

2011年東北地方太平洋沖地震における建物被害に関する研究

A study of damage to houses and buildings in The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

被害率曲線 東北地方太平洋沖地震 耐震性能
建物被害 地震経験正会員 ○川合 佳穂* KAWAI Yoshiho
同 宮腰 淳一** MIYAKOSHI Junichi
同 山本 真一郎*** YAMAMOTO Shinichiro
同 福和 伸夫**** FUKUWA Nobuo
同 護 雅史** MORI Masafumi

1. はじめに

地震動強さと建物被害との関係は、1995年兵庫県南部地震の建物被害データに基づいて、多くの研究がなされてきた。その中でも、地震動強さと建物の被害率とを直接結び付ける被害率曲線は、揺れによる建物被害数の推計を行う目的で、多くの地方自治体で用いられている。

一方、兵庫県南部地震の建物被害データに基づく被害率曲線と、近年発生した地震建物被害には乖離が見られ、その適用には限界があるとも指摘されている¹⁾。現在、兵庫県南部地震から18年が経過しており、その間日本の強震観測網の整備により、建物に被害をもたらす強い地震動が多く観測されるとともに、被害調査についても精力的に行われ、データの蓄積が行われてきた。これらのデータを用いて、近年の地震被害も説明できる被害率曲線の再構築が必要であるといえる。兵庫県南部地震による被害率曲線との乖離の要因として、木造建物の耐震性能の地域差、海溝型地震と直下型地震との地震動特性の違い、度重なる強い揺れの経験等が挙げられる。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震の建物被害を、兵庫県南部地震の建物被害と比較するとともに、東北地方太平洋沖地震における各県の揺れによる建物被害を比較することで、建物の耐震性能の地域差、地震動特性の違いについて検討する。

2. 地震動強さと建物被害との関係

東北地方太平洋沖地震の建物被害の概要を把握するため、地震動強さと建物被害との関係を分析する。被害データ概要を表1に示す。対象地域は、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県のうち、全壊被害のある内陸地域とし、取扱単位は市町村とした。これは、揺れによる建物被害を検討する上では、津波被害が甚大であった沿岸部を対象地域に含むことは適切でないと考えたためである。地震動強さは、気象庁に提供された計測震度²⁾の各市町村における平均値とした。全壊率は、(全壊棟数/調査棟数)とし、全壊棟数は、消防庁より公表されている

被害棟数³⁾を用い、調査棟数は記載がなかったため、平成20年住宅土地統計調査⁴⁾に記載されている市町村別の住宅棟数を代用した。

2.1 計測震度と全壊率の関係

図1に対象地域における建物全壊率と計測震度の関係をプロットしたものを示す。福島県、宮城県で6弱から増加傾向が見られるが、他県ではほぼ横ばいである。このことから、同じ地震動強さでも県によって被害が異なる可能性が考えられる。

2.2 被害率曲線

過去の地震被害との相対関係を分析するために、東北地方太平洋沖地震による被害率曲線の算定を行う。建物被害率と地震動の関係は、次式で示すように正規分布関数で表すものとした。

$$P(I) = \Phi[(I - \lambda) / \zeta] \quad (1)$$

ここで、 P は全壊率、 I は計測震度、 Φ は正規分布関数、 λ は I の平均値、 ζ は I の標準偏差である。表2に算定に用いた市町村数、算定したパラメータ(λ, ζ)、決定係数 R^2 を示し、図2に算定した被害率曲線を示す。図2より、計測震度6.0付近で県により被害率が異なることが確認される。これは、耐震性能の地域差が可能性の一つとして考えられ、3章において詳細に検討する。ただし、表2に示すように、岩手県、茨城県、栃木県の計測震度と被害率の関連性を示す決定係数が大変小さいことから、この3県における被害率曲線の信頼性は低い。要因としては、データ数が少ないことや、全壊率が小さなデータしかないことが考えられ、今後は大字単位など、取扱単位を小さくした分析が必要である。

2.3 過去の地震に基づく被害率曲線との比較

図3に対象地域における構造種別住宅割合を示す。図3より、対象地域では全国と比較しても木造住宅の割合が高く、80%以上を占めることから、木造建物の被害が支配的であると考え、図4に本研究で算定した被害率曲

* 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

** 名古屋大学減災連携研究センター 准教授・工博

*** 名古屋大学減災連携研究センター 受託研究員(愛知県)

**** 名古屋大学減災連携研究センター 教授・工博

Grad.Student, Grad.School of environmental Studies, Nagoya Univ.

Assoc.Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

線と木造の全建築年代に対する既往の被害率曲線との比較を示す。山口・山崎(2000)⁵⁾は1995年兵庫県南部地震に、翠川ら(2011)¹⁾は2003～2008年に発生した海溝型地震を含む7地震に基づき算定された被害率曲線である。本研究で算定した被害率曲線は、取扱単位が市町村であり、かつ地震動強さとして、計測震度の市町村内の平均値を用いているため、全壊率がやや過小評価となる傾向があるが、用いた記録の最大値である計測震度6.2までは、低い全壊率を維持し続ける翠川ら(2011)¹⁾の曲線とほぼ一致している。このことから、直下型、海溝型に係らず、全壊率は山口・山崎(2000)⁵⁾の曲線のように震度5強から緩やかに増加するのではなく、6強から急激に増加する可能性があるといえる。

3. 耐震性能の地域差の検討

2章において同じ地震動強さに対して建物全壊率が各県で異なるという結果が得られた。そこで耐震性能の地域差を検討するため、各県における建物全壊棟数と半壊棟数の関係を示し、新耐震基準建物比率や過去の地震経験回数との関係について分析する。

3.1 建物全壊棟数と半壊棟数の関係

被害データの取り扱い単位を大字単位とし、兵庫県南部地震との比較、東北地方太平洋沖地震における各県の建物被害の比較を行う。被害データとして、兵庫県南部地震での自治体調査に基づく罹災調査結果、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県の市町村より提供された罹災調査結果を用いた。ここで、強震動による建物被害を検討するため、津波被害、液状化被害(記載があるもの)による建物被害は除外している。今回、調査棟数は入手できなかったため、全壊棟数、半壊棟数の関係を示す半壊棟数/全壊棟数により分析を行った。ここで、半壊棟数/全壊棟数は半壊率/全壊率と同値であり、各地点において震度が同じと仮定すると、半壊の被害率曲線と全壊の被害率曲線の被害の立ち上がりの差を示す。つまり震度が同じとき、半壊棟数/全壊棟数が大きいほど全壊率は小さくなると推測できる。なお、データの信頼性向上のため、用いるデータは全壊棟数が5棟以上の地点のみとした。表3に分析に用いたデータ概要と半壊棟数/全壊棟数の平均値を示す。

図5に半壊棟数/全壊棟数を示す。図2、図5、表3より、被害率曲線算定において決定係数が比較的高い宮城県と福島県を比較すると、宮城県の方が半壊率/全壊率の平均値が大きく、同震度における全壊率は小さい。また、東北地方太平洋沖地震と兵庫県南部地震を比較すると、東北地方太平洋沖地震の方が半壊率/全壊率の平均値が大きく、同震度における全壊率は小さい。このことから、半壊率/全壊率の平均値が大きいほど、同一震度におけ

る全壊率が大きい可能性がある。ただし、実際の被害では、今後は各地域で震度は異なることから、各地域での大字単位での震度分布を推定し、震度を説明変数として加えた上での検討が不可欠である。

3.2 新耐震基準建物比率に関する分析

図6に住宅・土地統計調査⁴⁾に基づき算定した1998年、2003年、2008年の各県の住宅の新耐震建物比率(1981年以降に建設された棟数/全棟数)を示し、図7に各県の新耐震建物比率を全国の新耐震建物比率で除した値を示す。宮城県、茨城県、栃木県と、岩手県、福島県で新耐震建物比率に差が見られる。新耐震基準に基づく建物は、旧耐震基準に基づく建物と比較して耐震性能が高く、被害率が小さいことから、新耐震建物比率が大きいほど県の被害率は小さくなると考えられる。これは、3.1での宮城県、茨城県の全壊率が小さいという傾向にも一致している。ただし、宮城県、茨城県と同等の新耐震建物比率である栃木県の半壊率/全壊率の平均値は新耐震建物比率の低い福島県を下回っている。このことから、建物の耐震性能を考える上で新耐震建物比率だけでなく、旧耐震建物の耐震化状況も考慮する必要があると考えられる。

3.3 過去の地震経験回数に関する分析

過去の地震経験回数についての検討を行い、新耐震化率との関係を考える。表4に示す2011年3月11日から遡り10年間に発生した震度5弱以上を観測した19地震を対象とした。図8に市町村別の地震経験回数を示す。表4、図8より、岩手県沖から千葉県沖において中規模地震が頻発しており、岩手県、宮城県は多くの市町村で震度5弱以上を1回は経験し、特に岩手県と宮城県の県境付近では震度6弱以上を経験している。一方で、栃木県では震度5弱以上を経験している市町村はわずかである。栃木県は、新耐震建物比率が同程度である宮城県と比較して地震経験回数が少なく、半壊率/全壊率も低い。建物に損傷を与えうる地震を経験することで耐震性の低い建物は淘汰されたり、建て直しや耐震化の気運が生じたりして、結果的に耐震化が進むことが考えられる。したがって、新耐震建物比率では表現されない旧耐震建物の耐震化の状況が2県の被害に差を生じさせる一因となった可能性がある。また、兵庫県南部地震以前の兵庫県において、10年間震度4以上の地震は観測されておらず、地震経験はなかったと考えられる。このことが、今回の地震と兵庫県南部地震の被害率が大きくなる一因である可能性がある。地震経験回数を人口で重み付けすることで、県での地震経験の影響を考える。図9に市町村別の人口分布、図10に地震経験回数を人口で重み付けした値を示す。これより人口集中地域での建物に損傷を与える

る地震経験の有無が、新耐震建物比率に与える影響という観点から検討したが、新耐震建物比率の低い岩手県では人口が集中する盛岡市でも複数回震度5弱以上を経験しており、その傾向は見られなかった。このことから、新耐震建物比率には、人口移動、平均所得など他の要因を検討する必要があると言える。

4 まとめと今後の課題

東北地方太平洋沖地震における建物被害を、兵庫県南部地震の建物被害に基づく既往の被害率曲線と比較した。また、東北地方太平洋沖地震における建物被害を県ごとに比較することで、耐震性能の地域差について検討した。

今後は、東北地方太平洋沖地震での震度分布を推定し、震度を説明変数として加えた上で各県での被害率を検討していく。

表1 被害データ概要

対象地震	2011年東北地方太平洋沖地震
対象地域	岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県のうち津波被害のない内陸部
取扱単位	市町村
計測震度	気象庁に提供された各市町村の計測震度の平均値
全壊棟数	消防庁148報記載の全壊棟数
調査棟数	平成20年住宅・土地統計調査による各市町村の住宅総数

表2 各県での算定に用いた地点数と推定したパラメータ

県名	地点数	λ	ζ	R^2
岩手	6	7.71	0.75	0.02
宮城	14	7.80	0.80	0.57
福島	17	7.08	0.61	0.61
栃木	14	9.52	1.14	0.26
茨城	25	12.26	1.99	0.10
5県	76	7.93	0.78	0.26

表3 分析に用いたデータと算定した平均、標準偏差

	地点数	計測震度	平均	標準偏差
兵庫県南部地震	56	5.4-6.8	1.97	1.65
東北地方太平洋沖地震	317	5.1-6.6	3.77	3.45
岩手県	26	5.4	2.73	2.02
宮城県	76	5.6-6.6	4.89	3.77
福島県	46	5.1-6.0	3.31	2.26
茨城県	133	5.5-6.0	3.68	3.43
栃木県	36	5.1-6.1	3.02	4.35

謝辞

防災科学技術研究所藤原広行氏には、本論文に用いた被害データに関する助言を頂きました。記して謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 翠川三郎・伊東佑記・三浦弘之：兵庫県南部地震以降の被害地震データに基づく建物被害関数の検討：日本地震工学会論文集、第11巻、第4号、2011
- 2) 気象庁：平成23年4月地震・火山月報(防災編)付録2「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」による各地の震度
- 3) 消防庁：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(第148報)(2013年9月9日付)
- 4) 総務省統計局：住宅・土地統計調査
- 5) 山口直哉・山崎文雄：西宮市の被災度調査結果に基づく建物被害関数の構築、地域安全学会論文集、No2、2000、pp.129-138

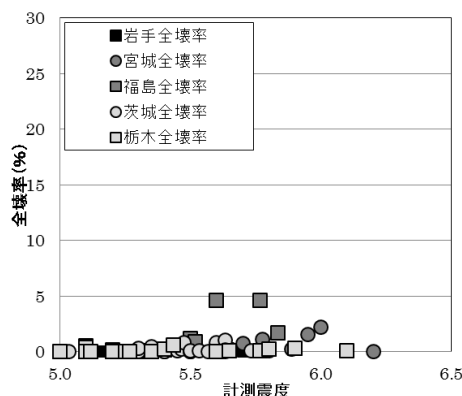


図1 計測震度と全壊率の関係

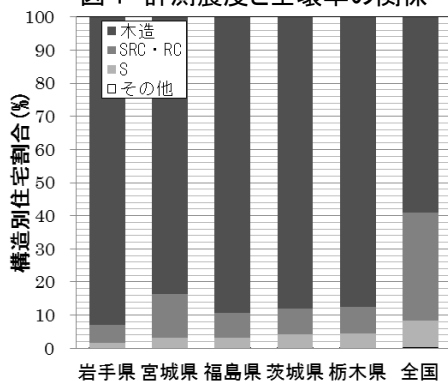


図3 構造別住宅割合

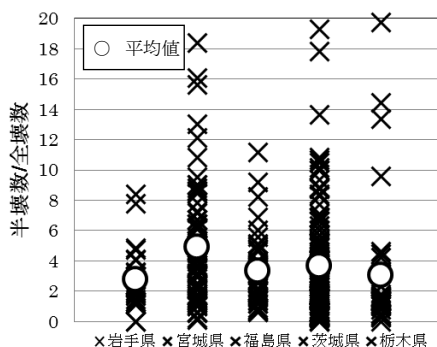


図5 半壊棟数/全壊棟

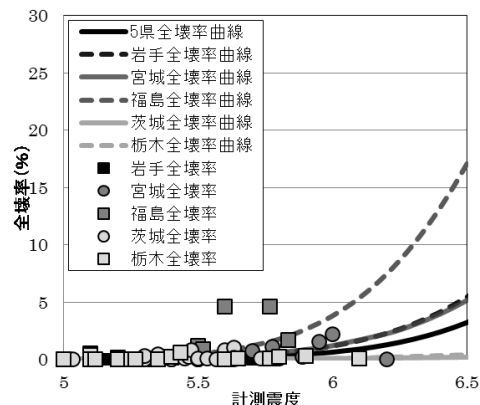


図2 県別被害率曲線

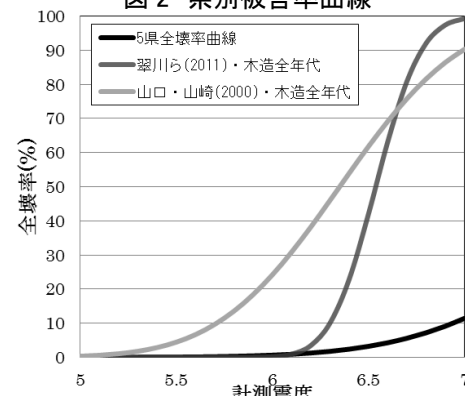
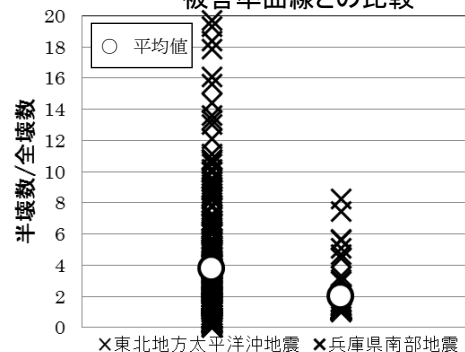


図4 過去の地震に基づく被害率曲線との比較



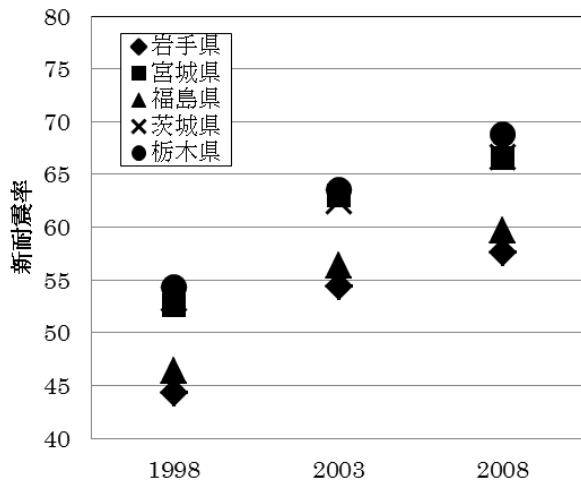


図 6 住宅の新耐震建物比率の変遷

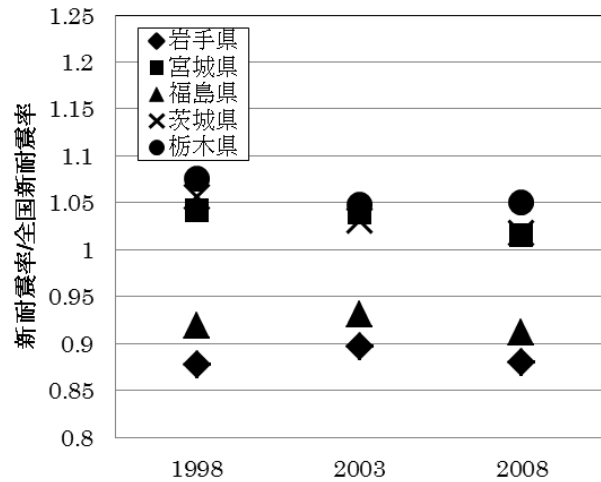


図 7 各県/全国の住宅の新耐震建物比率の変遷

表 4 分析に用いた地震概要

発生日	震源位置	マグニチュード
2001/12/2	岩手県内陸南部	M6.4
2002/2/12	茨城県沖	M5.5
2002/11/3	宮城県沖	M6.1
2003/7/26	宮城県北部	M5.6
2003/7/26	宮城県北部	M6.4
2003/7/26	宮城県北部	M5.5
2003/7/28	宮城県北部	M5.1
2004/8/10	岩手県沖	M5.8
2004/10/6	茨城県南部	M5.7
2005/2/16	茨城県南部	M5.4
2005/4/11	千葉県北東部	M6.1
2005/8/16	宮城県沖	M7.2
2005/10/19	茨城県沖	M6.3
2008/5/8	茨城県沖	M7.0
2008/7/5	茨城県沖	M5.2
2008/7/24	岩手県沿岸北部	M6.8
2010/3/14	福島県沖	M6.7
2010/6/13	福島県沖	M6.2
2010/7/23	千葉県北東部	M4.9

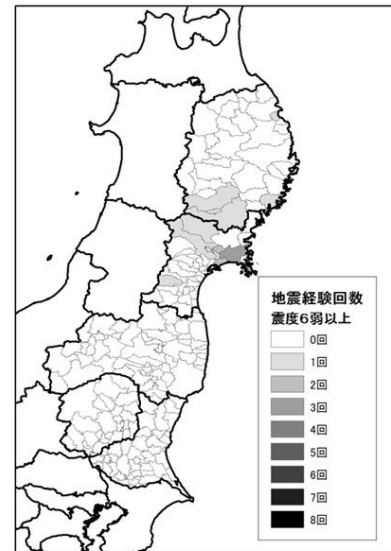
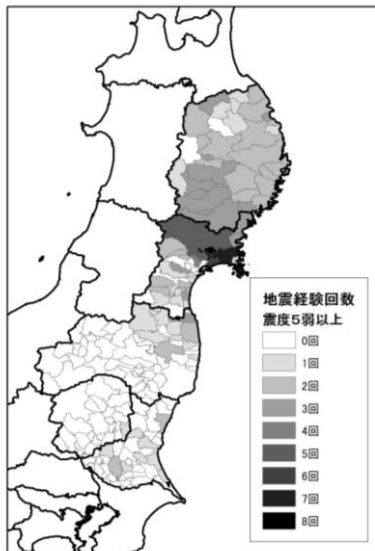


図 8 地震経験回数

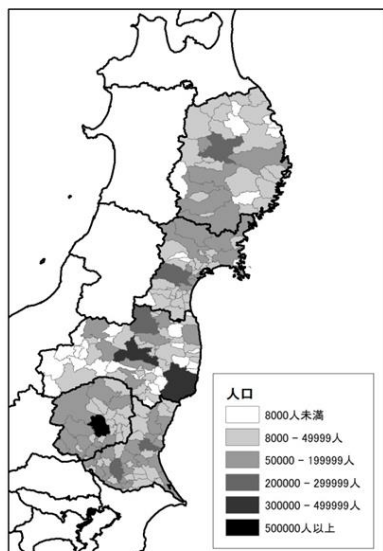


図 9 人口分布

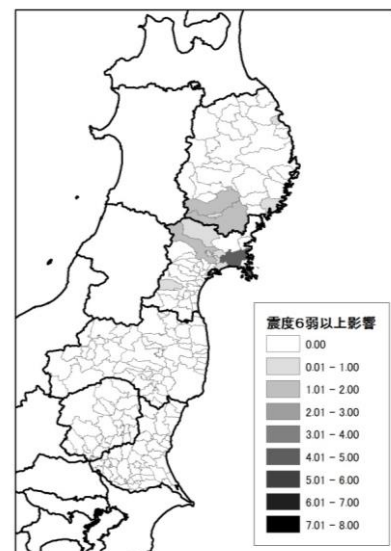
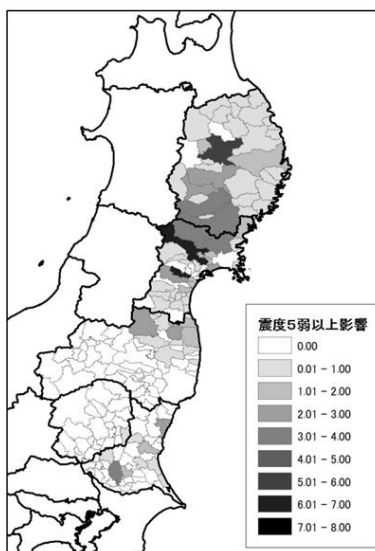


図 10 人口で重み付けした地震経験回数