

地盤データベースを用いた海底地盤特性の評価

嘉門 雅史・森岡 清高

EVALUATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE SEA BED BY THE OSAKA BAY SEA BED DATABASE

By *Masashi KAMON* and *Kiyotaka MORIOKA*

Synopsis

Boring data and laboratory test results are essentially important to design every civil engineering structures. In particular, we should clarify the engineering properties of the sea bed in the case of the waterfront development. The Osaka Bay sea bed database (SBDB) has been established in order to handle the many geotechnical data conducted by many organizations relating to the Osaka Bay development.

In this paper, we try to evaluate geotechnical properties of the sea bed by SBDB. Firstly, we propose the evident of the equivalent soil layer divided by ten thin layers of each clay soil layer. Secondly, the settlement of an actual man-made island was calculated by use of SBDB, and finally, the measured settlement data were compared with the calculated values.

1. は じ め に

近年のコンピュータの急速な発達により現在さまざまな情報がデータベース化されつつある。土木の分野においても例外ではなく、最近では地盤工学の分野においても地質・地盤情報をデータベース化する動きが進んでいる。文献情報データベースなどのように、必要としている文献の所在や内容を知るために利用するデータベースとは異なり、地盤情報データベースはさまざまな利用方法がある。例を挙げると地盤特性の地域性の検討といった学術的な利用、沈下解析に用いるといった実務的な利用がある。このような過去のデータを活かした検討はデータベースが登場する以前からなされていたのであるが、かなりの時間と手間を要するものであった。しかしながら、データベースを用いればシステムの構築時やデータの入力時にそれなりの労力を要求されるものの、入力後は上記検討をきわめて迅速に実施するという大きな効果が期待される。

本研究は、大阪湾海底地盤情報データベースの高度利用手法の確立を図ることを主目的として、データベースを用いた大阪湾の海底地盤特性の評価と大規模埋立時における沈下予測への適用性の検討を行ったものである。

2. 大阪湾海底地盤情報データベースについて

大阪湾海底地盤情報データベースは(株)土質工学会関西支部の大阪湾海底の地盤研究委員会(赤井浩一

委員長)と、それを継承した大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会(松井 保委員長)の10年間にわたる活動によって作成された^{1,2)}ものであり、大阪湾海底地盤のボーリングデータ約3,350本が、Fig. 1に示すような地点について入力されている。このうち掘削深度が50 m以上のものは559本、100 m以上のものは109本となっている。大阪湾内には数多くの大規模開発プロジェクトが計画・実施されつつあるものの、現状では深度が大きくなるにつれて本数や実施地点が極めて限られてくることが理解される。本データベースシステムの特徴と保有機能をまとめると次のようになる。

(1) 特徴

- (a) 超軟弱な地盤から岩盤までの地盤調査情報の処理が可能
- (b) 試験結果の生データの処理が可能
- (c) 応用プログラムの開発が容易(操作言語はFORTRAN)
- (d) リレーショナルなデータ構造であるためデータ項目の追加更新が可能

(2) 保有機能

- (a) 入力管理・検索機能
- (b) データのリスト・ファイル出力機能



Fig. 1. Distribution of the boring points

- (c) 基本的な図化・統計解析出力機能
- (d) 応用プログラムによる出力機能

2.1 システムの構成

このデータベースはデータベースマネジメントシステムとしてシステム DIG を用いている。システム DIG とは Data-base system for Information of Ground の略称で、(財)大阪土質試験所で開発されたものである。このデータベースシステムは主としてデータベースの入力管理を行うローカルデータベースと、それらをまとめ集中管理するためのホストデータベースの2種類で構成されている。

ローカルデータベースは主にパソコンの使用を想定しており、対話式の入力を行っている。これにより入力記録を残したり、誤入力への対応をするなどの工夫がなされている。その他手軽に利用できる小規模なデータベースとしての機能も用意されている。

ホストデータベースはエンジニアリングワークステーション上で作動し、大量のデータ検索に重点がおかれており、ローカルデータベースを一括して集積するデータベースとして位置付けられる。記憶媒体としては、ハードディスクや光ディスクが用いられている。ホストデータベースへのデータ入力は、ローカルデータベースをオフラインで転送・編集する形式をとっている。

2.2 地盤調査情報のモデル化と入力データ

一般にボーリング調査情報は次のように大別される。

- (1) 調査に関する情報（ラベルデータ）
- (2) 柱状図（地層、N 値）、サンプリング、原位置試験、物理検層の各情報
- (3) 土質試験情報（物理試験、一軸試験、三軸試験、圧密試験など）

これらは地点ごとあるいは同一地点でも深度ごとに一つにまとめられる組の集まりであり、(1)→(2)→(3)の階層順に関係づけられる。例えば、地層情報は地層深度ごとに土質名、色調、混入物等が一組となり、土質試験情報はサンプリングごとに各試験データが一組となる。よって、地盤調査情報は複数の組に分割でき、その各々は表の形で表現できる。本データベースシステムではこのような考え方に従って、地盤調査情報をリレーショナルモデルを用いて整理している。各リレーショナルモデル間には従属関係が階層づけられ、0～3の4ランクが設定されている。階層2、3において新たな関係表が追加可能であり、非常にフレキシブルな構造となっている。

2.3 応用プログラムについて

各応用プログラムはメニュー画面から選択して起動する方式となっている。現在、データ選定・加工・出力・図化といった応用プログラムには以下のようなものがある。

- (1) 位置からの検索

地図上からのボーリングデータの検索を行う。その際、調査長、N 値などで条件を絞り込むことが可能となっている。

- (2) 試験結果一覧表の出力

土質試験結果を表形式で出力する。

- (3) テキストファイル出力

土質試験結果をテキストファイルへ出力する。

- (4) 土性図の図化

土質柱状図、N 値、コンシステンシー限界などを同一画面上で描く。

- (5) 土質断面図の図化

土層図と N 値、粒度組成を組み合わせて描く。

(6) 岩盤・検層断面図の図化

土層図と割れ目間隔, RQD 等を組み合わせて描く。

(7) 深度分布図の図化

粒度組成, コンシステンシー等の深度分布図を描く。

(8) 相関図の図化

塑性図, 三角座標分類, 粒径加積曲線等を描く。

(9) 圧密関係図の図化

$e-\log p$, $\log m_v-\log p$, $\log c_v-\log p$, $\log c_u-\log p$ を描く。

(10) モールの応力円図の図化

三軸試験結果から得られるモールの応力円を描く。

3. 地層の細分化

大阪湾海底地盤は第四紀時代の地殻変動・気候変動に基づいて粘土・砂の大深度に及ぶ互層を形成している。したがって地盤特性は一つの名称 (Ma 12, D₁₀ など) で呼ばれる各地層においても深度によって異なっている。すなわち, ボーリングの各地点の堆積条件によって同一地層の同一深度における地盤特性が異なることから, 層厚の異なる同一地層の物性を評価する際に正規化した深度分布を決定しようと好都合である。しかしながら, データ量の少なさ, 解析の煩雑さ等の原因から, 実務レベルにおいてこのような考え方を活かしたものは少ない。しかし, データベースを用いれば過去のデータも含めたさまざまな面からの検討を容易とする可能性を有することから, ここでは次に行う圧密沈下計算に先立って, 大阪湾泉州沖海底地盤において粘土層に着目し各地質年代の粘土層を正規化し, 粘土地盤の圧密特性を総合的に検討する。

3.1 検討対象ボーリング

Fig. 2 は今回検討に用いたボーリング地点 (図中の黒点) と沈下予測を行う大規模埋立の位置を示したものである。なお設定しているラインはほぼ海岸線と平行であり, AA line が陸側, EE line が沖側となっている。Fig. 3 は Fig. 2 の CC line を陸側から見た土層図である。図中には地層区分も描かれているがこれらはデータベースにおいて設定されている区分を用いている。

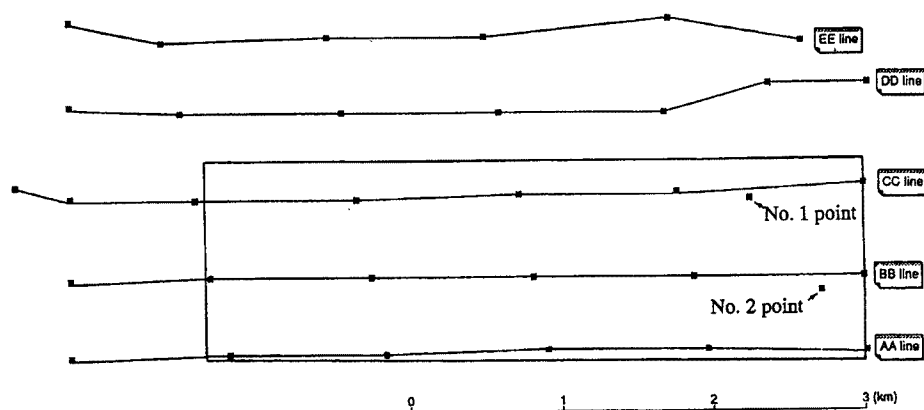


Fig. 2. Distribution of the boring points and the set of lines

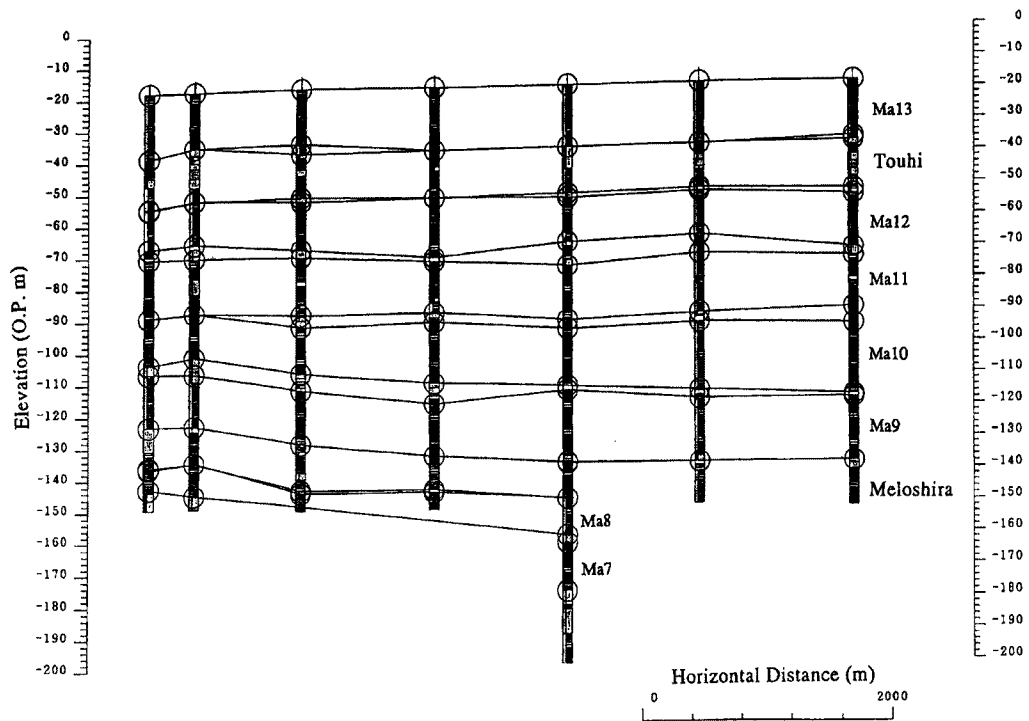


Fig. 3. The boring logs of CC line (O. P. 0 ~ - 200 m)

3.2 細分化による土質特性の検討

(1) 正規化の手法

各地質年代の粘土層の正規化に当たって用いた手法は以下の通りである。同一の地質年代の粘土層であっても、各ボーリング地点ごとに対象粘土層厚と出現深度が異なるものである。したがって、それぞれの粘土層の基本物性を比較する見地から、各層を十等分して、対象層厚で割った正規深度を設定し、この正規化した深度を用いて、それぞれの地層ごとに粘土の物性を検討した。

(2) 液性限界について

Fig. 4 は Ma 12 層の液性限界の正規化深度分布について図化したものである。縦軸は正規深度で、層の中央が 0.0、上端が 0.5、下端が -0.5 となるようにそれぞれのデータの分布位置を示している。**Fig. 2** に示した全てのボーリングデータにおける粘土層についての分布はほぼ層ごとにまとまり、深度とともにある一定の傾向を示している。例えば Ma 12 層では深度とともに値が減少する傾向が見られる。

(3) 圧密関係図について

Fig. 5 は (2) と同様に Ma 10 層について、各

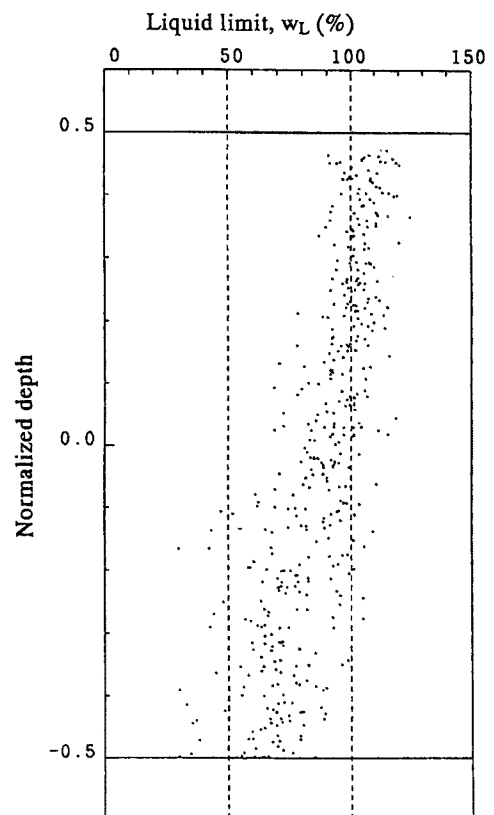


Fig. 4. Distribution of the liquid limit (Ma 12)

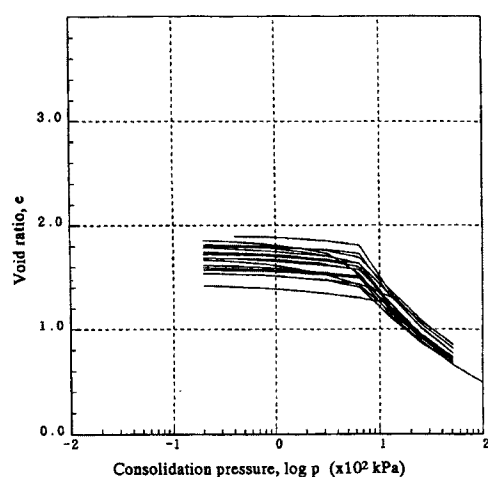


Fig. 5. One-dimensional compression curves for middle of the layer (Ma 10)

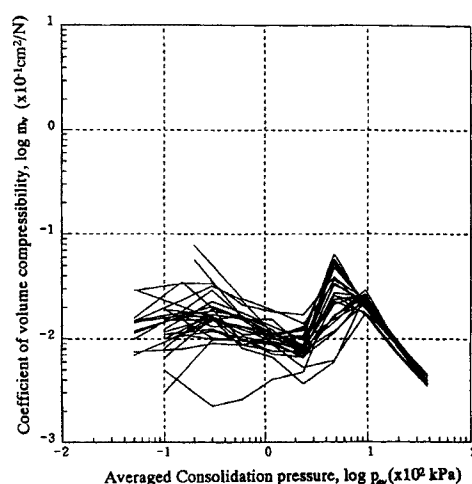


Fig. 6. $\log m_v$ - $\log p$ curves for the middle of Ma 12

層の中央付近（一つの層を十等分した区分のうちの上部から5番目のもの）における e - $\log p$ 曲線を描いたものである。土被り圧が異なるため過圧密領域でかなりばらつく、あるいは圧密降伏応力が異なるといった点があるものの、Ma 13, Ma 12, Ma 10 層での正規圧密領域では e - $\log p$ 曲線是一个のラインに収束することがわかる。トウヒ層, Ma 11 層, メロシラ層では他の層と異なり、砂分等がさまざまな割合で試料中に混じるため、かなりばらついたり曲線がほぼ直線状になり、明確な降伏点を判別することができない傾向が見られる。ただしこれらの層でも粘土分が多い部位においては比較的収束することが判明している。Ma 8 層も少しばらついているが、データ数が少ないため Ma 8 層の圧密曲線自体がばらつくのか、それとも今回検討したデータのみがばらつきかは判断できない。しかし、Ma 8 層を十等分したうちの他の区分の中には収束するものもあり、また砂分含有量を調べたところ少し砂分の含有量が多い部位があるようなのでその影響があるかもしれない。

Fig. 6, Fig. 7 はそれぞれ Ma 12 層の $\log m_v$ - $\log p$ 曲線, $\log c_v$ - $\log p$ 曲線を表したものである。これらの曲線は圧密試験結果から得られる二次的なものであるためどうしてもばらつくが、それでも粘土を主体とした層においては一定の傾向が見られており、特に圧密降伏後は少し収束する様子が見える。これは他の層についても同様である。

以上のように、物理的特性は一つの層においても深度によって変化する傾向が見られるが、十等分してそれぞれの区分内で見ただけではほぼ同一とみなせることがわかる。また層の中央付近で見た圧密関係図、特に e - $\log p$ 曲線是一个のラインに収束する傾向にあり、これは他の部位についても同様である。ただし各層の上端や下端は砂分の含有量が多くなりがちなので少しばらつく。これらのデータを Fig. 2 で定めたラインごとに整理すると、有効土被り圧などの条件がほぼ一致するためさらに良い収束状況を示すものである。

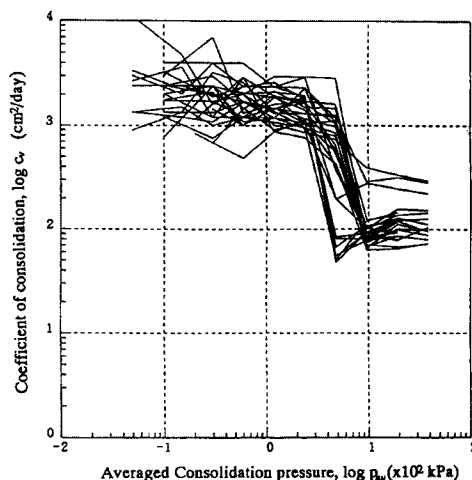


Fig. 7. $\log c_v$ - $\log p$ curves for the middle of Ma 12

4. 埋立地盤の沈下予測

3. の検討の結果、地層を細分化することによりさまざまな土質特性がある程度うまく整理できることが判明した。このような結果をふまえて地層を細分化し、それぞれの要素ごとにデータベースより求められた設定値を与えて沈下予測計算を行い、沈下予測の精度、問題点等を考察することにする。なお検討対象とする大規模埋立地盤は、縦 1,300 m、横 4,400 m の長方形形状とする (Fig. 2 参照)。

本研究では埋立前に沈下予測を行うという前提のもとで、あくまでデータベースから得られる値を用いて計算し、沈下予測と実際の沈下傾向が異なっている場合にも、 e - $\log p$ 曲線や c_v 値といった入力データを調整するということはない。

4.1 沈下予測の流れ

沈下予測の流れをフローチャートにしたものが Fig. 8 である。検討の手順は以下の通りである。

(1) ボーリングの選定

海岸線に平行なラインにおいては地層も比較的平行と考えられるため、Fig. 2 のように海岸線に平行となるようにボーリング地点を選択している。その際あまり深くまで掘削されていないボーリングについては除外している。

(2) 地盤状況の把握

一つのラインごとに土層図を描き、地層区分を行うことにより地盤状況を把握する。

(3) 圧密沈下特性の整理

地層を細分化して地域全体あるいはラインごとの各種土質工学的特性を整理し、検討する。

(4) 地層モデルの設定

地層モデルの設定に当たっては沈下計算を行う地点 (本研究においては沈下実測データ等が計測されている地点) に近い海岸線に平行なライン (AA line, BB line など)、特にもっとも近傍にあるボーリング地点の柱状図をもとに平均的な地層モデルを設定する。

(5) 排水層の設定

(6) 圧密関係各種入力データの設定

(7) 一次元差分法による圧密計算

なお、(5) から (7) については、次節以降に詳しく述べている。

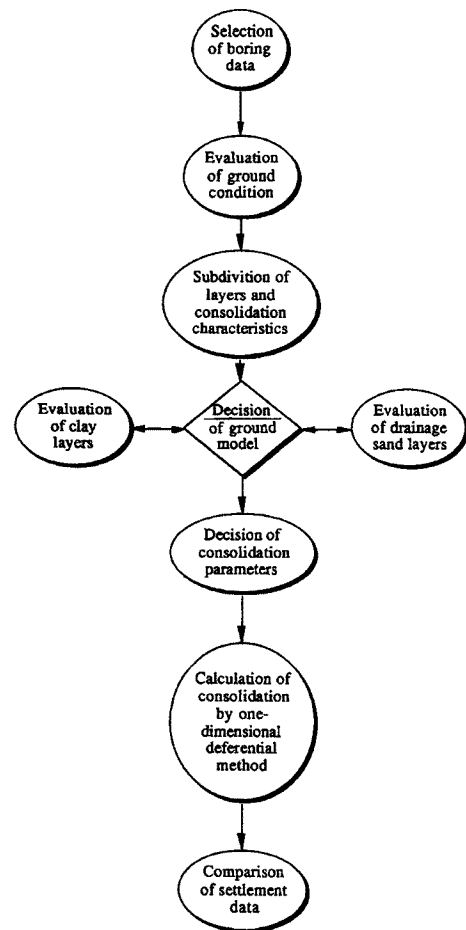


Fig. 8. Process of the preliminary surveying of the settlement

4.2 排水層に関する設定^{3,4)}

沈下計算を行う際には原位置の地盤条件に、なんらかの仮定の設定が必要となる。そこで今回の計算において用いた排水層、圧密曲線などの設定について以下に示す。

(1) 排水層の検討

排水層の検討は設定したラインごとに土層図を描き、排水可能と考える砂層の厚さの分布を調べるこ

とにより行った。本研究では一部の例外はあるものの礫、砂、シルト混じり砂を排水可能層としており、上位から Ds_1 , ..., Ds_{10} と称している。

Fig. 9 はこれらの排水可能層のうち $Ds_1 \sim Ds_4$ の層厚分布を示したもので、凡例にある通り円の半径が大きいほど排水可能層の厚さが大きくなっている。これらの図によれば、 Ds_2 は埋立直下では全く存在しないかあるいは層厚が小さくなっており、埋立場所以外では比較的層厚の大きい所もある。 Ds_4 は埋立直下において層厚の大きい場所もあるが半数近くのボーリング地点において全く存在しない。また Ds_1 , Ds_3 は比較的層厚の大きいことが理解され、 Ds_5 以深の層についても同様の検討を行った結果、今回の沈下計算においては Ds_2 , Ds_4 以外の層を排水層とした。

(2) 排水層の過剰間隙水圧

今回検討対象となる埋立地盤は埋立が比較的急速かつ大規模である。このため一部の排水層において過剰間隙水圧が発生し、その発生も埋立による荷重増加に対して遅れると仮定した。これは圧密によって粘土地盤より排出された水が、排水層を通じて埋立地盤の外へ抜け出る際の抵抗に基づくものであるが、これをデータベースを用いて正確に予測することは現状では困難である。したがって、埋立期間中の過剰間隙水圧は時間遅れに伴って増加し、埋立が終了するとほぼ一定値に落ちつくものとして排水層における過剰間隙水圧 u を設定した。すなわ

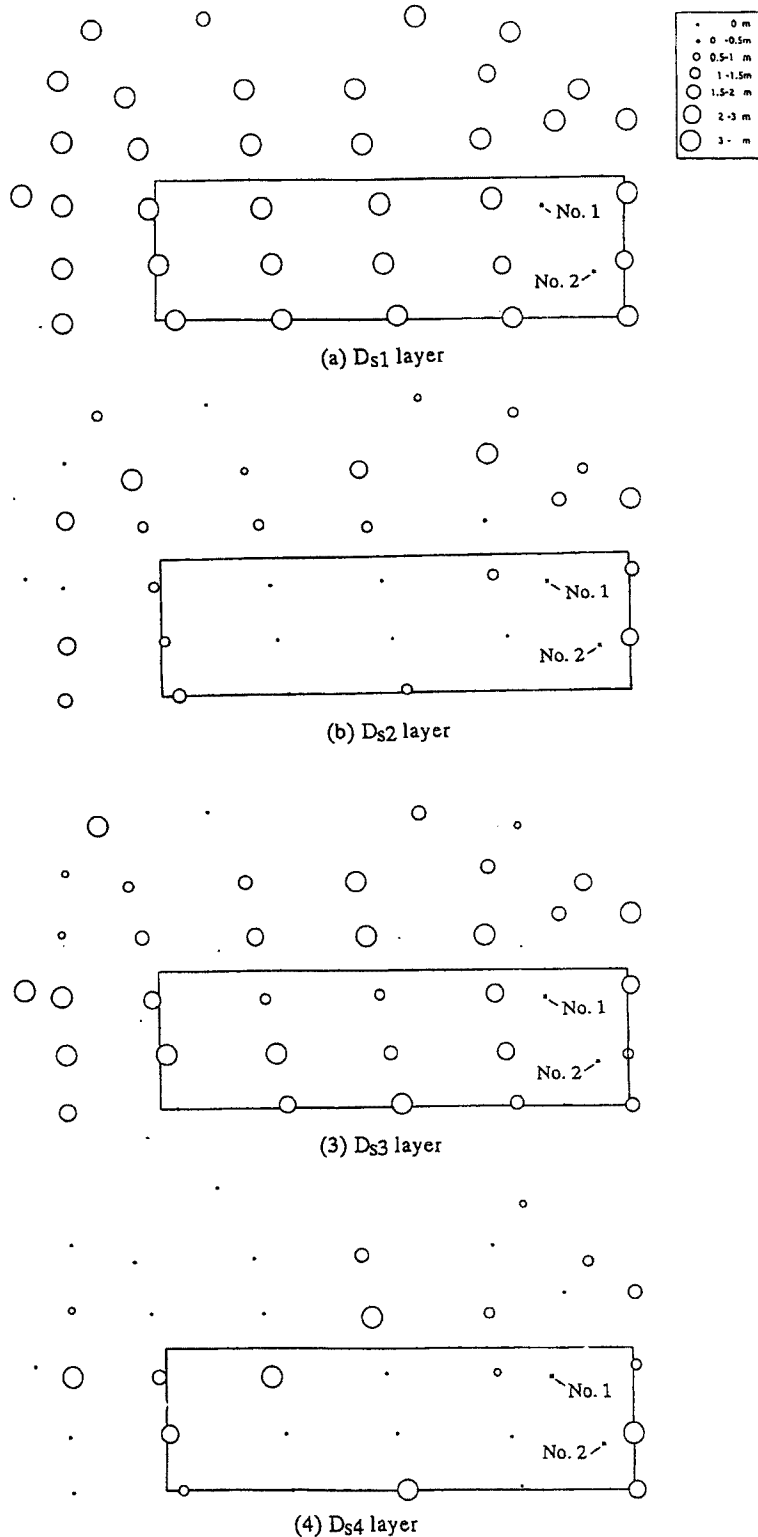


Fig. 9. Thickness of the drainage layer

ち埋立期間中の全応力の増分は $u = 0.5 \cdot \sigma(t)$ と設定し⁵⁾、排水層中の過剰間隙水圧はそれ以上上昇しないものとして処理している。

4.3 圧密関係データに関する設定

埋立地の沈下計算においては、 e - $\log p$ 関係、 c_v 値、 m_v 値が必要である。これらのデータは圧密沈下解析の対象となる地点にもっとも近いラインのデータを用いており、細分化された要素それぞれに対して設定を行った。ここで、圧密沈下解析の対象となる点は Fig. 2 の No. 1, No. 2 であり、No. 1 は CC line, No. 2 は BB line を基本としてデータを設定している。ただしどちらも Ma 7 層まで到達しているボーリングはほとんどないため、この層の設定については AA line のデータをもとに与えている。

以下に e - $\log p$ 関係、 c_v 値、 m_v 値の計算上の取り扱い方と BB line の Ma 10 層を例とした設定方法について述べる。なお十等分した要素を上から第 1 要素、……、第 10 要素と呼ぶことにする。

(1) e - $\log p$ 関係

今回の計算は埋立実施前に沈下予測を行うという前提のもとで計算を行っている。したがって、セメンテーション効果等による圧密曲線の飛び出しを考慮した e - $\log p$ 曲線の補正は実施しておらず、あくまでもデータベースより得られた曲線に基づいて入力データを設定している。具体的には e - $\log p$ 関係を過圧密領域と正規圧密領域に分け、それぞれについて平均的な箇所に直線を引き、その交点を圧密降伏応力として扱っている。ただしその際には埋立前後の有効土被り圧を計算して、その範囲内で直線近似が一致するように考慮した。

BB line の Ma 10 層の第 5 要素の場合、Fig. 10 のように e - $\log p$ 曲線を直線で表している。

(2) c_v 値

c_v 値は荷重ステップごとの平均圧密圧力に対して求められるので、計算プログラムにおいてはその平均圧密圧力に対応する圧力の範囲に対して定めている。すなわち一つの要素において平均圧密圧力 p_{av} に対してある c_v 値が求められているとき $p_{av} = \sqrt{p_{n-1} \cdot p_n}$ であるので、この要素における有効応力が $p_{n-1} \sim p_n$ の範囲にある場合にはこの c_v 値を用いて計算を行った。よって c_v 値はデータベースにより $\log c_v$ - $\log p_{av}$ 関係図を描き平均圧密圧力ごとに求めている。なお今回検討した沈下対象地盤は洪積粘土層が主体であるので、 c_v 値は 40 ~ 80, 80 ~ 160, 160 ~ 320, 320 ~ 640, 640 ~ 1,280, 1,280 ~ 2,560 kPa に対して求めている。

BB line の Ma 10 層の場合、第 1 ~ 3 要素の $\log c_v$ - $\log p_{av}$ 関係はほぼ同じであるため同一図上で関係を描き設定を行った (Fig. 11 参照)。

(3) m_v 値

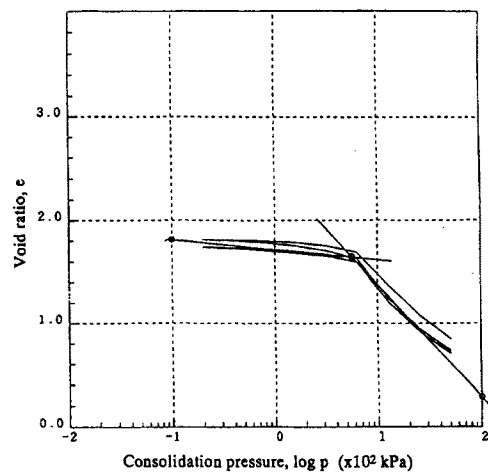


Fig. 10. A model of the establishment about one-dimensional compression curves

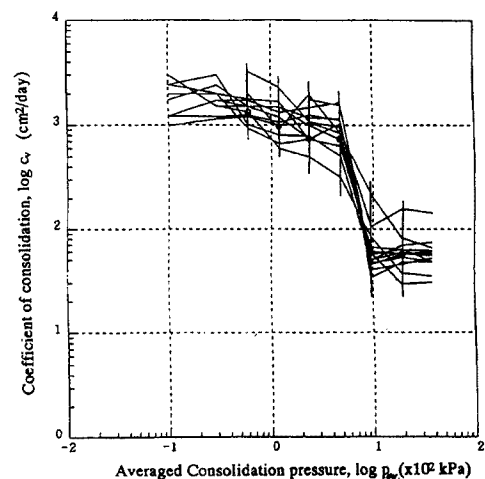


Fig. 11. A model of the establishment about c_v value

m_v 値の設定は c_v 値の設定方法に準じている。

4.4 沈下計算上の設定

(1) 初期有効土被り圧, 初期間隙比

初期有効土被り圧 p_0 は各層の水中単位体積重量 γ' から求められるが, γ' を Table 1 のように設定した。なお表中に記載されている p_0 は, 沈下計算を行う No. 1 の土層図より求めたものである。また初期間隙比は e -log p 関係から p_0 に相当する空隙比に設定し, 初期状態において過剰間隙水圧は 0 としている。

(2) 埋立による地盤内応力の増分

本解析においては約 160 m という大深度の地層の沈下までを計算しており, 埋立による応力の増加が地盤内でかなり分散することが予想される。そこで目的地点直上やその周囲での埋立による応力の増加を長方形分布荷重の隅角下における鉛直応力の計算式により求めた。

(3) 差分法による過剰間隙水圧の計算

計算で用いた一次元圧密方程式は次の Terzaghi の式を用いている。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \dots\dots\dots (1)$$

これを差分法 (陰解法) により解くことでステップごとの過剰間隙水圧を要素ごとに求めている。

上下の要素で c_v 値が異なる場合にはこの式を用いることができないため, 要素間で出入りする間隙水の量が等しく, かつ要素間の過剰間隙水圧が等しいという条件を設定している。これを具体的な式にすると, 要素 1 と要素 2 の透水係数が k_1, k_2 , 過剰間隙水圧が u_1, u_2 , 要素の中央部から境までの距離が h_1, h_2 , 要素間の境の過剰間隙水圧が u_m として次のようになる。

$$k_1 \frac{u_1 - u_m}{h_1} = k_2 \frac{u_m - u_2}{h_2} \dots\dots\dots (2)$$

なお透水係数は c_v 値と m_v 値より求めている。

(4) e -log p 関係による沈下量の計算

沈下量は, 要素で発生している有効応力と e -log p 関係から空隙比を求めることにより計算している。

(5) 沈下による有効応力の減少の計算

埋立土の湿潤単位体積重量, 水中単位体積重量をそれぞれ 20 kN/m³, 12 kN/m³ としているため埋立の上端が水面よりも上にある時には, 沈下により地盤内応力が減少する。この場合は, 検討地点及びその周辺の埋立の応力が軽減したものと地盤内応力の減少量を計算し, 膨潤指数 $\kappa = C_c / 10$ として処理する。

(6) 砂層の取り扱い

砂層の沈下挙動をデータベースから得られるデータより設定することは困難であり, N 値から判断してもよく締まっていると考えられるため砂層は圧縮しないものとし水中単位体積重量を 10 kN/m³ に設定している。また圧密計算対象層中に砂層がある場合には, c_v 値を 1,000 cm²/day, m_v 値を 0.001 cm²/N と

Table 1. Submerged unit weight and initial effective overburden pressure

Layer	γ' (kN/m ³)	p_0 (kPa)	Layer	γ' (kN/m ³)	p_0 (kPa)
Ma 13 upper	4.5	45	Ma 10	6.5	582
Ma 13 lower	5.5	100	Ma 9	6.5	747
Touhi layer	8.0	228	Meloshira	7.0	863
Ma 12	6.0	378	Ma 8	6.0	945
Ma 11 upper	6.0	395	Ma 7	7.5	1010
Ma 11 lower	5.2	428			

Note: p_0 is the initial effective overburden pressure at No. 1 point

している。

(7) 沈下計算対象となる洪積層

計算対象とする層は Ma 7 層までとしている。

5. 計算結果

5.1 No. 1 地点

No. 1 地点は CC line 近くに位置するため、 e -log p 関係、 c_v 値等は CC line のデータを平均化して決定しているが、データの少ない層については他のラインのものを参考にしている。土層図の決定には CC line 特に近傍にある 2 地点のボーリングをもとにして行っているが、Ma 7 層、Ma 8 層に到達しているボーリングが 1 本であるためそれらの層厚は推定値になっている。

Fig. 12 は沖積層の沈下の実測値と計算値を示したものである。なお実測値は最新の实測値 (2,472 日のデータ) と計算値が等しくなるように補正している。図から理解されるように沖積層についてはほぼ実際の沈下傾向を表しているものと考えられる。

洪積層について計算結果を示すと Fig. 13 のようになっている。実測値の補正は沈下計測がなされた初日 (484 日) のデータと計算値が等しくなるように行っている。実測値と計算値を比較すると計算値の方が沈下が先行して発生しており、どちらも平行に推移している様子が見られる。ただし 2,000 日付近から実測値が計算値に近づく傾向が見られるが、これは排水砂層に発生していた過剰間隙水圧が少し減少し始めているのが原因ではないかと考えられる。このようなことから今後は実測値が計算値に追いつくことも予想される。

5.2 No. 2 地点

No. 2 地点はほぼ BB line 上に位置するため No. 1 地点と同様に e -log p 関係、 c_v 値等は BB line のデータを平均化して求めている。土層図の決定も No. 1 地点と同様である。ただし Ma 7 層まで掘削されているボーリングは BB line にはないため、 e -log p 関係、土層図等は AA line のデータをもとにして決定している。

洪積層全体としての沈下傾向を Fig. 14 に示しているが、初期の沈下傾向が実測値と異なっている。

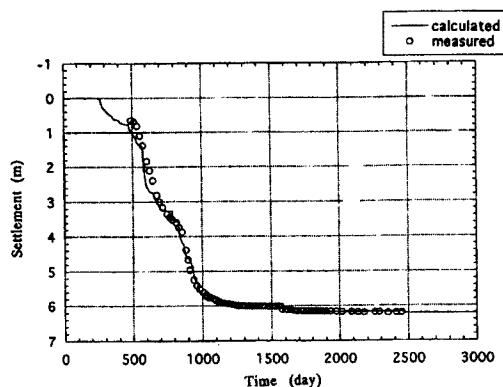


Fig. 12. Measured and calculated settlements of the alluvium at No. 1 point

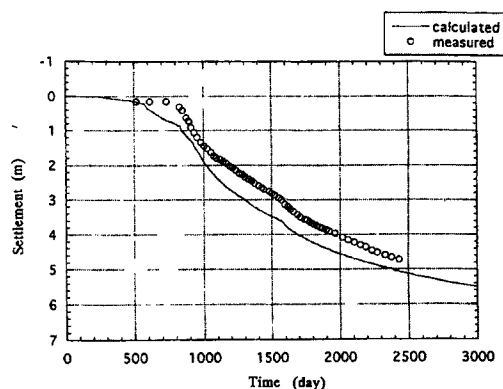


Fig. 13. Measured and calculated settlements of the diluvial deposit at No. 1 point

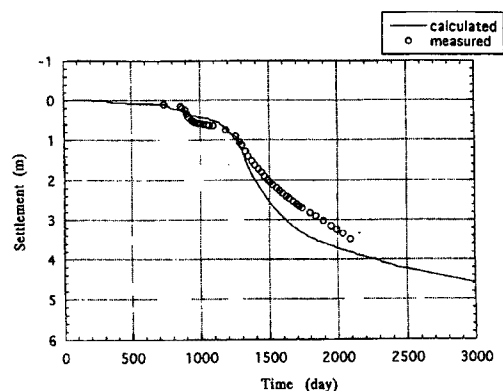


Fig. 14. Measured and calculated settlements of the diluvial deposit at No. 2 point

これは土層断面の設定において、データベースによって決めた砂層の透水性が、実際のボーリングによって決まる当該地点の土層断面と著しく異なっているためであり、かつ Ma 12 層から Ma 7 層までの 6 層の洪積粘土層の圧密特性を、残念ながら全ては巧く表現し得ていないことにも起因している。

5.3 データベースを用いた沈下計算に関する考察

計算を行うにあたっての問題をまとめると次のようになる。

(1) 土層図の設定に関する問題

データベースによる土層図と実地盤による土層図は No. 1 地点では細かい部分において異なっているものの全体としてはほぼ合っているが、No. 2 地点でのそれは大きく異なっている。海底地盤においても地層は必ずしも水平な状態ではなく、海岸線にほぼ平行であるラインにおいても隣り合うボーリング地点では土層図が異なっている。このような問題に対してはボーリング間の地層をスプライン関数などによって補間することで対処するといった方法が考えられる。

しかし沈下予測を行う場合には平均的な土層図を設定する必要があるため、実際の地盤と状態が異なっているのはある程度やむを得ないので、このような大規模な埋立において沈下予測を埋立前に行う場合には、洪積層全体としての予測を第一に行う必要がある。そして層別沈下については沈下実績に基づき適宜修正を加えて検討を行う必要があるものと考えられる。

(2) 排水層の設定に関する問題

今回はデータベースから排水可能な層の分布図を調べ、排水層を設定した。その結果 No. 1 については予測沈下速度がほぼあっていたが、No. 2 についてはかなり異なっていた。Fig. 10 の Ds_2 の砂層厚の分布を見ると、No. 1 付近のそれはほとんどが 0 m であるが、No. 2 の場合一部のボーリング地点において 2 ~ 3 m の厚さがあり、さらにその外側にも比較的厚い層が広がっていて排水層として機能しうると考えられる。つまりこのような大規模な埋立においては、場所によって排水層として機能する層もあればそうでない層があり、どの地点においても排水層が同じであると決めるべきではないことが理解される。

(3) 沈下量の計算に関する問題

洪積層の沈下予測の際特に問題になるのは、構造の発達により圧密曲線において飛び出しが発生することである。今回の計算では層別沈下量において計算値が実測値に先行する傾向が見られたが、これはこの飛び出しを考慮した e -log p 関係を設定していないことも原因の一つであると考えられる。しかし埋立実施前の予測においてこのような設定をうまく行うことは困難である。そこで定ひずみ速度圧密試験のような e -log p 関係が連続して得られる圧密試験を実施し、データベースにデータを蓄積していくことが望まれる。また圧密試験は一度応力解放による膨潤を受けている試料に対して実施されるため、実際の沈下挙動がこのような試験による e -log p 関係通りに推移するかどうかは議論の余地がある。特に今回の計算では初期間隙比を有効土被り圧に対する圧密曲線上の間隙比として求めていることから、応力解放の影響を補正するために、繰り返し圧密試験の実施が求められる。

6. お わ り に

本研究ではデータベースを用いて大阪湾の海底地盤特性の検討を行い、地層を細分化して深度方向に正規化することによって、地盤の物理特性が収束することが判明し、その成果を沈下計算に応用した。

沈下計算の際には排水層・非排水層をどのように設定するかが問題となるが、排水可能層の厚さを検討することによりある程度予測可能である。現状では深度が大きくなるとデータ数が少なくなり、砂層の排水性の評価判断はなかなか難しい。ボーリングの本数を増やすことによりある程度予測が可能になることも期待される。また、その際どの地点にボーリングを行うべきかの決定のために、ここで用いたデータ

ベースの利用が有効である。地盤内の過剰間隙水圧分布については、排水層の過剰間隙水圧の発生傾向を設定することにより予測可能であることが判明したが、今後は層別沈下量について e - $\log p$ 曲線の設定、データベースによる土層図と実際の土層図のすり合わせ、個々の粘土層の圧密特性の詳細な検討などによって、正確な予測が可能となると考えられる。

ここで実施した検討を従来のような方法で行うには、かなりの時間と手間を要することは明白であり、データベースの効用はきわめて大きいものである。さらに、今回行ったような地層の細分化による沈下予測に、データベースは大きな効果を発揮するものと考えられる。

最後にあたり、本研究を行うに際してデータベースの利用に便宜を図っていただいた関西国際空港(株)、(財)大阪土質試験所ならびに(株)土質工学会関西支部大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会の各位に深謝する次第である。なお、本研究には文部省科学研究費試験研究(B)(研究代表者：嘉門雅史)の援助を得た。あわせて謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 山本浩司・諏訪靖二・松山紀香：関西地盤調査情報データベース，関西地盤，土質工学会関西支部，1992.
- 2) 大阪湾海底地盤情報の活用に関する研究委員会編：海底地盤—大阪湾を例として—，土質工学会関西支部，1995，p. 406.
- 3) 及川 研・小松 明・鈴木慎也・山懸延文：関西国際空港の埋立に伴う洪積層の沈下，第26回土質工学研究発表会概要集，1991，pp. 1201-1204.
- 4) 及川 研・新井洋一・鈴木慎也・元野一生：沖合人工島の護岸近接区域における沈下と変形，第27回土質工学研究発表会概要集，1991，pp. 1327-1330.
- 5) Akai, K.: Geotechnical Aspects Related to KIA Project, Proc. of the KGS Spring '94 Nat. Conf., Vol. 1, Seoul, 1994, pp. 1-18.