

GIS空間分析機能を活用した広域地震被害情報の分析評価に関する研究

—2011年東日本大震災の津波災害における建物被害について—

Investigation of analysis and estimation for widely distributed seismic damage information by using spatial analysis function on GIS

-Basic Analysis on Building Damages by Tsunami due to The 2011 Great East Japan Earthquake Disaster Using GIS-

○天国 邦博¹, 寺園 直人², 山本 俊雄², 荏本孝久²
 Kunihiro AMAKUNI¹, Naoto TERAZONO²,
 Toshio YAMAMOTO² and Takahisa ENOMOTO²

¹ パシフィックコンサルタンツ株式会社

Pacific Consultants Co. Ltd.,

² 神奈川大学 工学部 建築学科

Kanagawa University, Yokohama, Kanagawa

In Japan, destructive damage occurred by the offing massive earthquake of the Tohoku district. The Earthquake with Mw9.0 has occurred in 11th March, 2011. Major damages, such as about 20,000 dead or missing people and about 250,000 collapsed buildings, were caused by big tsunami, whose height has been recorded more than 10m high. Main damaged areas are located along the Pacific coast of three prefectures, Iwate, Miyagi and Fukushima Prefectures. We were focusing to the damages of wooden buildings caused by tsunami in Miyagi Prefecture. In this paper, we would like to present the summary of this basic research on the relationship between building damages and tsunami element which is consisting of wave speed, wave height and wave force. The element was estimated by tsunami simulation results. We hope that these results are useful for the future tsunami disaster prevention.

Keywords: The 2011 Great East Japan Earthquake Disaster, Tsunami, Building Damages

1. はじめに

2011年3月11日14時46分頃、東北地方から関東地方の太平洋沖を中心にマグニチュード9.0の地震が発生した。この地震により東日本で強い揺れを観測し、宮城県や岩手県、福島県の太平洋沿岸部を激しい津波が襲った。地震動による被害は、屋根瓦が破損している住宅がわずかに見られるだけで全壊した建物と死者数の圧倒的多数は津波によるものであった。津波被害の様相は、わずかな地盤標高差で大きく異なっており、多くの建物が大破した地域でも一部損傷した程度の建物も見られた。

本研究では、GISによる空間分析機能を活用して、宮城県沿岸部の名取市、七ヶ浜町、東松島市、気仙沼市の4つの市町を対象に、津波特性と被害特性の関係を分析した成果を報告する(図-1)。



図-1 宮城県内の対象市町

2. 対象地域に於けるデータの作成・整理

(1) 建物データの作成

対象地域内の建物住所を基に Google による GIS フリーサービスを利用してジオコーディングを行った。取得した座標値から GIS を用いて建築年・構造種等の属性値をもつポイントデータを作成した。作成したポイントデータと ESRI・ゼンリンによる家屋ポリゴンと重なる部分に対して空間結合を行い、空間結合から得られたデータを建物データとした(図-2)。住所の表記には住居表示と地番表示が存在し、町丁目や字界によりその表記が異なる。座標値を取得するには住居表示である必要があり建物データの分布に偏りのある地域も存在する。

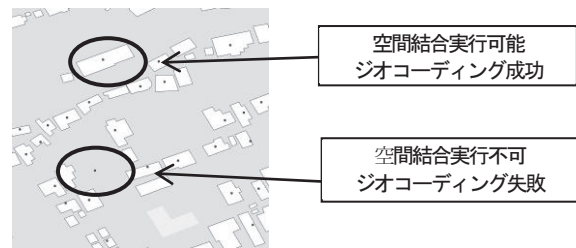


図-2 建物データ作成

(2) 津波特性データの整理

津波特性に於いては、東北大学大学院工学研究科 災害制御研究センターによる今次地震の津波氾濫流の再現計算結果の流速 (V_x, y) と浸水深 (D) を使用させて頂いた。この再現計算結果は、10m メッシュに対して計算されている。これらの氾濫流の津波特性を建物データに空間結合させた。

本分析では、流速の X, Y 方向の絶対値の合成値 (V) と浸水深 (D) を用いて関連付けた。その際、使用したメッシュデータは、

建物ポリゴンに最も近いものとした。

その他のデータとしては、津波外力 (F) を流速 (V) から算出している。

$$F = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (1)$$

(3) 本分析に用いた建物データ数

本分析に用いたデータは、表-1 に示す通り、浸水した建物データであり、総数 8,653 棟数である。

表-1 使用建物棟数

	建物棟数	浸水建物データ	
		木造建物	非木造建物
名取市	10,294	744	124
七ヶ浜町	4,243	766	54
東松島市	10,311	3,182	242
気仙沼市	13,763	3,230	312
合計	39,241	7,921	732

3. 空中写真による建物被害判定

建物の被害程度では、国土地理院の「東日本大震災被災地周辺の空中写真¹⁾」から、震災直後と震災から 2~6 カ月後の写真を見比べて、被災建物の判定を行った。







被災建物の判定では、空中写真と建物ポリゴンを用いて行い、建物データに被災の属性値を持たせる。判定方法では、3 パターンに分類した(表-2)。

タイプ 1: 一部損壊または被害なし

タイプ 2: 大規模半壊または半壊

タイプ 3: 流失または全壊

表-2 建物被害判定の定義

	震災直後の写真	2~6ヶ月後の写真
1		
2		
3		

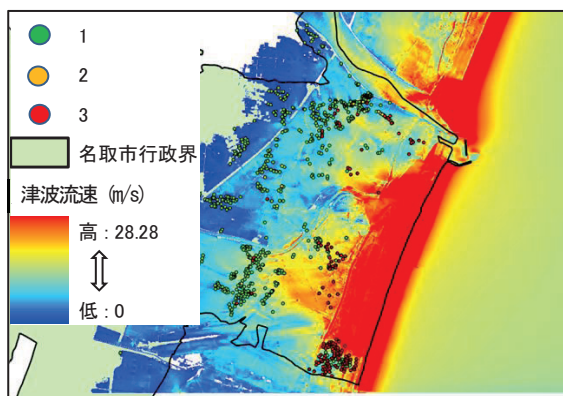


図-3 名取市の津波流速と建物判定分布

本分析では、前述した津波特性データと建物被害データを整理しその関係を検討した(表-3)。

表-3 対象地域での建物被害タイプと建物棟数

タイプ	名取市	七ヶ浜町	東松島市	気仙沼市	合計
1	671	420	2,590	1,591	5,272
2	13	23	1	2	39
3	184	377	832	1,949	3,342

4. 津波外力と建物被害の分析

本分析では、建物被害タイプの属性値を与えた建物データと津波特性を用いて、被害率関数(フラジリティ関数)により評価した。被害率関数は、地盤の揺れの強さに対する建物群としての集団的耐震性能を記述したり、地域内の建物群の被害程度の評価に用いられている。津波に関する被害率関数の事例には、越村・萱場による 1993 年北海道南西沖地震津波における奥尻島での被害率関数³⁾が挙げられる。

本分析では、村尾・山崎(2000)²⁾の方法を用いた。建物の被害判定データを各タイプの重みを等しくするために、津波特性のデータに関して昇順にソートして、一定のサンプル数でグループ化した。本研究では、10 階級に分けて全壊率を求める。各階級を代表する指標値は、平均値で表し、全壊率は階級に属する被災建物を建物総数で除して算出した。例として対象地域全体の流速に関する基本数値を表-4、そこから求めた被害率を図-4に示す。

表-4 津波流速、被害判定タイプと全壊率

津波流速 (m/s)			建物被害判定タイプ			全壊率 (タイプ3)
平均	最大	最小	1	2	3	
0.167	0.33	0.01	786	1	5	0.006
0.473	0.63	0.33	768	1	23	0.029
0.837	1.00	0.63	732	4	56	0.071
1.433	1.76	1.10	647	1	144	0.182
2.070	2.41	1.76	485	7	300	0.379
2.747	3.05	2.41	422	8	362	0.457
3.402	3.78	3.05	351	5	436	0.551
4.217	4.74	3.78	321	6	465	0.587
5.259	5.83	4.74	156	5	631	0.797
7.001	12.00	5.83	111	0	681	0.859

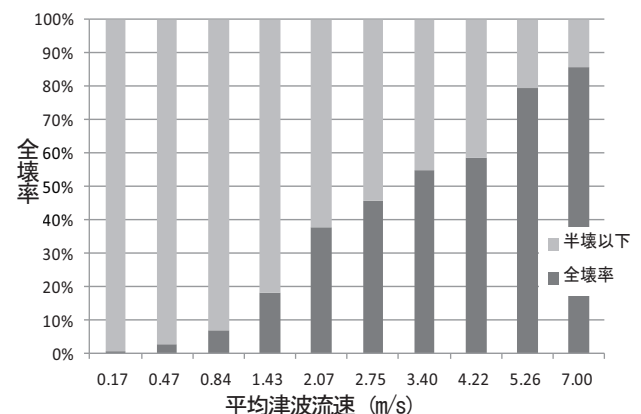


図-4 木造建物の階級値(平均流速)と全壊率

本研究では、津波特性のデータと建物被害判定のデータに対して、上記の検討を行い、最終的に平均津波流速と建物被害判定の関係性が高いことを得た。以降の分析では、上記データを用いて進めた。

被害率関数の設定に際して、津波流速(x)に対して全壊率R以上が発生する確率 P_r は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\Phi(x)$ を用いて、対数正規分布で表せると仮定し、式(2)を用いた。

$$P_R = \Phi\{\ln(x)\} - \lambda/\zeta \quad (2)$$

ここで、 λ 、 ζ は $\ln(x)$ の平均値及び標準偏差である。

関数 $normsinv$ により、全壊率とこれに対する正規分布の座標値 Z_i を求める。データ $\ln(x)$ (横軸) と座標値 Z_i (縦軸) をプロットし、散布図を描きグラフに最小二乗法による回帰直線を求める。この直線の近傍に点が散らばっているようなら正規分布とみなされることになる(図-6)。図中の R^2 は、決定係数である。図中の回帰直線から、 $y=ax+b$ より、傾き (a) と、切片 (b) とすると、 $\lambda = b/a$ 、 $\zeta = 1/a$ となる。これにより、全壊率関数の作成に必要なパラメータ λ 、 ζ が求まる。

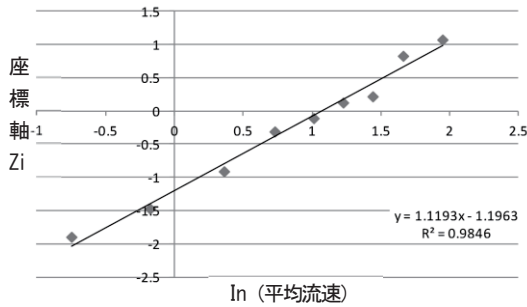


図-6 正規分布の座標値と平均流速の関係

式(2)の対数正規分布関数による回帰から得られる全壊率関数の例として対象地域全体の木造建物の被害率関数を図-7 に示す。

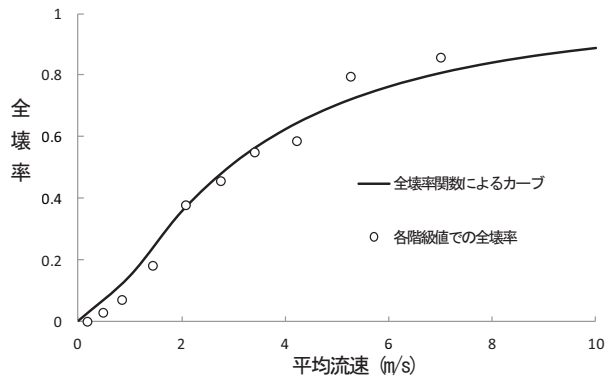


図-7 対象地域での木造建物全壊率とその関数(平均流速)

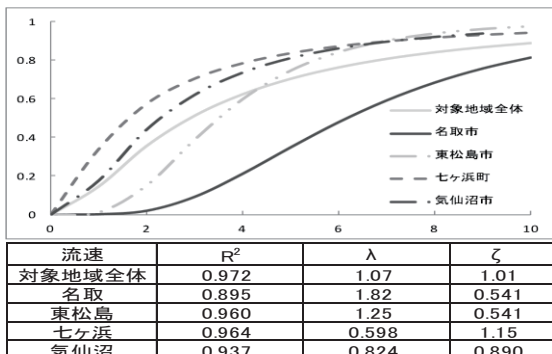
5. 建物被害判定と津波外力の分析

本分析では、前述の手法を用いて、対象地域に於ける建物被害を適切に表現出来る全壊率関数の算出とその傾向を調べた。

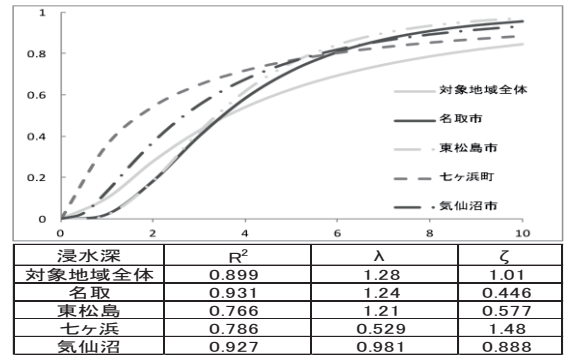
(1) 各市町の木造建物と津波特性の関係

各市町の建物被害と津波特性に対する全壊率関数を求めた。

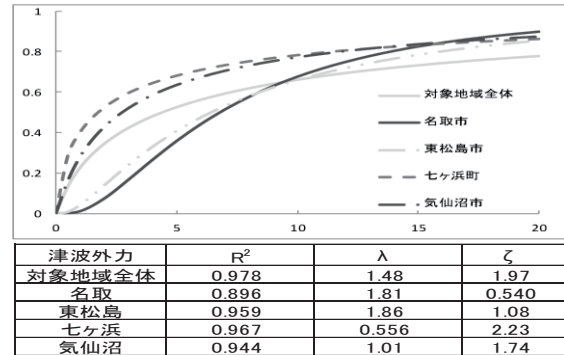
津波特性では、流速・浸水深と津波外力を用いて、全壊率関数カーブに類似点を見出してみた。



(a) 全壊率と流速 (m/s)



(b) 全壊率と浸水深 (m)



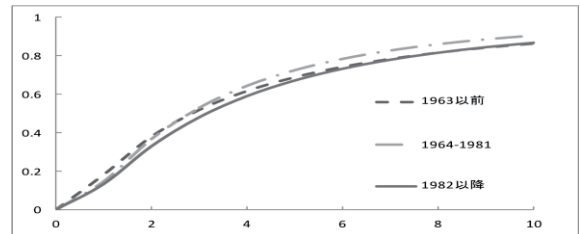
(c) 全壊率と津波外力 (kN/m²)

図-8 木造建物に於ける全壊率関数 (各市町)

(2) 木造建物の建設と津波特性の関係

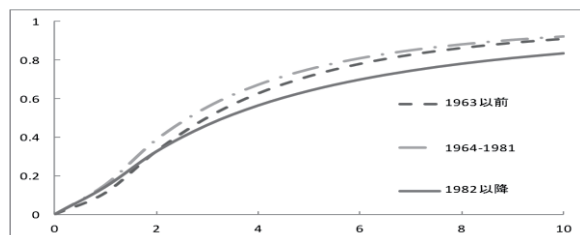
各市町と建物の建築年代と津波特性に対する全壊率関数を求めた。建築年代の区分では、1963 年以前、1964~1981 年、1982 年以降の 3 区分として、類似点を見出してみた。

尚、各建物建設年代区分は、建物の設計等の基準が変更により、設定している。



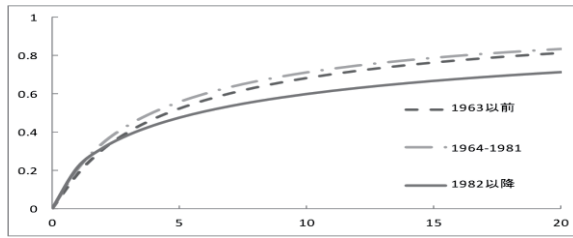
浸水深	R^2	λ	ζ
1963以前	0.881	1.05	1.15
1964-1981	0.882	1.03	0.977
1982以降	0.876	1.15	1.04

(a) 全壊率と浸水深 (m)



流速	R^2	λ	ζ
1963以前	0.897	1.10	0.901
1964-1981	0.936	0.969	0.948
1982以降	0.981	1.20	1.13

(b) 全壊率と流速 (m/s)



津波外力	R ²	λ	ζ
1963以前	0.917	1.51	1.66
1964-1981	0.939	1.36	1.67
1982以降	0.990	1.75	2.23

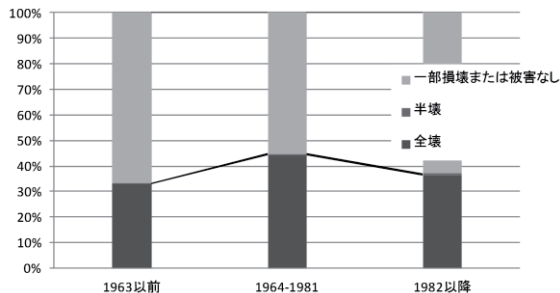
(c) 全壊率と津波外力 (KN/m²)

図-9 年代別の木造建物に於ける被害率関数カーブ

(3) 木造建物被害判定と建設年度の関係

津波による木造建物の被害様相と建物建設年度の関係を整理したものが、図-10である。

これによると、建物の建設された年代と津波特性による関係は、ないように思われる。



	1963年以前	1964-1981年	1982年以降	合計
被害判定1	1105	1910	1765	4780
被害判定2	4	16	18	38
被害判定3	547	1535	1021	3103
合計	1656	3461	2804	7921

図-10 年代別木造建物被害棟数比率と被害率

6. 考察と今後

現在、建物被害と津波特性の分析は、分析半ばであるが、現状による考察を以下に列挙する。

- (1) 浸水深による決定係数は、流速または津波外力のものより低く、浸水深と全壊率の相関性は低いと思われる。
- (2) 津波外力に於いては、決定係数が 0.9 を上回り、高い相関性が見てとれる。
- (3) 木造建物の全壊率は、地域によりかなり差があった。沿岸部の地形が複雑に入り組んでいる七ヶ浜町と気仙沼市では、他の 2 つの地域よりも早く、被害率関数カーブ (全壊率) が上昇している。
- (4) 東松島市と名取市では、被害率関数カーブは可成り緩やかな曲線を辿り、徐々に立ち上がりが観られる。
- (5) 年代別木造建物の全壊率では、年代により若干の差異が見られる。建築年代が 1981 年の耐震基準改正以前の建物の全壊率は、全体的にやや高くなっている。津波特性 (浸水深・流速・津波外力) からは、浸水深による相関性が他より劣っている。
- (6) 津波による建物被害は、建設年代によるよりも、地域の地形と建物の立地状況がより大きく影響することがわかった。

(7) 今後の分析では、建物の構造種別ごとへの評価と共に、宮城県内の建物を対象に評価を進めていく予定である。

謝辞

本分析の津波特性データは、東北大学大学院工学研究科 災害制御研究センターによる今次地震の津波氾濫流の再現計算結果を使用させて頂きました。

建物データは、宮城県庁をはじめ Esri・ゼンリンのデータを活用させて頂きました。

ここに、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 国土地理院の「東日本大震災被災地周辺の空中写真」は、以下のアドレス。
http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse2/index3_tohoku.html
- 2) 村尾 修, 山崎文雄: 自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 第 527 号, 2000.
- 3) 越村俊一, 萱場真太郎: 1993 年北海道南西沖地震津波の家屋被害の再考—津波被害関数の構築に向けて—, 日本地震工学会論文集 第 10 巻, 第 3 号, 2010.
- 4) 川崎昭如, 吉田聡: 図解 ArcGIS Part 2 GIS 実践に向けてのステップアップ, 出版: 古今書院
- 5) 堀江啓, 林春男, 田中聡, 長谷川浩一, 牧紀男, 沖村孝: 地震による木造建物の損傷度を反映する被害関数の構築, 地域安全学会論文集, No. 5, 2003. 11.
- 6) 福井正康: 福井正康研究室のページ「基礎からの統計学」2. 基礎から学ぶシリーズ 2 基礎からの統計学.
- 7) 秋山 功: 現場技術者のためのデータ解析の基礎知識, 2009. 11.