

3.2.6 地震災害の事前および事後の即時対応を考慮した地震情報統合システムの開発

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実効計画
- (e) 平成16年度業務目的

(2) 平成16年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法と成果
 - 1) 確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発
 - a) 周波数特性を考慮した詳細な表層地盤の地盤増幅マップの構築
 - b) 木造建物群の建築年代別被害予測モデルの構築
 - c) 木造建物の簡易耐震診断ソフトの開発
 - d) 防災まちづくり支援 GIS ツール試作版の開発
 - 2) 即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発
 - a) 地域住民による被害情報収集実験
 - b) 被災地における実被害情報収集システムの開発と実験
- (c) 結論ならに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文・口頭発表
 - 1) 論文発表
 - 2) 解説・パネルディスカッション
 - 3) 口頭発表
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成17年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

地震災害の事前および事後の即時対応を考慮した地震情報統合システムの開発

(b) 担当者

久田嘉章（工学院大学建築学科教授）統括

宮沢健二（工学院大学建築学科教授）木造建物の耐震性評価

村上正浩（工学院大学建築学科講師）防災まちづくり支援GISツールの開発

柴山明寛（工学院大学建築学科博士課程学生）被害情報収集システムの開発

吉田研史（工学院大学建築学科修士課程学生 現 住宅性能評価センター）

木造建物の耐震性評価

久保智弘（ABSGコンサルティング）地盤増幅特性評価、リスクマネージメント

システムの開発

(c) 業務の目的

本業務では、「確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネージメントシステムの開発」、及び、「即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発」を行う。前者の業務では地震調査研究推進本部が平成16年度末に公開する「全国を概観する地震動予測地図」を念頭に、昨年度の成果¹⁾を拡張し、まず関東平野を対象とした地域の詳細な表層地盤による地震動増幅特性を求め、次いで地域の地震被害想定と建物、特に木造を中心とする建物の高精度な被害関数の構築と各種耐震補強による費用対効果を加味した簡易耐震診断とリスクマネージメントソフトを開発する。さらには防災まちづくり支援GISツールの開発を行う。一方、後者の業務では昨年度の成果²⁾を拡張し、地域住民が自ら行う効率的な被害情報収集システムの開発と実験、および、ノートPC やGPS, デジカメ, 携帯電話など様々なモバイルツールと簡易GIS による地図情報を活用し, 防災専門家から一般ボランティアまで誰でも簡単に使用でき, かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる汎用性ある被害情報収集システムの開発を行う。

(d) 5 ヶ年の年次実効計画

1) 平成14年度：

東京都23区の地盤・地域・建物データを活用した地震動想定システムの開発

被害情報収集・提供試作版の開発

2) 平成15年度：

東京都23区の被害想定・簡易診断ソフト・リスクマネージメントシステムの開発

被害情報収集・提供試作版の開発と検証

3) 平成16年度：

東京都を対象とした地盤・地域・建物データを活用した地震動想定システムの開発

被害情報収集・提供試作版の開発と検証

4) 平成17年度：

東京都を対象とした被害想定・簡易診断ソフト・リスクマネジメントシステムの開発
被害情報収集・提供試作版の開発と検証

5) 研究開発5年目（平成18年度）

確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメント
システムの完成と公開

被害情報収集・提供試作版の完成と公開、マニュアルの作成

(e) 平成16年度業務目的

本業務では、「確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発」、及び、「即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システム」の開発を行っている。前者の業務では、昨年度の成果¹⁾である簡易地震被害推定ソフトを高精度化するため、まず関東平野を対象とした周波数および非線形特性を考慮した表層地盤の増幅特性を求め、さらに木造建物の高精度な被害関数を構築し、加えて簡易耐震診断ソフトを開発する。一方、地域防災への活用として防災まちづくり支援GISツールの開発を行う。後者の業務では、地域住民が自ら行う効率的な被害情報収集システムの開発・改良と、東京都北区上十条五丁目における防災訓練を利用した検証実験を行う。さらに様々なIT・モバイルツール（ノートPC やGPS, デジカメ, 携帯電話など）と簡易GIS による地図情報を活用し、防災専門家から一般ボランティアまで誰でも簡単に使用でき、かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる汎用性ある被害情報収集システムの開発を行った。本年度は昨年の情報収集システムに加え、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いたシステムを開発し、東京都北区上十条五丁目での検証実験を行った。

(2) 平成16年度の成果

(a) 業務の要約

本業務では、「確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発」、及び、「即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発」を行っている。

1) 確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発

昨年度の成果¹⁾である簡易地震被害推定ソフトを高精度化するため、まず関東平野を対象としてボーリングデータと地質断面図を用いて表層地盤のせん断波速度を推定する経験式を求めた。さらに近年の強震記録を用いた木造建物地震応答解析を行い、高精度な被害関数を構築した。さらに地域地盤データを活用した簡易耐震診断ソフトの試作版を開発した。一方、地域防災への活用として、防災まちづくり支援GISツールの開発を行った。

2) 即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発

昨年度の成果²⁾を進展させ、まずは住民が自ら行う被害情報収集システムを改善し、

北区区上十条五丁目における防災訓練を利用した検証実験を行った。さらに様々なIT・モバイルツールと簡易GISによる地図情報を活用し、防災専門家から一般ボランティアまで誰でも簡単に使用でき、かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる汎用性ある被害情報収集システムを開発した。特に本年度は去年の情報収集システムに加え、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いたシステムを開発し、東京都北区上十条五丁目での検証実験を行った。

(b) 実施方法と業務の成果

1) 確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発

a) 周波数特性を考慮した詳細な表層地盤の地盤増幅マップの構築

高精度な地域地盤増幅特性を求めるため、本研究ではまず文献³⁾の方法を参考に東京都における地質分類ごとの V_s の推定式を求め、実測値と比較検討する。本研究で使用した地盤データは、東京都土木技術研究所より提供頂いたPS検層データ（東京都23区および多摩地区東側の89地点のデータ）、および国土交通省の首都圏の地盤断面図⁴⁾（首都圏を南北方向、東西方向に約2 kmごとに分割された57の地盤断面図）である。PS検層データは、東京都23区および多摩地区東側の89地点のデータを用いた。データの構成は、深度、層厚、土質名称、N値、密度、 V_p 、 V_s などである。地盤断面図は、首都圏を南北方向、東西方向に約2 kmごとに分割された57の地盤断面図である。

作成したデータベースと地盤断面図の整理の手法は、次のとおりである。まずPS検層データと地盤断面図の位置情報をGISマッピングし、任意のPS検層データに最も近い位置にある地盤断面図を選択する。次に、地盤断面図の画像データからPS検層データと対応する地質を割り出し、それをPS検層データに新たなデータとして追加する。最後にPS検層データ、地盤断面図、PS検層データと地盤断面図の位置を、整理し一つにまとめる。今回の地質の分類には、国土交通省が地盤断面図と共に公開している地質分類表⁴⁾を使用した（その内容を表1に示す）。

作成したデータベースを用い、各地層の V_s と深度の依存性を検討し、 $V_s=ah^b$ を満たす回帰式を作成し、表1の各地層において誤差が最小になる係数を求めた。但し、江戸川層・東京礫層は V_s と深度の関係性がみられなかったため、平均値を採用した。また、作成の過程で既往の経験式などを指標に、あまりにもずれたデータはデータベース作成時のエラー値として、あらかじめ除いて作成した。(1)式が作成したデータベースから求めた推定式である。

表 1 使用した地質分類表

地質記号	土質	地層	地質年代	地質記号	土質	地層	地質年代																																																
Yuc	粘土	上部	有楽町層	Tcg	砂礫	礫層	後期更新世																																																
Yus	砂			Yug	砂礫			Ylc	粘土	Yls	砂	Ylg	砂礫	下部	有楽町層	Lm	ローム・凝灰質粘土	ローム層	Nac	粘土	七号地層	後期更新世	bl	ローム・凝灰質粘土	埋没ローム	後期更新世	Nas	砂	Ac	粘土	沖積層	後期更新世	Toc	粘土	東京層	中期更新世	As	砂	Ag	砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層					Ka	泥岩・砂岩・礫岩	上総層群	前期更新世		
Yug	砂礫			Ylc	粘土			Yls	砂	Ylg	砂礫	下部	有楽町層			Lm	ローム・凝灰質粘土	ローム層	Nac	粘土			七号地層	後期更新世	bl		ローム・凝灰質粘土	埋没ローム	後期更新世	Nas			砂	Ac	粘土		沖積層	後期更新世	Toc	粘土	東京層	中期更新世	As	砂	Ag	砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層				
Ylc	粘土			Yls	砂			Ylg	砂礫	下部	有楽町層			Lm	ローム・凝灰質粘土	ローム層	Nac	粘土	七号地層	後期更新世	bl	ローム・凝灰質粘土			埋没ローム	後期更新世	Nas	砂		Ac			粘土	沖積層	後期更新世				Toc	粘土	東京層		中期更新世	As	砂	Ag	砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層			
Yls	砂			Ylg	砂礫			下部	有楽町層			Lm	ローム・凝灰質粘土	ローム層	Nac	粘土	七号地層	後期更新世			bl	ローム・凝灰質粘土	埋没ローム	後期更新世	Nas		砂	Ac	粘土	沖積層			後期更新世						Toc	粘土	東京層			中期更新世	As	砂	Ag	砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層		
Ylg	砂礫	下部	有楽町層	Lm	ローム・凝灰質粘土	ローム層	Nac			粘土	七号地層	後期更新世	bl	ローム・凝灰質粘土	埋没ローム	後期更新世			Nas	砂	Ac	粘土	沖積層		後期更新世	Toc	粘土	東京層	中期更新世										As	砂	Ag				砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層					Ka
Lm	ローム・凝灰質粘土			ローム層																																																			
Nac	粘土	七号地層	後期更新世	bl	ローム・凝灰質粘土	埋没ローム	後期更新世																																																
Nas	砂			Ac	粘土	沖積層		後期更新世	Toc	粘土	東京層	中期更新世	As	砂	Ag	砂礫	Al	粘土・砂・砂礫	Ed	粘土・砂・砂礫	江戸川層							Ka			泥岩・砂岩・礫岩	上総層群		前期更新世																					
Ac	粘土	沖積層	後期更新世	Toc	粘土		東京層		中期更新世																																														
As	砂			Ag	砂礫		Al			粘土・砂・砂礫	Ed		粘土・砂・砂礫	江戸川層					Ka	泥岩・砂岩・礫岩	上総層群	前期更新世																																	
Ag	砂礫			Al	粘土・砂・砂礫		Ed			粘土・砂・砂礫	江戸川層						Ka	泥岩・砂岩・礫岩	上総層群	前期更新世																																			
Al	粘土・砂・砂礫			Ed	粘土・砂・砂礫		江戸川層								Ka	泥岩・砂岩・礫岩	上総層群	前期更新世																																					
Ed	粘土・砂・砂礫			江戸川層																																																			
				Ka	泥岩・砂岩・礫岩	上総層群	前期更新世																																																

$$V_s = 78.649H^{0.417} \left\{ \begin{array}{l} 0.65 \\ 0.5 \\ 0.839 \\ 0.624 \\ 1.436 \\ 0.873 \\ 1.088 \\ 1.143 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{有楽町層(砂・砂礫)} \\ \text{有楽町層(粘土)} \\ \text{七号・沖積層(砂・砂礫)} \\ \text{七号・沖積層(粘土)} \\ \text{礫層} \\ \text{ローム層} \\ \text{東京層} \\ \text{上総層} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、東京礫層:Vs=454(m/s)，江戸川層:Vs=492(m/s)，H:深度(m)である。

今回提案する推定式の精度をみるため、今井式、太田・後藤式、正木式⁵⁾との比較を図1に示す。図中の凡例の括弧内に、(推定Vs-実測Vs)/実測Vsの絶対値からばらつきを数値で評価した。0に近いほどばらつきは小さいことを表す。その結果、深度・地質年代の2つのみをパラメータとしている本研究の提案式から求めた推定値は、N値・深度・土質分類・地質年代の4つをパラメータとしている太田・後藤式や正木式から求めた推定値と比較するとばらつきはやや大きくなるものの、沖積層において対角線に近い傾向が見られたことから良い結果が得られた。

次に推定式を使用して作成した地盤モデルをVs=400(m/s)を基盤として解析し、増幅率と卓越周期を求めた。その解析結果から求められた各地点の卓越周期と、紺野らによる東京都区部の常時微動から推定した地盤の卓越周期の分布マップ⁶⁾とを比較した(図2)。その結果、本研究で得られた卓越周期のデータは紺野らの分布マップと近い値を示し、両者のデータともに山手台地と沖積層が厚くなる下町低地の境界地で卓越周期の違いが見られた。

本研究では、東京都を対象に深度とVsの関係について検討を行い、地質分類を考慮し

た V_s の推定式を提案した。提案した推定式の精度をみるため、既往の式との比較を行った結果、 N 値などのパラメータを与えていないことから太田・後藤式や正木式に比べるとやや精度は低いものの、 V_s を推定するには耐えうる精度があることを確認することができた。今後、地盤を補完して推定するなど、精度をさらにあげる必要がある。また、本提案式を使い、地盤速度構造を面的に評価できる地盤増幅率の 3 次元マップの作成する予定である。

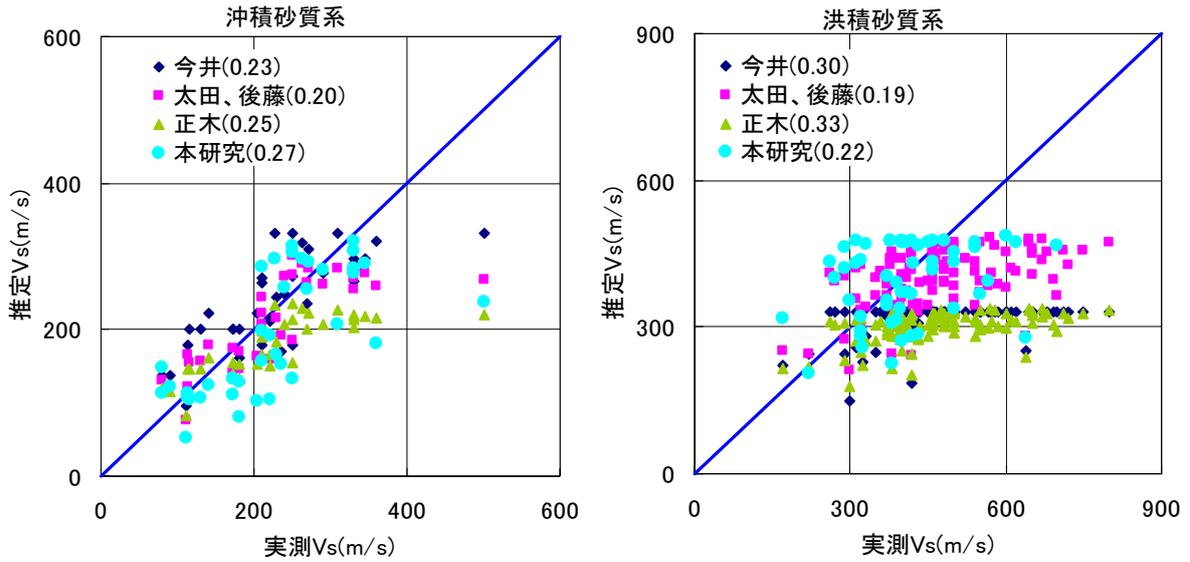


図1 (1)式を含む既往の推定式とボーリングデータによるVsの比較

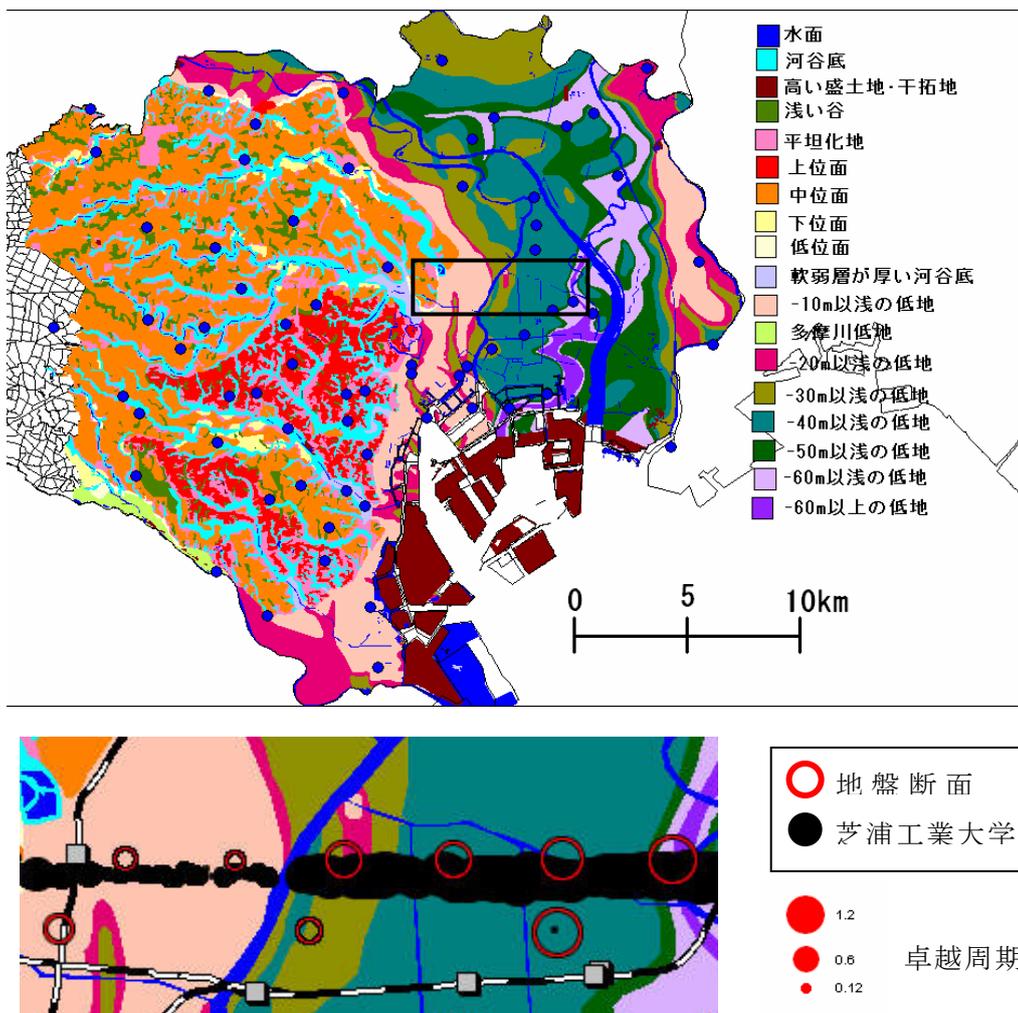


図2 微動による卓越周期の分布と本研究で推定した卓越周期の比較

b) 木造建物群の建築年代別被害予測モデルの構築

予想された強震動に基づいて建物群が受ける被害をいかに精度良く推定するかは都市防災において重要な課題であり、近年、これらを用いて地震被害想定が盛んに行われている。その際に用いられている建物の被害率関数は主に、これまでの地震の際に得られた被害統計データに基づく経験則であり、建物の構造特性を介した関係が把握される訳ではない。さらに、その多くは 1995 年兵庫県南部地震の被害統計と推定地震動強さを用いており、様々な地震動特性を考慮したものであるとは言えない。建物被害は建物の構造特性に影響を受けることを考えると入力地震動や建物モデルを仮定し、応答スペクトルや地震応答解析などによって建物の応答変形を計算し、そこから被害率関数を構築する方法で検討することが必要である。一方、2000 年鳥取県西部地震、2001 年芸予地震、2004 年新潟県中越地震において震度 6 強や 7 を記録したにも関わらず、多くの建物の被害は軽微な被害であった。長戸・川瀬⁷⁾は、兵庫県南部地震の建物被害データと再現波に基づく地震応答解析の結果から、木造、RC 造、S 造についての耐力分布を推定し、被害予測用数値解析建物群モデルを構築している。しかし、木造建物群については建物被害統計の制約から建築年代は考慮されていない。そこで本研究では、より詳細な被害予測を可能とするために、建築年代を考慮した木造建物群の耐力を推定し、様々な観測地震動を入力とした地震応答解析結果から被害率関数の構築を試みる。その際、被害率関数を既往の研究における破壊力指標以外についても構築し、木造建物群の被害と対応の良い破壊力指標の提案を試みる。

まず初めに、現在の設計基準と同等の耐力を有すモデルを設定し、これを標準建物モデルと呼ぶ。続いて、このモデルの耐力に適当なばらつきを与え、これを標準建物群モデルとする。さらに、建物群の実耐力を推定するために、標準建物群モデルの耐力分布を変動させ、観測された被害率を説明する耐力分布を推定する。また、建物被害データから算定した被害率を観測被害率、地震応答解析による被害率を解析被害率とする。

モデル構築に用いるデータは 1995 年兵庫県南部地震の地震動と建物被害データである。松島ら⁸⁾は六甲山地から大阪湾までの、震災の帯を含む 42km×18km の領域で 3 次元有限差分法を用いた強震動シミュレーションを行っている。再現波は 80m メッシュで 42km×18km の領域すべての点で得られているが、本研究では、x 軸方向 160m、y 軸方向 80m ピッチで、東灘区の領域を網羅する 1444 メッシュの再現波 (N57° W、S33° E) を入力地震動として用いる。

解析モデルは二階建て木造住宅を想定した 2 質点系せん断モデルとし、解析は Newmark の β 法により行い、 $\beta = 1/4$ 、時間間隔 $\Delta t = 0.005 \text{sec}$ とする。減衰は瞬間剛性比例型で減衰定数を 5% とした。せん断バネの非線形特性は鈴木ら⁹⁾の木造軸組構造実大振動実験を追跡できるように、Slip 型と Tri-linear 型を組み合わせ、各パラメーターを同定した。木造建物の耐力は基準法により必要壁量として定義されており、この壁量は $1/120 \text{rad}$ 変形時のベースシア係数 0.2 とされている。そこで本研究では、 $1/120 \text{rad}$ 変形時のベースシア係数 0.2 を降伏耐力とし、標準建物モデルの第一層の降伏耐力を 0.2、 A_i 分布から第二層の降伏耐力は 0.28 とした。以上のようにして決

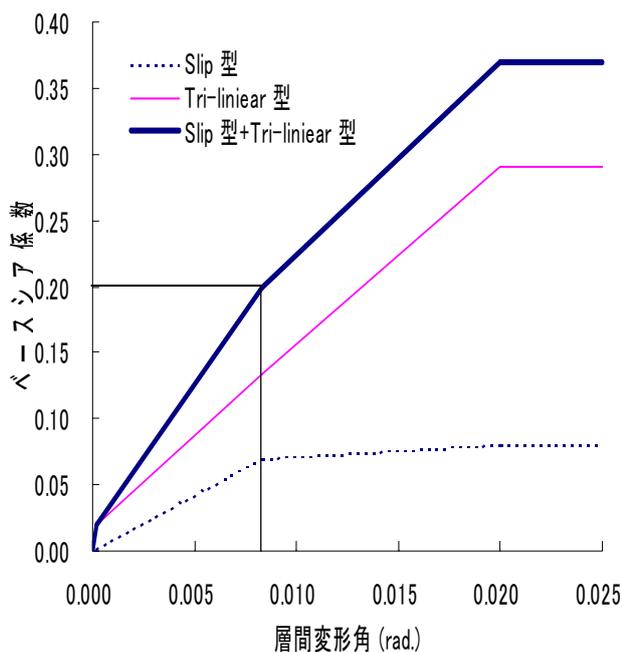


図3 標準建物モデルの非線形特性

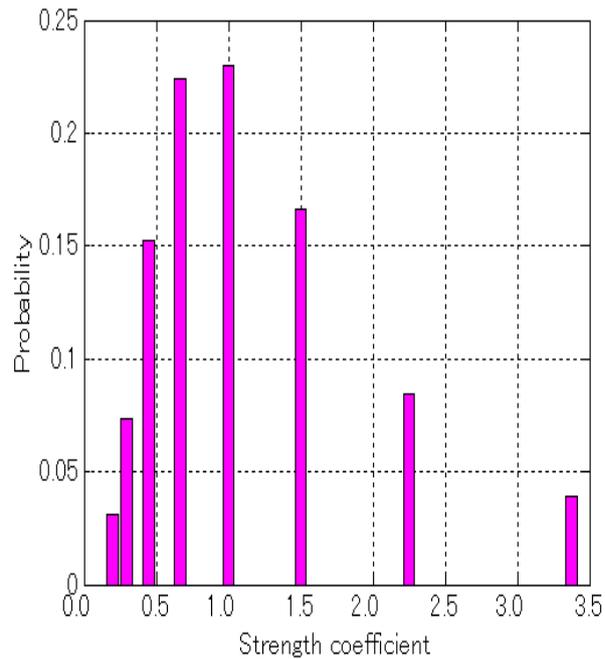


図4 設定した壁量充足率分布

定した第一層のせん断バネの非線形特性を図3に示す。また、木造建物 31 棟の詳細調査¹⁰⁾の平均から、モデルの重量は第1層 15.88tf、第2層 11.52tf、階高は第1層、第2層ともに 290cmとした。このときの1次固有周期は 0.41sec となる。耐力分布に関しては上述の文献¹⁰⁾における壁量充足率(有効壁量/必要壁量)及び壁量充足率比(2階と1階の壁量充足率の比)に基づき設定する。壁量充足率については対数正規分布の確率密度関数を求め、これを8個の代表値に対して離散化した値とし、壁量充足率比は度数分布により3個の代表値として、この両者を組み合わせて計24個のモデルとした。設定した壁量充足率の分布を図4に示す。

本研究では建築年代別に木造建物群の耐力を推定するために、2種の建物被害統計を用いる。一つは、震災復興都市づくり特別委員会及び兵庫県都市住宅部計画化が行った建物被災度調査結果、ならびに独立行政法人建築研究所が行った火災調査の結果を、建築研究所がデータ化¹⁰⁾したもののうち東灘区の部分である(以後、建研データ)。二つ目は、神戸市による罹災証明のための調査¹¹⁾のうち東灘区の部分(以後、罹災データ)から得ている。建研データと罹災データを比較するため、東灘区の168町丁目の観測被害率を図5に示す。被災度を表す名称は、地震動による建物被害を対象とするために、「一部損壊以下」に「一部損壊」、「無被害」、「全焼」を全て含めて、「全壊」、「半壊」、「一部損壊以下」に置き換えた。また、町丁目ごとの全壊率を比較したものを図6に示す。罹災データは建研データに比べて、全壊率が大きく明らかに被害判定基準が異なっており、村尾・山崎¹²⁾が指摘しているように税の減免等を考慮していることから、罹災データの方が建研データよりも全壊率が2倍程度大きいことが確認できる。建研データは学術的貢献を目的としており、被害判定の信頼性が高いが、木造建物の建設年代別でのデータが存在しない。一方、罹災データは構造的な被災度としては被害判定基準が緩いが、東灘区全域での建築年代別

の被害棟数が得られる。そこで本研究では、先ず建研データの観測被害率を用いて、建築年代区分無しの耐力を同定し、続いて、この耐力を用いて罹災データの建築年代区分無しの観測被害率を説明する破壊クライテリアを設定する。さらに、この破壊クライテリアを用いて、罹災データの各建築年代別の観測被害率から各建築年代別の耐力を推定する。

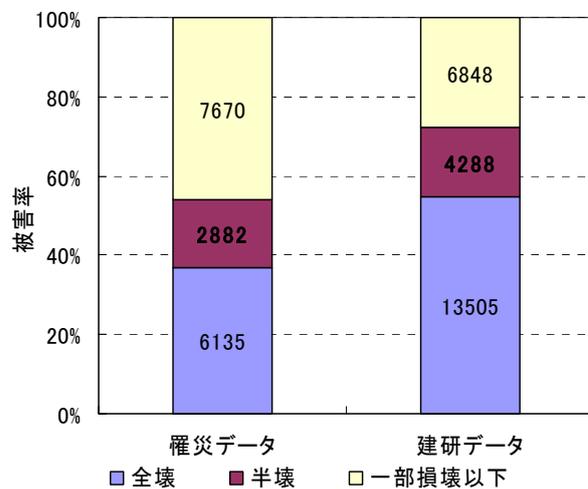


図5 被害率の比較

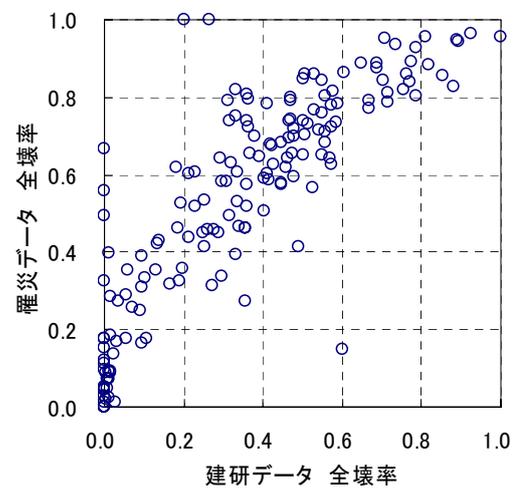


図6 町丁目毎の全壊率の比較

建物群の耐力の推定にあたっては、同定耐力の標準建物耐力との比を α と定義し、 α を標準建物群モデルのベースシア係数に乘じ、その耐力を用い、解析被害率が観測被害率に漸近するまで解析を繰り返す。なお α は0.05刻みとする。また設定した破壊クライテリア以上となったモデルを全壊以上の被害を受けたものとし、そのモデルの存在比率の合計を解析被害率とする。先ず、建研データに対しては破壊クライテリアとして最大層関変形角を1/10rad.に設定して解析を繰り返した結果、耐力比 $\alpha=1.85$ の値において、解析被害率が観測被害率に良くフィットした。続いて、罹災データについては、前述のように被害判定基準が異なっていると予想されるため、先ず建研データによって同定された耐力比は変更せずに、破壊クライテリアを変動させ解析を繰り返したところ、1/30rad.で罹災データの建築年代区分無しの観測被害率に一致した。続いて、この破壊クライテリアが罹災データの被害判定基準に対応すると仮定して、算定した破壊クライテリア1/30 radを用いて、耐力比 α を変動させ、建築年代別での耐力を推定する。結果、図7に示す α の値を用いると、図8に示すように各モデルの被害率が良く一致した。ここで推定した α はすべてのモデルで1.0よりも大きく、既存木造建物は設計基準で考慮されているよりも大きな耐力を持つものと推定される。特に建築年が1982年以降のモデルは1981年以前に建築されたモデルに比べ、平均的に2倍程耐力が高いと推定される。以後、建築年代別の耐力には罹災データから推定した耐力比を採用する。ここで、罹災データから推定した建築年代別の耐力は、破壊クライテリアを1/30rad.に設定して推定しているが、この破壊クライテリアを1/10Rad.として耐力を同定できる事を、東灘区西部地区について村上らが纏めたデータ¹³⁾から算定した町丁目毎の観測被害率を説明できる事で確認している。

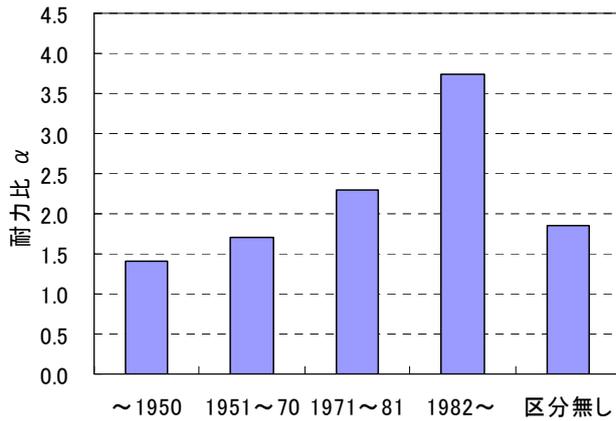


図7 同定された耐力比 α

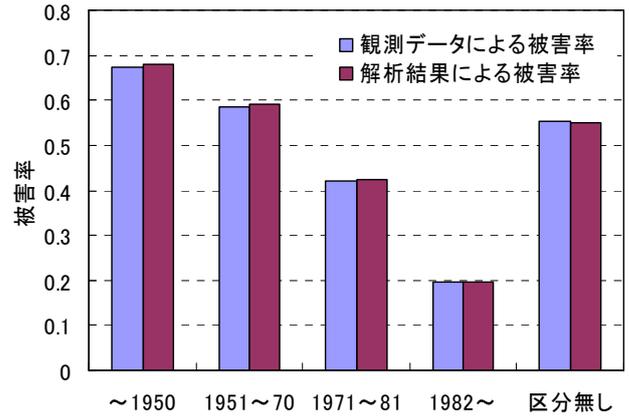


図8 被害率の比

2004年新潟県中越地震における川口町の気象庁震度計の地震記録(PGA, NS:1142gal, EW:1676gal)を構築した木造建物群モデルに入力して解析被害率を算定し、観測点の半径300m以内の観測被害率と比較する。調査¹⁴⁾は悉皆調査で行われており、被災度判定は岡田・高井¹⁵⁾の破壊パターンを用いている。建築年代は調査員の目視による判断で、築30年以上、築10~30年、築10年以内と判定されている。調査地域のうち、震度計の半径300m以内の木造建物は109棟(車庫などは除いた)であり、そのうち築30年以上の建物(1974以前)の全壊率は54%、築10~30年(1974年~1994年)では8%、また築10年以内(1994年以降)では全壊以上と判定された木造建物はなかった。図9に解析被害率と観測被害率を示す。解析被害率は過大評価になっており、特に1982年以降のモデルでの差は大きい。この原因として、モデルが表層地盤の影響を考慮していないことや、調査建物の構造形式の違いがあると考えられる。

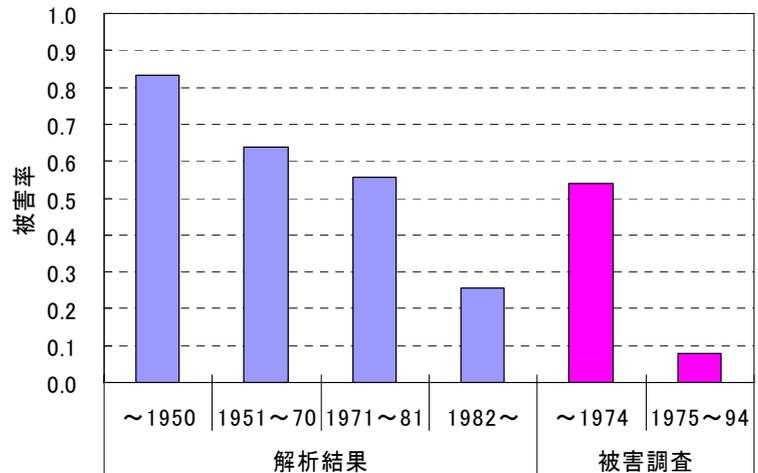


図9 観測被害率と解析被害率 (JMA川口, 水平2成分)

作成した木造建物モデル群を用いて、各破壊力指標(最大加速度・速度など)と年代別の被害率関数を構築する。地震応答解析に用いた地震動は、K-NET、KIK-NET、PEER Ground Motions および兵庫県南部地震の観測記録のうちNS,EWの一方でもPGAが400gal以上となった地点、計214地点である。解析に用いた主な地震の諸元を表2に示す。これらの強震記録の水平2成分を構築した建物群モデルに同時に入力し、被害率を算定する。被害率関数構築に関しては、先ず、既往の破壊力指標(PGA, PGV, PGA×PGV, SI(スペクトル強度), 計測震度)について検討する。強震記録はSIと計測震度以外水平2成分の最大値を選択したものをを用いる。SIは水平2成分のベクトル和から求めた。また、計測震度は3成分から計算するが、他の指標と同様の物理量の次元で表すため計測震度の

計算式における加速度 A_0 を用いる。解析被害率と破壊力指標 (x) の関係は対数正規分布に従うと仮定すると被害率 $P(x)$ は(2)式で表される。

$$P(x) = \Phi\left\{\frac{\ln X - \lambda}{\zeta}\right\} \quad (2)$$

ここで Φ は標準正規分布関数で λ と ζ は $\ln X$ の平均値と標準偏差である。この λ と ζ は確率紙での最小二乗法により求めた。各破壊力指標と解析被害率の確率紙上の相関係数を図 10 に示す。SI と計測震度 (A_0) が最も高い相関を示していることがわかる。PGA についてはすべてのモデルで相関が低い。各モデルはすべて 2 階建てを想定しており、周期特性の変化が少ないためモデル間の相関係数の違いは少なくなっている。ここで、破壊力指標を PGV とした時の被害率関数と村尾・山崎¹²⁾の被害率関数を図 11 に示す。村尾らの被害率関数と比べると、被害率が大きくなっているが、これは本研究のモデル構築に使用した再現強震動は表層地盤の増幅を考慮していないものであり、これがモデルの耐力推定に影響を与えていることが一因として考えられるが、村尾らの PGV も被害からの推定値であり、この違いについては今後の吟味が必要である。また、本研究の被害率関数は、様々な地震動特性を含み、比較的大きい被害率まで考慮していることで、図 10 に示したように PGV に関しては被害率との相関が低い事も要因として考えられる。

表 2 被害関数構築に使用する強震記録の主な地震と地点数

地震発生時刻	震源地	Mw	地点
1995/01/17 05:46	兵庫県淡路島北部	M 6.9	12
2000/10/06 13:30	鳥取県西部	M 6.6	11
2001/03/24 15:28	安芸灘沖	M 6.7	9
2003/05/26 18:24	宮城県沖	M 7.0	20
2003/09/26 04:50	北海道十勝沖	M 8.0	21
2004/10/23 17:56	新潟県中越地方	M 6.6	9
2004/10/23 18:34	新潟県中越地方	M 6.3	6
1979/10/15 23:16	IMPERIAL VALLEY	M 6.5	8
1983/07/22 02:39	COALINGA	M 5.8	5
1994/01/17 12:31	NORTHRIGE	M 6.7	24
1999/09/20 17:47	CHI-CHI	M 7.5	15
その他の地震 (400 (gal) \geq PGA)			75
計			214

ここでは長戸・川瀬⁷⁾の方法に従い、兵庫県南部地震の建物被害データと再現強震動に基づく地震応答解析の結果を用いて、木造建物群の耐力を建築年代別で推定し、被害予測モデルを構築した。さらに、構築したモデルに観測地震動を入力することで被害率関数を構築し、地震動の破壊力指標について検討した。以下に結論を述べる。

- a) 学術的な被害調査結果と自治体調査結果の二つのデータでそれぞれ耐力を同定することで、建物被害調査の判定基準は自治体調査の方が緩いことを確認した。また応答解析の破壊クライテリアを $1/30\text{rad.}$ に設定すると自治体調査の全壊率が説明できた。
- b) 既存木造建物は設計基準で考慮されているよりも強い耐力を保持しており、その傾

向は建築年代が新しくなるほど強いことを確認した。しかし、推定した建物群の耐力は、地震動特性や地域性等に依存するので検証が必要である。

- c) 構築したモデルに地震観測記録を入力して解析を行い、その解析結果から各破壊力指標に対する被害率関数を構築することで、被害と相関の良い破壊力指標を検討し、SI 値と計測震度が木造建物の被害と相関が良いことを確認した。

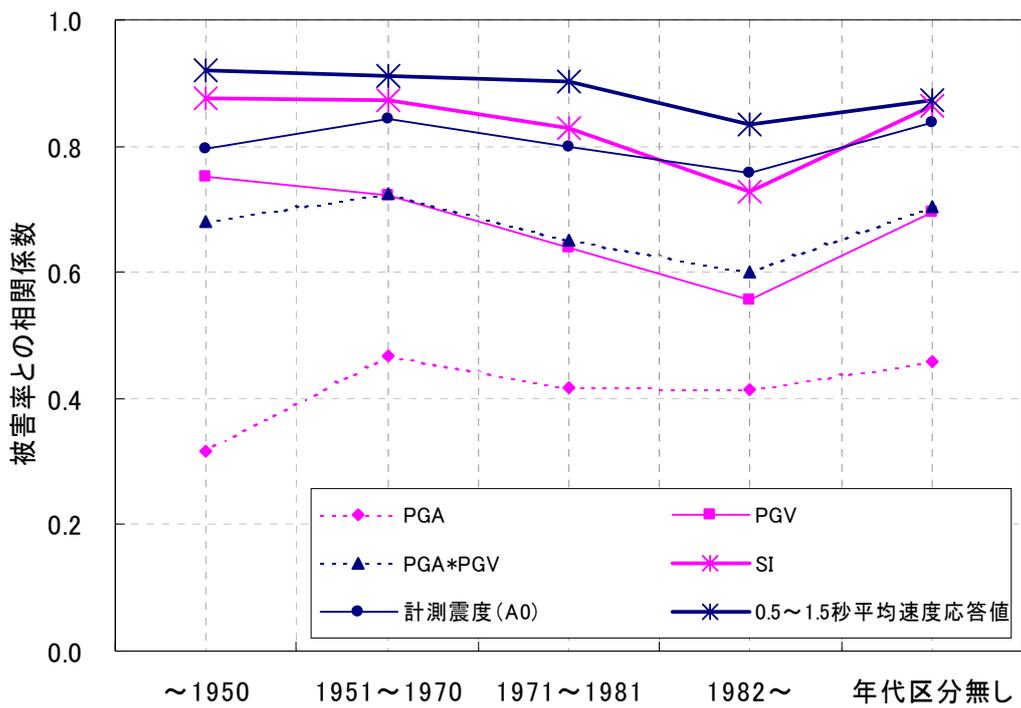


図 10 各モデルの相関係数

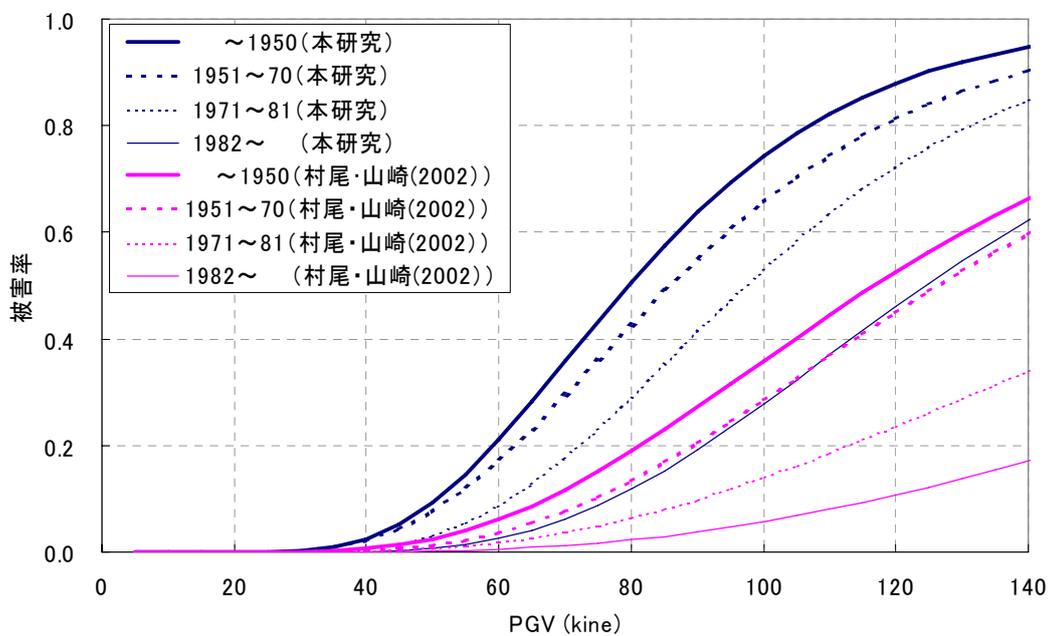


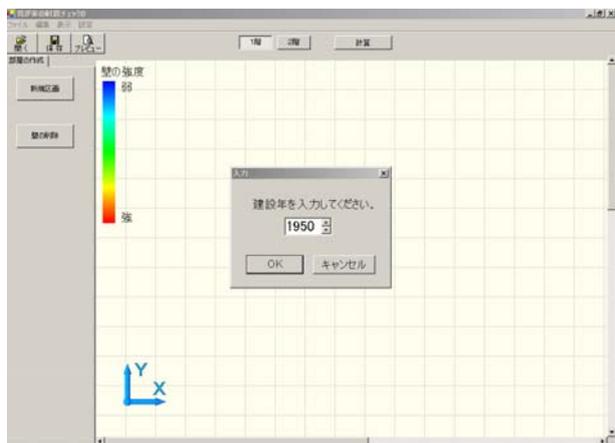
図 11 構築した被害率関数と既往の被害率関数の比較

c) 木造建物の簡易耐震診断ソフトの開発

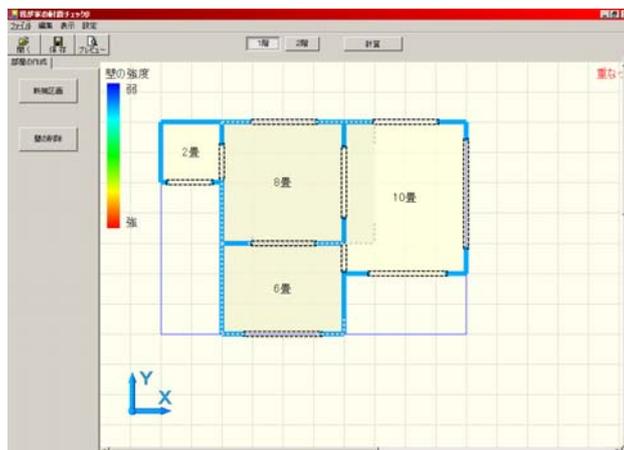
一般木造住宅を対象とした耐震評価を行うソフトの試作版を開発した。言語は Visual Basic.NET を使用した。本ソフトにより、一般住民が自宅のフロアプランを入力することにより、自宅の耐震診断を行うだけでなく、地震リスクを評価し、耐震補強などマネジメントできるものを目標としている。使用方法は以下の通りである。

1. 自宅の建築年代を入力する(図 12a)。
2. マウスを使い、自宅のフロアプランを配置していく(図 12b)。
3. 壁の削除及び壁の強度を入力する(図 12c)。
4. 建物基礎、地域係数、屋根形式、建物概要を入力する(図 12d)。
5. 入力情報を基に(財)日本建築防災協会が発行している「木造住宅の耐震精密診断と補強方法」より、耐震診断を行い、診断結果を表示します(図 13)。
6. 最後に耐震補強などにおけるコメントが表示される。(図 13)

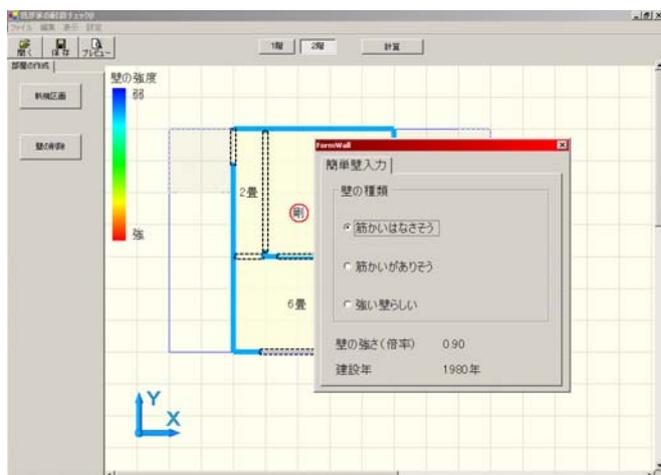
本ソフトは一般住民に使用して頂き、チェックの後、耐震補強効果に関するマネジメントソフトに発展させる予定である。



a) 建築年代入力画面



b) フロアプラン入力画面



c) 壁の強度入力



d) 建物概要入力

図 12 木造建物の簡易耐震診断ソフトの入力画面

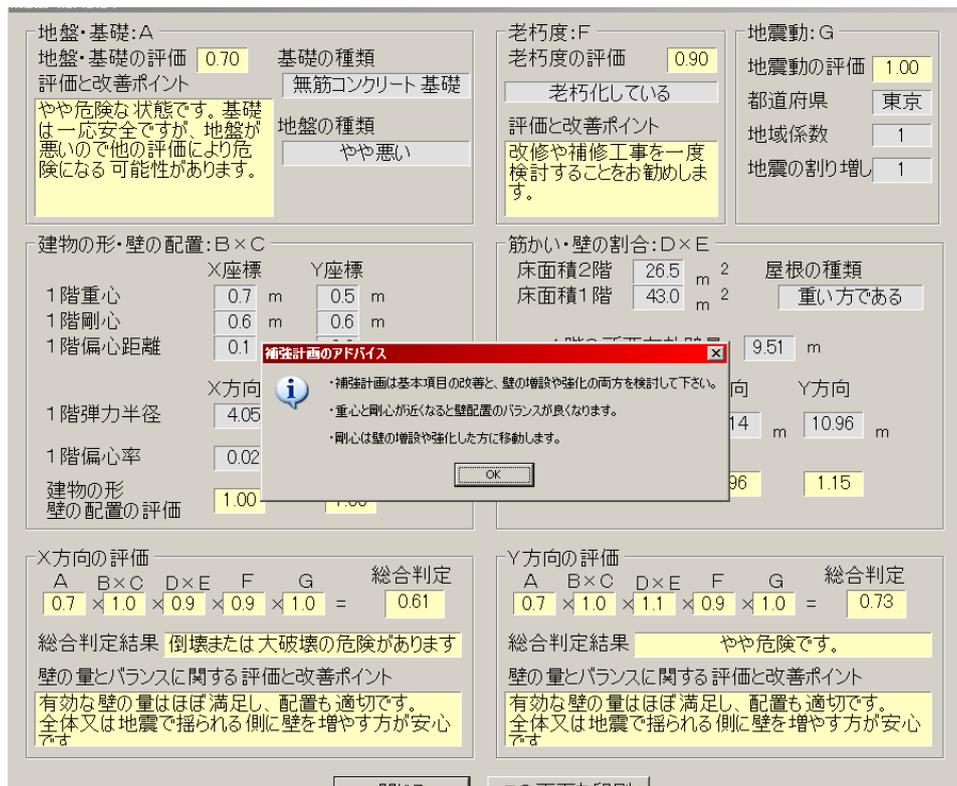
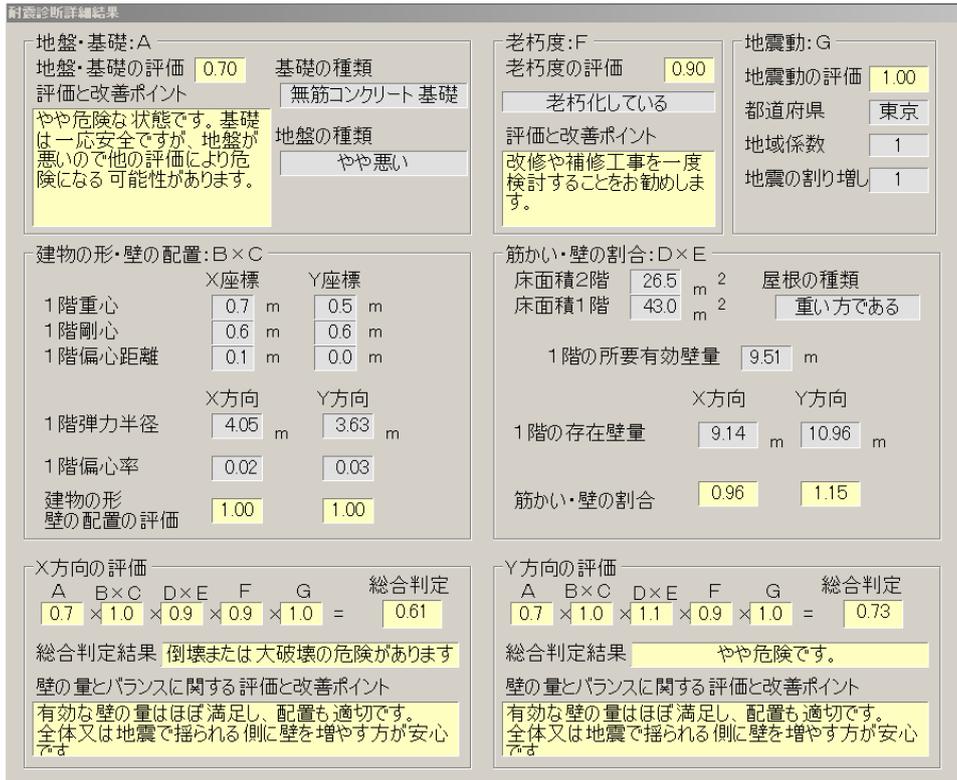


図 13 木造建物の簡易耐震診断ソフトの結果表示画面（上）と診断結果の表示（下）

d) 防災まちづくり支援GISツール試作版の開発

大震災時において、甚大な被害が予測される木造密集市街地の改善は国の都市再生プロジェクトにとりあげられるほど重要な課題である。そうした木造密集市街地の防災まちづくりを推進していくには、地域住民がまずは自分達のまちの安全性と危険性を十分に認識し、自らまちづくりの方向性を考え、自主的に活動していくことに役立つ技術開発が必要である。平成 15 年度は、Visual Basic を用いて市販 GIS ソフトをベースに独自の支援機能を構築し、簡易な防災マップの作成からそれらの地域情報のデータベース化、そしてそのデータベースを基に安全な避難ルートの検討がマウスによる容易な操作で行える支援ツールの試作版を作成した¹⁾。本年度は、全ての開発プログラムを Visual Basic.NET へ移行し、Visual Basic.NET の新機能を活用することで新たな支援機能の追加とインターフェース面の改良を行った。本支援ツールの開発対象は、昨年度と同様、東京都北区上十条 5 丁目である。支援ツールの開発環境は、ハードウェアとして、CPU が Athlon XP 2600+、メモリが 768M、OS が Windows 2000 の PC を使用し、市販 GIS ソフトとして、Informatix 社の SIS MapModeller Ver. 6.0、プログラム言語ソフトは Microsoft 社の Visual Basic.NET 2003 を使用した。

木造密集市街地の防災まちづくりを支援する GIS ツールの試作版の業務成果は以下の通りである。平成 16 年度の成果¹⁾では、Visual Basic を用いて開発を行っていたため、印刷等の諸機能面やインターフェース面で多くの制約があったが、本年度は開発言語を Visual Basic.NET へ変更して、新たな支援機能を追加するとともに住民にも分かりやすいインターフェースへ改良した。

本支援ツールを起動すると図 14 の画面が表示される。画面の左側に操作パネルが配置されており、まず上段には、①防災マップ・地域点検マップの作成、②地域の変化に伴う家屋の更新、③地域情報の検索、④主題図の作成、⑤簡易耐震診断(木造・RC造)の実施、⑥地域の防災性評価とそれに基づいた安全な避難ルートの検討、⑦印刷、という諸機能が実行できるパネルがあり、ユーザーはこれらのボタンをクリックすることで、簡易にこうした機能を使うことができる。中段には、上記の作業中において一定倍率及び任意の倍率での拡大・縮小、また画面のスクロールが行えるパネル、そして下段には、防災マップ・地域点検マップを作成する際に用いる約 100 種類の地域情報のアイコンが配置されたパネルがある。なお地域情報に関する各種アイコンは、セーフデザイン株式会社が提供しているものを使用した¹⁶⁾。また簡易耐震診断については、いわせ構造設計室のものを用いた¹⁷⁾。

防災マップ・地域点検マップの作成例を図 15 に示す。ユーザーは、作成したい地域情報のアイコンを選択して、画面上の配置したい場所をクリックしていくことで、見やすく分かりやすい防災マップ・地域点検マップを容易に作成することができる。また家屋の作成例を図 16 に示す。作成された家屋には、家主名、建築年、構造、階数、特記事項(災害弱者の情報などを任意に入力可能)といった属性情報を入力することができる。さらに地域の更新に伴い家屋がなくなった場合にはその家屋を削除することもでき、地域の変化に対応できるものとなっている。また図 17 は、簡易耐震診断の画面例である。ユーザーが自分の住む家を画面上でクリックすると、耐震診断を行うための質問事項が表示される。パネルにある指示に従い、質問事項に回答していくことで、自分の住む家の簡易な耐震診断を行うことができる(図 18)。このように作成した地域情報や家屋情報、また簡易耐震

診断の結果は、入力と同時に図形情報及び属性情報としてデータベース化され、様々な方法での地域情報の検索（図 19, 20）や、ビジュアルな主題図の作成（図 21）、地域の防災性評価とそれに基づいた安全な避難ルートの検討（図 22）に用いることができる。また必要なものは、凡例や方位、スケールバーを付加した PDF 形式のデータとしてパソコン内に保存できるとともに、ユーザーが保有するプリンタで容易に印刷することも可能である（図 23）。

また上記のような諸機能は、災害時への活用も可能であり、例えば住民が収集した地域内の実被害情報等を早期にデータベース化し、適切な応急活動のための意志決定の支援に役立てることもできると考えている。今後は、平常時だけでなく、災害時にも有効に活用できるツールへと改良を加えたい。

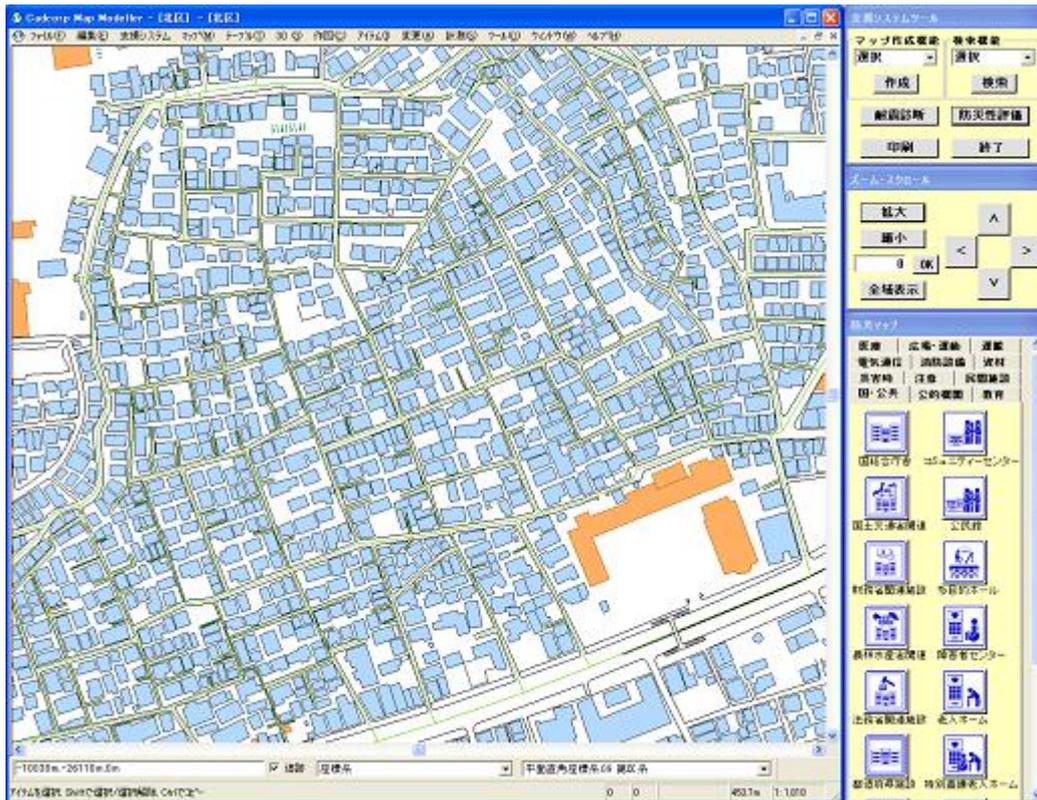


図 14 防災まちづくり支援 GIS ツールの起動画面

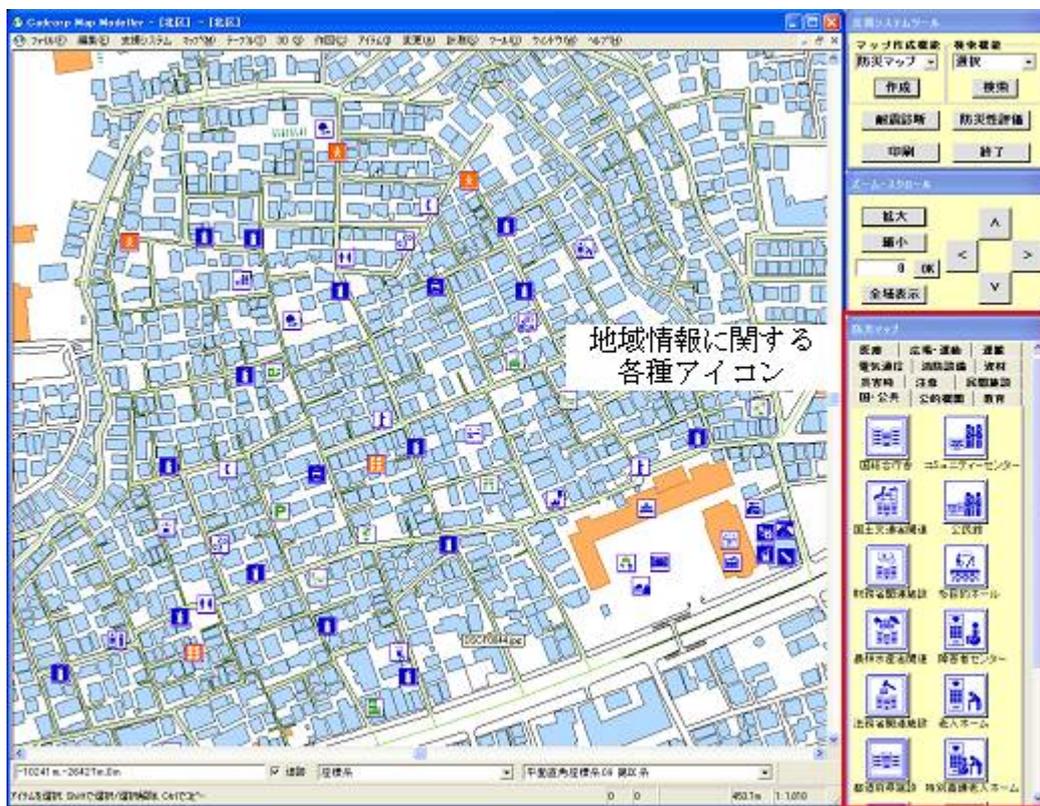


図 15 防災マップ・地域点検マップの作成例



図 16 家屋の作成画面例



図 17 簡易耐震診断の画面例



図 18 簡易耐震診断の結果の表示例

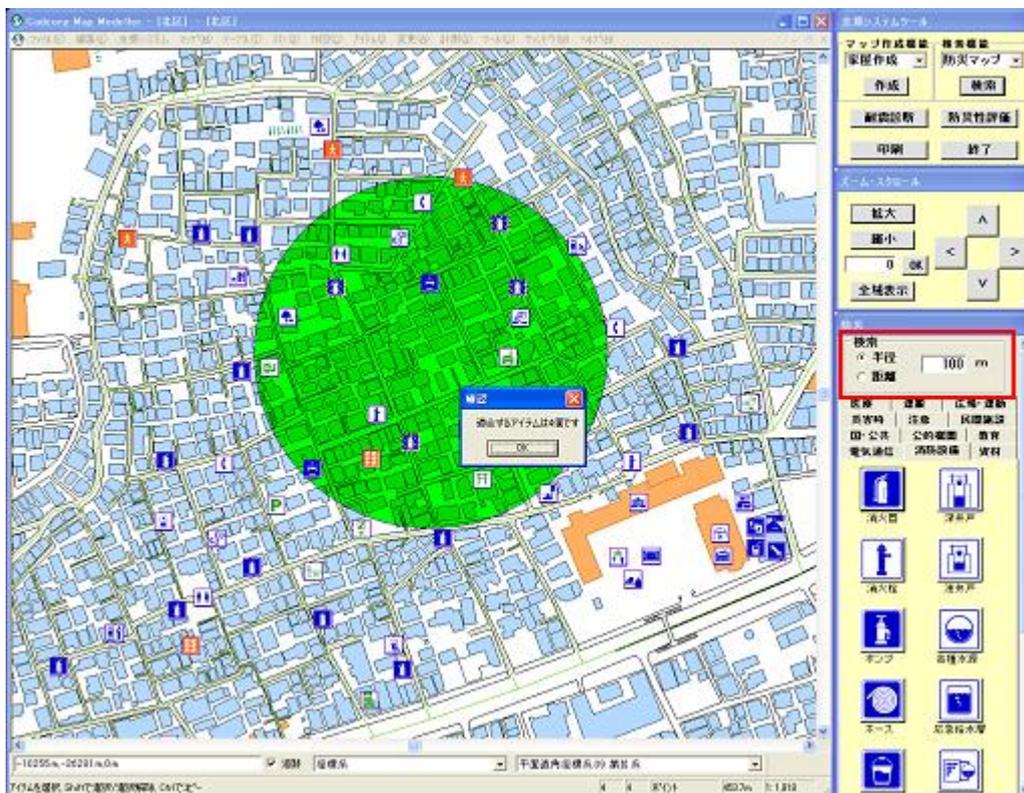


図 19 地域情報の検索及び表示画面例
 (ユーザーが指定した場所を中心とした100mの円バッファによる
 地域情報の検索例)

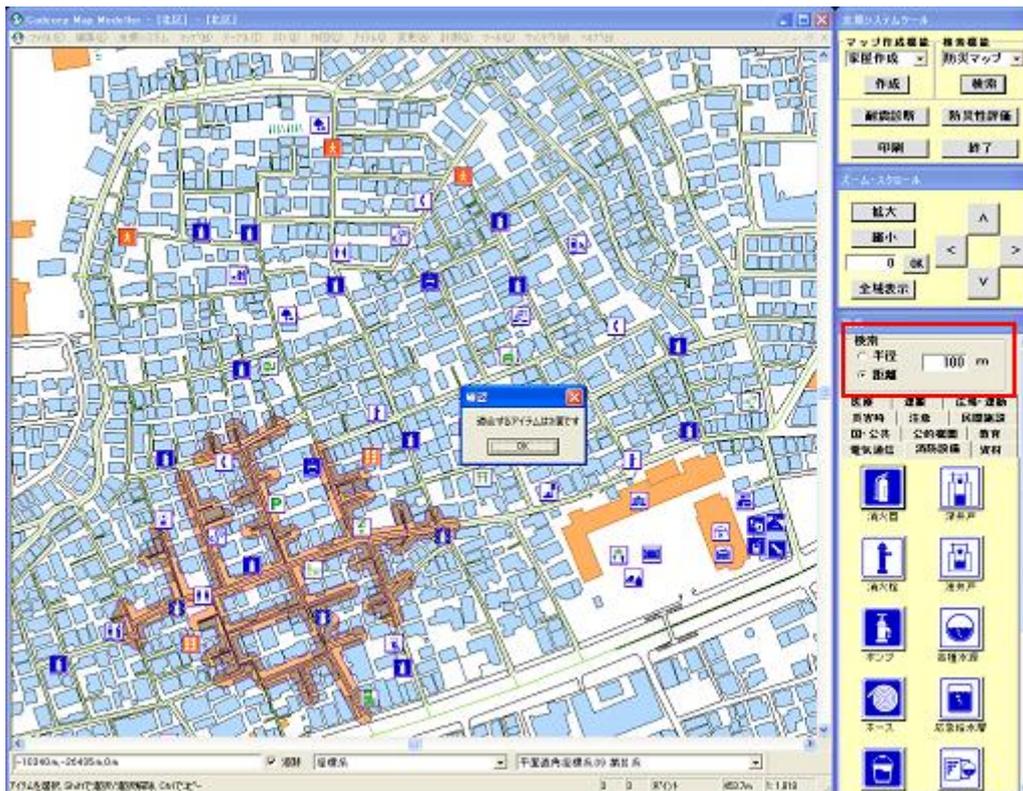


図 20 地域情報の検索及び表示画面例

(ユーザーが指定した場所から 100m 圏内のルートを抽出したうえでそのルート沿道の 3m 以内にある地域情報の検索例)

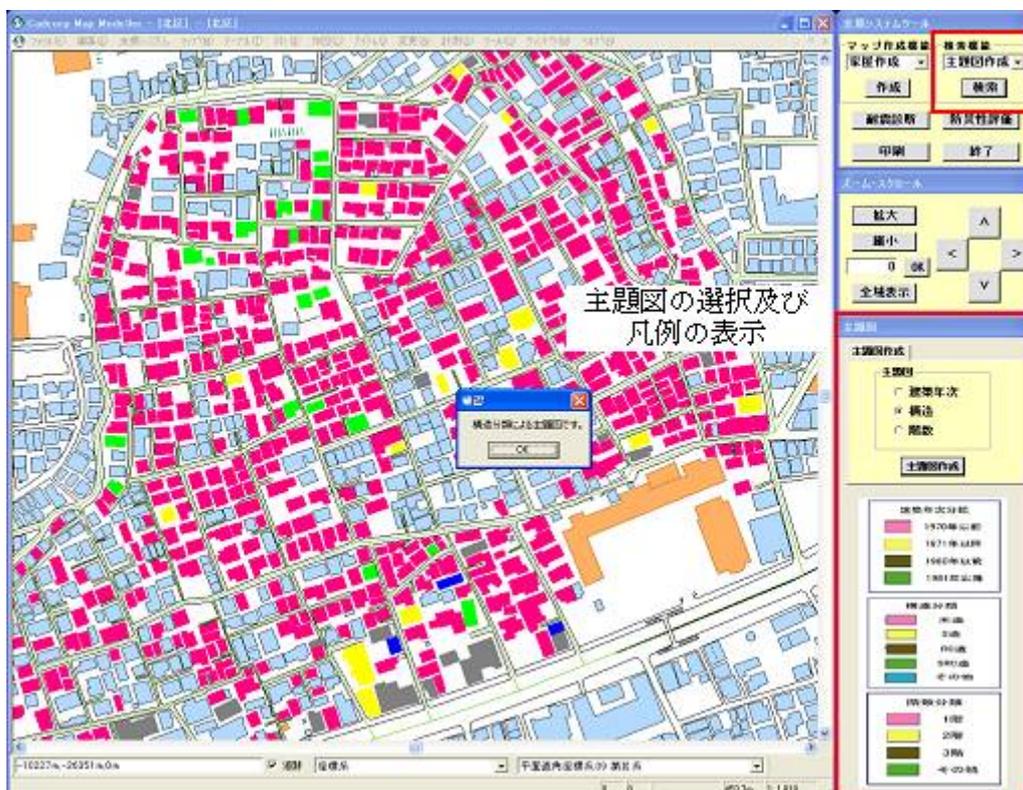


図 21 主題図の表示画面例

(入力された家屋情報を基に主題図を表示した例)

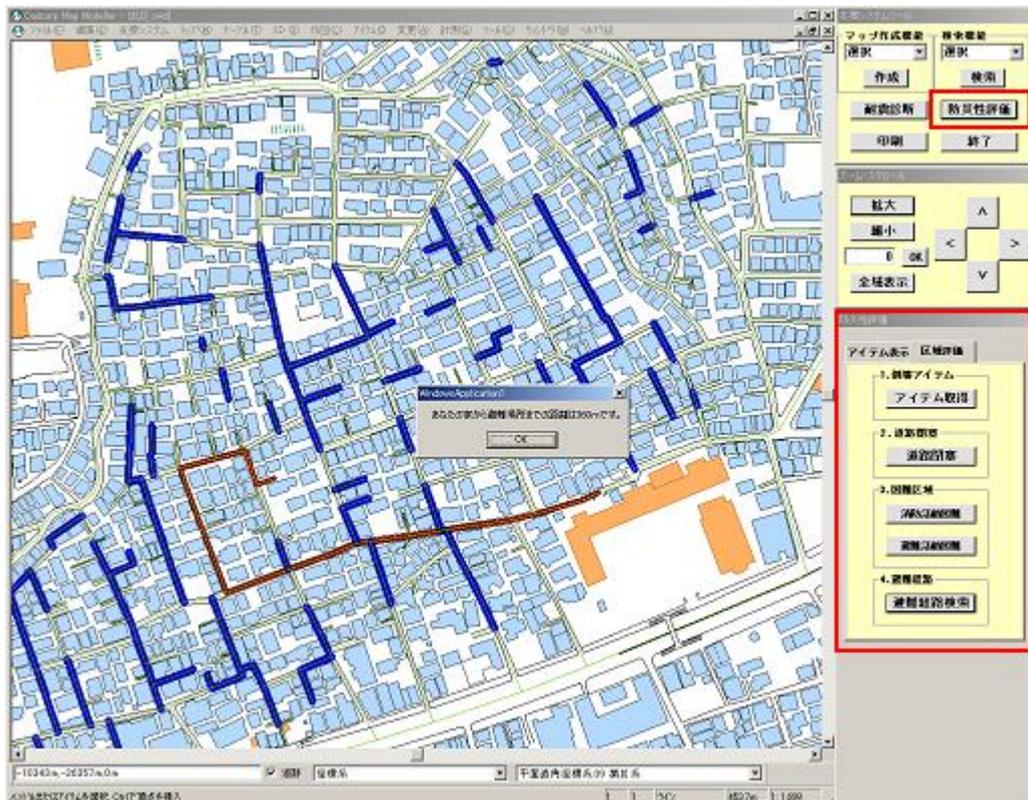


図 22 地域の防災性評価とそれに基づいた自宅から避難所までの安全な避難ルートの抽出例（青：道路閉塞が発生する可能性の高い道路，茶：安全な避難ルート）

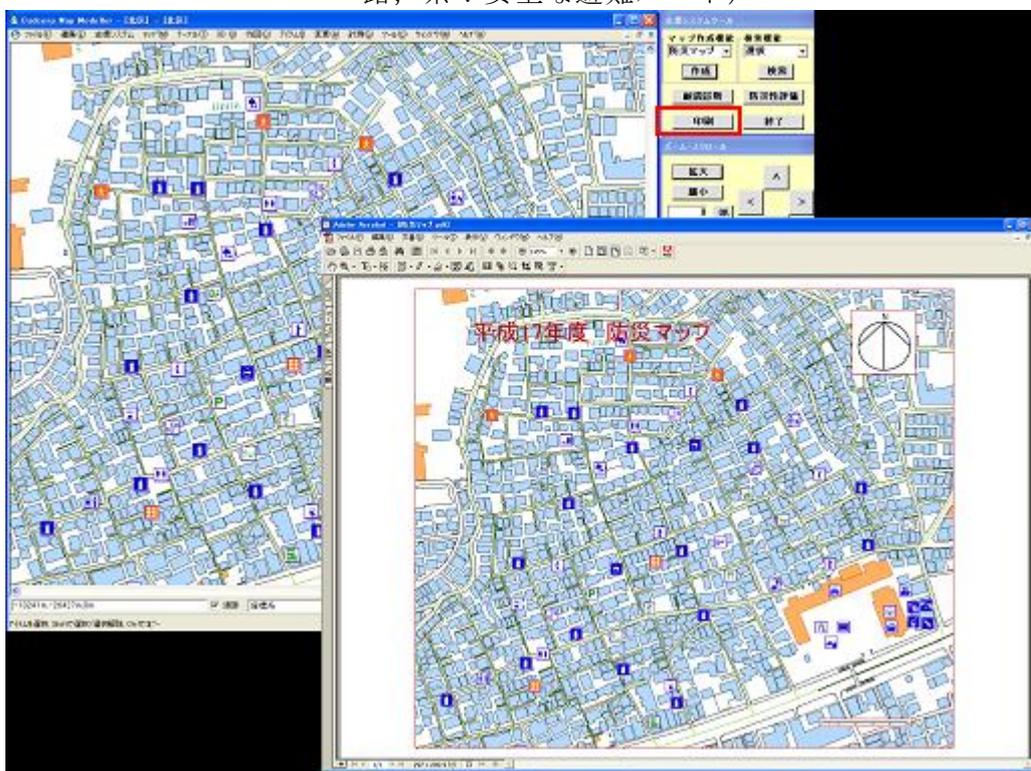


図 23 作成した防災マップ・地域点検マップを PDF 化した例

2) 即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発

a) 地域住民による被害情報収集実験

都市部で大規模な地震災害が発生した場合、公的機関だけでの即時対応は不可能であり、地域住民は自ら初期消火活動や救助活動を行う必要がある。本プロジェクトでは、これまで東京都北区上十条五丁目自治会の協力を頂き、地域防災マップの作成、耐震診断・補強や地域防災活動に関するアンケート調査の実施、防災訓練を利用した地域住民による被害状況マップ作成の訓練などを実施して来た²⁾。本年度の防災訓練では、住民による防災訓練として、自主防災組織の情報収集担当者による被害情報収集・伝達訓練、および発災対応型初期消火模擬訓練を行った。実験に協力頂いた東京都北区上十条5丁目は、面積約0.15 km²、人口約3,700名、世帯数約1,500（うち町会所属は約1,320）であり、住宅9割近くは低層木造住宅である木造密集地である。

本年度の実験概要は以下の通りである。まず防災訓練は2004年9月9日（日）の9時から11時30分まで約320名の住民が参加して行われた。地震が9時に発生したという想定で防災サイレンが鳴り、住民が自宅から一時避難場所である王子第3小学校へ避難をはじめ。自治会の役員12名は情報収集担当者となり、担当地区を巡回し、被害情報を収集する。防災訓練を開始する直前に、住民に分からないように図24に示す場所に建物被害（12箇所）と火災発生（1箇所）の看板（B2サイズの3面で構成を設置；写真1）に電柱に配置した。

さらに道路閉塞を3箇所設け、学生が看板を持って立ち、住民には道路を迂回して頂いた（写真1）。具体的な場所は住民には知らせておらず、避難する際に道路閉塞が発生した道路に遭遇した場合はその道路を迂回して小学校へ避難してもらった。結果として、88人の住民が閉塞した道路を迂回した。当地区は、狭隘な道路が多いうえに、そうした道路の沿道には老朽化した木造建物も多く存在することから、災害時に地区内の至るところで道路閉塞が発生することが予想される。そのため、日常的に利用している自宅から小学校に至る道路の多くが通行できなくなり、今回の訓練のように迂回を繰り返しながら避難していく状況になることを少しでも理解してもらえたのではないかと考えている。

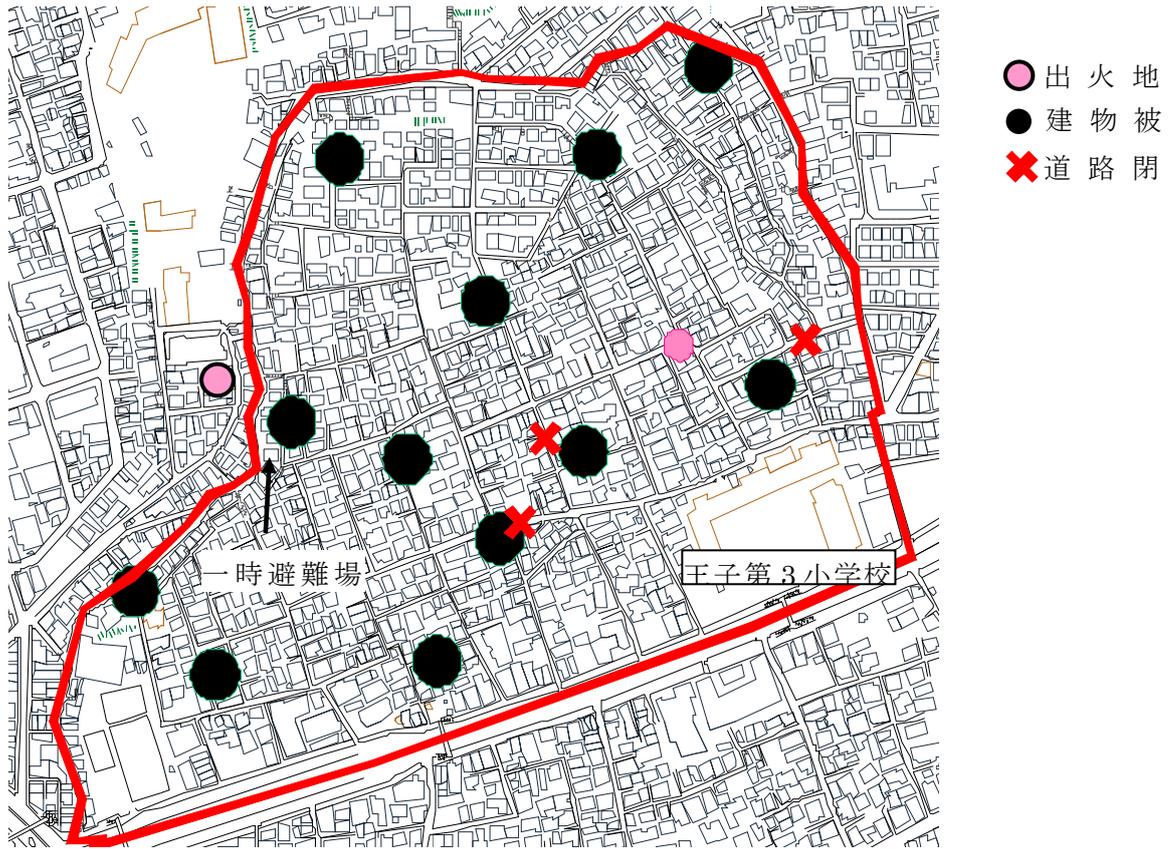


図 24 上十条5丁目と防災訓点時の看板設置地点



写真 1 実験用の看板の設置（左上と右上：建物被害、左下：火災、右下：道路閉塞）



写真2 総合防災訓練の様子（左上：消火器による消火訓練、右上：バケツリレーによる消火訓練、左下：可搬式消防ポンプを用いた消火訓練、右下：救出・救護訓練）

表3 発災対応型消火模擬訓練の結果

時間	訓練の流れ	消火器具の準備状況	運んできた住民
9:00:00	火災発生		
9:00:16	発見		住民A
9:00:37		バケツ1個目	住民B
9:01:48		バケツ2個目	住民C
9:02:45		消火器1個目	住民A
9:03:03		バケツ3個目	住民D
9:03:42		バケツ±0	住民E
9:04:33		バケツ4個目	住民F
9:05:07		バケツ5個目	住民B
9:05:13		消火器2個目	住民A
9:05:18		消火器3個目	住民A
9:05:42		消火器4個目	住民G
9:07:15		消火器5個目	住民D
9:07:32		消火器6個目	住民H
9:08:02		消火器7個目	住民A
9:08:21		バケツ6個目	住民B
9:09:27		消火器8個目	住民I
9:10:07		バケツ7個目	住民G
9:10:11		バケツ8個目	住民F
9:10:33	初期消火の準備完了	消火器9・10個目	住民A



写真3 発災害対応型初期消火訓練の様子

住民の避難は9時20分過ぎに終了し、9時30分頃から11時30分頃まで、小学校の校庭では、消防署員の指導を受けながら消火器を用いた初期消火訓練やバケツリレーによる初期消火訓練、可搬式消防ポンプを用いた消火訓練、救出・救護訓練が行われた(写真2)。また当地区の公民館では、婦人部の方がアルファ米の炊き出し訓練を行っており、総合訓練終了後に参加者はそれを受け取って帰宅した。

初期消火模擬訓練では、住民が自宅から小学校までの避難途中に火災被害の看板(写真1、位置は図24)を発見した場合、住民同士で協力しながら10分以内に、火災被害の看板に記載されている必要な人員5名、及び、消火器10本・消火用バケツ8個を周辺から集めて来る、というものである。なお消火器は地区内に備え付けてあるものを使用し、消火用バケツは現場周辺の住宅から借用することになっている。訓練結果を表3に、その様子を写真3に示す。訓練開始16秒で住民A(情報収集担当者の1名)が火災を発見し、約10分で他の住民(9名)と協力しながら初期消火に必要な消火器具を火災現場間で全て収集し終えた。これは初期消火が可能な時間であり、良好な結果であると言える。しかし仔細に見ると、消火器10個中6個は役員である住民Aが一人で集め、傍観している住民も多数いた。さらに火点近くにあるにも関わらず垣根など物陰にあるため発見されない消火器もあり、近隣住民が消火器の設置場所を周知していないことも明らかになった。

被害情報収集・伝達訓練の結果は以下の通りである。サイレンによる防災訓練開始とともに、自主防災組織の情報収集担当者(12名)は自宅を出て、担当エリアの被害収集を開始する。各担当者は、閉塞した道路を迂回しながら被害情報を収集し、事前に配布しておいた家主名入りの住宅地図(A3サイズ)にその情報を記入していく。そして担当エリアの巡回が終わると、一時避難場所である小学校へ向かい、被害情報(火災1箇所、建物被害12箇所、道路閉塞3箇所)を本部へ報告し、被災マップを作成する(写真3)。

被害情報の報告及び被災マップの作成にあたっては、昨年の教訓²⁾を踏まえて、被災マップと情報収集担当者へ事前に配布した情報収集用地図とを同一とし、さらに被災マップには家主名が入った住宅地図を用いた(サイズはA1)。被災マップの作成は、担当者から報告を受けた後、赤(火災)、青(建物被害)、黄(道路閉塞)のシールを地図上に貼り付け、同時に要救助者などに関する情報もシールの横に記入した(写真3)。被害情報は、入力と同時に大画面モニターへ映し出され、他の参加者にも即座に地区内の被害情報が分かるようにした。またこのシステムと連動して東京大学関沢研究室の延焼シミュレーションシステムを用いて、住民により入力された火災被害情報をもとに延焼シミュレーションを行い、今回仮定した火点から徐々に延焼していく様子を大画面モニターに映し出し、住民へ公開した(写真4)。

被災マップは、収集開始から約40分と短時間で完成した。但し、図25に示すように建物被害では発見ミス(見落とし)が2箇所、報告ミス(発見位置の間違い)が5箇所あった。また図26は道路閉塞の結果であり、報告ミスが1箇所あった。発見ミスの原因は、看板の単純な見落としや、巡回ルートから被害情報の設置位置が外れていたことがあげられる。報告ミスの原因は、配布した地図(図27)と住民が日常的に利用しているデフォルメされた町内地図とが異なることから、正確な位置が把握できなかった可能性がある。さらに担当者の1人は事前に配布した収集用の地図を自宅に忘れ、記憶のみで被害情報を収集して報告したこともあげられる。但し、実際の家には被害が起きた場合は、看板のように

見落としが生じるとは考え難く、また地域住民は地元の地理を把握しているため、実際の家屋被害では「～番地の～さんの家が潰れた」などとの付帯情報の収集も可能となるため、大きな情報収集ミスの可能性は小さいと考えられる。



写真4 被災マップ作成訓練の様子
(左：住民による被災マップの作成、右：大画面モニターへの表示)

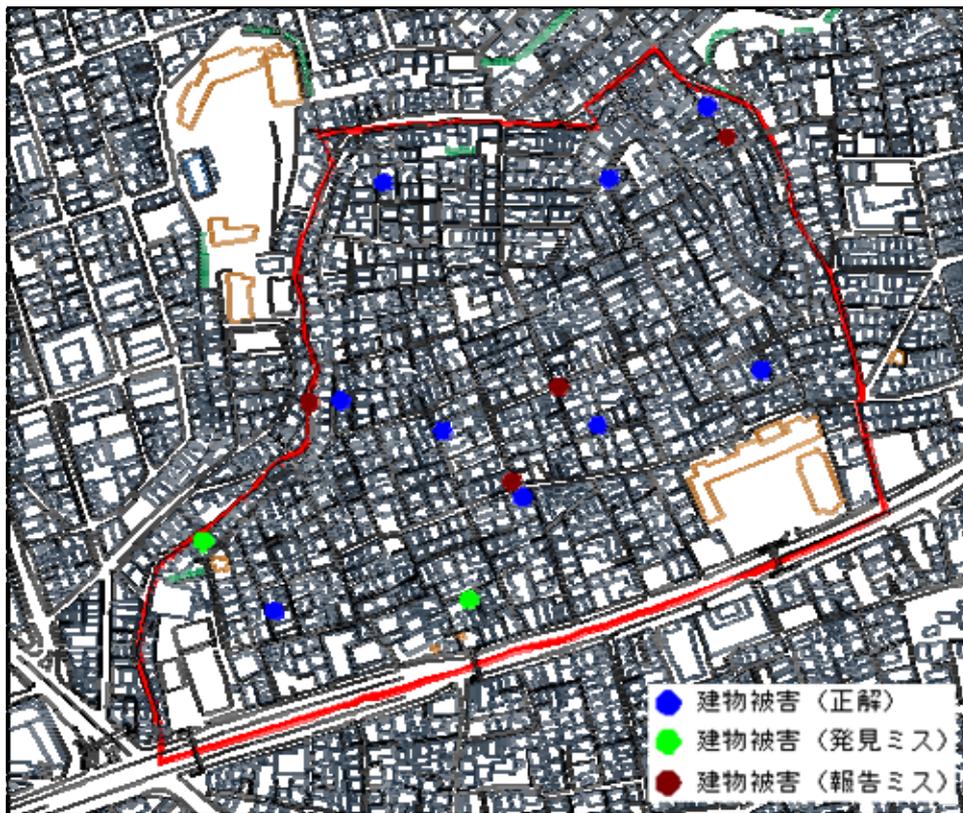


図25 建物被害の情報収集結果

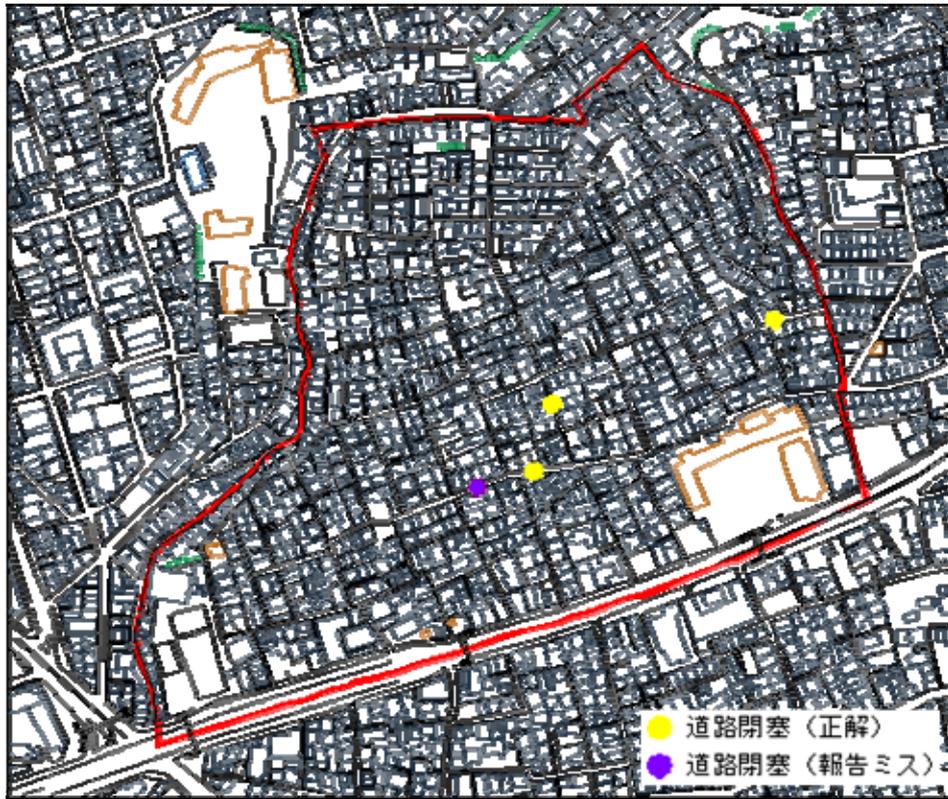


図 26 道路閉塞の情報収集結果



図 27 被害情報の収集及び被災マップの作成に用いた住宅地図 (家主名入)

b) 被災地における実被害情報収集システムの開発と実験

昨年（平成15年）度ではノート PC や GPS, デジカメ, 携帯電話など様々なモバイルツールと簡易 GIS による地図情報を活用し, 誰でも簡単に使用でき, かつ初動調査から被災度区分判定など様々な情報収集にも対応できる実被害情報収集システム（Pro-Info system）の開発および路上実験を行った^{2),18)}。昨年度の路上実験により, 被害調査に関しては従来から行われている紙地図による調査方法と同程度の調査が可能であった。また集計に関しては, 収集している段階でデータベースの作成が可能であり, 紙地図による調査方法より優位性があることがわかった。しかし, 問題点もいくつか挙げられ, ノート PC の画面が太陽光で反射し操作に支障がでる場合があること, 様々な機器を付けている関係でノート PC のバッテリーの消費が激しいこと, 雨天におけるノート PC の使用性に制約があること, などである。このため, 平成16年度これらの問題点の解決をするために HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いたウェアラブル PC システムの開発を行った。また, 昨年度と同様に路上実験を行い, 従来の紙地図, 昨年と同様な Pro-Info system, さらにウェアラブル PC システムを用いた情報収集を行い, 比較検討した。

本年度は, Pro-Info system の改良型として HMD を用いたウェアラブル PC システムの開発を行った。ここでは Pro-Info system のプログラムの変更, 及び GUI（グラフィカルユーザインターフェース）等の変更等は行っていない。これは, 本システムがハードウェア（パソコン等）に依存しない設計をしているためである。HMD とは, 頭部に小型ディスプレイ端末を装着し, 両目もしくは片目でパソコンの画面などの映像を見るものである。これは, 通常のパソコンディスプレイと同様な機能を持ち合わせており, HMD を装着すると感覚として数十センチ先に数十インチサイズ相当のディスプレイ画面が見えるものである。本システムでは, 単眼型の HMD を用いており, 足元・左右の視界をほとんど遮らず, 行動の妨げにならず, また使用時の安全性を確保することができる利点を持っている。その他の利点としては, ノート PC のディスプレイに比べ消費電力が少なく, また, ノート PC と HMD をケーブルで接続できることから, ノート PC をバックや鞆等に収める事でき, 雨や粉塵などによる悪条件化でもノート PC を壊すことがなく, ノート PC の操作が可能である。そして, 目の近くに HMD を装着するため太陽光などの影響を受けない利点を持っている。

本システムにおけるウェアラブル PC システムの構成は, HMD, ノート PC, 小型キーボード, GPS からなる。HMD とノート PC の接続例及び装着例を写真5に示す。本システムで用いている HMD は, 島津製作所社製の Data Glass2/A を使用し, 解像度が 800×600, 電源は USB から供給される。ノート PC は, 汎用型のノートパソコンを使用し, 小型キーボードは, マウス操作, キー入力可能なロアス社製の Keiboard を使用している。GPS は, GARMIN 社製の Geko シリーズを使用している。ノート PC は, 背中のバックの中に収められており, それぞれの機器を USB で接続を行っている。

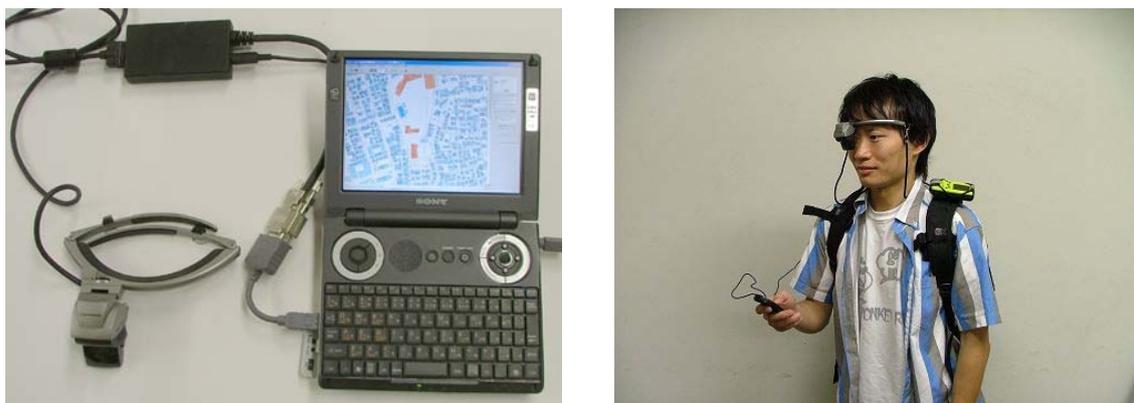


写真5 HMD を用いたウェアラブル PC システムの接続例（左）と装着例（右）

被害収集実験は、①紙地図、②HMD を用いたウェアラブル PC システム、に加え、既存の IT を利活用したシステムとして、③独立行政法人消防研究所の被害情報システム、④GPS 付デジタルカメラを用いたシステム、および⑤カメラ付 GPS 携帯電話を用いたシステム、の5種類の異なる被害情報収集システムによる実験を行った各被害収集システムの概要と調査方法は以下の通りである。

①紙地図を用いた被害情報収集実験

紙地図を用いた被害情報収集実験は、家主名入りのゼンリンの住宅地図をベースに被害情報を地図上に記入し、加えてその情報をデジタルカメラで撮影する。

②HMD を用いたウェアラブル PC システム (Pro-Info system の拡張) を用いた調査 (写真5)

HMD を用いたウェアラブル PC システムは、HMD (ヘッドマウントディスプレイ)、ノート PC、小型キーボードのハードウェアで構成され、ソフトウェアは工学院大学が開発した現地被害情報収集システム^{2),18)}のものを用いた。実験に用いた機材は、HMD を島津製作所社製の Data Glass2/A、ノート PC を SONY 社製の PCG-C1VR/VP と松下電器社製の CF-R2、入力装置をロアス社製の Keiboard を使用している。本システムで調査を行うにあたり、調査員は事前に使用方法の講習を1時間程度行った。

③独立行政法人消防研究所の被害情報収集システムを用いた被害情報収集実験

独立行政法人消防研究所の被害情報収集システム¹⁹⁾ は、PDA (Personal Digital Assistant) をベースにしたシステムであり、画面の地図上をペンでタッチしながら被災場所に被害情報を入力していく。被害情報収集システムは GPS を利用することができるが、本実験では利用しなかった。被害情報収集システムで調査を行うにあたり、調査員は事前に使用方法の講習を1時間程度行った。

④GPS 付デジタルカメラを用いたシステムを用いた被害情報収集実験 (写真6)

GPS 付デジタルカメラを写真6の左に示す。GPS 付デジタルカメラとは、デジタルカメラで撮られた写真画像に GPS の位置情報を付加ができるものである。写真画像には、撮影された位置情報 (緯度経度)、撮影方位、標高などが写真画像と一緒に記録される。この記録

方式は、画像フォーマット形式の一つである EXIF 形式と呼ばれ、JPEG 画像として保存される。この形式を利用することにより、その他のデータベース等を利用することなく、被災場所の位置の特定が写真画像のみで可能である。実験に用いた GPS 付デジタルカメラは、CASIO 社の QV-4000GX を用い、GPS 端末は、GARMIN 社製 eTrex Venture を用いた。調査員は、GPS 付デジタルカメラと家主名入りの住宅地図を持ち、GPS カメラで被害情報を撮影するのみとした。GPS 付デジタルカメラの使用法などは、事前に講習を行わず、実験の直前に 10 分程度の説明を行ったのみである。

⑤カメラ付 GPS 携帯電話を用いたシステムを用いた被害情報収集実験（写真 6）

カメラ付 GPS 携帯電話を写真 6 の右に示す。横浜国立大学が開発した GPS 携帯電話による被害状況把握システム²⁰⁾とは異なり、上記の GPS 付デジタルカメラを用いた実験と同様に、GPS の撮影された位置情報（緯度経度）、撮影方位の情報と写真画像で被災場所を特定することができるシステムである。実験に用いたカメラ付 GPS 携帯電話は、SANYO 社製の A5505SA を用いた。調査方法は、調査員がカメラ付 GPS 携帯電話と家主名入りの住宅地図を持ち、カメラ付 GPS 携帯電話で被害情報を撮影するのみとした。カメラ付 GPS 携帯電話の使用法などは、事前に講習を行わず、実験の直前に 10 分程度の説明を行ったのみである。



写真 6 GPS 付デジタルカメラ(左)、カメラ付 GPS 携帯電話（右、SANYO 社製の A5505SA、携帯電話会社は au）

本実験の場所や実施条件は、a) 地域住民による被害情報収集実験、と全く同じで、東京都北区上十条五丁目(面積約 0.15km²、人口約 3700 人、約 1500 世帯)で行われた。当該自治会の協力を頂き、2004 年 9 月 5 日に防災訓練に連携して行った。被害収集実験の目的は、初動調査を想定したもので、調査員が時間内に被害を探して来るものである。写真 1 に示したように、情報収集する対象物として被害状況を表す写真及び文字情報を掲載した看板を用いた。看板は、「建物被害」「火災」「道路閉塞」の 3 種類あり、「建物被害」が 12 箇所、「火災」が 1 箇所、「道路閉塞」が 3 箇所、計 16 箇所設けた。「建物被害」及び「火災」の看板は電柱に設置し、「道路閉塞」の看板は通行できない道路の両端に学生が看板を持って立つことにした。また各実験は、補助者をつけず、1 組 1 名の調査員で行い、「①紙

地図を用いた調査」は2組、「②HMDを用いたウェアラブルPCシステムを用いた調査」は2組、消防研究所が開発した「③被害情報収集システムを用いた調査」は2組、「④GPS付デジタルカメラを用いた調査」は1組、「⑤カメラ付GPS携帯電話を用いた調査」は1組という体制で実施した。なお実験を担当した計8組8名の調査員は、現地を始めて知る工学院大学の学部3・4年生であり、システムを使用する学生のリテラシー能力は、表計算とワープロで文章が作成できる程度である。また調査時間は2時間とした。

実験は、9時の防災サイレンを合図に被害収集を開始した。実験結果を表4に、各システムの結果を以下に述べる。

①紙地図を用いた調査：A班は、10時45分に調査を終了し、収集した被害情報数は、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中10箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所であり、発見率は87.5%であった。B班は、11時に終了し、火災に関する情報が1箇所中1箇所、建物被害に関する情報が12箇所中11箇所、道路閉塞に関する情報が3箇所中3箇所であった。発見率は93.8%であった。

②HMDを用いたウェアラブルPCシステムを用いた調査：A班は10時45分、B班は10時48分に調査を終了し、収集した被害情報数は、A班、B班とも同じで、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中11箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所であり、発見率は93.8%であった。HMDの使用性に関しては、画面の文字が小さすぎて見にくいなどの指摘があり、今後の課題となった。

表4 被害収集実験の実験結果

収集機器	収集人数	報告数			発見率 設置数/報告	所要時間 (分)
		火災被害	建物被害	道路閉塞		
紙地図を用いた調査	A班	1	10	3	87.5%	105
	B班	1	11	3	93.8%	120
HMDを用いたウェアラブルPCシステム	A班	1	11	3	93.8%	105
	B班	1	11	3	93.8%	108
被害情報収集システムを用いた調査	A班	1	11	3	93.8%	120
	B班	1	6	3	62.5%	120
GPS付デジタルカメラを用いた調査	-	1	10	3	87.5%	90
カメラ付GPS携帯電話を用いた調査	-	1	10	3	87.5%	82

③被害情報収集システムを用いた調査：A班、B班とも11時に調査が終了した。A班が収集した被害情報数は、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中11箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所であり、発見率は93.8%であった。しかしながら、B班については、システムの操作を誤り、その補正に時間をとられたため、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中6箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所という結果となった。発見率は62.5%であった。

④GPS付デジタルカメラを用いた調査：10時30分に調査が終了した。調査時間は90

分であった。収集した被害情報数は、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中10箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所であり、発見率は87.5%であった。

⑤カメラ付GPS携帯電話を用いた調査は、10時22分に調査が終了し、調査時間は82分であった。収集した被害情報数は、「火災」に関する情報が1箇所中1箇所、「建物被害」に関する情報が12箇所中10箇所、「道路閉塞」に関する情報が3箇所中3箇所であり、発見率は87.5%であった。

以上の結果をまとめると、「被害情報収集システムを用いた調査」のB班を除き、発見率はほぼ同等な結果となった。調査時間は、「GPS付デジタルカメラを用いた調査」、「カメラ付GPS携帯電話を用いた調査」を用いた調査は、被害情報を入力してなく被害情報の撮影のみだったため90分程度と短く、被害情報を入力したものは110分前後の調査時間となった。これらの結果から、「HMDを用いたウェアラブルPCシステムを用いた調査」は、従来から行われている「紙地図を用いた調査」、消防研究所の「被害情報収集システムを用いた調査」と同等な結果となり、HMDを用いたウェアラブルPCシステムの有効性が確認された。また、「紙地図を用いた調査」では、調査終了後に収集データを集計する時間がかかるため、HMDを用いたウェアラブルPCシステムの優位性がみられた。その他のITを活用した被害情報収集システムとして「GPS付デジタルカメラを用いた調査」、「カメラ付GPS携帯電話を用いた調査」は、調査時間も短く、また画像データのEXIF形式の緯度経度情報を利用することにより、災害対策本部等で被害場所の位置の特定が簡易に行えることが期待できる。

(c) 結論および今後の課題

本業務では、「確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発」、及び、「即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発」を行った。主な結論は以下の通りである。

1) 確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発

簡易地震被害推定ソフトを高精度化するため、まず関東平野を対象としてボーリングデータと地質断面図を用いて表層地盤のせん断波速度(V_s)を推定する経験式を求めた。この式に必要なパラメータは地質断面図を用いた地質と深さのみであるが、N値などを用いた既存の V_s 推定式と比べ、遜色の無い精度が得られた。この結果は任意地点での表層地盤の精度の高い地震動増幅特性の評価に活用される。次に近年の強震記録を用いた木造建物の地震応答解析を行い、様々な指標を用いた被害関数を構築した。本モデルは兵庫県南部地震の被害調査結果を用いて構築したが、最も被害との相関が良い指標は計測震度であった。但し、新潟県中越地震の調査結果と比較すると実際の被害は小さく、より精度を高めるには木造家屋の地域性(軽い屋根、太い部材、高床式基礎など)を考慮する必要があることが分かった。一方、地域地盤データを活用した簡易耐震診断ソフトの試作版と地域防災への活用として、防災まちづくり支援GISツールの試作版を開発した。これらのソフトは実際に地域住民に使って頂き、より実用性の高いものにする予定である。

2) 即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システムの開発

まず東京都北区上十条五丁目自治会の協力を頂き、住民が自ら行う被害情報収集実験（被災マップの作成）を行った。被害の表示に看板を用いたため、発見ミスや報告ミスなどが何点かあったが、実験開始から30分程度で被災マップが完成し、土地勘のある地域住民は効率的な被害収集を行えることを確認した。一方、防災専門家またはボランティアを想定して、様々なIT・モバイルツールと簡易GISによる地図情報を活用した被害収集実験も行った。特に本年度は昨年の情報収集システムに加え、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を用いたシステムを開発し、東京都北区上十条五丁目での検証実験を行った。その結果、HMDは文字の見易さなどの改善点が必要とされるものの紙地図と遜色ない情報収集が可能であり、デジタル化作業などを考慮すれば開発したシステムにより、より効率的な情報収集が可能となることを確認した。

(d) 引用文献

- 1) 久田嘉章ほか、確率的地震動予測及び地域地盤情報を活用したリスクマネジメントシステムの開発、文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」、平成15年度成果報告書
http://www.bosai.go.jp/sougou/ddt4-pj/DDT4/pdf_h15/4-2/006_3206_1.pdf
- 2) 久田嘉章ほか、即時地震情報を活用した市民のための地震情報収集・提供システム、文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」、平成15年度成果報告書
http://www.bosai.go.jp/sougou/ddt4-pj/DDT4/pdf_h15/4-2/007_3206_2.pdf
- 3) 福和伸夫・他、GISを用いた既存地盤資料を活用した都市域の動的地盤モデル構築、日本建築学会技術報告集、第9号、pp249-254, 1999
- 4) 国土交通省による国土調査のページ、<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/index.htm>
- 5) 地震動と地盤、建築学会、1983
- 6) 紺野克昭、常時微動を用いたサイスミック・ゾーネーション手法の開発に関する研究、研究成果報告書、鉄道建設・運輸施設整備支援機構、pp31-53, 2004.8
- 7) 長戸健一郎、川瀬博：強震動特性と構造物の被害、月刊地球/号外、No. 37, pp203-211, 2002
- 8) 松島信一、川瀬博：1995年兵庫県南部地震の複数アスペリティモデルの提案とそれによる強震動シミュレーション、日本建築学会構造系論文集、第534号、pp333-40, 2000年8月
- 9) 鈴木祥之、中治弘行、北原昭男：実大振動台実験による木造軸組構造の強震応答特性、第4回都市直下地震災害総合シンポジウム、pp219-222, 1999年
- 10) 建築省建築研究所：平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書、建設省建築研究所、1996
- 11) 日本建築学会建築経済委員会固定資産評価小委員会WG：1995年阪神・淡路大震災における神戸市東灘区、灘区及び淡路島北淡町の建物被害に関する実態調査、1998年3月
- 12) 村尾修、山崎文雄：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数、日本建築学会構造系論文集、第555号、185-192, 2002年5月
- 13) 村上雅英、藤田宜紀、三澤文子、田原賢：東灘西部を中心とした被害調査とその考察、日本建築学会近畿支部、1995年兵庫県南部地震～木造建物の被害～、pp49-72, 1995年9月

- 14) 久田嘉章、2004年新潟県中越地震、一地盤と地震被害一、第32回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、2005年1月
- 15) 岡田成幸、高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン、日本建築学会構造系論文集、第524号、pp65-72、1999年10月
- 16) セーフデザイン株式会社：<http://www.safe-design.com/index.html>
- 17) いわせ構造設計室：<http://www.aum.ne.jp/iwase/>
- 18) 柴山明寛、久田嘉章：地震災害時における効率的な現地被害情報収集システムの開発、地域安全学会論文、No.5、pp95-pp103、2003
- 19) 座間信作、遠藤真、細川直史、畑山健、柴田有子、原田隆：地震情報収集システムの開発・消防活動支援情報システムの一構成要素として、地域安全学会論文報告集、pp113-116、2001
- 20) 秋元和紀、浦川豪、砂土原聡、西山寿美生：GPS搭載の携帯電話による被害情報把握システムの開発、地域安全学会論文集、No4、pp159-165、2002

(e) 成果の論文・口頭発表

① 論文発表

- 1) Sibayama, A, and Y. Hisada, An Efficient System for Acquiring Earthquake Damage Information in Damage Area, Proc. of the 13th World Conference on Earthq. Eng., No.1121, Aug., 2004

② 解説・パネルディスカッション・招待講演

- 1) 久田嘉章、村上正浩、柴山明寛、地震防災におけるGISの活用、空間情報シンポジウム2004、pp175-210、Aug., 2004
- 2) 久田嘉章、広域地震動評価のための地盤情報 (Sub-Surface Soil Information for Estimating Strong Ground Motion in Wide Area)、(社)物理探査学会 地震防災シンポジウム 地震防災と地盤一強震動予測のための地盤探査の現状と課題、Jan., 2004

③ 口頭発表

- 1) 久田嘉章、村上正浩、柴山明寛、佐藤哲也、座間信作、遠藤真、木造密集市街地における地震防災に関する研究 (その4: 地域住民による地震被害情報収集に関する実験)、地域安全学会梗概集、No.15、pp.83-86、2004
- 2) 村上正浩、久田嘉章、柴山明寛、佐藤哲也、座間信作、遠藤真、木造密集市街地における地震防災に関する研究 (その5: 地域住民の災害対応力に関する実験)、地域安全学会梗概集、No.15、pp.87-90、2004
- 3) 名波文乃・村上 正浩・座間 信作・柴山明寛・久田嘉章、自主防災組織による地震災害の被害情報収集に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004
- 4) 吉田研史・久田嘉章・川瀬博、建設年代を考慮した木造建物群被害予測モデルの構築
- 5) 鈴木 誠太郎・久田嘉章・伏見 実・吉田 研史・川瀬 博大加速度入力時におけるRC造建物の地震動の破壊力指標に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004
- 6) 久保智弘・久田嘉章、全国地形分類図による周波数特性を考慮した表層地盤特性について

て、日本建築学会大会学術講演梗概集、2004

- 7) 柴山明寛・久田嘉章・源栄正人・佐藤哲也・佐藤 健・増田 聡、2003年7月26日宮城県北部の地震における建物被害調査—悉皆調査（その4）悉皆調査と応急危険度判定との比較—，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004
- 8) 久田嘉章・柴山明寛 2003年イラン・バム地震の被害調査報告 その5、余震観測点における建物全数調査について，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004
- 9) 川上洋介・久田嘉章・瀨瀬 一起、地震観測記録より推定した関東平野におけるサイト特性と地形，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004
- 10) 市居 嗣之・久田嘉章・柴山明寛、準リアルタイム被害情報収集配信システムの開発—イラン・バム地震における衛星回線を用いた実証実験—，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

特許の出願はなし。ソフトウェアは試作版を開発中。最終年度に公開を予定。

(3) 平成17年度業務計画案

平成17年度は内容を変更し、「ニューメディアを活用した被害情報収集システム」を行う。事業目的は、IT機器、携帯電話、Web GISなどによるニューメディアと地元住民・ボランティアを活用した自治体が対象の暫定的な被害情報収集マニュアルを作成する。さらにそれに基づいて、地域住民、行政・消防職員、NPO等と共同し、被災現場からの被害情報収集と災害対策本部への伝達訓練、携帯メール等による非常招集・情報伝達訓練、大都市大震災に対応可能なITを活用した自治体・防災機関・市民間の広域的災害情報共有・交換システムモデルの実証実験を実施し、その結果を分析して、被害情報収集マニュアルのブラッシュアップを図る。

実施計画は以下の通りである。2004年新潟県中越地震での新潟県庁や小千谷などの地方自治体における被害情報収集に関する調査を行い、さらに昨年まで行った自治体を対象とした地震被害時の対応に関する調査結果をもとに、IT機器、携帯電話、Web GISなどによるニューメディアを活用した暫定的な被害情報収集マニュアルを作成する。さらにそれに基づいて地域住民、行政・消防職員、NPO等と共同し、被害情報収集の防災訓練を実施し、マニュアルのブラッシュアップを図る。

業務分担は以下の通り。

- ・総括、防災訓練の実施、及び、被害情報収集マニュアル暫定版の作成
久田嘉章 工学院大学・教授
村上正浩 工学院大学・講師
- ・メール等のニューメディアを活用した被害情報収集マニュアル暫定版の作成
吉井博明 東京経済大学・教授
- ・広域的災害情報共有・交換システムを活用した被害情報収集の実証実験
千川剛史 大妻女子大学人間関係学部・助教授