

新潟県中越・中越沖地震における家屋被害情報に基づいた家屋地震危険度評価モデルの構築

環境防災研究室 落合 弘和

指導教員 大塚悟 宮木康幸 磯部公一

1. はじめに

近年の相次ぐ大地震の発生により甚大な建物被害が発生している。また、建物倒壊により人命や財産価値が失われたり、被害を受ける場合がある。被災地となる地域の建物被害の詳細な予測が可能であれば、事前に対策を行うことができ、被害を最小限に抑えたと考えられる。

地震による建物被害については、これまでも多くの調査・研究事例が多くある。家屋被害と地盤条件の相関に関する研究においては1949年の福井地震が1つの契機といわれている。また1978年の宮城県沖地震では、それまでも指摘されていた低地部における家屋被害のほか、丘陵地の地形改変地においても甚大な家屋被害が発生した。地形改変地には一般に切土区間と盛土区間が存在するが、地震による家屋被害は盛土区間に集中し、谷埋め盛土や切盛り境界において特に被害が大きい傾向がある。この地震で被災した盛土や土構造物は震度6程度の地震動を受けたものが多く、当時の一般の土構造物の設計や斜面の安定計算に用いる設計震度よりも大きかったと報告されている¹⁾。これを教訓に1981年に建築基準法の改正が行われた²⁾。同様の事例は1993年の釧路沖地震³⁾や1994年の三陸はるか沖地震⁴⁾でも報告されている。

本研究では、2004年の新潟県中越地震と2007年の新潟県中越沖地震(以下、中越地震、中越沖地震と記す)を用いて、建物被害と地形情報の相関関係に関する分析を行う。既往の研究では、地理情報システム(GIS: Geographic Information System)を利用して、中越地震⁵⁾と中越沖地震⁶⁾の建物被害分析を罹災証明データに基づいて分析している。本研究では、既往の研究で行われていた分析範囲から中越地方全域に対象領域を拡大し、分析を行った中越地震と中越沖地震の相関分析を比較・考察を行う。

中越地震と中越沖地震は発生時期が近く、地震規模もほぼ同様の地震である。被災地域はどちらも新潟県中越地域であることから地震被害を取り巻く要因に共通点が多い。しかしながら、中越沖地震は海岸平野、中越地震は中山間地で発生しており異なる要因も存在する。そのため、両地震の被害特性の比較分析は単純ではない。本研究では、中越地震と中越沖地震の共通する震央からの距離や微地形区分を基に建物被害の比較を行う。

また、建物被害だけの分析ではなく、建物の地震被害の予測モデルの構築を目指す。地震の距離減衰式では、地震動の強さを支配する要因が単純にモデル化され、震源特性を地震規模、伝播特性を震源からの距離、地盤特性を地盤種別などで表現されている場合が多い。そのため、司・翠川⁷⁾は震源近傍のデータがある数多くの強震

記録に基づき、地震動強さの距離減衰特性に対する地震規模、地震タイプ、地盤特性の影響を回帰分析による検討を行い、震源域にも適用できる最大加速度、最大速度の距離減衰式の構築を行なっている。その結果、地震タイプ別で地震動の最大振幅が異なること、また震源が深いほど地震動の最大振幅が大きいという結果を報告している。そこで本研究では、建物被害の分析だけではなく、本震からの距離に応じて減衰する式を構築し、家屋地震危険度評価モデルの構築を行う。

2. 新潟県中越地震・新潟県中越沖地震の概要

2.1 新潟県中越地震の概要

2004年10月23日17時56分に新潟県中越地区で、深さ13km、M6.8の地震が発生した。旧川口町では兵庫県南部地震以来の震度7、小千谷市や小国町で震度6強を観測、長岡市、十日町市、栃尾市、魚沼市などで震度6弱を記録するなど、中越地域から関東地方にかけて広い範囲で大きい震度が観測された。図1は気象庁が発表した震度分布図である。震央から北北東-南南西方向に強震動域が長さ30kmの範囲で分布していることがわかる。中越地震の発生した震央付近は新発田-小出構造線の地質構造境界の西に位置し、新第三紀の地層が数kmの厚さで分布している。

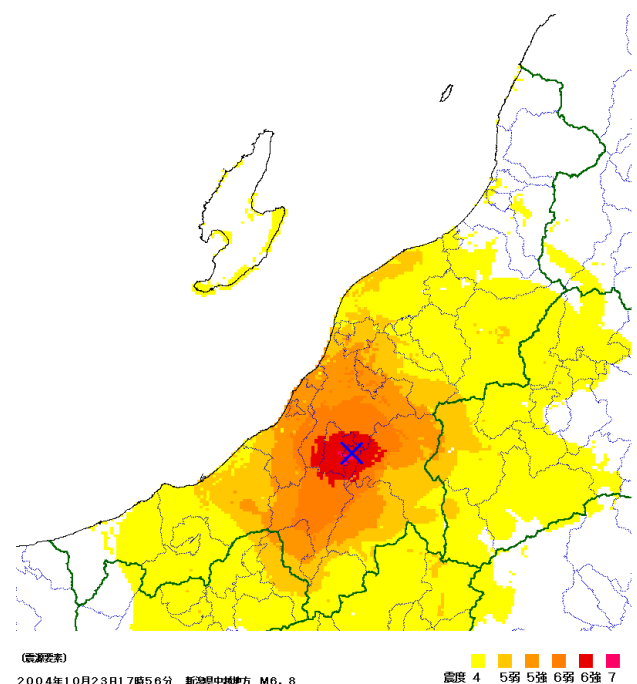


図1 中越地震震度分布(気象庁)

この地震により、新潟県では、死者 68 名、負傷者 4,795 名の人的被害が生じ、全壊 3,175 棟、大規模半壊 2,167 棟、半壊 11,643 棟、一部破損 104,619 棟の家屋被害⁸⁾を受けた。

2.2 新潟県中越沖地震の概要

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分頃、新潟県上中越沖の深さ約 17 km を震源とする M6.8 の地震が発生した。この地震により新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村、長野県飯綱町で震度 6 強、新潟県上越市、小千谷市および出雲崎町では震度 6 弱を観測したほか、北陸地方を中心に東北地方から近畿・中国地方にかけて、最大で震度 5 強と広範囲での揺れが観測された。図 2 は気象庁による震度分布図である。

この地震により、新潟県柏崎市、刈羽村を中心に死者 15 名、重軽傷者 2,316 名、全壊家屋 1,331 棟、大規模半壊 856 棟、半壊 4,853 棟、一部損壊 37,267 棟 (2011 年 7 月 14 日現在) の被害⁹⁾を受けた。

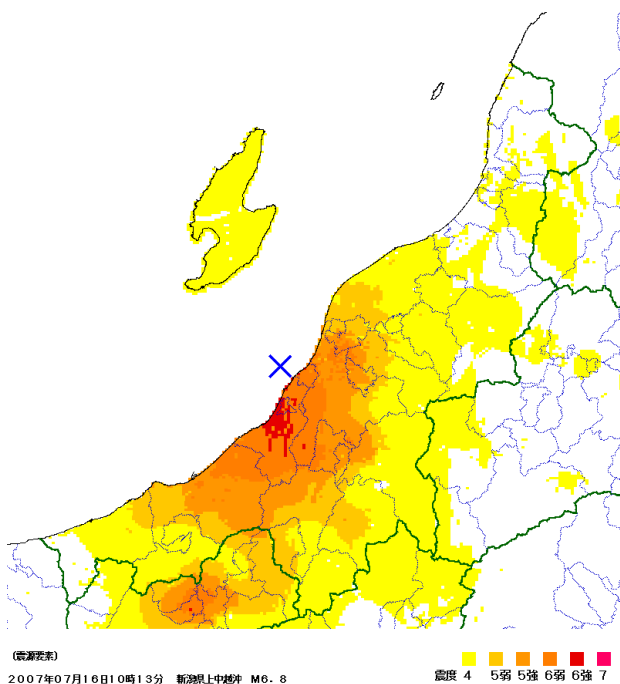


図 2 中越沖地震震度分布(気象庁)

3. 新潟県中越・中越沖地震被害分析結果・比較

3.1 基盤情報

近年、GIS の有効性が認められ、様々な基盤情報が電子化されて GIS 上で利用可能となっている。被災した建物個々の情報を表すものとして、罹災証明を使用している。罹災証明¹⁰⁾とは、各建物の被災の度合いを 4 段階で示すもので、被災した事実を公的に認める証明書である。この認定基準は内閣府が定め全国的に統一されているた

め、被害の程度を一般的に表すものとして最適であると考えられる。

中越地震は社団法人中越防安全推進機構、中越沖地震中越沖地震関連デジタルデータ活用協議会によって作成され、提供を受けた。また全家屋データに関しては株式会社中央グループの所有するデータの提供を受けた。

表 1 に今回用いた中越地震の罹災判定内訳を示す。ここで、示す罹災証明の地域の合計には無被害が含まれていない。長岡市が最も被害件数が多く、小千谷市、川口町の順に多い。建物件数の多い長岡市や小千谷市に被害が集中し、震源近傍の川口町に被害件数が集中した。図 3 に無被害の建物を含んだ各地域の判定割合を示す。対象地域全域では約 20 %、半壊以上約 10 %の被災していることがわかる。震源に最も近い川口町が 50 %を超える被害を受けている。続いて、小千谷市では半壊以上が 30 %近くの被災をしている。

表 2 に今回用いた中越沖地震の罹災証明判定内訳を示す。図 4 に無被害の建物を含んだ各地域の家屋被害の判定割合を示す。この図から 7 割近くの家屋建物が何らかの被害を受けており、刈羽村においては 3 割を超える家屋が半壊以上の被害を受けたことが分かる。

表 1 中越地震の罹災証明判定内訳

地区	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	合計
長岡	1608	939	4232	20183	26962
川口	604	146	393	447	1590
十日町	159	182	1074		1415
魚沼	69	54	309		432
見附	92	28	752		872
小千谷	852	428	2793		4073
刈羽	66	24	95	779	964
柏崎	29	65	278	1	373
出雲崎	17	16	115		148
合計	3496	1882	10041	21410	36829

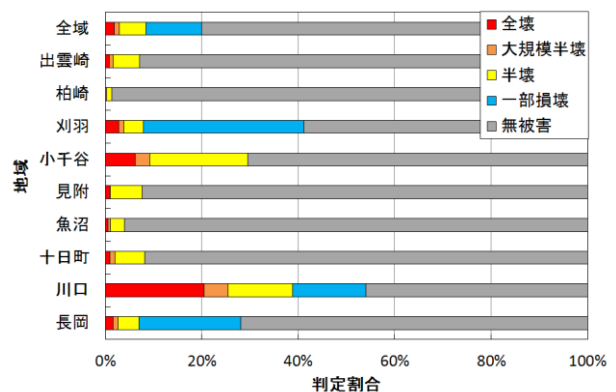


図 3 各地域における判定割合(中越地震)

表2 中越沖地震の罹災証明判定内訳

	柏崎市	刈羽村	全域
全壊	1226	166	1392
大規模半壊	703	136	839
半壊	4022	305	4327
一部損壊	18186	725	18911
合計	24137	1332	25469

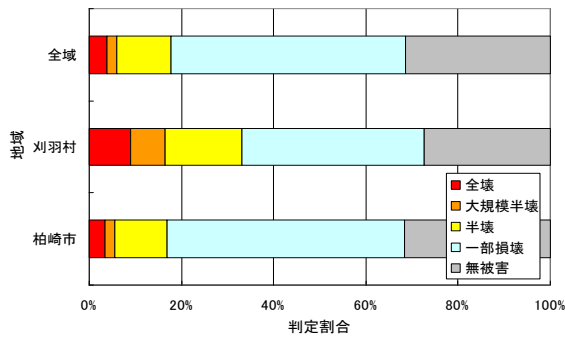


図4 各地域における家屋被害の判定割合

3.2 中越地震建物分析結果

(1) 震央からの距離

建物被害には震央からの距離の影響が強いと考えられることから、図5のように震央からの同心円状に描いて、震央からの距離による分析を行った。図6に中越地震における震央からの距離と被害件数、換算被災率の関係を示す。被害件数は、10~15 kmの地域で最も多いが、小千谷市と長岡市の中心部が当該範囲に属するためと考えられる。10~25 kmでは、被害の軽微な一部損壊の件数が増え、一部損壊では距離に関係なく被害が現れた。しかし、換算被災率で分析すると、震央に近い地域が最も高く、距離に応じて換算被災率が低下する傾向を示す。

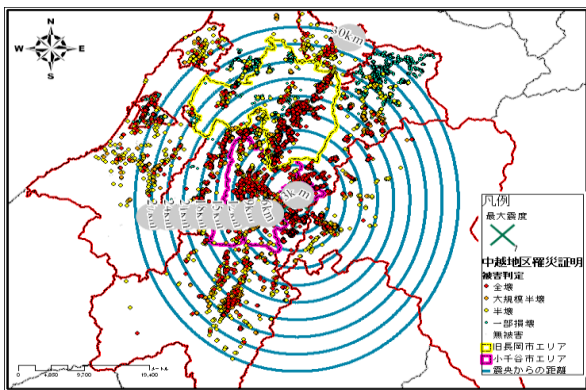


図5 震央からの距離と建物被害分布

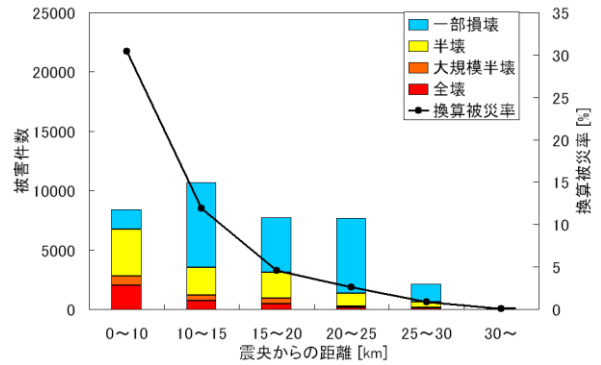


図6 中越地震における震央からの距離と被害件数、換算被災率の関係

(2) 微地形図

微地形図は若松ら(2007)によって地震災害などの地盤条件を基に全国統一され、小規模で微細な形状を持つ地形を表した地図である¹⁾。図7に建物被害の分布と微地形図を重ね合わせた図を示す。中越地域は南北方向にわたり信濃川が流れており、その信濃川周辺に建物が多く、被害が集中している。図8に中越地震における震央からの距離と建物被害件数、換算被災率の関係を示す。建物被害件数は、10~15 kmの地域で最も多いが、小千谷市と長岡市の中心部が当該地域に該当するためと考えられる。砂礫質台地は、中越地域の南北にわたり広がっているため、被害件数が多くなったと考えられる。谷底低地は、狭い領域で数多く点々としている。扇状地は主に旧長岡市に集中し、分布している。しかし、換算被災率で示すといずれも11%、7%、7%と比較的低い値を示した。一方、山麓地とローム台地で換算被災率が高い結果となり、内陸直下型地震による中山間地の被害傾向が表れた。

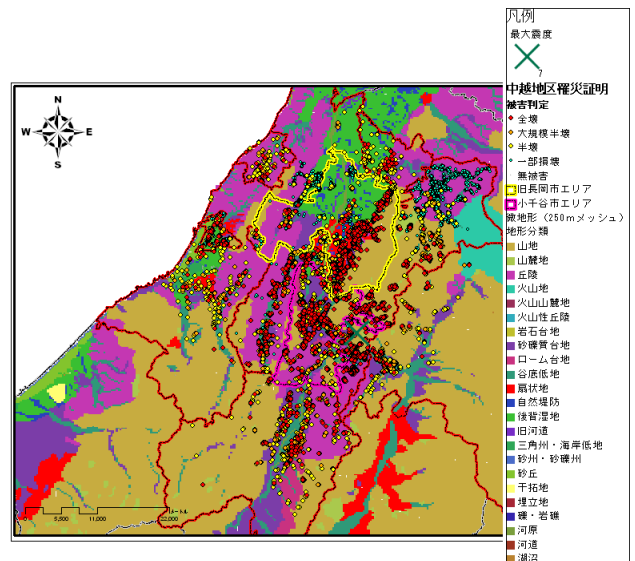


図7 建物被害分布と微地形図

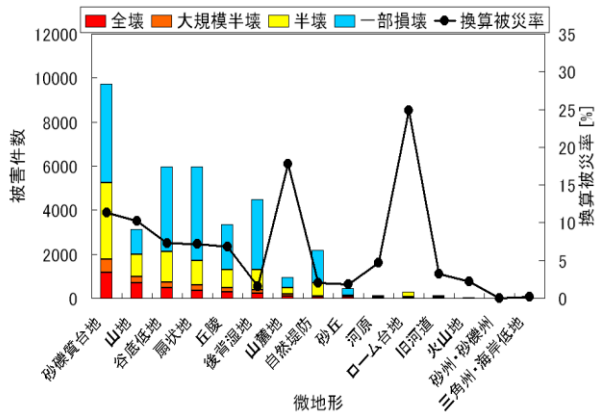


図8 中越地震における微地形と被害件数、
换算被災率の関係

3.3 中越沖地震建物分析結果

(1) 震央からの距離

図9に震央からの距離を用いた被害分布を示す。同図は震央より同心円を描き、被害分布と震央からの距離の相関関係を示したものである。これらの地理情報に基づいて建物被害分布に関する分析を実施する。図10に震央からの距離と家屋被害件数の相関を示す。被害件数は20～25 kmの範囲で最も多いが、この距離には柏崎市街地が該当し、家屋数が多い事情を反映している。10 km以下では震央からの距離に近いにも関わらず、换算被災率は低い結果となった。これは震源が海底のため6 km以内の大半が海であること、また海岸付近は山岳地帯のために家屋数が少ないこと、などの理由により、换算被災率は他の事例に比較して少数のデータに依存している点に注意が必要である。

(2) 微地形図

図11に微地形上に整理した被害分布を示す。GISの機能を用いて家屋立地箇所の微地形分類を行った。図12に中越沖地震における微地形と家屋被害件数、换算被災率の関係を示す。砂丘の被害件数が最も多く、後背湿地、砂礫質台地の順に件数が多い。砂丘地で被害件数が多いのは、柏崎市街地の大半が砂丘に属するためである。一方、换算被災率は埋立地、後背湿地、扇状地の順に换算被災率が高く、その反面で被害件数の多かった砂丘は11%と他の微地形区分に対して比較的被害の少ないことが明らかになった。微地形区分ごとの被害の大小の特性は、被害件数による特徴が現地調査の印象に比較的近いのに対して、换算被災率で整理すると異なる特徴が得られた。

3.4 中越・中越沖地震比較¹²⁾

2004年の中越地震と2007年の中越沖地震はM6.8とほぼ同規模の地震であるが、震源位置は、中越地震が中山

間地であり、中越沖地震は上中越沖で発生した。被災地域は一部を除き基本的に重複しないが、被災地は隣接する地域であり、巨視的には地形や地質、建物構造に類似点を有している。

これまでの分析から、被害の大きく広範囲に分布する微地形区分に関して、震央からの距離による换算被災率の変化について比較分析を行う。図13に中越地震・中越沖地震の各微地形区分に対して震央からの距離による换算被災率を示す。全体的に中越沖地震は换算被災率が高いが、距離による低下傾向は中越地震とほぼ同様の結果が得られた。换算被災率の低下傾向にばらつきがみられるが、地形により等距離帯における地形区分の面積や建物件数が異なることによる。山地では両地震の换算被災率の動向がほぼ一致する結果が得られたが、後背湿地や扇状地では中越沖地震が高い换算被災率を示した。

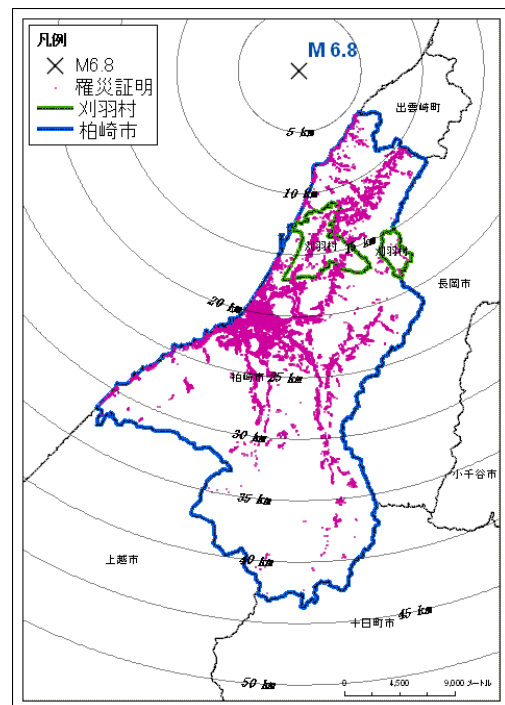


図9 震央からの距離と被害分布

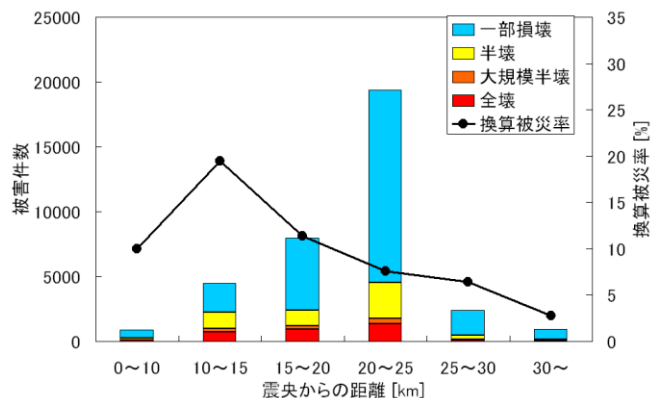


図10 中越沖地震における震央からの距離と被害件数、
换算被災率の関係

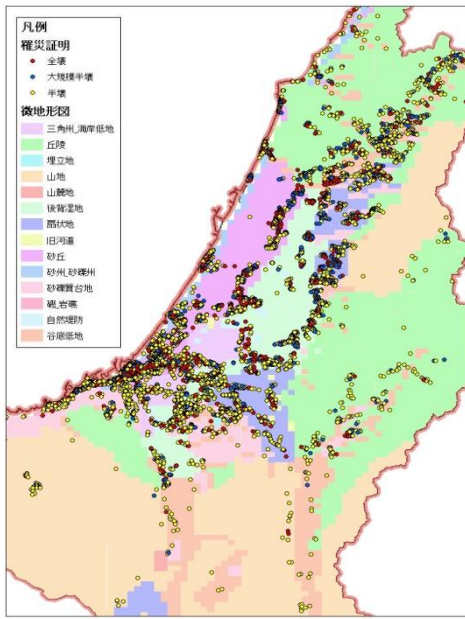


図11 微地形区分と被害分布

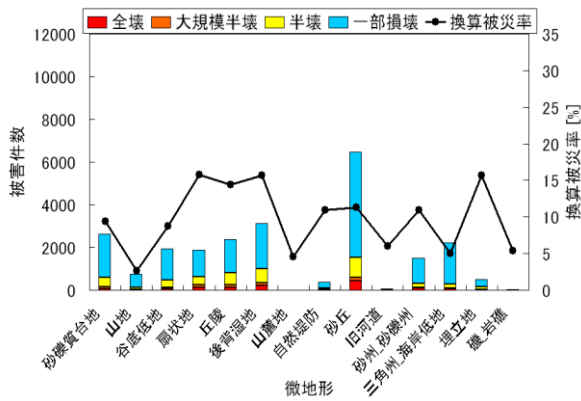


図12 中越沖地震における微地形と被害件数、換算被災率の関係

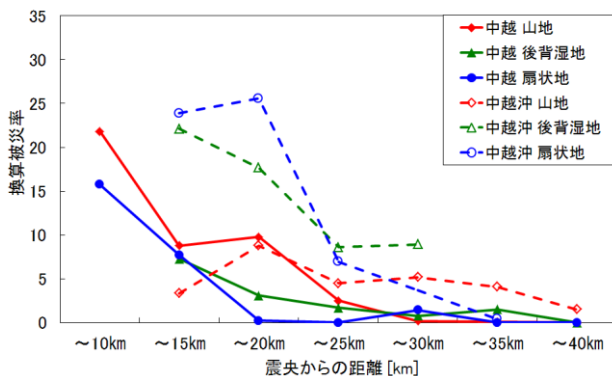


図13 微地形区分ごとの震央からの距離による換算被災率の関係と比較

4. 建物被害の距離減衰に関する考察

4.1 換算被災率の距離減衰式の構築¹³⁾

本研究では、司・翠川(1999)⁷⁾の断層タイプ及び断層最短距離を考慮した最大速度の距離減衰式を用いた。その式を以下に示す。

$$\log PGV = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log(X + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - 0.002X \quad (1)$$

ここで、 PGV は最大速度(cm/s)、 M_w はモーメントマグニチュード、 D は震源深さ(km)、 d は地震タイプ別係数、 X は断層最短距離(km)を表す。(1)式だと断層最短距離の最大速度を算出する。 PGV_0 (震央の最大速度)で除することで規準化をする。さらに、(1)式の最大値や距離に応じた減衰率を変化させるために、係数 a 、 b を用いた。本研究で新たに構築した式を以下に示す。

$$\text{換算被災率距離減衰モデル} = \left(\frac{PGV}{PGV_0}\right) \times a \quad (2)$$

$$\log PGV = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log(L \times b + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - 0.002L \times b \quad (3)$$

$$\log PGV_0 = 0.58M_w + 0.0038D + d - 1.29 - \log(D + 0.0028 \times 10^{0.50M_w}) - 0.002D \quad (4)$$

これらを用いて、各地震の換算被災率から最小二乗法を用いて、係数 a と b を算出した。本研究では、断層最短距離ではなく、簡易的に本震の震源最短距離 L を用いて、換算被災率距離減衰モデルの構築を目的に考察を行う。

4.2 換算被災率距離減衰モデルの適用性

図14に中越地震および中越沖地震における換算被災率の距離減衰モデルの適用例を示す。中越地震の場合には距離減衰モデルによる換算被災率の適合度は比較的高いが、中越沖地震では近距離でデータとかなり離れる結果が得られた。この要因には震源から6 km以内の被害データがないことのほか、6 kmから10 kmまで比較的換算被災率が小さいことが挙げられる。

図15、16に中越沖地震における各微地形区分の換算被災率と距離減衰モデルの適合度を示す。図15は丘陵および砂丘の被災事例、図16は後背湿地および扇状地の被災事例である。両図より、震源の近距離には丘陵が分布し、8 kmから23 kmにかけて砂丘が分布することが分かる。丘陵の換算被災率は全般に低いが、時折換算被災率の高い距離帯が存在する。一方、砂丘は家屋換算被災率がほぼ提案モデルと一致する結果となり。丘陵と比較すると換算被災率はやや高い傾向を示している。図16に後背湿地および扇状地の換算被災率と減衰モデルの適合度を示したが、2つの微地形区分では換算被災率と距離減衰モデルの適合度は比較的高く、ほぼ同様の換算被災率を示すことが分かる。

近距離における被害データ数が少なく、家屋が健在しても微地形区分では全体的に換算被災率の距離減衰が低

い値を示している。これに対し、近距離に被害があったデータがない微地形区分(後背湿地や扇状地)は換算被災率の距離減衰が高い値を示している。このことにより、近距離では換算被災率が低い微地形しか被害データがなく、換算被災率の距離減衰が高い値を示している微地形には近距離のデータがないため、6~10 kmの換算被災率のデータを取り除いて、図14の再整理を実施した。図17に再整理のモデル適合度を示すが、中越および中越沖地震において換算被災率が異なるものの、距離に対する換算被災率の減衰傾向は提案式により概ね妥当な結果が得られた。両地震における家屋の構造耐力のばらつきを考えると、両地震の換算被災率の差異は2つの地震を合算して算出する換算被災率のばらつきの範囲とも考えられる。

4.3 実被害と距離減衰モデルの比較

図18、図19に中越地震における換算被災率の被害分布と各微地形区分による距離減衰モデルの検証結果を示す。図18に示す被害分布では、震源周辺に被害が集中し、北北東から南南西にかけて、大きな被害が集中していることがわかる。川口町や小千谷市に被害が多く現れているが、長岡市の信濃川周辺にも大きな被害が現れる結果となった。信濃川周辺には建物や住宅が多く建設されているため、と考えられる。このことに対し、図19の検証結果では、同心円状に被害が減少していく傾向が現れた。微地形区分での差異が現れない結果となった。

図18と図19を比較すると、換算被災率の高い川口町や小千谷市では同様の傾向が現れたといえる。しかし、長岡市の信濃川周辺や見附市にかけての被害が距離減衰モデルでは表現できていない。距離減衰モデルは、震央から距離に依存しているため、同心円状に被害が減少していく。しかし、実際の被害では、決して同心円状に被害が減少していくわけではなく、被害が集中する場所が現れる結果となった。

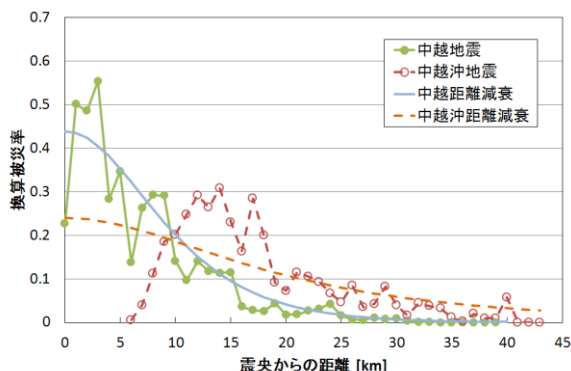


図14 中越および中越沖地震における換算被災率と距離減衰モデルの関係

図20、図21に中越沖地震における換算被災率の被害分布と各微地形区分による距離減衰モデルの検証結果を示す。図20に示す被害分布では、北東から南西にかけて、大きな被害を受けていることがわかる。震源周辺よりも10~20 km周辺で大きな被害を受けている。図20と図21で比較をすると、実際の被害が多かった周辺で予測値も高い値を示している。予測値では柏崎市の北側を高い値で示し、実際の被害よりも高く設定されている部分が大半を示す結果となった。

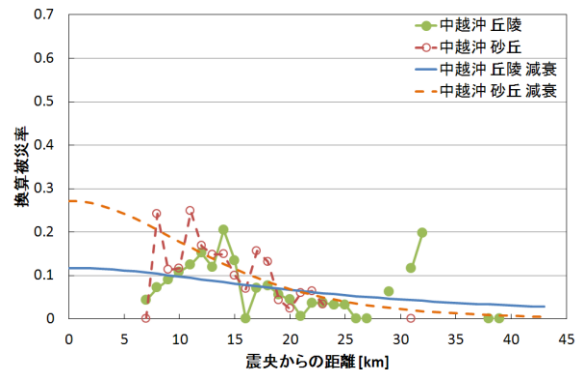


図15 中越沖地震における丘陵・砂丘の換算被災率と距離減衰モデルの関係

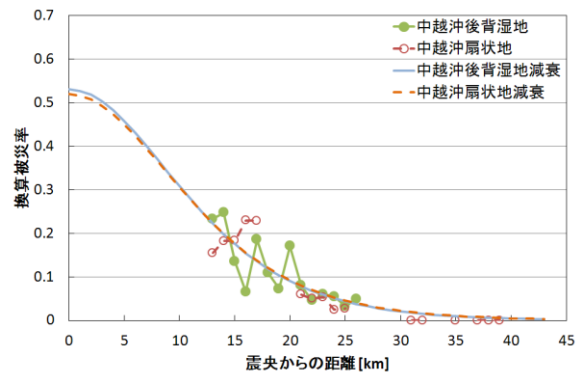


図16 中越沖地震における後背湿地・扇状地の換算被災率と距離減衰モデルの関係

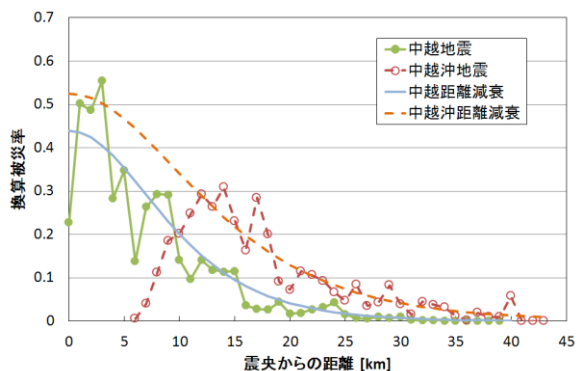


図17 中越および中越沖地震における換算被災率と距離減衰モデルの関係 (再整理後)

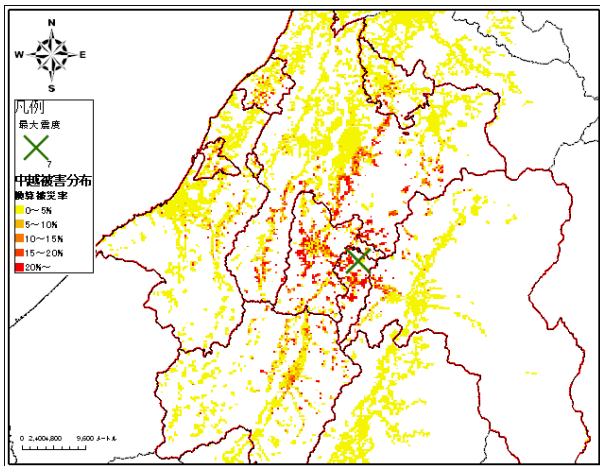


図 18 中越地震による換算被災率の被害分布図

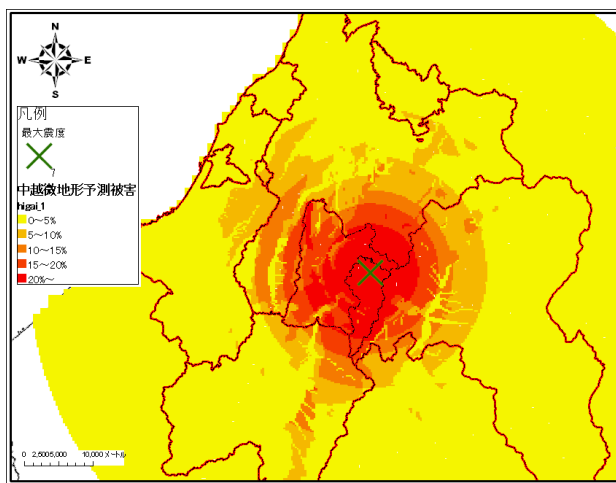


図 19 中越地震における各微地形区分の距離減衰モデルの検証結果

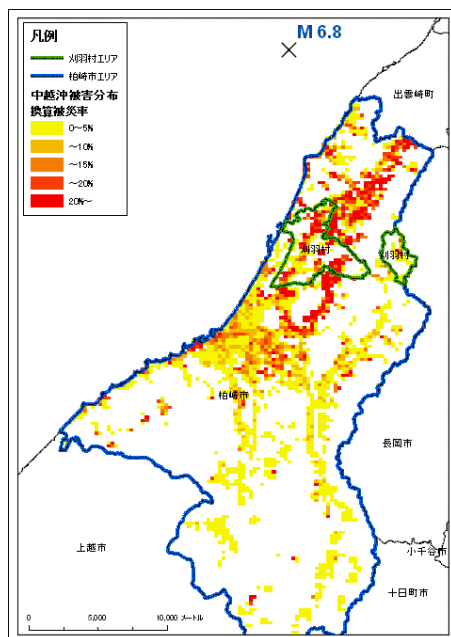


図 20 中越沖地震による換算被災率の被害分布図

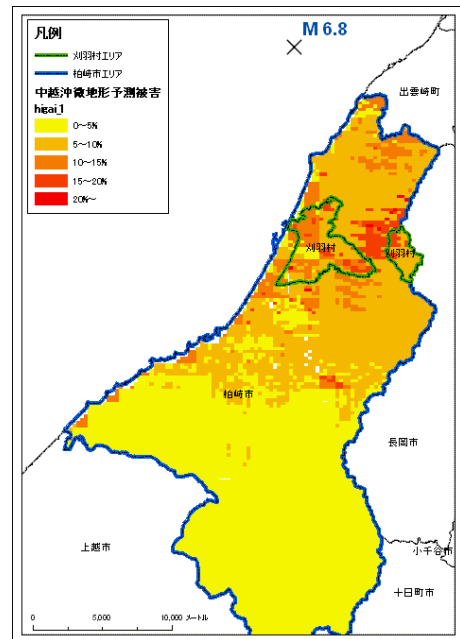


図 21 中越沖地震における各微地形区分の距離減衰モデルの検証結果

5. まとめ

本研究では、2004 年の中越地震と 2007 年の中越沖地震の被災データを GIS 上に整備を行った。従来の家屋被害件数の分析ではなく、換算被災率という割合での分析することにより客観性が期待できると本研究では考え、その特徴の 1 つであり、確立した。

以上のことを含めて、本研究で得られた結論について述べる。

- ① 建物被害には震央からの距離に影響度が強いことが考えられることから、震央からの距離の分析を行った。中越地震の被害件数は、小千谷市と長岡市の中心部に被害が集中し、最も被害件数が多い結果となった。しかし、換算被災率での分析では、震央に近い地域が最も高く、距離に応じて換算被災率が低下する傾向にあった。
- ② 中越地震の微地形図は、全国に整備され、小規模で微細な形状であり、地盤条件に起因するハザードマップを目的として作成されているため、今回の分析に用いた。被害件数による分析結果では、被害件数は砂礫質台地が最も多く、続いて谷底低地、扇状地の順であった。その理由として、砂礫質台地は、中越地域の南北にわたり広がっていることから、被害件数が多くなった。しかし、換算被災率での分析では、被害件数の多かつた微地形区分は低い結果となった。一方、山麓地とローム台地で換算被災率が高い結果となり、内陸直下型地震による中山間地の被害傾向が表れた。

- ③ 中越沖地震の震央からの距離による被害件数では、柏崎市市街地に被害が集中し、最も被害件数が多い結果となった。換算被災率では、震央からの距離は10 km以上離れた地域では換算被災率が低下する傾向であった。10 km以下では震央からの距離が近いにも関わらず、換算被災率は低い結果となった。これは震源が海底のため6 km以内の大半が海であること、また海岸付近は山岳地帯のために家屋数が少ないことが挙げられる。
- ④ 中越沖地震の微地形図では、被害件数が最も多い地形区分は砂丘地であり、後背湿地、砂礫質台地の順である。砂丘地で被害件数が多いのは、柏崎市市街地の大半が砂丘に属するためである。一方、換算被災率では、埋立地、後背湿地、扇状地が高い値を示した。被害件数の多かった砂丘は、換算被災率が低い値となった。微地形区分ごとの被害の大小の特性は、被害件数による特徴が現地調査の印象に比較的近いのに対して、換算被災率で整理すると異なる特徴が得られた。
- ⑤ 被害の大きい広範囲に分布する微地形区分に関して、震央からの距離による換算被災率の変化について比較分析を行う。中越地震・中越沖地震の各微地形区分に対して震央からの距離による換算被災率の分析を行った。全体的に中越沖地震は換算被災率が高い結果となったが、距離による低下傾向は中越地震とほぼ同様の結果であった。換算被災率の低下傾向にばらつきがみられるが、地形により等距離帯における地形区分の面積や建物件数が異なることによる。山地では両地震の換算被災率の動向がほぼ一致する結果が得られたが、後背湿地や扇状地では中越沖地震が高い換算被災率を示した。
- ⑥ 司・翠川(1999)の地表面の最大速度予測式に基づいて、震源からの距離を用いた換算被災率距離減衰モデルを提案した。中越地震および中越沖地震の被害データを基にモデルの適用性について検討し、家屋被害の傾向を表現できることを明らかにした。
- ⑦ 中越地震の場合では、距離減衰モデルによる換算被災率の適合度は比較的が高い結果となったが、中越沖地震の場合では、震源が海底にあるため、6 km以内の被害データがないことのほか、6 kmから10 kmまで比較的換算被災率が小さいことがわかった。そのため、6~10 kmの換算被災率のデータを取り除いて、再度整理した結果、中越および中越沖地震において換算被災率が異なるものの、距離に対する換算被災率の減衰傾向は提案式により概ね妥当な結果となった。
- ⑧ 実被害と換算被災率の距離減衰モデルでの予測被害の比較では、中越地震の場合、震源近傍の川口町と小千谷市では良好な結果となった。しかし、震央からの距離に依存しているため、信濃川周辺(長岡市)の被害が表現できなかった。中越沖地震の場合では、震源

近傍よりも10~20 km周辺に被害が集中した。予測被害では、柏崎市の北側に予測値が高い値が集中し、実際の被害よりも高く設定される結果となった。

謝辞：本研究の実施にあたり、中越地震では、長岡市・栃尾市・十日町市・魚沼市・柏崎市・見附市・小千谷市・刈羽村・出雲崎町の各市町村と中越防災安全推進機構、中越沖地震では柏崎市役所及び刈羽村役場、財団法人地域地盤環境研究所、中越沖地震関連デジタルデータ利活用協議会から罹災証明等の貴重なデータをご提供頂きました。また、株式会社中央グループにはデータ提供と共に、GISに関する技術指導等のご支援を受けました。

<参考文献>

- 1) 河上房義・浅田秋江・柳沢栄司：宮城県沖地震における盛土の被害，地盤工学会，土と基礎第26巻，pp.25-31，1978.
- 2) 小野里啓・杉村義広・菅野英幸：GISを用いた1993年釧路地震による宅地造成地の家屋被害の要因分析，日本建築学会，構造系論文集NO.504，pp.57-64，1998.
- 3) 村山良之：GISを用いた地形改変地の震災土地条件評価，財団法人日本建設情報総合センター，研究助成報告書，2008. <http://www.jacic.or.jp/>
- 4) 釜井俊孝・守随治雄・笠原亮一・小林慶之：地震時における大規模宅地盛土斜面の不安定化予測，日本地すべり学会，日本地すべり学会誌第40巻第5号，pp.389-399，2004.
- 5) 大塚悟・藤澤誠二・落合弘和・磯部公一・高原利幸：新潟県中越地震における家屋被害と地形分類の相関分析，土木学会論文集A1(構造・地盤工学)[特]地震工学論文集，Vol.66，No.1，pp.414-424，2010.
- 6) 落合弘和・大塚悟・磯部公一・佐々木美和：新潟県中越沖地震における建物被害分析，土木学会，第66回年次学術講演会概要集，I-421，pp.841-842，2011.
- 7) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会，構造系論文集(523)，pp.63-70，1999.
- 8) 新潟県：平成16年新潟県中越地震による被害状況について(最終報)，2009. http://www.pref.niigata.lg.jp/HTML_Article/174saisuyhou.pdf
- 9) 新潟県災害対策本部：平成19年7月16日に発生した新潟県中越沖地震による被害状況について(第282報)，2011.
- 10) 内閣府：災害に関わる住家の被害認定，pp.2，2009. <http://www.bousai.go.jp/hou/nyou.html>
- 11) 若松加寿江・松岡昌志・坂倉晃：新潟地域250mメッシュ地形・地盤分類データベース ver.2，防災科学技術研究所川崎ラボラトリー，2006. http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/daidaitoku/Niigata_GISdata/Readme_250_jp_ver2.pdf
- 12) 落合弘和・磯部公一・大塚悟：新潟県中越地震と新潟県中越沖地震における建物被害分析比較，日本地震工学会，第8回年次大会，pp.258-259，2011.
- 13) 落合弘和・山田健人・大塚悟・磯部公一：新潟県中越沖地震の家屋被害特性の分析，土木学会論文集A1(構造・地盤工学)[特]地震工学論文集，第31回地震工学研究発表会，査読中.