシー限界を用いた塑性図によって行われている。塑性図は図一十一に示すように、横軸に $w_L$ を、縦軸は $I_p$ をとり、この座標によって土を分類するものである。分類の方法は世界各国によって異なり、またわが国の土質工学会が定

表一七 地域別の塑性限界の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	26.73	5.61	589
東北太平洋	37.87	10.36	1217
西南日本海	29.84	9.15	5401
西南太平洋	23.73	5.45	1366
陸奥湾	41.45	30.52	692
東京湾	37.86	8.57	8112
伊勢湾	33.13	6.75	1678
大阪湾	31.51	8.07	7088
瀬戸内海	30.91	11.37	5672
有明海	40.95	9.353	987
沖縄	24.72	4.63	1170
全体	32.82		33972

表一 地域別の塑性指数の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	34.19	17.84	589
東北太平洋	44.97	28.70	1198
西南日本海	41.01	26.25	5387
西南太平洋	25.72	11.59	1366
陸奥湾	36.22	35.82	692
東京湾	44.73	15.77	8104
伊勢湾	44.58	15.19	1677
大阪湾	56.20	18.22	7079
瀬戸内海	43.13	29.36	5661
有明海	43.68	15.32	987
沖縄	38.27	16.47	1170
全体	44.89		33910

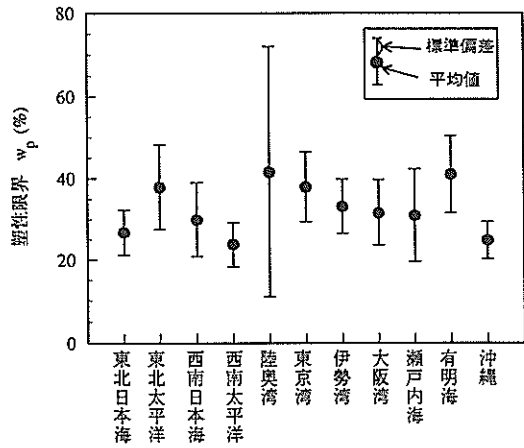


図一 地域別の液性限界  $w_L$

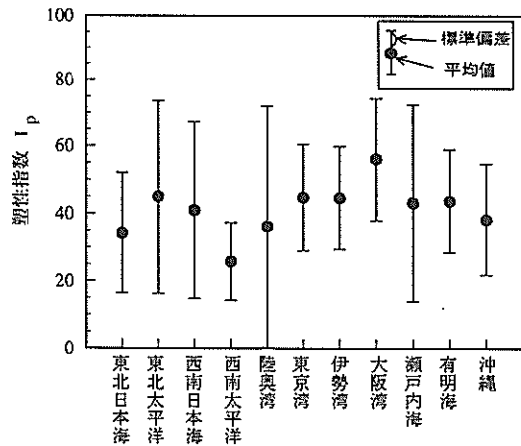
めた日本統一分類法においても、数回改訂されている。現在の土質工学会によって定められている分類<sup>10)</sup>を図一11に示す。特に(1)式で定められる直線はA線と呼ばれ、このA線によって土質特性が大きく変わるとされている。

$$I_p = 0.73(w_L - 20) \quad (1)$$

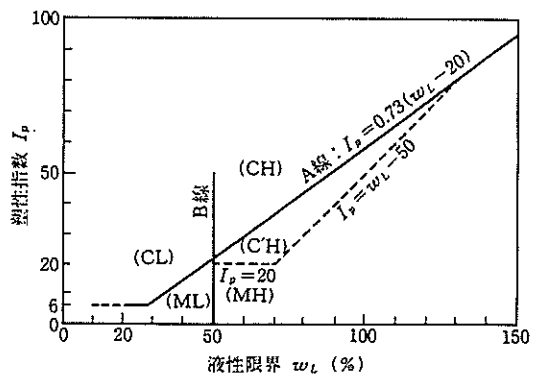
付録Eに各地域の塑性図を示す。これらの図から二つのタイプの地域に分類ができる。一つは東京湾に代表さ



図一 地域別の塑性限界  $w_p$



図一 地域別の塑性指数  $I_p$



図一 塑性図

れるように、 $I_p$ と $w_L$ の関係がA線のまわりに集中するタイプであり、もう一つは大阪湾にみられるように、A線より上に位置する試料が多いタイプである。

A線からの離れ具合を詳細にみるために、A線からの距離を計算して $w_L$ に対してプロットしたものを付録Fに示す。なお、付図に示す距離は正の場合はA線より上に位置しており、負は下に位置することを意味する。西南太平洋や大阪湾のほとんどの試料の距離は正であり、かなりA線より上にあることがわかる。しかし、有明海の試料の多くはA線より下にあることがわかる。このA線に対する距離の平均値と標準偏差の結果を表-9に示す。東北太平洋、陸奥湾、東京湾、有明海では $I_p$ と $w_L$ の関係がA線の下、あるいはその周りに分布しており、特に陸奥湾の試料はA線の下に分布している傾向が強い。一般に、関東ロームを始め、火山灰が風化した粘性土の塑性図は下に位置するといわれている。陸奥湾は八甲田山、有明海は阿蘇山の日本でも有数の活火山があるので、この二つの地域の距離が小さいのは、これらの火山による影響を受けていると思われる。また、有機質土の場合においても、A線の下に分布する傾向にあるといわれている。

アメリカを始め世界各国の分類法では、A線より上に位置する土を粘性土、下に位置する土をシルトあるいは有機質土と分類されていることが多い。しかし、付図-

50の東京湾の塑性図にみられるように、わが国の海成粘性土はA線の周りに分布しているの、工学的性質が同じとみなすことができる土でも粘性土とシルトといった異なるグループに分類されることになる。これを改善するために、わが国の分類法では図-11に示すように、C'Hなる分類を設け、CHすなわち高液性限界の粘性土と同じ扱いをしている。この分類に従えば、付図に示すように、ほとんどの土がCHあるいはC'Hに分類されることになる。しかしながら、東京湾の例に見られるようにC'Hの分類から離れる点もある。C'Hの範囲を決めた経緯はよく判らないが、A線からの距離を表した付録Fをみると、多少地域によって異なるものの、 $w_L$ によってA線からの距離は変化していないように思われる。このことは、現行のC'Hを区分する下側の線はA線より勾配が大きい、むしろA線の勾配と等しくしたほうがよいと思われる。しかし、この見解はわが国の海成粘性土によるものであり、陸成土や特殊土あるいは諸外国の土の特性を検討する必要がある。

#### 4.3 活性度

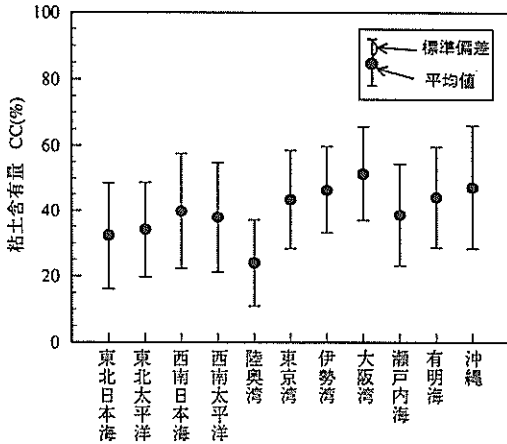
各地域における粘土（粒径が5 $\mu$ m以下）含有量の平均値と標準偏差を表-10と図-12に示す。土層の粒度分布は堆積環境によって大きく変わる。すなわち、土砂を運搬する河川の流速が大きく、水深が浅いと粒径の大きな土砂が堆積する。逆に、流速が小さく、水深が深いと

表-9 地域別のA線からの距離の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	3.487	4.680	589
東北太平洋	-0.880	6.907	1198
西南日本海	3.106	5.581	5387
西南太平洋	3.411	3.065	1366
陸奥湾	-4.747	12.228	692
東京湾	-0.795	3.918	8104
伊勢湾	1.980	3.676	1677
大阪湾	5.440	4.229	7079
瀬戸内海	2.943	6.846	5661
有明海	-2.826	5.163	987
沖縄	5.565	3.699	1170
全体			33910

表-10 地域別の粘土含有量の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	32.31	16.28	584
東北太平洋	34.18	14.57	1178
西南日本海	39.82	17.63	5312
西南太平洋	37.95	16.81	1364
陸奥湾	24.04	13.02	688
東京湾	43.41	15.10	3419
伊勢湾	46.35	13.27	1538
大阪湾	51.30	14.41	6612
瀬戸内海	38.66	15.61	5425
有明海	44.07	15.49	910
沖縄	47.17	18.85	1003
全体	42.63		28033



図一12 地域別の粘土含有量 CC

粒径の小さな粘性土が卓越する。図一12をみると、陸奥湾を除き粘土含有率は30%を越している。地域別に見ると、特に大阪湾の粘土含有率が一番大きい。これはこの地区のデータの多くが関西国際空港の地区であることによると思われる。すなわち、同地区のボーリング地点は岸からかなり離れており水深も15から20mとかなり深い。このため、粒径の小さな粘性土が多く含まれているものと思われる。

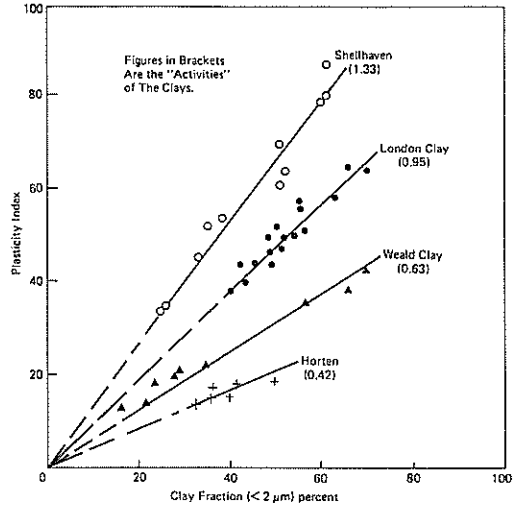
$I_p$ は含水比の変化に対して土が塑性の性質をどれくらい有しているかを表す指標である。このため、粘土の含有量が多いほど $I_p$ が大きくなることになる。また、粘土は構成される粘土鉱物によって活性が大きく異なる。土の化学的な研究によれば、土粒子の粒径が $2\mu\text{m}$ 以下になるとコロイド的な性質が強くなるとしている。このため、Skemptonによって活性度Aが(2)式によって定義された。

$$A = \frac{I_p}{2 \mu\text{m以下の粘土含有量}(\%)} \quad (2)$$

また、Skemptonによって求められた種々の土の活性度と粘土分の関係を図一13<sup>11)</sup>に示す。

わが国の土質工学会基準では粘土は $5\mu\text{m}$ 以下の粒径としているので、土質データベースにおいても $5\mu\text{m}$ 以下の粒径を粘土としている。そのため、本資料においても $5\mu\text{m}$ 以下の粒径を粘性土として解析を進めることにする。

各地域の粘土含有量 (clay content, CC) と $I_p$ の関係を付録Gに示す。図には、各地域による特徴の違いを明確にするために、三つの線を記入している。



図一13 活性度と粘土分の関係<sup>11)</sup>

$$\alpha \text{線} \quad I_p = 200\text{CC} \quad (3)$$

$$\beta \text{線} \quad I_p = 60\text{CC} \quad (4)$$

$$\gamma \text{線} \quad I_p = 80 \quad (5)$$

各地域の多くの試料は $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線に囲まれた範囲に位置している。特に、東北日本海、東京湾、伊勢湾、有明海、沖縄がこれにあたる。しかし、これらの線から大きく逸脱しているのは瀬戸内海の試料であることがわかる。このことは、図一3に示すように瀬戸内海地方を一つの地域に分割したが、同じ瀬戸内海でも場所によって構成する粘土鉱物はかなり異なっていることを意味している。大阪湾は、かなりのデータが $\alpha$ 線の外に分布していることから、この地域の土は活性度がかなり高いことがわかる。逆に西南太平洋は $\beta$ 線より下に、データが多く分布しており、また $I_p$ の上限値も $\gamma$ 線より小さく、全体に活性度が低いことがわかる。

この傾向を活性度でみるとより明確になる。各地域の活性度のヒストグラムを付録Hに示す。また、各地域の平均値と標準偏差を表一11と図一14に示す。東京湾、伊勢湾、有明海、沖縄の活性度は1.0程度で標準偏差も他の地域に比べて小さいのがわかる。東北太平洋、西南日本海、陸奥湾、大阪湾、瀬戸内海の活性度は大きく、またばらつきも大きい。活性度のわが国の基準は、 $5\mu\text{m}$ 以下の含有量を分母にしているため、北欧の粘性土に比べて小さくなると思われたが、全体としてみると、わが国の活性度は0.8から1.5程度と北欧の粘性土より大きい結果となった。

表-11 地域別の活性度の一覧表

	平均値	標準偏差	試料数
東北日本海	1.138	0.421	584
東北太平洋	1.469	1.141	1178
西南日本海	1.184	1.166	5312
西南太平洋	0.772	0.514	1364
陸奥湾	1.542	1.021	688
東京湾	1.127	0.459	3419
伊勢湾	0.992	0.414	1538
大阪湾	1.170	0.813	6612
瀬戸内海	1.240	1.088	5425
有明海	1.035	0.332	910
沖縄	0.844	0.457	1003
全体	1.157		28033

土の粒度分布を求める試験ではシルトにあたる粒径が75 $\mu$ mまではふるい試験で、それ以下は沈降分析試験から求めている。沈降分析試験においては、試料によっては縮毛化が生じ試料の分散がうまくいかなかったり、土の粒子を球と仮定してStokesの法則によって粒径を計算しているため、ふるい試験と比べて試験の精度は悪いと考えられる。このため、先に挙げた日本統一分類法においても、粘土分とシルト分の割合による分類は行っていない。すなわち、75 $\mu$ m以上の構成成分の含有率を粗粒分とし、75 $\mu$ m以下を細粒分(fine content, FC\*)に分類している。そして、細粒分については粒度による分類は行わないで、図-11に示した塑性図によって土の分類を行っている。

そこで、CCの代わりにFCと $I_p$ の関係を調べたものを付録Iに示す。この結果、FCが100%の試料でもほぼ非塑性(NP)とみなすことのできる試料が多数あり、 $I_p$ とFCの間には付録Gにみられるような相関関係は認められない。このように、土の性質をFCだけで判断することは難しく、精度に問題はあるものも、沈降分析による粒度試験の結果も土の性質を見る上で必要と考えられる。

\* FCを粘土含有量と混同している文献も見受けられるので、本資料では粒径が75 $\mu$ m以下の細粒分(シルトと粘土)をFC、また5 $\mu$ m以下の粘土分をCCと区別する。

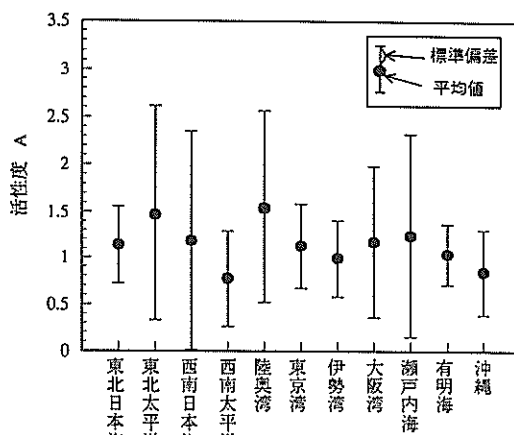


図-14 地域別の活性度 A

#### 4.4 圧縮指数

圧縮指数 $C_c$ は、圧密係数 $c_v$ とともに圧密沈下量を計算するための重要な値である。 $C_c$ とコンシステンシー限界を結びつけた関係式に有名なSkemptonの式がある。

$$C_c = 0.009(w_L - 10) \quad (6)$$

付録Jに各地域の $C_c$ と $w_L$ の関係を示す。小川・松本は港湾技術研究所で実施した土質試験の結果を用いて、 $C_c$ と $w_L$ の関係式を導いた。

$$C_c = 0.015(w_L - 19) \quad (7)$$

沖縄と東北日本海を除いて、Skemptonの関係式が $C_c$ と $w_L$ の関係の下限のように思われる。小川・松本の関係式は、地域によっては得られた関係より大きくかけ離れており、地域性を無視して使用すると誤差が大きいことがわかる。 $w_L$ に対して $C_c$ が大きい傾向にあるのは、西南日本海、大阪湾、瀬戸内海であり、小さいのは東北日本海と沖縄である。特に沖縄は他の地域に比べて極端に小さい。

このように、 $C_c$ と $w_L$ の関係は地域によってかなり異なる。この原因が土の固有の性質から直接由来するのか、地域の土の特殊性から間接的に生じたのか、注意する必要がある。例えば、沖縄の場合では、試料には珊瑚礫が混入しており、これによって試料の質が悪くなったり、あるいは圧密試験の供試体を成形する際に試料が乱された可能性が考えられる。また、本資料では $C_c$ を時間や応力履歴に影響されない一次性質として捉えたが、最近の研究によると、時間によって $C_c$ が変化することがわかった。すなわち、現在の圧密試験の結果の整理法では、 $C_c$



は  $e$ - $\log p$  関係の最急勾配としているが、堆積時期が古いと圧密降伏応力後の間げき比の減少が大きくなり、その結果  $C_c$  が大きくなるとされている。付図-107 に示す大阪湾のデータには洪積層について数多くの調査を実施した泉州沖の調査結果が入っている。また、東京湾のデータには羽田の沖合展開工事のデータが大量に登録されており、当地区にはすでに述べたようにへどろを捨て込んで間もない  $AC_1$  層のデータが数多くある。このため、大阪湾の  $C_c$  は大きく、東京湾の  $C_c$  は小さい傾向にある、一つの理由であると考えられる。

#### 4.5 圧密係数

圧密係数  $c_v$  は圧密圧力によって変化する係数である。しかし、正規圧密領域では  $c_v$  は一定となるため、土質データベースには、圧密圧力が  $10 \text{ kgf/cm}^2$  のときの  $c_v$  を正規圧密領域の  $c_v$  として入力されている。

各地域の  $c_v$  と  $w_L$  の関係を付録 K に示す。各地域とも両者の関係はかなりばらつきが、地域間の比較を容易にするため、次式で示される 2 本の線で  $c_v$  と  $w_L$  の関係を区分してみた。

$$\xi \text{線} \quad \log c_v = 5 - 0.05 w_L \quad (8)$$

$$\eta \text{線} \quad \log c_v = 4.6 - 0.02 w_L \quad (9)$$

付図からわかるように、各地域の  $c_v$  と  $w_L$  の関係は  $\xi$  線と  $\eta$  線の間にある。すなわち、 $w_L$  が大きくなると  $c_v$  が小さくなる傾向にある。しかし、 $\xi$  線と  $\eta$  線から大きく逸脱するのは東北太平洋、西南日本海、瀬戸内海である。この中で、例えば東北太平洋であるが、 $w_L$  が 160% 以上なのに  $c_v$  が  $3000 \text{ cm}^2/\text{day}$  以上と、常識では考えられない点がある。これらの試料は、試験時やデータ入力時のまちがいの可能性が高い。2.3 で述べた入力時のチェックを通して、やはりこのようなデータが混入する。10,000 を越すデータの信頼性をどう維持するかは今後の重要な課題と思われる。

## 5. 結論

本資料は、土質データベースに登録されているデータを使用して、わが国の港湾地域を地質構造、堆積環境によって区分し、地域毎の土の特性について検討を行った。今回の解析によって得られた結論は、以下に示すとおりである。

(1) 土粒子の密度  $\rho_s$  は、ほぼ 2.6 から  $2.7 \text{ g/cm}^3$  の間に分布し、その平均値は  $2.667 \text{ g/cm}^3$  であった。しかし、他の地域より陸奥湾の  $\rho_s$  は小さく、沖縄の  $\rho_s$  は大きい。この原因としては、陸奥湾は有機質土、沖縄は土を構成する母岩の鉱物の違いによるものと考えられ

る。

- (2) 塑性限界  $w_p$  は陸奥湾を除いて 20 から 50% の間に分布する。液性限界  $w_L$  や塑性指数  $I_p$  は大きなばらつきを示すが、最大値に注目すると  $w_L$  は 110%、 $I_p$  は 75 程度である。 $I_p$  を地域的にみると、大阪湾が高塑性であり、東北日本海、西南太平洋が低塑性である傾向にある。
- (3) わが国の粘性土の  $I_p$  と  $w_L$  の関係（塑性図）は A 線の周りに集中している。しかし、この関係を詳細にみると、西南日本海と大阪湾の試料は A 線の上、有明海や陸奥湾の試料は A 線の下に分布している。
- (4)  $I_p$  を粘土分（粒径が  $5 \mu\text{m}$  以下）で除した値、すなわち活性度は 0.8 から 1.5 程度である。地域的にみると、東北太平洋、西南日本海、陸奥湾、大阪湾、瀬戸内海の活性度が大きい。
- (5) 圧縮指数  $C_c$  と  $w_L$  の関係は地域によってかなり異なる。両者の関係において、Skempton の提案式は下限値となる。また、小川・松本が提案した  $C_c = 0.015(w_L - 19)$  の関係も、地域によっては大きく逸脱することがわかった。
- (6) 圧密係数  $c_v$  と  $w_L$  の関係は、大きなばらつきがあるが、 $\log c_v = 5 - 0.05 w_L$  と  $\log c_v = 4.6 - 0.02 w_L$  の関係の間にある。

最後に本資料をまとめるにあたって、多くの方々の協力を頂いた。佐藤勝久土質部長には、本原稿をまとめるにあたって貴重なご指導を頂いた。また、土性研究室 水上純一研究官には、本研究を進めるにあたって終始有益なご意見を頂いた。

また、土質データベースシステムのデータ入力および登録作業において、当研究室および各港湾建設局におけるデータベース担当者各位の御尽力を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

今回開発を行ったデータベースシステムは、開発エンジニアリング㈱に業務委託して実施したものである。足立隆志氏を始めとする関係者各位の御尽力もここに記す。

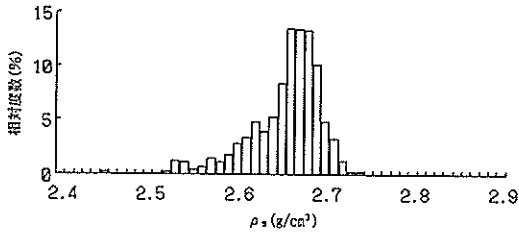
(1991年9月30日受付)

## 参考文献

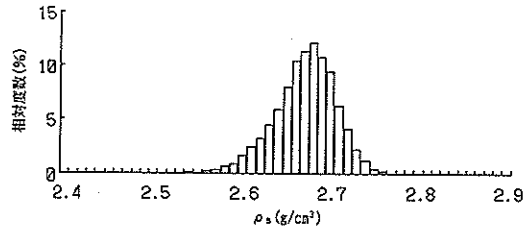
- 1) Hanzawa, H. and Tanaka, H.: Normalized Undrained Shear Strength of Clay in the Normally Consolidated State and in the Field, Soils and Foundations, Vol. 32, No.1, March, pp. 132~148, 1992.
- 2) 石井一郎: 土質データベースシステムの開発について、港湾技研資料, No.515, 1985.
- 3) 田中洋行・橋原基生・足立隆志: 港湾域における土

- 質データベースの現状，地盤情報のデータベースに関するシンポジウム，土質工学会，1991.
- 4) 土質工学会編：土と基礎，Vol.38，No.10，pp.114～119，1990.
  - 5) 土質工学会編：土質工学ハンドブック，1982.
  - 6) 田中則男：日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造物築造に伴う地形変化に関する研究，港湾技研資料，No.453，1983.
  - 7) 日本港湾協会編：港湾調査指針（改訂版），1987.
  - 8) 小川富美子・松本一明：港湾地域における土の工学的諸係数の相関性，港湾技術研究所報告，第17巻，第3号，pp.3～89，1978.
  - 9) 土質工学会編：岩の工学的性質と設計・施工への応用，1974.
  - 10) 土質工学会編：土質試験の方法と解説，1990.
  - 11) Mitchell：Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, Inc., 1976.

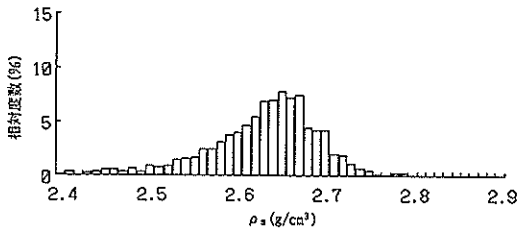
付録A 土粒子密度の頻度分布図



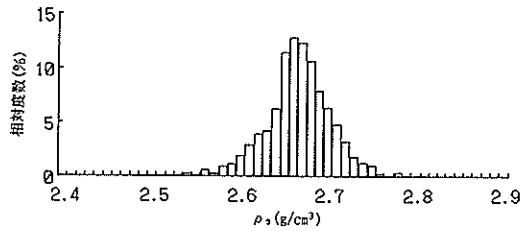
付図一 土粒子密度の頻度分布図 (東北日本海)



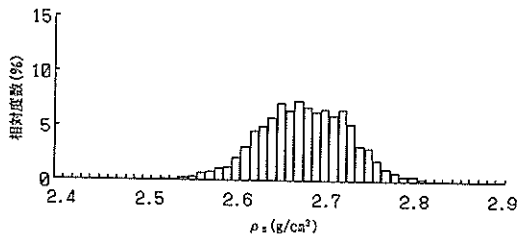
付図一六 土粒子密度の頻度分布図 (東京湾)



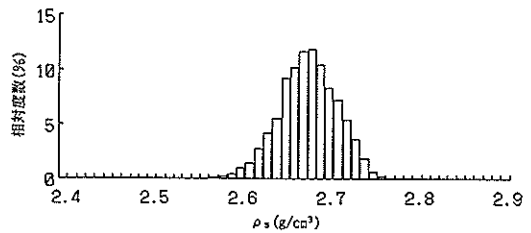
付図一 二 土粒子密度の頻度分布図 (東北太平洋)



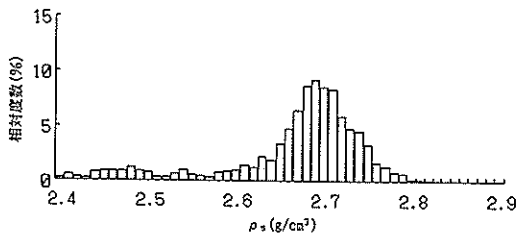
付図一七 土粒子密度の頻度分布図 (伊勢湾)



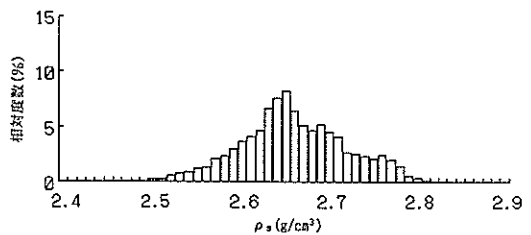
付図一 三 土粒子密度の頻度分布図 (西南日本海)



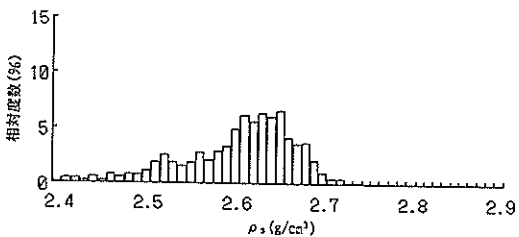
付図一 八 土粒子密度の頻度分布図 (大阪湾)



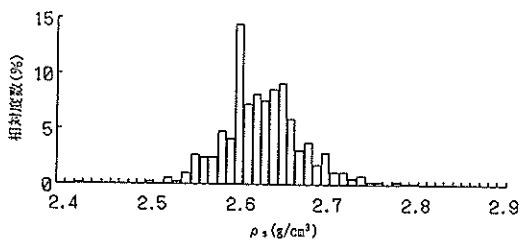
付図一 四 土粒子密度の頻度分布図 (西南太平洋)



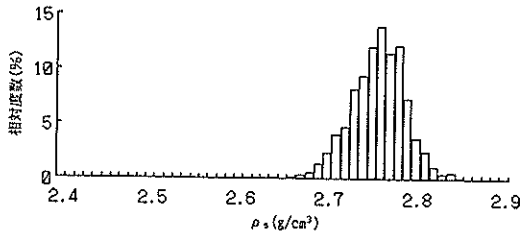
付図一 九 土粒子密度の頻度分布図 (瀬戸内海)



付図一 五 土粒子密度の頻度分布図 (薩奥湾)

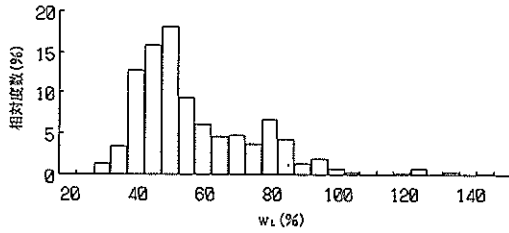


付図一 一〇 土粒子密度の頻度分布図 (有明海)

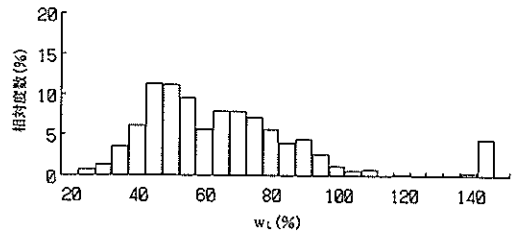


付図一11 土粒子密度の頻度分布図 (沖縄)

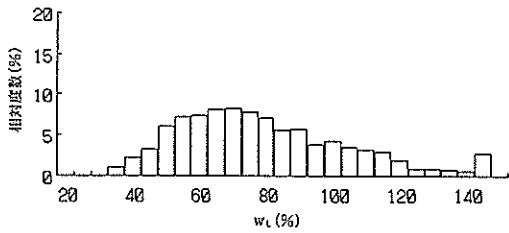
付録B 液性限界の頻度分布図



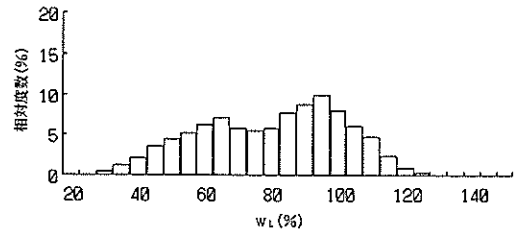
付図一12 液性限界の頻度分布図 (東北日本海)



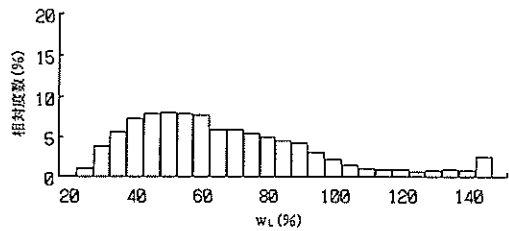
付図一16 液性限界の頻度分布図 (陸奥湾)



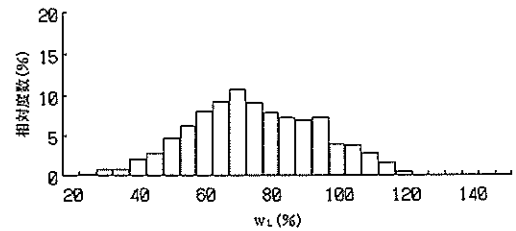
付図一13 液性限界の頻度分布図 (東北太平洋)



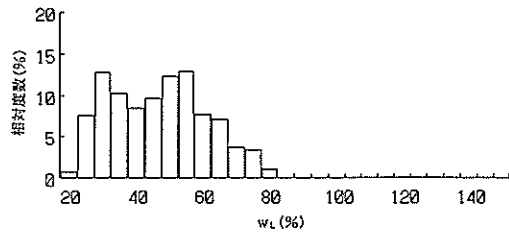
付図一17 液性限界の頻度分布図 (東京湾)



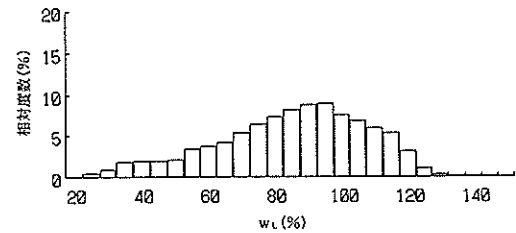
付図一14 液性限界の頻度分布図 (西南日本海)



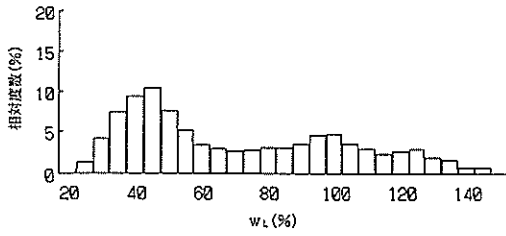
付図一18 液性限界の頻度分布図 (伊勢湾)



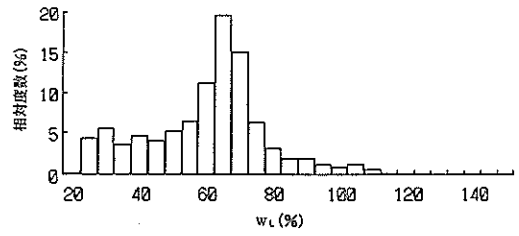
付図一15 液性限界の頻度分布図 (西南太平洋)



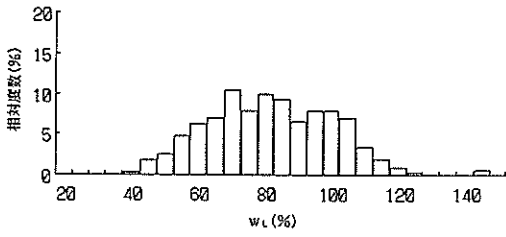
付図一19 液性限界の頻度分布図 (大阪湾)



付図-20 液性限界の頻度分布図 (瀬戸内海)

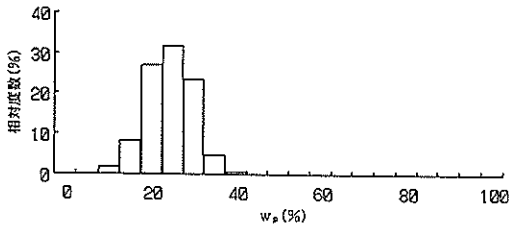


付図-22 液性限界の頻度分布図 (沖縄)

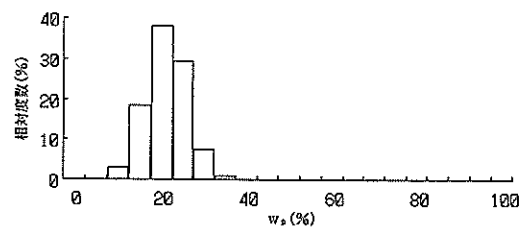


付図-21 液性限界の頻度分布図 (有明海)

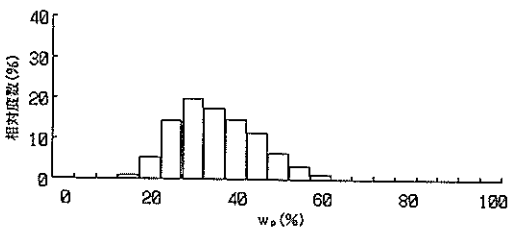
付録C 塑性限界の頻度分布図



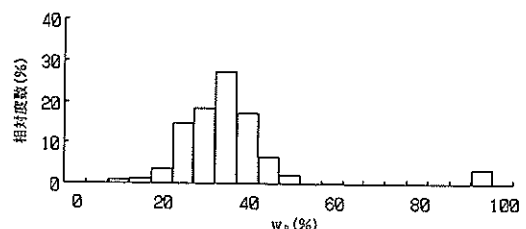
付図-23 塑性限界の頻度分布図 (東北日本海)



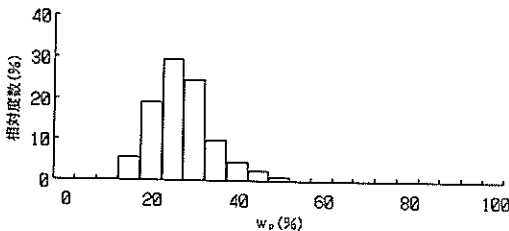
付図-26 塑性限界の頻度分布図 (西南太平洋)



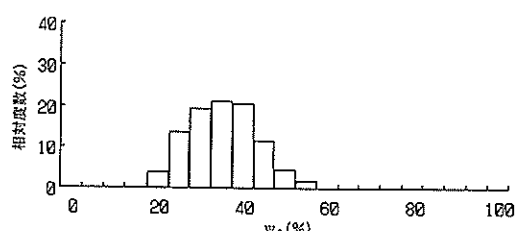
付図-24 塑性限界の頻度分布図 (東北太平洋)



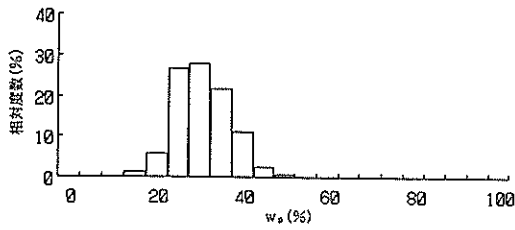
付図-27 塑性限界の頻度分布図 (陸奥湾)



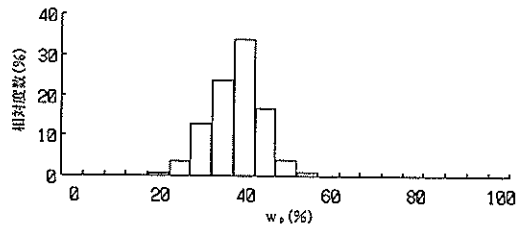
付図-25 塑性限界の頻度分布図 (西南日本海)



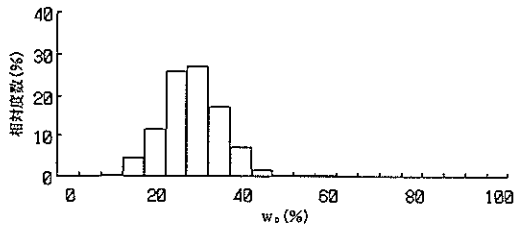
付図-28 塑性限界の頻度分布図 (東京湾)



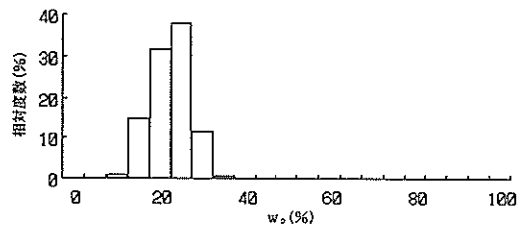
付図—29 塑性限界の頻度分布図 (伊勢湾)



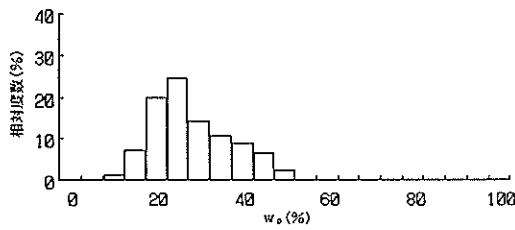
付図—32 塑性限界の頻度分布図 (有明海)



付図—30 塑性限界の頻度分布図 (大阪湾)

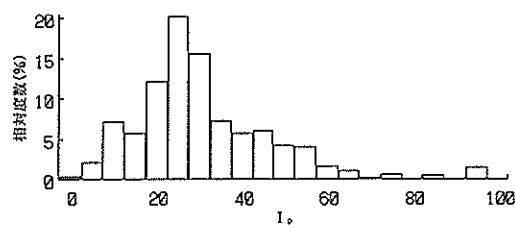


付図—33 塑性限界の頻度分布図 (沖縄)

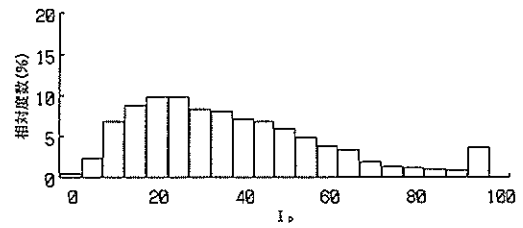


付図—31 塑性限界の頻度分布図 (瀬戸内海)

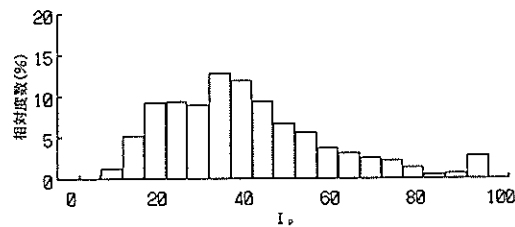
付録D 塑性指数の頻度分布図



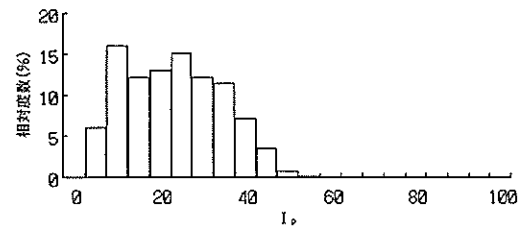
付図—34 塑性指数の頻度分布図 (東北日本海)



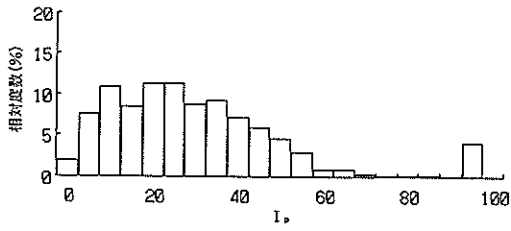
付図—36 塑性指数の頻度分布図 (西南日本海)



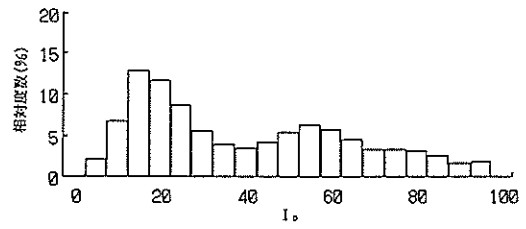
付図—35 塑性指数の頻度分布図 (東北太平洋)



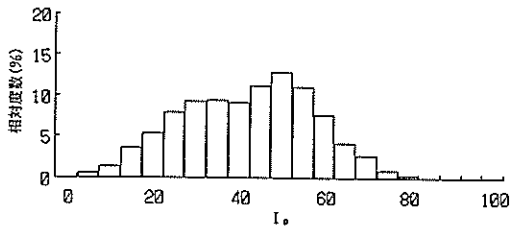
付図—37 塑性指数の頻度分布図 (西南太平洋)



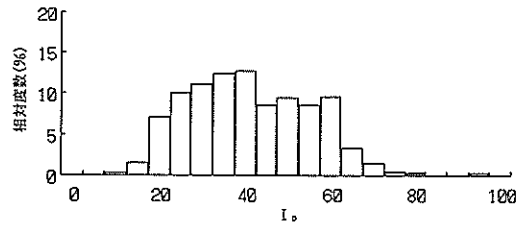
付図—38 塑性指数の頻度分布図 (陸奥湾)



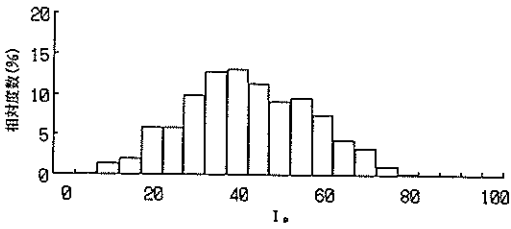
付図—42 塑性指数の頻度分布図 (瀬戸内海)



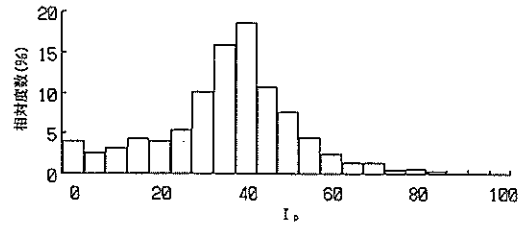
付図—39 塑性指数の頻度分布図 (東京湾)



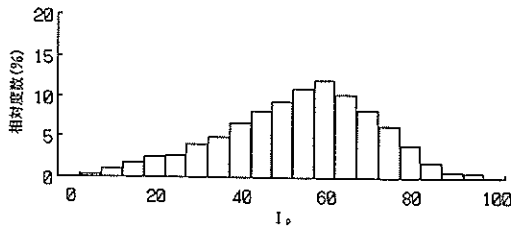
付図—43 塑性指数の頻度分布図 (有明海)



付図—40 塑性指数の頻度分布図 (伊勢湾)

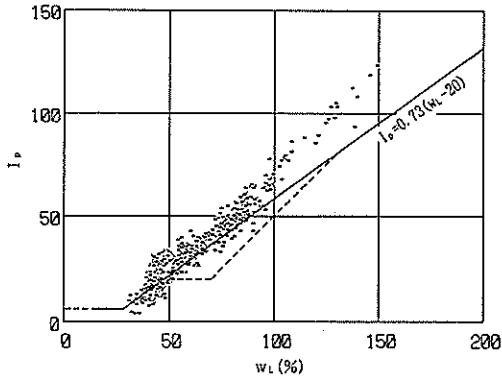


付図—44 塑性指数の頻度分布図 (沖縄)

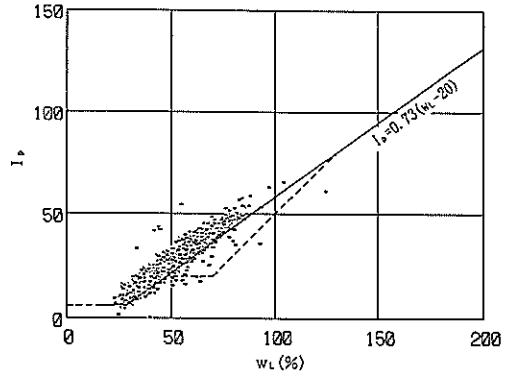


付図—41 塑性指数の頻度分布図 (大阪湾)

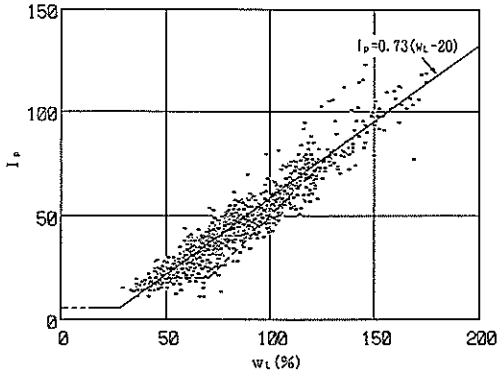
付録 E 塑性図



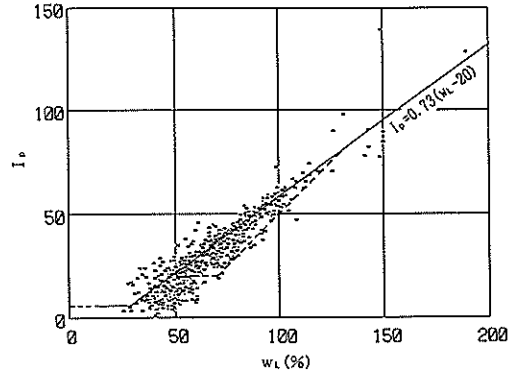
付図—45 塑性図 (東北日本海)



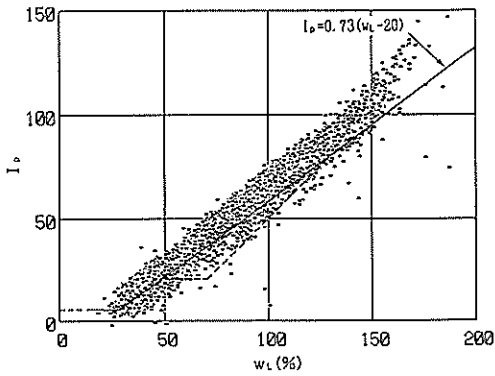
付図—48 塑性図 (西南太平洋)



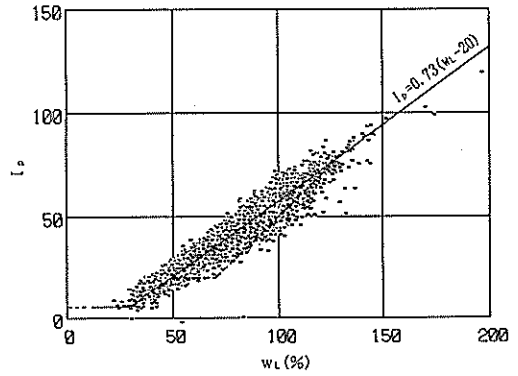
付図—46 塑性図 (東北太平洋)



付図—49 塑性図 (陸奥湾)

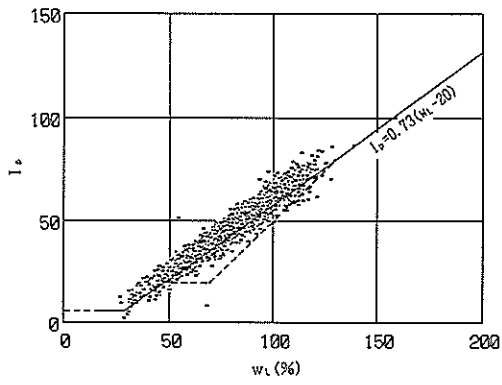


付図—47 塑性図 (西南日本海)

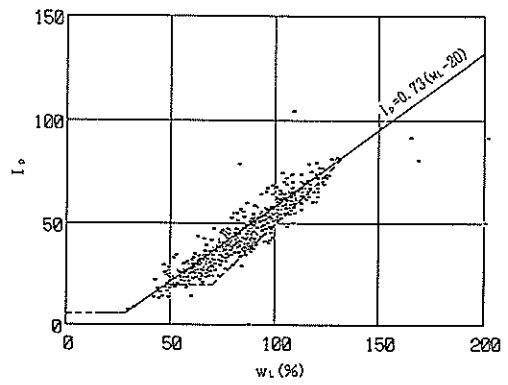


付図—50 塑性図 (東京湾)

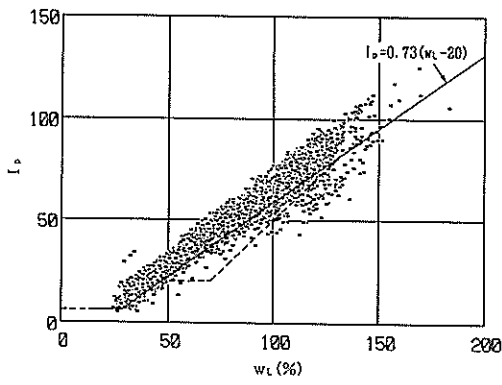




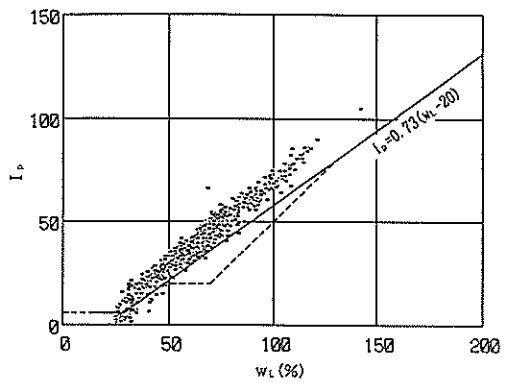
付図—51 塑性図 (伊勢湾)



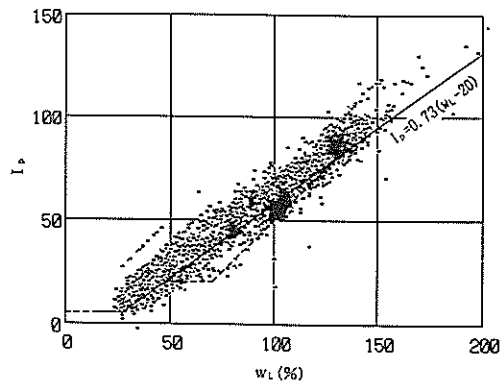
付図—54 塑性図 (有明海)



付図—52 塑性図 (大阪湾)

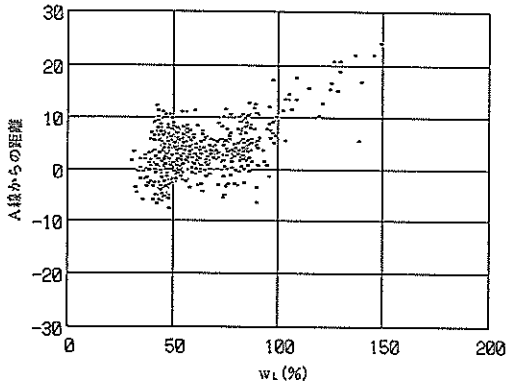


付図—55 塑性図 (沖縄)

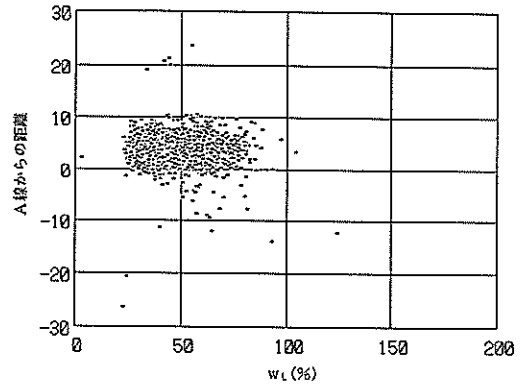


付図—53 塑性図 (瀬戸内海)

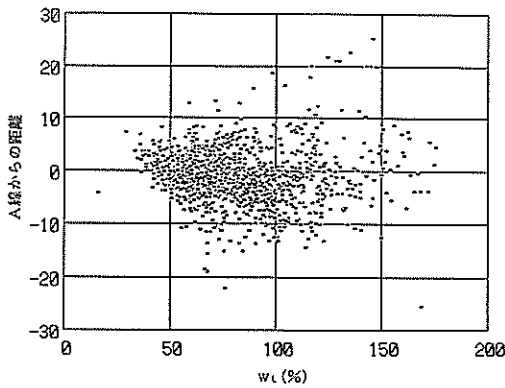
付録F A線からの距離と液性限界の関係



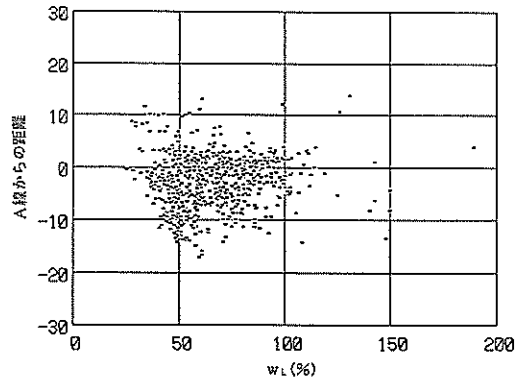
付図-56 A線からの距離と液性限界の関係  
(東北日本海)



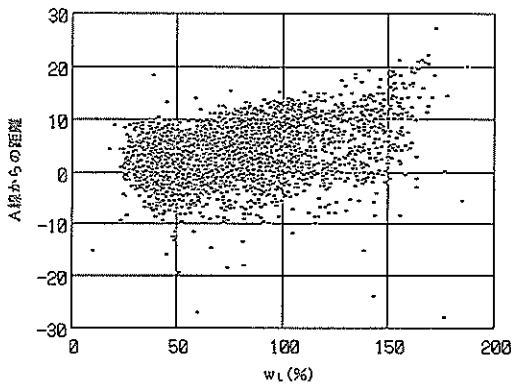
付図-59 A線からの距離と液性限界の関係  
(西南太平洋)



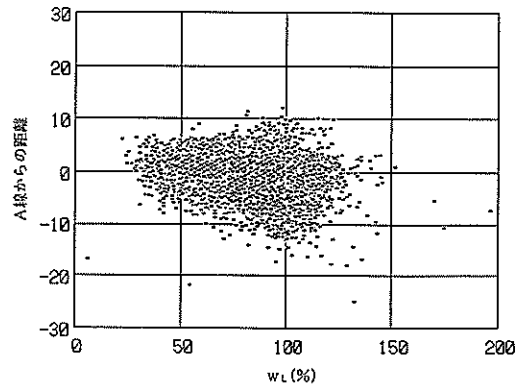
付図-57 A線からの距離と液性限界の関係  
(東北太平洋)



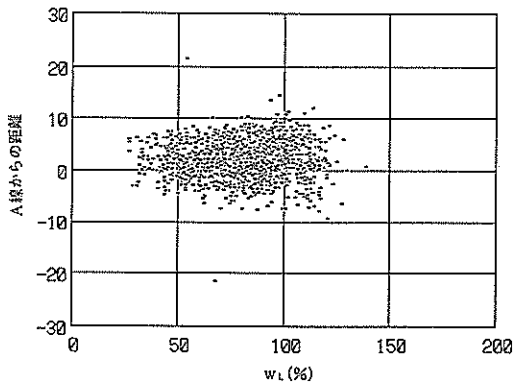
付図-60 A線からの距離と液性限界の関係  
(薩奥湾)



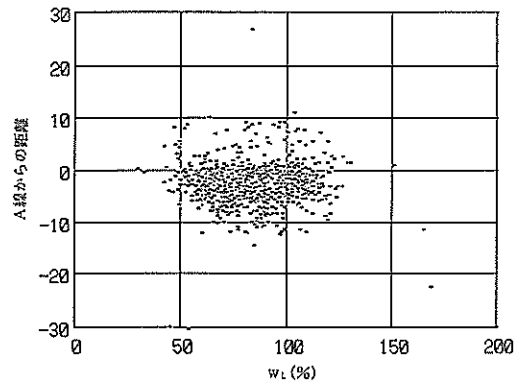
付図-58 A線からの距離と液性限界の関係  
(西南日本海)



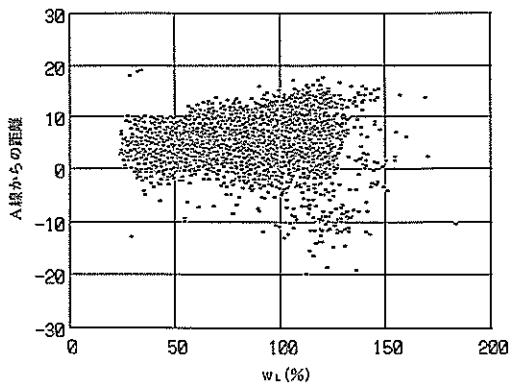
付図-61 A線からの距離と液性限界の関係  
(東京湾)



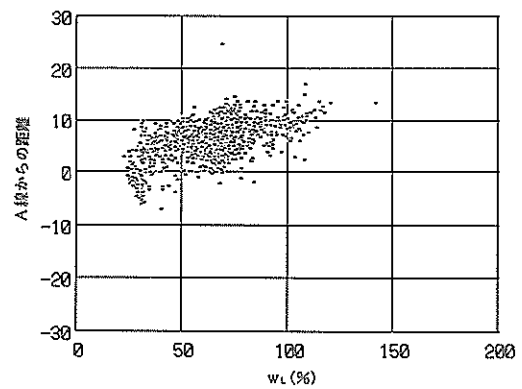
付図一62 A線からの距離と液性限界の関係(伊勢湾)



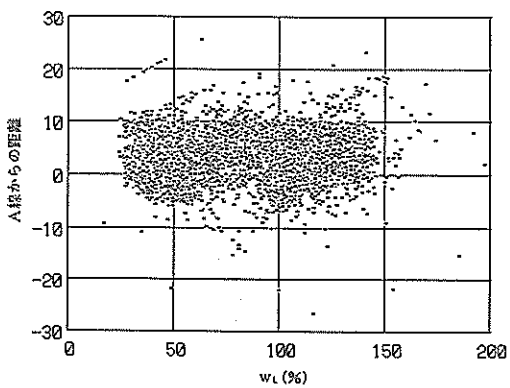
付図一65 A線からの距離と液性限界の関係(有明海)



付図一63 A線からの距離と液性限界の関係(大阪湾)

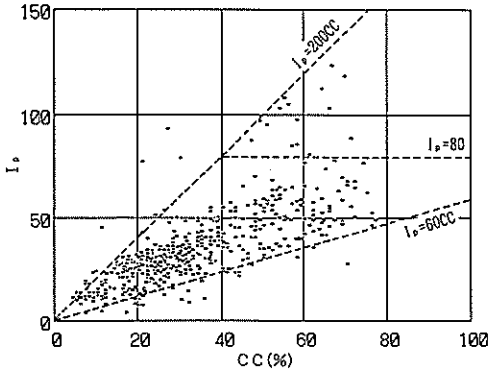


付図一66 A線からの距離と液性限界の関係(沖縄)

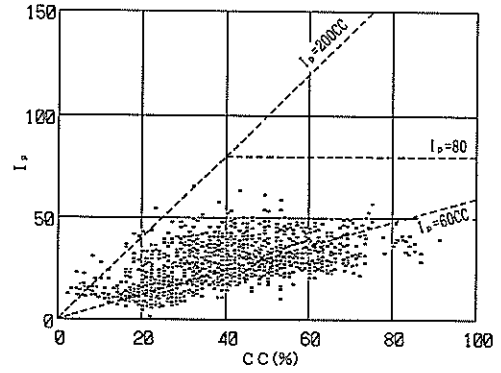


付図一64 A線からの距離と液性限界の関係(瀬戸内海)

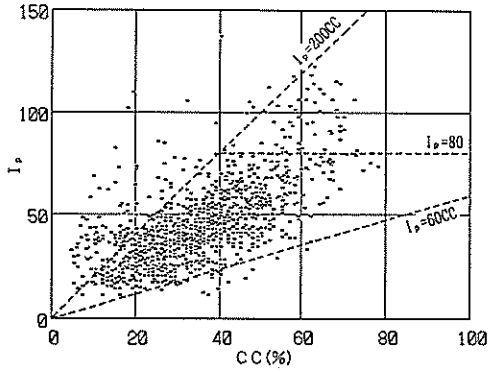
付録G 塑性指数と粘土含有量の関係



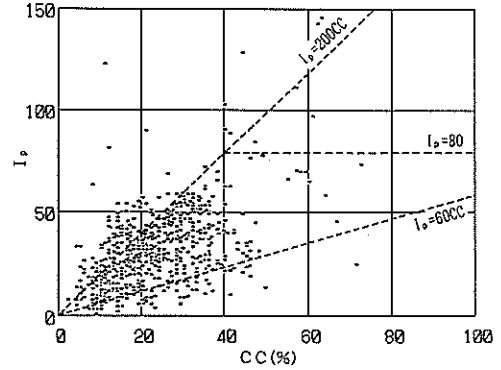
付図-67 塑性指数と粘土含有量の関係(東北日本海)



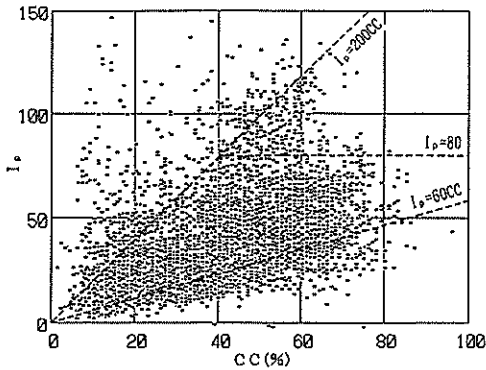
付図-70 塑性指数と粘土含有量の関係(西南太平洋)



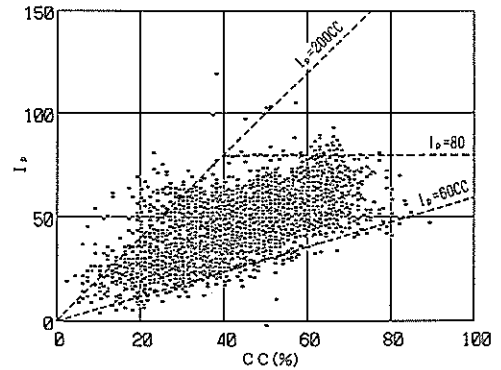
付図-68 塑性指数と粘土含有量の関係(東北太平洋)



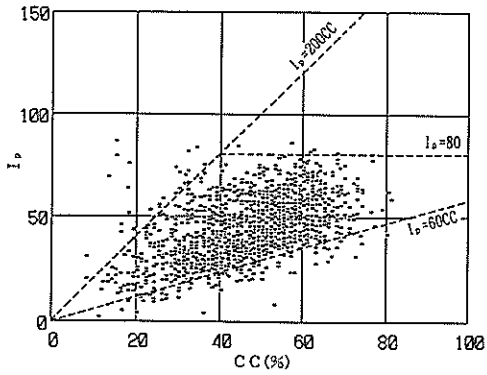
付図-71 塑性指数と粘土含有量の関係(陸奥湾)



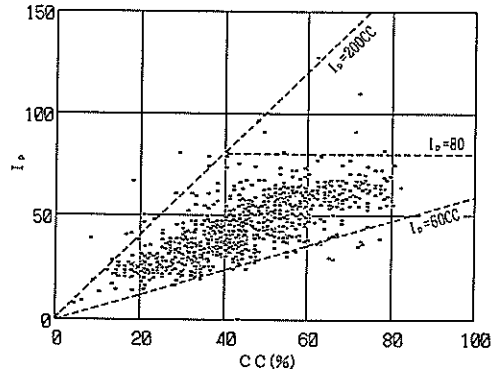
付図-69 塑性指数と粘土含有量の関係(西南日本海)



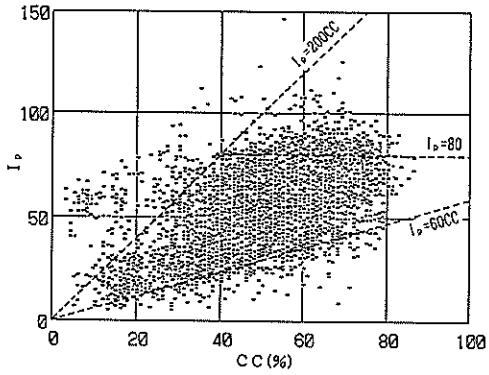
付図-72 塑性指数と粘土含有量の関係(東京湾)



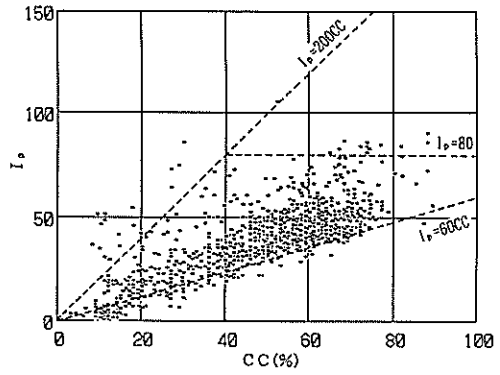
付図—73 塑性指数と粘土含有量の関係(伊勢湾)



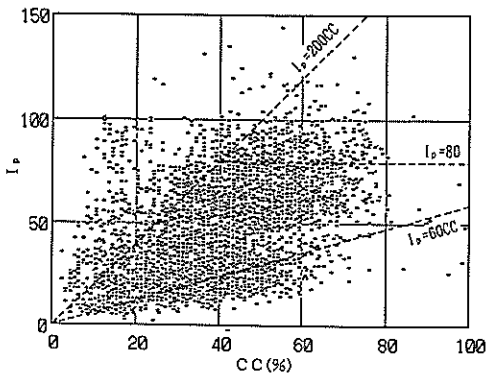
付図—76 塑性指数と粘土含有量の関係(有明海)



付図—74 塑性指数と粘土含有量の関係(大阪湾)

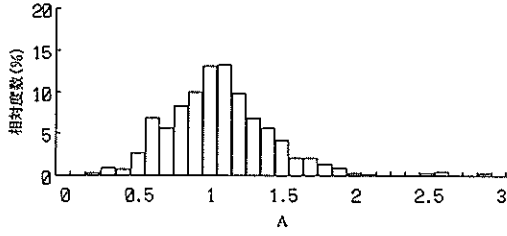


付図—77 塑性指数と粘土含有量の関係(沖縄)

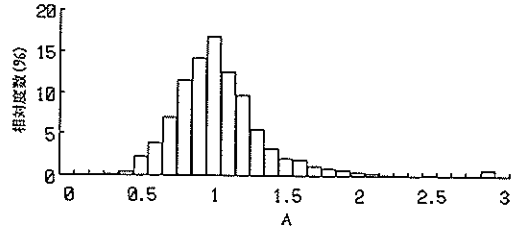


付図—75 塑性指数と粘土含有量の関係(瀬戸内海)

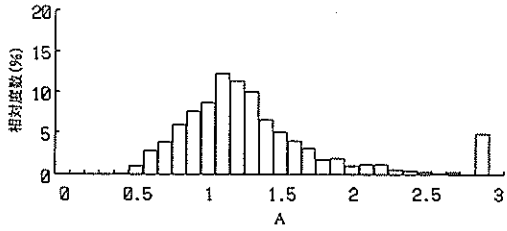
付録H 活性度の頻度分布図



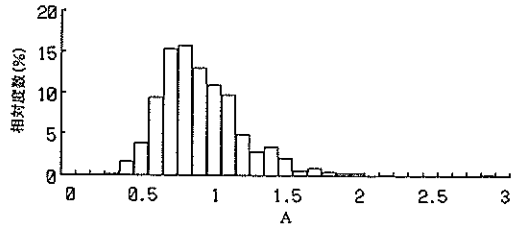
付図-78 活性度の頻度分布図 (東北日本海)



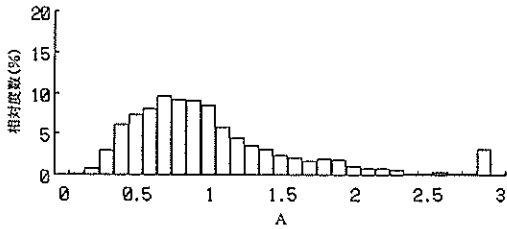
付図-83 活性度の頻度分布図 (東京湾)



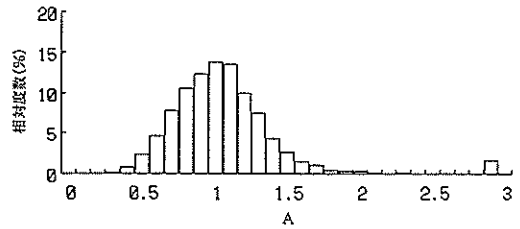
付図-79 活性度の頻度分布図 (東北太平洋)



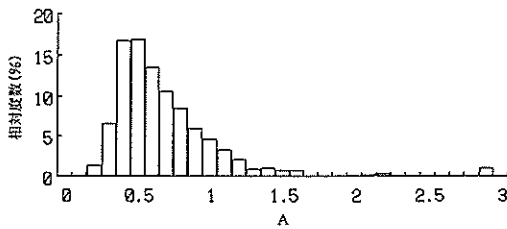
付図-84 活性度の頻度分布図 (伊勢湾)



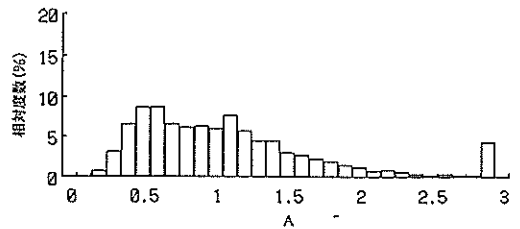
付図-80 活性度の頻度分布図 (西南日本海)



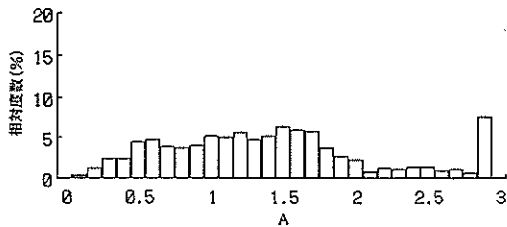
付図-85 活性度の頻度分布図 (大阪湾)



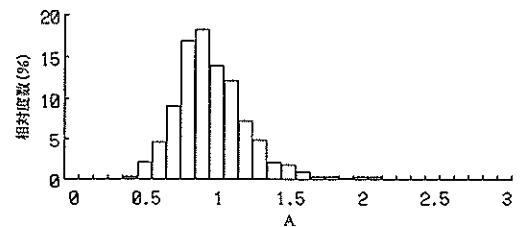
付図-81 活性度の頻度分布図 (西南太平洋)



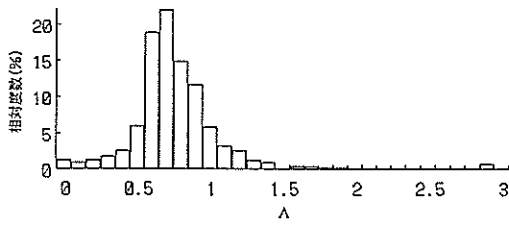
付図-86 活性度の頻度分布図 (瀬戸内海)



付図-82 活性度の頻度分布図 (陸奥湾)

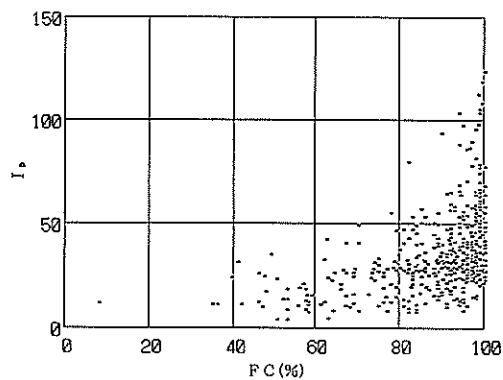


付図-87 活性度の頻度分布図 (有明海)

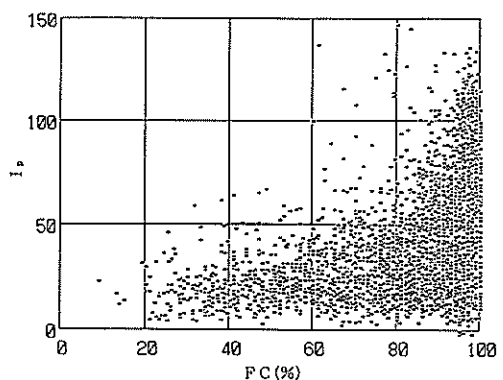


付図-88 活性度の頻度分布図 (沖縄)

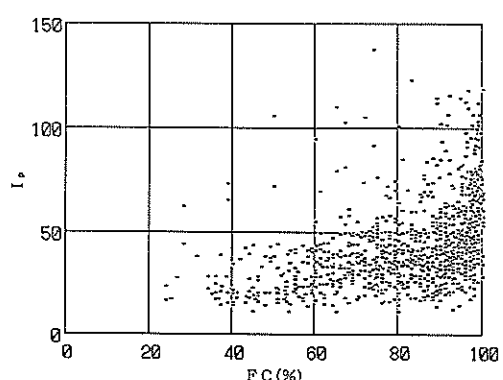
付録 I 塑性指数と 75  $\mu\text{m}$  以下の含有量の関係



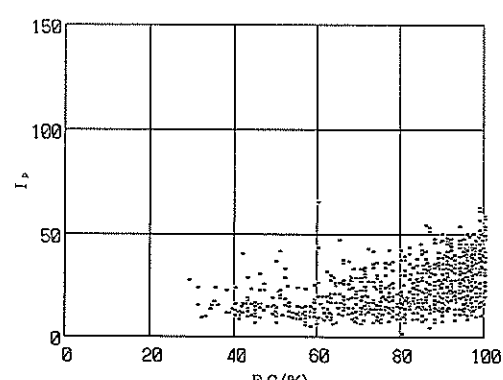
付図-89 塑性指数と 75  $\mu\text{m}$  以下の含有量の関係 (東北日本海)



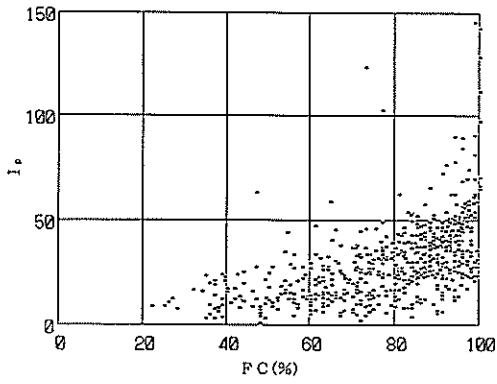
付図-91 塑性指数と 75  $\mu\text{m}$  以下の含有量の関係 (西南日本海)



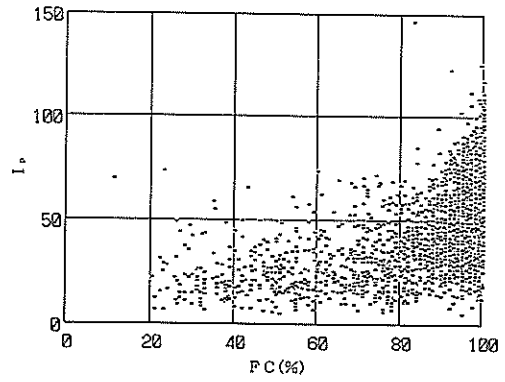
付図-90 塑性指数と 75  $\mu\text{m}$  以下の含有量の関係 (東北太平洋)



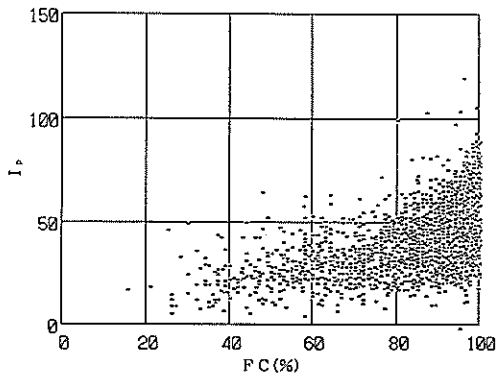
付図-92 塑性指数と 75  $\mu\text{m}$  以下の含有量の関係 (西南太平洋)



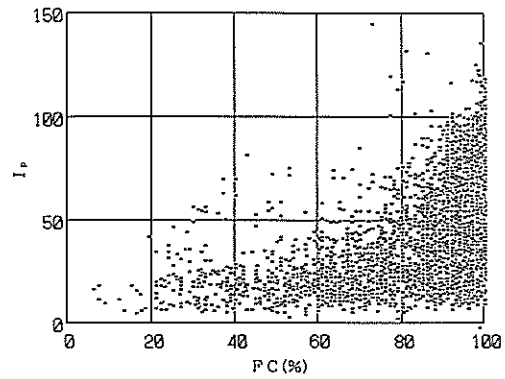
付図—93 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（陸奥湾）



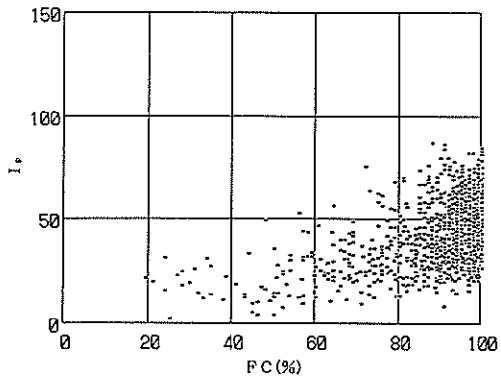
付図—96 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（大阪湾）



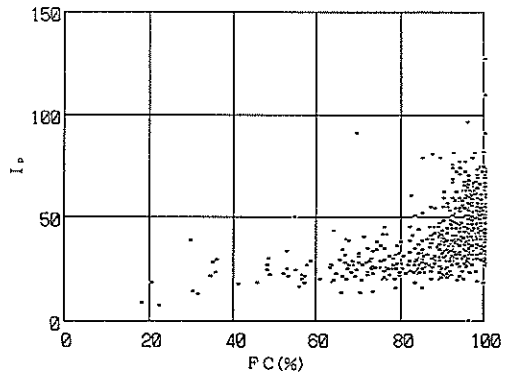
付図—94 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（東京湾）



付図—97 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（瀬戸内海）

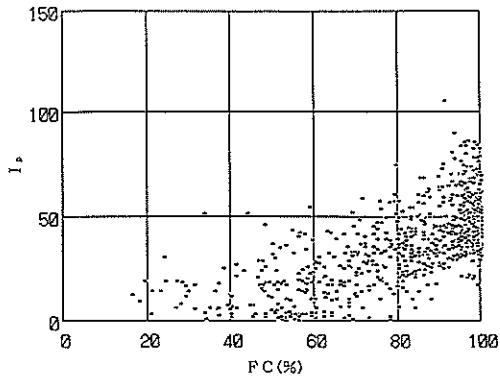


付図—95 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（伊勢湾）



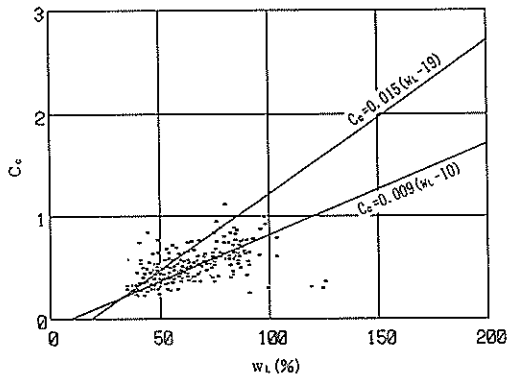
付図—98 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係（有明海）



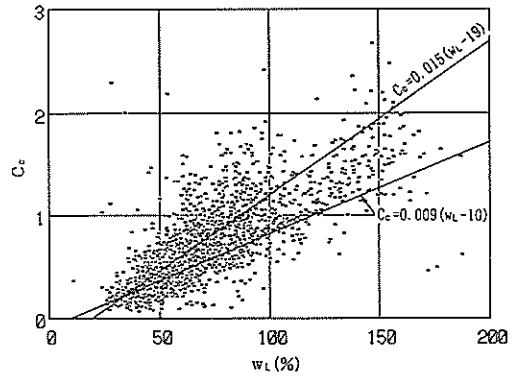


付図-99 塑性指数と75 $\mu$ m以下の含有量の関係(沖縄)

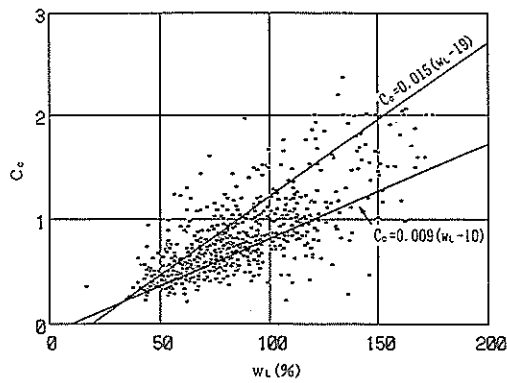
付録J 圧縮指数と液性限界の関係



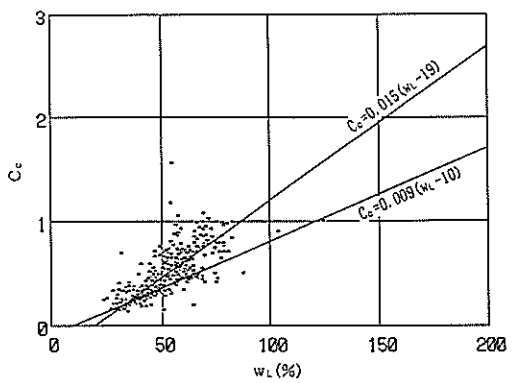
付図-100 圧縮指数と液性限界の関係(東北日本海)



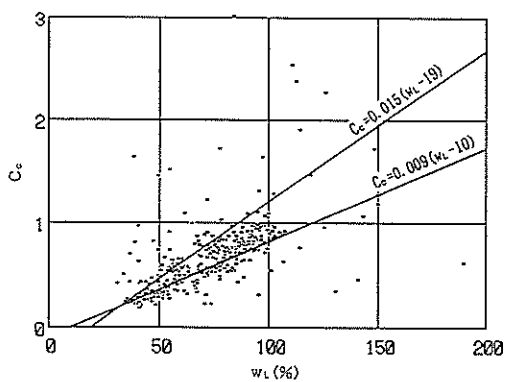
付図-101 圧縮指数と液性限界の関係(東北太平洋)



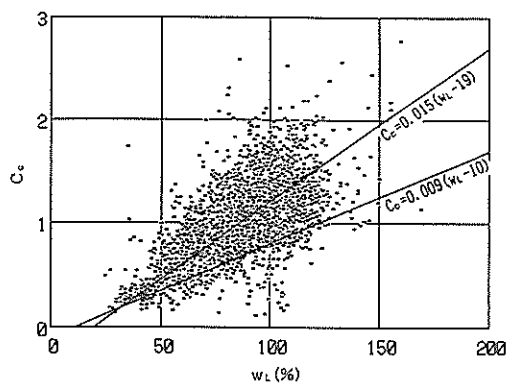
付図-102 圧縮指数と液性限界の関係(西南日本海)



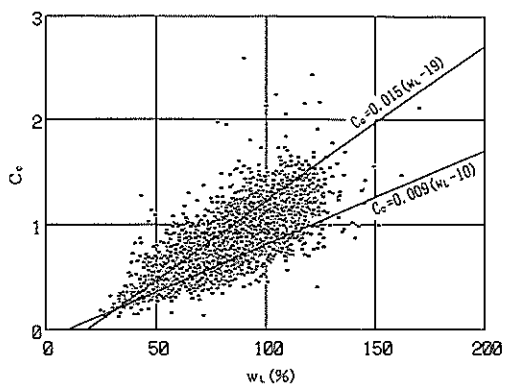
付図-103 圧縮指数と液性限界の関係(西南太平洋)



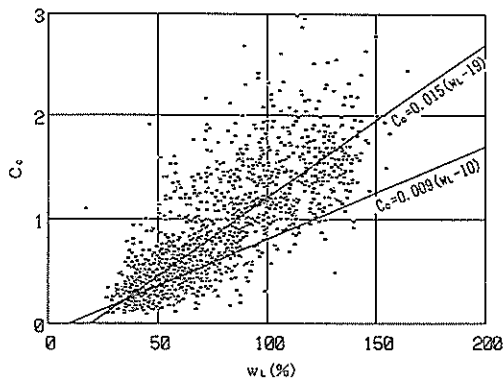
付図-104 圧縮指数と液性限界の関係 (陸奥湾)



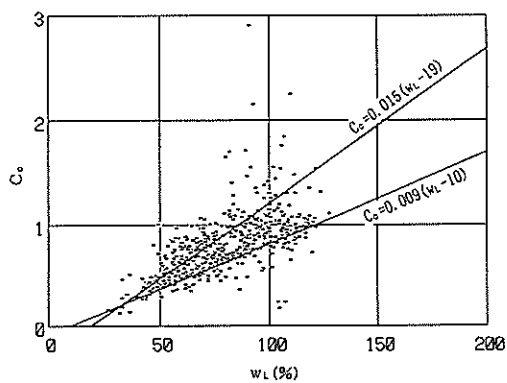
付図-107 圧縮指数と液性限界の関係 (大阪湾)



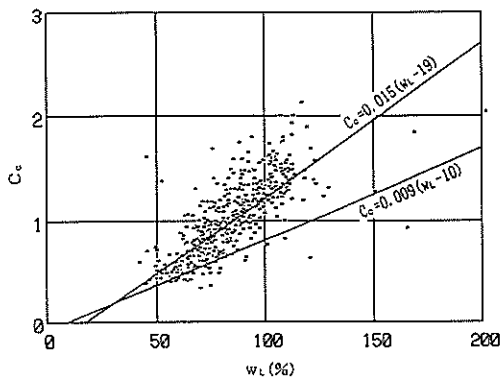
付図-105 圧縮指数と液性限界の関係 (東京湾)



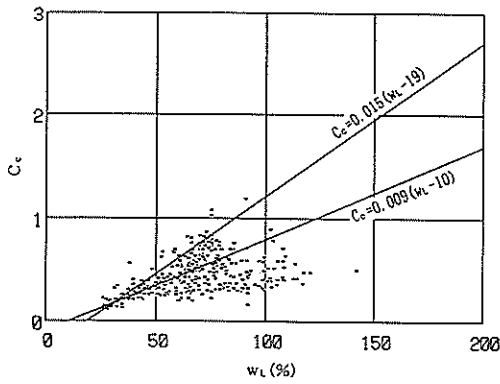
付図-108 圧縮指数と液性限界の関係 (瀬戸内海)



付図-106 圧縮指数と液性限界の関係 (伊勢湾)

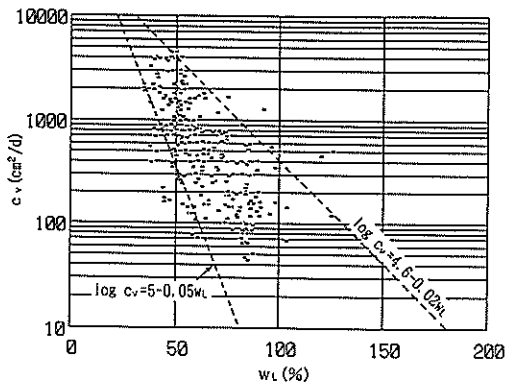


付図-109 圧縮指数と液性限界の関係 (有明海)

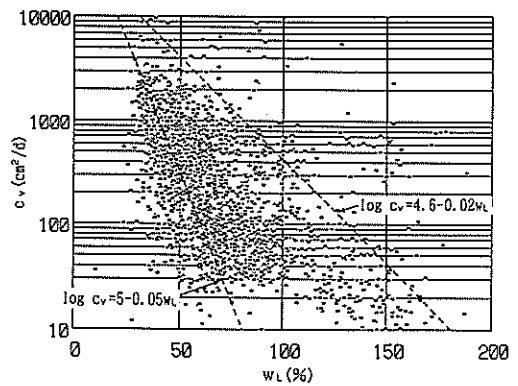


付図-110 圧縮指数と液性限界の関係 (沖縄)

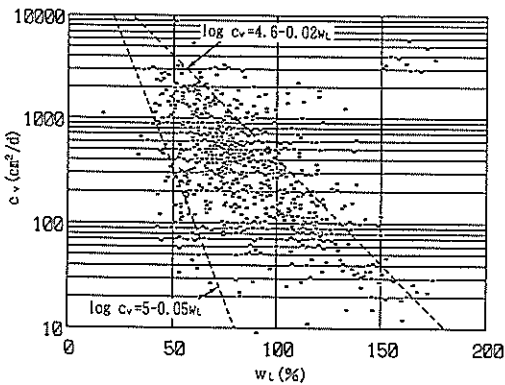
付録K 圧密係数と液性限界の関係



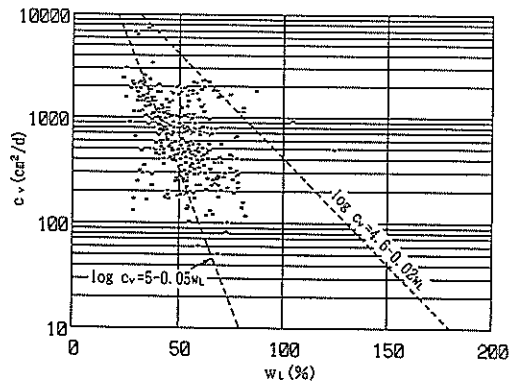
付図-111 圧密係数と液性限界の関係 (東北日本海)



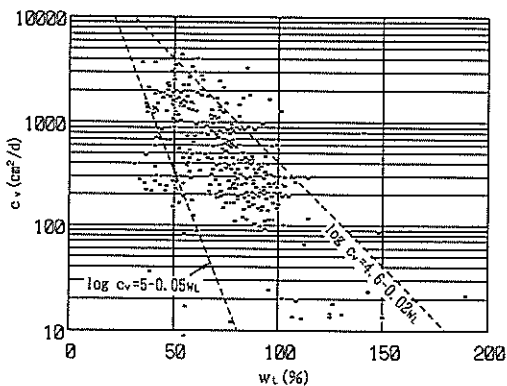
付図-113 圧密係数と液性限界の関係 (西南日本海)



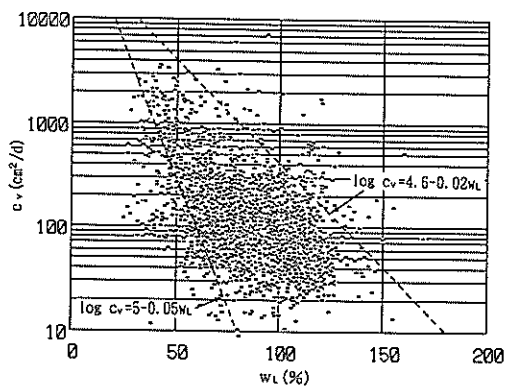
付図-112 圧密係数と液性限界の関係 (東北太平洋)



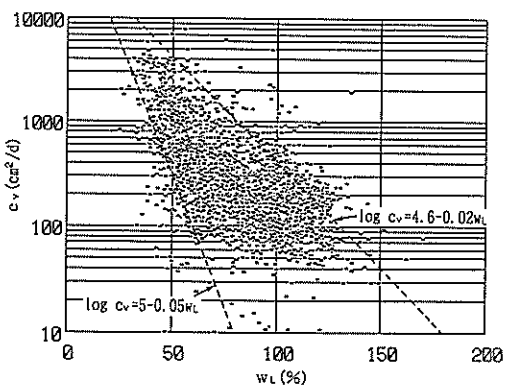
付図-114 圧密係数と液性限界の関係 (西南太平洋)



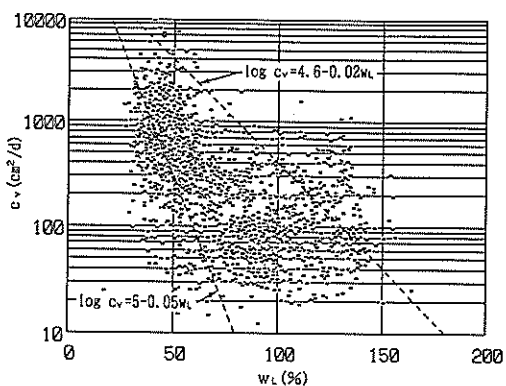
付図-115 圧密係数と液性限界の関係 (陸奥湾)



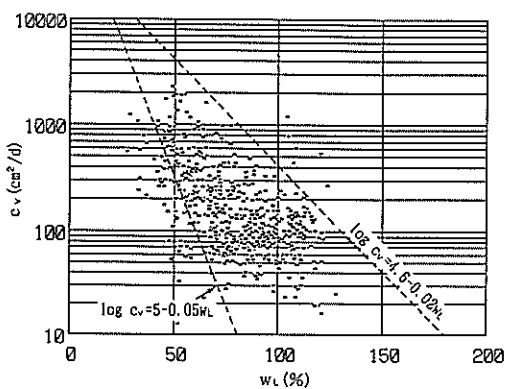
付図-118 圧密係数と液性限界の関係 (大阪湾)



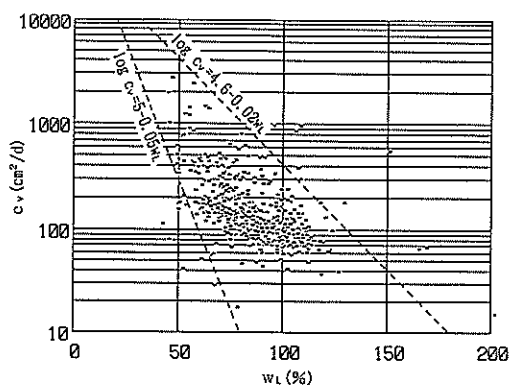
付図-116 圧密係数と液性限界の関係 (東京湾)



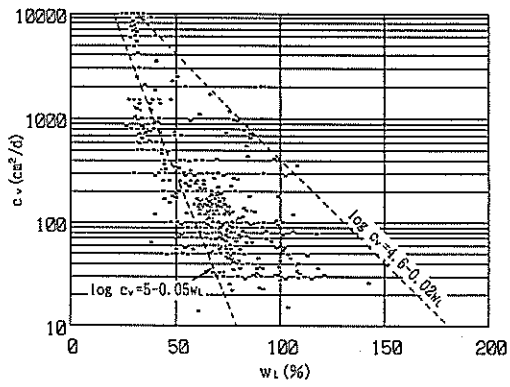
付図-119 圧密係数と液性限界の関係 (瀬戸内海)



付図-117 圧密係数と液性限界の関係 (伊勢湾)



付図-120 圧密係数と液性限界の関係 (有明海)



付図一121 圧密係数と液性限界の関係 (沖縄)

港湾技研資料 No.719

1992.3

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 ニッセイエプロ株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1992) by P.H.R.I.  
All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。