

マニラ近郊の住宅地での建物ポリゴンデータを用いた 地域特性の分析に基づく地震時死者数の推定

Estimation of Number of Casualties Caused by Large Earthquake based on Analysis of the Regional Characteristics using Building Polygon Data in the Suburb of Manila

長谷川 浩一¹, 馬場 美智子¹, 堀江 啓¹, 牧 紀男¹, 林 春男²

Kouichi HASEGAWA¹, Michiko BANBA¹, Kei HORIE¹, Norio MAKI¹ and Haruo HAYASHI²

¹ 防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIED

² 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

A GIS database for seismic damage risk assessment was built in and around Marikina city, a suburb bedroom town of Metropolitan Manila. Building shape polygon data were available to measure building characteristics, as a layer of topographic CAD data which was digitized on 1:10000 scale of aero photos. Buildings were classified into two types of residence overlaying the existing land use map; high dense housing and standard one. Those residential zones were found to have different trends of building density and histogram of building area. The seismic resistant qualities of the buildings were evaluated based on such regional characteristics. Vulnerability curves of GESI method to the building groups were decided and total number of casualties in the city was estimated at about 1900 people.

Key Words : seismic damage risk assessment, number of casualties, building shape polygon, land use map, GIS

1. はじめに

近年、開発途上国においても地図情報のデジタル化が進められている。フィリピンのメトロマニラでは、地形図のベクターデータ化が国の機関によって進められており、CADやGIS（地理情報システム）によって利用することができる。また、自治体や大学等の研究機関においても、様々なGISデータの構築が進められていることが明らかになった。これらのデータは、現在別々の機関で別々に保有されているが、これらを統合して利用すれば、例えば地震被害想定などの計算処理に利用することが可能であり、その有効性は非常に高い。

著者らは、当地域において地震被害軽減プロジェクト『アジア・太平洋地域に適した地震津波災害軽減技術の開発とその体系化』の一環として被害軽減計画作成プロジェクトを実施した際に、それらのベクターデータおよび高解像度衛星画像を入手し、GISで利用できるように処理を施した後、簡便な地震被害想定を実施した。

データを入手した地域は、メトロマニラの北東部に位置し、ベッドタウンとして発展しているマリキナ市を含む地域である。ある調査報告書¹⁾によると、マリキナ市内の建物の約97%が住宅であり⁽¹⁾、そのほとんどが3階建て以下である。一方、高解像度衛星画像を見ると住宅の規模、密集度は地域によって大きく異なることが確認できる。図1に当地域の衛星画像の一部を示す。この図から、狭小住宅が密集して立地する地域と比較的規模の大きな住宅が比較的余裕をもって立地する地域が明確に分かれていることがわかる。

マリキナ川沿いに分布する不法占拠居住者のための再



図1 マリキナ市内の住宅規模の違い

定住地では、1区画20~30m²という狭小住宅が密集しており、それらの地域の大半の住宅は品質の低い材料を自前で組み立てて作られており、地震に対して極めて脆弱であるとの報告がある²⁾。一方、それ以外の地域の住宅は、建築面積が比較的広く、材質や工法の品質も比較的高いため、耐震性も相対的に高いと考えられる。

これらの住宅地は現況土地利用図によって、地域が区分されている。この土地利用区分ごとに建築面積の分布が異なることが示すことができれば、建築面積の分布に

よって建物の耐震性能の地域による違いを把握できる。本研究で入手したベクターデータのうち建物形状を示すポリゴンデータは、GISで処理することによって、地域の建物棟数や建築面積を算出することができる。

本研究では、この結果得られる土地利用別の建物棟数密度や建築面積に関する統計値は、次の用途で用いる。

- 1) 建物ポリゴンデータが欠落している地域での建物棟数を推定するため⇒土地利用別の平均棟数密度を用いる
- 2) 建物の耐震性能を分類するため⇒土地利用と建築面積による基準を設ける

用途1)の必要性は、①航空写真判読が不可能なほど建物が密集した地域では、その地域全体が一つのポリゴンとして取得されていたこと、②対象地域の北西部分の図幅では、地形図のデジタイズが編集途中であったことが挙げられる。

用途2)の必要性は、①建物の耐震性能の分布を知ることが現実的に困難な場合、何らかの基準を設けて簡便に処理を行う必要があること、②本研究の対象地域では、脆弱性が明らかに異なる建物が土地利用区分によって明確に分かれて立地していることが挙げられる。

図2に本研究の流れを示す。内容は大きく、『建物に関する地域特性の把握』と『地震被害想定への適用事例』に分かれる。これらの内容は、従来別々のテーマとして扱われることが多かったが、上記の各用途の必要性から、これらを総合的に処理することが合理的であると判断された。

本論文は、1)フィリピンにて実際に入手したデジタルデータをGISで利用できるように処理し、2)土地利用別に棟数密度・建築面積を把握し、建物データの欠落がある地域にてデータを補い、3)建物の耐震性能を評価するために土地利用と建築面積で基準を設定して建物进行分类し、4)各分類の建物の脆弱性を決めて、地震被害想定を実施した事例を報告するものである。

以上のデータ分析にはGISが多く用いられた。このGISでの分析を実施するための準備として、収集された各種GISデータが同一座標系で重なるように、処理を行う必要があった。その処理の内容を2章で述べる。

2. GISデータの処理

(1) 入手したデジタルデータ

マニラ首都圏では、ベクター形式やラスター形式（画像）のデジタルデータがいくつか存在することが確認された。以下に本研究で入手した主なデータについて説明する。

a) 建物ポリゴン

フィリピンの地図作成機関であるNational Mapping and Resource Information Authority (NAMRIA)では、1995年から1997年の間に撮影された航空写真に基づく地形図（縮尺1:10000相当）のベクター化処理を進めている。マリキナ市を含む図幅は4図幅あったが、このデータのうちマリキナ市の北西部を含む1図幅DILMANを除く3図幅Marikina, SSS Village, SAN MATEOは、作業が完了しており、データを入手することができた。この地形図データから建物形状を示すレイヤを取り出した。図3(a)にその一例を示す。このデータはCADによって編集されていたが、地理座標系を有しており、GISでの利用が可能であると判断された。

b) 行政区界・河川・ハザードマップ

フィリピン地震火山研究所（PHIVOLCS）には、GISル

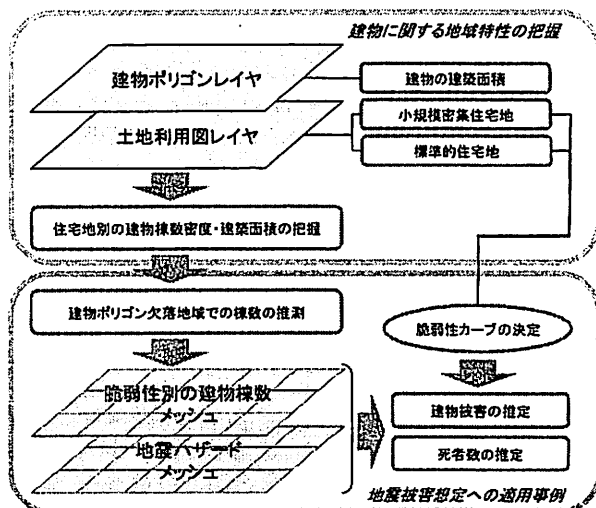


図2 本研究の流れ

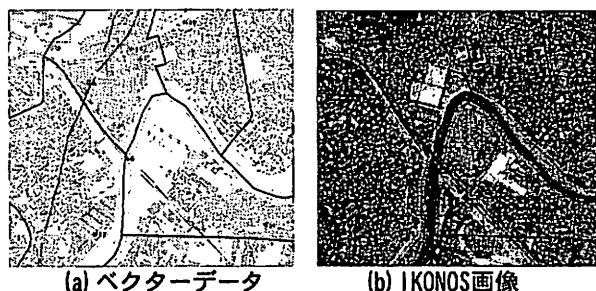


図3 位置合わせ処理済みベクターデータとIKONOS衛星画像の例

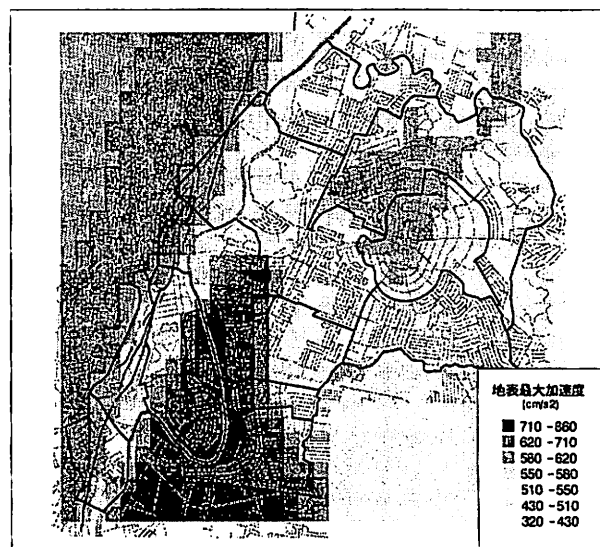


図4 マリキナ市付近の地震ハザードマップ (PGAデータ: PHIVOLCS提供)

ームが設置されており、メトロマニラにおける主要な行政界、河川、活断層位置などのベクターデータがGISにて整備されていた。

また、地震ハザードマップとして、West Valley Faultにおいてマグニチュード7.0を想定した場合の最大地動加速度(PGA)の予測図³⁾のデータ（メッシュ形式）が存在した。このデータは、緯度経度を含んだテキストデータとして入手できたので、フォーマット変換して200mメッシュの

ポリゴンとしてGISに取り込んだ。図4にマリキナ市での地震ハザードマップ、行政界（バランガイ境界）、河川、道路、断層線を重ね合わせた分布図を示す。

c) 土地利用データ

マリキナ市では、1960年代から土地利用図が編集されている。現在では地図のベクター化が進められており、現況土地利用図と土地利用計画図を入手することができた。現況がいつの時点であるのか不明であったが、2003年の土地利用をよく反映していると判断した。図5にマリキナ市の現況土地利用図を示す。図6には、市内の各土地利用の面積比率を示す。住宅地域に相当するものは、RESIDENTIAL, SOCIALIZE HOUSING ZONE, USED ZONE, AREA FOR PRIORITY DEVELOPMENTであり、これらの合計面積は全体の約75%を占めている。

d) 高解像度衛星画像（イメージデータ）

マリキナ市を含む地域にて、IKONOSの衛星画像を入手した。これは2002年5月に撮影された解像度が1mの画像であり、一部の密集住宅地域を除いて、建物形状をほぼ確認することができる。ファイルはGeoTIFF形式であり、GISに取り込むと地理座標を自動的に取得することができた。図3(b)に衛星画像の一例を示す。(a)と(b)は同一の範囲を示している。

この衛星画像の位置情報が正しいかどうか、マリキナ市内の複数の小学校校門前にて、GPSによる座標値の取得を行い、GIS上にて重ね合わせて比較した。GPSの座標系は、IKONOSと同じくWGS84のZone51（北半球）に設定した。GIS上にて重ね合わせた結果、衛星画像の小学校校門位置と取得したGPS座標地点は、高い精度で一致することが確認された。その結果、この画像データは入手した各種ベクターデータの位置確認用の背景画像として利用し、ポリゴンデータはすべてこの画像に合うように位置補正を行った。

この画像の撮影時期とNAMRIAの地形図ベクターデータの元となる航空写真の撮影時期の間には、約5年のタイムラグが生じている。この時間差によって、建物の新築や取り壊しなどで両者に差異を生じる可能性がある。しかし、これがGISデータ作成の不備によるものなのか区別することが困難である。そこで、地震時の被害が大きくなると予想される密集住宅地については、両者のデータを目視で確認し、建物データの欠落があるか確認した。その他の地域は、基本的に現状のまま作業を進めた。

(2) 座標系と変換処理

前節に示したデータはいずれも入手機関が異なり、座標系の設定もばらばらであったため、これらを同一の座標系に登録する作業が生じた。まず、現在フィリピンで利用されている座標系について調査を行った。NAMRIAによると、Philippine Reference System of 1992 (PRS92)が最新の座標系であり、WGS84からPRS92系への変換パラメータが公開されていた。その他、次に示すとおり、各レイヤの座標系の情報を調べて、WGS84系のデータへ変換する処理を行った。

a)建物ポリゴンは、NAMRIAにて作成されたデータであるので、まずPRS92からWGS84へのDatum変換を試みた。その結果、GIS上でIKONOSとの間にずれを生じたため、平行移動によって位置の調整を行った。

b)PHIVOLCS提供のデータは、UTM（ガウス-クルーガー図法）、zone51（北半球）、Luzon1911 datumを準備して、データをGISへインポートし、その後WGS84へDatum変換を行った。その結果、IKONOSとの間に若干のずれがあったため、平行移動によって調整した。

c)土地利用図データは、GISにてポリゴン形式で編集さ

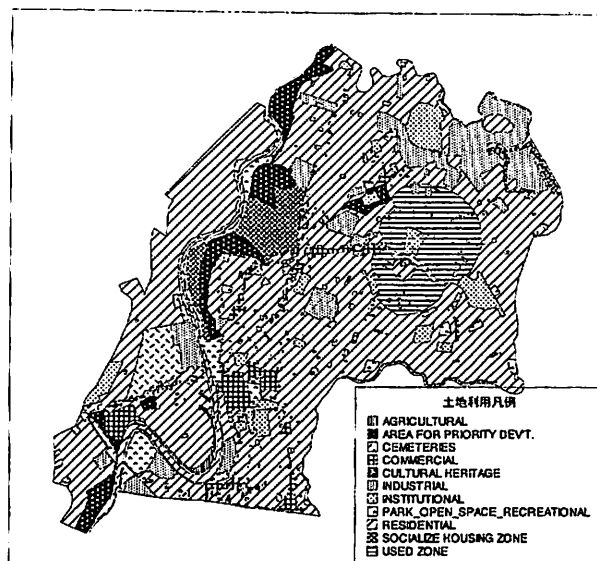


図5 マリキナ市の現況土地利用図

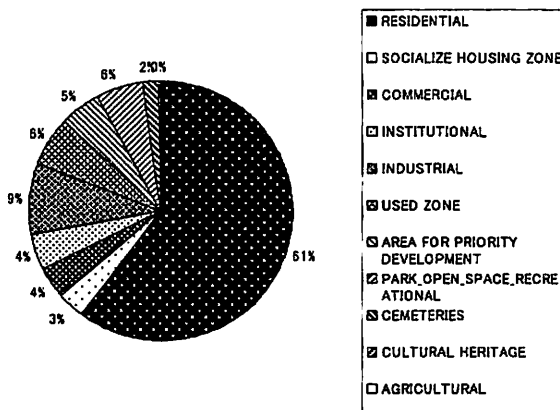


図6 マリキナ市の土地利用の割合

れていたが、土地利用ごとにレイヤが分かれていたため、これらを統合した。また、地理座標系が設定されていなかったため、b)で座標変換処理が完了した行政界レイヤに合うように、基準地点を2点設定して、アフィン変換を行った。その結果、両者は比較的良く一致した。

d)IKONOS衛星画像は、自ら持つ座標値と投影法に従った。座標系UTM Zone51（北半球）、投影法WGS84であったので、座標変換は行わずそのまま利用した。

(3) 建物ポリゴンの欠落とその推定

a) 密集住宅地全体を囲むポリゴンの存在

GISに取り込まれた建物形状レイヤと高解像度衛星画像を重ねて比較すると、密集住宅地の地域では、住宅地全体を一つのポリゴンとして取得している場合があった。この原因は、建物が密集しすぎているため各建物の輪郭をとらえることができなかったための処理と考えられる。

そのようなポリゴンをそのまま利用すれば大規模な一つの建物と間違えてしまう恐れがある。そこで、密集地域で建物ポリゴンが集団で欠落している地域を目視にて確認し、それらをレイヤから除外し、データ欠落地域とした。

b) 図幅が編集集中の地域

市北西部の図幅は、データが編集集中であったため、データを入手できず、その地域全体で建物ポリゴンが欠落

した。この地域は広大であり、かつその大部分は河川沿いの密集住宅地であった。

c) 欠落データの推定

データを補う方法の一つは、建物ひとつひとつを高解像度衛星画像に基づいて手動でベクトル化することであるが、これは大変手間がかかる上に、建物が密集した地域では、衛星画像から形状を判読することが困難な場合もある。

そこで、現況土地利用図に基づき、同じ土地利用の地域（密集住宅地）での平均的な建物棟数密度を適用して建物棟数を推定することとした。建物棟数密度の計測については、3章にて述べるが、計測結果は表1に示すとおりであった。表1と図6より、建物ポリゴンデータに欠落のあった密集住宅地域において、建物棟数を推定し、ハザードマップと同じ200mメッシュ形式で示した結果を図8に示す。

なお、データが未整備の地域のうち市内において、建物が密集せずに分布している地域がマリキナ川西岸で見受けられたが、その地域では、目視にて建物棟数を追加した。

3. 地震被害想定のための建物の特徴の把握

(1) 住宅地に関する土地利用区分

図5に示すとおり、マリキナ市の現況土地利用図をGISデータとして整備した。この現況土地利用図によると、住宅地域に相当する凡例は次の4種類が確認された。一般的な住宅地としてResidentialとUsed Zone (Mixed Use Zone)があり、その他、低所得者のために低い利子で住宅の購入を支援する地域Socialize Housingと、不法占拠居住者のために優先的に住宅地の開発を行っている地域Area for Priority Developmentがある。

一般的な住宅地は後者にくらべて建築面積が広く、棟数密度が低いことが、建物ポリゴンデータや衛星画像を観察して確認できた。また、ResidentialとUsed Zoneに大きな違いはみられなかったため、両者を併せたものを『一般住宅地』とした。同様にSocialize HousingとArea for Priority Developmentにも大きな違いが見られなかったことから、両者を併せて『密集住宅地』とした。なお、市南西部の一部の地域において、一般住宅地であるが明らかに狭小住宅が密集した地域が確認されたので、この地域の建物群を密集住宅地へ変更した。

(2) 住宅地域の区分別の建物棟数と密度

GISデータのうち建物形状ポリゴンと土地利用データを重ね合わせて、地域面積と建物棟数の関係を調べた。図7に(1)で示した二種類の住宅地域区分の地区面積とその地区に建つ建物棟数を比較したグラフを示す。(a)一般住宅地、(b)密集住宅地の比較結果を示している。プロットの単位は、土地利用の領域が、幹線道路やバランガイ境界でほぼ区切れると判断される地区を1単位としている。原点をとる回帰直線を計算した結果、回帰係数は(a)で約21、(b)で約60であった。

土地利用別の平均棟数密度を調べた結果を表1に示す。一般住宅地では約19棟/ha、密集住宅地では約64棟/haであり、回帰係数と同様に両者は約3倍の差があった。

前章で述べたとおり、この平均棟数密度を用いて、密集住宅地で建物ポリゴンの欠落があった地域で、建物棟数を推定した。(図8)

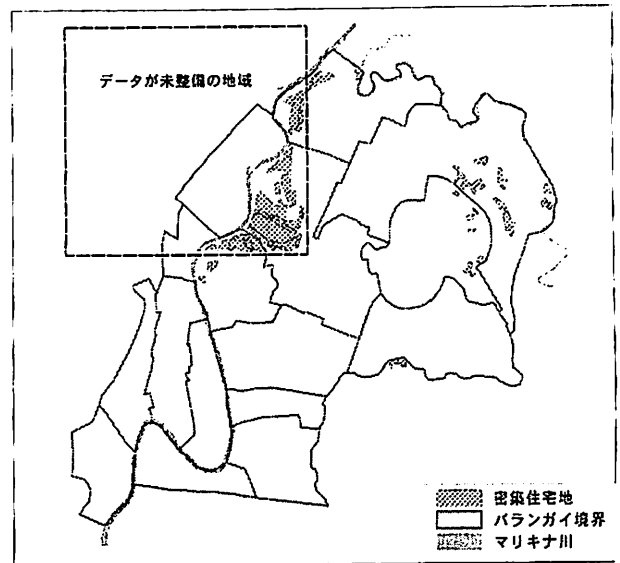


図6 建物ポリゴンデータの欠落がある密集住宅地

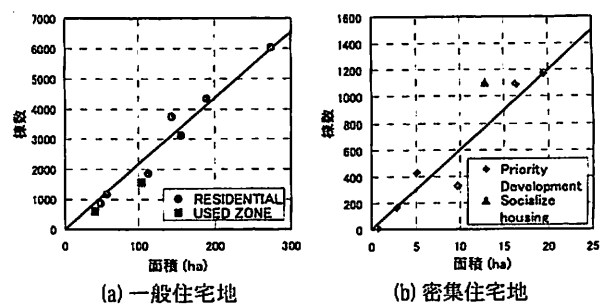


図7 地域面積と建物棟数の関係

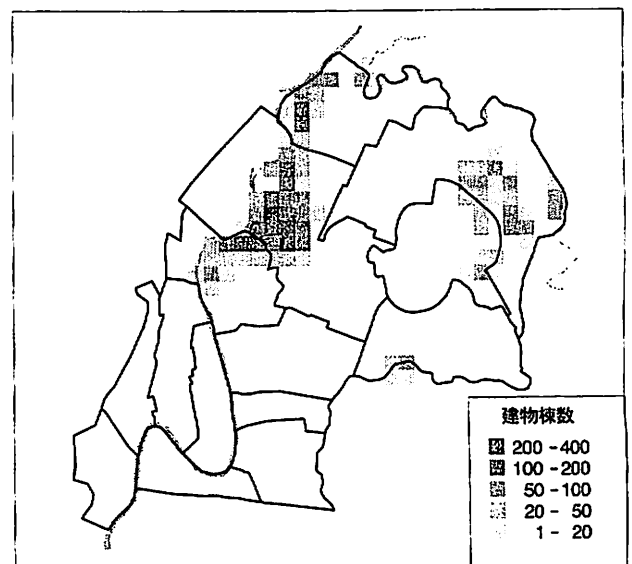


図8 欠落した密集住宅地域での建物棟数の推定結果

(3) 建築面積の度数分布

一般住宅地と密集住宅地に含まれる建物ポリゴンの面積の度数分布を図9に示す。縦軸は棟数を、横軸は建築面積(m²)を示している。ポリゴン面積が建築面積と一致するかは、ポリゴン形状の正確さに依存するが、度数分布全体の傾向は実際の建築面積の度数分布を反映しているものとみなして作業を進めた。

両者の分布は広い範囲で重なっていることが確認できるが、分散分析を行った結果、危険率5%で有意な差があることが確認された。

図10には累積度数分布も示す。各住宅地での建築面積の中央値を調べると、一般で100、密集で48であり、平均値と標準偏差は、一般で126.3 (172) で、密集で64.2 (70) であった。中央値、平均値ともに一般住宅地の値は密集住宅地の値の約2倍であることがわかった。

(4) 住宅地の特性による建物脆弱性の分類基準

マリキナ市の住宅において、上記の土地利用の分類にも示されているように、一般住宅地と密集住宅地では、建物の規模すなわち建築面積が大きく異なることがわかった。これは、規模が小さい住宅はその建設が比較的容易であり、Non-engineeredである可能性が高いとも考えられ、逆に規模が大きければそれだけ建設コストを要するとともに、ある程度高い技術レベルが要求されると推測される。また現地調査から、密集住宅地には材質や施工の品質が比較的低く、地震に対する脆弱性が比較的高いと思われる建物が多く分布していることが確認された。

上記の推測と現地調査結果に基づき、平均的な建物と脆弱性の高い建物を分類するための基準として、建築面積を利用することは、情報が限られている場合の一つの手段であると考えた。

本研究では、脆弱性の高い建物の割合は、密集住宅地の中で規模が小さい側の半数に相当すると仮定した。その基準となる建築面積は、前節の中央値を参考にして約50m²とした。その結果、脆弱性の高い住宅の分類基準を次のように設定した。

- ・ 脆弱性の高い住宅：密集住居地域に建つ住宅のうち建築面積が50m²未満の住宅
- ・ 標準的脆弱性の住宅：脆弱性の高い住宅以外の住宅

図10の一般住宅地と密集住宅地に存在する建物の建築面積の累積度数分布より、密集住宅地において建築面積が50m²未満となる建物の割合は、約55%である。この平均的な値を用いて、マリキナ市における建物ポリゴンが欠落している地域で、建物棟数の推定を行った。図11に推定棟数を含んだ脆弱性の高い住宅の分布を示す。これらの建物棟数の合計は約6400棟であった。

市内の建物の大半は住宅であるが、市庁舎、工場、ショッピングモールなどの大規模建物も見受けられた。本研究では、市内の建物のほとんどを占める住宅建物を対象とする。そこで、仮に「建築面積が500m²以上の建物は住宅の用途に使用されない」という条件を付けて、この条件を満たす大規模建物を除外した。

4. 住宅建物の脆弱性の決定

地震被害想定を簡便に実施するために、GESI⁹⁾の手法を採用した。この手法は、米国のコンサルタント会社であるGeoHazards International (GHI) により開発されUnited Nation Centre for Regional Development (UNCRD) によって発展された地震被害想定手法であり、すでに20以上の世界中の都市において、被害想定が実施されている。この手法の特徴のひとつは、建物の地震に対する脆弱性を評価するためのVulnerability Curve (脆弱性カーブ) をBuilding Type (建物の構造種別) とRating Value (耐震性能値) から決定できることである。

構造種別は、およそ世界中に存在する建物を網羅した9分類が用意され、耐震性能値は、設計、工法、材料などの項目を評価して0から7の数値で示される。この評

表1 住宅地種類別の棟数密度

種類	棟数	地域面積 (ha)	棟数密度 (棟/ha)
一般住宅地	26929	1396.9	19.3
密集住宅地	4298	67.0	64.2

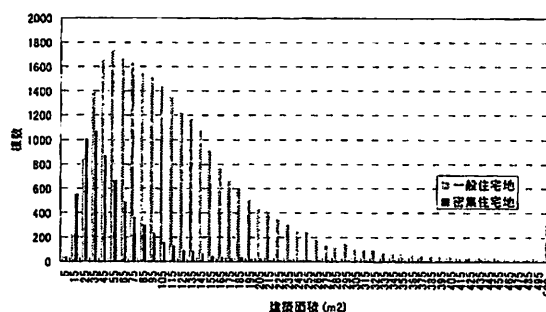


図9 建物形状ポリゴンの面積の度数分布

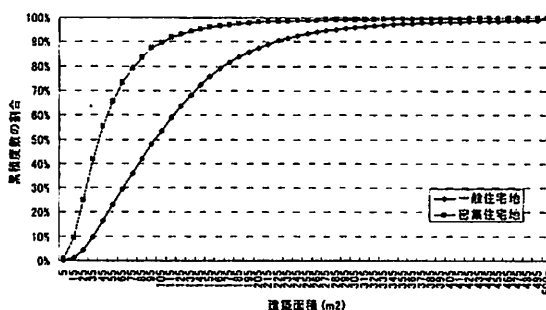


図10 建物形状ポリゴンの面積の累積度数分布 (%)

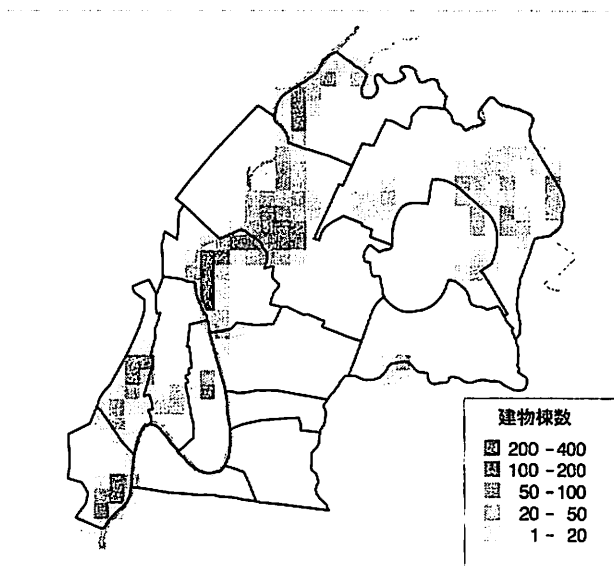


図11 脆弱性の高い住宅の分布

価手法の詳細は別論文⁹⁾に譲るが、結果として得られる脆弱性カーブは図12に示すとおり、AからIのいずれかに決定される。このカーブの上下にばらつきをもたせることによって、各Damage Stateの比率を計算することができる。各Damage Stateの範囲は、1 : 0.0-0.3, 2 : 0.3-0.7, 3 : 0.7-0.9, 4 : 0.9-1.0と基準化されており、ばらつきを正規分布 (平均 : カーブの値, 標準偏差10) として、

計算を行った。

ここで、マリキナ市の建物がいずれのカーブに相当するかを決める必要がある。著者らは市内を調査した結果、市内の標準的な建物はRC枠付ブロック造であり、階数はほとんど3階以下であるということを確認した。

密集住宅地においてもRC枠付ブロック造あるいは鉄筋補強ブロック造が主流であるが、材料や施工状態などの品質は標準よりも低いと見受けられ、耐震性能は標準的な建物よりもかなり劣ると考えられた。

密集住宅地には、鉄筋補強ブロック造の上部構造が木造の建物も見受けられたが、施工品質が低く、標準的なRC枠付ブロック造よりも耐震性能が劣ると考えられた。

一般と密集の各住宅地の建物群の平均的な脆弱性を評価するために、市内の主要施設を個別に調査した結果⁵⁾を参考にした。主要施設には学校やバランガイホールなどの公共施設のほかに、小規模店舗なども含まれている。調査の結果得られた脆弱性カーブは、表2に示されるように、Type B (低い) からType H (高い) まで幅があった。一般的住宅は、バランガイホールの評価に近いと考えられるので、Type Dとした。密集住宅は、Type Hの建物群が最も近いと考えたが、その評価の際に用いた構造種別をその後得られた情報に基づいて修正した結果、Type Fとなった⁽²⁾ため、この結果を採用した。

参考までに、日本の標準的な建物の被害関数と比較したところ、図12の脆弱性カーブのA、Bとおおむね等しいという結果が得られた⁶⁾。

5. バランガイ単位での死者数の推定

(1) 建物被害による死者発生率

GESIで示されている死者数推定の手順では、建物の種類別に被害程度に応じたBuilding Lethality Rates (死者発生率) を利用することが特徴である。都市に分布する建物の種類ごと、被害程度ごとに死者発生率とその建物に居住する人口を乗じ、全被害程度に対する死者数の合計を算出する。都市に存在するすべての種類の建物に対して死者数を算出し、それらを合計すると、都市全体での死者数が算出される。

この計算をメッシュ単位のデータに適用すると、死者数が非常に小さな値として算出される場合があるため、ここではバランガイ単位で集計を行った。死者数の計算式を以下に示す。

$$\sum L_i = \sum (D_{r_i} * L_{r_i} * P) \quad [1]$$

ここで、 i : damage state (2 extensive, 3 partial collapse, 4 complete collapse), L_i : 各damage stateに対する死者数, D_{r_i} : 各damage stateの被害全体に対する比率, L_{r_i} : 各damage stateの死者発生率, P : バランガイ人口である。

GESIの建物の種類別、被害程度別の死者発生率を表3に示す。マリキナ市ではRC枠付ブロック造が大半を占めるが、このうち脆弱性の高い住宅に対しては、Heavy and non-ductile buildingsの値を用いることとする。一方、一般住宅に対しては、Light and ductile buildingsの値を用いる。これはNon-Engineered住宅とEngineered住宅を区別する意味がある。

この死者発生率が妥当であるかを確認することは難しいが、参考となる研究事例として、当地域における地震被害軽減プロジェクトの一環として実施されたNon-Engineered住宅の現地引き倒し実験において、人的被害の危険性が計測されている⁷⁾。計測の結果、RC枠付ブ

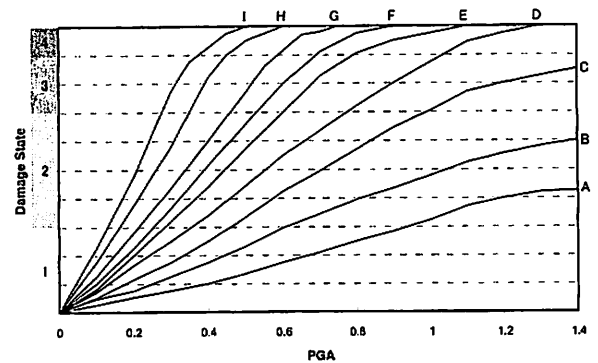


図12 GESIの建物脆弱性カーブ⁴⁾

(PGAの単位は、 $g=980\text{cm/s}^2$ で基準化した値)

(Damage Stateは、1: None, slight or moderate, 2: Extensive, 3: Partial collapse, 4: Complete collapse)

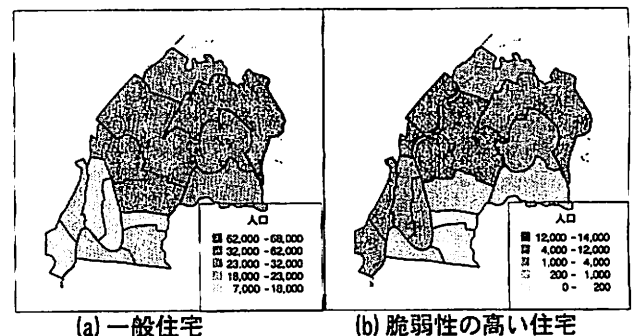
表2 市内の重要施設の調査結果⁵⁾に基づく脆弱性の分布

Vulnerability Curve Type	Hospital	Public Safety	Barangay Hall	Elementary School	Public Market	City Hall
A						
B					1	
C	3	2		22*	3	1
D	6	2	14*	22*		
E					2	
F						
G						
H					1	
I						

* 調査した建物すべての平均的な評価を算出した

表3 GESIの建物種別、被害程度別の死者発生率⁴⁾

Building Type	Extensive	Partial C.	Complete C.
Extremely light buildings (cardboard, bamboo, thatch, CGI sheet, etc.)	0.01%	0.10%	1.00%
Light and ductile buildings (wood with light roofs, steel, ductile RC, etc.)	0.05%	0.50%	5.00%
Heavy and non-ductile buildings (masonry, non-ductile RC, adobe, etc.)	0.20%	2.00%	20.00%



(a) 一般住宅

(b) 脆弱性の高い住宅

図13 バランガイ単位の建物種別人口の分布

ック造建物の引き倒しで1階が倒壊した場合の1階の圧死荷重の分布のうち、10分以内圧死と判断される面積の比率は計測エリア全体の約22%であった。この値は、一回限りの実験結果であるが、仮にこれが平均的な結果であって建物群に適用でき、かつ居住者が建物内の任意の場所に居る確率が同じであるならば、GESIの倒壊による死者発生率と同じと考えることができる。そして、その値はGESIの死者発生率のうちHeavy and non-ductile buildings, Complete Collapseの値20%とほぼ一致していることが確認できる。

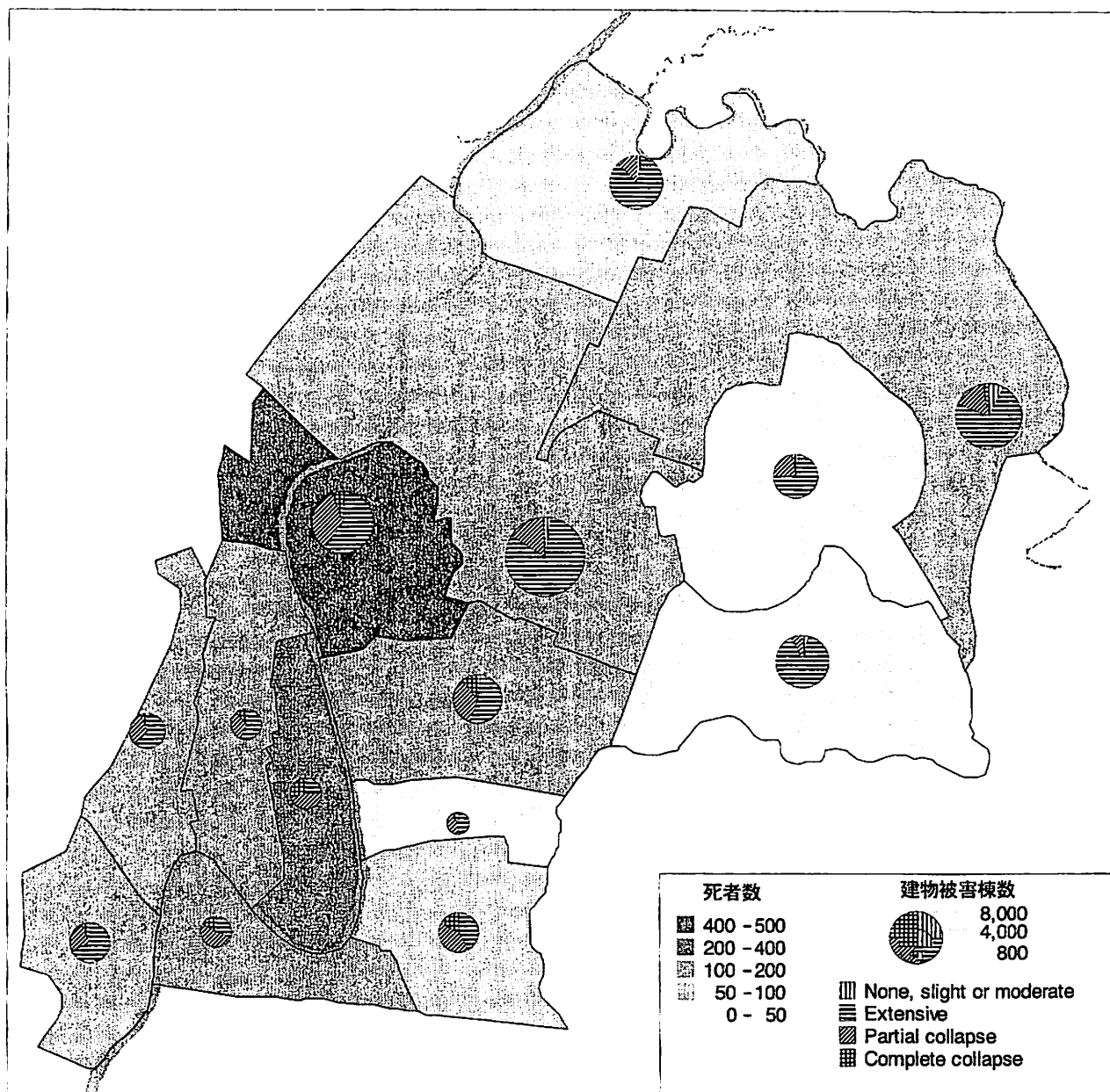


図14 West Valley FaultでのM7地震によるマリキナ市のバラングイ単位での死者数と建物被害の分布

以上の検討結果に基づき、まずメッシュ単位で一般住宅と脆弱性の高い住宅別に死者発生率を算出した。この値をバラングイ単位で集計し、バラングイ単位の建物種類の人口に乗じることによって死者数を算出した。

(2) 死者数の推定

バラングイ単位の建物種別人口の分布を図13に示す。この値は、脆弱性の高い住宅棟数に住宅一棟当りの平均人口を乗じることによって、この種類の住宅に居住する人口を算出し、各バラングイの人口からこの人口を差し引いた値を一般住宅に居住する人口に割り当てた。ここでの住宅一棟当たりの平均的な人口は、統計資料に基づいて算出した結果8.2人/棟であった⁽³⁾。この値が実際の居住者数を反映しているかどうかの確認はとれていないが、限られた統計資料に基づく人口の配分方法としては妥当なものであると考える。

次に、これらの人口に死者発生率を乗じ、外出人口（GESIでは一律25%）を除外することによって、バラ

ングイ単位での死者数を算出した。図14にその結果を示す。円グラフは被害程度別の建物被害棟数とその比率を示し、バラングイのハッチは死者数を示している。マリキナ市全体では、約1,900人の死者を生じると推定された。同じ時期に実施されたJICAの地震被害軽減プロジェクトの結果によると、マリキナ市での建物倒壊による死者数は約2,200～2,600人と推定されており⁽⁴⁾、本研究での推定結果はおおむね妥当であると思われる。

6. まとめ

本研究では、マニラ首都圏のベッドタウンであるマリキナ市において、各種GISデータを重ねて利用できるように整備し、土地利用図、建物ポリゴンおよびハザードマップを用いて、GESIの手法によって地震による死者数の推定を行った。これらの一連の作業によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 異なる機関が持つ各種デジタルデータをGISで統一させて処理するために、データの整備を行った。その際、座標系の違いなど様々な原因によって位置がずれる問題が生じたが、平行移動やアフィン変換によって問題を解決することが可能であった。
- (2) 建物ポリゴンを土地利用別に建築面積の分類を行ったところ、密集住宅地に建つ住宅の建築面積は、一般住宅地よりも平均で約1/2倍小さく、建物棟数密度は密集住宅地のほうが約3倍大きかった。統計的に得られた平均棟数密度を用いて、データに欠落がある密集住宅地の建物棟数を補った。
- (3) 市内の建物群を脆弱性の高い住宅と平均的脆弱性の住宅に分類し、メッシュ単位の各種建物分布を得た。現地調査結果と土地利用情報に基づいて建物の脆弱性を評価した。GESIの手法をハザードマップ、建物情報および人口情報に適用して、バランガイ単位で死者数を推定した。マリキナ市全体での死者数の推定結果は、JICAのプロジェクトでの推定値とおおむね一致することが確認された。

謝辞

本研究は、科学技術振興調整費『アジア・太平洋地域に適した地震津波災害軽減技術の開発とその体系化（研究代表者：亀田弘行 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター長）』によるものである。マリキナ市の各種データの提供および市内の現地調査の実施にあたっては、マリキナ市役所の職員の方々にご尽力いただいた。また、PHIVOLCSから、ハザードマップおよび各種GISデータをご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

補注

(1) マリキナ市の住宅棟数：JICAの調査資料¹⁾によると住宅建物の棟数は合計で52,030棟である。住宅の形態別内訳は、Single house（一戸建）41,370棟、Duplex（棟割り二戸建）4,204棟、Multi-unit residential（三戸以上共同住宅）6,453棟である。マリキナ市の全建物棟数53,422棟に対する住宅棟数の割合は、97.4%である。

(2) 密集住宅の耐震性評価：この住宅の耐震性は、小型店舗併用住宅が密集した“UBB Flea Market”と呼ばれる地域の建物の評価に近いと思われた。当初、このFlea Market地域の建物の構造は、鉄筋補強無しブロック造（URM：Un-Reinforced Masonry）と考えられたが、その後の密集住宅地の現地調査にて、建設途中の建物のブロックの補強に鉄筋が使われている場合があることが確認されたので、構造をReinforced Masonryに改め、耐震性能値（Rating Value）は7のままとして評価した結果、脆弱性カーブはType Fとした。

(3) JICAの調査資料¹⁾による住宅棟数52,030棟とマリキナ市のインターネットHP（<http://www.marikina.gov.ph/>）の人口情報2002年の人口427,037人に基づき、住宅一棟あたりの人口を計算すると、約8.2人/棟という結果を得ることができる。

(4) JICA報告書²⁾およびFOYOインターナショナル株式会社瀬川秀恭氏より提供された情報に基づく値である。それによると、マグニチュードを6.8と設定した場合の計算結果は2,200人、7.2と設定した場合の結果は2,600人であった。

参考文献

- 1) JICA, MMDA and PHIVOLCS. Earthquake Impact Reduction Study for Metropolitan Manila, Republic of the Philippines. Interim Report, Chapter 6, 2003.
- 2) 田中聡, 玉置泰明, 永井博子, 鈴木三四郎, 堀江啓, 吉村美保, 林春男：発展途上国におけるNon-Engineered住宅の地震防災に関する基礎的考察ーフィリピン・マリキナ市におけるNon-Engineered住宅を事例としてー, 地域安全学会論文集, No.5, pp.11-19, 2003.
- 3) Bartolome C. Bautista, Ma. Leonila P. Bautista, Raymundo S. Punongbayan, Ishmael C. Narag and Winchelle Ian G. Sevilla : A Deterministic Ground Motion Hazard Assessment of Metro Manila, Philippines. Third Multi-lateral Workshop on Development of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technologies and their Integration for the Asia-Pacific region, EDM Technical Report, No.11, pp. 323-342, 2001.
- 4) GeoHazards International and UNCRD Disaster Management Planning Hyogo Office : Global Earthquake Safety (GESI) Initiative Pilot Project. Final Report, 2001.
- 5) 長谷川浩一, 牧紀男, 馬場美智子, 堀江啓, 田村圭子, 田中聡, ケネス クラーク トッピング, 林春男, 立木茂雄：インタラクティブな地震リスク評価手法の確立に向けてーフィリピン, マリキナ市での被害想定事例ー, 日本建築学会環境系論文報告集, pp. 95-102, No.583, 2004.
- 6) 長谷川浩一, 堀江啓, 牧紀男, 林春男：フィリピン, マリキナ市における建物一棟単位の地震被害想定の実施, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.1053-1054, 2004.
- 7) 高島正典, 田中聡, 堀江啓, 水越薫, 大森達弥, 藤澤秀樹, 林春男, 牧紀男, 鈴木三四郎：フィリピンマリキナ市におけるNon-Engineered住宅の耐震安全性に関する研究（その7：倒壊による人的被害の危険性に関する考察）, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.1013-1014, 2004.
- 8) Japan International Cooperation Agency: Earthquake Impact Reduction Study for Metropolitan Manila, Republic of the Philippines, Final Report, March 2004.

(原稿受付 2004. 5. 21)