

早期地震被害推定システムの開発

龍神 弘明・嶋 登志夫*¹・水谷 守*²

Development of an Earthquake Damage Estimation System

Hiroaki RYUJIN, Toshio SHIMA, Mamoru MIZUTANI

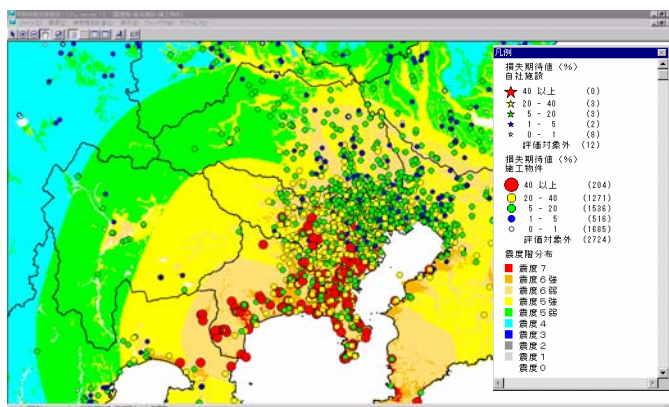


図-1 推定被害分布画面

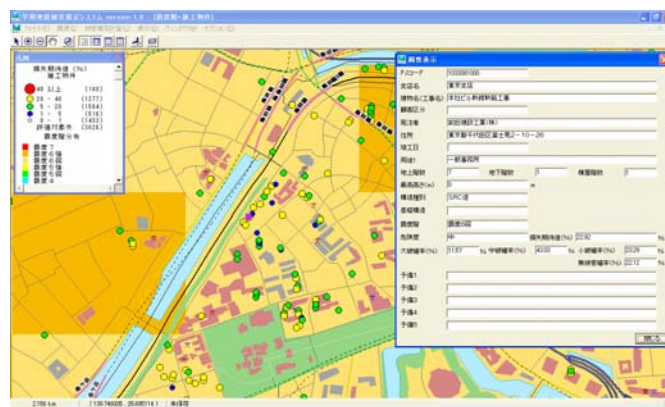


図-2 個別建物推定被害詳細画面

研究の目的

建設会社では、地震が発生すると災害復旧（インフラの復旧、元施工物件の復旧など）が通常業務に加えて新たに「重要な業務」となる。早期に復旧支援をするためには、効率的に情報収集を行い、対策を立案する必要がある。地震発生時の事業継続計画（BCP）発動の際、迅速・的確な初動体制確立のための情報として、震災時に被害の全体像を把握することを目的に、震源周辺の震度階分布と建物被害が簡易推定できるシステムを開発した。

技術の説明

本システムは、地震直後に得られる震源情報をEメールにて受信すると自動的に起動し、その震源情報に基づき起動後数分で登録されている建物の被害状況を推定してリスト化するとともに、その結果と地盤の推定震度階分布を地図上に表示し、さらに、自動で推定結果のリストとその推定震度階分布図を登録されているEメールアドレスに配信するようになっている。

また、平常時にはシミュレーション機能の活用により得られる被害推定結果に基づき、防災訓練や保有施設の耐震化対策の優先順位などの事業継続計画（BCP）策定の支援に活用できる。

主な結論

地震発生直度に震度階分布と建物被害の簡易推定を行うシステムの概要を示した。さらに、過去の被害地震で計測震度の推定精度について検証結果を示した。被害の全体像を把握するという被害推定システムの目的からすれば活用レベルにあると考える。今後は、手法改良による建物被害の推定精度向上に留まらず、復旧対応状況や結果をフィードバックできる復旧支援システムへの展開を目指していく。

* 1 本店 リニューアル事業部営業 1 G

* 2 株式会社モダンエンジニアリングアンドデザイン

早期地震被害推定システムの開発

龍 神 弘 明 嶋 登 志 夫^{*1}
水 谷 守^{*2}

要 旨

建設会社では、地震被害が発生すると災害復旧（避難所整備、インフラ復旧、倒壊建物の除去、施工現場の二次災害防止および工事再開、元施工物件の復旧支援など）が通常業務に加えて新たに「重要な業務」となる。早期に復旧支援をするためには、効率的に情報収集を行い、対策を立案・実行する必要がある。地震発生時の事業継続計画（BCP）発動の際、迅速・的確な初動体制確立のための情報として震災による被害の全体像を把握することを目的に、震源周辺の震度階分布と建物被害の簡易推定ができるシステムを開発した。本システムは、地震直後に得られる震源情報を E メールにて受信すると自動的に起動し、その震源情報に基づき、起動後数分で登録されている建物の被害状況を推定してリスト化するとともに、その結果と地盤の推定震度階分布を地理情報システム（GIS）上に表示し、さらに、自動で推定結果のリストとその推定震度階分布図を設定した E メールアドレスに配信するようになっている。また、平常時にはシミュレーション機能で得られる被害推定結果に基づき、防災訓練や保有施設の耐震化対策の優先順位など BCP 策定の支援に活用できる。本報告では、システムの概要を示し、過去の被害地震で観測された計測震度と比較し、システムによる計測震度の推定精度を示した。被害の全体像の把握という本システムの目的からすれば、十分活用できるレベルにあると考える。

キーワード BCP／計測震度／震度推定／被害推定／GIS

目 次

- | | |
|------------|------------------|
| 1. はじめに | 3. 被害地震のシミュレーション |
| 2. システムの概要 | 4. おわりに |

DEVELOPMENT OF AN EARTHQUAKE DAMAGE ESTIMATION SYSTEM

Hiroaki RYUJIN Toshio SHIMA
Mamoru MIZUTANI

Synopsis:

On occurrence of major earthquake, construction companies are required to contribute to the disaster management and restoration of damaged facilities. The first step of responses is to gather information of damage distribution and then to establish reaction plan and to set up a proper system. However, in the early stages after major earthquake gathering information may have huge difficulties. The proposed software system is aimed to support earthquake damage information by using current estimation methods. The system activates automatically on receiving earthquake occurrence notice and based on the notice estimates earthquake intensity distribution and damage probabilities of facilities. The estimation results are depicted on GIS and also are sent to pre-registered address by e-mails automatically. The system accomplishes these tasks within a few minutes after receiving the notice. The system may be used for scenario based earthquake damage estimation and contribute seismic risk management and BCP.

* 1 本店 リニューアル事業部営業 1G

* 2 株式会社モダンエンジニアリングアンドデザイン

1. はじめに

建設会社では、地震が発生すると災害復旧（避難所整備、インフラ復旧、倒壊建物の除去、施工現場の二次災害防止および工事再開、元施工物件の復旧支援など）が通常業務に加えて新たに「重要な業務」となり、事業継続を行う社会的責任は大きい。早期に復旧支援をするためには、効率的に情報収集を行い、対策を立案する必要がある。

震災時には、どの地域でどの程度の震度が発生したか、建物にどの程度被害がでているか、電気・ガス・水道などのインフラが使えるか、復旧作業に必要な人員および重機が確保できるか、復旧場所まで人員、重機の移動可能なルートがあるかなど、対策立案に必要な情報は多々ある。

しかし、震災直後には、電話やインターネット回線などの通信手段が停止し十分な情報が収集できなくなる可能性は高い。本システムは、震源周辺の震度階分布の推定および建物の簡易被害推定の機能を有しており、地震発生時の事業継続計画（BCP）発動の際、迅速・的確な初動体制確立のための情報として、震災による被害の全体像を把握することを目的としている。例えば、震災時に社員の安否確認を重点的に行うエリアの絞込み、優先的に確認すべき施工中物件の絞込み、元施工物件の被害状況を調査するエリアや物件の決定などに活用できる。

一方、建物に被害が発生するような大地震が起こる確率は低く、発生した場合でも、電気供給のストップ、通信回線の停止などにより、実際にシステムが稼働できる状況にあるかどうかは分からない。この種の地震被害推定システムは、震災時の効率的な情報収集のためのツールという目的だけでなく、平常時での防災訓練や危機管理計画立案などに活用することが有益である。想定地震によるシミュレーション解析を実施することにより、防災訓練、建設候補地の選定、保有施設の耐震化対策案・優先順位の決定、施設内の機器の耐震対策で想定しなければならない地震動の大きさの把握などに活用できる。

本報告では、まず開発システムの構成および評価フローなどの概要を示す。次に、過去に発生した被害地震で観測された計測震度とその地震の震源情報をもとにシステムによって推定した計測震度との比較を行い、推定精度のばらつきを示し、妥当性を検証する。さらに、推定震度階分布図上に観測された震度階を重ねて示すことにより、領域的に推定精度を示す。最後に本システムの今後の展開について述べる。

2. システムの概要

2.1 本システムの特徴

本システムは、地震発生時にEメールで受信した震源情報に基づき、震度階分布および建物被害を簡易推定し、その推定結果を分かりやすくGIS上に表示する。

2.2 システムの構成

本システムは、4つの基本機能と3つのデータベース（DB）による構成となっている（図-1）。

4つの基本機能には、Eメールの受信履歴を定期的に確認し、震源情報の受信を確認したらシステムを自動起動させる「受信機能」、震度階分布および建物被害を推定する「地震被害推定計算機能」、地理情報システム（GIS）上に推定結果を表示させる「表示機能」、システム起動から数分程度で自動的に推定結果を関係者にEメール配信する「配信機能」がある。

3つのDBには、地震を起こした断層（震源断層）面を設定するために必要な日本周辺のプレート¹⁾の位置の情報をDB化した「地震地帯構造DB」、工学的基盤面で評価した地震動を地表面地震動に変換する際の表層地盤の増幅率に関する情報^{2), 3)}をDB化した「地盤特性DB」、被害を推定するのに必要な建物の簡易情報をDB化した「建物被害関数DB」がある。なお、建物被害関数DBは、定期的に社内のDBより専用プログラムによって抽出して更新している。その他のDBは、新しい知見が得られた際に、随時更新することになっている。

DBの共有化の観点から考えると、システムを解析機能に特化し、社内のDBを参照する方が、建物情報などの更新を考えると効率的である。しかし、その場合、震災時に社内DBとの通信が途絶えた場合には、本システムは役目を果たせなくなる。そのようなことがないように、本システムは、通信回線を利用した機能を保有しているが、基本的にスタンドアローンでの使用が可能であり、被害推定に必要な地震地帯構造DB、地盤特性DB、建物被害関数DBをシステム内に保有している。そのため、サーバーとの通信が途絶えたとき、あるいは、災害対策本部の移動など状況の変化に対応できるようになっている。

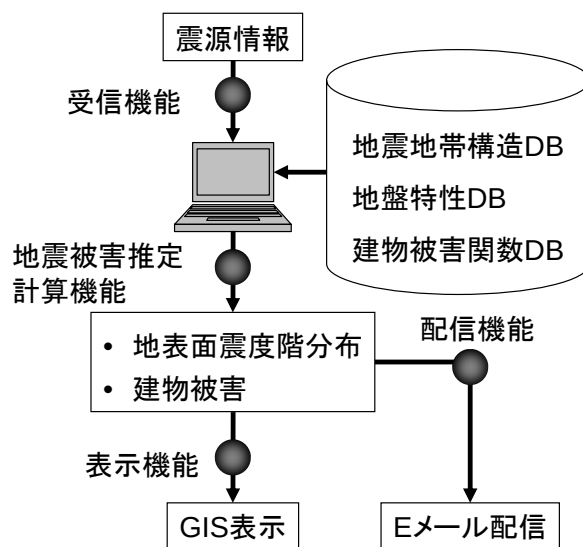


図-1 システムの構成

2.3 システムの評価フロー

システムの評価の流れを図-2 に示す。(1)Eメールで震源情報(緯度、経度、深さ、マグニチュード)を受信するとシステムが自動的に起動する(2)震源情報と地震地帯構造DBを参照して断層面を設定する(3)震源情報を参照し、経験式(距離減衰式)を利用して評価位置の工学的基盤面における地震動を推定する⁴⁾(4)地盤特性DBを参照し、評価位置の地表面地震動に変換する(5)地表面地震動から計測震度を推定する(6)地表面地震動と建物被害関数DBを参照し、評価建物の地震被害度を推定する(7)評価結果をGIS上に展開しリストを作成する(8)評価結果をEメールで配信する。

(1) システム起動

震源情報を受信すると、自動的にシステムが起動する。原則、震源情報を受信すると常に起動することになっている。しかし、前後して発生した二つの地震の①発生時刻の間隔②震央距離③マグニチュードの大小に基づき、後に発生した地震が、前に発生した地震の余震かどうか判断するようになっており、余震と判断した場合は、システムは起動しないようになっている。

なお、万が一通信回線が不通になった場合、手動で起動させることも可能である。

(2) 震源断層設定

震源情報と地震地帯構造DBを参照することにより地震断層を同定する。日本周辺のプレートの位置関係を考慮して日本全国を51の領域に分割、領域ごとに断層の走向および傾斜角を設定している。

マグニチュードより断層の大きさを推定し、震源位置より決定した領域の走向および傾斜角を採用し、断層面を設定している。

なお、平常時でのシミュレーションの際には、「点震源として入力する方法」(図-3)と「断層面を設定して入力する方法」(図-4)がある。点震源入力では、震源位置とマグニチュードを、断層面入力では震源位置とマグニチュードのほか、断層の長さ、幅、走向、傾斜角を設定する。

(3) 工学的基盤面の地震動推定

工学的基盤面の地震動は、マグニチュードの大きさと震源までの距離から距離減衰式³⁾により推定する。

なお、地震動の評価範囲は、マグニチュードの大きさに基づき自動設定され、領域を限定による演算時間の短縮を図っている。

(4) 地表面地震動推定

地表面の地震動は、工学的基盤面で推定した地震動に、地盤特性DBを参照し、評価位置の地盤分類に応じた増

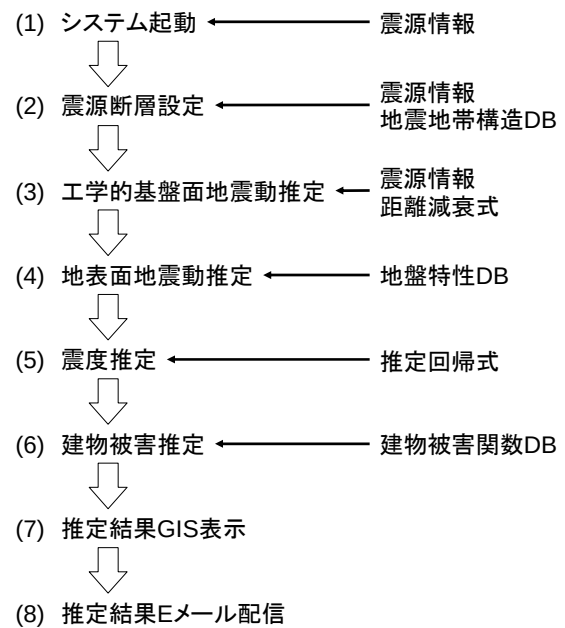


図-2 評価フロー

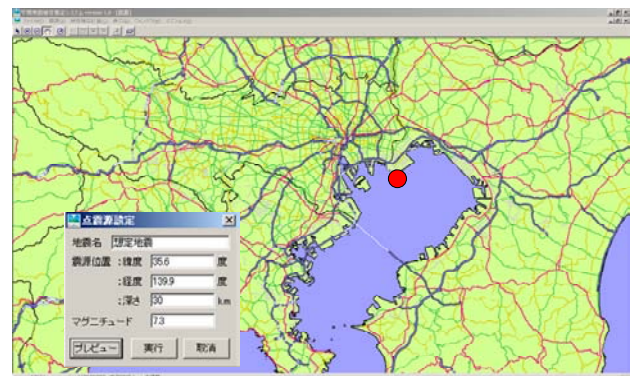


図-3 入力画面「点震源」

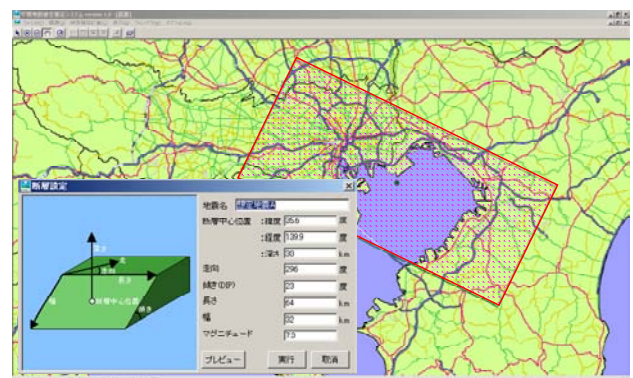


図-4 入力画面「地震断層」

幅率を考慮して、500mメッシュ毎に評価を行っている²⁾。
³⁾ (図-5)。

本システムは、建物の被害推定を行うことを一つの機能としている。建物被害は、層間変形角などその応答と関連付けることができる。本システムでは、建物の応答と関連の大きい周期帯の応答加速度を平均した平均応答

加速度（ASA）を地震動指標とし、建物の被害を推定する際にも用いている。

(5) 計測震度評価

計測震度は、既往の研究⁵⁾で提案されている地震動指標（ASA）から計測震度を推定する回帰式により評価している。

(6) 建物被害推定

建物被害は、建物被害関数 DB を参照し、地震動指標と建物耐力の関係から推定している⁶⁾。この関係は、応答解析結果をもとに地震動指標の大きさに対する建物被害の大きさの確率を求めている。

詳細な検討を実施した建物は、個々に関係式を建物被害関数 DB に登録することができ、精度の良い被害推定ができる。しかし、数多くの建物进行评估するには膨大な労力が必要となり、数百以上にも及ぶシステムに登録する全ての建物を個別に評価することは難しい。

被害の全体像を把握するという本システムの目的を達成するには、効率よく関係式を構築する必要がある。そこで、建物を建設年代、構造種別、構造形式、階数、用途の簡易な情報で数十種類の建物群に分類し、それぞれの建物群ごとに算定した関係式を建物被害関数 DB に登録し、被害推定を行う。

推定結果は、建物が地震を受けたときに生じる損失を建物の再調達費用で除した割合である損失期待値で表される（図-6）。さらに、建物ごとの推定被害詳細画面では、4段階（小破、中破、大破、崩壊）の損傷レベルに対しての発生確率も示されている（図-7）。また、詳細画面には、決められた入力項目のほか、その建物特有の情報の入力も可能で、担当者名や連絡先などを入力しておくことで復旧対応の際の有効な情報源となる。

(7) 推定結果 GIS 表示

図-6 に推定結果の画面を示す。震度階分布上に登録されている建物の被害推定結果が表示されるようになっており、被害が大きいものが前面に表示されている。

また、個々の物件を選択すると、図-7 に示すような詳細な推定結果および事前に登録していた建物情報を確認できる。これらの情報はテキストファイルでリスト化され、一覧表でも確認できる。

(8) 推定結果 E メール配信

本システムは、推定した震度階分布図上に建物の被害推定結果を表示した図（図-8）や建物の被害推定結果をその他の建物情報とリスト化したものを、事前にシステムに登録している E メールアドレスに配信するようになっている。

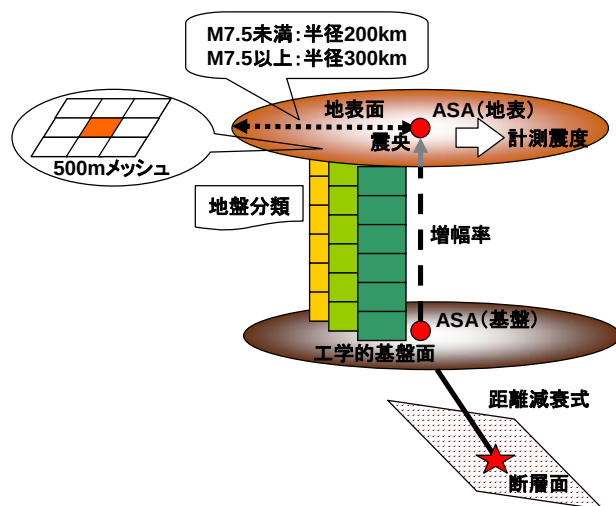


図-5 震度評価

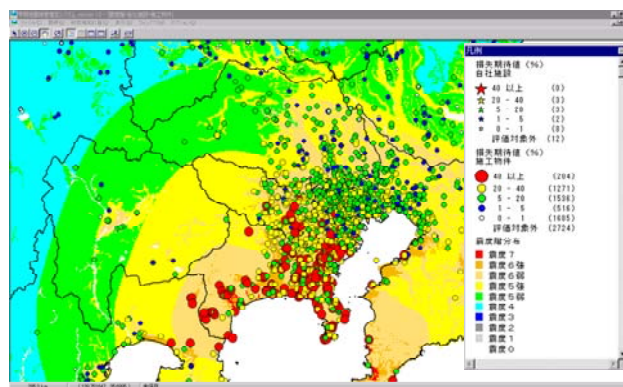


図-6 推定被害分布画面（テストデータ）

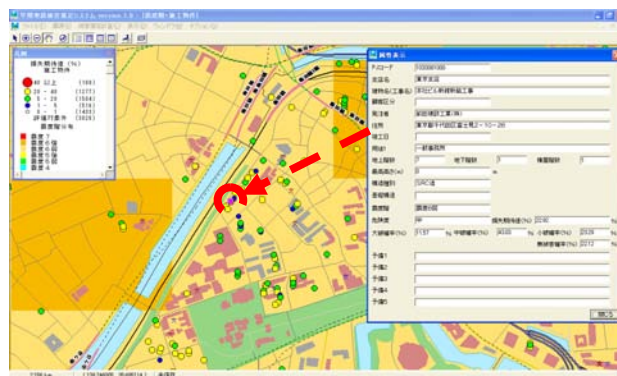


図-7 個別建物推定被害詳細画面（テストデータ）

震災時に、素早く復旧支援体制を整えるためには、被害の全体像を関係者が素早く共有する必要がある。Eメールが受信可能な環境であればどこでも情報を共有することができる。震災時には、震源周辺で通信回線が利用できないことは想定されるが、そのような被害が発生した場合、実際復旧にあたるのは、通信回線が有効な震源から離れた地域からの応援部隊であり、被害情報の共有ツールの一つとして有効と考える。なお、推定した震度階の大きさによって E メール配信を行うか判断している。

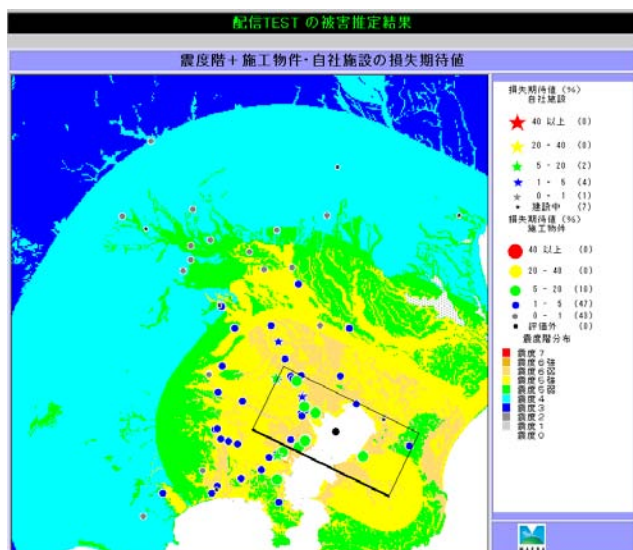


図-8 配信画面（テストデータ）

3. 被害地震のシミュレーション

表-1 の地震で観測された計測震度⁷⁾と本システムで推定した計測震度の比較を行う。

図-9 から図-11 に観測値と推定値の関係を示したグラフを示す。グラフの横軸はシステムが推定した計測震度、縦軸は観測された計測震度からその地点で推定された計測震度を引いた値である。差が正の場合、実際の計測震度より小さい値を、差が負の場合、実際の計測震度より大きい値を推定していることになる。なお、グラフ中に検討に用いた観測点数 (N)，および推定計測震度と計測震度の差の関係近似式を示している。この関係式の傾きが大きいと推定精度が地震の大きさに依存することになる。

今回の 3 つの検討地震では、最大で計測震度 2 程度の差があったが、9 割以上の観測点で計測震度 1 以内の差に入っている。また、関係式は、鳥取県西部地震、岩手・宮城内陸地震では右下がりの傾向が、新潟県中越地震では右上がりの傾向が若干見られるが、推定計測震度の大きさによる推定誤差の依存性は、概ね小さいと考えられる。

図-12 から図-14 に推定震度階分布図を示す。同図には観測地点で観測された震度階を○印でプロットしている。同色の地点では観測震度階と推定震度階が同じである。推定結果は概ね観測結果の被害の全体像の概略把握はできていると考えるが、距離減衰式で評していること、500m メッシュ単位で評価していることなどにより、新潟中越地震で観測された震度 7 など局所的に大きな震度が発生している傾向は表現できていない。しかし、被害推定システムのシミュレーションで、精度を追求するよりも、早期に被害の全体像を把握できることという、本来の目的からすれば活用できるレベルにあると考える。

表-1 検討地震一覧

発生年月	地震名	M	観測最大震度
2000年10月	鳥取県西部地震	7.3	6強
2004年10月	新潟県中越地震	6.8	7
2008年 6月	岩手・宮城内陸地震	7.2	6強

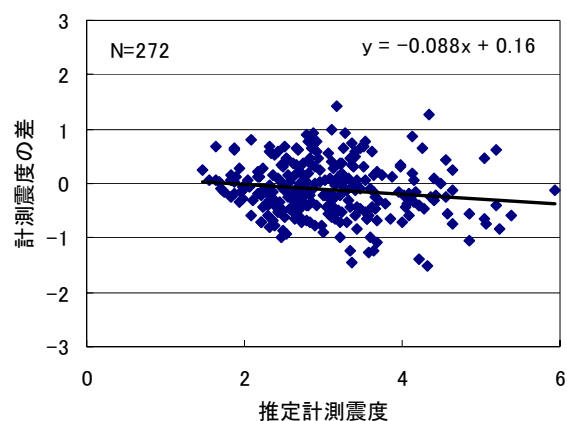


図-9 計測震度比較（鳥取県西部地震）

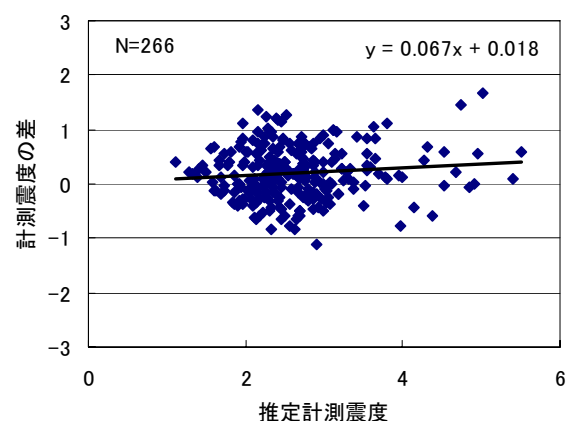


図-10 計測震度比較（新潟県中越地震）

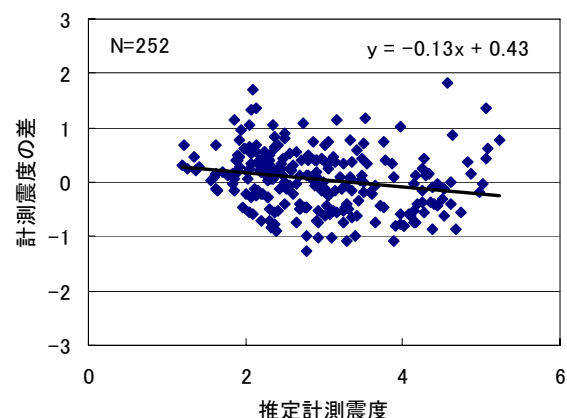


図-11 計測震度比較（岩手・宮城内陸地震）

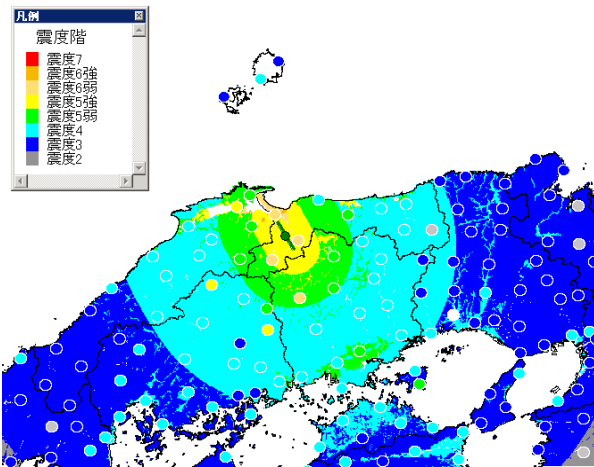


図-12 震度階分布図（鳥取県西部地震）

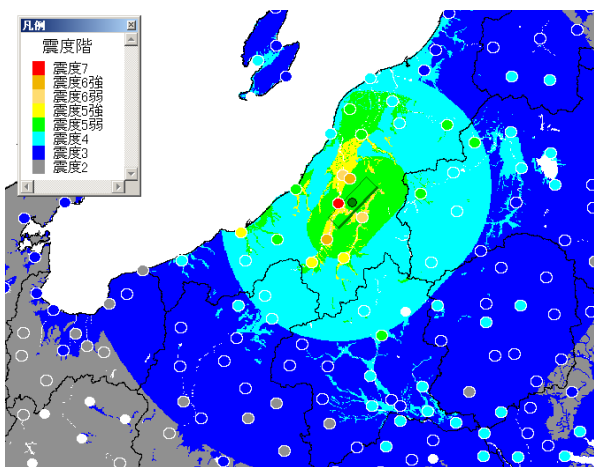


図-13 震度階分布図（新潟県中越地震）

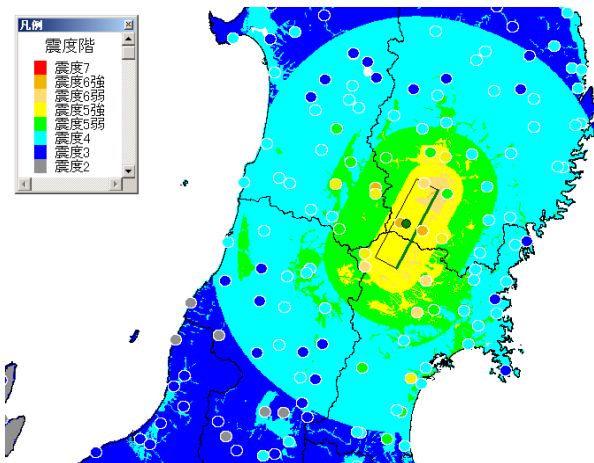


図-14 震度階分布図（岩手・宮城内陸地震）

4. おわりに

情報入手が困難な震災時に、災害復旧体制を確立するために必要な情報が欠落する可能性は高い。そこで、情報を補うために、被害の全体像を把握できることを目的として本システムを開発した。

このような震災時に使用するシステムを構築する際に

重要なことは、バックアップを整備しておくことである。システムに被害がなくても、設置場所が被災、あるいは稼動に必要な電源が供給できなくなる可能性はある。バックアップは、同じ地震で同時に被災しないところに設置する必要がある。現状、システムは本社に設置しているが、今後バックアップを支店にも設置する予定である。

また、震災時に早期に対策立案を効率的に行うのに被害状況の全体像を把握することは重要であるが、立案した対策案が有効に実行されているか、修正する必要があるかなど復旧対応の状況や結果がフィードバック可能な復旧支援システムへのさらなる展開が望まれる。GISを活用し位置情報と保有情報をリンク付けすることにより有効に活用できる。例えば、機材置き場の保管情報、協力会社の保有重機など、GIS上に展開することにより効率的に機材、重機の手配が判断できる。

現状は、首都圏の建物データの登録が終了しており、今後全国に拡大していく予定である。また、手法改良による建物の被害推定精度向上⁶⁾と、復旧支援システムへの展開を目指していく予定である。

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所の K-NET、500m メッシュ地形分類データ（国土庁の都道府県別土地分類図（地形分類図）を使用）および計測震度データを利用させて頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 萩原尊禮：日本列島の地震，鹿島出版，1991。
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所：500m メッシュ地形分類データのダウンロード，http://www.j-map.bosai.go.jp/j-map/500m_dl/
- 3) 龍神弘明，嶋登志夫，森島千瑞子，小野一明，水谷守：地表面の地震ハザード評価に関する検討，前田建設技術研究所所報 vol47，2006。
- 4) 安中正，山崎文雄，片平冬樹：気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地動および応答スペクトル推定式の提案，第 24 回地震工学研究発表会論文集，pp161-164，1997。
- 5) 水谷守，川瀬喜雄，宮本英治：地震動指標の相互関係に関する統計的分析（第一次），土木学会地震工学委員会第 24 回地震工学研究会講演論文集，第 1 分冊，pp.217-220，1997。
- 6) 龍神弘明，嶋登志夫，水谷守：建物被害推定に関する要素技術の改良，前田建設技術研究所所報 vol51，2010。
- 7) 独立行政法人防災科学技術研究所：強震ネットワーク，<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>。
- 8) 水谷守，篠塚正宣，林春男：地震災害早期対応支援システム (EDReSS) の基本構想，地域安全学会研究発表会，pp.84-90，1996。