

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350473

研究課題名(和文) 津波・高潮氾濫流に粘り強い建物の安全照査のための数値計算技術の開発

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF NUMERICAL CALCULATION FOR DESIGN CRITERIA OF BUILDINGS UNDER FLOOD FLOW

研究代表者

小笠原 敏記 (OGASAWARA, Toshinori)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：60374865

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：低頻度であるがひとたび発生すれば大災害を引き起こす津波に対して、我々の生命・財産を守ることは必須であり、そのためにも建物の安全性の評価基準を確立することは強く要求される。既往研究では、単一建物に対する耐力評価の様々な検討が行われているが、街区規模における隣接した建物群に作用する津波氾濫の流体力の特性的把握は未解明と言える。本研究では、街区の建物群を3Dプリンターで正確に再現した模型実験を基に、各建物に作用する津波氾濫流の流体力を明らかにした。さらに、建物の津波耐力評価として、建物面積率および建物円形度の指標を提案し、建物倒壊の危険性を判断するための指標になり得ることを示唆した。

研究成果の概要(英文)：In the Great East Japan Earthquake, it was confirmed that the damage scales of immediate buildings within a block are different respectively. The evaluation method for tsunami force acting on the building group in the block will be required. To clarify the tsunami force for the buildings, the model experiments were performed using the model building group in the block reproduced by 3D printer. The method for evaluation of tsunami force acting on the buildings are investigated using the area and the shape of the building group. As a result, the tsunami force acting on the buildings in the back of the building of sea side has decreased markedly. The forces for the rear buildings also become small and uniform, regardless of the conditions of incident wave. Furthermore, it is proposed that the parameters used the area ratio and the circularity of the building group are new means for evaluation of tsunami force.

研究分野：海岸工学

キーワード：津波 水理模型実験 波圧

1. 研究開始当初の背景

岩手県三陸沿岸地域は、明治三陸津波(1896年)、昭和三陸津波(1933年)、チリ津波(1960年)など125年程の間に3回も被害を受けて来た津波常襲地帯である。その一方、台風の強度が強風下における海面境界層の乱流構造と高い相関を持ち、近年の温暖化の進行によって台風が強大化することが明らかになって来たことから(Emanuel, 2008)、三陸沿岸においても高潮災害のリスクも十分に検討する必要があると言える。

2011年東北地方太平洋沖地震津波(以下、2011年東北津波)では、建物被害は23,000戸以上となり、その被災状況は基礎部を残して流失する木造住宅や、鉄筋コンクリート造の建物が転倒する被害を受けた。一方で、津波入射方向に比較的大規模な残存建物がある場合や、構造仕様が優れているような低層木造住宅の場合、壁体や躯体の一部を損傷したものの流失を免れた例も報告されている(日本建築学会, 2011)。

このため、津波や高潮災害に強い建物を設計するためには、陸上遡上域における建物の被災メカニズムを正確に把握し、設計超過外力の作用時にも流失・全壊を回避し、命を守る一時避難所になるような最低限の機能を維持し続ける「粘り強い建物」としての機能付加が重要となる。しかしながら、津波や高潮の遡上はん濫流が建物に作用した場合に、流体と建物が複合的に作用し合っただけで破壊に至る現象は未解明と言える。粘り強い建物に対する安全性照査法を確立するためには、このような現象を解明することが不可欠である。このような現象の再現には、既存の数値計算技術では不十分であり、流体-建物の連成解析ができるよう革新的な数値計算技術が必須である。しかし、流体-建物が複合した挙動は未解明な点が多く、模型実験によってその挙動を再現して現象を解明し、その成果をもって数値計算技術の精度検証を行うことが必要である。

2. 研究の目的

低頻度であるがひとたび発生すれば大災害を引き起こす津波や温暖化に伴い強大化する台風によって生じる高潮に対して、我々の生命・財産を守ることは必須であり、そのためにも建物の安全性の評価基準を確立することは強く要求される。

そこで本研究では、津波・高潮遡上はん濫流に対しての建物の粘り強さを照査するための数値計算技術を確立すべく、流体-建物の連成解析可能な数値水槽を開発することを目的とする。このため、最初に可視化実験および現地観測より得られた遡上はん濫流発生条件を基に、粒子法を用いて数値水槽の開発を行う。次に、模型建物を設置した可視化実験結果と比較検証し、流体-建物連成解析が可能な数値水槽に発展させ、様々なはん濫流下における計算結果を基に、粘り強い建物の安

全照査の評価基準の確立を目指す。

3. 研究の方法

実験は、計測区間が長さ10m、高さ0.8m、幅1.0mの開水路を用いて実施した。上流側に備え付けられた貯水槽(長さ2.35m、高さ1.4m、幅1.0m)に水を貯め、コンプレッサーによりゲートを急開放させることによって、段波状の津波氾濫流を発生させた。そして、以下の各内容の検討を行った。

- (1) 津波氾濫流の準定常部を満たした流れとして、その中に設置された模型構造物周りの流体特性を検討する。特に、その前面と側面の水位、流速および圧力の関係を明らかにする。更には、準定常流中の構造物前面および側面の流速の推定を図る。
- (2) 津波氾濫流の陸域における遡上传播特性について検討する。特に、流速の鉛直構造およびフルード数を用いた建物の耐力評価式が提案されていることから、フルード数の鉛直分布を明らかにする。さらに、フルード数で表されるベルヌーイの定理と氾濫流の流体力との関係を明確にし、適用範囲を検証する。
- (3) 街区の建物群を3Dプリンターで正確に再現した模型実験を基に、各建物に作用する津波氾濫流の波圧を明らかにする。さらに、街区における各建物の必要津波耐力の評価方法について、建物群の面積または形状を指標とした検討を行う。

4. 研究成果

- (1) 準定常流中における構造物周りの流体特性

図-1は、構造物側面の正の圧力 P_s と前面の圧力 P_f の比 P_s/P_f と無次元入射水位 h_i/h_0 の関係を示す。 P_s/P_f の値は、側面の位置に依らず、入射水位の増加に連れて徐々に減少するようになり、側面の圧力は、前面の圧力よりも小さくなる。特に、後端部の圧力比の減衰が大きく、その圧力は、入射水位の増加に伴い前面の圧力の約8割から2割にまで小さくなる。さらに、構造物側面の中央部での圧力は、前面の圧力よりも6~7割程度になり、前端部で

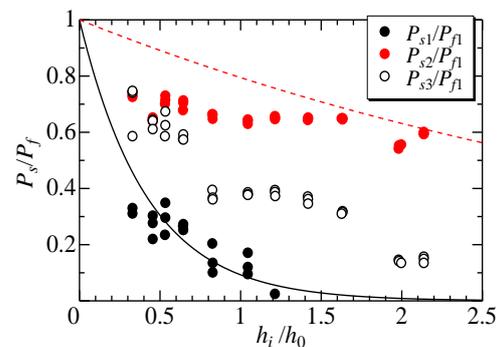


図-1 構造物前面および側面の圧力比 P_s / P_f と無次元入射水位 h_i / h_0 の関係

は4割を下回ることがわかる。この前端部での圧力比は、下限値と見なすことができ、無次元入射水位を変数とした指数関数の関係を適用して表すことができる。

(2) 津波氾濫流の鉛直構造および流体特性

各貯水位 H におけるフルード数 Fr の鉛直分布の時間変化 ($t=1\sim 12s$) を図-2 に示す。なお、縦軸は浸水深で正規化した値である。最大流速相当の時刻 $t=1s$ では、 Fr の値は底面に近いほど大きく、水面にかけて減少するようになる。その後の Fr の値は、時間経過に依らず概ね一様な鉛直分布を示す。また、この流れは、時間の経過に伴い射流から常流へと流れの状態を変化させていることがわかる。以上より、最大流速時では、鉛直位置でフルード数が大きく変化する可能性があるため、建物の耐力評価に Fr を用いる際、浸水深および流速の計測位置を考慮する必要があるものと考察される。

津波が衝突し急激な水位の上昇が生じる過

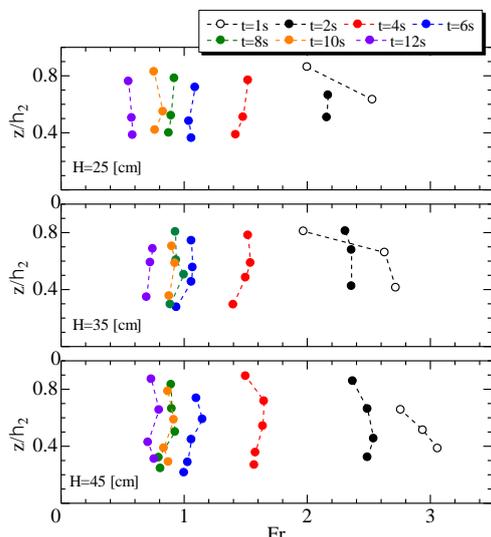


図-2 各貯水位 H におけるフルード数 Fr の鉛直分布の時間変化

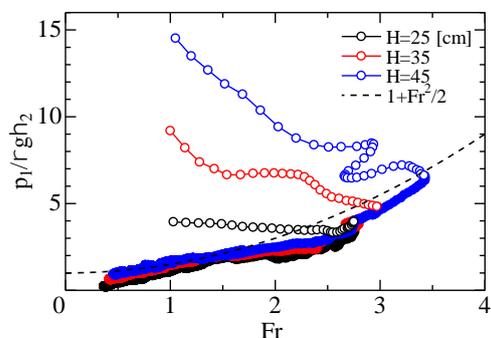


図-3 圧力 p_1 を通過波浸水深 h_2 で無次元化した値とフルード数 Fr の関係 (open dots : $1 \leq Fr \leq Fr_{max}$ の無次元波圧, closed dots : $Fr \geq Fr_{max}$ の無次元波圧)

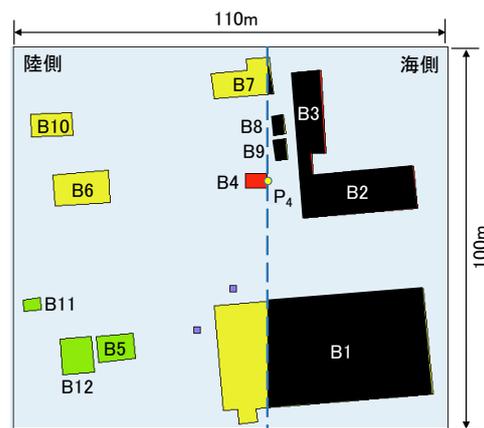


図-4 建物面積率の算出方法 (建物 B4 に着目した場合)

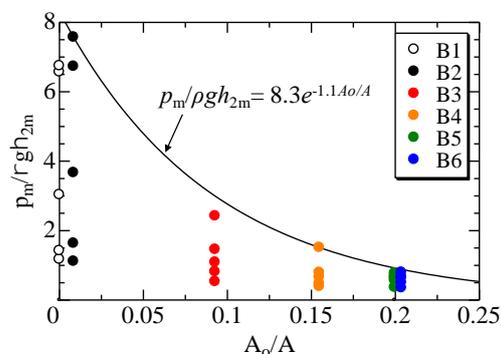


図-5 建物面積率 A_o/A と各建物の無次元最大波圧の関係

程で Fr 数が最大値となり、そこまでは非定常な状況となるが、 Fr 数が最大値となって以降は準定常的な取り扱いが可能となり、通過波の浸水深で無次元化された非エネルギーによって説明出来ることが分かった (図-3)。

(3) 街区における建物群の津波耐力評価

建物群に作用する津波氾濫流の波圧は、着目する建物に関連した建床面積に依存すると見なし、街区面積に占める建物の面積率で津波耐力評価を行う。具体的な面積率の求め方として、例えば図-4 に示すように着目する建物が B4 の場合、その建物前面 (図中の破線) より前方 (海側) に存在する建物の総建床面積 A_o (図中の黒色部分) を求め、街区面積 A に占める建物面積率 A_o/A を算出する。

図-5 は、B1 から B6 までの各建物面積率 A_o/A と無次元最大波圧との関係を示す。建物面積率 A_o/A の値は、当然ながら陸側の建物になる程大きくなり、建物に作用する波圧に違いが生じるようになる。建物 B1 および B2 では、入射する津波の規模に依存した波圧の力を受けるが、前方に建物が存在する建物 B3~B6 では、入射波の規模による差が徐々に小さくなるのがわかる。さらに、各建物面積率

における無次元最大波圧を包括するように回帰式を求めると、次式のような指数関数として表すことができる。

今後の課題として、津波・高潮の遡上はん濫流に対する粘り強い建物の安全照査のための数値計算技術の確立するため、実験結果に基づいた流体-建物連成解析が可能な数値水槽の開発に発展させる必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

- (1) 川崎浩司, 金明奎, 下川信也, 村上智一 (2016): 巨大地震・台風の複合災害による大阪湾沿岸部の高潮浸水予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_13-I_18.
- (2) 川崎浩司, 下川信也, 村上智一 (2016): 超巨大台風による伊勢湾湾奥部における高潮浸水予測, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_211-I_216.
- (3) 小笠原敏記, 三橋寛, 室井宏太, 水野辰哉 (2016): 街区内における建物群の津波耐力評価に関する模型実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 72, No. 2, I_943-I_948.
- (4) 村上智一, 小笠原敏記, 下川信也 (2015): 岩手県宮古湾における河川起源の土砂輸送に関する数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_1213-I_1218.
- (5) 小笠原敏記, 室井宏太, 三橋寛 (2015): 陸域における津波氾濫流の鉛直構造およびその流体力の特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_913-I_918.
- (6) 小笠原敏記, 三橋寛, 堺茂樹 (2014): 準定常流中における構造物周りの流体特性に関する水理実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, I_316-I_320.
- (7) 小笠原敏記, 岩間俊二, 堺茂樹 (2014): 岩手県普代村における太田名部漁港施設の津波減衰効果に関する数値解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, No. 2, I_301-I_305.
- (8) 村上智一, 古谷龍太郎, 小笠原敏記, 下川信也 (2014): 岩手県宮古湾における東北地方太平洋沖地震津波後の水質環境の現地観測, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70, No. 2, I_19-I_24.

〔学会発表〕(計10件)

- (1) 室井宏太, 小笠原敏記: 異なる入射角度の津波氾濫流による作用波圧の建物への影響, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2017. 3. 4, 東北工業大学 (宮城県・

仙台市).

- (2) 及田一樹, 小笠原敏記: 建物に及ぼす衝撃波および持続波の圧力分布に関する水理実, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2017. 3. 4, 東北工業大学 (宮城県・仙台市).
- (3) 室井宏太, 三橋寛, 水野辰哉, 小笠原敏記: 津波氾濫流の入射角度と建物への作用波圧およびその背後流れの関係, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2016. 3. 6, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).
- (4) 高泉留衣, 小笠原敏記, 岩間俊二: 岩手県久慈市における街区スケールに着目した建物の被害特性, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2016. 3. 6, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).
- (5) 三橋寛, 室井宏太, 水野辰哉, 小笠原敏記: 街区スケールの建物群に及ぼす津波氾濫流の流体力に関する水理実験, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2016. 3. 6, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).
- (6) 岩間俊二, 小笠原敏記, 柳川竜一: デスクトップ PC における実用的な津波数値計算の高速化手法, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2016. 3. 6, 岩手大学 (岩手県・盛岡市).
- (7) 小松広幸, 小笠原敏記: MPS 法による建物に作用する津波氾濫流の流体力について, 日本混相流学会混相流シンポジウム 2015, 2015. 8. 5, 高知工科大学 (高知県・香美市).
- (8) 小松広幸, 小笠原敏記, MPS 法による津波段波発生数値水槽の開発, 東北支部技術研究発表会, 2015. 3. 7, 東北学院大学工学部 (宮城県・多賀城市).
- (9) 室井宏太, 虻川佑太, 三橋寛, 小笠原敏記: 津波氾濫流による建物への衝撃力およびその流体特性に関する水理実験, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2015. 3. 7, 東北学院大学工学部 (宮城県・多賀城市).
- (10) 玉山幹也, 虻川佑太, 三橋寛, 小笠原敏記: 津波段波における流速分布の鉛直構造に関する水理実験, 土木学会東北支部技術研究発表会, 2015. 3. 7, 東北学院大学工学部 (宮城県・多賀城市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原 敏記 (OGASAWARA TOSHINORI)
岩手大学・理工学部・准教授
研究者番号: 60374865

(2) 研究分担者

村上 智一 (MURAKAMI TOMOKAZU)
国立研究開発法人防災科学技術研究所・水・

土砂防災研究部門・主任研究員
研究者番号： 80420371