

2011年東北地方太平洋沖地震津波に基づく

家屋の津波被害関数構築に関する研究

小川芳樹・秋山祐樹・柴崎亮介

Development of Tsunami Fragility Curves

for Buildings due to the 2011 Tohoku Earthquake

Yoshiki OGAWA, Yuki AKIYAMA and Ryosuke SHIBASAKI

Abstract: This paper develops fragility curves for buildings based on damage data from reconstruction assistance survey compiled by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism due to the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami. We analysis the damage data and constructed fragility curves considering structure type and inundation depth. It was also demonstrated that the number of damaged buildings in each city estimated by the fragility curves fits the actual damage by the tsunami. By using fragility curves, we estimate the ratio of building collapse when we input any inundation depth throughout Japan.

Keywords: 広域災害 (wide-area disaster), 被害関数 (fragility curves), 建物構造 (building structure), 被害想定 (damage assessment)

1. はじめに

近い将来、日本では南海トラフ沖を震源とした東海・東南海・南海地震による巨大津波が予測されている（内閣府(2012)）。加えて2014年8月には、日本政府の調査委員会が日本海における津波の想定高さを初めて発表をした。このように津波リスクの高い日本で予測されている津波に対して、家屋被害を定量的に推定し、物理的なリスクを事前に評価することは、国土や地域防災政策を考える上で重要である。津波による家屋被害を推計するには津波被害関数と呼ばれる浸水深や流速などの外力と被害率の関係を定式化したものを用

いるのが一般的である。多くの被害想定で用いられている被害評価手法に、首藤（1992）の津波強度指標があり、例えば浸水深が2m以上で木造家屋については全壊という家屋がどの程度持ちこたえられるかを評価されている。一方で越村ほか（2009）は、2004年スマトラ島沖地震津波による家屋被害を浸水深や流速を説明変数とし、確率的に倒壊率と死者率を評価する津波被害関数の構築をしている。

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震津波で浸水域全域を対象として、津波の最大浸水深と家屋被害関係を構造別に分析を行い津波被害関数の構築をする。また、津波被害関数を用いて日本全国を対象として任意の浸水高を与えることで日本全国の建物1棟1棟の建物の家屋被害推定をすることで、地域間の相対的なリスク評価が可

小川芳樹 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1

東京大学生産技術研究所 Cw-503号室

Phone: 03-5452-6417

E-mail: ogawa@csis.u-tokyo.ac.jp

能なデータベースを作成する。本研究において1棟1棟の構造を考慮して被害推定することで、任意集計単位に対応でき、自治体のみならず地域コミュニティ単位でのリスク評価が可能となる。

2. 津波被害関数の構築

本研究で用いる2011年の東北地方太平洋沖地震津波による家屋被害状況は国土交通省都市局の「東日本大震災津波被災市街地復興支援調査」をアーカイブ化し東京大学空間情報科学センターが管理運営している「復興支援調査アーカイブ」内のデータを利用する。このデータは浸水域全域(青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、千葉県)の各自治体の罹災証明、国土交通省の現地調査と衛星画像により判別した建物ポリゴンデータがシェープファイル形式で限定公開されており、個別家屋の被災状況、浸水深や構造などが含まれる。図-1に本研究の流れを示す。まず、最大浸水深と家屋被害データを用いて建物構造別の津波被害関数を構築する。次に構築した被害関数を再度対象地域に適用し、被害の真値と比較することで検証を行う。最後に構築した津波被害関数を我々が開発したマイクロジオデータに適用することで日本全国の家屋に任意の浸水高を与えた場合の家屋被害率を算出する。

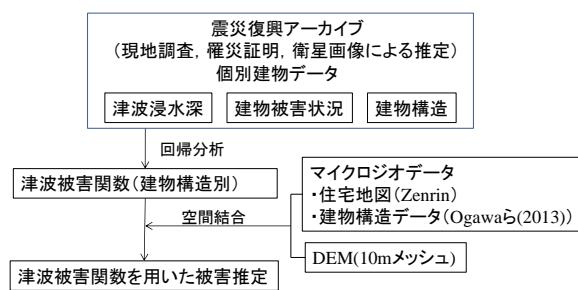


図-1 本研究のデータ整備の流れ

2.1 家屋被害状況

浸水域と全壊・半壊棟数を市区町村別に集計した結果を図-2に示す。宮城県石巻市で被害が一番大きくなっている、そこを中心に南北に行くにつれて被害棟数が小さくなっている。被害関数の

構築に際して本研究では、衛星画像により被害の判読を行ったものを除いた信頼性の高い罹災証明と現地調査によるデータを用いるとする。そのため被災した全家屋約22万棟(全壊約12万棟)の内の18万棟(全壊約11万棟)を本研究の対象家屋とする。家屋の構造別の最大浸水深と被害率の関係は、図-3に示す通りである。最大浸水深2mにおいて全壊率は木造で50%、鉄骨造(以下S造)で40%、鉄筋コンクリート造(以下RC造)で25%となっている。

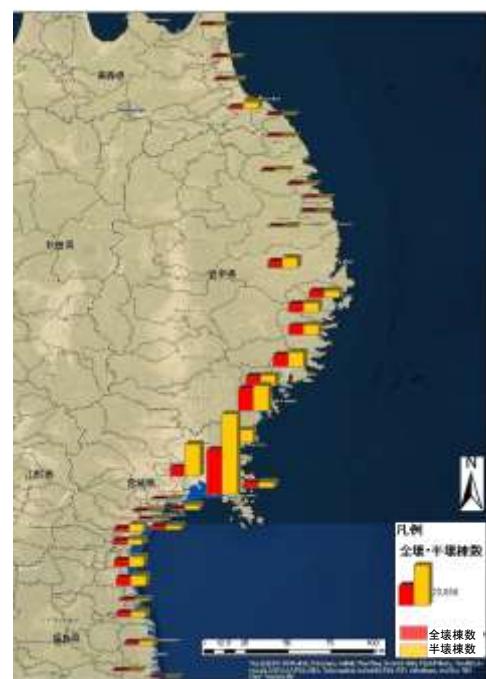


図-2 市区町村別の家屋被災状況

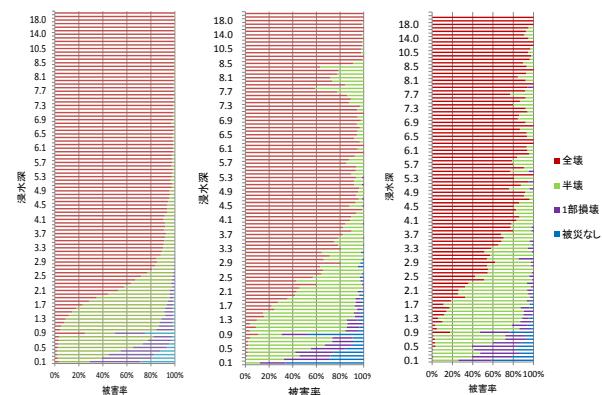


図-3 家屋の構造別被害率のヒストグラム

2.2 家屋被害関数の構築

本研究では、前節で述べた 18 万棟を対象に分析し被害関数を構築する。地震や津波による被害関数は、一般的に累積対数正規分布または累積正規分布として定義される(式(1), (2))。

$$P(x) = \Phi \left[\frac{\ln x - \lambda}{\xi} \right] \quad (1)$$

$$P(x) = \Phi \left[\frac{x - \lambda}{\xi} \right] \quad (2)$$

ここで x は地震動や浸水深等の外力、 λ は平均値、 ξ は標準偏差である。本研究では全壊と全壊+半壊の 2 つの被害関数を構築する。図-3 のように浸水深別に被害棟数を集計し、図-4 に示すように累積正規分布の逆関数 ϕ^{-1} を縦軸に最大浸水深を取り回帰分析することで、パラメータを求める。その際の級数幅は、適合度が最大となるように逐次計算をすることで決定する。累積正規分布か累積対数正規分布かは適合度の高い方を選択する。それぞれ回帰分析した結果のパラメータを表-1 に示す。また、構築した津波被害関数を図-5 に示す。全壊曲線の S 造と RC 造は最大浸水深が 2.5m 付近から急激に被害率が大きくなり似た傾向を示すのに対し、木造は 1.5m 付近から被害率が大きくなっている。

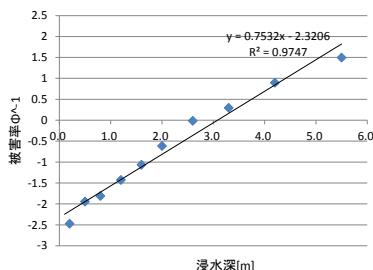


図- 4 RC 造における最大浸水深と家屋被害率

表- 1 家屋被害関数のパラメータ

関数種別	データ	平均λ	標準偏差σ	決定係数R2
全壊	木造	1.8255	0.7595	0.889
	S造	2.1408	0.9243	0.8851
	RC造	2.3206	0.7532	0.9747
全半壊	木造	-0.1248	0.7665	0.9274
	S造	0.1179	0.763	0.8723
	RC造	0.2318	0.9599	0.9161

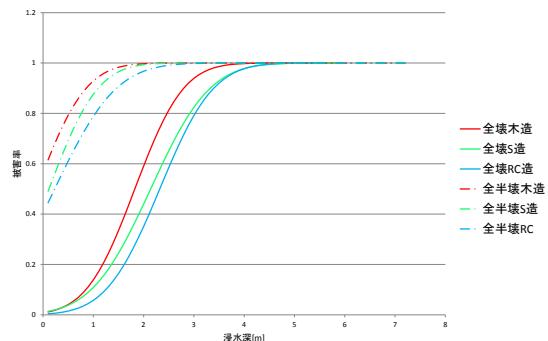


図- 5 構造別の全壊と全壊+半壊の津波被害関数

2.3 津波被害関数の検証

本研究で求めた津波被害関数の検証をするために、被害関数を用いた推定結果と実被害結果を集計(市区町村)比較することで精度検証をする。全半壊についての結果を図-6 に示す。全壊・全半壊のいずれの構造においても決定係数が 0.95 以上($p < 0.05$)であり高い信頼性であるといえよう。

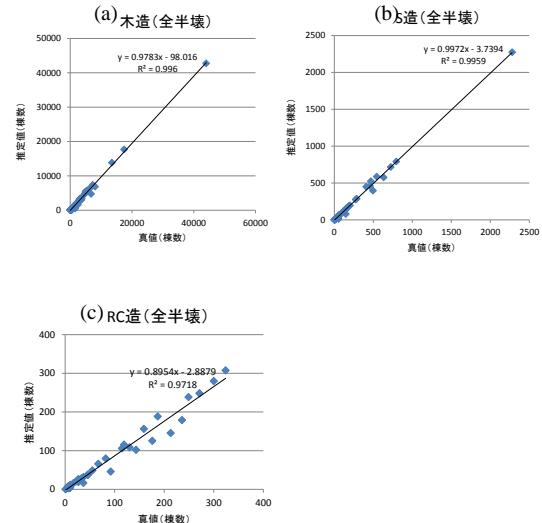


図- 6 (a)木造における全半壊の推定値と真値の集計値の比較、(b)S 造における全半壊の推定値と真値の集計値の比較、(c) RC 造における全半壊の推定値と真値の集計値の比較

3. 津波被害関数の適用

本研究で構築した津波被害関数を用いて任意の浸水高を与えた場合の家屋 1 棟 1 棟の倒壊率を算出する。その際に必要な全国の個別建物の構造(木造・非木造) データは Ogawa ら(2013)が開

発したもの用いて、標高データについては国土地理院が公開している 10m メッシュデータを用いて家屋ポイントデータに空間結合する。浸水高については、南海トラフ地震などを想定した詳細な浸水高データが公開されていないため、任意の浸水高を設定する。浸水高は一律で 1-15m を 1m 刻みで与える。建物毎の津波時の全半壊率を 250m メッシュ集計した場合の一部結果を図-7 から図-10 に示す。

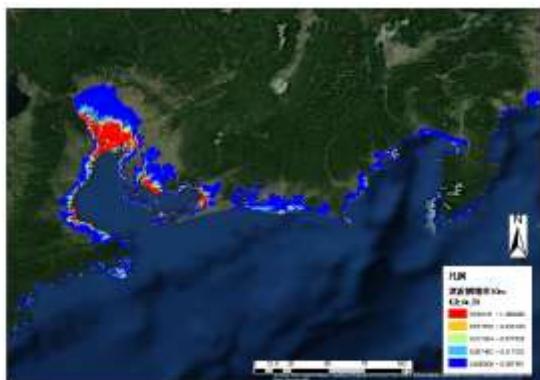


図-7 中京エリアにおいて浸水高 2m を与えた場合
(250m メッシュ)



図-8 中京エリアにおいて浸水高 10m を与えた場合
(250m メッシュ)

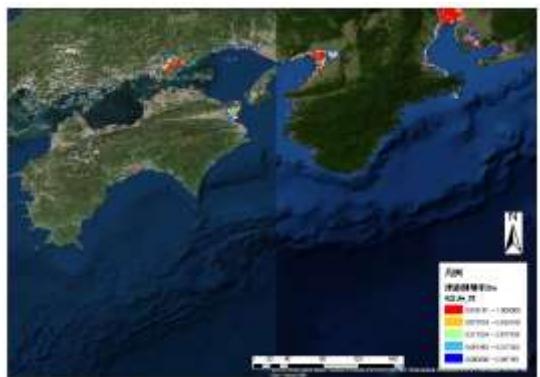


図-9 近畿、四国エリアにおいて浸水高 2m を与えた場合
(250m メッシュ)



図-10 近畿、四国エリアにおいて浸水高 10m を与えた場合 (250m メッシュ)

4. おわりに

数値解析により流速を導入することや、過去の被害関数と比較を行うことなどが今後の課題である。また人的被害における津波被害関数についても構築する予定である。

謝辞

本研究は文部科学省の GENE 事業環境情報分野「環境情報技術を用いたレジリエントな国土のデザイン」の一環として実施したものである。また、津波被害データは「復興支援調査アーカイブ」を国土交通省都市局に提供していただいた。ここに記して謝辞を表する。

参考文献

中央防災会議, 2012 年, 「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」

首藤伸夫, 1992 年, 「津波強度と被害」, 津波工学研究報告, 第 9 号 pp. 101- 36

越村俊一, 行谷祐一, 柳沢英明, 2009 年, 「津波被害関数の構築」, 土木学会論文集 B, Vol.65 No. 4, pp. 320-331

国土交通省, 2012, 復興支援アーカイブ HP(URL: <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>)

Ogawa, Y., Akiyama, Y. and Shibasaki, R., 2013, "Evaluation of Catastrophic Earthquake Damage throughout Japan using Estimated Micro Data", CUPUM2013 conference papers, 103.