

オブジェクト指向の構造物—地盤系の地震応答問題への適用に関する研究
APPLICATION OF OBJECT ORIENTED APPROACH TO EARTHQUAKE
RESPONSE PROBLEM OF SOIL-STRUCTURE SYSTEM

福和伸夫*、小磯利博**、石田栄介**、多賀直恒***

Nobuo Fukuwa, Toshihiro Koiso, Eisuke Ishida and Naotsune Taga

ABSTRACT

In order to integrate a lot of knowledges related to earthquake response problem of soil-structure system, an object oriented approach is newly adopted and the framework to solve the problem is introduced. First, the problem is analyzed using object modeling technique (OMT). From this examination, it becomes clear that the problem is an aggregation of several system objects and has a hierarchical and inherited structure. Also the data flow among the operations and the change of the state are clarified. In order to demonstrate the validity, this approach is applied to the soil system, where object oriented database on boring data and modeling and analyzing system are implemented.

1 はじめに

都市防災や建築物の耐震安全性の観点から、構造物の地震時挙動の合理的評価法の確立は重要な課題である。この評価法を構築するには、震源、伝播経路、表層地盤、構造物—地盤の動的相互作用、構造物など、多くの要因を考慮する必要がある。各問題はそれぞれ分化された研究分野で体系化・発展し、貴重な成果が蓄積されている。しかし、これらの情報は各分野の中で、比較的閉じているきらいがあり、異なる分野間での知識の伝達・共有が図られにくい環境にあると思われる。

一方、計算工学の分野で、複雑な問題を取り扱う手段として、オブジェクト指向の考え方¹⁾が広く用いられてきている。オブジェクト指向では、実体に即したオブジェクトにより問題を表現し、オブジェクト間のメッセージ伝達により問題を解決する。各オブジェクトは内部の複雑な情報を隠蔽することができ、他のオブジェクトから参照されるデータを明確にできるので、地震応答問題のように多分野の知見を必要とする複雑な問題の解決には有効な手段である。また、複合構造を持つデータを取り扱うことができるオブジェクト指向データベース(OODB)²⁾も提案されている。構造工学の分野においても、構造解析エキスパートシステム³⁾や、有限要素法のオブジェクト指向化⁴⁾に関する研究が行われ始めている。

本研究では地域性を考慮した構造物の地震応答評価のように広範囲の深い知識を必要とする解析行為に対してオブジェクト指向を適用し、知識の統合化が可能な枠組みの構築を目的とする。そこで、構造物の地震応答評価に関わる多種の解析法やデータなどをオブジェクトモデル化技術(OMT)¹⁾を用いて整理する⁵⁾。地震応答問題を部分問題に分解し、各システムが共有する構造を明確にすると共に、部分問題の例として表層地盤の分析を行い、データベース・モデル化・数値解析を統合化したシステムの一例を示す。

* 名古屋大学助教授、工学部建築学科
** 名古屋大学大学院、工学部建築学科
*** 名古屋大学教授、工学部建築学科

(Associate Professor, Dept. of Architecture, Nagoya Univ.)
(Graduate Student, Dept. of Architecture, Nagoya Univ.)
(Professor, Dept. of Architecture, Nagoya Univ.)

2 オブジェクト指向による問題解決

従来の手続き主体のプログラム開発を前提とする場合、主に「手続きの決定」を目的とした分析を行っていた。これに対し、オブジェクト指向では、概念をオブジェクトとしてそのまま表現することができるので、概念に関するデータ構造とその操作を整理したり、概念間の関連や依存性、概念の階層構造を分析することが主体となる。これらの作業は、対象としている事象そのものを分析していることに相当し、Fig.1に示すように概念分析の段階からプログラム開発の段階まで、連続的に移行することが可能となる。

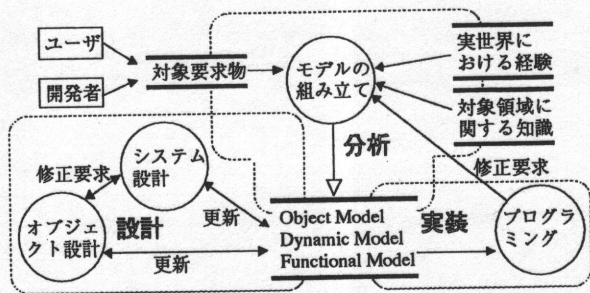


Fig.1 Development process using OMT

3 システムオブジェクトの基本構造

一般に地震応答問題は、震源、伝播経路、表層地盤、構造物—地盤の動的相互作用、構造物の各部分問題から構成され、それぞれの問題解決には多くの知識、データ、解析理論が必要となる。そこで、各部分問題を手続きとデータを内包するオブジェクトとして定義し、Fig.2のように整理する。通常は、各部分問題は更に小さな問題に分解されている。そこで、震源から構造物までの全体システムを部分システムの集合と考え、各部分システムを更に部分システムや要素システムの集合として考える。その結果、各システムは接する境界と関連を持つ必要がある。このようなシステムの階層構造はFig.3のように一般化される。尚、OMTの表記法については文献¹⁾を参照されたい。

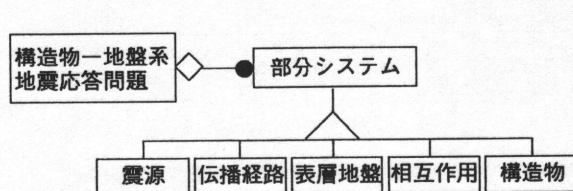


Fig.2 Decomposition of earthquake response problem

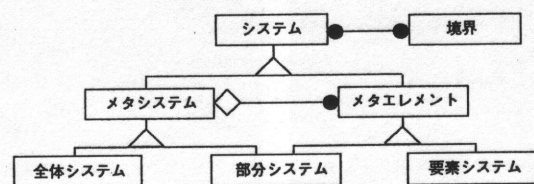


Fig.3 Hierarchical structure of system object

Fig.4にシステムオブジェクトの共有するプロセス、データの流れを示す。まずシステムオブジェクトは、物理現象に関する知識や解析目的を考慮し、実データから物理モデルを生成する。次に、物理モデルを基に、解析法の特徴やコスト・期間等の条件を考慮し、必要に応じて物理モデルに修正を加えながら、数学モデルを生成する。数

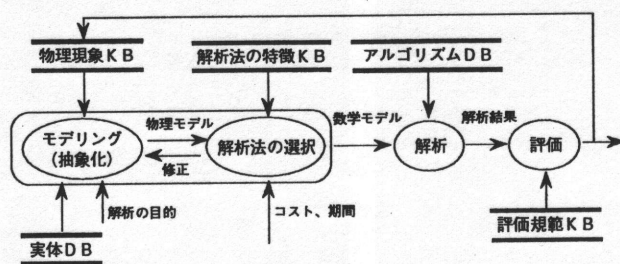


Fig.4 Process and data flow of system object

学モデルは数値解析アルゴリズムを利用して求解され、その結果は設計規範に基づき評価される。

そこで、システムオブジェクトに要求される機能を実現するためにFig.5に示すクラス構成を考える。ここでは、システムの機能を一つのオブジェクトで表現するのではなく、様々な機能を持ったオブジェクトの集合で表現する。機能を分化することにより、分かりやすい枠組みが与えられ、後の修正や拡張に対して柔軟に対応が可能となる。また、解析対象オブジェクトだけでなく、自律的な振る舞いをする推論オブジェクトを定義し、知識ベースと関連を持たせることで、地震応答解析の知識を蓄積・継承できる枠組みを与えている。

Fig.6にシステムオブジェクトの状態遷移を示すが、一連の解析過程ではいくつかの状態遷移が考

えられる。一つ目は自然状態から変形状態への遷移である。これはシステムオブジェクトにとっては、外乱情報を含むメッセージを受け取り、解析結果を返すことと等価である。二つ目はモデルが実体モデルから数学モデルへ置換される状態遷移、三つ目は詳細モデルから簡略モデルに変換される状態遷移である。

以上のFig.4~6で示したモデルは、構造物—地盤系の地震応答問題を考える際に、解析技術者が無意識に行っていることを、OMTの考え方に基いて異なった立場から分析したものであり、前述した全ての部分システムが共有する構造である。

ここで、地震応答問題全体の流れを理解するために、全体のデータの流れをFig.7に示す。Fig.4の構造が各部分問題の中に埋め込まれていることが分かる。この図より、データベースから設計評価に至る流れを概略理解することができる。

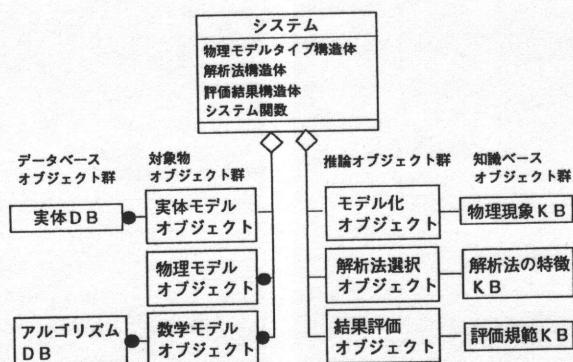


Fig.5 Class structure of system object

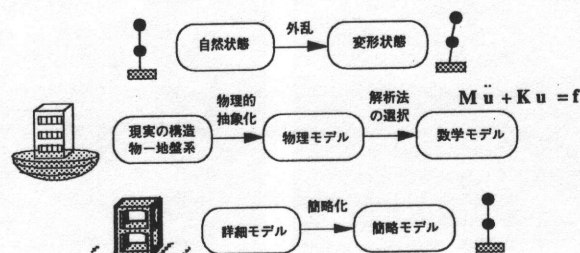


Fig.6 State transition of system object

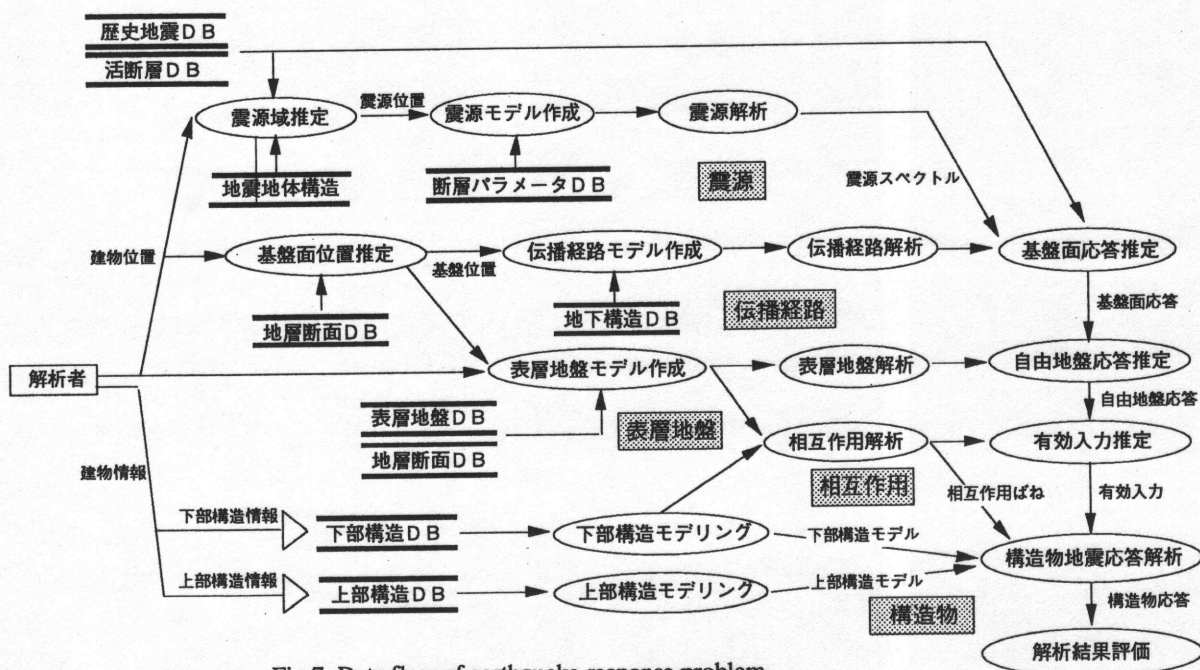


Fig.7 Data flow of earthquake response problem

4 表層地盤システムの設計

本章では前章で分析したシステムの例として、表層地盤システムの設計と実装を試みる。表層地盤システムはFig.3に示したシステムの階層構造の枠組みの中で、部分システムのサブクラスに定義される。Fig.8にその基本構造を示すが、要素システムを継承する地盤要素システムを定義することで、"部分"と"要素"という関係が表層地盤にも適用できる。

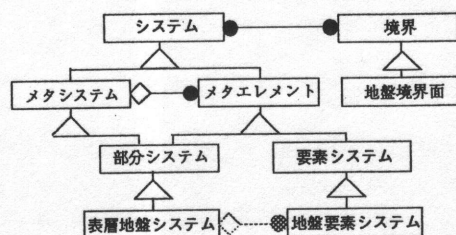


Fig.8 Class structure of soil system

4.1 データベース

表層地盤の解析では、多くの地盤調査データを利用する。そこで、本節ではモデル化や解析に先立ち、表層地盤データベースを構築する。通常、地盤データは内部に構造を持つ複合型データである。また、モデル化プロセスと整合性を持ったデータベースとして提供されることが望ましい。そこで、意味上のまとまりを単位として扱うことができるOODBを適用する。Fig.9に表層地盤データベース全体のクラス構成を、Fig.10に名古屋市地盤図⁶⁾を例にX-Window上で構築したデータベース表示システムの出力例を示す。

4.2 モデル化

表層地盤のモデルは成層性、次元、材料特性、変形特性などの要因を分析して生成される。Fig.11に表層地盤モデル作成時の機能図を示す。表層地盤のモデル化プロセスはいくつかのサブプロセスから構成され、各サブプロセスは互いに関連を持ちながら実行される。ただし、全てのサブプロセスを表層地盤システムが行うのではなく、個々の要素に関するモデル化は地盤要素システムが行う。

Fig.12に地盤要素システムが行う動的地盤定数の推定プロセスを示す。一般に動的解析で必要となる動的地盤定数はPS検層データや密度検層データから得られる。しかし、これらデータが存在しない場合には、比較的实施例の多いボーリング試験結果などから動的地盤定数を推定する必要がある。そこで、前述の表層地盤データベースに基づき、統計解析することにより物性間の関係を求めた上で、動的モデルを生成する。

Fig.13は上記のモデル化操作によって生成された物理モデルの例である。これは、モデル次元に「一次元」、層構成に「成層」を採用した場合のモデル構成である。一次元成層地盤モデルはせん断モデルの集合で表され、それぞれが境界面に関連を持つ。この様子はFig.14のインスタンス図で示される。このようなモデル構成は、不整形地盤モデルなどにも適用でき、物理モデル構成にFig.3の階層構造を導入したことの妥当性が検証できる。

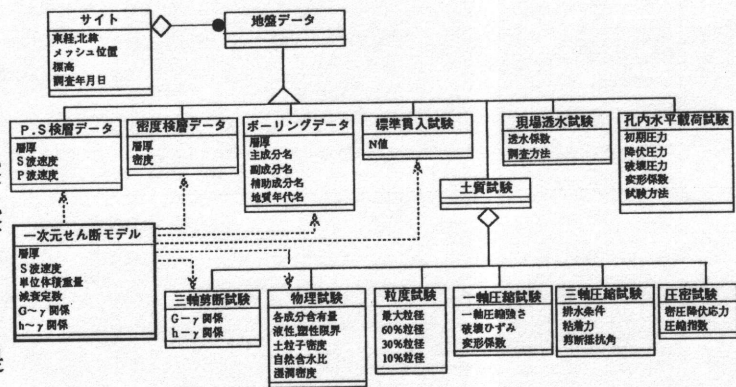


Fig.9 Class structure of soil database

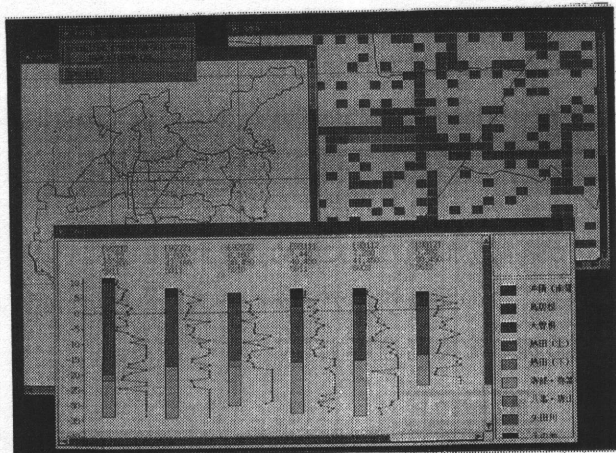


Fig.10 Graphical output of soil database

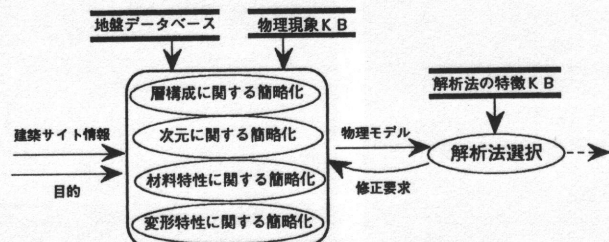


Fig.11 Modeling process of soil system

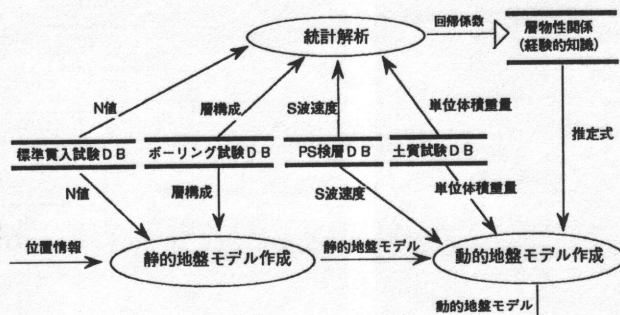


Fig.12 Modeling process of soil system based on heuristic knowledge

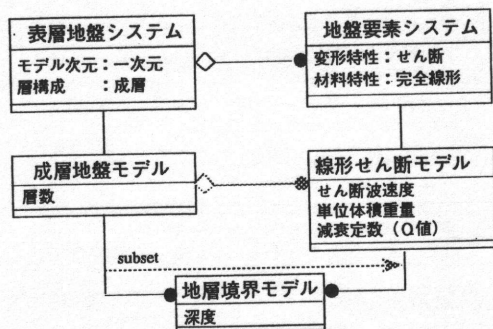


Fig.13 Class structure of layered soil model

Fig.15は名古屋大学における表層地盤モデルの作成例である。名古屋大学付近はPS検層の実施例が少ないため、Fig.12で示した統計的な層物性関係を用いて、ボーリング試験データと標準貫入試験データから動的地盤モデルを生成した。但し、ここでは予め地層断面図を参照することで、付近の地盤がほぼ成層であることを確認してある。

4.3 数値解析

Fig.16は数学モデルと表層地盤全体のシステム関数を求めるプロセスの対応を示したものである。数学モデルもシステムオブジェクトや物理モデル同様、集合関係で表される構造を持つ。表層地盤数学モデルと地盤要素数学モデルが持つプロセスとしては、解析方法に波動解析を採用した場合、地盤要素システムでは1層あたりの伝達マトリクスを求める手続きが、表層地盤システムでは関連する地盤要素システムの伝達マトリクスの積をとる手続きが実装される。有限要素法に適用した場合には、これらの操作は要素剛性を求める手続きと要素剛性足し込み手続きに相当する。このように、実体から数値解析に至るまで、共通したクラス構造を持つことは、常に解析行為が実体に即した形で行われていることを示唆している。

5 地盤境界面の設計

本節では、表層地盤の入出力面である基盤面と地表面の定義を行う。そこで、Fig.17に示すように、基盤面や地表面を地盤境界面として汎化する。地盤境界面のもつ主な手続きは境界での応答を求めることにあり、基盤面と地表面でそれぞれ適切な手続きが実行される。基盤面ではFig.18に示すように、マグニチュードと震源距離から基盤面応答を統計的に求める手続きを、地表面では基盤面応答と表層地盤伝達関数から地表面応答を求める手続きを実装する。ここで、基盤面応答を評価するには、マグニチュードや震源距離が必要となるので、歴史地震や活断層に関するデータをOODBとして構築すると共にデータベース表示システムを作成した。Fig.19に表示例を示す。歴史地震や活断層は位置とそれぞれの属性から検索、表示が可能である。また、地表面の状況を把握するために国土数値情報も合わせてOODB化した。Fig.20のように種々の都市情報の検索が可能であり、将来、都市防災システムへと結び付けることが容易となる。

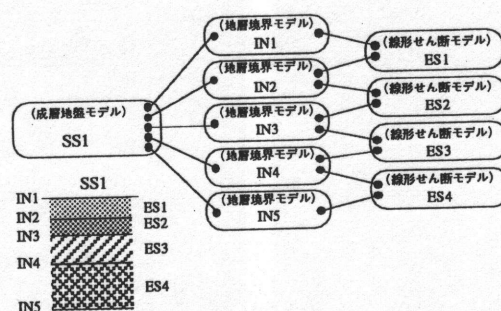


Fig.14 Instances of horizontally layered soil model

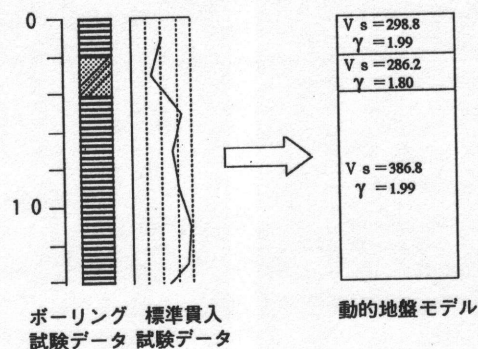


Fig.15 Example of soil modeling

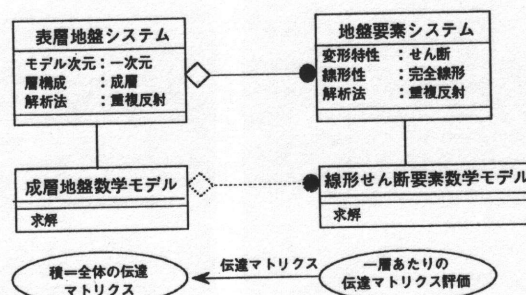


Fig.16 Mathematical model and solving process of soil system

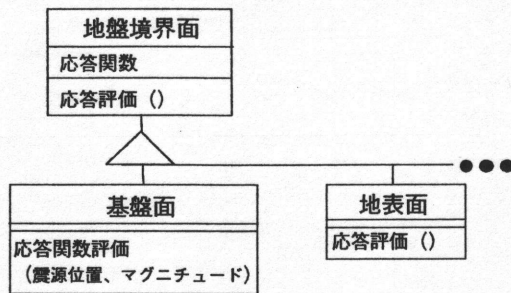


Fig.17 Class structure of soil interface

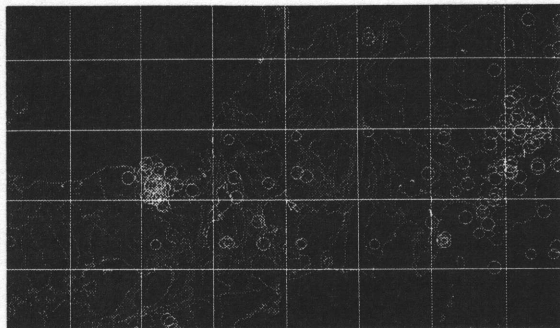


Fig.19 Example of visualizing database for historical earthquake and active fault

Fig.21に地表面応答の評価例を示す。ここでは、活断層データと歴史地震データの中から濃尾地震が発生した活断層を選定し、統計的な基盤地震動作成法を用いて基盤面応答を求めた。そして、重複反射解析によってFig.15に示したモデルを解き、基盤面応答との積をとることで、地表面応答を求めている。

6 まとめ

本論では、地震応答問題をOMT手法を用いて分析、設計した。これにより、問題を構成する個々の要因や関連するデータがオブジェクト指向の枠組みの中で体系的にかつ相互の関連を明確にした形で整理され、有機的に統合できた。本論では、部分システムの例として表層地盤のみを取り扱ったが、物理モデルや数学モデルにまで階層構造を共有化させたことで、実体から数値計算まで一貫した共通のモデル構成が実現された。また、表層地盤に関連する種々のデータベースをOODB化し、データベースの有効活用を図ることを可能とした。今後は、本論の拡張として表層地盤のモデル化や数値計算手法の拡充を図ると共に、他の部分システムの設計を進めていく予定である。

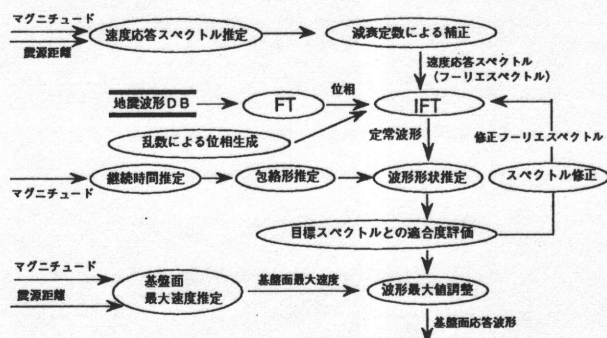


Fig.18 Evaluation process of baserock response

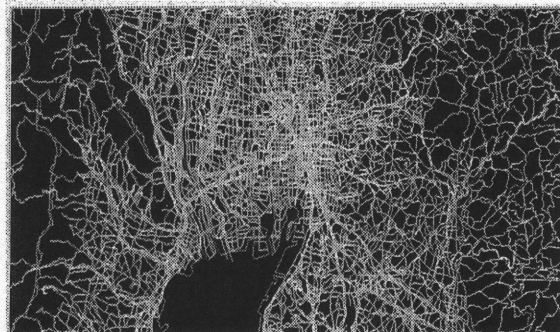


Fig.20 Example of visualizing database for urban information

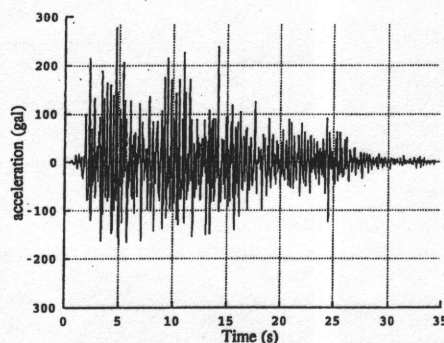


Fig.21 Example of evaluating surface response

謝辞

データベースの表示システムの構築に当たり、当研究室の大平久司君に協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Rumbaugh, J., et al. : Object-Oriented Modeling and Design, Prentice Hall, 1991
- 2) 増永良文: オブジェクト指向データベースの動向, Computer Today 1991/9 No.45, pp.51-57, 1991
- 3) 中井正一他: オブジェクト指向と構造解析の融合, 機械学会計算力学講演会講演論文集, 1993, pp.51-52
- 4) 石田栄介他, 静的線形有限要素解析のオブジェクト指向分析と設計, 構造工学論文集 Vol40B, 1994
- 5) 福和伸夫他, オブジェクト指向による構造物—地盤系の地震応答問題の分析, 応用力学連合講演会講演予稿集, pp.257-260, 1994
- 6) 土質工学会中部支部: 最新名古屋地盤図