

建物群の被災可能性簡易推計システム“BCP-Map”の構築

南部 世紀夫*・渡邊 基史**・奥村 俊彦***

Construction of "BCP-Map", a Simple Estimation System for the Possibility of Damage to Buildings

Sekio NAMBU*, Motofumi WATANABE**, Toshihiko OKUMURA***

We built a system that simply estimates the possibility of damage to many buildings distributed over a wide area, and displays it on a web map in an easy-to-understand manner in about 10 minutes after the earthquake. The system visualizes the estimated seismic intensity distribution of Japan Meteorological Agency with “GSI Tile” provided by the Geospatial Information Authority of Japan, estimates the possibility of damage from the seismic intensity and the attributes of the target building, divides the possibility into large, medium and small, and aggregates for each appropriate area segmentation according to the spatial distribution of the building and the display scale., and displays as a pie chart. This makes it possible to seamlessly grasp the overview of damage and the details of each area, which helps to speed up and improve the efficiency of initial response.

Keywords: 地震 (earthquake), 推計震度分布 (estimated seismic intensity distribution), 建物 (building), 被災可能性 (possibility of damage)

1. はじめに

大規模地震の直後は停電、通信系統の被害、被災地の混乱などにより、被災地の実被害に関する情報の発信・受信が大幅に遅れ、被災地内外の対応要員は迅速かつ効率的な対応行動をとることが困難である。そのため限られた情報から被災地の被害を推定し、それに基づき対応行動をとることが行われている。

本論文では大規模地震時に、被災地域に広く分布する多数の建物の被災可能性を短時間で判定し、その結果を関連するコンテンツと共に情報端末へ分かり易く表示することにより、地震直後の初動を支援するシステム“BCP-Map”を構築した。

2. 従来の技術とそれらの問題点

地震の直後にはいくつかの機関が様々な形で地震や地震動に関する情報を提供している。またこれらの地震情報を元に、広域に多数分布する建物群の被害を推定し、その結果を地図に重ねて表示するシステムが多く提案されている。

そのような一例として南部(2007)がある。これは個々の建物の地震による被害を推定し、その結果をマーカーの色や形で区別し、GIS等を用いて震度分布地図上にプロットしている。

しかしプロット図による表現では、建物群が十分まばらに分布している場合は、建物のマーカー同士が重ならず空間的分布を直感的に把握することができるが、建物群が密に分布している場合は建物のマーカー同士が接したり重なったりするため、どの程度密なのかを把握しにくくなる。

GIS等では利用者がズームレベル(縮尺)をある程度任意に変更することができるので、十分ズームイン(拡大)すれば建物のマーカー同士が重ならなくなるが、同時に広域の分布を把握することはできなくなる。

また個々の建物の被害推定結果を区別してプロット

* 正会員 清水建設(株)技術研究所 (Shimizu Corporation)
〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 E-mail : nambu@shimz.co.jp

** 非会員 清水建設(株)技術戦略室 (Shimizu Corporation)

*** 非会員 清水建設(株)技術研究所 (Shimizu Corporation)

トする場合，ある地域的広がりの中で，被害の可能性が高い建物が多いのか低い建物が多いのかを，一瞥して把握することはできない。

さらに，緊急地震速報（予報）の最終報で得られる点震源の情報をもとに距離減衰式を用いてメッシュ毎の震度推計値を求めているため，その値には相当の誤差が含まれており，その値をもとに推定される建物の被害にも相当の誤差が含まれるという問題点もあった。

上述のような問題点を回避するため，建物の被害棟数等を地域メッシュ単位で集計し，メッシュを色分けして表示することも行われている。

例えば防災科学技術研究所(2014)の防災クロスビューでは，4分の1地域メッシュ（約250m四方）毎の震度推計値を元に，メッシュ内の全ての建物の全壊棟数，半壊棟数を推計し地図に可視化している。数多くの地震計により観測された震度等の値を面的に補間して得られた震度分布であるため，距離減衰式による震度分布よりも震度推計値の誤差は小さいと考えられる。しかしメッシュ毎の全壊棟数の分布は把握できるものの，全壊，半壊，無被害の割合を同じ画面で把握することはできない。

3. システムの概要

本システムのデータ処理の流れを図1に示す。

個々の建物の位置と，地震被災可能性を判別するのに必要な建物データを，予めデータベース化しておく。

国内の最大震度が震度5弱以上の地震が発生すると，地震の規模にもよるが5～30分程度で気象情報

提供機関から震度分布等のデータが送られてくる。そのデータを地理院タイルに変換・格納する。また建物データと共に用いて被災可能性の判定を行う。最後に建物の空間分布と表示縮尺に応じた適切な領域区分毎に集計し，震度分布図に重ねてパイチャートで表示する。

4. 建物データ

個々の建物の被災可能性を判定するため，建物のID，名称，位置，構造種別，地上階数，築年等のデータベースを持つ（表1）。構造種別は，後述する被災可能性の判定手法に対応して鉄筋コンクリート造(RC)／鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC)／鉄骨造(S)の3種類に分類する。木造については被災可能性判定の対象外とする。

後述する被災可能性判定手法では建物の階数をパラメータとして用いるため，データ化しておく。ただし15階を超える建物は，被災可能性判定の対象外としている。これは，判定手法の構築に用いた建物サンプルデータの中で15階を超える建物がなかったことに加えて，計測震度のみを外力指標として被害を推定することに無理があると考えられるである。

築年は建築基準法の改正時期との対応から1970年以前／1971～1980年／1981年以降の3区分とする。ただし耐震改修済みの建物は，1981年以降相当とする。

表1 建物データの内容

項目	内容
ID	建物毎にユニークな自然数
名称	建物名称等
位置	緯度経度（世界測地系）
構造種別	鉄筋コンクリート造(RC)／鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC)／鉄骨造(S)／（木造は対象外）
地上階数	15階以下を対象とする
築年	1970年以前／1971～1980年／1981年以降，ただし耐震改修済みの建物は1981年以降相当とする

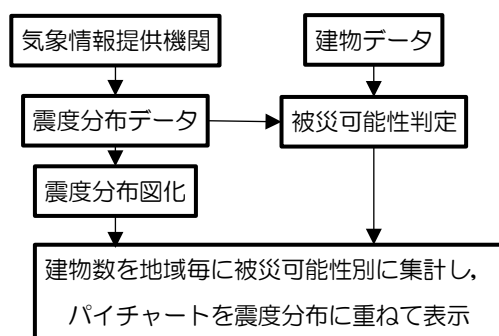


図1 データ処理の流れ

5. 推計震度分布

地震の直後にはいくつかの機関が様々な形で地震動に関する情報を提供している。例えば気象庁（2008）は、気象庁や地方公共団体等の震度計で観測された各地の震度データを元に、基準地域メッシュ（約1km 四方）毎の震度推計値を地震発生後およそ30分以内に提供している。なお気象庁は、推計震度分布図を活用する場合、大きな震度の面的な広がり具合やその形状に着目することが重要、推計された震度の値は場合によって1階級程度異なることがある、としている <<https://www.data.jma.go.jp/svd/cew/data/suikei/kaisetsu.html>>。

本報告のシステムにおいては、開発着手当時では一般に入手できる唯一の推計震度分布データであった気象庁のものを用いている。データは契約している気象情報提供機関からVPN 回線経由でプッシュ配信される。

その後いくつかの機関から4分の1地域メッシュ毎の震度推計値が提供開始されている。産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）は国内最大震度3以上の地震について、防災科学技術研究所が公開する地震観測記録を元に、4分の1地域メッシュ毎の最大地動速度と震度の推定値を提供している。

また(NPO)リアルタイム地震・防災情報利用協議会（2018）は防災科学技術研究所の「リアルタイム地震被害推定情報」を配信しており、4分の1地域メッシュ毎の震度推計値等がCSV等のデータ形式で得られる。

本報告のシステム内部では4分の1地域メッシュのデータにも対応できるようになっているものの、現時点での実運用の中ではそれらのデータを用いていない。

6. 震度情報、地震情報の格納

気象庁は国内最大震度5弱以上の地震について、震度階級4以上と推計された基準地域メッシュの震度推計値を、気象情報提供機関を通じて配信する。受信した震度推計値にはデコード等の処理を行った後に、地理院タイル形式のズームレベル0から12までのタイル画像として格納する。併せて観測点の震

度階級も同様に、別レイヤのタイル画像として格納する。

本システムでは、震度情報や地震情報（震源情報等）の検索に対応するため、タイル画像の作成と併せて、地震毎の地震情報、基準地域メッシュ毎の震度推計値、観測点震度階級を地理空間情報拡張データベースに登録する。地震情報については震源情報等をパラメータとして、震度情報については地震IDと緯度経度をパラメータとして、それぞれWebAPIで検索することができる。

7. 被災可能性判定

各建物の緯度経度に対応したメッシュの震度推計値と、構造種別、地上階数、築年から、各建物の損失比を推定し、被災可能性を判定する。

建物の損失比推定においては、建物の部位を内外装、躯体、設備、その他に分けて、構造種別と建築年代に応じてそれぞれの fragility 曲線を設定する（石川ほか、2006）。次に、建物の応答を簡易応答評価式（田村ほか、2005）により算定し、各層の応答（層間変形角、層間変形、層の応答加速度等）を評価し、上記の各部位の fragility 曲線と対応する応答値により損失比を推定する。奈良岡ほか（2014）により、建物の各部位のコスト比は等しいと仮定して各部位の損失比の平均により建物全体の損失比を推定する。

奈良岡ほか（2014）は、2011年東日本大震災時の1260棟の建物の被災度調査結果にもとづき、損失比と被災可能性との関係を表2のように整理した。表2にもとづき本報告では建物毎に損失比0.3%以下を「被災可能性：低」、0.3～0.5%を「被災可能性：中」、0.5%超えを「被災可能性：高」と区分して、建物棟

表2 建物の損失比と被災可能性の関係

被害別 割合 損失比	「無被害」または「ほとんど無被害」の割合	「部分的な被害あり」または「顕著な被害あり」の割合
0.3%未満	約 70%	約 30%
0.3～0.5%	約 50%	約 50%
0.5%超え	約 30%	約 70%

数を集計する。例えば、「被災可能性：高」の建物が10棟あれば、そのうち約3棟は「無被害」または「ほとんど無被害」であり、約7棟は「部分的な被害あり」または「顕著な被害あり」と推定する。

8. 判定結果のパイチャート表示

本システムの画面は閲覧ソフトでの表示を可能とするため JavaScript で作られている。地図の表示にはオープンソースのライブラリである leaflet <<https://leafletjs.com/>> を用いている。

leafletにはmarkerclusterというプラグインがある。これは地域に分布する多数のポイントを、表示している縮尺に応じた適切な領域毎にクラスター化して、領域内の代表点にシンボルを表示するものである <<https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster>>。クラスター化したポイントの合計値をシンボル内に示したり、合計値の大小によってシンボルの色を変えたりすることができる。

本報告のシステムではこの markercluster をさらに加工し、シンボルを被災可能性別のパイチャートとし、合計値の大小に応じてパイチャートの大きさを多少変えけるとともに、被災可能性毎の棟数も表示する。

国、都道府県や市区町村といった行政機関にとっては、例えば建物被害棟数等を行政界単位で集計し、コロプレスマップで表示したり行政界毎にパイチャートを表示したりすることに、一定の有用性があると考えられる。しかし例えば民間企業等は必ずしも行政界にとらわれることなく災害対応を行う場合があり、その際には行政界単位の集計よりも、本システムのような空間的分布表現がより有効と考える。

9. 実地震時の表示例

本システムは試験運用や改良を経て 2018 年 4 月に実運用を開始し、その後 2021 年 8 月までに 28 の地震データを受信し、処理を行った。その一例として、2021 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震の際の画面表示を図 2、3 に示す。気象庁の推計震度分布と観測点震度が震度階級別の色で、地理院地図の上に表示されている。ただし建物群については、

サンプルデータの被災可能性判定結果を表示している。

図 2 はズームレベル 7 の表示である。福島県中通りに建物のクラスターがあり、半数近くの建物が被災可能性：高となっている一方、関東地方には多くの建物があり、その大半が被災可能性：低となっている。

地図を拡大するにつれて建物のクラスターは細かく分散していき、相対的に孤立している建物はクラスターに含まれず単独のシンボルで表示される。ズームレベル 12 以上になると表示領域内の建物のリストが被災可能性の高い順に左下に表示される。ズームレベル 17 の表示例を図 3 に示す。リスト内の建物名称をクリックすると、当該建物にズームインし、建物属性や推計震度値、被災可能性が吹き出し表示される。

また画面の右上には建物名称による検索窓が設けられており、部分一致した建物のリストを窓の下に表示する。このリスト内の建物名称をクリックすると、当該建物にズームインして属性等を吹き出し表示する。この他、表示する建物群を、一定の震度以上の地域に存在する建物群のみに絞り込むことができる。

これらの機能により、地震直後で被災地の情報が入ってこない段階でも、この図から例えば福島県中通りで被害が発生している可能性が高いこと、そし

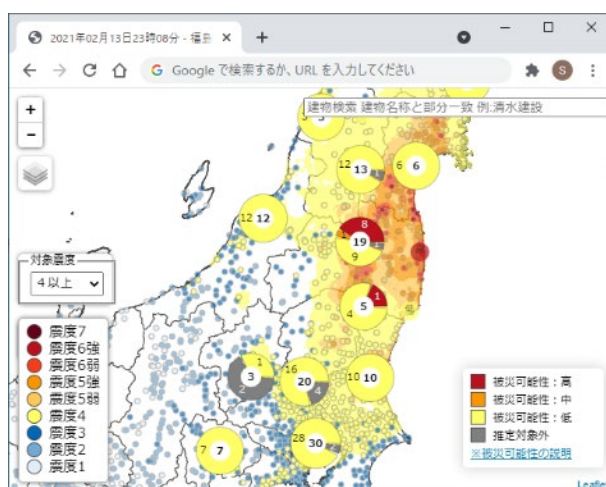


図 2 2021 年 2 月 13 日の福島県沖の地震の表示例
(ズームレベル 7)

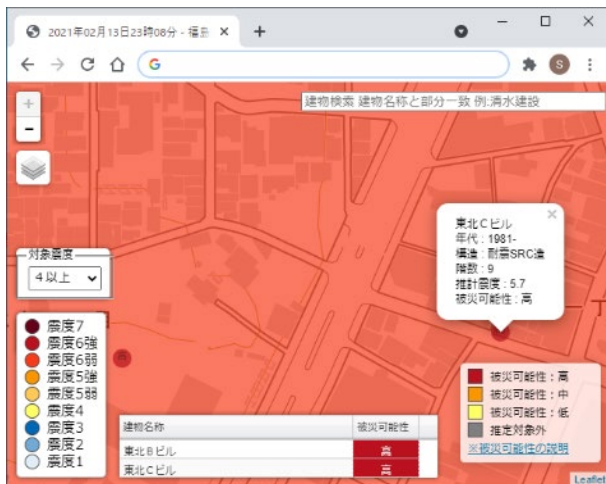


図3 2021年2月13日の福島県沖の地震の表示例
(ズームレベル17)

て被災地にどのような建物があったりどの程度被災しているのかということから、特定の建物の被災可能性までを素早く把握でき、緊急対応の検討に非常に有用と考えられる。

筆者らの組織では、最大震度6弱以上の地震が発生すると災害対策本部を立ち上げることとなっている。同じ最大震度6弱以上であっても地震によって被害の様相は様々であり、本システムから地震直後に被害の全貌がある程度推測できることから、緊急対応の検討に有効に活用されている。

10. おわりに

大規模な地震では広範囲にわたって多くの建物が被害を生ずる。被害の迅速な調査や復旧のために、被害の大きい建物はどの地域に多いのか、空間的分布の概略を素早く把握する必要がある。その際に javascript のライブラリ leaflet の markercluster プラグインを活用した本システムは極めて有効である。

建物の被災可能性判定手法については、2011年東日本大震災時の建物被災度調査結果のみを用いている点にやや問題が残る。その後のいくつかの被害地震でも、まとまった数の建物被災度調査を行った事例があるので、それらのデータも用いて手法の検証や改良を行うことが、今後の課題となる。また現状では対象外としている、木造と15階を超える建物の被災可能性判定手法について検討することも、今

後の課題となる。

推計震度分布については、多少なりとも精度を高めるためには、4分の1地域メッシュを利用することが有効と考えられ、今後は4分の1地域メッシュのデータの利活用が普及していくと予想される。その際には、基準地域メッシュのデータと比較するとデータ量が16倍となるため、アルゴリズムの高速化や計算機資源の増強も課題となる。

参考文献

- 石川裕・奈良岡浩二・渡辺泰志・斎藤知生 (2006) 生産施設の地震リスク評価。「第12回日本地震工学シンポジウム論文集」, 1386-1389.
- 気象庁 (2008) 推計震度分布図の迅速な発表について, <<https://www.jma.go.jp/jma/press/0801/10b/200801101400.html>>.
- (国研) 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2013) 地震動マップ即時推定システム (確定), <<https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/index.html>>.
- 田村和夫・中村豊・金子美香・神原浩 (2005) 高層建物の地震時安全性評価技術の開発 (その1) 全体概要と建物の簡易応答評価手法, 「日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2」, 623-624.
- 奈良岡浩二・渡辺泰志・奥村俊彦・黒瀬行信 (2014) 東日本大震災における建物被災度判定結果の分析と想定地震に対する建物被災度推定への応用. 「清水建設研究報告」, 91, 45-52.
- 南部世紀夫 (2007) 災害初動体制の早期確立を支援する地震被災度予測 GIS システム, <<https://www.esrij.com/industries/case-studies/49863/>>.
- (国研) 防災科学技術研究所 (2014) 防災クロスビュー (旧: 防災科研クライシスレスポンスサイト), <<http://xview.bosai.go.jp/>>.
- (NPO) リアルタイム地震・防災情報利用協議会 (2018) 『リアルタイム地震被害推定情報利活用の手引き』, (国研) 防災科学技術研究所