

建物群の被災可能性推計・地図表示による震災対応支援システムの構築

南部 世紀夫 渡邊 基史
(技術研究所) (NOVARE)

Construction of Earthquake Disaster Response Support System with Estimation and Mapping of the Possibility of Damage to Buildings

Sekio Nambu and Motofumi Watanabe

広域に分布する多数の建物の被災可能性を簡易に推計し、地震発生から概ね10分程度後にWebマップで分かりやすく表示するシステムを構築した。気象庁の推計震度分布を地理院タイルで可視化、震度と対象建物の属性から被災可能性を推計して大中小に区分し、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、円グラフで表示する。これにより被害の全体像から各地の細部までシームレスに把握でき、初動対応の迅速化・効率化に役立つ。

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, 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.

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・集約が大幅に遅れ、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になる場合がある。そのため限られた断片的な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等で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を構築した。¹⁾

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の事例²⁾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大きさに区別し、GIS等を用いて震度分布地図上にプロットしている。

建物の分布のプロット図による表現の問題点として、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視覚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することは困難になる。

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困難になる。

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困難である。

建物の被害推定の元となる震度分布については、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³⁾ため、その値には相当の誤差が含まれており、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の防災クロスビュー⁴⁾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。

一方で建物の被害に着目すると、メッシュ毎の全壊棟数の分布は視覚的に把握できるものの、全壊棟数の多少はもともとメッシュに存在する建物の棟数にも左右されるものであり、例えば全壊、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

3.1 主な仕様とデータ処理の流れ

本システムはクラウド上の仮想マシンに実装した。その主な仕様を表-1に示す。

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

表-1 システムの主な仕様

項目	数量、バージョン等
CPU コア数	3
RAM	3GB
OS	Almalinux8.5
kernel	4.18.0
podman	3.4.2
mapserver	7.6.4
postgresql	13.13
postgis	3.1.4
gdal	3.3.3
geos	3.9.2
httpd	2.4.37
MapProxy	1.13.2
Leaflet	0.7.7

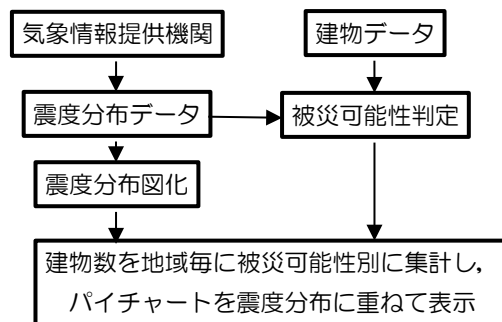


図-1 データ処理の流れ

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形式⁵⁾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WebGIS上で表示縮尺の初期値と建物の空間分布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。以降は利用者がWebGIS上で地図を拡大縮小するのにあわせて、再度適切な領域区分で集計しパイチャートで表示し直す。

3.2 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-2）。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

表-2 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	RC/SRC/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

がなかったためである。なお高さ 60m を超える建物はその構造安全性が時刻歴応答解析によって確認されており、構造特性の個別性が高いと考えられる。その意味でも後述する簡易な被災可能性判定手法を適用できるかどうかについては、検討が必要と考えられる。

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。

3.3 震度情報、地震情報の格納

気象庁は、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）毎と 4 分の 1 地域メッシュ（約 250m 四方）毎の震度推計値を地震発生後 15 分目途で提供している⁶⁾。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⁷⁾。

本報告のシステムにおいて、推計震度分布データの入手・図化部分を開発した 2007 年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基準地域メッシュのものをを用いている。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。

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。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。受信した震度推計値に対して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。ズームレベル 13 以上の表示に対しては、ズームレベル 12 のタイル画像を拡大することで対応する。

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 PostGIS に登録する。登録する項目を表 3～5 に示す。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。

表 3 地震情報データ

項目名	型など
地震 ID	文字
発表日時	タイムスタンプ
発生日時	タイムスタンプ
震源（央）名	文字
地震名	文字
深さ(km)	実数
マグニチュード	実数
最大震度	実数
津波	有無(1 0)
震源経度	実数
震源緯度	実数
速報/確定	整数
測地系	EPSG コード
タイル URL	WMTSCapabilities の URL
震源位置	ポイント(世界測地系)

表 4 基準地域メッシュの震度推計値データ

項目名	型など
地震 ID	文字
メッシュコード	整数
推計震度	実数
震度階	文字
ジオメトリ	ポリゴン(世界測地系)

表 5 観測点震度データ

項目名	型など
地震 ID	整数
地点名	文字
地点コード	整数
震度階	文字
震度値	実数
位置 経度	実数
位置 緯度	実数
速報/確定	整数
位置	ポイント(世界測地系)

3.4 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、石川ほかの手法⁸⁾により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フラジリティ曲線を設定する。次に、建物の応答を田村ほかの簡易応答評価式⁹⁾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、上記の各部位のフラジリティ曲線と対応する応答値により損失比を推定する。奈良岡ほかの手法¹⁰⁾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¹⁰⁾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-6のように整理した。表-6にもとづき本報告では建物毎に損失比0.3%未満を「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。

表-6 建物の損失比と被災可能性の関係

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	被災可能性
0.3%未満	約70%	約30%	低
0.3~0.5%	約50%	約50%	中
0.5%超え	約30%	約70%	高

3.5 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Leaflet¹¹⁾を用いている。

Leafletにはmarkercluster¹²⁾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。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直径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の方がより有効と考える。

4. システムのユーザー・インターフェイス

4.1 初期画面

システムの初期画面の例を図-2に示す。初期画面では直近の10の地震が新しい順にリスト表示される。表頭の列名をクリックすることで、ソートする列を変えることができる。地震IDは、気象庁が付与するものをそのまま用いている。「次へ」をクリックすると、次の10地震が表示される。推計震度の最大値が震度階級6の地震は橙色、同7の地震は朱色で表示される。また画面上部のプルダウンメニューで、推計震度の最大値が一定の震度階級以上の地震に絞り込むこともできる。

気象庁から新たな震度推計値が配信されると、本システムは自動的に処理を行うが、地震リストの画面は自動的に更新されず、閲覧ソフトの更新を手動で行う必要がある。

気象庁は通常、一つの地震について一回のみ震度推計値を配信するが、観測データの収集に遅延が発生した場合等には、震度推計をやり直して二回目の配信を行う場合がある。その場合は本システムも被災可能性判定計算をやり直す。データが更新されたことを認識できるように、地震リスト上には更新前の行も残してある。図-2の地震リスト上で5行目は更新前のデータ、4行目は更新後



図-2 システムの初期画面

のデータである。

なお地震リスト上の1行目の地震は、内閣府が想定した都心南部直下地震¹³⁾にもとづく被災可能性判定結果を訓練用として掲載したものである。

4.2 個別の地震の画面

地震IDをクリックすると、その地震による被災可能性判定結果の画面が別タブで開かれる。その一例として、2022年3月16日23時36分頃の福島県沖の地震の際の画面表示を図-3に示す。気象庁発表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。気象庁は震度階級4以上と推定された基準地域メッシュの震度推計値を配信するため、本システムでも震度階級4以上のメッシュにある建物について、被災可能性判定を行い表示する。

図-3はズームレベル6の表示である。建物群については、ダミーデータの被災可能性判定結果を表示している。福島県付近には20棟のクラスター、宮城県付近には21棟のクラスターがあり、一部の建物が被災可能性：高となっている一方、関東地方付近には90棟のクラスターがあるものの、被災可能性：高の建物は見られない。このように、建物の空間的分布、領域毎の被災可能性の棟数・割合の概略を一つの地図上で視覚的に把握できる。

ウインドウ左の「対象震度」プルダウンメニューで、一定の震度階級以上の建物のみを表示でき、被害が発生していそうな特に震度の強い地域に注

目できる。また、所有者を区別する属性を建物に与えておき、ウインドウ左の「所有者」チェックボックスで所有者を絞り込み選択して、選択された所有者の建物のみを表示できる(図-4)。このほか、ウインドウ右上の検索ボックスで建物名称による部分一致の検索ができ、検索結果はリスト表示される(図-4)。このリスト内の建物名称をクリックすると、当該建物にズームレベル17までズームインして建物情報が吹き出し表示される(図-5)。このことにより、例えば問い合わせのあった特定の建物の情報を素早く表示できる。なおこれらの図に表示されている建物名称はダミー

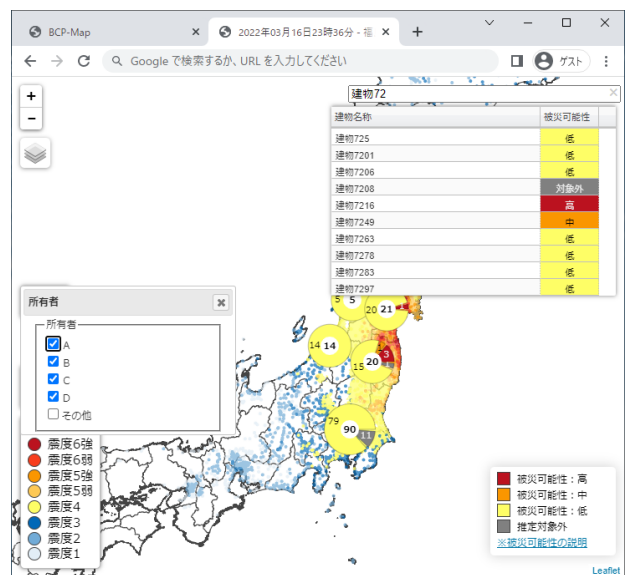


図-4 建物属性による選択と建物名称による検索の表示例

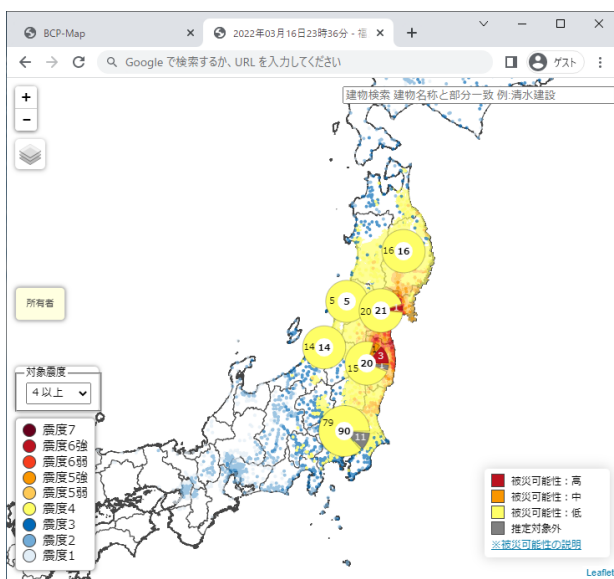


図-3 2022年3月16日の福島県沖の地震の表示例 (ズームレベル6)

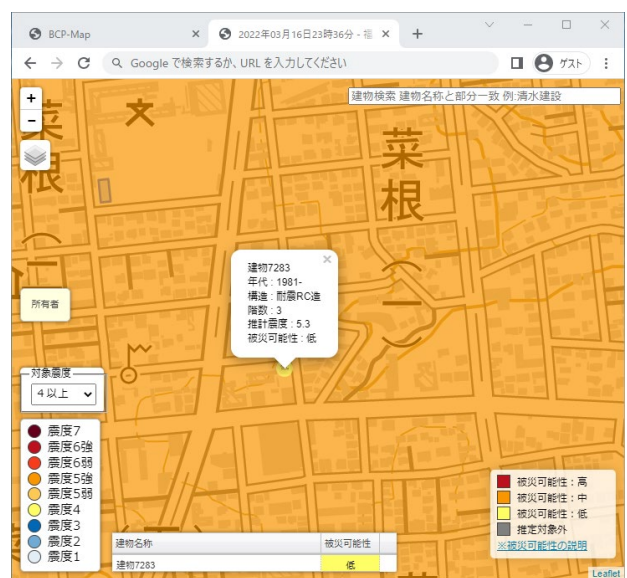


図-5 建物情報の吹き出し表示例 (ズームレベル17)

データとしての名称である。

マウスによるドラッグで地図をスクロールでき、画面左上の「+」「-」ボタンまたはマウスのホイールで地図を拡大・縮小できる。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く。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。単独のシンボルで表示されている建物をクリックすると、建物情報が吹き出し表示される(図-5)。ズームレベル8の例を図-6に示す。仙台市付近に3棟、福島市付近に2棟、郡山市付近に4棟のクラスターが見られる。これらの機能により、地図を自由に

操作しながら、どのあたりでどの程度被災可能性が高そうかを把握できる。

ズームレベル13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ウインドウの左下に表示され(図-7)、被災可能性の高い建物を素早く把握できる。リスト内の建物名称をクリックすると、当該建物にズームレベル17までズームインし、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(図-5)。これにより、どこかのような建物がどの程度の被災可能性なのかを素早く把握できる。

5. 社内でのシステムの活用

当社は全国に現存する施工建物のデータを本システムに登録し、2018年4月に運用を開始した。その後本システムは2024年10月までに79の地震についてデータを受信し、処理を行っている。

当社では、震度階級6弱以上の揺れを観測した地震が発生すると震災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る。従来は地震発生後、営業部門や現場部門が担当の顧客へ連絡を取ったり顧客からの連絡を受けたりして被害等の情報収集を行い、全社的な対応方針の策定や対応行動の具体化を行っていた。

しかし、例えば夜間の地震では明け方にならないと被災状況が分からなかったり、特に本社部門にとって土地勘のない地方の地震においては被災支店からの連絡待ちとなったりで、対応や支援の活動開始が遅れがちになることがあった。

地震直後で被災地の情報が入ってこない段階でも、例えば前章の画面表示から宮城県から福島県中通り・浜通りで被害が発生している可能性が高いこと、そして被災地にどのような建物があるかどう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。

震災対策要員にヒアリングを行ったところ、本システムを利用するようになってから、夜間や地方の地震であっても被災推定結果を踏まえて即座に対応方針の策定や対応行動の具体化を行え、数時間から半日程度リードタイムを短縮できるようになったとの評価を得た。

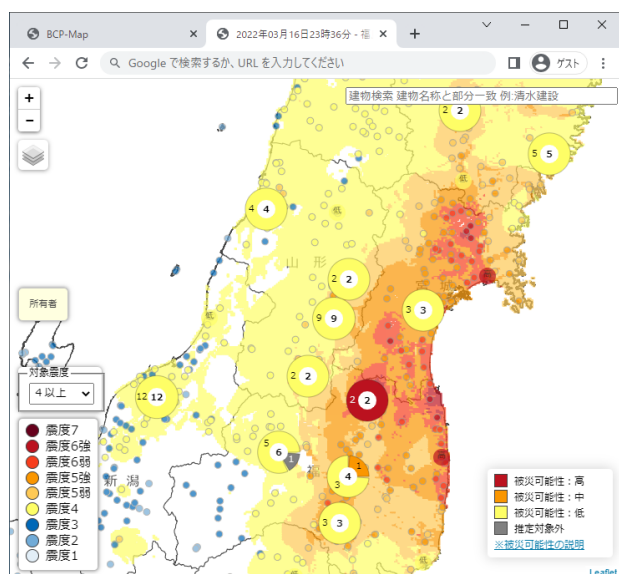


図-6 2022年3月16日の福島県沖の地震の表示例(ズームレベル8)

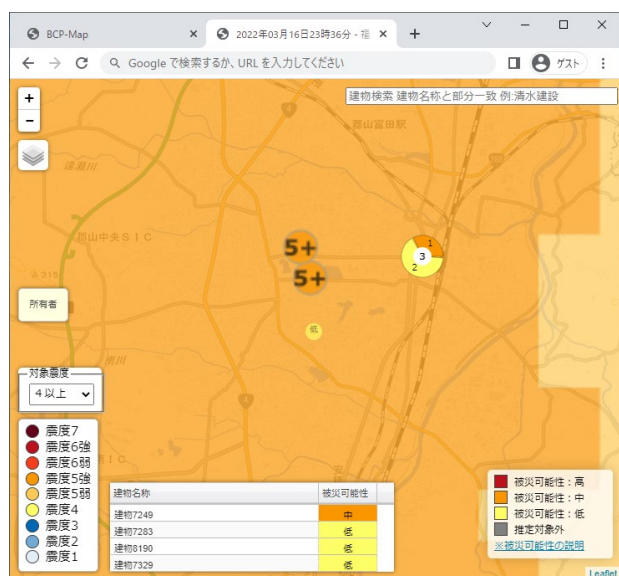


図-7 ズームイン時の建物リスト表示の例(ズームレベル13)

6. 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、被害の大きい建物ほ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て建物群の被災可能性をパイチャート表示する本システムは極めて有効である。

今後の課題として以下の点が挙げられる。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。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いたいと考える。また現状では対象外としている、木造または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、建物の被災可能性判定の精度を高めるためには、4分の1地域メッシュの利用が有効と考えられ、そのためのプログラム改修が必要となる。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。

謝辞

本システムを開発するにあたり、清水建設技術研究所元副所長の奥村俊彦氏には多大なるご支援、ご助言を頂いた。ここに感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 南部 世紀夫, 渡邊 基史, 奥村 俊彦: 建物群の被災可能性簡易推計システム“BCP-Map”の構築, 第30回学術研究発表大会講演論文集, 地理情報システム学会, 2021.
- 2) 南部世紀夫: 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, ArcGIS 事例集, <https://www.esri.com/industries/case-studies/49863/>, ESRI ジャパン, 2007.
- 3) 気象庁: 地震動の震度の予想に係る計算方法, 気象業務法施行規則第十条の二第一号ロの計算方法を定める件, 気象庁告示第十一号, 気象庁, 2007.
- 4) 防災科学技術研究所: 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), <https://xview.bosai.go.jp/>, 防災科学技術研究所, 2014.
- 5) 国土地理院: 地理院タイルについて, <https://maps.gsi.go.jp/development/siyou.html>, 国土地理院.

- 6) 気象庁: 推計震度分布図の高解像度化・高精度化について, 報道発表資料, https://www.jma.go.jp/jma/press/2212/16a/20221216_suikei_250m.html, 気象庁, 2022.
- 7) 気象庁: 推計震度分布図について, 知識・解説, <https://www.data.jma.go.jp/eew/data/suikei/kaisetsu.html>, 気象庁.
- 8) 石川裕, 奈良岡浩二, 渡辺泰志, 斎藤知生: 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, pp. 1386-1389, 日本地震工学シンポジウム運営委員会, 2006.
- 9) 田村和夫, 中村豊, 金子美香, 神原浩: 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, pp. 623-624, 日本建築学会, 2005.
- 10) 奈良岡浩二, 渡辺泰志, 奥村俊彦, 黒瀬行信: 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, pp.45-52, 清水建設, 2014.
- 11) Vladimir Agafonkin: Leaflet - an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps, <https://leafletjs.com/>.
- 12) Dave Leaver danzel, et al.: Leaflet.markercluster, <https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster>.
- 13) 首都直下地震モデル検討会: 首都直下地震モデル検討会において検討された震度分布・浸水域等に係るデータ提供について, https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/shutochokkajishinmodel/data_teikyou.html, 内閣府, 2014.

