

東日本大震災での建物被害データに基づく建物棟毎の流失確率予測式の提案

東北大学大学院工学研究科
東北大学災害科学国際研究所
東北大学大学院工学研究科
東北大学災害科学国際研究所

学生会員 ○長谷川 夏来
正 会 員 サッパシー アナワット
学生会員 牧野嶋 文泰
正 会 員 今村 文彦

1. はじめに

津波による建物被害を高い解像度で予測することができれば、津波発災後即時に生存者の存在しうるエリアを把握するなど、即時被害把握や人命救助活動に有用な情報を提供することができる。しかし、津波による建物被害予測に広く用いられてきた津波被害関数^{1),2)}は、集計した建物被害データに基づき作成されているため、集計スケールと異なる被害予測への適用性に疑問があるほか、異なる構造種別が混在する領域の高解像度の建物被害予測には適用できないといった課題があった。東日本大震災での建物被害状況について建物棟毎に分析を行った例³⁾では、建物損壊状況ごとに被害データを分類して分析を行っており、流失確率を予測するためには被害関数の選択が必要である。

そこで本研究では、東日本大震災で得られた約13.5万棟の非集計建物被害データを対象に、一般化線形モデルによるロジスティック回帰分析を用いて分析し、異なる構造条件をもつ建物一棟毎の津波による流失確率を一つの関係式のみで予測することを目的とする。

2. 分析データセット

本研究では、国土交通省が提供する復興支援調査アーカイブ⁴⁾のデータを使用し分析を行った。対象とした地域は岩手県、宮城県、福島県沿岸部の被災した33市町村（青森県階上町、八戸市、岩手県洋野町、久慈市、野田村、田野畑村、岩泉町、宮古市、山田町、大槌町、釜石市、大船渡市、陸前高田市、宮城県気仙沼市、南三陸町、女川町、石巻市、東松島市、松島町、利府町、塩釜市、七ヶ浜町、多賀城市、仙台市、名取市、岩沼市、亘理町、山元町、福島県新地町、相馬市、南相馬市、広野町、いわき市）に存在する被災建物 135,660 棟で、これらについて

表-1 データセット概要

	最小値	最大値	平均	標準偏差
建物階数(階)	1	14	1.662	0.595
浸水深 (m)	0	27	3.748	3.948
建物面積(m ²)	0.6805	46492	154.22	461.83

建物棟毎に被害区分、建物構造、建物階数（階）、建物用途、築年数（年）、浸水深（m）、建物面積（m²）のデータを収集した。

分析に際し、アーカイブ内の建物被害データを整理した。建物被害区分は、アーカイブ中では流失から被害なしまでの七段階に分類されていたものを、全壊建物は「被害あり」、それ以下の被害状況は「被害なし」とし、二段階に大分した。これは、住民が建物内で津波に遭遇した場合に、垂直避難により生存する可能性がある場合を被害なし、生存が困難であると考えられる場合を被害ありとして定義している。建物構造は、RC造、鉄骨造、木造の三種類に分類し、ダミー変数を与え、その他の構造及び構造種別不明の建物はデータセットから除外した。建物用途は、住宅を1、それ以外の用途（工場、公共施設など）を0とするダミー変数を与えた。建物階数、築年数、浸水深データの概要を表-1に示す。これらのデータは、アーカイブ中の値をそのまま量的変数として用いた。建物面積（m²）は、アーカイブ中の建物ポリゴン面積をGISの機能により一棟ごとに算出し収集した。

3. 建物流失確率予測式の構築と検証

次の式(1)に従う一般化線形モデルによりロジスティック回帰分析をし、建物流失確率を予測する回帰式を構築した。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 X_i)} \quad (1)$$

表-3 k 分割交差検証の結果

	定数	RC造	木造	建物階数	建物用途	浸水深	建物面積	的中率(%)
グループ1	-3.876	-1.829	1.379	-0.4233	0.2244	1.047	-2.804E-04	87.6
グループ2	-3.965	-1.676	1.435	-0.4085	0.2133	1.055	-3.065E-04	87.0
グループ3	-3.902	-1.840	1.383	-0.4403	0.2486	1.059	-3.061E-04	86.9
グループ4	-3.908	-1.904	1.403	-0.4175	0.2173	1.053	-3.718E-04	87.0
グループ5	-3.902	-1.717	1.395	-0.4300	0.2292	1.052	-2.695E-04	87.2
グループ6	-3.906	-1.815	1.391	-0.4333	0.2320	1.057	-2.970E-04	86.5
グループ7	-3.931	-1.776	1.423	-0.4266	0.2243	1.054	-2.994E-04	87.2
グループ8	-3.954	-1.789	1.443	-0.4164	0.2206	1.049	-2.517E-04	87.3
グループ9	-3.927	-1.815	1.407	-0.4290	0.2412	1.050	-2.524E-04	87.7
グループ10	-3.980	-1.814	1.456	-0.4160	0.2208	1.057	-2.734E-04	87.4

ここで、 p は建物流失確率、 β_0, β_i は分析により求められる偏回帰係数、 X_i は各説明変数である。

回帰分析により算出された最尤推定値を表-2に示す。建物流失確率に対して、建物構造、建物階数、建物用途、浸水深の影響を検討した分析の結果、 p 値よりすべての要因が流失確率に対して有意であると分かった。また、推計値より、流失確率に特に強く影響を与えるのは浸水深であるとわかった。

ここで、AIC に基づく変数増減法により予測に必要な説明変数を検討した結果、すべての変数を用いた場合に AIC が最小になることを確認している。

回帰式から算出された建物流失確率について、0.5 以上は被害あり、0.5 未満は被害なしと分類し、分析データセット中の被害あり、なしとの合致度合を的中率 (%) と定義し、これを算出したところ 86.4% となり、高い精度で推計が行われているとわかった。

4. 交差検証

分析に用いたデータセットに対して k 分割交差検証を行い、回帰式の内的妥当性を確認した。交差検証に際して、使用した 135,660 棟分の建物被害データを 10 個のグループにランダムに分類、うち 9 グループを含むトレーニングデータから回帰式を構築し、残り 1 グループからなるテストデータをどの程度の的中率で説明するか確認した。全グループについての交差検証の結果を表-3 に示す。表中にすべてのグループでのそれぞれの要因の推定値よび的中率を示す。すべてのグループで概ね推計値が一致し、かつ 87% の高精度な予測を行うことができたことから、説明変数の内的妥当性を確認できた。

表-2 回帰分析結果

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
定数項	-3.9250	0.0514	-76.4360	< 2e-16	***
RC造	-1.7970	0.0814	-22.0870	< 2e-16	***
木造	1.4120	0.0440	32.1180	< 2e-16	***
建物階数	-0.4242	0.0164	-25.8550	< 2e-16	***
建物用途	0.2272	0.0277	8.2050	2.31E-16	***
浸水深	1.0530	0.0060	174.1830	< 2e-16	***
建物面積	-0.0003	0.0000	-7.1890	6.53E-13	***

p 値：*** > 0.001 > ** > 0.01 > * > 0.05 > . > 0.1

5. おわりに

本研究では、東日本大震災で得られた約 13.5 万棟の非集計建物被害データを対象に回帰分析を行い、異なる構造条件をもつ建物一棟毎の、津波による流失確率を予測する関係式を構築した。東日本大震災の実被害データを対象に実施した交差検証では、実際の建物の流失被害の約 87% を再現し、内的妥当性が確認できた。この流失確率予測式と、津波数値シミュレーションを組み合わせることで、建物棟毎の被害予測が可能となり、津波発災直後の救命活動などに有用な情報を得られると考えられる。

参考文献

- 1) Koshimura, S., Oie, T., Yanagisawa, H., Imamura, F.: Developing Fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia, *Coastal Engineering Journal*, 51(3), pp. 243-273, 2009.
- 2) 今井健太郎, 今村文彦, 岩間俊二, サッパシー アナワット: 人的・物的被害軽減に向けた実用的な津波ハザード・被害予測評価手法の提案, *自然災害科学*, *J.JSNDS* 33, 特別号, 2014.
- 3) Leelawat, N., Suppasri, A., Charvet, I., Imamura, F.: Building damage from the 2011 Great East Japan tsunami: quantitative assessment of influential factors, *Nat Hazards*, 73:449-471, 2014.
- 4) 国土交通省都市局: 復興支援調査アーカイブ, <http://fukkou.csis.u-tokyo.ac.jp/>, 2015 年 4 月閲覧.