

港湾における土質データベースの開発と その活用について

田中政典¹⁾

1. はじめに

港湾における土質データベース(以下、土質DBと呼ぶ)は、設計者が円弧すべり計算や圧密計算などを行う際、土質パラメータの設定を簡便に行えるよう技術支援を行い、設計者の業務量を軽減する目的で構築された。その後、この土質DBを利用して地盤の液状化判定や地震応答解析などが行えるよう、利用プログラムが整備された。また、最近では性能設計に基づく地盤パラメータを土質DBを利用して行うことができるようプログラムの開発を行っている。本報告は、港湾における土質データベースの開発経緯とその利活用方法を紹介するものである。

2. 港湾土質データベース

1980年代半ばにおいて、土質パラメータの決定作

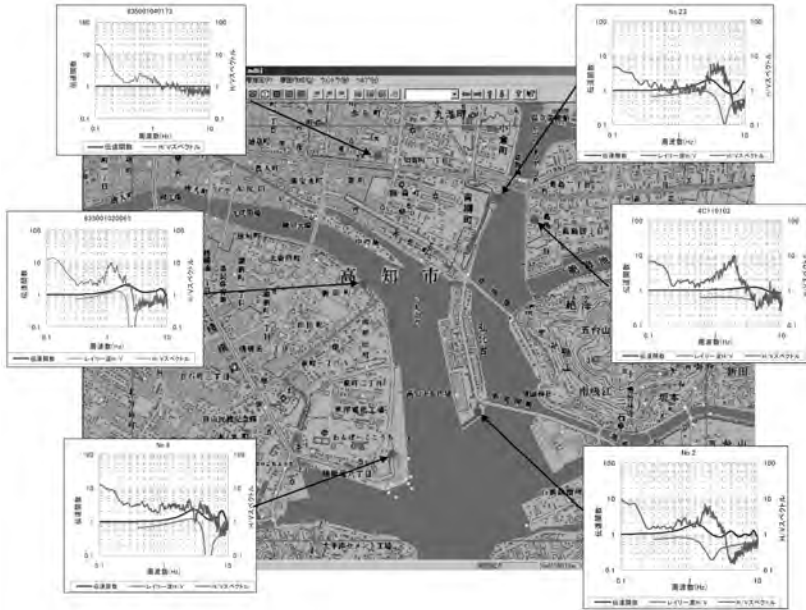
業は既往のボーリングデータの収集整理に始まり、事前調査によって得られた土質ボーリングデータを考慮して経験的に行われていた。また、膨大なデータを人力で扱っていたため、土質パラメータの決定において、設計者は大変な労力を費やさざるを得なかった。運輸省港湾技術研究所は、この当時、コンピュータ処理能力が飛躍的に向上していたことを背景に、設計者の負担を軽減する目的で、1984年に土質DBの開発を行った(石井, 1985)。この土質DBは大型電子計算機(ACOS-1000, 日本電気製)で運用が開始され、港湾技術研究所や各港湾建設局の端末からリモートバッチとタイムシェアリングによって利用可能なシステムであった。その後、パーソナルコンピュータ(PC)の進歩がめざましかったことから、1988年に土質DBはPC版(OSはMS-DOS)となった。さらに、1996年には土質DBはWindows対応版となり、2002年にはデータのSI単位化を実施した。現在、土質DBには1970

第1表 土質DBのデータ項目。

港情報	県名, 整備局名, 港名称, 緯度経度(世界測地系), 港湾座標, DL(T.P.)
表題	ボーリング名称, 調査名, 地盤高, 孔深, 地下水位, 調査年月日, 整備局名, 県名, 港湾コード, 緯度経度, 港湾・空港座標, 原位置試験の有無(必要に応じて原位置試験を記入)など
地層データ	ボーリング名称, 地層番号, 地層深度, 土質記号, 色調コード
標準貫入試験	ボーリング名称, 実施深度, 上限深度, 下限深度, N値打撃数, 貫入量, 自然含水比, 粒度情報など
サンプリング	ボーリング名称, 試料採取深度, 試料番号, 回収長, 押込長など
土質試験表題	ボーリング名称, 採取深度, 採取深度上下, 有効土被り圧, 内部摩擦角, 粘着力など
物理試験	ボーリング名称, 試料番号, 深度, 自然含水比, 土粒子密度, 液性限界, 塑性限界, 粒度組成など
一軸圧縮試験	ボーリング名称, 試料番号, 深度, 湿潤密度, 含水比, 間隙比, 飽和度, 一軸圧縮強さ, 破壊ひずみ, 変形係数, 鋭敏比など
三軸圧縮試験	ボーリング名称, 試料番号, 深度, 湿潤密度, 含水比, 間隙比, 飽和度, 側圧, 主応力差など
圧密試験	ボーリング名称, 試料番号, 深度, 圧縮指数, 圧密降伏応力, 体積圧縮係数, 圧密試験データなど

1) 独立行政法人 港湾空港技術研究所 地盤・構造部

キーワード: 土質データベース, 土質データベースの活用, 地盤パラメータ, L2地震動波形, 常時微動波形, 三次元地層推定, 液状化予測

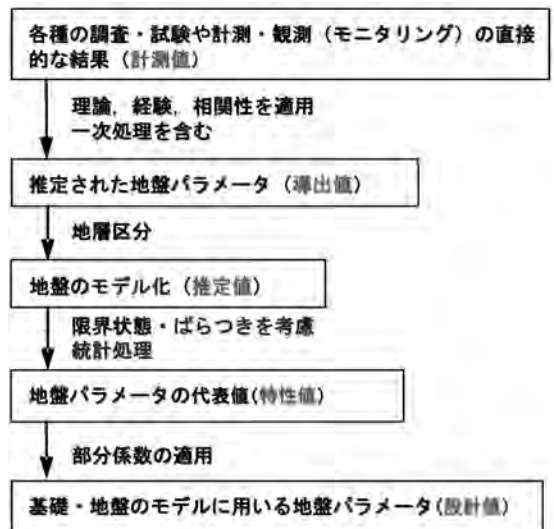


第2図
振動波形の表示例(イメージ).

物の安定性を把握することが可能となる。第2図に常時微動波形の表示例を示す。この図が示すようなシステムを構築することができれば、地震動と地盤情報との関係がより密接なものとなり、平面的に危険度を把握することが可能となる。このような検討結果は地震による危険箇所の把握と対策、あるいは避難誘導の確保といった方面にも利用が可能であり、土質DBの大きな活用方法の一つとなる。また、FLIPなどの地震応答解析時のデータやメッシュ図も土質DBに取り込む必要がある。特に、地震応答解析結果は検討が終わると散逸してしまう可能性があるため土質DBによって結果を保持しておくことは大きなメリットとなる。

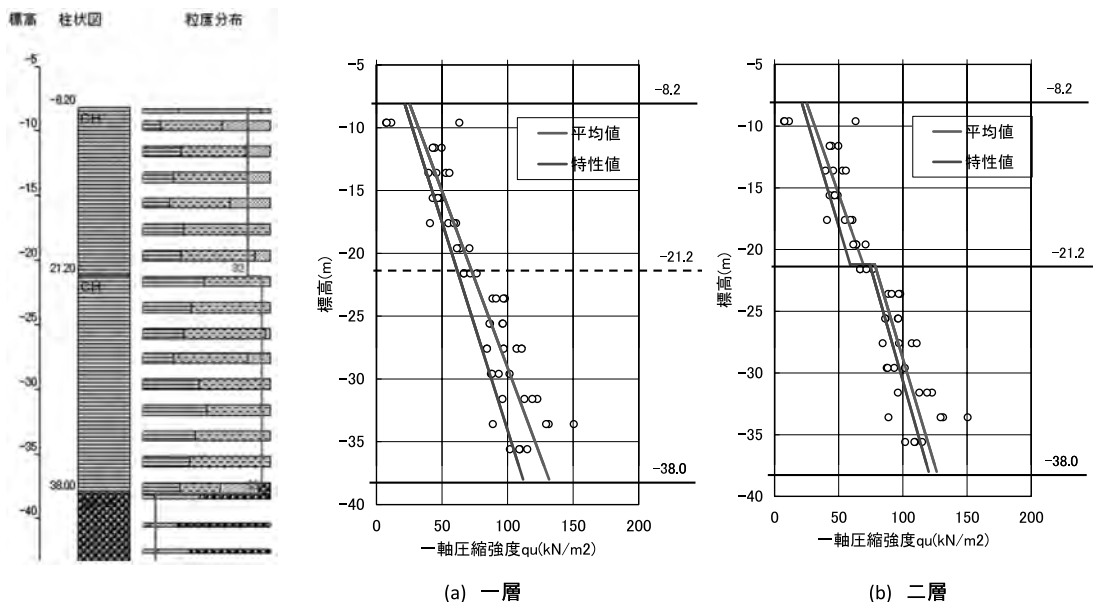
3.2 地盤パラメータ決定プログラム

信頼性設計法の導入に伴って地盤パラメータの設定方法は大きく変化した。地盤パラメータはばらつき(変動係数)の程度によって、割増あるいは割引されることになり、ばらつきが大きいと経済的に不利な設計となるようになった。第3図に新港湾基準に基づく、地盤パラメータ決定までの流れを示す。従来、設計者は計測値から設計値までを経験によって導き出し、導出値や推定値を飛び越して判断していた。しかしながら、新港湾基準においては設計者は、計測値、導出値、推定値、特性値ならびに設計値をばらつきや統計処理を考慮して順次行っていかなければなら



第3図 地盤パラメータ決定の流れ。

なくなった。この処理を行うためには、どのようなデータをどのように扱うのか、基本に立ち返って土質力学や統計処理を十分理解した上で実施しなければならない。このような作業は、設計者にとって大きな負担となるものと考えられることから、測定値から特性値までを土質DBを利用して半自動的に行えるような地盤パラメータ決定支援プログラムの開発を行っている。半自動的と表現したのは、設計者が変動係数を最小にするために、地層境界を変えることができるよ



第4図 地層境界の分割と特性値。

第2表 変動係数と補正係数の関係。

変動係数 COV	補正係数 b_1	
	安全側の定数 $1 - (COV/2)$	非安全側の定数 $1 + (COV/2)$
$COV < 0.1$	1.00	1.00
$0.1 \leq COV < 0.15$	0.95	1.05
$0.15 \leq COV < 0.25$	0.90	1.10
$0.25 \leq COV < 0.4$	0.85	1.15
$0.4 \leq COV < 0.6$	0.75	1.25
$0.6 \leq COV$	データ再検討/地盤調査やり直し	

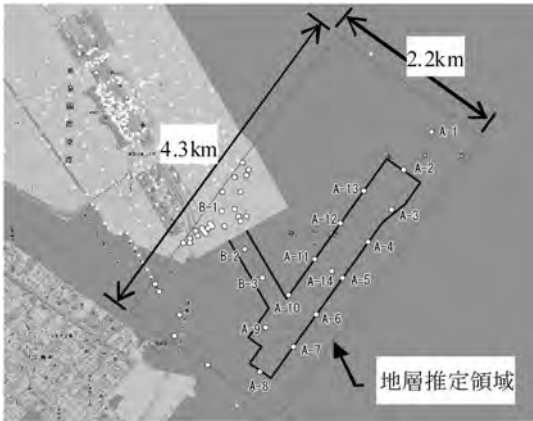
うになっているためである。第4図に地層境界の分割と特性値の関係を示す。新港湾基準によれば、導出値から推定値を求める場合には、変動係数(COV)の大きさによって第2表に示すような補正係数を乗じなければならない。たとえば、導出値の一軸圧縮強さのCOVが0.2であった場合には導出値の一軸圧縮強さに0.9を乗じ推定値を出すこととなる。第2表に示すようCOVが大きくなるに従って補正係数は小さくなっていき、COVが0.6以上になると地盤調査はやり直しと判定される。特性値は推定値にデータ数に関する補正を行い算出する。第4図はこの流れを一層の場合と二層にした場合で、どの程度異なるのか示したものである。地層境界を変動係数が小さくなるよう区分

することによって、なるべく大きな特性値を利用できることがわかる。本プログラムはほぼ完成しており、利用者が使いやすいプログラムにするため、意見照会を行っているところである。

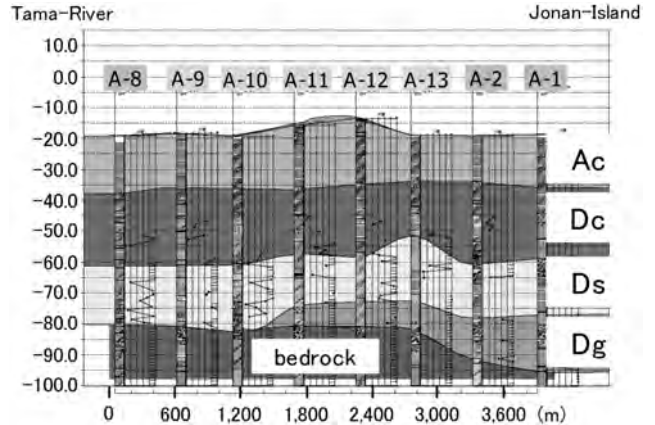
3.3 地盤の三次元地層推定プログラム

ここでは東京国際空港(羽田)D滑走路建設プロジェクトと高知港の地盤の液状化判定において土質DBを活用して地盤の地層推定を行った二例を紹介する。

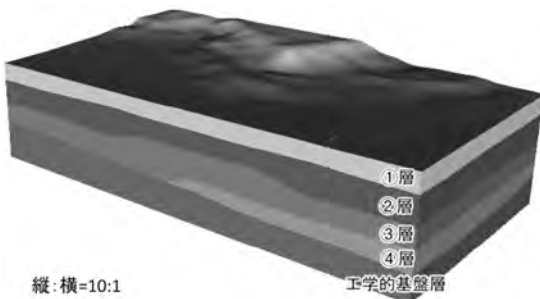
東京国際空港(羽田)D滑走路建設プロジェクトは、逼迫する航空需要に対応するため、2001年に羽田再拡張案として決定されたが、その後の工法選定の遅れによって建設工期は著しく短縮された。その結果、羽田D滑走路建設予定地域においては、ボーリング本数は17本と少なく計画され、それらのボーリング間隔はおよそ500mであった。新港湾基準によれば、本地域における標準的なボーリング間隔は、50~100mであり、計画されたボーリング間隔が非常に粗いことがわかる。第5図に羽田D滑走路とボーリング位置との関係を示す。この17本のボーリングデータから広範囲な羽田D滑走路下の地盤パラメータを設定することは、非常に高いリスクを伴う。この技術的問題を解決するため、土質DBと理学情報を活用して、羽田D滑



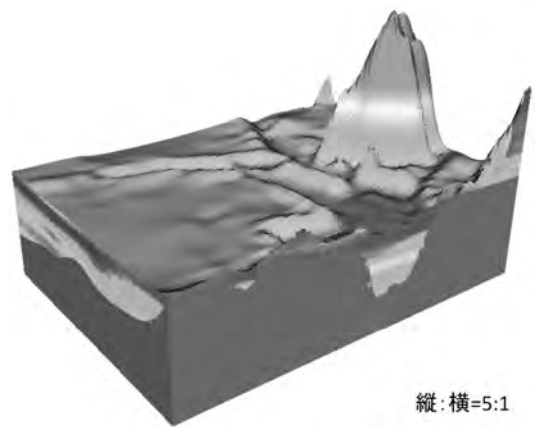
第5図 ボーリング位置.



第7図 地層推定結果とボーリングデータの比較(滑走路中心).



第6図 地盤の三次元地層推定結果(羽田).



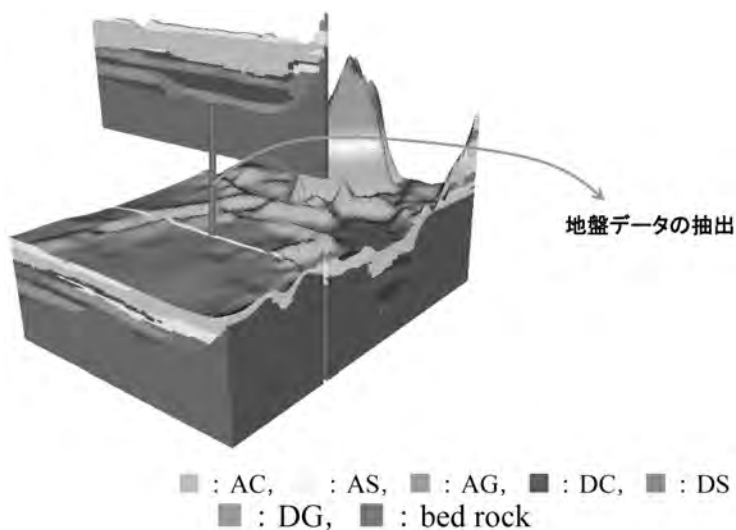
第8図 高知港地区三次元地層推定結果.

走路建設予定地付近の地盤の三次元地層推定を行った。地層推定領域は第5図に示したように短辺が2.2km、長辺が4.3kmである。この手法は、土質データベースから抽出したボーリングデータを基に、クリギングによって土質データの空間的な分布を推定し、重回帰分析により地層分類を行うものである。第6図に地盤の三次元地層推定結果を示す(Tanaka *et al.*, 2007)。この地層区分は、工学的特性から求められたものではあるが、①層は上部有楽町層、②層は下部有楽町層と七号地層、③層は東京層、④層は東京礫層および工学的基盤層は江戸川層におよそ対応している。地層推定が正しく行われたのかどうか確認するため、ボーリングデータと比較することとする。

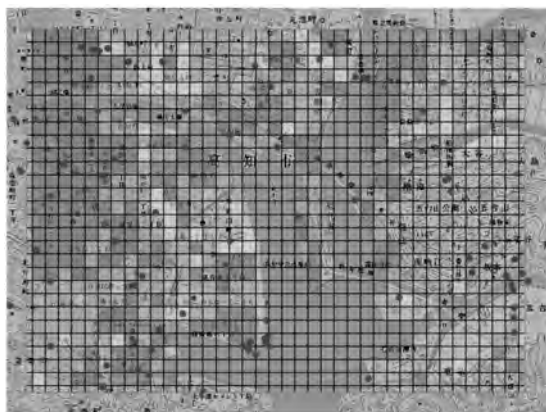
第7図に地層推定から得られたD滑走路中心線における地層区分とボーリング結果とを併せて示す。全体的に見ると、A.P.-34m~38mには上部有楽町層(Ac層)と下部有楽町層(Dc層上部)の境界があり、その境界はほぼ水平に存在している。A.P.52m~61

mにかけては七号地層(Dc層下部)と東京層(Ds層)の境界がある。また、城南島側の東京層と工学的基盤との間には東京礫層(Dg層)が存在している。これらの層境界については、地層推定から得られた境界とボーリング結果が比較的良く一致している。なお、東京層と江戸川層との正式な境界については、理学情報を基に現在検討中である。

次に高知港で三次元地層推定を行った事例を紹介する。高知港では南海・東南海地震による地震被害が予測されることから、広域な地盤の安全性を確認するための手法として、地盤の三次元地層推定と液状化予測のシミュレーションを行った(Tanaka *et al.*, 2009)。第8図に地層推定結果を示す。地層推定結果については、Ac層に挟在する火山灰層を除けば、概



第9図 地盤データの抽出.



第10図 液状化判定結果の例.

ね地層予測はできたものと思われる。

三次元地層推定を行っておけば、第9図に示すよう地盤情報の抽出が容易にできる。このデータを用いて地盤の液状化判定を行う。三次元地層推定から得られるデータは、50m×50mメッシュで、その厚さは2mである。ただし、液状化判定においては解析精度やPCでの計算時間を考慮して、100mメッシュで計算を行った。結果を第10図に示す。

第10図は加速度振幅を250galの八戸波を使って、港湾の基準に従って判定したものである。どの地域の危険度が高いのか見当が付くので、検討成果を防災対策や緊急時の避難誘導などに役立てることができる。また、どの深さの層が液状化したのかも広範囲に、しかも容易に把握することができるので、防災対策の順位付けなどに役立てることができるものと考えられる。

4. まとめ

本論文では、土質データベースの開発経緯やその活用方法を具体的に示した。また、土質データベースにはメリットばかりでなく、デメリットも存在していることもあるので、以下に、それらをまとめて述べる。

- 1) 設計から防災まで土質データベースの利用価値は高い。
- 2) 土質データベースを活用して、地震時の危険度事前予測、防災対策、避難誘導計画を策定することができ、社会に大きく貢献することができる。
- 3) 土質データベースのデータや利用プログラムは、コンピュータの発展に合わせて、持続的な維持管理が必要となる。
- 4) データベースに登録するデータの信頼性をどのように確保するのかが大きな問題である。

参 考 文 献

石井一郎(1985)：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, 69p.

国土交通省港湾局監修(2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), 日本港湾協会, pp.294-298.

Tanaka, M., Watabe, Y., Miyata, M. and Sakajo, S. (2007) : 3D-Visualization of Ground of New Runway at Haneda Airport, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.1, pp.131-139.

Tanaka, M., Watabe, Y., Sakajo, S. and Sadamura, T. (2009) : A Proposal of 3D Liquefaction Damage Map of Kochi Harbor, *Proc. of International Symposium on Prediction and Simulation Methods for Geohazard Mitigation*, IS-Kyoto, pp.113-119.

TANAKA Masanori (2010) : Development and utilization of soil data base in port and coastal area.

<受付：2010年7月23日>