

長野盆地における GIS を利用した地震防災システムの開発
 - 活断層を考慮した想定地震に対する地震危険度解析機能の作成 -
 Development of the system of the accident prevention in earthquakes
 with GIS on Nagano basin
 - Making the function of the analysis of the relative risk in earthquakes
 to supposed earthquakes about active faults -

田守伸一郎¹, 矢持耕太郎²

¹ 信州大学工学部社会開発工学科, 助教授 工博

Shin'ichiro Tamori, Dept. of Architecture Faculty of Engineering, Shinshu University, snowman@gipwc.shinshu-u.ac.jp

² 積水ハウス株式会社

Kotaro Yamochi, SEKISUI HOUSE CORPORATION

SUMMARY

The purpose of this study is to open out the system of the analysis in the relative risk of an earthquake and a disaster prevention with GIS on Nagano basin. This system has a database of the ground information, building information and the function of calculation in earthquake damages. This time, we make the function of showing target areas, showing boring data, calculation and showing the transfer function, judging the possibility of liquafaction, showing buildings data, and analysis of the relative risk in earthquakes. We think that this system is worth the simulation and the planning disaster controls by using usefully.

キーワード: GIS, 長野盆地, 活断層

Key words: GIS (Geographical Information System), Nagano basin, Active fault

1 はじめに

兵庫県南部地震において改めて明らかになったように、地震被害は地盤構造と極めて密接に関係している。したがって都市の地震防災や建築物の耐震安全性の問題を考える上で都市の地盤構造を解明し、都市内各地の地震動増幅特性を把握することが最重要課題となる。しかし、地盤の動的物性値に関するデータ(PS 検層や動的変形特性データ)は著しく不足しており、次善のデータである標準貫入試験データも十分にデータベース化される段階に至っていないのが現状である。またボーリング調査により求められた地盤物性値は地表から 50m 前後の浅部のデータであり、常時微動観測記録等に基づいて求めた深部の地下構造データと相互補完した地盤データベースが必要となる。くわえて、市街地の拡大や土地利用の多様化により、そのデータベースの作成には膨大な時間と労力が必要となることも問題点の一つである。

一方、兵庫県南部地震では、建物や道路橋、鉄道などさまざまな構造物や施設に被害が生じ、都市機能に支障を

来した。地震防災を考える上で、構造物の被害は我々の生活に密接な関係をもち、多くの人命にも関わる問題である。したがってその地域で起こり得ると考えられる地震を想定し、その際の構造物の被害状況を地盤の特性や構造物の強度等を考慮した上で評価し推定することは非常に重要であると考えられる。

以上のようなことから本研究の目的は、長野盆地という対象地域において、GIS というコンピュータ技術を利用しながら地盤の情報および建築物の情報をデータベース化し、さらにそのデータを活用し、想定地震による地震危険度解析機能を兼ね備えた総合的な地震防災システムを開発することにある。

ここでは、本研究によって開発された地震防災システムの各機能の内容の詳細および作成過程について報告する。

2 GIS の概要

GIS (Geographical Information System : 地理情報システ

ム)は、地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ(空間データ)を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にするコンピュータ技術である。

GIS とは

GIS の主な特徴として以下のものが挙げられる。

- ・情報の統合：GIS は「位置」という情報を介して、地理情報(地図情報)と地理的属性情報(統計情報)を統合する。
- ・情報の分析：異種の情報が GIS に取込まれ、空間的に関連づけられると、それらの関連性を分析することが可能になる。複数の地図を重ね合わせて新しい地図を作成したり、ある事物から等距離にある範囲を示したりなどのマップ操作的な解析も GIS の特徴の一つである。
- ・情報の効率的な伝達：GIS は、現象のパターンや隠れた因果関係まで、情報をビジュアル化することで効果的に伝えることができる。すなわち、データを操作することによって作り出した新しい情報を地図として目で見て理解することができる。

地震危険度解析における GIS の動向

GIS が地震危険度解析に利用される場面として大きく 2 つに分けることができる。

- ・研究への応用：GIS を研究に取り入れることで、地震危険度解析が取り扱う大量の情報を地理的属性情報として処理することができる。また、データを分析・解析等で操作した結果が地図として表現されることで効率よく研究成果を得ることができる。
- ・防災計画をになうシステムの構築：震災時の各種危険度マップ等を作成することで、危機管理計画の改善およびリアルタイムの救援活動を支援する。また、震災後の復旧計画の決定を支援する。

震災時における実際の被害は地震の揺れだけでは予測することができない。液状化による建物崩壊やライフライン被害によって生じる避難活動への障害、火災消火の遅れなどの二次的災害が大きな割合を占めるといわれている。都市に発生する多様な危険を予測して被害を緩和するために、GIS を利用した防災システムの研究・開発がおこなわれている。

3 長野盆地における地震防災システムの開発

本研究では、GIS を利用して長野盆地における地震防災システムを開発した。本システムは Microsoft Visual Basic を開発アプリケーションとし、長野盆地における地盤情報データベースとしての機能のほかに対象地域表示、ボーリングデータ表示、伝達関数計算・表示、液状化判定、建築物データ表示、地震危険度解析といったさまざまな解析機能を搭載している。Fig. 1 は本システムの概要を図に示している。以下にそれらの機能の詳細な内容と作成過程について報告する。

3.1 対象地域表示機能

対象地域の設定およびベースマップの作成

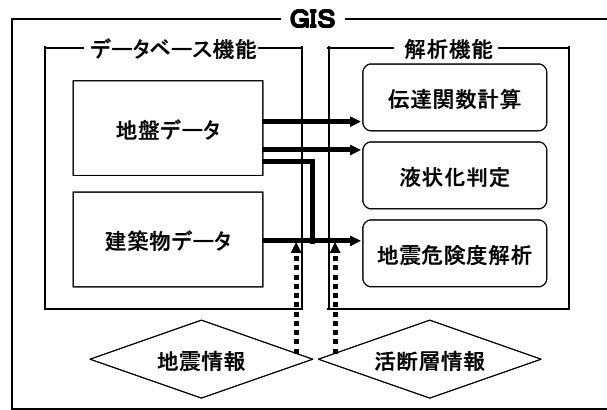


Fig. 1. Brief of this system

本研究では、システムを開発する際の対象地域を長野盆地に設定し、システムの活用性を考慮した上で盆地周辺の山地については対象地域から除外した。対象とする地域をシステム上で表示する上で、ベースとなる地図画像が必要となる。本研究では、システム実行時の最初に表示される長野盆地を一覧する地図画像のベースマップには国土地理院発行の「数値地図 25000 (行政界・海岸線) 全国」を使用し、その画像を 14 の地域に分割する。また、各 14 の地域をマウスクリックすることにより表示される拡大地図画像には国土地理院発行の「数値地図 25000 (地図画像) 長野版・高田版」を使用した。

メッシュの設定

本研究におけるメッシュとは、ベースマップとなる地図画像をグリッド上に分割したもので、個々のメッシュはシステム上においてそれぞれのデータをも一つの単位となる。本研究では、国土庁により定められている標準地域メッシュ¹⁾の 4 次メッシュを使用した。「標準地域メッシュ」とは、一定間隔の経緯度によって地域を分割する方法の一つであり、本研究では、1 メッシュサイズを基準地域メッシュである第 3 次メッシュ(約 1km×1km)を縦横それぞれ 2 等分した分割地域メッシュである 4 次メッシュ(約 500m×500m)に設定し、上記の 14 の地域それぞれ

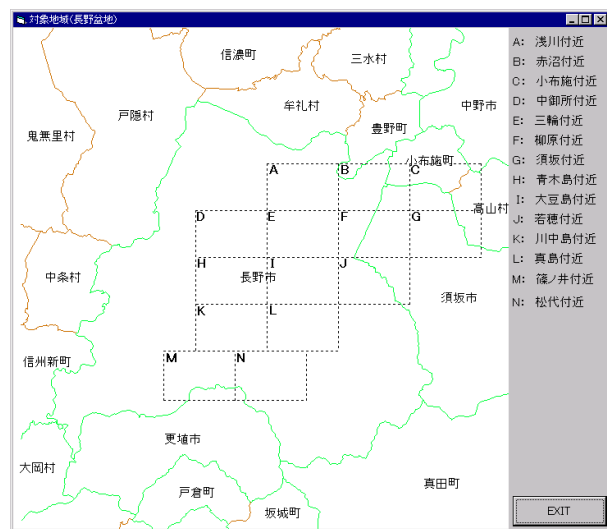


Fig. 2. Screen of target area (Nagano basin)

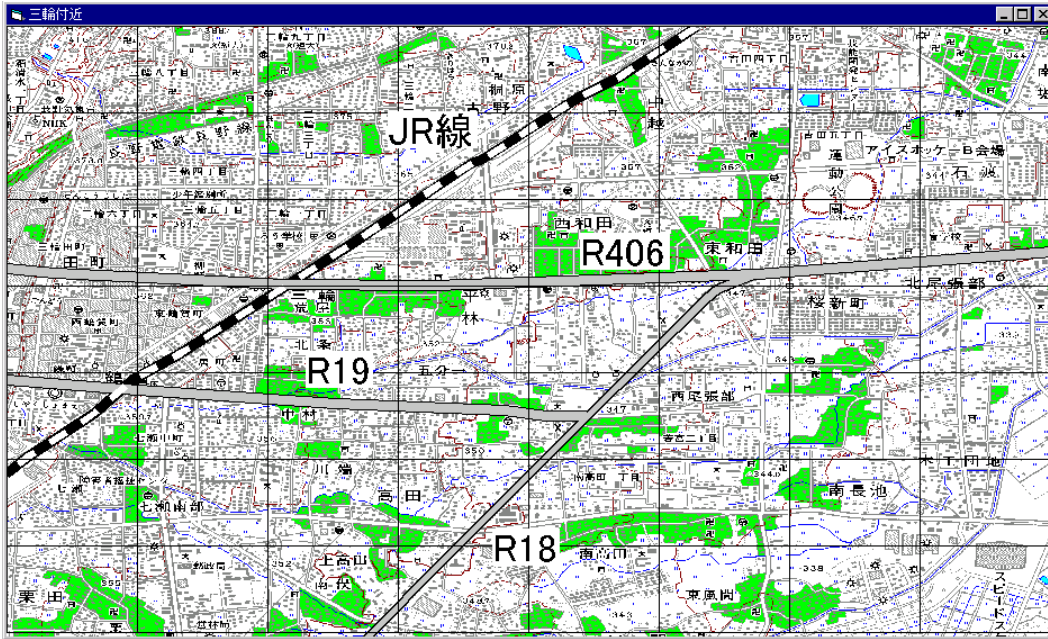


Fig. 3. Screen of target area (scale up Fig. 2.)

にメッシュ分割をおこなった。本研究で標準地域メッシュを使用した理由は、標準地域メッシュコードを利用している建築物データベース(建築物の構造形式、建築年代等を標準地域メッシュの4次メッシュごとにまとめたデータベース)との併用を考慮したためである。

以上により作成された対象地域の地図画像のうちシステム実行時の最初の画面である対象地域(長野盆地)一覧画像をFig. 2.に示す。この画面上の1地域をマウスクリックすることにより、

各地域の拡大地図画像が表示されるが、その際の表示画面をFig. 3.に示す。なおFig. 3.については、印刷による不鮮明さを考慮し、鉄道や国道等を書き加えて改良したものである。

3.2 ポーリングデータ表示機能

分割したメッシュそれぞれに対応したポーリングデータを入力し、それを表示させる。システム実行時に表示される内容は深度(m)、N値(回)、密度(t/m^3)、土質名、地下水位(m)および入力データの数値から自動計算されるS波速度(m/s)の6種類

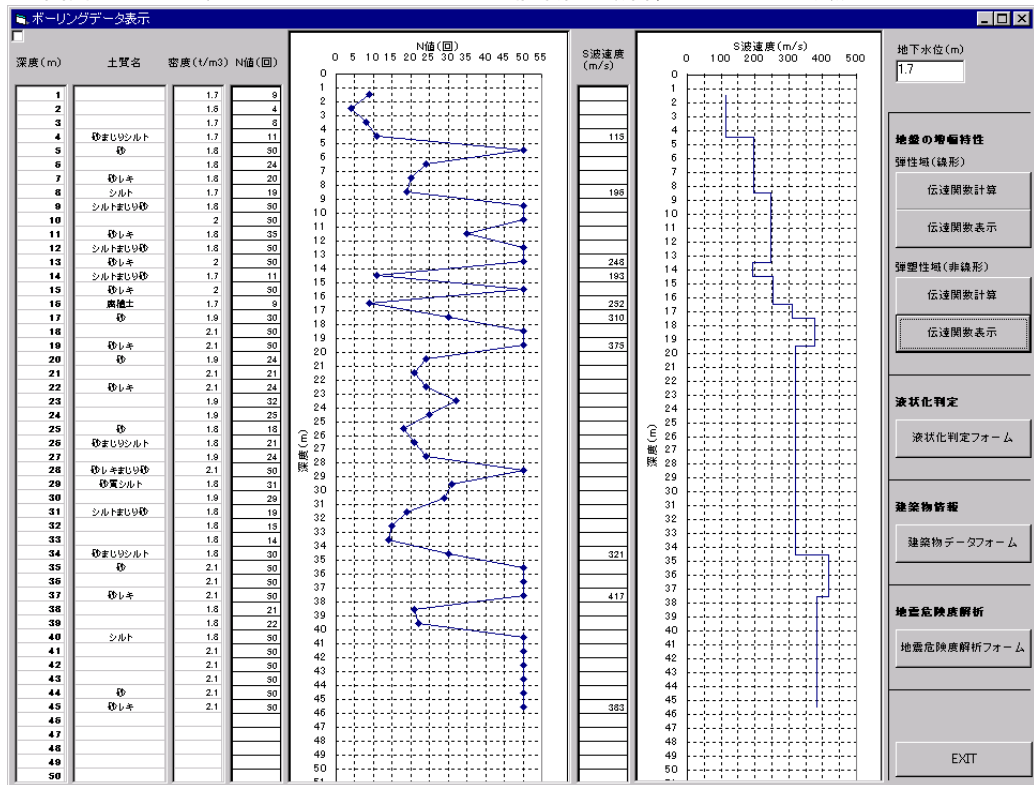


Fig. 4. Screen of showing the boring data

である。これらのデータは、長野市地盤図²⁾および長野市内の地質調査会社から提供していただいたボーリングデータにより入力をおこなった。また、データを入力していく際に一つのメッシュに複数のボーリングデータが存在する場合があるが、それについては複数のデータの中で最もその地点の地盤の特性をよく表現しているもの、具体的には最も

深くボーリング調査をおこなっているデータを使用した。以上の手順で入力されたボーリングデータがシステム実行時に表示される画面はFig. 4.のとおりである。

3.3 伝達関数計算・表示機能

本システムにおいて計算される地盤の伝達関数(増幅特性)には、地盤が線形の範囲、つまり地動が微小で、せん断弾性係数や減衰係数のひずみ依存症が無視できる範囲内(せん断ひずみがおよそ0.01%程度)の弾性域の場合と、地盤が非線形の場合、つまり地盤が強震して地盤のひずみ

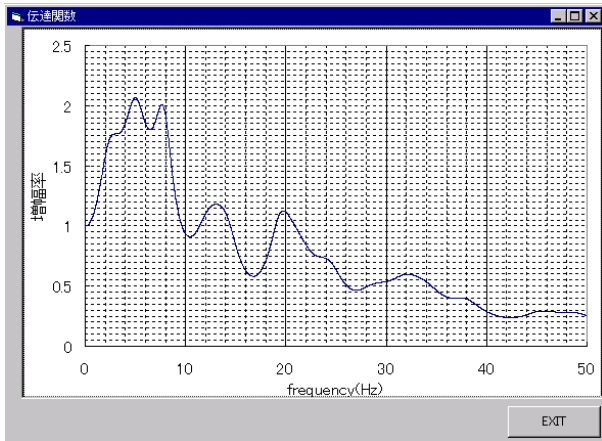


Fig. 5. Screen of showing the transfer function
 が無視できない弾塑性域の場合の2種類がある。本システムにおいては、弾性域と弾塑性域の両方の伝達関数が計算できるプログラムを作成した。

具体的には、Visual Basic の Shell 関数によって Fortran プログラムの実行ファイルを起動させるが、このとき弾性域と弾塑性域のそれぞれのプログラムを場合によって選択し、計算を実行する。その際、Visual Basic のプログラムによって入力ファイルの内容を表示されているポーリングデータに合わせて随時更新する。その後 Fortran によ

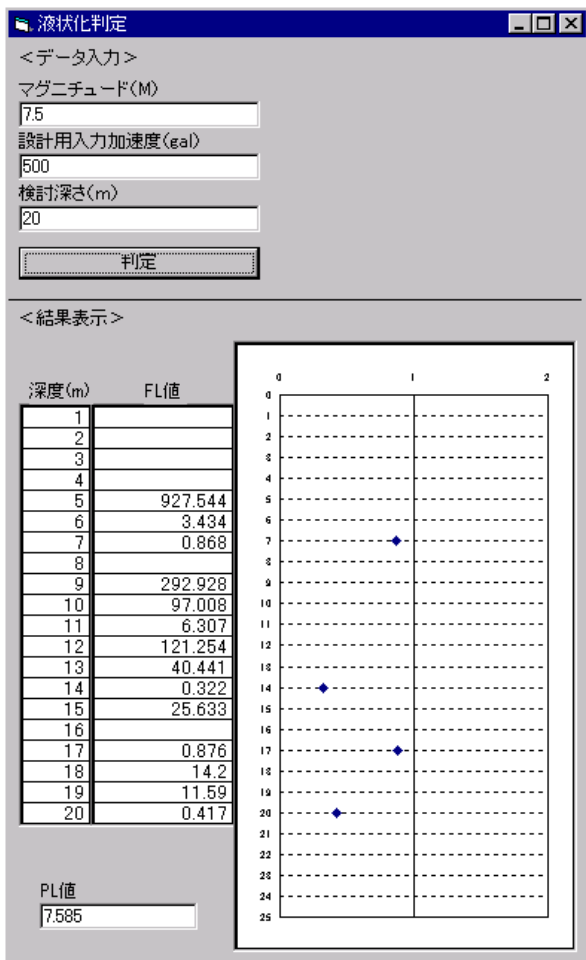


Fig. 6. Screen of showing the judging the liquefaction

って出力ファイルを指定し、その表示については Excel のグラフシートを Visual Basic とリンクさせ使用している。伝達関数の表示画面は Fig. 5.のとおりである。

3.4 液状化判定機能

液状化の対象とすべき土層

液状化の判定をおこなう必要がある土層は、一般に地表から 20m 程度以浅の土層と考えられている。これは、たとえ 20m 以深で液状化することがあっても、地表近くにある構造物に直接被害を与えることは少ないと考えられることによる。よって本研究における液状化判定機能においても、地表から 20m 以浅を判定の対象とする。

液状化の判定方法

本システムにおける液状化判定機能は、各深さにおける液状化発生に対する安全率 F_1 値および対象とした土層全体の液状化危険度を評価する指標である P_1 値によって液状化危険度を判定する。

本システムにおける P_1 値の判定基準を Table 1.に示す。

Table 1. Judging standard of PL value

PL値	液状化危険度
PL < 0	かなり低い
0 < PL < 5	低い
5 < PL < 15	高い
15 < PL	かなり低い

F_1 値が1より大きくなる土層については液状化発生の可能性は無いものと判断し、逆に1以下となる場合は、その可能性があり、値が小さくなるほどその土層の液状化発生危険度は高いと判定する。 P_1 値は判定地点で求めた F_1 値に、深さの重み関数をかけることにより、その土層全体での液状化危険度を表す。本研究におけるシステムでは、以上の手順で F_1 値、 P_1 値を計算し液状化危険度を判定しシステム上に表示する。液状化危険度判定の表示画面は Fig. 6.のとおりである。

3.5 建築物データ表示機能

各メッシュにおける建築物データについては、GIS を利用している情報関連企業より提供していただいた集計データを利用して入力をおこなっている。この集計データは、建築物を構造形式、建築年代、階層、用途等によって分類しており、500m メッシュ(標準地域メッシュの4次メッシュ)ごとに集計している。

このデータの集計は、平成12年度固定資産税家屋データファイルを利用しており、集計した建築物は住家の他、付属家、店舗、事務所、工場、倉庫等も含まれる。非課税建築物については、県・市町村の公共施設等(庁舎、学校、警察署、消防署、公民館、公営住宅等)を把握している。

以上のように集計した建築物データを各メッシュのデータファイルに入力するが、システム上で建築物データを表示する画面を Fig. 7.に示す。

3.6 地震危険度解析機能

地震力の設定

本研究において、建築物に作用する地震力は各メッシュごとの地表面加速度応答スペクトルを用いる。

従来より対象地点で予期すべき地震動の強さを推定す

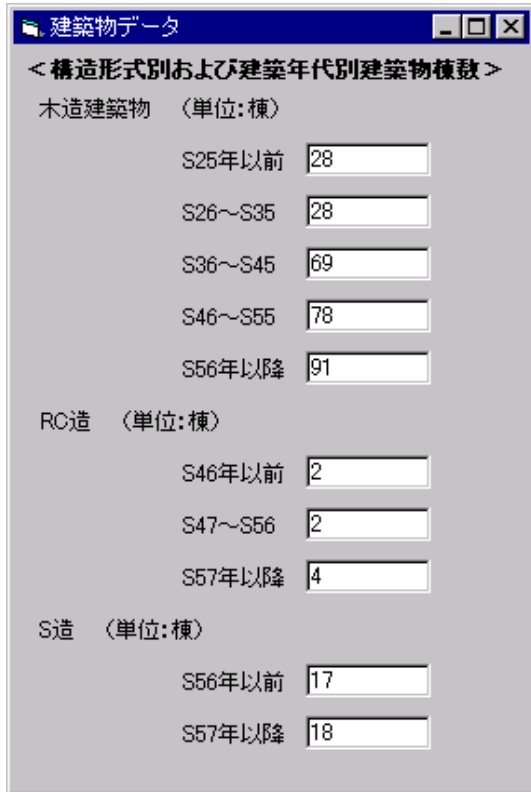


Fig. 7. Screen of showing the building data
 ため、地震規模マグニチュード (M) と震源距離による最大加速度の経験式などが提案されてきた。しかし、このような経験式では震源近傍での地震動の強さを適切に把握することは困難である。そこで本研究では、小林・翠川の提案した震源断層の拡がりとその破壊伝播を考慮した地震動スペクトルの推定手法³⁾を採用した。

また本研究において開発した地震防災システムでは、地震時において長野盆地に甚大な被害をもたらすと思われる信濃川断層帯、糸魚川静岡構造線断層帯(北部)(中部)の3種類の活断層を地震危険度解析の対象として用いている。

木造建築物の被害想定手法

木造建築物の被害想定は、建築物の固有周期に着目して、建築物に作用する地震力と建築物強度を比較することで被害を想定する。

- ・木造建築物の固有周期：神奈川県(1993)を参考に、建築年代により木造建築物をグルーピングし、それぞれのグループの固有周期の平均値を Table .2. のように設定する。

Table 2. Natural period of wooden buildings

建築年代	~S25	S26~S35	S36~S45	S46~S55	S56~
固有周期	0.5	0.4	0.35	0.28	0.25

・木造建築物の強度：東京都(1985)は、降伏強度が建築物の固有周期の2乗に反比例するものと仮定し、関東大震災時の建築物被害をよく表すように、木造建築物の強度と固有周期の関係を次式のように導いている。本研究では、この降伏度曲線を採用する。

$$Y_1 = 0.073 / (T + 0.054)^2$$

T：建築物の固有周期 (sec)

Y₁：降伏強度

・被害の基準：本研究における木造建築物の被害基準は、全壊、半壊、無被害の3種類である。ここでいう「全壊」は、住家が滅失したもので、具体的には住家の損壊した部分の床面積が、その住家の延べ面積の70%以上に達するもの、または住家の主要構造部の被害額が、その住家の時価の50%以上に達するものを示し、「半壊」は、住家の損壊が著しいが補修すれば元どおりに使用できるもので、具体的には損壊部分が、その住家の延べ面積の20%以上70%未満のもの、または住家の主要構造部の被害額がその住家の時価の20%以上50%未満のものを示す。なお無被害とは、上記の全壊・半壊を除くもので、同被害状況報告基準における「一部破損」(全壊および半壊に至らない程度の住家の破損で、補修を必要とする程度のもので、ガラスが数枚破損した程度のごく小さなものは除く)も含まれる。

以上のような被害判定基準の下で、建物強度に対して地震時の地震力が何倍になるかを算定して、破壊の判定をおこなう。本研究では、既往の被害地震の再現計算により、全壊・半壊の基準を決定している手法を参考にした。すなわち、降伏強度の3倍から半壊が始まり、4倍で半数が半壊、5倍で全数が半壊以上になるとした。また4.5倍から全壊建築物が発生し、6倍で半数が全壊、7.5倍で全数が全壊に至るとした。

非木造建築物の被害想定手法

非木造建築物の被害想定も基本的には木造建築物と同様建築物の固有周期に着目して、建築物に作用する地震力と建築物強度を比較することで被害を想定する。

・建築物の構造耐震指標：建築物の保有する耐震性能を評価する指標として構造耐震指標 (I_s)⁵⁾を採用し、これと予想される地震入力によって発生する弾性応答値 (I_{so}) とを比較することで被害危険度を評価する。I_s は、建築物の保有する耐力を表している。各自治体では、建築物階層および建築年代ごとに I_s 値を分類しており、本研究でもこの値を用いる。また、S造建物の I_s 値についても神奈川県が1993年にまとめており、本研究でもこの値を採用した。

・I_{so} 値の算定：建築物の弾性応答加速度の最大値は、一般にそれぞれの地点での加速度応答スペクトルから推定できるが、RC系の建築物は重量が大きいため、基礎周辺部での局部的な土の塑性化生じて建築物に入力される地震動が低下すると考えられる。また、地盤と建築物の相互作用により振動モードが変化すること、基礎固定時に対する建築物の周期の延び等を考慮して、応答スペクトルを補正する必要がある。そこで住宅・都市整備公団の方法⁴⁾を用いて補正し I_{so} 値を算出する。

・被害の判定基準：被害の判定基準⁶⁾はRC構造の場合、作用する地震動と保有耐力の関係を次のように設定する。

- 4I_s I_{so} : 大破
- 2I_s I_{so} < 4I_s : 中破
- I_{so} < 2I_s : 被害なしまたは被害小

S造の被害基準は次のように設定する。

大破 $I_s / I_{so} = 1 / 7$

中破 $1 / 7 < I_s / I_{so} = 1 / 5$

ここで、被害程度を表す大破とは、柱・耐力壁が大破壊して建物全体または一部が崩壊に至った状態をいい、中破とは柱や耐力壁にせん断ひび割れがみられる状態をいう。

地震危険度解析の機能化

以上の地震力（地表面加速度応答スペクトル）の算定、およびその値を利用することによる木造建築物・非木造建築物の地震時における被害想定は、本研究において開発された地震防災システムの機能としてプログラム内に組み込まれている。

対象とするメッシュの地表面加速度応答スペクトルに関しては、伝達関数の計算機能と同様 Fortran によって作成された模擬地震動作成プログラムを Visual Basic の Shell 関数で呼び出すことによって計算を実行する。この際前述のとおり、長野盆地に多大な被害を及ぼすであろう3種類の活断層（信濃川断層、糸魚川静岡構造線断層帯北部・中部）の選択が可能でそれぞれの地表面加速度応答スペクトルを計算することが可能である。また、活断層の詳細なデータについてはすべり量、破壊開始点、傾斜角、断層面の最浅部の深さ等の設定変更が可能であり、さまざまな角度からの地震危険度解析を実現する。

木造建築物、非木造建築物の被害想定は前述の被害想定手法を Visual Basic プログラムに組み込み、各活断層の活動による地表面加速度応答スペクトルの数値と合わせてシステム上で被害想定をおこなう。

地震危険度解析機能の結果表示画面（信濃川断層帯が活動したことを想定）は Fig. 8. のとおりである。

4 まとめ

今回長野盆地において GIS を利用した地震防災システムを開発した。開発したシステムの主な機能は以下のとおりである。

- ・対象地域表示機能
- ・ポーリングデータ表示機能
- ・伝達関数計算・表示機能
- ・液状化判定機能
- ・建築物データ表示機能
- ・地震危険度解析機能

本研究において開発した地震防災システムは、地盤に関する情報および建築物に関する情報についてのデータベースシステム機能のみならず、各種の解析機能に加え、地域性を考慮した地震危険度解析機能を含む総合的な地震防災システムである。本システムを有効活用することにより、地域の災害時シミュレーションおよび防災計画に役立つものと考えている。

参考文献

- 1) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報とサイスマックマイクロゾーニング, 第 22 回地盤震動シンポジウム, 1994
- 2) 川上浩・島担・斎藤豊・小林詢・峰村信雄・小西純一・阿部広史: 長野市地盤図, 1973
- 3) 翠川三郎・小林啓美: 地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定, 日本建築学会論文報告集, 第 282 号, pp71 - 81, 1979
- 4) 住宅・都市整備公団: 地震入力評価指針・同解説, 1990
- 5) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準
- 6) 東京都: 東京における直下地震の被害想定に関する報告書, 1997

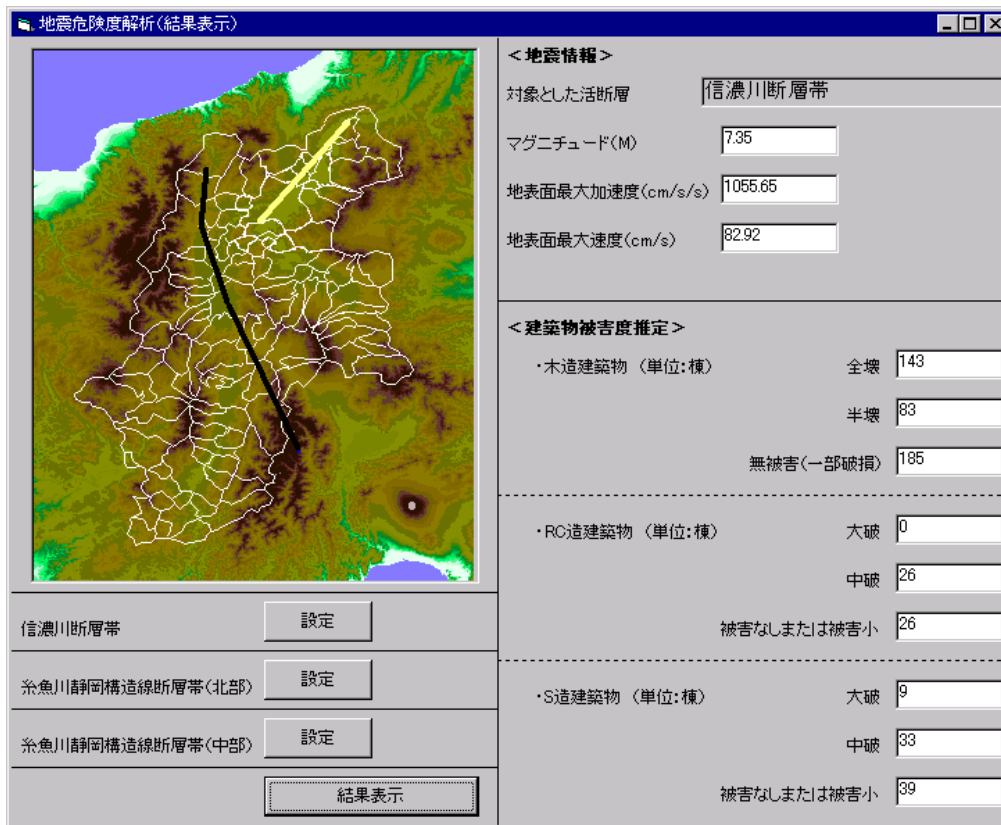


Fig. 8. Screen of the analysis of relative risk in earthquakes