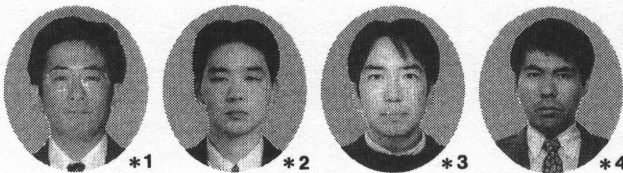


GISを用いた広域施設群 の総合振動分析システム 名古屋大学東山キャンパスへの適用 事例

福和伸夫 — *1
石田栄介 — *2
荒川政知 — *3
山田耕司 — *4



A SYNTHETIC VIBRATION ANALYSIS SYSTEM FOR GROUP OF FACILITIES USING GIS : Application to Higashiyama Campus of Nagoya University

Nobuo FUKUWA
Eisuke ISHIDA
Masatomo ARAKAWA
Koji YAMADA

A GIS is developed as a comprehensive support system to deal with vibration problems and to plan the campus at Nagoya University. Not only the analysis of each database but also an overall analysis such as spatial relationship and the dependence among data sets can be performed efficiently with this system. The system is coded with Tcl/Tk, a freeware with which GUI environment can be constructed easily, and C-language, for which a large number of library collections is available. As the result, the GIS come to be inexpensive and database come to be visual.

キーワード :
地理情報システム, GUI, Tcl/Tk, データベース, 広域施設群, 振動分析

Keywords :
GIS, GUI, Tcl/Tk, Database, Group of facilities, Vibration analysis

1 はじめに

大学キャンパス, 病院, 大規模工場などの広域施設群における地震防災, 環境保全, 施設計画では, 建物, 地盤, 振動源など多くの情報を把握し総合的に検討する必要がある。しかし, 一般的に, これらのデータは紙面にて個別に管理されており, 場合によっては各所に散在し, 十分に活用されていないのが現状である。この現状を克服するには, 各種のデータを計算機上で一元管理し, 一貫した枠組みの中で関連データを有機的に繋ぎ合わせ, 総合的な検討を行うことができるビジュアルでインタラクティブなシステムを構築することが肝要である。

著者らの所属する名古屋大学東山キャンパスにおいても, 施設, 設備, 地盤調査等に関するデータが必ずしも十分整理されているわけではない。このため, データの有無, 所在の確認に多大な労力を要している。現在, 建物の改築が進行中であり, 大学院重点化や研究センター新設などに伴う新設建物の計画も数多い^{*)}。また, 本キャンパスの敷地は, 最大高低差約 51 m であり, 埋立地もあるなど地盤条件の変化が大きい。従って, 適切な建築・施設計画のためには, 既設の建物や地盤に関する資料を十分に活用する必要がある。

また, 近年キャンパス周辺の都市化が進み, キャンパス中央を通る四谷・山手通りの下には地下鉄 4 号線, キャンパス北側に隣接する鏡ヶ池通りには名古屋高速 1 号線が計画され, 着工段階となっている。高速道路から約 23 m の位置にはわが国有数の超高压走査型電子顕微鏡があり, 地下鉄から 200 m 以内には 18 台の電子顕微鏡を含む約 50 台の超精密機器がある。これらの装置の振動許容値は, 0.1 ~ 5 $\mu\text{m-p}$ であり, 施工時の工事振動ならびに供用後の交通振動障害が懸念されている。また, キャンパス内には振動発生源となる大型実験施設と超精密機器が同居しており, 振動障害の事例も既に存在している。このため, 著者らも, 学内の地盤・建物において, 常時微動実験・交通振動実験・発破実験を数多く実施し, 振動問題に対する環境アセスメントの一部に寄与している^{2)~4)}。

一方, 兵庫県南部地震では, 一部の研究施設で化学薬品からの出火, 建築物の倒壊・損壊などが報告されており, 研究施設の地震時安全性に対する問題点が提起された。このため, 本学に置いても震災対策の検討が始められており, 全学的な耐震診断の必要性が叫ばれている。著者らも一部を分担し約 20 棟の I_s 値⁵⁾を評価している。

このように, 大学キャンパスを取り巻く現況は, 各種データを多面的に分析し, 適切なアセスメントを行うことを必要としている。

*1 名古屋大学工学部建築学科 助教授・工博

*2 名古屋大学工学部建築学科 大学院生・修士(工学)

*3 名古屋大学工学部建築学科 大学院生

*4 名古屋大学工学部建築学科 助手・博士(工学)

*1 Assoc. Prof., Dept. of Architecture, School of Engineering, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*2 Graduate Student, Dept. of Architecture, School of Engineering, Nagoya Univ., M. Eng.

*3 Graduate Student, Dept. of Architecture, School of Engineering, Nagoya Univ.

*4 Research Assoc., Dept. of Architecture, School of Engineering, Nagoya Univ., Dr. Eng.

そこで、本報では、名古屋大学東山キャンパスについて構築した耐震・環境振動分析システムを紹介する⁶⁾。本システムは、主として、新規建物の計画に必要な地盤資料、環境振動評価に関わる資料、既存建物の耐震性評価に関わる資料、の提供を目的とし、著者らの実施した常時微動実験、本年度設置を予定している強震観測システムなどの実測記録、地盤・構造物振動解析システムとも融合した、オブジェクト指向型の統合振動分析システムを実現している。

本システムはEWS上のX-Window⁷⁾上で稼働し、各種データベース・強震観測システムと学内LANを介して相互接続している。GUIとしてフリーソフトのTcl/Tk⁸⁾を利用した自主開発システムであり、他の広域施設群に対しても適用可能なシステムである。

2 データベースと活用システムの構築

広域施設群の施設計画、地震防災計画、環境保全計画においては、個々のデータの詳細分析のみならず、データの地理情報を考慮した建物や地盤の全体像についての総合的な分析が重要となる。また、データベース活用の観点からは、データを効率よく表示・検索でき、更新も容易であることが、プログラミングの観点からは、機能拡張のためにプログラムの再利用性・保守性が良いことが望まれる。この実現には、オブジェクト指向の概念を適用した、個々の属性値や統計量を地図上に重ねて表示することができる地理情報システム (Geographical Information System: GIS) の利用が有効である。

一方、振動問題の解決には、個々の建物・地盤と実測記録を対応させるため、GISの建物・地盤オブジェクトと関連させた波形オブジェクトを定義することが有効となる。また、得られた実測波形を効率よく多面的に分析するには、複数の波形のインタラクティブな処理が可能なオブジェクト指向型波形分析システムが有効である。

これらを踏まえ、総合振動分析のために以下の各システムから構成されるフレームワークを構築した。

1. データ配置表示・検索システム
2. 地盤・構造物振動予測システム
3. 波形分析システム

これらのシステムの構築には、配布時の移植性の考慮から、C言語を主体とし、可能な限りオブジェクト指向の考えを取り入れている。

2.1 データベースの概要

本システムのために、散在していたデータを収集・数値化し、建物、地形、地盤、振動源、超精密機器、振動実測記録をそれぞれオブジェクトとして整備し、Fig. 1に示すように、1つのオブジェクト

のデータを1つのファイルに収納する形式で、新たにデータベースを構築した。データ入力にはエディタ、または、インタラクティブに地理情報システム上で行う。

建物に関しては、階数、面積、構造種別、地下階の有無、基礎形式、建設年代をデータベース化し、図面を収集できた建物については、構造耐震指標 (I_s 値) を算定し加えた。その他の属性についても随時追加可能である。地盤に関しては、キャンパス内で実施された全ボーリングデータ、PS検層結果、キャンパス整地前 (1936) 及び整地後 (1991) の地盤地表の標高、に関してデータベース化した。振動源に関しては、建築・土木関連の振動を発生する実験装置、キャンパス内及び外周の一般道路の路面平滑性及びダンプロック動荷重を、超精密機器に関してはその許容振動レベルおよび設置建物を、データベース化した。振動実測記録としては、学内13棟およびその周辺の地盤の常時微動記録、数箇所の24時間現況振動レベル、ダンプロック単独走行実験時およびダイナマイト発破実験時の建物及び地盤の振動実測記録をデータベース化した。

これらのデータは、ポリゴン化された形状データや位置情報から、GIS上でオブジェクトとして表示される。

2.2 データ配置表示・検索システム

データ配置表示・検索システムは、地図上にオブジェクトを配置し、マウスクリックによる個々のオブジェクトのデータの表示やデータの検索、オブジェクトとリンクした種々の分析システムへの展開を可能とするシステムである。

このような地図上の任意の図形をオブジェクトとして認識できるGISソフトは意外に少ない。また、他のシステムとの融合や機能追加のためには自主開発ソフトが好ましく、LANによるデータの共有や膨大なデータの高速度処理を考慮するとEWS環境下でのGISの活用が望ましい。そこで、著者らはX-Window環境下で手軽に作動するオブジェクト指向型GISを構築する手法を模索してきた。

本システムでは、比較的容易にGUIを構築できるフリーウェアのTcl/Tkを活用することにより、廉価なオブジェクト指向型GISを構築した。Tcl/Tkは、Tclがインタプリタ言語で、TkがX-Windowベースのツールキットライブラリである。これらは、Internetを介して簡単に入手でき、日本語化拡張も容易であり、Windowsなどパソコン上での利用もできる。本システム程度の規模であれば、十分実用的な速度で稼働する。さらにデータが膨大になった場合には、Xt (X-Window Toolkit) による大規模高速システムへと変換していく必要があるが、Tcl/Tkで構築したシステムは、それら大規模高速システムのプロトタイプとして有益である。

Tkでは、Xツールキットにあるような基本的なウィジェットセットに加えて画板 (canvas) ウィジェットが提供されている。canvas上のアイテムにはtagを付けることができ、これにより同じtagを持つ複数のアイテムに対して共通の操作を一括で行うことができる。この機能を利用することにより、オブジェクト指向のクラス概念を取り入れることができる。

本システムでは、Fig. 2に示すように、マップ上でアイテムを用いてオブジェクトを表現し、各アイテムのtagにデータファイル名とクラス名を加えることにより、データおよび分析システムとのリンクを図った。具体的には、ボーリングポイントを表すアイテムにはクラス名boringとデータファイル名f@data_filenameのtagを

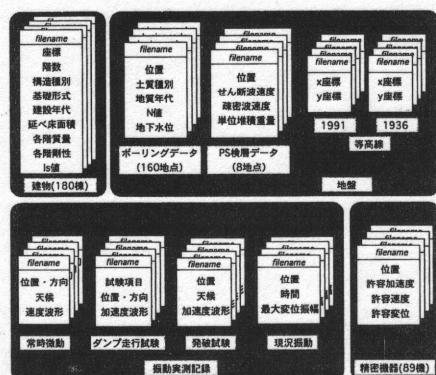


Fig. 1 データ構成図

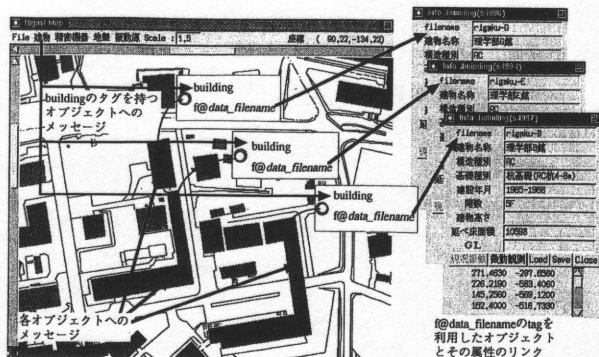


Fig. 2 tag を利用した属性の呼び出し

付け、建物を表すアイテムにはクラス名 building とデータファイル名 f@data_filename の tag を付けた。これにより、boring クラスに対してはボーリングデータ分析システム、building クラスに対しては建物分析システムがそれぞれ呼び出され、データファイル名 tag を介して個々のオブジェクトの属性を呼び出すといった、オブジェクト指向型の GIS を実現している。

一方、大量データの中からある条件のデータを分析する場合には、配置表示に加え検索システムが必要である。例えば、精密機器を有する建物 (Fig. 9) や、新耐震設計以前の建物 (Fig. 11) の配置を知りたい場合、検索システムによりデータを検索し、それに対応するアイテムの色を変化させることにより、情報の一覧が可能となる。現状では、Fig. 3 に示すように、ウィンドウ上のメインメニューバーに建物や地盤などのクラスメニューボタンを設定し、クラスごとに検索メニューの階層化を行っている。下位のメニューでは、各クラスの検索すべき属性を選択し、メソッドを起動する機能を有している。

2.3 地盤・構造物振動予測システム

地盤・構造物振動予測システムは、指定された建物や地盤の振動性状の把握を支援する種々のデータと解析手法からなるシステムである。ここでは、一例として、表層地盤システムと建物システムに関して述べる¹⁰⁾。

表層地盤システムでは、指定されたボーリングポイントの PS 検層データとボーリングデータを表示することにより、建物基礎計画の支援を行う (Fig. 14)。さらに、これらのデータを利用して表層地盤モデルを作成し、地盤の増幅特性 (Fig. 15) の計算、地盤ばねの算出などに利用する。将来的には、周辺地盤情報や地形データとの

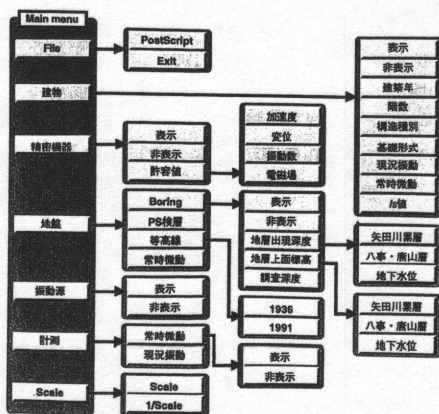


Fig. 3 検索メニューの階層化

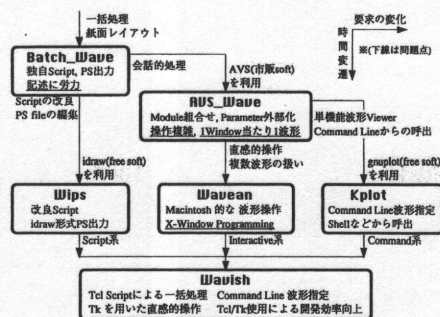


Fig. 4 本研究室作成の振動記録分析システム¹¹⁾

関連を考慮することにより、地盤の不整形性を考慮した解析へとつなげていくことも可能である。

一方、建物システムでは、基本属性の表示 (Fig. 16) を行うとともに、その建物について調査した結果を登録することができる。現状では、耐震診断 (Fig. 17) や振動計測結果 (Fig. 18, Fig. 19) を登録しているが、将来的には、多質点系モデルの作成および各種振動解析機能を組み込み、多角的な振動分析を可能としていく。

2.4 波形分析システム

波形分析システムは、常時微動記録、強震観測記録、発破実験記録などをインタラクティブに引き出し、波形解析を行うシステムである。地盤・構造物振動予測システムにより得られた結果と実測記録を相互に分析することにより、適切な現象の把握が可能となる。一般に、計測波形データは大量であり、解析効率の向上のため、EWS 上で波形解析システムを構築してきた¹¹⁾。波形解析ライブラリは共有しているが、波形データの呼び出しおよび解析インターフェイスは、用途に応じて Fig. 4 に示すように使い分けてきた。

これまでの開発において、研究用波形解析システムに要求される処理形態は以下の 3 形態に大別できる。

1. 紙面上に複数波形をレイアウトできるような Script による処理
 2. 波形および解析法を会話的に指定する Interactive な処理
 3. Command Line で波形を引数指定する Command による処理
- 今回、先の GIS と相互に利用できるようにするため、上記の 3 機能を統合した波形解析システム Wavish (Wave Interactive Shell) を開発した。Wavish では、Script として Tcl を利用し、GUI として Tk を利用し、呼び出し方法として exec または eval によるコマンドライン呼び出しを利用している。一方で、各波形処理ルーチンに対して、入力波形および出力波形を引数指定し解析パラメータをオプション指定できる各実行モジュールを用意している。

これにより、例えば Fig. 19 に示すような常時微動計測結果の分析を行う場合には、予め処理およびレイアウトを Script で記述したボタンを用意しておき、GIS 上から Command を呼び出し、さらに他のボタンを利用することにより Interactive に種々の波形解析を行うことを可能としている。

3 活用事例

Fig. 3 の中のメニューにより、様々な地盤・建物情報の広域的把握が可能となる。以下にその利用例を示す。

3.1 キャンパス全体の地盤情報

- 1) 東山キャンパスの地形

Fig. 5, Fig. 6 に示す年代の異なる等高線から、盛土厚は最大 5m 程度であるなど地盤改良の様子を把握できる。また、Fig. 6 より、地下水が古地形と対応して谷筋に沿って池に流れ込むという地下水脈の全体像が把握できる。これらは施工計画に役立ち、液状化の検討の重要な資料にもなる。Fig. 20, Fig. 21 に示す三次元表示により、地勢の変化や地盤改良の様子がより把握し易くなる。また、地中の可視化も可能となり、建物を加えれば景観を考える上で有用である。

2) 各地層の標高と深さ

Fig. 7 は、八事層と呼ばれる洪積層の上面位置標高を示したものであるが、左上の方を見ると、標高 30m 前後になっている中で一部だけ標高 26m 以下となっていることが分かる。周辺のボーリング情報や地層断面図との比較を行った結果、この地点のデータは地層の判断が一層ずつ下にずれ込んでいることが判明した。このように、調査時の判断ミスや誤入力などを早期発見する上でも有効である。又、各地層の深さ別に色分けすると、キャンパス内の支持基盤深さが分かり、基礎構造設計時の基本資料となる。

3) 卓越周期

回帰式に基づく推定式¹²⁾を用いて、ボーリングデータから S 波速度、単位体積重量、減衰定数を推定し、1/4 波長則によって地盤の卓越周期分布の概略を予測できる (Fig. 8)。これらは、地震時の地盤挙動予測の資料となる。また、路面の動荷重、地盤-建物の相互作用システム、床の各周期特性などを組み合わせることにより、精密機器の振動障害のアセスメントが可能となる。

3.2 キャンパス全体の建築物情報

1) 精密機器の振動問題

振動を嫌う精密機器マップを Fig. 9 に示す。これを、大型実験施設や道路位置と併せて相互に比較検討することにより、精密機器や実験施設の適正配置の基礎資料とすることができる。

2) 建物の耐震問題

耐震診断マップ (Fig. 10) では、建て直しや補修が必要な建物がかかるので、キャンパスの改築計画に役立つ。また、年代 (Fig. 11) や階数 (Fig. 12) との相関が高いことが分かり、 I_s 値が無い建物についても、建設年代別マップと階数別マップから推定することができる。

3.3 地盤・建物の個別情報

本システムでは、Fig. 13 に示すように、名古屋大学全体図上のボーリング地点をクリックすると、ボーリング柱状図や推定 S 波速度構造¹²⁾、PS 検層データなどが表示される。そして、伝達関数ボタンを押すと、重複反射理論による地盤の調査最下層から地表面への伝達関数を求めることができる。

一方、建物オブジェクトをクリックすると、その建物の属性値が表示され (Fig. 16)、調査メニューにより各階 I_s 値 (Fig. 17)、現況振動振幅値の時間変化 (Fig. 18)、常時微動記録 (Fig. 19) などを表示できる。常時微動記録などの波形データは、Wavish 上に表示されるので、そこから波形分析を行うことも可能であり、各建物の固有振動数や減衰定数の同定をインタラクティブに行うことができる。

4 まとめ

本編では名古屋大学東山キャンパスの振動問題に関するデータベースの構築、Tcl/Tk を用いた簡単な GIS の構築とその活用例を報告した。本システム程度の規模であれば、廉価で実用的なオブジェ

クト指向的 GIS を手軽に構築でき、施設計画、環境アセスメント、地震防災計画、耐震性把握などの支援システムに拡張可能である。また、システムの構築にはフリーソフトのみ使用したので、自由に配布可能であり、他の施設群への適用も容易と考えられる。

今後は強震観測システムとの統合や、想定地震に対するキャンパス内の建物の被害予測などを取り入れ、さらに、名古屋市や全国を対象とした GIS⁹⁾ とリンクして行く予定である。

謝 辞

データベースの構築に関し、名古屋大学大学院生、中川大氏、西阪理永氏、小出栄治氏の協力を得た。学内データ入手に関しては、名古屋大学施設部の上坂壽治氏、建築学科の竹下純治氏、佐野寿久氏に多大な協力を頂いた。付して謝意を表する。

参考文献

- 1) 名古屋大学自己評価実施委員会：明日を拓く名古屋大学 2 - 教育改革と大学院重点化 (1994~1995) -, 名古屋大学
- 2) 中川大, 福和伸夫：常時微動を用いた中低層 SRC 構造物の振動特性の階数依存に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B 編, pp. 629~630, 1994
- 3) 中川大, 福和伸夫：構造・基礎・地盤条件が RC 系構造物の振動性状に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B 編, pp. 343~344, 1995. 8
- 4) 福和伸夫, 西阪理永, 浅野三男, 多賀直恒, 寺村彰：自動車走行外乱による地盤の振動性状に関する研究-実測記録の分析と薄層法によるシミュレーション解析, 構造工学論文集, Vol. 39 B, pp. 95~104, 1993
- 5) 建設省住宅局建築指導課：改正版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説, 日本建築防災協会
- 6) 石田栄介, 福和伸夫, 荒川政知：オブジェクト指向データベースを利用した名古屋大学東山キャンパス振動環境分析支援システムの構築, 東海支部研究報告集, Vol. 33, pp. 265~268, 1995. 2
- 7) 松田晃一：基礎から応用まで X ウィンドウ実践技術講座, ソフトリサーチセンター, 1992
- 8) John K. Ousterhout: Tcl and the Tk Toolkit, Addison Wesley, 1994
- 9) 石田栄介, 大平久司, 福和伸夫, 小磯利博, 多賀直恒：都市地震防災支援のためのオブジェクト指向データベースの構築・活用に関する研究, 第 17 回情報・システム・利用・技術シンポジウム, 1994
- 10) 福和伸夫, 小磯利博, 石田栄介, 多賀直恒：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, 第 9 回日本地震工学シンポジウム, pp. 703~708, 1995
- 11) 松島信一, 石田栄介, 福和伸夫, 西阪理永, 徳武茂隆, 田中清和：EWS を用いた波形解析システム, 第 17 回情報・システム・利用・技術シンポジウム, pp. 61~66, 1994
- 12) 小磯利博：名古屋地域における地盤構造の推定とその応用, 名古屋大学平成 3 年度卒業論文, 1991

[1995 年 6 月 30 日原稿受理 1995 年 8 月 25 日採用決定]

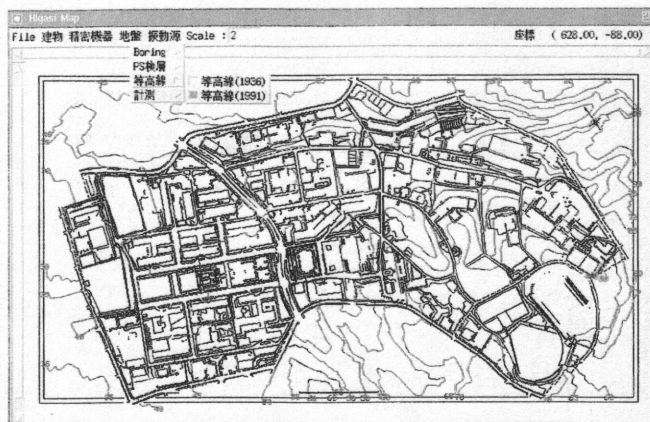


Fig. 5 1991年の等高線

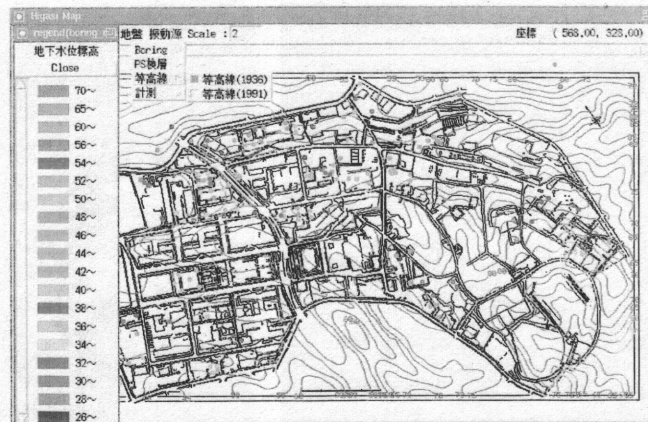


Fig. 6 地下水位の標高と1936年の等高線

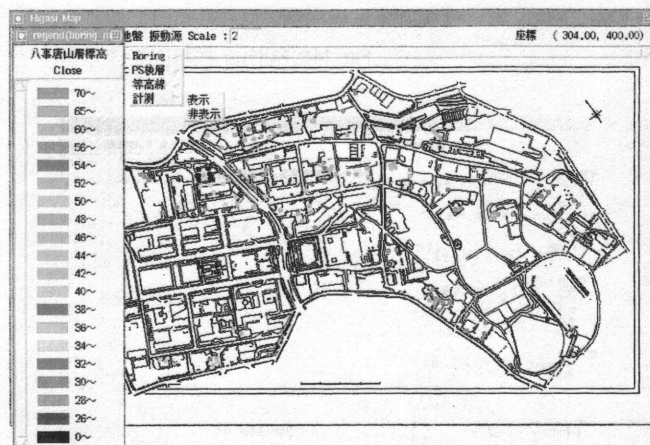


Fig. 7 地層年代ごとの標高

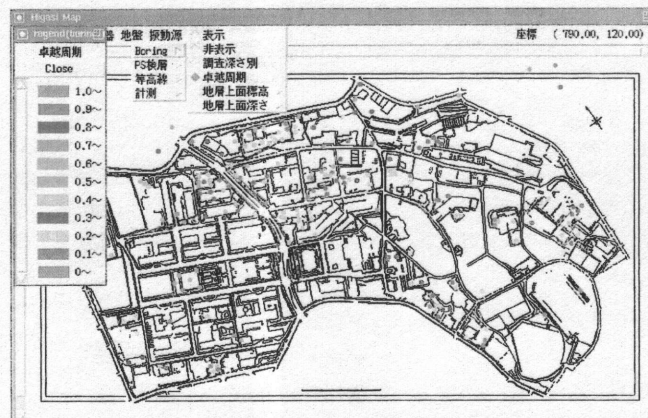


Fig. 8 卓越周期

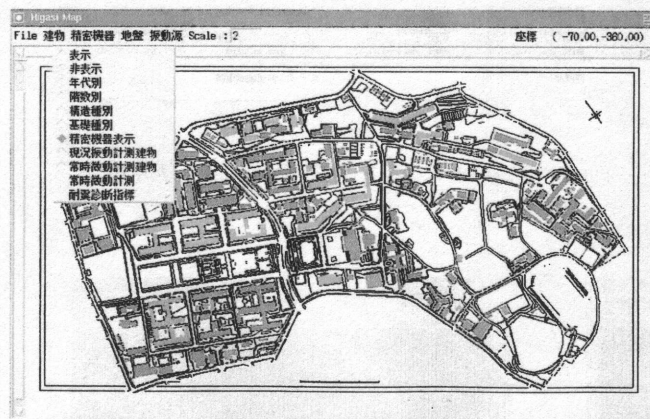


Fig. 9 精密機器設置建物

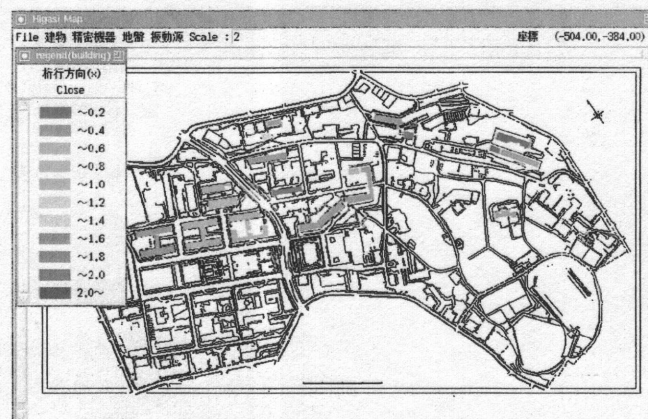


Fig. 10 建物Is値(桁行方向)

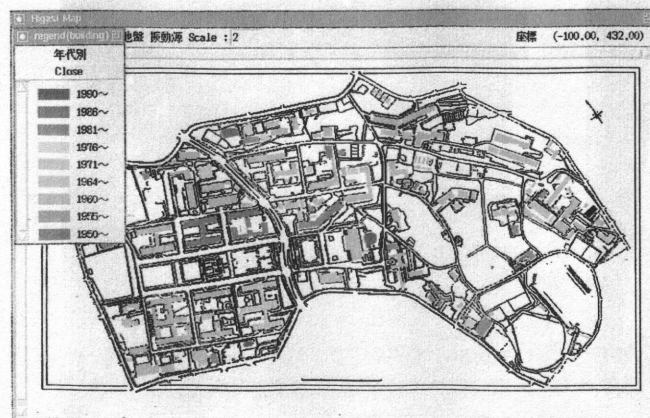


Fig. 11 建設年代

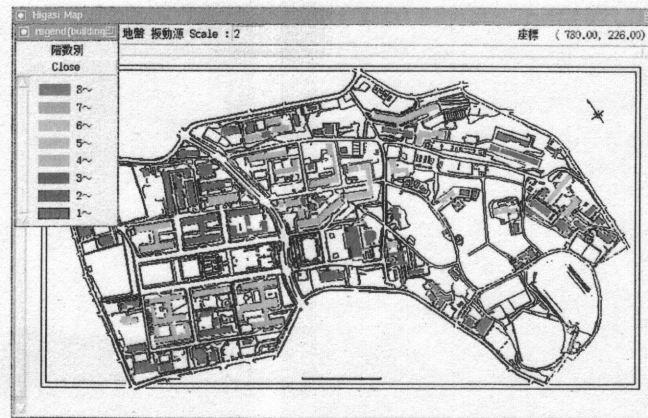


Fig. 12 階数

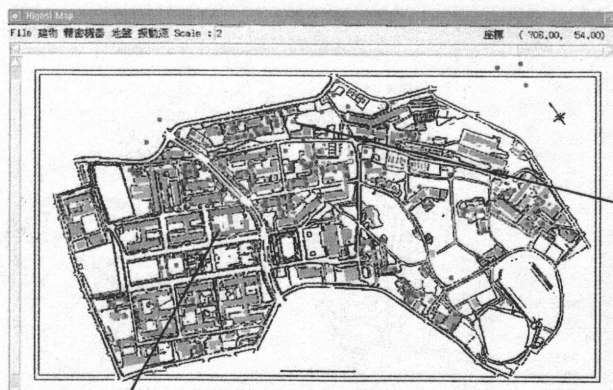


Fig. 13 マウスによるアイテム指定例

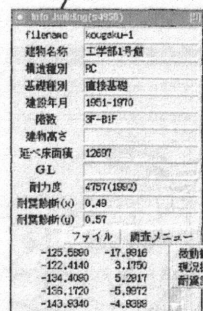


Fig. 16 建物属性表示例

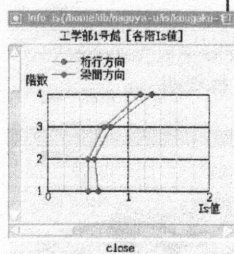


Fig. 17 各階 Is 値の表示例

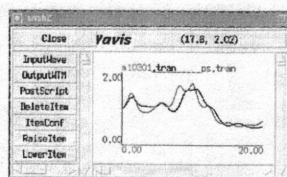


Fig. 15 Wavish による伝達関数表示例

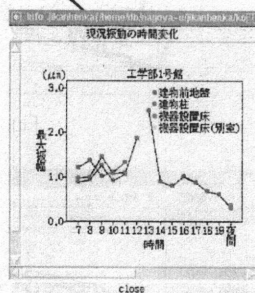


Fig. 18 現況振動レベルの表示例

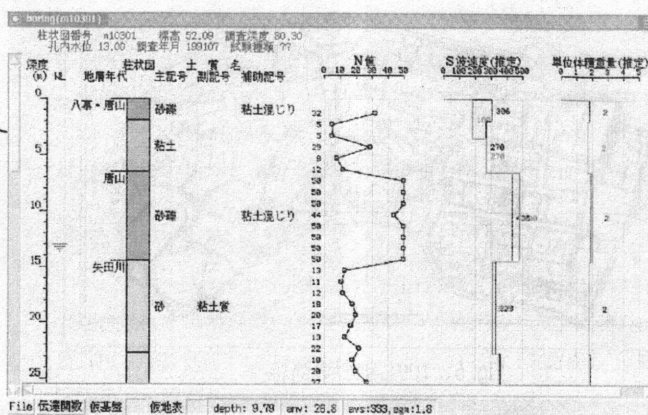


Fig. 14 boring 柱状図の表示例

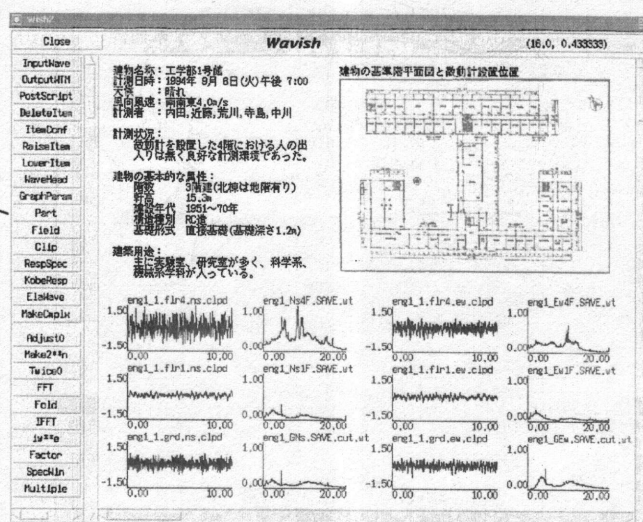


Fig. 19 Wavish による計測波形解析結果の表示例

[地形凡例]

- 黄色: 1936 年の地形
- 緑色: 1991 年の地形

[ボーリング地層凡例]

- 白色: 表土
- 赤色: 沖積層
- 桃色: 八事・唐山層
- 水色: 矢田川累層

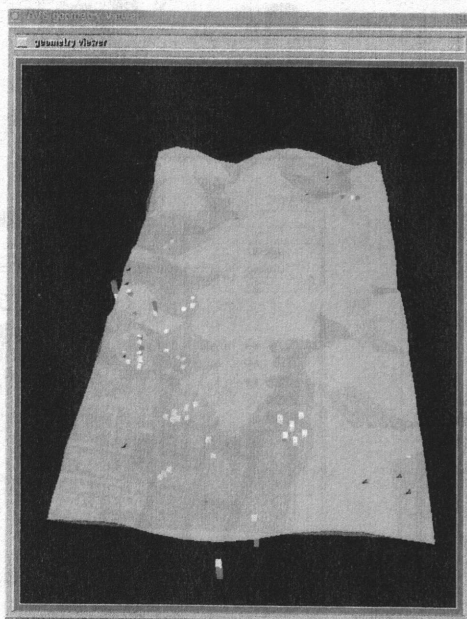


Fig. 20 AVS による地形 3 次元 Graphic

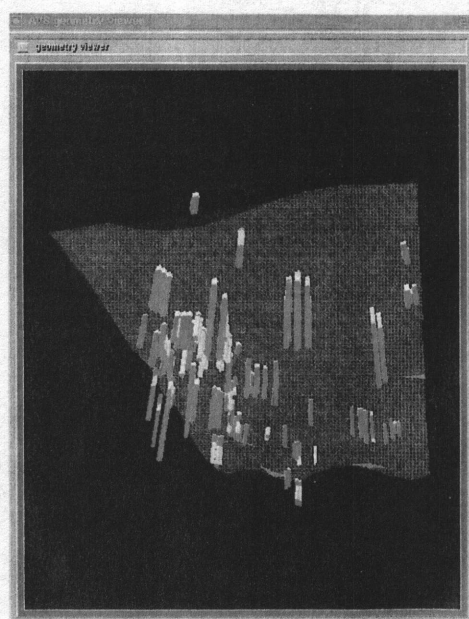


Fig. 21 AVS による地下構造の 3 次元的把握