都市地震防災に関わる情報活用のためのGIS構築に関する研究 —名古屋市への適用事例—

石田 栄介、福和 伸夫

A GIS for the Effective Use of Information concerning for Earthquake Disaster Prevention - Application to Nagoya City -

Eisuke ISHIDA and Nobuo FUKUWA

Abstract: A GIS is developed for the effective use of information for earthquake disaster mitigation. Data structures on information of disaster mitigation including fault data, soil data, and building data are analyzed using object-oriented approach. The dependency and spatial relationship among data sets are clarified, and databases are established. The GIS is designed as an integration system of a map system, data analysis systems and a wave analysis system. The GIS is implemented using X-Window and the application to earthquake disaster mitigation for Nagoya, Japan is presented.

Keywords: GIS, GUI, Object-Oriented Design, 地震防災 (Earthquake Disaster Prevention)

1. はじめに

都市型震災に対応するには、事前の被害想定、直後の迅速な被害把握、事後の復興支援が重要となる。これらを適切に行うには、地域に影響を与える地震を評価し、その地震に対する地盤や建物の挙動を把握する必要がある。このためには、地震発生源に関する情報、地域の地盤情報、建物情報などが必要であり、避難や救援、二次被害予測のためには、公共施設、ライフラインなどの耐震性に関する情報も必要となる。都市地震防災では、これらの多種多様なデータを適切に活用する必要がある。

一般に、これらの情報は膨大かつ多岐にわたるため、必要な情報を正確・迅速に引き出すには、コンピュータの利用が必要不可欠である。また、災害

に強いシステムを目指すためには、情報の体系を明確にした上で、ネットワークを活用した分散型の階層システムを構築することが肝要である。このためには、ネットワーク環境に優れ、高速処理が可能な環境と、GISを中心とするビジュアルでインタラクティブな支援システムの構築が必要となる。

また、近年の地震防災研究では、太田(1994)、野田・目黒(1994)など、地震発生直後に被害を予測し、避難・救援・二次災害防止を行うといった、リアルタイム地震防災が必要であるとの認識が高まってきた。リアルタイム地震防災を行うためには、予め都市情報を整備し、地震発生から地域の被害予測とその対応策までの筋道をシステムとして構築しておき、GISを介して分析結果が地図上で即座に可視化されることが前提となる。また、碓井ら(1995)のように、復興事業でGISを活用するためには、被害状況を素早くGIS上に数値化できる枠組みと、住宅地図や家屋台帳等の基本資料の整備が必要である。

本論では、地震発生源に関する情報、地盤情報、

石田：〒464-01 名古屋市千種区不老町
名古屋大学工学部建築学科 福和研究室
Fukuwa Lab., Dept. of Architecture, School of Engineering, Nagoya Univ.
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, Aichi 464-01, Japan
Tel. 052-789-4652 Fax. 052-789-3768
E-mail: ishida@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp

都市情報など、個別に存在する情報を、都市地震防災の観点から整理し、種々の分析や対策を行っていく上での統合的な支援システムの構築を行う。地盤情報および都市情報は、名古屋市およびその周辺地域を対象地域としている。

本システムは、福和ら(1994)で提案した考え方に基づき、オブジェクト指向型GISとして新たに構築した。即ち、データは、ただ可視化されるだけでなく、地図上でピックアップが可能な「分析対象オブジェクト」として整備されている。また、各種分析手法についても、分析パラメータの変更や新たな分析手法の追加が容易となるように、「メニューボタン」としてオブジェクト化されている。これにより、分析対象を地図上で指定し、分析手法をメニュー形式で選択しながら、各種の分析を行い、分析結果が即座に可視化されるといった、ビジュアルでインタラクティブなリアルタイムシステムが実現されている。

本システムは、X-Window Release 6上で、X-lib、X-toolkit、Tcl/Tk を利用して自主開発したものである。従って、無償配布が可能なシステムであり、新たな分析システムとの融合など、ソースレベルでの拡張も可能である。

2. データベースの構築

地震動は、震源、伝播経路、表層地盤の特性により決定される。地震防災では、想定地震と伝播経路をもとに作成した基盤面地震動に、サイトごとの表層増幅特性を掛けて地表面地震動を求め、これに対する都市の耐震性を検討し、対策を講じる必要がある。本節では、地震防災に関わる情報を図1のように大別し、それぞれのデータ構造をOMT図法(Rumbaughら、1991)を用いて整理し、データベースを構築する。

図1 地震防災情報の分類

2.1. 震源・伝播経路に関する情報

基盤面地震動を作成するには、地震源の想定と、サイトまでの伝播経路が必要である。地震源の情報としては、最低でも、震央位置、震源深さ、マグニチュードが必要であり、活断層データ(図8A)や過去の地震データ(図8D)が利用される。また、サイトが断層近傍である場合、断層の広がり、破壊伝播過程などの影響は無視できない。過去の地震の中でも主要な地震については、佐藤(1989)により詳細な断層モデル(図8B)がまとめられており、断層の破壊伝播などを考慮した地震動の作成に利用できる。また、強震観測記録があれば、そのまま地震動として利用することや、断層スケーリングを考慮して、半経験的手法により大地震時の地震動を推定することも可能である。

これらの情報は、活断層-震源-強震波形といった形で、互いに密接に関連するので、これらの情報を統合的に利用するために、活断層データ、過去の地震データ、強震記録データといった個別の数値情報を収集するとともに、佐藤(1989)による断層パラメータをデータベース化し、図2のような体系のもとで統合型データベースの構築を行った。これにより、断層モデルなどの詳細情報がある場合は緻密な手法を用い、詳細情報がない場合でも、他のデータを利用して簡易的な手法で代用するなど、データの有無や要求精度に応じた最適手法を選択し実行することが可能となる。

図2 震源・伝播経路に関わる情報

図4 家屋に関する情報

2.4. 都市情報

道路・鉄道などの交通網の把握は、救援計画を行う上で不可欠である。避難・救援ルートを明確化するとともに個々の耐震性を把握し、必要に応じて補修計画を立てなければならない。また、電気、ガス、水道など、ライフラインの把握は、2次災害防止や復旧計画において重要である。人的被害を予測するためには、昼夜の人口分布を把握する必要がある。また、避難所、病院などの公共施設の耐震性についても検討しておく必要がある(図5)。

図5 都市情報

そこで、本システムでは、国土数値情報を利用することにより、道路、鉄道、公共施設等の都市情報を整備した。市区町村行政界や海岸線についても国土数値情報を活用している。さらに数値地図10,000やゼンリンの住宅地図も活用しており、大領域の分析から微視的領域の分析まで、地図上の詳細な位置や都市構成を考慮しながら分析を行うことができる。

3. システムの構築

本節では、前節で構築したデータベースを効率良く活用していくために、著者らが構築した都市地震防災支援GISについて説明する。

3.1. システムの構成

地震防災に関する情報は多岐に渡り、これらを如何に組み合わせるかが、地震防災上、最も重要な観点となる。従って、各種オブジェクトが、適切な情報を与える形で同一の地図上に表現され、各々のオブジェクトが必要に応じて詳細分析を行い、結果を即座に地図上に表現するといった、即時的でインタラクティブな枠組みが望まれる。また、強震記録や伝達関数など、各種オブジェクトが持つ波形情報を掛け合わせることで、新たな情報を導出できるが、そのためには、各種の分析システムと融合した汎用的な波形分析システムが望まれる。

本システムは、地震防災統合GISとして、

1. 地図システム
2. 個別システム
3. 波形分析システム

といった複数の独立したシステム群から構成されている。システム間の情報の流れを図6に示す。

図6 システム間の情報の流れ

3.2. 地図システム

地図システムは、各種オブジェクトを地図上に配置するシステムである。これにより、オブジェクト間の位置関係が把握でき、マウスクリックによって個々のオブジェクトの分析システムを呼び出すことが可能となる。

図形情報は、図8A、Bのような、大きな領域を一覧するためのデータから、図9Cのような、微視的な情報を把握するためのデータまで様々である。これらの多岐に渡るデータを、同じGISで活用するためには、データ種別ごとに属性条件、倍率条件などの表示パラメータを設定する必要がある。本システムでは、個別クラスごとに表示パラメータ値を変更することが可能であり、膨大なデータの中から、各種の属性条件でオブジェクトが検索できる。

地図システムと個別システムとの関係を図7に示す。地図システムでは、図8のA→C、C→Eに示すように、マウスドラッグによって、自由に拡大・縮小・移動を行うことができるが、これらの命令に対して、地図システムは描画領域を計算した上で各個別システムに再描画命令を伝えるだけであり、実際の描画は各個別システムが行う。また、図8Cに示すように、地図上のオブジェクトをマウスでピックアップすることができるが、この命令に対しても、地図システムはマウス指定点座標を引数に各個別システムに命令を伝えるだけで、実際のオブジェクトのピックアップ認識は個別システムが行う。即ち、新たな個別システムを追加する場合にも、地図システムに大幅な変更はなく、各々の個別システム内で、自由にパラメータを設定し、自由に描画できるといった、オブジェクト指向型のシステム設計となっている。

3.3. 個別システム

個別システムは、個々の情報から得られる新たな情報を導き出すための理論や経験式に基づく解析を行うためのシステムであり、図7に示すように、活断層システム、地盤システム、家屋システムなど、それぞれの分析対象データベースに応じて構築され

図7 データ構成

ている。これらのシステムは、地図システムからオブジェクトを指定することにより呼び出され、波形解析システムなど他のシステムとパラメータの授受を行いながら分析を進める。分析結果を地図システムにフィードバックすることも可能である。

表層地盤システムの例を図9C～Fに示す。地図システムでボーリング地点の表示を行うことにより、任意の地層断面を指定することができる。地層断面を指定すると地層断面システムが呼び出される。さらに個別のボーリングを指定することにより、ボーリングシステムが呼び出され、地盤の増幅特性分析システムへと連続的な分析を行うことができる。

3.4. 波形分析システム

波形分析システムは、常時微動記録、強震観測記録などをインタラクティブに引き出し、波形分析を行うシステムである。振動現象の適切な把握のためには、地盤・構造物の振動解析結果と実測記録を相互に分析することが肝要である。本波形分析システムは、図8H、図9Fに示すように、様々な局面で呼び出され、個別システムから要求された波形分析を行う。また、解析ボタンによってインタラクティ

ブに各種解析を行うことも可能であり、総合的な波形解析ができる。FFTなどの基本的な波形解析ツールは予め解析ボタンとして組み込まれており、新たな解析ボタンの追加・拡張も容易である。

4. 活用事例

これより、本地震防災統合GISの活用事例を示す。本システム全体における、現状でのデータベースメニューは、図8Aの「データベース」ボタンの下に表示されている。

4.1. 基盤地震動の作成

基盤地震動作成における震源・伝播経路情報の活用事例を図8に示す。図8A、B、Dは、活断層、地震断層モデル、過去の地震情報の表示例であり、図8Cは、領域を拡大して複数のデータクラスを重ねて表示した例である。

図8E～Hは、これらの情報を活用した、経験的手法による基盤面地震動作成例である。マウス指定した過去の地震と対象サイト(図8E)をもとに、経験式に必要なパラメータを導出し(図8F)、基盤面での速度応答スペクトルを推定する一方、地域の位相特性としては、観測地点システム(図8G)の強震記録波形を利用し、波形分析システム(図8H)でモニタリングしながら基盤入力地震動の収斂計算を行った例である。

4.2. 地盤特性の把握

名古屋市を例とした、サイトの地盤特性把握のためのデータ活用事例を図9に示す。図9A、Bは、それぞれ、ボーリング情報から得られる沖積層基底面標高、および名古屋地盤図に記載されている等高線からデジタイジングした沖積層基底面標高であるが、両者はよく対応していることが分かる。図9Dでは、マウスで指定したメッシュ位置の地層断面図に層情報とボーリング情報を重ねて表示しているが、この図からも両データの対応性を把握することができる。地層断面図から任意のボーリングをマウスでクリックするとボーリング柱状図の詳細情報が呼び出される。この時、PS検層情報とボーリング属

性情報との重回帰分析による推定式を用いて、S波速度構造が推定される。ボーリング柱状図の伝達関数ボタンを押すと、成層仮定の重複反射解析により、地盤の伝達関数が推定される。この結果が波形解析システム(図9F)に取り込まれ、先に求めた基盤地震動と掛け合わせることで、地表面での地震動が予測される。

これらの処理を名古屋市内全メッシュについて行うことにより、地盤の卓越周期マップ(図9G)、増幅率マップ(図9H)、最大加速度マップなどが作成される。ただし、図9G、Hは、地震基盤に関する情報の評価法が不完全であるため、各ボーリング情報の最下層を地震基盤として計算した出力であり、調査深さの影響を受けてしまっている。これらの評価法の充実は今後の課題としたい。

4.3. 建物の分布

図10に地域の家屋情報把握のためのデータ活用事例を示す。ここでは、行政ごとに集計された統計量を面積比でメッシュに分配した値、もしくは、それらの比を色分けした分布図の例を示す。図10Aは、メッシュごとの全物件数であり、図10B～Dは、それぞれ、全物件数に対する鉄骨造物件、RC造物件、木造物件の割合である。図10Eは全RC造物件に対する1970年以前のRC造物件率マップであり、図10Fは木造全物件に対する1950年以前の木造物件率マップである。いずれも平成5年の名古屋市家屋台帳を基にした集計値である。

図10Dを見ると、名古屋市西部に木造家屋が多く分布し、沖積層が厚くなることも考慮すると、かなり危険と考えられる。また、図10Fを見ると、旧市街地から、名鉄沿線に沿って木造家屋が古く、耐震診断、補強の必要性のある木造家屋が多いと思われる。

このように、本システムでは、構造種別、年代、階数、用途について任意の組合せの集計表示が可能であり、既存不適格建物の棟数や割合の把握により、地域の耐震改修計画に役立てることができる。また、現状では、メッシュに分配した値しか表示できないが、今後は行政ポリゴンごとの表示を可能と

し、行政単位での補修計画に利用できるようにして
いく予定である。

5. まとめ

地震防災GISの構築により、国、県、市、地域、
など、様々な行政レベルでの地震防災において共通
の枠組みが与えられると考える。これらのシステム
が各行政単位をまたいで共有され、データ構造が統
一化されれば、行政単位での情報分散管理体制が促
進される。分散した情報をインターネットを介して
授受できれば、地震防災情報の分析環境は飛躍的に
改善されると考える。

今後は、道路、鉄道、水利などの都市情報や、家
屋情報、人口分布、過去の地震被害などの情報を充
実し、各種危険度解析手法を組み込んでいく。この
時、オブジェクト構造の分析を詳細に行うことによ
り、簡易手法から詳細手法までを各種取り揃え、即
時性と要求精度を考慮した最適解析手法を選択・実
行するエキスパートシステムへと拡張していく。ま
た、本年度本学に設置される強震観測システムと融
合し、リアルタイム地震防災のためのGISへと拡張
していきたい。

謝辞

本システムの構築に関して、名古屋大学大学院生
の荒川政知氏、小出栄治氏、大平久司氏、鹿島・情
報システム部の小磯利博氏、九州大学の多賀直恒教
授の協力を得ました。付記して謝意を表します。

参考文献

- 碓井照子・亀田弘之・角本繁 (1995) 阪神・淡路大
震災の復興過程における瓦礫撤去状況調査から
みた神戸市長田区における防災GIS導入効果の
分析「地理情報システム学会学術研究発表大
会」、4、39-42.
- 太田裕 (1994) 強震動情報と地震防災「地震」、
47、113-136.
- 佐藤良輔 (1989) 『日本の地震断層パラメータ・ハ
ンドブック』、51-65、鹿島出版会.
- 土質工学会中部支部 (1988) 『最新名古屋地盤図』、
20-36、名古屋地盤図出版会.

- 野田茂・目黒公郎 (1994) リアルタイム地震工学を目
指して「地盤振動シンポジウム」、22、95-112.
- 福和伸夫・石田栄介・荒川政知・山田耕司 (1996)
GISを用いた広域施設群の総合振動分析システ
ム「日本建築学会技術報告集」、2、192-197、(掲
載予定).
- 福和伸夫・小磯利博・石田栄介・多賀直恒 (1994)
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「日本建築学会地震
工学シンポジウム」、9、703-708.
- 松岡昌志・翠川三郎 (1993) 国土数値情報を利用し
た地盤の平均S波速度の推定「日本建築学会構
造系論文報告集」、443、65-71.
- Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., and
Lorensen, W., (1991) *Object-Oriented Modeling
and Design*: Prentice-Hall International.

図8 基底地震動作成におけるデータ活用事例

- A. (左図)
ボーリング柱状図における
沖積層基底面
標高
- B. (右図)
最新名古屋地
盤図における沖
積層の基底面
標高

C. 詳細地図とボーリング地点表示

詳細地図
表示パラメータ

前頁で推定した
基盤面地震動

F. 地表面地震動の予測

伝達関数の推定

全体に対して実行

D. 地層断面図

重回帰分析

$$V_s = 90.6 \times H^{0.12} \times N^{0.16} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.04 \\ 1.10 \\ 1.15 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 1.29 \\ 1.23 \\ 1.06 \\ 1.04 \\ 1.21 \\ 1.69 \\ 1.49 \end{bmatrix}$$

S波速度の推定

E. ボーリング柱状図の詳細表示

- G. (左図)
地盤卓越周期
マップ
- H. (右図)
地盤増幅率
マップ

図9 地域の地盤特性把握のためのデータ活用事例

図10 地域の家屋分布把握のためのデータ活用事例