

都市震害分析のための防災地理情報システムの構築

—— 1983 年の能代市の被害を例として ——

岩井 哲・荻野 宏之・角本 繁・亀田 弘行・
林 春男・能島 暢呂

A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR URBAN EARTHQUAKE DISASTER ANALYSIS

—— DATABASE DEVELOPMENT FOR EARTHQUAKE

DAMAGE IN NOSHIRO CITY, 1983 ——

By Satoshi IWAI, Hiroyuki OGINO, Shigeru KAKUMOTO, Hiroyuki KAMEDA,
Haruo HAYASHI and Nobuoto NOJIMA

Synopsis

Disaster information management tools based on Geographic Information Systems (GIS) are developed for research analysis as same as for emergency operations against the disaster caused by earthquakes, at the Urban Earthquake Hazard Research Center, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University. The system operates on Windows 3.1 basis on personal computers. Several types of damage information on Noshiro City due to the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake have been installed in the GIS. Correlation studies among ground shaking, geophysics, ground failure, building damage, lifeline damage and daily inconvenience should provide important information for future disaster mitigation and preparedness studies. GIS-based information is expected to constitute a useful database to understand comprehensively the state of the urban disaster caused by an earthquake from various aspects. Furthermore, damaged buildings and their damage status in Chuo Ward (downtown area) of the City of Kobe due to the 1995 Hyogoken-nambu Earthquake have been compiled on the GIS, and the distribution is presented. A future perspective of the development, now being made on the GIS, is also presented.

1. 地震災害の総合的把握に関する研究の必要性

1995年1月17日に起こった兵庫県南部地震は、震源直上の神戸市の一部で震度7を記録し、死者5,500人あまりを出す戦後最大の都市震災となった。地震直後の緊急・応急対応にも様々な問題が発生し、都市機能が集積・効率化されたところでの防災に対する諸問題が明らかとなった。ここ数十年間、大都市において大きな地震被害がなく、大震災に対する十分な備えが足りなかったため、都市はハード・ソフトを含めて、その弱点をさらけ出す結果となった。近年の地震災害の研究により、地震による建物の被害や、電気・上下水道・ガス・交通・通信といったライフラインの被害など、生活に関わる災害の多くは、地盤の液状化、宅造地の盛土、自然斜面の滑りなどの地盤変状に起因していることが明らかになってきた。また

今回の地震では、断層の位置や地盤・地形条件などの地理情報が、建築物ならびに道路・鉄道・橋梁などの構造物の倒壊や、ライフラインネットワークの破壊に大きく影響を与えることが浮き彫りにされた。複雑化・立体化した都市の機能を安定に維持するためには、地震動、地盤・地質条件と、地盤変状・建物被害・ライフライン被害・社会生活への影響など相互の因果関係の把握が益々必要になっている。これまで耐震研究の個別分野においては、既に膨大な成果が積み重ねられているが、これらを統合する共通の手段がなく、総合的に被害原因ならびに被害の相互関連を分析することが困難であった。本研究は、それぞれの分野を統合して解析を行う手段として GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) を用い、地震防災に関してより広い視野からの検討を行うものである。



Photo 1. Damage due to liquefaction at Aobamachi in Noshiro.

1983 年 5 月 26 日に起こった日本海中部地震による能代市の被害^{1~3)} (Photo 1) については、地震発生後 10 年あまりが経過していることもあり、物理的な側面から社会的側面までの広範囲な分野について個別の分野では既に膨大な研究成果の蓄積がなされている。本研究では、1983 年日本海中部地震による能代市の災害をケーススタディとして、基本となる都市の地理情報ならびに災害資料を収集し、液状化による地盤の側方流動、これに伴う家屋とライフライン系の多大な被害状況、都市機能の障害、住民の生活支障などの各被害項目の間の関連を、GIS を用いて総合的に分析する基本的手法を構築してきた。さらに 1993 年 1 月 15 日に発生した釧路沖地震以降、この 2 年間に、国内外において、比較的大きな地震災害が多発したが、1995 年 1 月 17 日に起こった兵庫県南部地震は、それらの中でも極めて大きな災害となった。これは本研究において開発してきたシステムを、新しい災害に対応させて適用する絶好の機会でもあった。本報告をまとめるまでの短期間ではあったが、新しい災害への GIS の即時適用の例としてその一部を示した。

2. 防災 GIS 構築の研究体制と概念構成

2.1 GIS ならびに都市防災へのその利用について

GIS は地図上に記載される図形情報と、各種データベースとのリンケージによる複合的な解析・処理を可能とする情報処理システムの一つである⁴⁾。コンピュータの画像処理の高速化に伴って急速に発達してきた GIS は最近、様々な分野で利用されるようになってきているが、この技術はまだ発展途上にある。京都大学防災研究所附属都市施設耐震システム研究センターでは、GIS を用いて、地震災害関連情報の視覚化を行い、分析・研究ならびに地震時の危機管理・復旧・復興支援に役立てるための「防災 GIS」と呼べるものを開発・構築している⁵⁾。

GIS は、コンピュータ上で、2 次元 (2D) の地図モデル、3 次元 (3D) の空間モデル、あるいは時間軸を加えた 4 次元 (4D) の時空間モデルを構築し、それに付随する属性情報に対して、集積・整理・加工・解析・表現を効率よく行う手段である^{6~13)}。GIS で扱う情報は、種類や量が極端に多く、広い領域に対応するので、GIS 特有の情報処理技術が求められる。情報の管理に対しては、データの圧縮・展開や高速な検索が必要になる。また情報の利用時には、ネットワーク解析、ゾーニング、マップオーバーレイなどの技術が使われる。

現在の GIS のデータに関する大きな問題点としては、地図データを入手しにくいこと、購入価格の高い

ことが挙げられる。これらの問題の原因は、行政と学会・研究者ならびにライフライン事業者や企業との連携がとれていない点にある。また国土地理院では、地図を作るところに主眼が置かれており、地図情報の利用については需要家まかせで、なかなか利用し易い形で提供されていない点も問題であると考えられる。さらに、データフォーマットは統一化が進んでおらず、今のところソフトウェアメーカー主導になっている。しかし、これらの問題は、近年は数値地図データが公開されつつあることもあって少しずつ改善されており、今後、基本データをシェアする事によって応用が進んでいくと思われる。一方、地理情報の計測・収集の際に、社会・経済データは集計単位が様々で、地図に落としにくいこと、アンケート調査等は住所と地図の対応が数値化されていないので入力が困難であるといったことが別の問題点として指摘されている。またワークステーション用の GIS は多機能すぎて操作面で重いといった指摘もあり、むしろ機能を十分に使い切れていない面もある。

都市防災への GIS の利用の例としては、地震の震源推定や被害推定¹⁴⁾、震源位置とマグニチュードから断層・震度・被害を推定する被害予測¹⁴⁾、GIS に情報を集積し外部で行った解析結果を GIS で表示したミクロな地震被害想定¹⁴⁾、都市の災害危険度評価¹⁵⁾、GIS を活用した地域（環境）計画システムの検討¹⁶⁾や、パーソナルコンピュータ GIS の都市防災業務への活用¹⁷⁾などがある。また、様々な縮尺のものを合わせる必要のある地図や、地形・地層など各種の情報のレジストレーションに GIS を用いて水の循環の解析を行った例¹⁴⁾や、水文・水資源への様々な応用の例¹⁸⁾、また 1993 年釧路沖地震¹⁹⁾や 1993 年北海道南西沖地震²⁰⁾など実際の地震被害の解析に利用した例もある。一方、アメリカでは日常的な実務にかなり GIS が活用されており、ノースリッジ地震の際も被害状況図などの即時公表に利用された。しかし、GIS を利用している研究・業務の多くは、市販の GIS ソフト上に載せた地図データをベースにして、主に情報や解析結果の多彩な可視化のための表現手段の一つとして使用しているに過ぎない。さらに、GIS の都市防災への適用の問題点が、データの収集や GIS 以外のプロセスにある可能性もあり、その点も検討して行く必要がある。GIS 自体がまだ発展途上であり、描画機能に関しては GIS にそれほど問題はないが、地理情報の都市防災上の解析手法については、開発を進めていく必要がある。

2.2 研究の体制と目的

本研究を進めるために、京都大学防災研究所附属都市施設耐震システム研究センターを中心とする災害研究者と、(株)日立製作所中央研究所の GIS 研究者が共同研究の中核となって、「1983 年日本海中部地震被害の総合的再評価研究会」を発足した。その第 1 回会合を 1992 年 8 月に開催し、1995 年 3 月までに全 14 回の会合を行ってきた。この研究会により、蓄積してきた被害情報を整理し、多分野間の溝を埋めて新たな研究の展開を図るため、能代市民へのアンケート調査の実施、研究を進展させる共通言語としての GIS 構築への作業などが進められた。当研究会は、1993 年 12 月に「地域情報の統合処理システムによる都市災害の分析・予測法研究会」と改称し、災害研究者と GIS 研究者・技術者が真の意味で共同して開発する防災研究のための GIS による地域統合情報処理を通じて、新しい都市耐震研究の方向性を打ち出すことを目指した²¹⁾（付録に研究会の構成メンバーを記す）。

ここで構築している災害情報処理向けの「防災 GIS」の特徴は、①パーソナルコンピュータ上の Windows をベースとしており、ユーザーを選ばず、手軽に使えること、②停電などでシステムがダウンしても大規模な計算機やワークステーションに比べてシステムの再立ち上げが容易であること、③プログラミングが可能で、研究者が GIS をモデル構築の道具として用いて、自ら思い通りに解析できること、などが挙げられる。また携帯型入力装置と GPS (Global Positioning System) を組み合わせて、現場でのデータ収集に用いることも計画している。

本研究の目的は次の通りである。

(1) 災害研究のための「防災 GIS」の構築による多分野間の討論の共通言語・表現手段の確立：多分野にまたがるデータの統合処理の共通の表現媒体としての 4 次元データ構造（空間 3 次元＋時間データ）を

持つ「防災 GIS」の開発を行い、個別の研究成果の統合化と視覚化による共通認識手段の構築を目指す。そのため、GIS を災害研究に用いるにあたって、システム設計者と利用者である災害研究者との間でフィードバックを行いながらシステムを構築していく。

(2) 「防災 GIS」を前提にした災害研究の新分析手法の確立：従来のメッシュ処理に対抗するピンポイント処理、等高線・等質境界線処理を基盤とする空間データ処理の高精度化手法を用い、多階層処理機能を活かした各分野のデータ間の相互連関の把握とその定量的解析手法を確立し、それらを基にした都市災害の新しい総合的分析・予測法の構築を目指す。

(3) リアルタイム処理が可能で、かつネットワーク機能を持つ「防災 GIS」の開発：「防災 GIS」では被害発生・応急復旧対策の実施という状況の時間的変化の表現と都市の立体的表現が不可欠であるが、この要求を満たす GIS はまだ存在していない。そこで、個々の検討結果を総合して分野相互の関連情報を統合的に管理し、災害状況と環境変化を定量的にリアルタイムで処理でき、視覚的に表現する機能と、複数の情報を統合管理するネットワーク機能を GIS に付加する。

2.3 防災 GIS 構築の研究の流れ

「地域情報の統合処理システムによる都市災害の分析・予測法研究会」が描く防災 GIS 構築のフローを Fig. 1 に示す。この図は、上部が GIS 技術者、下部が災害研究者が扱う部分を示し、両者がどのように絡み合って、防災 GIS を実現していくかを表している。

第 1 段階では、災害研究のための GIS のシステム概念の構成と、地震災害の多面的分析のための GIS データベース化ならびに可視化を図る。日本海中部地震で大きな被害を受けた秋田県能代市をケーススタディの対象として、これまで得た基礎資料の集積を行うとともに、本研究に必要な新たな資料を収集し、GIS に導入する。

第 2 段階では、次の各項目について進める。

(1) 防災 GIS の枠組みを設計する。これまで集積した地図・地盤・住宅・住民・ライフラインの基礎情報ならびに被害情報などの実測データ、写真などの画像データ、そしてアンケートデータなどの各入力方法、データベースの規格化、データ変換、コンピュータ図化表現方法などの問題点について整理し、GIS への導入方法を整備する。

(2) 航空写真・地形図・道路台帳・住宅台帳・ライフライン施設図面などに基づく地理情報の、簡便

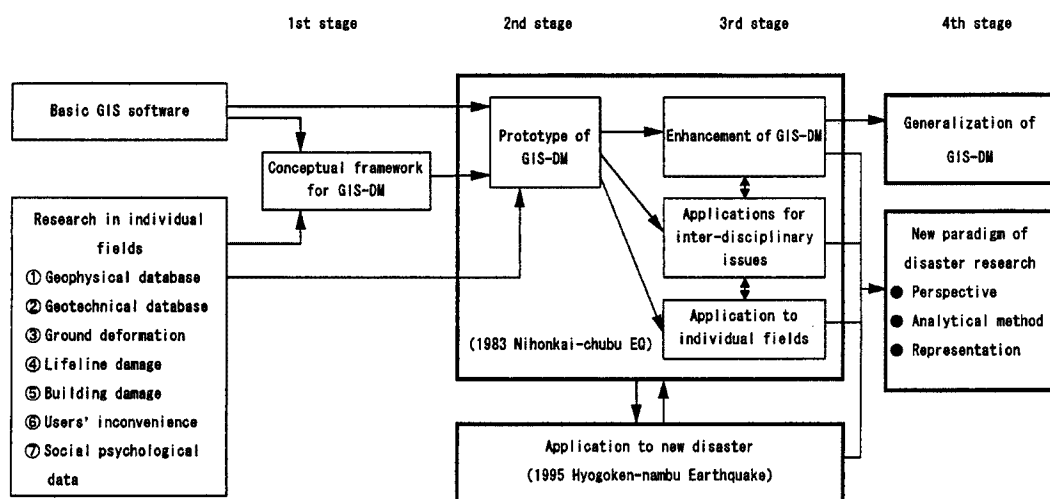


Fig. 1. Flow chart for development of GIS-based Disaster Management Spatial Information System called "GIS-DM".

で、かつ安価なデジタルデータ化法を確立し、GISによる地域基盤モデルを構築する。

(3) 微動および脈動などの地球物理学的データ、ならびに地盤情報の有効な利用方法を整備しGIS化を行う。情報レベルの異なる地盤資料のフォーマット統一とデータベース化ならびにデータの補間法を検討する。能代市の地盤の側方流動を対象として、側方流動および地形・土質条件のデータベース化を行い、異種情報の多層構造(レイヤー)化と可視化によって側方流動に影響を与える要因を分析し、流動量の予測手法を確立する。ライフライン系の施設と物理的・機能的な被害・復旧に関するデータ整備を行う。またアンケート調査の解析によりライフライン被害・住家被害と生活支障の因果関係を解明する。

(4) 家屋被災度のデータ・能代市の住民アンケートのGISへの入力を行い、建物被害と地盤・ライフライン被害の相互関連を調べるためのGISによる震害の総合的な解析手法を検討する。社会科学的データのGIS化を行う。ライフライン被害や住家被害が生活支障に及ぼす要因を明らかにするとともに、災害文化の時間的変容についても検討する。

(5) 新しい地震災害を例にとって、防災GISの新しい災害事例への適用を試みる。

第3段階では、GIS上で多層データの階層間の関連性を可視化し、立体的・定量的な解析を行うための手法決定とシステム構築を行う。その成果をもとに地盤震害・家屋被害・ライフライン被害についてのマクロ・ミクロ両面からの総合的・立体的把握を目指す。個々の検討結果を総合して、分野間の現象相互の関連性を視覚的に表現するとともに、災害状況を定量的に解析する手法を開発する。GISに環境変化をリアルタイムで処理できる機能と、複数の情報を統合管理するネットワーク機能を付加する。

第4段階では、防災GISに基づく災害メカニズム研究の新たな分析手法の枠組みを提示し、災害評価に関する理工学的指標と社会科学的指標の統一的把握を行い、防災計画支援システムへと発展させる。災害の実態把握を中心として行われる第3段階までの研究成果に基づき、災害現象と地域情報をGIS上で統合的に表現できる地域統合処理を用いて、都市災害の分析・予測法を構成するとともに、そのための処理システムとしての防災GISを完成する。さらに、この成果を災害の将来予測・防災シミュレーションに発展させるための概念設計を行う。

3. 防災GISの基本システムの構築とデータ集積

3.1 GISのハードウェア、ソフトウェアのシステム構成

(1) ハードウェア

本研究で用いたハードウェア構成は以下の通りである。

[本体] 電脳工房アクセス製IBM PC/AT 互換パーソナルコンピュータ。

[CPU] Intel製Pentium。クロック周波数90 MHz。

[グラフィックアクセラレータ] MGA 2+。

[RAM] 16 MByte。

[ハードディスク] 540 MByte。

[MO] 230 MByte。

[ディスプレイ] ナナオ製FlexScan 53 T。17 インチマルチスキャン。

[プリンタ兼スキャナ] Canon製PIXELJET。400 dpi フルカラー。

[CD-ROM] 日立製CDR-1650 S。標準速。

(2) ソフトウェア

GISソフトウェアの開発は、(株)日立製作所中央研究所で開発・作成されてきた基盤プログラムの上に機能を付加する形で行っている。基盤プログラムの機能は現在以下のようになっている。

(a) 地図データの全域表示。拡大表示。

(b) Microsoft Excel から出力したタブ区切りテキスト形式データの地図への対応付け。削除。

(c) Excel から出力したタブ区切りテキスト形式データの任意の項目を指定することによる、色分け表示。

(d) マウス座標の表示。

(e) 背景色の変更。

(f) レイヤ設定 (表示・非表示、色の変更等)。

開発基盤には、IBM-DOS Ver. 6.3 の Windows Ver. 3.1 上で、Microsoft C ならびに SDK (Software Development Kit) を利用した。

本研究で作成・追加した機能は以下の通りである。

(a) Excel データの位置や内容を示すシンボルの形、大きさ、色、縁取りの変更ができるようにした。

(b) 凡例に項目の番号とデータの個数を表示できるようにした。

(c) 任意の座標値の範囲を指定して拡大表示できるようにした。

(d) Excel データの任意の項目を条件としてマスクを行い、2段階までの条件付き表示を行えるようにした。

(e) 画面の印刷については、本来は GIS プログラムで対処すべきであるが、未完成であるため画面のハードコピーをクリップボードに転送し、住友金属工業 (株) Corel Draw! を用いて出力した。またカラープリンタだけではなく、モノクロのプリンタへの出力用にモノクロモードを作成した。

(3) 基本データ

GIS の基本データについては、日立製作所中央研究所で入力作業を行って作成されたものを用いた。

(a) 地形図

地震前の測量による道路台帳 (1000 分の 1) から入力した道路・家枠・無壁舎。道路台帳の範囲外の上水道管のために補足した道路位置 (2500 分の 1)。航空写真から独自に作成した前山周辺の地震後の道路位置。一部の家屋位置。等高線。

(b) ライフライン

上水道管は 2500 分の 1 の地図から管径・管種別に入力されている。ガス管は、ほんの一部入力されているが、当時の普及状況と被害の記録が少ないことから、本研究では取り扱いを保留した。ライフライン機能障害との関係を見るときは、ライフラインをネットワークとしてみる必要が生じてくるが、現在はネットワークとしての構造化は行っていない。

3.2 災害情報の集積

今回収集したデータのうち、アンケート、水道管被害、建築物被害、ボーリングデータについては、以下の要領でデータの集積を行った。

① Excel 上でデータベースを作成する。

② テキスト形式・タブ区切りでファイルへ出力する。

③ GIS の地図への対応付けを行うコマンドで、データの ID と地図の座標を対応づけるバイナリファイルを作成する。

(1) アンケートデータ

1983 年 5 月 26 日木曜日の正午に発生した日本海中部地震による被害を、地震工学・建築耐震工学・ライフライン地震工学・社会心理学・情報工学などの広い視点から総合的に捉え直すため、著者らを含む調査グループでは、「1983 年日本海中部地震による被害の総合的再評価」のためのアンケート調査を行った²²⁾。調査票は 20 頁に及ぶもので、質問の内容は多岐にわたる。これらは工学的視点と社会科学的視点を連続的に結びつける知見を得ることを目指したものである。このアンケートは、能代市の全面的な協力のもとに、教育委員会と自主防災組織を通じて、1993 年 3 月に実施し、計 5,329 票を配布した。能代市は被

災当時、17,644世帯であった。教育委員会ルートでは、能代市の米代川左岸にある小・中学生の父母宛に調査票を配布した。これらの父母は、地震当時20代後半から30代の年齢にあった人々である。また自主防災組織ルートで各家庭に配布した分の対象地域は能代市のほぼ全域に及んでおり、回答者の年齢層は教育委員会ルートより高いと考えられる。これより教育委員会ルートから2,520票、自主防災組織ルートから880票の計3,400票を回収した。既に地震後10年を経過しているにも拘らず、総じて記憶は確かで、研究のための分析に十分耐えるものと考えている。アンケートの回答のうち、「日本海中部地震を能代市内で体験した能代市民」の2,840票については、川北²²⁾により集計がなされた。また家屋の被害に関わる項目の単純集計の結果は日本建築学会で²³⁾、ライフライン被害と生活支障に関する集計結果は土木学会で^{24, 25)}それぞれ報告した。なお、質問紙調査における家屋の構造的被害の調査方法は地域安全学会²⁶⁾で報告した。

アンケートデータは、容量が大きいため、全項目を7分割したファイルとした。アンケートデータの地図への対応付けの作業は、住所の記入があるアンケートデータを、住宅地図を用いてGISプログラムで地図と対応づける方法をとった。入力を行ったのは、被害の大きかった市街地を中心とする1,370件である。

入力方法には、先にGISに住所体系を入力してからIDを対応付けていく方法と、そのまま一つずつIDを対応付ける方法がある。前者は、同じ家をデータベースごとに何度も対応付けを行う必要がなく、対応付けの半自動化も考えられるので、望ましいと考えられる。しかし、能代市住民の住所録が得られていないことや、プログラムならびにデータの作成が間に合わず、本研究では後者の方法を取ることにした。

GIS上の地図と住宅地図との年代が異なることもあり、対応付けの際に、次のような問題が出てきた。

① 住所優先で入力しているが、名前が違って番地が少し違うところに元の名前の人がいた場合、転居したのか入力・記入ミスなのかの判断ができない。

② 住宅地図の番地が抜けている場合や、間違っている場合がある。

これらは、市の住家被害認定の資料と対応をとるなどして、ある程度解決できると思われるが、本研究では、入力ミスや住宅地図の間違いが明らかなものについては正しいと考えられるものを入力し、その他は原則として住所優先で対応付けを行った。また、集合住宅の扱い方も問題であったが、とりあえず本研究では同一建物上で位置をずらして複数件の入力を行った。

(2) 水道管被害

ライフライン被害に関する情報を充実させるために、能代市役所を訪れて、写真や帳簿をコピーした。

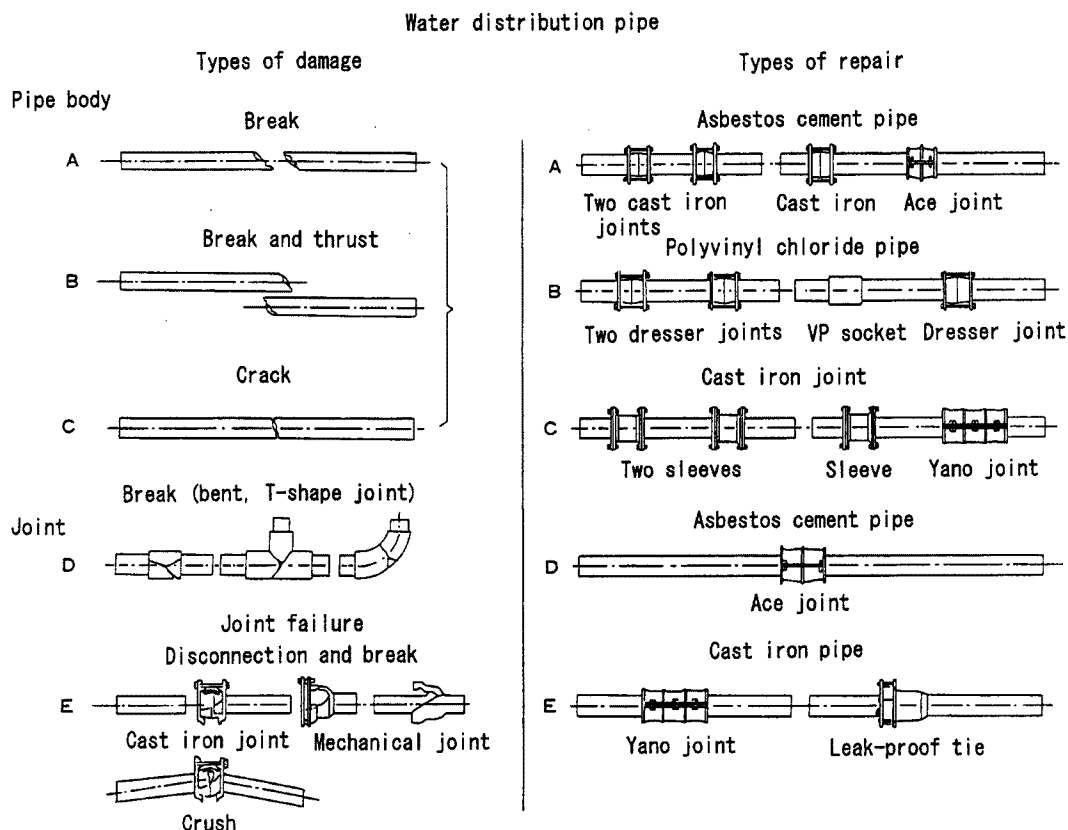
水道管についての写真や帳簿は地図上で場所との対応が記録されており、被害のデータがあるのは配水管410箇所、導水管10箇所の合わせて420箇所である。その中で、現在入力されている地図の範囲に入っているのは363箇所である。写真は、破損状況、復旧工、路面復旧工の組になっており、撮影日の記録がある。帳簿は、被災時の管種・管径・状況、復旧時の管種・管径・状況・延長・査定額・実行額が記録されている。入力項目は、基本的に帳簿をそのままデータ化することとし、ID、ブロック名、番号、被災内容(管種、管径、状況)、復旧内容(延長、管種、管径、状況)、設計額(査定額)、実行額とした。被災状況と復旧状況の項目については、Fig. 2に示した。データベースの地図への対応付けは、アンケートと同様に行った。対応付けを行ったのは、場所の特定ができたもので342件ある。

(3) ガス管被害

市ガスについては、写真は場所の記録が町名程度しかなく、帳簿は町丁目あるいは番地までの場所と、ブロック名、発見者・方法、管種、接合方法、口径、埋設年、被害形態、被害部、修理方法が記録されている。しかし市ガスは、被災当時の普及率が低かったことと、データが不十分であることから、今回は扱わなかった。

(4) 市の住家被害認定

家屋の構造別の被害、敷地内の地盤の状況が記録されている。データベース化は現在のところ、住家・非住家の被害レベル、浸水についてのみ行っている。基本的に被害のあった家をすべて網羅しているので、アンケートデータより密度が高い。敷地の地盤変状についての情報は、図から入力したものを補完できる

Fig. 2. Types of damage and repair for water distribution pipes¹⁾.

と思われ、情報量はこちらの方が多き可能性がある。地図への対応付けはアンケートと同様で、対応付けを行ったのは、被害の大きかった市西北部の清助町から青葉町にかけての地域と、市南部の寿域長根から新屋布にかけての地域で1,822件である。

(5) ボーリングデータ

119箇所の地下水位、地盤データの深さ、N値、土質分類番号などがデータベース化された。FORTRAN形式のフォーマットでデータベース化されていたものを、テキスト形式・タブ区切りでファイル出力した。地図への対応付けはまだ行っていない。ボーリングの位置の記録がかなりあいまいであったため、ボーリング位置の誤差の情報をどこにどのようにもたせるかが問題となった。誤差の情報の格納場所としてはデータベースの中にあるいはAITファイル(AITファイルとは、地図上での座標と属性情報のID番号などを対応づけるためのバイナリファイルである)、形式は精度のランク分けあるいは誤差円の大きさの値が考えられるが、今回はデータベース中に位置精度によって3段階にランク分けしたものを記述することにした。

(6) 地盤変位

2,954点の地震前後の公共座標系日本第10系のX、Yと東京湾平均海面高が桁位置でフォーマットされてデータベース化されている。精度は20～25cm程度である。公共座標系で入っている地震前後の目標物の位置を、GISの座標での位置と変位に変換する必要がある。どちらも直交座標系なので、一次変換でできる。

(7) 地盤変状

末広町から前山にかけて、能代市の災害記録の原稿の地盤変状を示した図をトレースし、スキャナにか

けてベクトルデータとして入力した。入力後は線の修正とレイヤ分けを行う必要がある。

4. 能代市の災害の GIS による再評価

4.1 アンケート結果の GIS による考察

アンケート結果のうち、GIS 表示によって地域毎の分布特性が認められたものについて例を示す。

(1) 被災当時の住居の特定

Fig. 3 は「地震当時に能代市内に住んでいたか」を尋ねたものである。図中の右上の枠内の「1-1」はアンケート用紙の設問番号を表示している。色濃淡表示の 1 から 3 の数字は回答番号を表し、この設問では、それぞれ【1】現在と同じ住所に住んでいた、【2】能代市内にいたが市内で引っ越した、【3】地震後に能代市に引っ越してきた、に対応し右側の数字は回答者数を示す。この設問によると、地震当時の住居所が正確に特定できるのは【1】だけなので、【2】と【3】に該当するものは、これ以降の設問に対する GIS 表示では除外し、以降の図はこの設問で【1】に該当する 1,063 件だけが対象になっている。

(2) 敷地内の地盤の様子

地割れ、噴砂（の跡）、水や泥の噴出、地面の傾斜、地面の沈み込み、土地の流動・流出（移動）など、敷地内の地盤で何らかの変状が見られたかどうかを尋ねたものが Fig. 4 である。回答は、【1】はい、【2】いいえ、となっている。かなり広い範囲で地盤変状が起こっている。液状化被害の多かった市西北部の清助町から青葉町辺りと、市南部の前山周辺は、特に集中している。

(3) 建物構造体の被害

当時住んでいた家屋は、一戸建てが約 9 割と圧倒的に多く、その階数は 2 階建て 75%、1 階建て 20% となっている^{22,23)}。建物用途は、住宅専用 84%、店舗併用住宅 15% である。構造は、木造が 85% と大多数を占める。屋根・小屋組、壁仕上げ、柱・はり・軸組壁（筋かい）、一階床、基礎と、5 種類の構造体別に、被害状況を尋ねた。被害損傷レベルは、5 つの被災度ランク（軽微、小破、中破、大破、崩壊をレベル【1】からレベル【5】と表示）で分けた。屋根被害はかなり少なく、柱・梁・軸組壁、壁仕上げ、一階床、基礎の順で、被害レベルが大きくなる。一階床（Fig. 5）、基礎などの家屋の下部構造は、全体的に地盤変状との関係が深そうな分布を見せる。

(4) 建物被災度診断結果

家屋の被災度診断における、【1】全壊、【2】半壊、【3】一部損壊、の能代市の最終判定結果（再調査を含む）を Fig. 6 に示す。地盤の液状化などの地盤変状が発生したところの建物被害が大きくなっている。

(5) 室内被害

室内被害状況は、台所、1 階の部屋（居間や茶の間）、2 階の部屋（寝室や子供部屋）の 3 箇所に分けて尋ねた。家具は 7～8 割が倒れなかったものの、1 階より 2 階の方が、また 1 階居間より台所の方が、倒れたものが多い。一方、棚の中や家具の上のものが、全く落ちなかったのは 3 割程度で、7 割が床の全体や一部に散乱した。家具の種類別では、本棚や食器棚などの比較的細長い形状のものは倒れた率が 17～21% で最も高く、移動したものより多い。食卓や冷蔵庫は 11～17% に移動があったが、倒れたものは 2% 以下と少ない。

被害の様子で、台所の食器棚が倒れたかどうかに対する【1】倒れた家具で部屋のほとんどがうまった、【2】倒れた家具で部屋の一部がふさがれた、【3】家具は倒れなかった、の回答例を、Fig. 7 に示す。地盤の様子や建物の被害などと比較すると、地盤災害やそれによって引き起こされる建物被害との関連はやや薄い。室内の散乱は地震の震動によって引き起こされるためと考えられる。むしろ地盤条件などと比較して見る必要があるかもしれない。

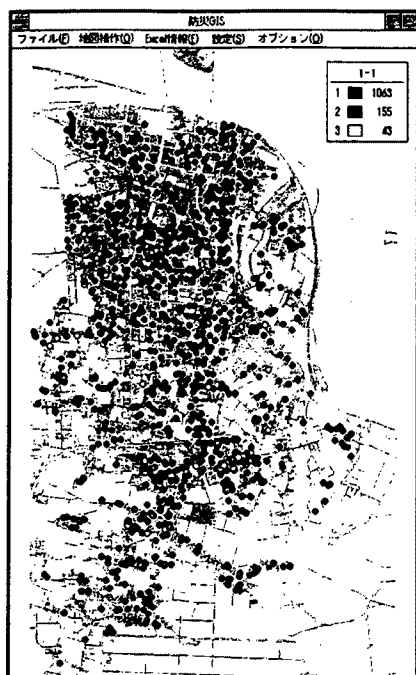


Fig. 3. Residential locations; questionnaire data.

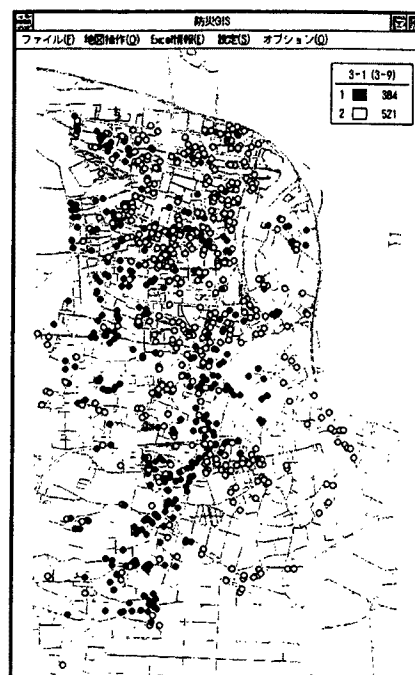


Fig. 4. Ground failure; questionnaire data.

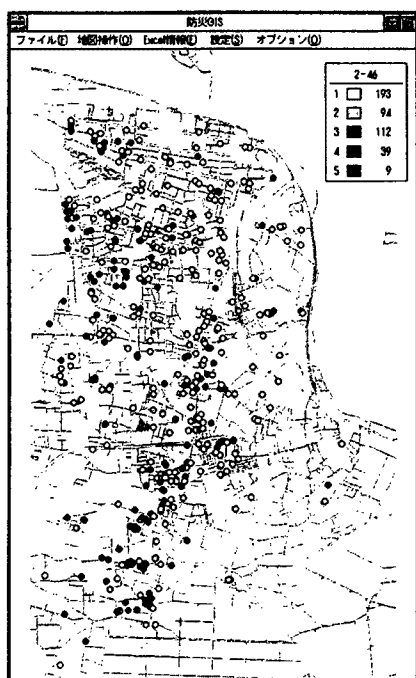


Fig. 5. Damage levels at first floor of residential houses; questionnaire data.

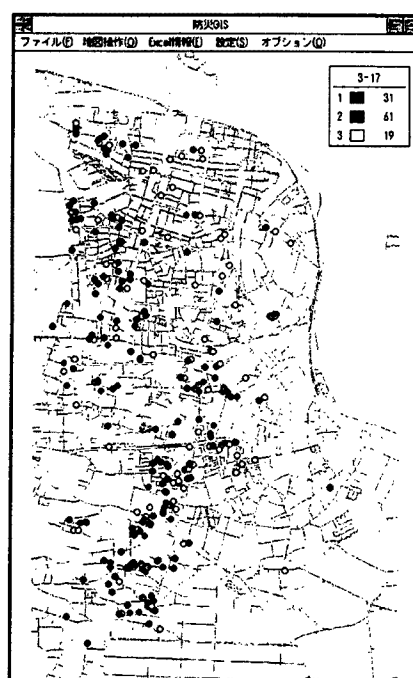


Fig. 6. Building damage judged from the questionnaire data.

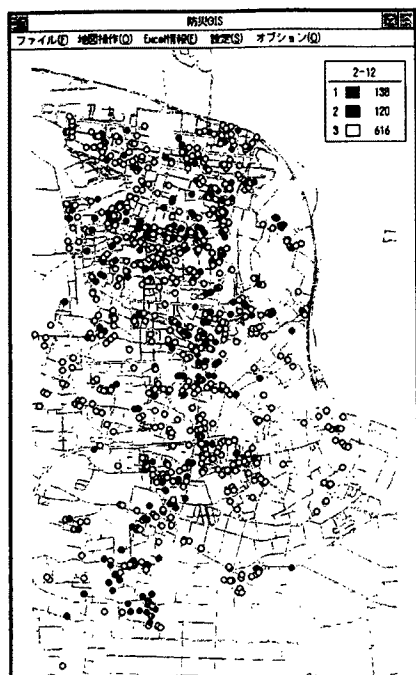


Fig. 7. Overturning of cupboard; questionnaire data.

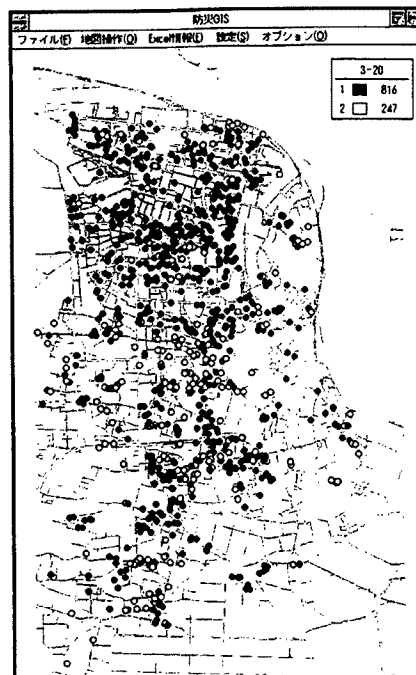


Fig. 8. Water supply; questionnaire data.

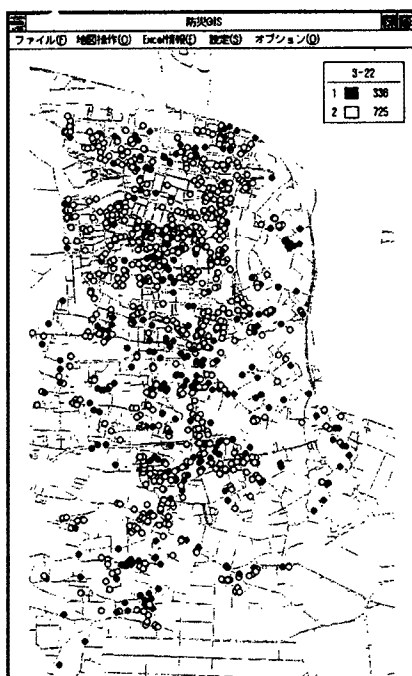


Fig. 9. Usage of water from personal wells; questionnaire data.

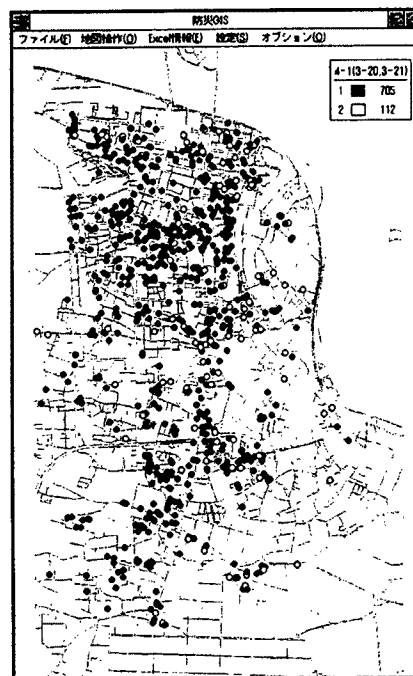


Fig. 10. Shortage of water supply; questionnaire data.

(6) 水・ガス・トイレ

地震が発生した当時の、住まいの設備を調査した。水は、能代市水道か、簡易水道か、井戸かについて、ガスは、能代市ガスか、プロパンガスかについて、トイレは、下水道式水洗トイレか、浄化槽式水洗トイレか、汲み取り式トイレかについて、それぞれ尋ねた。能代市水道 (Fig. 8) に次いで、井戸 (Fig. 9) が比較的多く利用されていること、プロパンガスならびに汲み取り式トイレが多数を占めることがわかった。能代市水道または簡易水道を用いていると回答があったものを取り出して、断水の有無 (【1】はい、【2】いいえ) を描画したのが Fig. 10 で、ほぼ全域的に断水があったことがわかる。能代市の場合は、井戸の利用が地震後の生活支障に有利に作用したようである。能代市ガスは使用地域が限定されていたが、使用地域のほぼ全域でガスの停止があった。また、能代市全域的に停電があったが、電気の回復は早かった。上水道とガスはやや遅くて、同程度の速度で復旧したようである。

4.2 上水道被害の GIS による表示

上水道管における被害管種と復旧管種のデータを Fig. 11 と Fig. 12 にそれぞれ示す。ここで【1】石綿セメント管 ACP, 【2】塩化ビニール管 VP, 【3】ダクタイル鋳鉄管 DCIP, 【4】鋳鉄管 CIP, である。両者を比較すると、被害の復旧の際に、石綿セメント管をビニール管で、あるいは鋳鉄管をダクタイル鋳鉄管で復旧している様子がうかがえる。

4.3 市の住家被害認定データの GIS による考察

Fig. 13 は、液状化被害の多かった市西北部の清助町から青葉町辺りと、市南部の前山周辺の 2 箇所を対象地域として、地図への対応付けを行った地域である。ここで【1】全壊, 【2】半壊, 【3】一部損壊である。Fig. 6 と比較すると、傾向がほぼ対応していることから、アンケートデータが良好なサンプリングになっていると考えられる。また同箇所の液状化による噴砂の激しかった地域で、浸水が集中して発生していた (Fig. 14)。Fig. 15 と Fig. 16 は、Fig. 13 の一部を拡大したもので、Fig. 4 と比較すると家屋の被害が地盤の破壊によってもたらされていることが確認できる。また、全壊件数 / 被害件数が、Fig. 15 では 12.4%, Fig. 16 では 30.0% となり、地盤の側方流動の大きかった前山周辺の全壊率が 2 倍以上高くなっている。

4.4 能代市の被害分析に関する今後の課題

現在の段階では、個別データの内容によって色分け表示したに過ぎず、これまでの他の研究における GIS 利用の域を越えていない。しかし、本研究で構築を進めた「防災 GIS」は、様々な可能性を持っている。これを活かすために今後進めるべき課題を挙げると次のようである。

家屋被害・ライフライン破壊箇所の周辺の地盤の流動の変位・ひずみを求め、それを図化し、噴砂・亀裂などの情報とともに重ね合わせて見ることによって、破壊の発生機構を探る。地盤の変位・ひずみと家屋被害・ライフライン破壊の率との相関を調べる。地盤破壊の有無および管種別に、地盤パラメータと管路破壊率との相関を調べ、ライフラインの震害要因分析に用いることも考えられる。

ライフライン機能障害が、家屋被害とライフライン破壊のどちらと相関が高いかによって、その機能障害がネットワークにより発生したのか、個々の家の被害状況によるものなのかを調べることができる。また生活支障に関するデータを地図上に図示し、困窮度の時間的変化とライフラインの機能の復旧を比較して、困窮の原因がライフラインの機能障害によるものなのか、家屋被害によるものなのかを検討することも可能である。

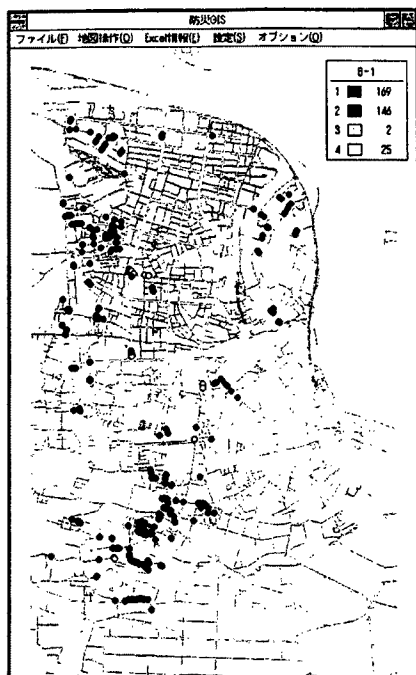


Fig. 11. Type of damaged water pipe ; Noshiro City data.

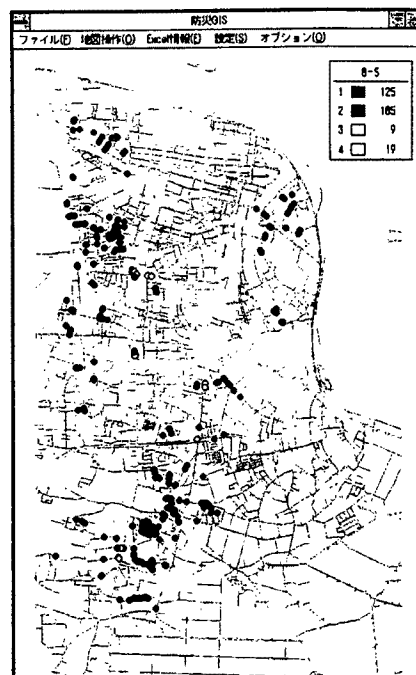


Fig. 12. Type of repaired water pipe ; Noshiro City data.

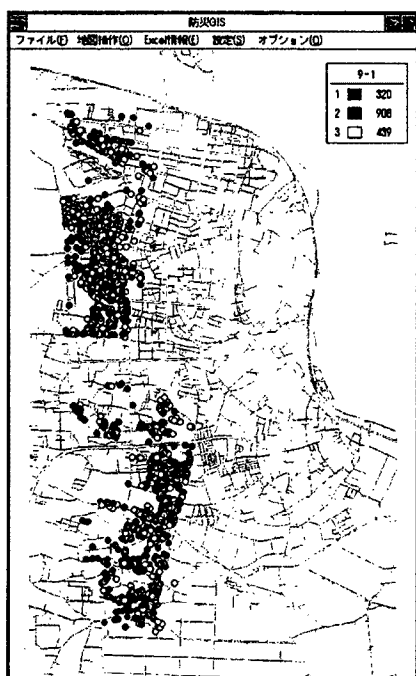


Fig. 13. Damage status of buildings ; Noshiro City inspection data.

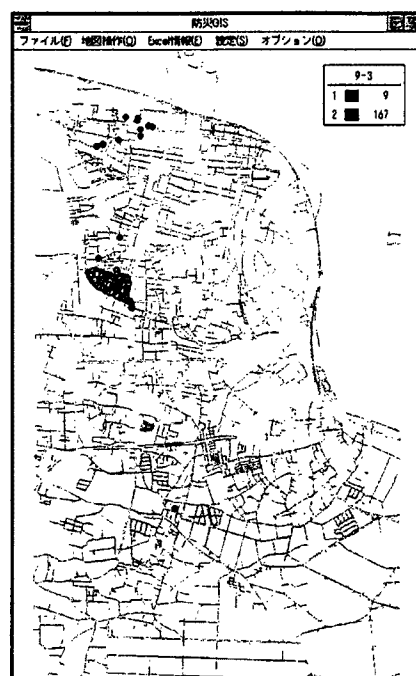


Fig. 14. Inundation under houses ; Noshiro City inspection data.



Fig. 15. Damage states of buildings at north-western part of Noshiro City ; inspection data.

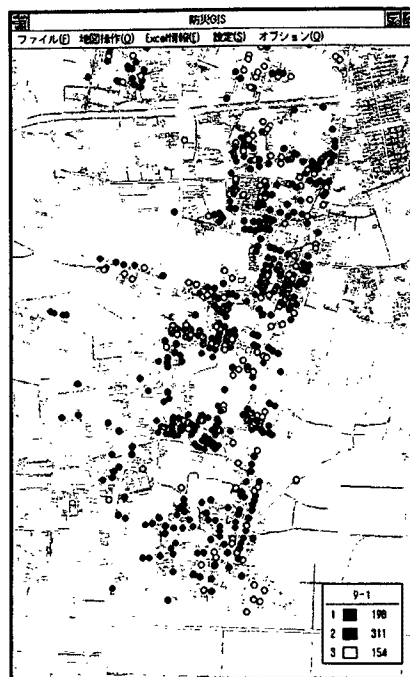


Fig. 16. Damage states of buildings at southern part of Noshiro City ; inspection data.

5. 防災 GIS の兵庫県南部地震への適用と問題点ならびに発展への提言

5.1 1995 年兵庫県南部地震への適用

平成7年1月17日午前5時46分に発生した兵庫県南部地震による「阪神・淡路大震災」は、震源地の淡路島ならびに神戸市から大阪に至る周辺都市を含む日本の大都市を襲った地震災害として、世界にも稀な歴史的被害となった。京都大学防災研究所建築系を中心とする調査チームは、地震発生の翌週の1月24日～26日の日本建築学会近畿支部を中心とする建物被害調査に参加し、神戸市中央区の建物被害分布を把握するための調査を行った。調査は、鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋コンクリート造などのコンクリート系構造、鉄骨造、木造などの構造種別によらず全数調査を目指した。調査方法・結果の報告は別途なされている^{27, 28)}ので、ここでは詳しい説明を割愛する。被害レベルの判定は倒壊、大破、中破、小破、軽微、無被害の6段階評価とした。今回の調査は、概ね短時間での外観による調査であったため、内部までの調査を行えば被害レベルの判定結果が変わる可能性がある。構造種別の判定も、特に被害の小さなものに対しては困難であるなどの問題点を含んでいる。また、特に木造建物の調査方法は、時間的制約や棟数の多さなどから、若干、他の構造の場合と整合性を欠いている。しかし建築構造的な広域的・詳細調査としては、現時点で他にまだない貴重な資料である。

ここでは、神戸市中央区の建物被害分布を把握するために構築してきたデータベースを基にして、GISによる被害分布表示を行った例^{29, 30)}を紹介する。基本地図データは国土地理院の「数値地図10000(総合)」による1万分の1地形図ベクトルデータ(南西部:垂水から、南東部:大阪港、北東部:川西までの23面)をフォーマット変換して用いた。建物情報の入力用には、Windows用の住宅地図ソフト(株)アップル

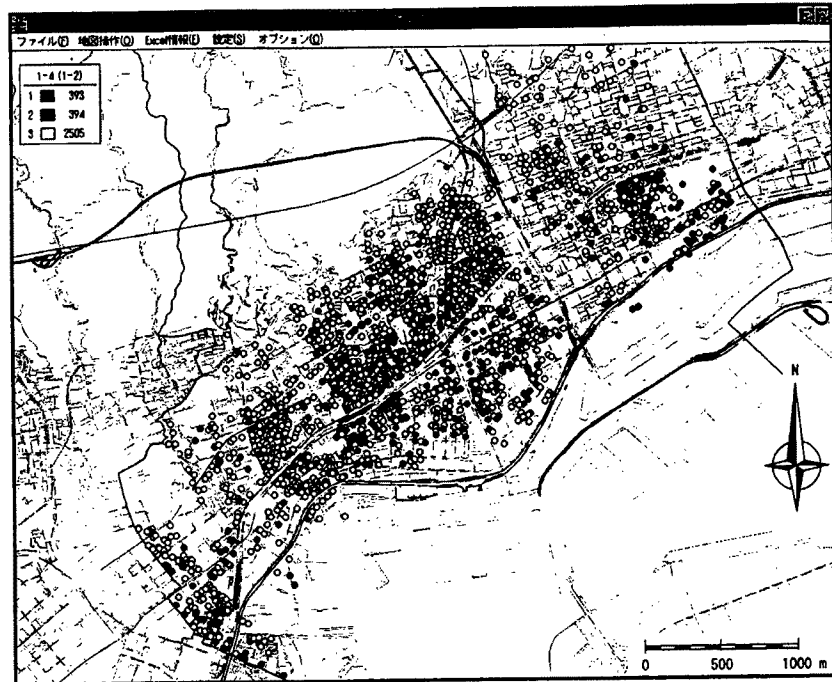


Fig. 17. Distribution of damaged buildings due to the 1995 Hyogoken-nambu Earthquake (Chuo ward, Kobe City).

カンパニーのRINZO/DM)を利用し、建物位置の平面直角座標系(19座標系)の値をテキスト・データとして取り出した。この建物位置座標値はExcel上で、建物情報とリンクさせた。中央区建物についてデータベース入力・作成した建物件数は現時点で11,214件である。その内、名称などから建物位置の特定できた、GIS表示が可能な建物件数は9,267件である。

神戸市中央区は構造種別に関わらず全体に大きな被害を受けている。また地形的には、北側の傾斜地の被害の程度は比較的軽く、南に下がるにつれて被害レベルが高くなる。海岸に近い地域では、液状化による噴砂や地盤の沈下などの地盤変状が見られ、それに伴う建物被害も認められた。鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋コンクリート造などのコンクリート系建物、ならびに鉄骨造建物の被害分布をまとめてFig. 17に示す。ここで、【1】は倒壊・大破、【2】は中破、【3】は小破・被害軽微を表す。これらの、いわゆる非木造建物の被害分布は大きく3つに区分できる。①西側区域では、大破以上の被害は、東側の地域に比べるとかなり少ない。②中央に位置する元町駅から三宮駅に至る地域では、JR(阪急)線をはさんで南北両側に一様に被害が現れている。③三宮駅より東側の地域では、大破以上の被害はJR(阪急)線より南側に集中している。

5.2 防災GISの現状での未解決点

(1) 情報表示

防災GISの現状で、情報表示に際しての未解決な問題点は次の通りである。

- ・図の中に項目番号しか表示されていないので、何についての図なのか調べるために対応表を見なければならない。質問内容を凡例の中に埋めこめば良い。
- ・配色によってかなり印象が変わってくるので、表現上の検討が必要である。
- ・マークが重なる事によって見えない部分が出てくるため、これをどう扱っていくかが問題である。現在は、入力した順に表示しているので、見え方と隠れ方はランダムになっていると思われるが、

データの内容によっては検討を行う必要がある。

- 本来は GIS プログラムから直接プリンタへ出力を行えるようにして、より鮮明な画像出力を行う必要がある。マークの縁取りを行いたいところだが、現在は出力を画面のハードコピーによって行っているため、解像度が低く縁の線が強くなりすぎるので行っていない。
- 家屋やライフライン施設の被害情報ならびにボーリングデータ等のテキストデータ、写真等の画像データなど、点に対して与えられた情報については、マウスで指すことによって、その内容をポップアップ表示する必要がある。
- 値の指定による図面寸法の正確な拡大・縮小を行う機能が必要である。
- 地震前後の対応点を指すと変位のベクトルが求められるような、地盤の変位量を求める機能が必要である。

(2) 写真の取り扱い

防災 GIS の現状で、写真の取り扱いに際しての未解決な問題点は次の通りである。

写真の入力はどこまで行うか。作業手順は、

- ① 写真をスキャナで取り込む。
- ② 一枚ずつ切り出し、ファイル化する。
- ③ ファイル名をデータベースに登録する。

写真のファイル名をどこに置くかが問題である。大きく分けて、2つの方法が考えられる。

- ① データベースの中に置く。この方法だと、その他の被害状況の情報と同じように Excel 上で管理できるようになり、整理しやすい。また、写真を地図に対応づける作業を他の情報と同時に行うことができるというメリットもある。ただし、その地点の写真だけを見たい場合、大きなファイルを開かなければならないので、検索速度が低下する。
- ② AIT ファイル上に置く。ここに写真のファイル名を記述すれば、検索を高速に行うことができる。とりあえずは、作業数の少ない①のみを行い、将来的には②も行っていくとよいと思われる。

(3) その他の検討課題

異なるデータソースの地図をどのように合わせていくかといったことも検討課題である。ライフライン機能障害との関係を見るときには、被害箇所をネットワークと対応づけなければならないが、その方法を検討していく必要がある。防災 GIS が進歩してくると、

- ① 線、平面、空間に対する属性の付与、検索。
- ② 線、平面、空間の位相の記述。
- ③ 不連続データの内挿、コンター作成。

といったことも検討課題に上ってくると思われる。

今回の兵庫県南部地震において、以下のようなことが問題となっている。

- 情報の収集・集積・伝達・分析・広報。
- 早期の被害の把握・予測・分析。
- 適切な人員・機材の配置。
- 適切な物資の分配。
- 事前の被害予測。
- 事後の復旧戦略の策定。

これらのことを効率良く行うために、GIS のリアルタイム性、様々な情報の集積・分析を行う能力を利用していけるのではないと思われる。

現在は「防災 GIS」の機能の一部を用いて選択的な表示を行っただけであるが、今後、地質図、土地利用図などの地盤関連情報、震度・最大加速度や速度などの地震関連情報、液状化や地盤被害の情報、交通も含めた各種ライフラインの物理的・機能的被害などの情報や復旧過程、さらに災害時の人間の行動・心理

など社会科学的な情報を「防災 GIS」上に蓄積し、それらのデータを重ね合わせることによって、データ間の相互連関の把握や定量的解析を行っていくことが可能となる。また範囲を被災地全体に広げて、マクロ・ミクロの両面からの考察を行える仕掛けを作りたい。3 D-GIS は、位相関係の記述に手間がかかり、また表現が難しいので、3 D-GIS が GIS の終着点であると決め付けずに、2 D-GIS を有効に利用する方法を検討する必要もある。また、行政と研究者、各企業間の連携による、データの統合が重要な課題となる。

6. 結 論

本研究では、都市地震災害を分析するための「防災 GIS」を、1983 年日本海中部地震による能代市の災害をケーススタディとして構築し、以下のような成果を得た。

(1) 災害研究と GIS 開発との協同によって、まだ発展段階にある GIS を両者の間でフィードバックしながらシステムを開発し、解析を行うことを前提とした実世界の仮想モデルをコンピュータ上に構築することにより、都市災害の総合把握、新しい総合的分析・予測法の構築を目指すという「防災 GIS」の概念構成を行った。

(2) 能代市の道路や等高線などの地図とアンケートデータ、ライフライン被害、家屋被害、地盤変状などの災害情報の GIS への集積法とその内容の表示法の検討を行い、防災 GIS の基本システムを構築した。

(3) 構築した防災 GIS 基本システムを用いて、アンケート・上水道管被害・建物被災度データの内容の表示を行い、その結果を考察し、相互に比較することによって、能代市における地震災害の総合把握を目指す防災 GIS の有効性を示した。

(4) 1995 年兵庫県南部地震による被害状況把握のための GIS 適用の例を示した。

(5) 今回のシステムの構築を通して明らかになった問題点を整理し、防災 GIS によって有効な解析を行うことができるとされる項目を列挙して、今後の防災 GIS の発展への提言を行った。

謝 辞

本研究に必要なデータ提供に御協力頂いた能代市役所の方々、GIS プログラムに関して多大なご指導・御協力をいただいた日立製作所中央研究所の皆様に御礼申し上げます。また兵庫県南部地震に関しては、建物 1 次調査を共に行った日本建築学会調査団のメンバー、データベース作成にご協力頂いた関係諸氏、中でも小原保子さん（㈱アップルカンパニー代表取締役）ならびに、畑山満則氏（㈱日立システムテクノロジー）に、本紙上を借りて、深甚の謝意を表します。

本研究が今回の兵庫県南部地震の被災地の復興と今後の災害の軽減に少しでも役立てることを願いますとともに、亡くなられた方々の御冥福をお祈り致します。

参 考 文 献

- 1) 能代市：昭和 58 年 5 月 26 日、日本海中部地震、能代市の災害記録——この教訓を後世に…、1984. 12.
- 2) 土木学会日本海中部地震震害調査委員会：1983 年日本海中部地震震害調査報告書、1986. 10.
- 3) 日本建築学会：1982 年浦河沖地震・1983 年日本海中部地震災害調査報告、1984. 12.
- 4) 町田 聡：地理情報システム—入門 & マスター—、山海堂、1994. 3.
- 5) H. Kameda, S. Kakumoto, H. Hayashi, S. Iwai and T. Usui : DiMSIS-A Geographic Information System for Disaster Information Management of the Hyogoken-Nanbu Earthquake, DPRI News Letter, Special Issue, Kyoto University, Feb. 1995, pp. 21 - 23.

- 6) 坂内政夫・角本 繁・太田守重・林 秀美：コンピュータマッピング，昭晃堂，1992. 10.
- 7) 菅野峰明・安仁屋政武・高阪宏行：地理的情報の分析手法，古今書院，1987. 12.
- 8) P. A. バーロー 著・安仁屋政武・佐藤 亮 訳：地理情報システムの原理，古今書院，1990. 6.
- 9) 慶応義塾大学環境情報学部久保研究室：GIS 入門 日本語版，1993. 2.
- 10) 白岩隆己・田中正央・藤森博美：実例パソコン 立体地図，講談社，1986. 6.
- 11) マップインテグレーション研究会編：都市と地図情報システム，講談社，1992. 4.
- 12) 財団法人測量調査技術協会：デジタルマッピング，鹿島出版会，1989. 4.
- 13) Jeffrey Star, John Estes 著・岡部篤行・貞広幸雄・今井 修 訳：入門地理情報システム，共立出版，1992. 8.
- 14) 財団法人生産技術研究奨励会：都市防災と地理情報システム (GIS) (第 2 回)，生研セミナーテキスト，コース 193 (2)，1994. 9.
- 15) 長橋純男：斜面都市長崎の災害危険度評価，日本建築学会大会学術講演概要集，構造 B 分冊，pp. 319-320，1994. 9.
- 16) 大池浩司・町田 聡：地理情報システムを適用した地域 (環境) 計画システムの検討，パシフィックコンサルタンツ (株) 総合研究所報告，第 2 号，pp. 1-6，1994. 1.
- 17) 天国邦博・坂本郁雄：パソコン GIS の業務活用—都市防災業務での利用—，パシフィックコンサルタンツ (株) 総合研究所報告，第 2 号，pp. 7-12，1994. 1.
- 18) 宝 馨：GIS (地理情報システム) とその水文・水資源への応用，水文・水資源学会誌，Vol. 5，No. 4，pp. 53-61，1992.
- 19) 荏本孝久・天国邦博・望月利男：GIS による 1993 年釧路沖地震における釧路市内の震度と被害の分析，日本建築学会大会学術講演概要集，構造 B 分冊，pp. 269-270，1994. 9.
- 20) 天国邦博・宮野道雄・望月利男：1993 年北海道南西沖地震の奥尻島における世帯別アンケート調査報告 その 4. GIS による青苗地区の避難軌跡分析，日本建築学会大会学術講演概要集，構造 B 分冊，pp. 297-298，1994. 9.
- 21) 亀田弘行・林 春男・浜田政則・角本 繁：1983 年日本海中部地震による被害の総合的再評価—能代市をフィールドとする都市災害の研究計画—，地域安全学会論文報告集，No. 3，pp. 93-99，1993. 5.
- 22) 川北 潤：質問紙調査による地震時の都市機能被害と生活支障の評価法—1983 年日本海中部地震の再評価—，京都大学工学部卒業論文，1994. 2.
- 23) 岩井 哲・北原昭男・亀田弘行：1983 年日本海中部地震による能代市の被害の再評価のための質問紙調査—家屋被害集計結果—，日本建築学会大会学術講演概要集，構造 B 分冊，pp. 307-308，1994. 9.
- 24) 亀田弘行・川北 潤・林 春男・能島暢呂・岩井 哲・北原昭男：質問紙調査による地震時の都市機能被害と生活支障の評価法—1983 年日本海中部地震の再評価—，土木学会関西支部年次学術講演概要，J-37，1994. 5.
- 25) 亀田弘行・川北 潤・林 春男・能島暢呂・岩井 哲・北原昭男：質問紙調査による都市の機能被害と生活支障の評価法，土木学会関西支部年次学術講演概要，1994. 5.
- 26) 岩井 哲：木造家屋の地震被害の総合的評価法—1983 年日本海中部地震における能代市を事例として—，地域安全学会論文報告集，No. 3，1993. 5.，pp. 339-347.
- 27) 日本建築学会：兵庫県南部地震災害調査緊急報告会資料，1995. 2.
- 28) 日本建築学会：1995 年兵庫県南部地震災害調査速報，1995. 3.
- 29) 岩井 哲・北原昭男・鈴木祥之・亀田弘行：1995 年兵庫県南部地震による建物被災把握のための地理情報システム (GIS) の利用，日本建築学会近畿支部研究報告集，第 35 号・構造系，1995. 6.

pp. 237 – 240.

- 30) 岩井 哲・北原昭男・鈴木祥之・亀田弘行：1995 年兵庫県南部地震による建物被災把握のための地理情報システム (GIS) の利用 (その 1), (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 II, 1995. 8., pp. 113 – 116.

付録：「地域情報の統合処理システムによる都市災害の分析・予測法」研究会メンバー

(五十音順)

赤松 純平	京都大学防災研究所
岩井 哲	京都大学防災研究所
上原 茂實	日立電子 (株) 総合防災センター
角本 繁	(株) 日立製作所中央研究所
亀田 弘行	京都大学防災研究所
川上哲太郎	東海大学海洋学部
北原 昭男	京都大学防災研究所
島崎 健一	日立電子 (株) 電子応用事業部
杉戸 真太	岐阜大学工学部
西村 敬一	京都大学理学部
能島 暢呂	広島工業大学工学部
濱田 政則	早稲田大学理工学部
林 春男	京都大学防災研究所