

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360254

研究課題名(和文) 巨大津波による大規模火災の解明と予測手法の構築

研究課題名(英文) Researching post-tsunami fires to develop a methodology to predict damages resulting in the event of future disasters

研究代表者

増田 達男 (MASUTA, Tatsuo)

金沢工業大学・環境・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) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災の津波火災を解明し、今後の予測手法を構築する研究である。最初に公開情報と現地調査によって気仙沼湾とその沿岸地域における津波火災の一連の経緯を把握した。次に大型実験水槽に同地域の縮尺地形(垂直方向1/100)を制作し、人工津波を発生させて木質瓦礫と重油の挙動を解析し、津波数値計算とも照合した。併行して水槽に重油を浮かべた海上火災実験を行い、風速と延焼速度の関係を測定した。次に同地域の瓦礫発生量を算出し、瓦礫火災および市街地火災をシミュレーションで再現した。この再現結果の適性を確認することにより、予測手法を構築した。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is clarification of tsunami fires, and to develop a methodology to predict damages resulting in the event of future disasters. First, the chain of circumstances about tsunami fires have been clarified by the open information and the inquiring survey in Kesennuma bay area. Next, the movements of tsunami flow with debris models have been experimented by generating a artificial tsunami in the scale terrain model of large aquarium. And these movements have also been checked by tsunami simulator. In another experiment, the relationships of wind speed and fire spread speed have been measured by burning heavy oil and debris models in water tank. At the end, the tsunami fires have been reproduced by PC simulation program with calculated debris amounts on Geographic Information Systems in this area. As a result, the methodology to predict damages in future disasters have been developed by verifying this reproducibility.

研究分野：住宅計画・都市計画

キーワード：津波火災 東日本大震災 水槽実験 瓦礫堆積 聞き取り調査 海上火災 津波数値計算 予測手法

1. 研究開始当初の背景

(1) 津波火災の脅威

東日本大震災では巨大津波による大規模火災が各所で発生した。この震災による半数近くが過去にほとんどその類例を見ない津波による火災であることに驚かされた。人類史上初めてともいえる広域にわたる津波火災の発生メカニズムは、大きな疑問であった。

(2) 市街地火災シミュレーション

過去10年来、我が研究チームは、国土技術政策総合研究所および建築研究所が共同で開発した「市街地火災シミュレーションプログラム」を用いて、木造密集市街地の延焼危険性と防火対策を研究した。このシミュレーション手法は、今後の津波火災の予測に大いに活用できると考えた。

2. 研究の目的

(1) 津波火災の解明

巨大津波による大規模火災の発生は過去に類例を見ない大惨事であった。地震国日本においては、今後とも巨大津波の襲来が予想される。したがって、津波火災は最も緊急を要する重要課題のひとつとして位置づけられた。そのため、津波火災の解明を第一の目的とした。

(2) 予測手法の構築

これまでの「市街地火災シミュレーションプログラム」研究の成果を生かすことにより、今後も起こりうる巨大津波による大規模火災に備え、予測手法を構築することを第二の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 公開情報の収集と現地調査

巨大津波による大規模火災について、その実態を知るため、公開情報の収集と現地による観察および聞き取り調査を実施した。公開情報については、東日本大震災の被災地だけでなく、歴史的事例から国外の事例にわたって広く収集した。現地調査としては、多岐にわたる津波火災が発生した気仙沼湾とその沿岸地域において、主として罹災状況および地形の観察・撮影と、消防署および市役所を含めた公的機関および居住者への聞き取りを行った。



図1 大型水槽による瓦礫流動実験

(2) 瓦礫流動実験

巨大津波による大規模火災のメカニズムを明らかにするため、大型水槽(図1:15m×5m×1m)に気仙沼湾とその沿岸地域の縮尺地形(図2)を制作し、人工津波を発生させて、木質系瓦礫および重油の流動を再現する実験を行った。その際、流動状態を正確に把握するため、撮影した動画記録をPCによる自動トラッキング解析手法によって定量的に把握した。併せて、津波数値計算と照合することにより、実験の有効性を検証した。

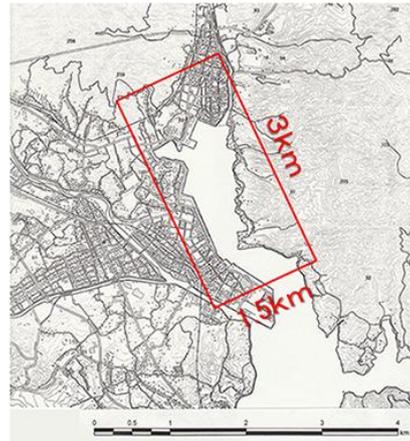


図2 縮尺地形の作成範囲
(国土地理院 1/10000)

(3) 海上火災実験

気仙沼湾とその沿岸地域においては、重油の流出(図3)により海上火災が発生して被害



図3 流出した石油タンク基地の位置
(国土地理院 1/10000)

が増大した。重油と木質系瓦礫の海上火災を再現するため、大型風洞装置に鉄製の水槽(図4:4m×1m×0.5m)を設置し、水上に重油と木材クリブ(図5)を浮かべ、温度測定装置および重量測定装置を設置して、燃焼実験を行った。

(4) 予測手法

予測手法としては、津波数値計算により木造家屋が破壊される浸水深2m以上の範囲を抽出して地理情報システムにより瓦礫量を算出する。次に、瓦礫流動実験結果から瓦礫の堆

積率と分布状態を導いた。次に「市街地火災シミュレーションプログラム」にもとづいて「瓦礫火災シミュレーションプログラム」を新たに作成し、これによって瓦礫火災を予測

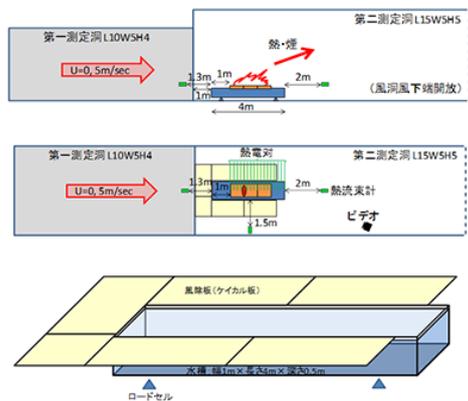


図4 大型風洞装置と実験水槽（鉄製）

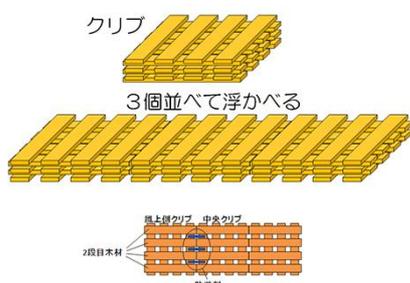


図5 瓦礫に見立てた木材クリブ

する。続いて、津波を免れた市街地への延焼を「市街地火災シミュレーションプログラム」によって予測する。海上火災については、津波数値計算による引き波と海上での瓦礫の流動状態をベースとして、海上火災実験による延焼速度等を重ねることにより予測することとした。

4. 研究成果

(1)津波火災発生の一連の経緯
公開情報から歴史的経緯を辿ることにより、重要素として、昭和初期以降に石油系燃料が普及したことにより、津波火災が発生するようになった事実を明らかにした。公開情報と現地における観察・聞き取り調査(図6)から、気仙沼湾とその沿岸地域における津波火災



図6 被災後のケアハウスみなみ 撮影：後藤久美氏（施設長）

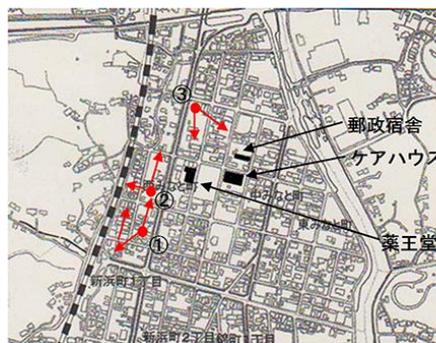


図7 津波火災の調査結果（鹿折地区）
（国土地理院 1/10000）

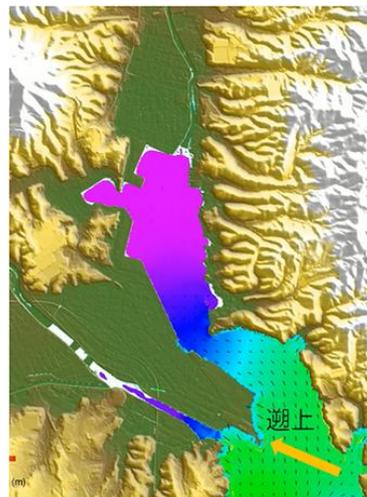


図8 津波数値計算

(図7)の一連の経緯を把握した。主として、時刻、瓦礫流動および重油流動、陸上火災および海上火災の発生、陸上火災および海上火災の延焼の面からとらえることにより、木質系瓦礫と重油の混合により冠水状態での火災と海上での火災が発生して被害が増大した事実を明らかにすることができた。同時に津波数値計算(図8)によって時刻と津波の流動および遡上の動態を確認検証した。

(2) 瓦礫流動特性

人工津波発生装置を備えた大型水槽に縮尺地形を制作して木質系瓦礫の流動実験を実施した。一連の経緯を動画撮影し、PCによる自動トラッキング解析手法(図9)によって、明瞭かつ定量的に把握することができた。津波の遡上によって、その先端で木質系瓦礫が

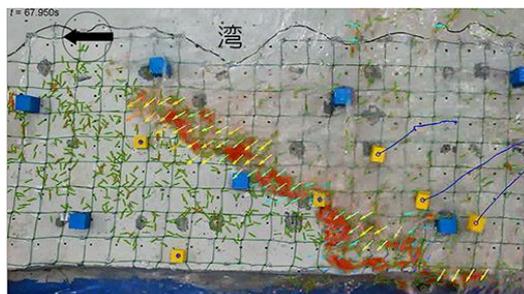


図9 瓦礫流動のトラッキング解析

次々に浮かび上がることから、瓦礫が塊状に集合して運ばれる状態がとらえられた。また、陸上における津波の到達線上で運搬エネルギーがゼロになることから、引き波の直前に大量の瓦礫が堆積するメカニズムが明らかとなった。その後引き波によって運び去られた瓦礫のうち、陸上に広く残留するものと、海上に引き込まれ漂流するものに分かれることになる。同時に、この、堆積、残留、漂流する瓦礫の量をそれぞれ測定した。なお、瓦礫の流動状態は間接的に重油の流動状態を表しているため、石油基地のタンクが倒壊して重油が流出拡散した経緯を追跡することができた。

(3) 海上火災実験

大型風洞装置に鉄製水槽を設置して、水上に重油を浮かべ、これに木質系瓦礫に見立てた木材クリブを浮かべて海上火災としての燃焼実験(図10)を行った。その結果、重油と木質系瓦礫が重油に浸された状態では、陸上での延焼火災よりも速く燃焼することが明らかとなった。同時に、風速と燃焼速度の関係を系統的に測定した(図11)。さらに、燃焼が水上に広がった重油面に着火すると一層激しく燃焼する状態がとらえられた。以上によって水面への重油の流出が極めて危険であることを確認することができた。なお、重油のない水面では木質系瓦礫はほとんど延焼しなかつた。



図10 海上火災実験

100℃を超えた時刻(点火時点を0:00とする)

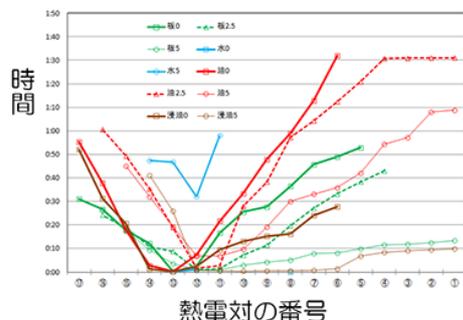


図11 風速と燃焼速度の関係

(4) 津波火災の予測手法

津波火災の予測手法としては、津波数値計算から木造家屋が破壊される範囲を抽出し、地理情報システムにより瓦礫量を算出した。前述の瓦礫流動実験結果から瓦礫の堆積分布を

導いた。これによって「瓦礫火災シミュレーションプログラム」(図12)により瓦礫火災を予測するとともに、津波を免れた市街地への延焼を「市街地火災シミュレーションプログラム」によって予測することが可能となった。海上火災については、津波数値計算による引き波と海上での瓦礫の流動状態に、前述の海上火災実験結果から得られた風速ごとの延焼速度を重ねることにより延焼状態を予測することが可能となった。

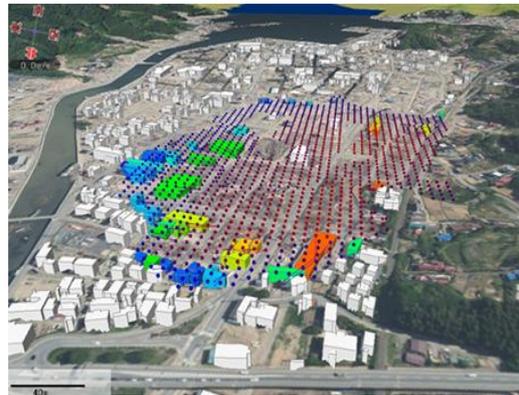


図12 瓦礫火災シミュレーション

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ①都司嘉宣、増田達男、2011年東日本震災の津波に伴う火災発生に関する研究、津波工学研究、査読無、第32号、2015、印刷中

〔学会発表〕(計8件)

- ①岩見達也、林吉彦、増田達男、津波被災時の海上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(関東)、2015年9月4日、「東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)」
- ②山下利史、増田達男、永野紳一郎、林吉彦、気仙沼湾とその沿岸地域の津波火災に関する瓦礫流動実験、日本建築学会北陸支部研究報告集、第58号、2015年7月12日、「長岡造形大学(新潟県長岡市)」
- ③増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、今井健太郎、三戸部佑太、橋本隆司、気仙沼湾岸地域の津波火災に関する水槽実験、平成27年度日本火災学会研究発表会概要集、2015年5月17日、「山形大学工学部(山形県米沢市)」
- ④増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、橋本隆司、湾岸地域の津波火災に関する水槽実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、2014年9月12日、「神戸大学国際文化学部(兵庫県神戸市)」
- ⑤増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、橋本隆司、湾岸地域の津波火災に関する水槽実験、平成26年度日本火災学会研究発

表会概要集、2014年5月28日、「東京理科大学森戸記念館（東京都新宿区）」

- ⑥橋本隆司、増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、気仙沼市における津波火災の経緯、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、2013年8月30日、「北海道大学札幌キャンパス（北海道札幌市）」
- ⑦増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、橋本隆司、気仙沼市における津波火災の経緯、平成25年度日本火災学会研究発表会概要集、2013年6月9日、「熊本大学工学部（熊本県熊本市）」
- ⑧増田達男、永野紳一郎、林吉彦、岩見達也、気仙沼市における津波火災の経緯、日本建築学会北陸支部研究報告集、第56号、2013年5月19日、「金沢工業大学（石川県野々市市）」

〔その他〕

ホームページ等（計21件）

- ①金沢工業大、朝日新聞の公式YouTubeサイト、金沢工業大が気仙沼を模し大型人工津波実験、2013年12月21日
- ②増田達男、yahoo ニュース、津波火災、解明へ 人工の波、模型実験 震災受け、金沢工大、2013年12月20日
- ③金沢工業大学、日本経済新聞、津波火災発生仕組み解明へ、2013年12月19日
- ④増田達男、NHK金沢「かがのとイブニング」、2013年12月19日
- ⑤金沢工業大学、日本経済新聞、津波火災の原因探る、2013年12月14日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

増田達男 (MASUTA, Tatsuo)
金沢工業大学 環境・建築学部 教授
研究者番号：70125095

(2) 研究分担者

永野紳一郎 (NAGANO, Shinichiro)
金沢工業大学 環境・建築学部 教授
研究者番号：40329371

(3) 研究分担者

岩見達也 (IWAMI, Tatsuya)
国土技術政策総合研究所
総合技術政策研究センター 研究員
研究者番号：20370744

(4) 連携研究者

林 吉彦 (HAYASHI, Yoshihiko)
建築研究所 防火研究グループ
上席研究員
研究者番号：70212175

(5) 研究協力者

都司嘉宣 (TUJI, Yoshinobu)
深田地質研究所 研究員
研究者番号：30183479

(6) 研究協力者

今井健太郎 (IMAI, Kentaro)
東北大学 災害科学国際研究所 助教
研究者番号：20554497

(7) 研究協力者

三戸部佑太 (MITOBE, Yuta)
東北大学 工学（系）研究科（研究院）
助教
研究者番号：60700135

(8) 研究協力者

橋本隆司 (HASHIMOTO, Takashi)
日本海コンサルタント 地理情報部
担当グループ長