

## 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、全国に数万棟ある当社施工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。<sup>1)</sup>

## 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<sup>2)</sup>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。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、以下”ZL”と略す)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。

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<sup>3)</sup>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。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. 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

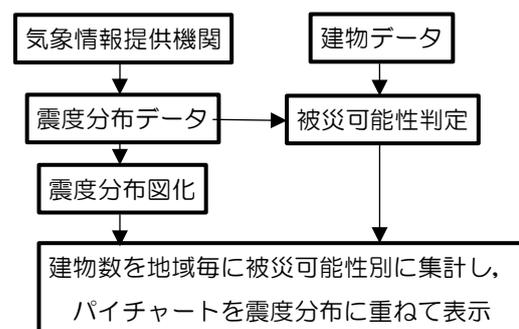


図1 データ処理の流れ

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<sup>4)</sup>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、当社の施工建物DBから建物のID、名称、位置、構造種別、地上階数、築年等のDBを作成し、定期的に更新する(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木造建物や15階を超える建物が少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. 推計震度分布データ

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およそ30分以内に提供している<sup>6)</sup>。本システムにおいて、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。

気象庁は2023年2月に4分の1地域メッシュ毎の震度推計値の提供を開始した。本システム主要部は4分の1地域メッシュのデータにも対応しており、データ受信サブシステムを改修して移行する予定である。

### 3.4. 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ZL0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。ZL13以上の表示に対しては、ZL12のタイル画像を拡大表示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

表1 システムの主な仕様

項目	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

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

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。

### 3.5. 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<sup>5)</sup>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 fragility 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<sup>6)</sup>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。奈良岡ほかの手法<sup>7)</sup>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<sup>7)</sup>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整理した(表6)。表6にもとづき本システム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。

### 3.6. 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、Leaflet<sup>8)</sup>を用いている。

Leafletにはmarkercluster<sup>9)</sup>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区域単位で集計し、コプロレスマップで表示したり行政区域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区域にとらわれることなく災害対応を行う場合があり、その際には行政区域単位の集計よりも、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。

表 3 地震情報データ

項目名	型など
地震 ID	文字
発時日時	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(世界測地系)
震源緯度	実数(世界測地系)
速報/確定	整数
測地系	EPSG コード
タイル URL	WMTSCapabilities
震源位置	ポイント

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

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(世界測地系)
位置 緯度	実数(世界測地系)
速報/確定	整数
位置	ポイント

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

## 4. システム利用の手順と効果

### 4.1. システムの初期画面の表示例

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。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、閲覧ソフトの画面更新を手動で行う必要がある。また気象庁は通常、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、地震リスト上には更新前の行も残してある。

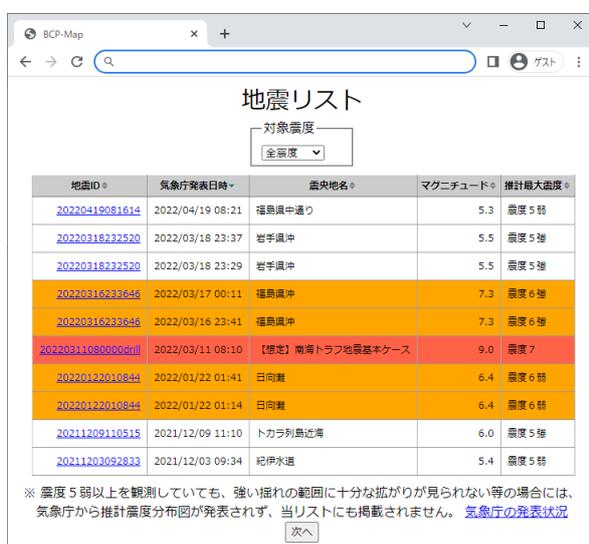
なお地震リスト上の6行目の地震は、内閣府が想定した南海トラフ地震の基本ケース<sup>10)</sup>にもとづく被災可能性判定結果を訓練用として掲載したものである。

### 4.2. 実地震時の表示例

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以下に示す。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ZL6の表示である。以下建物群については、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、選択された所有者の建物のみを表示できるほか、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



The screenshot shows a web browser window titled "BCP-Map" with a search bar and a "地震リスト" (Earthquake List) section. A dropdown menu for "対象震度" (Target Magnitude) is set to "全震度" (All Magnitudes). Below is a table with columns for Earthquake ID, Issuance Date, Location, Magnitude, and Maximum Estimated Magnitude. The 6th row is highlighted in red, indicating a magnitude 7 event.

地震ID	気象庁発表日時	震央地名	マグニチュード	推計最大震度
20220419081614	2022/04/19 08:21	福島県中通り	5.3	震度5弱
20220318232520	2022/03/18 23:37	岩手県沖	5.5	震度5強
20220318232520	2022/03/18 23:29	岩手県沖	5.5	震度5強
20220316233646	2022/03/17 00:11	福島県沖	7.3	震度6強
20220316233646	2022/03/16 23:41	福島県沖	7.3	震度6強
2022031108000000	2022/03/11 08:10	【想定】南海トラフ地震基本ケース	9.0	震度7
2021012010844	2022/01/22 01:41	日向灘	6.4	震度6弱
2023012010844	2022/01/22 01:14	日向灘	6.4	震度6弱
20211209110515	2021/12/09 11:10	トカラ列島近海	6.0	震度5強
20211203092833	2021/12/03 09:34	紀伊水道	5.4	震度5弱

※ 震度5弱以上を観測していても、強い揺れの範囲に十分な拡がりが見られない等の場合には、気象庁から推計震度分布図が発表されず、当リストにも掲載されません。 [気象庁の発表状況](#)

図2 システムの初期画面

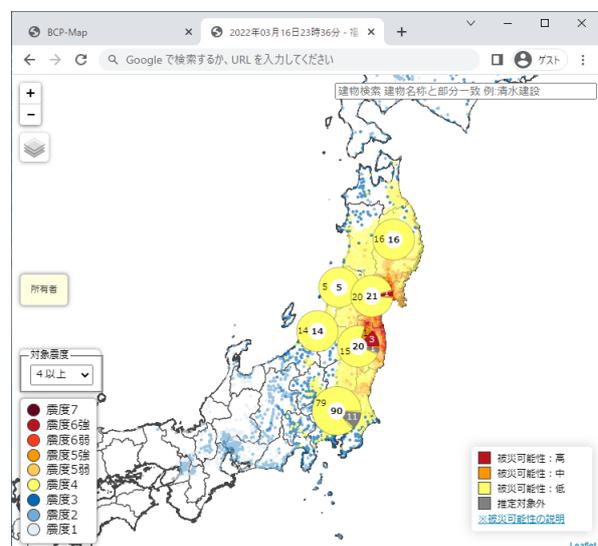


図3 2022年3月16日の福島県沖の地震の表示例(ZL6)

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ZL17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). これにより、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.

マウス操作で地図をスクロール、拡大・縮小でき、拡大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単独のシンボルで表示される. 単独表示の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). ZL8の例を図6に示す. 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.

ZL13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る(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ZL17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、どこのど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.

当社の本社・支店・営業所・建設作業所等も地図上に重ねて表示でき、震度の強い地域に社員が居るかどうかが、周辺地域から支援要員を派遣できるかどうか等の検討もできる.

### 4.3. 本システムの効果

前章の機能により、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っ

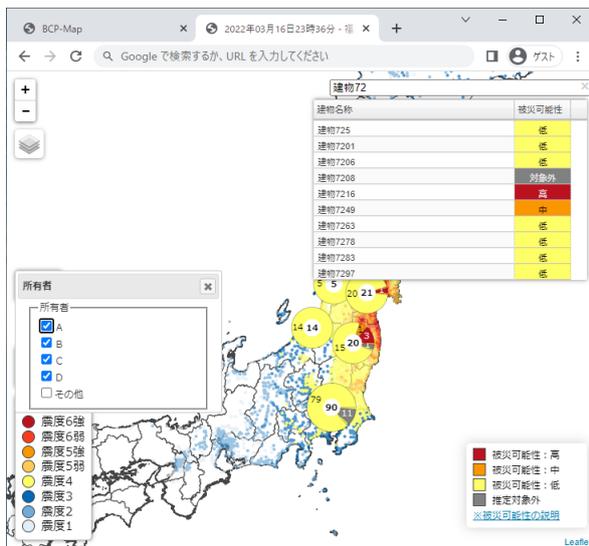


図4 建物属性による選択と建物名称による検索の表示例

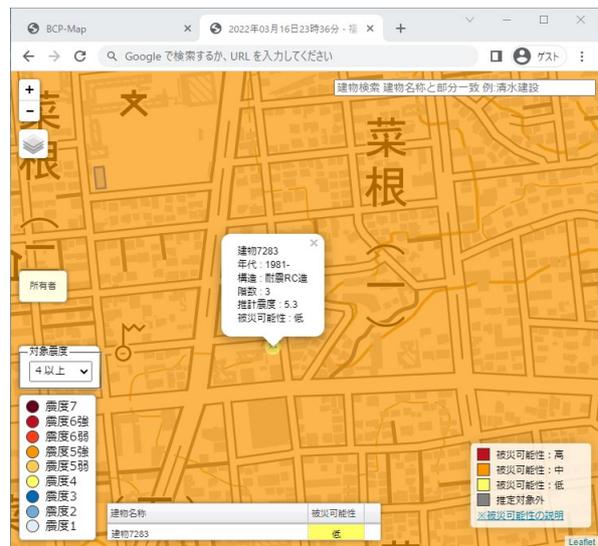


図5 建物情報の吹き出し表示例(ZL17)

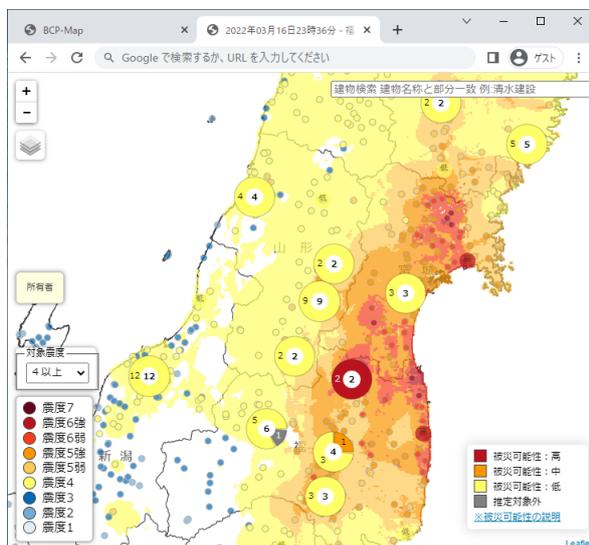


図6 2022年3月16日の福島県沖の地震の表示(ZL8)

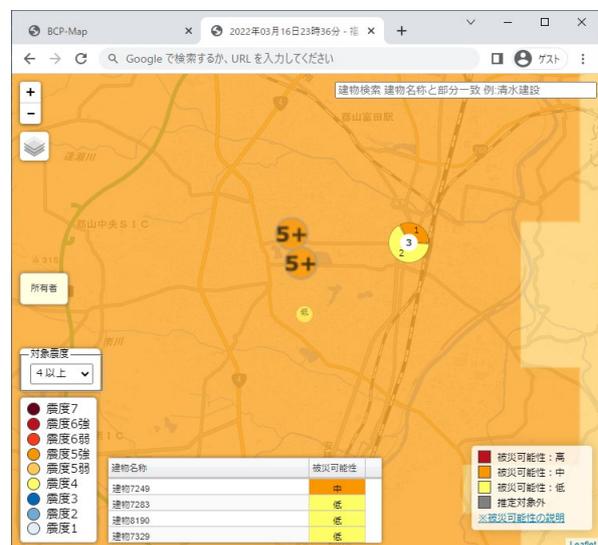


図7 ズームイン時の建物リスト表示(ZL13)

てどの程度被災している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。

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、営業部門や現業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。本システムを開発・利用開始以降は、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。

## 5. 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その地域に多いのか、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地域メッシュを利用することが有効と考えられ、現状の地震情報データ受信の仕組みが概ねそのまま使える気象庁からの、4分の1地域メッシュのデータ受信の早期改修が必要である。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】

- 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, 地理情報システム学会, 第30回学術研究発表大会講演論文集, 2021.10
- 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, ESRIジャパン, ArcGIS事例集, <https://www.esri.com/industries/case-studies/49863/>, 2007.1
- 3) 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), 防災科学技術研究所, <https://xview.bosai.go.jp/>, 2014.10
- 4) 国土地理院:地理院タイルについて, 国土地理院, <https://maps.gsi.go.jp/development/siyou.html>.
- 5) 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, 日本地震工学シンポジウム運営委員会, 第12回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.1386-1389, 2006.11
- 6) 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, pp.623-624, 2005.7
- 7) 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, 清水建設研究報告, 91, pp.45-52, 2014.1
- 8) Vladimir Agafonkin:Leaflet - an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps, <https://leafletjs.com/>
- 9) Dave Leaver danzel, et al.:Leaflet.markercluster, <https://github.com/Leaflet/Leaflet.markercluster>
- 10) 南海トラフの巨大地震モデル検討会:南海トラフの巨大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, 内閣府, [https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data\\_teikyoku.html](https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/data_teikyoku.html), 2012