

令和元年6月17日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04481

研究課題名(和文) 南海トラフの巨大津波による大規模火災の危険予測と防火対策

研究課題名(英文) Risk Prediction and Measures for Urban Fires Caused by the Large Tsunami of Nankai Trough Earthquake

研究代表者

増田 達男 (MASUTA, Tatsuo)

金沢工業大学・建築学部・教授

研究者番号：70125095

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災の瓦礫量と分布を航空レーザ測量データにより抽出し、影響因子の解析から簡易予測手法を構築した。津波火災は木造家屋の瓦礫に、車両のバッテリー短絡による着火から多く発生する。バッテリー短絡が海水の冠水によることを調査した。燃焼実験に基づいて瓦礫火災シミュレーションプログラムを構築した。南海トラフの巨大津波による火災の危険市街地を内閣府の津波被害想定に基づいて選定し下田市を例に瓦礫量と分布を予測した。以上により津波瓦礫火災の予測が可能となった。防火には、車両のバッテリー短絡防止装置の開発が有効であることを導き、街路樹等による瓦礫拡散抑制の評価モデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南海トラフの巨大津波による未曾有の火災被害が想定されるため、予測手法が必要である。東日本大震災の調査結果から瓦礫堆積の簡易予測手法を構築した。かつ、実験により瓦礫火災シミュレーションプログラムを構築した。以上により、広域にわたる津波瓦礫火災の予測が可能になった。津波瓦礫への着火が、海水による車両のバッテリー短絡から多く発生しており、防火には、短絡防止装置の開発が有効であることを導いた。また、街路樹等による瓦礫拡散抑制の評価モデルを構築した。以上のように、今後広域にわたって起こり得る津波火災の予測手法を開発するとともに、防火対策に資することができた。

研究成果の概要(英文)：A tsunami debris was extracted from high resolution data which obtained by Laser profiler survey after the 2011 Tohoku earthquake. The influence physical factors were examined for a tsunami debris thickness and its accumulated distribution. As a result, we developed a simplified evaluation method for tsunami debris thickness and its distribution. Tsunami debris fire is often caused by car fires. We surveyed that battery of car shorted with seawater. The computer program of fire spread simulation was built based on the burning experiment using debris. Based on the estimation of tsunami damage in the Nankai Trough, the tsunami debris thickness and its distribution were predicted taking Shimoda City as an example. With the above, it was possible to predict tsunami fires. For fire protection, it is effective to develop a device that prevents a battery short circuit in a car. An evaluation model has also been built to help reduce the spread of tsunami debris by street trees and so on.

研究分野：都市の空間情報学

キーワード：津波火災 南海トラフ地震 津波瓦礫 影響因子 予測手法 延焼シミュレーション 浸水深 地形勾配

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災においては、数多の津波火災が発生した。今後起こり得る南海トラフ地震による巨大津波の対象地域では、さらに甚大な被害が想定される。当方では、過去 15 年間にわたり、国土交通省国土技術政策総合研究所が開発した「市街地火災シミュレーション・プログラム」を使用して、防火対策の研究を進めてきた。とりわけ、その開発担当者と共同研究を進めてきた。この PC ソフトウェアを発展させた「瓦礫火災シミュレーション・プログラム」を構築している。本研究において、その精度をさらに高める予定である。津波火災を引き起こす主要素は、津波の襲来によって倒壊した木造家屋の瓦礫である。この瓦礫火災シミュレーション・プログラムを中心ツールとして、対象地域の津波火災の予測が可能となる。

2. 研究の目的

東日本大震災では、373 件の火災が発生したが、そのうち 43% は、巨大津波に起因する「津波火災」であった。さらに、今後起こり得る南海トラフの巨大地震においては、高知県や静岡県において、最大津波高が 30m を超えることが予測されている（内閣府の被害想定）。実に、東日本大震災の、およそ 3 倍の津波高である。しかも、東京、大阪、名古屋をはじめとする日本有数の大都市が連続する地帯でもある。廣井悠（名古屋大学）は、南海トラフ地震で発生する津波火災が、22 都道府県で 270 件に及ぶことを予測している^①。津波火災による未曾有の大災害は、地域のみでの被災にとどまらず、日本の行く末をも揺るがしかねない大惨事になることは明白である。そのため当該研究は、南海トラフ地震による対象地域の津波火災を、予測して明らかにする。その結果に基づいて、有効な「防火対策」を提示する。

3. 研究の方法

津波瓦礫の堆積量の算定に用いた航空レーザ測量（LP 計測）データは、岩手県県土整備部河川課提供の「津波浸水区域航空測量業務委託成果品データ」である。

瓦礫火災シミュレーションプログラムについては、津波瓦礫を模した可燃物を陸上又は水槽内に設置して燃焼実験を行い、その計測結果に基づいて精度を高めている。

屋外液体貯蔵タンクについては、津波の最大浸水深を微増させ、タンクの補強要素のリブ（鉄筋コンクリート構造）とアンカー（鋼材）の許容限界に達する限界浸水深を算定した。また漂流物の衝突の有無による限界浸水深の差異を検討した。

高潮による自動車火災については、台風の観測情報と現地におけるヒアリング結果に基づいて明らかにした。

街路樹等による津波瓦礫の拡散抑制モデルについては、現地調査と推理実験結果に基づいて構築した。

4. 研究成果

(1) 津波瓦礫の堆積量とその分布の簡易評価手法に関する検討

津波瓦礫量の算定は、2011 年東北津波直後に実施された高分解能の LP 計測による DSM（表層）と DEM（地表面）の差分に基づいている。浸水域内の建物被害状況については東日本大震災津波被災市街地復興支援調査による建物被害情報を利用した。自動車、残存家屋や浸水域境界における樹木の高さが DSM に含まれるため、これらを可能な限り正確に除去した。

津波瓦礫は津波によって陸上に打ち上げられ集積するものと海へ流出するものがある。陸上に打ち上げられる津波瓦礫の残留割合を把握しておくことが重要であるため、解析対象地域における陸上に残留した津波瓦礫量について流失家屋重量と堆積瓦礫量の比較から残留瓦礫割合を簡易的に評価した。堆積瓦礫量は瓦礫高データに空隙率を考慮して容積を算定した。流失・崩壊建物から推定される瓦礫量については、各建物に割り当てられている被災区分のうち、流失被害と大破被害を全壊被害として建物面積から流出家屋の総重量を算定^②し、それを流出瓦礫量とした。

津波瓦礫の堆積状況やその堆積量の傾向を明らかにするために、各解析対象域において津波浸水境界からの距離を基準とした測線帯を設けた（図 1）。浸水境界から汀線に向かう測線帯の幅を 10 m として遡上距離 L_R を定義した。各測線帯において、横断方向に 10 m 間隔となるように空間格子を設定し、津波外力として浸水深 D (m)、DSM と DEM の差分から得られる平均瓦礫堆積量 DT (m)、最大地形勾配 i_m (%)、任意位置から 10~60 m 範囲内の距離で重み付ける流失・全壊被害を含めた建物の存在有無指標 SI を定義した。地域特性の指標としては、各地域の浸水域における最大幅と最大遡上距離の比 AS を導入した。また、LP 計測の誤差範囲内となる 0.15 m 以下は瓦礫堆積無しと見なした。各パラメータにおいては、以下のように規格化を行った。遡上距離は $L^* (=1 \cdot L_R / L_{max})$ 、 L_R は遡上境界からの距離、 L_{max} は最大遡上距離、浸水深は $D^* (=D / L_R)$ 、瓦礫量は $NDT (=DT / \Sigma DT)$ 、 ΣDT は各領域における総残存瓦礫量として定義した。

解析対象地域の各 L_R 測線帯における平均瓦礫漂着確率 P_{aba} と L^* の関係を図 2 に示す。ここでの P_{aba} は各 L_R 測線帯において瓦礫堆積の有無を 2 値化することで算定した。大局的な傾向としては浸水境界に近くなるにつれて P_{aba} は増加傾向にあることがわかる。

瓦礫堆積量に関する簡易評価モデルについては、瓦礫漂着確率 P_{ab} と NDT について各評価モデルを構築し、これらに乗じることで表現されると仮定する。

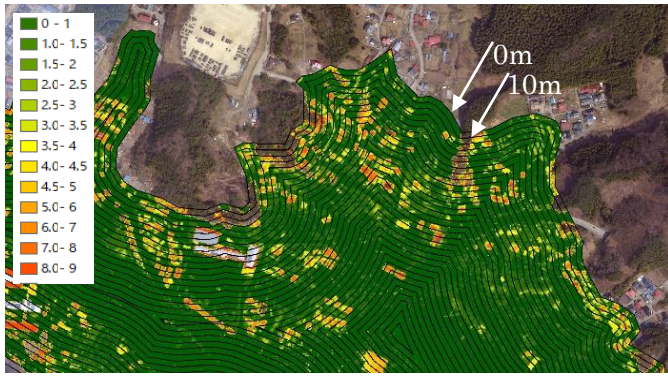


図1 浸水境界を基準とした測線帯の例

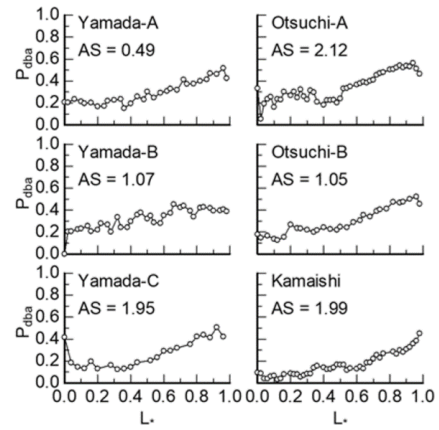


図2 L^* と P_{dba} の関係

まず、 P_{db} については、ロジスティック回帰による確率モデルとして構築を試みた。候補となるパラメータは偏相関係数から AS 、 L^* と SI を説明変数として選択し、ロジスティック回帰によって式(1)を構築した。

$$P_{db} = 1/[1 + \exp(-\phi)],$$

$$\phi = 0.43AS - 0.11L^* + 0.87SI - 1.61 \quad (1)$$

式 (1)を用いることにより、 P_{db} の予測的中率は 70%となった。

NDT については AS 、 D^* 、 i_M と SI の冪関数の積で表現されると仮定し、各係数は観測データに基づき決定することで式(2)を得た。

$$NDT = 0.0009AS^{-0.014} D^{*0.12} i_M^{0.38} SI^{0.29} \pm 0.00048 \quad (2)$$

本式により、ややバラツキは大きいながらも NDT を 0.5~3.0 倍の範囲内で予測することができる。これらの適用範囲は、 $0.49 < AS < 2.13$ 、 $0 < L^* < 1$ 、 $D < 7m$ かつ $0 < D^* < 10$ 、 $0 < i_M < 200$ 、 $0 < SI < 2.25$ である。

これらの評価式による予測精度については、火災延焼シミュレーションの解析精度を照らし合わせて検討していく必要がある。図3に大槌町における津波瓦礫堆積量とその分布における観測値と本手法による計算値の比較を示す。計算値は瓦礫漂着確率とその堆積量について一様乱数と式 (1)および(2)から計算し、100回試行の平均値を代表値とした。図から、浸水境界や建物周辺の瓦礫集積を表現できているが、局所的な瓦礫高の高まりについては表現できていない。また、実際よりも広範囲で薄く堆積する傾向にあることがわかる。

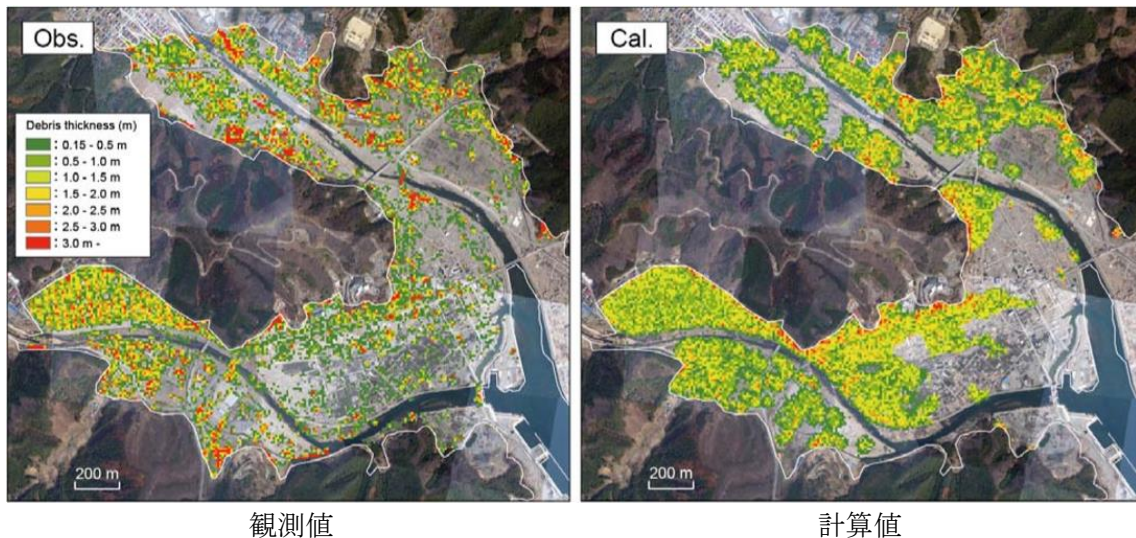


図3 大槌町における津波瓦礫堆積量とその分布における観測値と計算値の比較

(2) 瓦礫火災シミュレーションプログラムの整備

津波瓦礫を模した可燃物を陸上又は水槽内に設置して燃焼実験を行った。本研究において対象とする瓦礫は、家屋が津波によって倒壊して発生した瓦礫を想定した。津波瓦礫は①瓦礫高さ、②可燃物体積率、③空隙率、④密度(グロス)の4つの指標で代表させて実際の瓦礫の状態を推定し、これを 1/10 スケールに縮小したクリブを試験体とした。

表 1 実験結果一覧

実験条件		クリブ重量[kg]	終了時重量減少[kg]	最大重量減少速度[kg/min]	最大熱流束[kW/m ²]	
純木クリブ	無風	陸上	2.736	2.675	0.248	0.413
		浸水	2.576	2.489	0.205	0.238
		浮遊	2.608	2.587	0.200	0.221
	有風	陸上	2.708	2.745	0.676	2.872
		浸水	2.673	2.666	0.279	1.302
		浮遊	2.776	2.835	0.261	1.250
不燃混在クリブ	無風	陸上	5.406	3.239	0.128	0.130
		浸水	5.384	2.523	0.085	0.040
		浮遊	5.357	0.349	0.034	欠測
	有風	陸上	5.401	3.218	0.417	1.433
		浸水	5.370	2.580	0.196	0.786
		浮遊	5.461	1.402	0.068	0.309

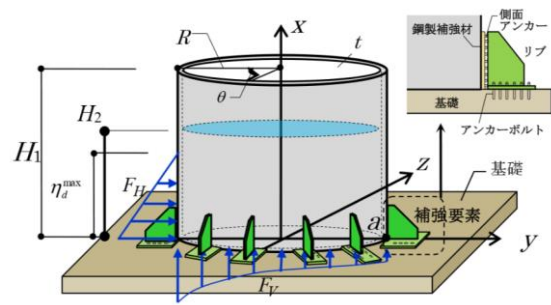


図 4 補強されたタンクの解析モデル

本検討で得られた火災性状に関する情報(表 1)は、津波被災地域における瓦礫火災シミュレーションを用いた被害予測のための基礎データとして組み込んだ。

(3) 津波漂流物の衝突を考慮した屋外液体貯蔵タンクの限界浸水深

典型的な屋外液体貯蔵タンクを対象とし、漂流物の衝突確率を算定した。次に漂流物の有無による衝突力を求め、タンクの限界浸水深を比較・検討した。

また、漂流物の有無による補強されたタンク(図 4)の限界浸水深への影響を調査した。

得られた結果を以下に示す。

- ①タンクの形状比が小さいとき、津波漂流物の衝突力を考慮すると、内液比が小さい範囲で限界浸水深が低下する。
- ②漂流物の衝突が生じる場合、アンカーのせん断が卓越して限界浸水深が決定する内液比率の範囲は広い。

(4) 2018 年台風 21 号の高潮による西宮市、および神戸市の自動車火災

2011 年東日本震災の津波によって、10 件の自動車火災が発生しており、そのうち 8 件が浸水深 3 m 以下で発生していた。そのほとんどが、家屋の火災からの類焼ではなく、自動車それ自身が火元となっていた。茨城県日立港では輸出用として積み出される直前の自動車数百台が焼失した。この事例は、あきらかに家屋火災からの類焼などではなく、自動車自身から発火した事例であることを示している。海水がバッテリーをはじめとする電気系統に海水が浸水した場合、電氣的ショートが発生して発火すると想定される。

2018 年には、大きなヒントになる 2 件の自動車の多数浸水事例が発生した。すなわち、同年 9 月 4 日に近畿地方を縦断した台風 21 号による大阪湾の高潮の事例と、同年 7 月の豪雨による岡山県倉敷市真備町の洪水の事例である。

神戸市内では、9 月 4 日に六甲アイランドの土地のほぼ全域が「膝ぐらいまで」浸水した。4 日に高潮来襲中から火災が発生し始めた件数としてはこれが一番多かったが、高潮が去った後も断続的に自動車火災の発生があった。高潮の影響が全くなくなった 5 日にも、海水による浸水を受けた自動車の中に出火するものがあった。

甲子園浜一丁目の人口島の西側にある中古車販売会社の中古車展示場にあった自動車が、高潮の来襲中、および高潮が去った 4 日中に集中的に火災があった。焼失した全 198 台の自動車のうち大部分は 4 日の火災によるものであった。その後の翌 5 日から 6 日にかけても、断続的に発火が続いた。

2018 年 7 月には連日の豪雨によって岡山県倉敷市真備町の平野部のほぼ全域が浸水した。多数の自動車が浸水した。しかしながら、浸水した自動車の中に火災を発生したものは 1 台もなかった。真水の浸水では自動車から火災は生じない。

(5) 津波瓦礫の拡散抑制に資する街路樹等による評価モデルの構築

2011 年の東北地方太平洋沖地震の津波において、街路樹等による漂流物の捕獲を決定する要因またはその能力については定量的に調べられていない。これらの要因の定量的評価は、津波の浮遊物によって引き起こされる二次被害を抑制するための樹木連立の戦略につながる可能性がある。樹木が被害を軽減する能力を高めるためには、それらの物理的な制約を特定する必要がある。現地調査では、たとえ個々の浮遊物が木々の間の距離より小さくても、浮遊物の統合された塊が木々によって捕らえられることが明らかとなった。水理実験では物理的要因と漂流物の捕獲の間の関係を明らかにした。これらの関係から、樹木連立の捕獲能力を評価するための簡単な公式を導き出した。我々のモデルからの推定値は宮城県多賀城市における 2011 年の津波の実際の結果とも一致した。

(6)まとめ

広く、南海トラフ地震による津波瓦礫の堆積を予測し、かつ津波火災の予測が可能になった。防火には、車両のバッテリーの短絡を防止する装置の開発が有効であり、街路樹等による瓦礫の拡散抑止を評価するモデルを構築した。

<引用文献>

- ①廣井 悠ほか, 東日本大震災における津波火災の調査概要, 地域安全学会論文集, No. 18, 2012. 11
- ②国土交通省: 循環型社会および安全な環境形成のための建築・都市基盤整備技術の開発まちづくりに関する防災評価・対策技術の開発,
<http://www.nilim.go.jp/lab/jdg/soupuro/0.pdf>, 参照 2019-5-16.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①Kentaro Imai, Akihiro Hayashi, Fumihiko Imamura, Evaluation of the ability of lines of trees to trap tsunami flotsam, Coastal Engineering Journal, refereeing, 2018, 1-10
- ②今井健太郎、橋本隆司、澁江柁哲、増田達男、津波瓦礫の堆積量とその分布の簡易評価手法に関する検討、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、査読有、Vol. 75、2019、印刷中

[学会発表] (計 9 件)

- ①増田達男、林 吉彦、橋本隆司、延焼シミュレーションによる危険度マップの作成、日本火災学会研究発表会概要集、2017
- ②都司嘉宣、増田達男、2011 年東日本大震災の津波火災の発生条件、津波工学研究報告第 35 号、2017
- ③都司嘉宣、増田達男、2011 年東日本震災津波による市街地火災の発生条件、日本地球惑星科学連合 2018 年大会、2018
- ④今井健太郎、橋本隆司、澁江柁哲、増田達男、津波瓦礫の堆積量とその分布に関する簡易評価手法の基礎的検討、第 37 回日本自然災害学会学術講演会、2018
- ⑤増田達男、今井健太郎、橋本隆司、澁江柁哲、東北地方太平洋沖地震における津波瓦礫の堆積要因、日本火災学会研究発表会概要集、2018
- ⑥西村 督、津波漂流物の衝突を考慮した液体貯蔵タンクの限界浸水深、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北)、2018
- ⑦岩見達也、増田達男、橋本隆司、津波被災家屋から生じた瓦礫の燃焼性状に関する実験的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北)、2018
- ⑧都司嘉宣、増田達男、2018 年台風 21 号の高潮による西宮市、および神戸市の自動車火災について、津波工学研究報告第 35 号、2019、印刷中
- ⑨増田達男、橋本隆司、東北地方太平洋沖地震における津波火災に関する堆積瓦礫、日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)、2019、印刷中

[その他]

- ①金沢工業大学 研究室ガイド <https://kitnet.jp/laboratories/lab0118/index.html>
- ②金沢工業大学産学連携支援部 研究シーズ
https://www.kanazawa-it.ac.jp/www/seeds/data201709/KIT_seeds201709-097.pdf

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：永野 紳一郎

ローマ字氏名：NAGANO, Shinichiro

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：建築学部

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：40329371

(2)研究分担者

研究分担者氏名：岩見 達也

ローマ字氏名：IWAMI, Tatsuya

所属研究機関名：国立研究開発法人建築研究所

部局名：住宅・都市研究グループ

職名：主任研究員

研究者番号（8桁）：20370744

(3)研究分担者

研究分担者氏名：今井 健太郎

ローマ字氏名：IMAI, Kentaro

所属研究機関名：国立研究開発法人海洋研究開発機構

部局名：地震津波海域観測研究開発センター

職名：技術研究員

研究者番号（8桁）：20554497

(4)研究分担者

研究分担者氏名：都司 嘉宣

ローマ字氏名：TSUJI, Yoshinobu

所属研究機関名：公益財団法人深田地質研究所

部局名：その他部局等

職名：研究員

研究者番号（8桁）：30183479

(5)研究分担者

研究分担者氏名：三戸部 佑太

ローマ字氏名：MITOBE, Yuta

所属研究機関名：東北学院大学

部局名：工学部

職名：講師

研究者番号（8桁）：60700135

(6)研究分担者

研究分担者氏名：林 吉彦

ローマ字氏名：HAYASHI, Yoshihiko

所属研究機関名：国立研究開発法人建築研究所

部局名：防火研究グループ

職名：グループ長

研究者番号（8桁）：70212157

(7)研究協力者

研究協力者氏名：西村 督

ローマ字氏名：NISHIMURA, Toku

(7)研究協力者

研究協力者氏名：藤田 洋司

ローマ字氏名：HUJITA, Yoji

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。