

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510197

研究課題名（和文） 超過外力としての津波・高波による浸水と構造物被害の合理的予測法の研究

研究課題名（英文） Rational methods for predicting the inundation and structure damage by the tsunami or big waves as excess external force

研究代表者

山本 吉道（YAMAMOTO YOSHIMICHI）

東海大学・工学部・教授

研究者番号：70366087

研究成果の概要（和文）：巨大津波による大災害発生，地球温暖化や海岸侵食による海岸災害の多発が深刻化しつつある．それゆえ，これらの減災のために，被害予測法の改良を試みる．巨大津波については，浸水の合理的な予測法，構造タイプ毎に基本部材寸法と浸水深から建物の破壊程度を簡単に予測する方法，戻り流れによる洗掘量の予測方法を提案する．高波については，海岸堤防や護岸は洗掘と吸出しによって壊れる場合が多く，堤体前面の洗掘量と，堤体からの吸出し量を予測する方法，さらに，吸出し防止法を提案する．

研究成果の概要（英文）：The occurrence of large disaster by a great tsunami and the frequent occurrence of coastal disaster by the global warming and coastal erosion are becoming actual. So, the improvement of damage predicting methods was tried for the preparedness of these disasters. About huge tsunamis, a rational method for predicting tsunami inundations, a simple method for evaluating destruction grades of buildings with main part sizes and an inundation depth, and an easy method for predicting the scour by a back flow were proposed. As for big waves, because there are many coastal dikes and seawalls destroyed by scour and suction, easy methods for evaluating the scour in the front of a dike or a seawall and the suction from those bodies, and a suction preventing countermeasure were proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・(2202-B) 自然災害科学

キーワード：津波被害，高波被害，海岸災害の予測，減災，避難計画，海岸堤防・護岸の破壊限界，津波による家屋の破壊限界

1. 研究開始当初の背景

2004年12月26日に，スマトラ沖地震とこ

れに伴うインド洋津波が発生し，死者・行方不明者が30万人近い過去最悪の地震・津波災

害が生じた。地球上どこでも起こりうる自然災害に備え、甚大な被害、とりわけ人命の損失を防ぐことの重要性和困難さを再認識させられた。近年、このインド洋津波以外にも、2005年ハリケーン・カトリナ災害、1999年不知火海高潮災害のように、想定外の外力による自然災害が多発していることから、沿岸域の人口密集地帯で激化する台風や東海・東南海・南海巨大津波による大災害に備えて、ハザードマップ等による被害軽減が重要視され、これらの手法に基づく対策の整備の重要性が高まってきた。

津波ハザードマップについては、精度の高い現実的なイメージを与える動画タイプまで現れ、我が国沿岸での整備率は半分程度まで進んできたが、海岸堤防・護岸が壊れないことを前提にしている場合が多い。しかし、避難所や避難ルートが破堤によって水没したのでは困る。平成7年の神戸震災を受けて、全国で海岸堤防・護岸の耐震性はチェックされたが、津波に対しては未チェックの海岸が多数あった。特に、津波は高波に対して安全な遮蔽域にも進入し、戻り流れによる破壊力も大きいのである。

高波・高潮ハザードマップについても、精度の高い事例が現れ、我が国沿岸での整備もかなり進んできたが、海岸堤防・護岸が壊れないことを前提にしている場合がほとんどであった。堤防・護岸は、本来、高波・高潮に耐えられるように作られているが、その後の海岸侵食と洗掘によって、基礎部が弱体化していたので、近年、この海岸侵食を予測して、予防策を講じるようになってきたが、未だに、急激な洗掘に伴う吸出しには対処出来ない場合が多くあった。

2. 研究の目的

本研究では、水位上昇量、海岸侵食・洗掘量、津波や高波による破堤限界などの基本的条件を、これらによる被害機構の理解の基に、合理的に考慮した浸水と構造物被害の予測モデルの構築を試み、被害軽減の向上に資することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 津波被害の予測について：

まず、水理模型実験から津波、特に、戻り流れによる堤防・護岸の破壊機構（入射時のような大きな受動土圧抵抗が無い）に対する理解を深め、津波による破堤危険度を合理的に判定し対策工を提案できる評価法と、戻り流れ時の洗掘による破堤も軽視できないので、これの予測法も構築する。さらに、多数の被

災事例の分析から、陸上家屋の破壊機構に対する理解を深め、同破壊を合理的に評価できるモデルも構築する。

これらと開発済みの津波の陸域浸水予測モデルとを組み合わせれば、町役場でも、十分に細かな格子間隔で浸水予測を行い、現実的なハザードマップ等による減災対策を、低コストで実施できる手法を提供出来る。

(2) 高波・高潮被害の予測について：

山本ら(2005)などによると、堤防・護岸の津波による破堤は、進入波圧か戻り流れ時の冲向き水圧に対する力負けが主原因であるが、高波による極浅海域の破堤は、洗掘と吸出しが主原因である。また、水位上昇量と海岸侵食については、優れた予測法が提案されるようになった。それゆえ、堤体前面の洗掘量と堤体からの吸出し量の予測法の構築を試みる。

まず、水理模型実験から堤防・護岸の破壊機構に対する理解を深め、吸出しによる破壊の合理的な評価法と対策を提案する。同時に、既存の不規則波による地形変化数値モデルを改良し、現地データとの比較から簡便な洗掘量算定法も構築する。

これらと開発済みの高波・高潮浸水予測モデルとを組み合わせれば、町役場でも堤防・護岸の破堤も考慮した現実的なハザードマップ等による減災対策を、低コストで実施できる手段を提供出来る。

4. 研究成果

(1) 津波被害の予測に対して：

① 陸上構造物の破壊程度の予測については、首藤(1992)、松富(1994)、飯塚・松富(2000)などが、被災事例を基に構造物タイプごとに経験的な破壊規準をまとめているが、本研究では、山本ら(2011)のラーメン構造の考え方に基づく被災事例解析から破壊機構をモデル化して、図-1に示すような、主要な材質別の建物破壊限界を、基幹部材寸法の違いを考慮して評価できる算定法と代表的算定図を提案し、開発済みの陸上浸水数値モデルと組み合わせた合理的被害想定法を構築した。図中の白丸（数値は柱の代表的間隔；単位はm）は2011東日本大震災時の被災事例で、主要な算定図について、被災事例を良く説明できることを示した調査成果を2012年土木学会論文集B2に投稿中である。

従来の強度計算を正確に行う設計法による広域の陸上構造物の安定性検討には、相当な経費（1構造物当り50万円程度で1000箇所あれば5億円程度）を要するが、外力と基本緒元を与えて比較的簡単な算定法か算定図か

ら破壊限界を評価できる本法では、かなりの低コストとなる(精度は30%程度低下するが、1構造物当たり1万円程度で1000箇所あれば1000万円ですむ)。

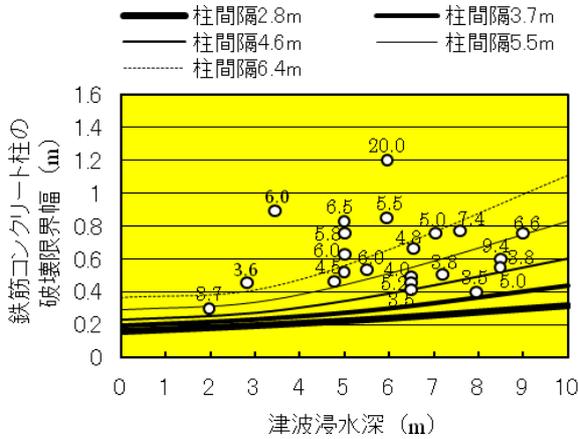


図-1 浸水深と鉄筋コンクリート柱の破壊限界幅との関係(算定図の一例)

② 海岸堤防・護岸の破壊評価については、進入波に対する評価法を谷本ら(1984), 朝倉ら(2000), 大森ら(2000), 飯塚・松富(2000), 池野ら(2001,2005), 有川ら(2005)などが、戻り流れに対する合理的な評価法を山本ら(2005,2009), Yamamotoら(2006)などが提案している。しかし、戻り流れに対しては、洗掘の影響が無視できないので、堀川ら(1983)や野口ら(1997)の研究に、水理模型実験による検討を加えて、山本ら(2011)と成吉ら(2012)は任意断面に対する洗掘予測法を構築した。

$$\frac{L_p}{L_t} = C_{al} \cdot C_{DL} \cdot C_{hL}, \quad L_t = u_{bmax} \cos \beta \times t_r$$

$$u_b = \sqrt{\frac{2 \sin \beta}{f}} \sqrt{gh_b}$$

$$C_{al} = \begin{cases} 0.9 \exp\{6.3(0.67 - \alpha)\} & (0.67 - \alpha) \geq 0 \\ 0.9 & (0.67 - \alpha) < 0 \end{cases}$$

$$C_{DL} = \exp\left\{-0.003 \left(\frac{D_{50} - D_{0.2mm}}{D_{0.2mm}}\right)\right\}$$

$$C_{hL} = \frac{1}{2} \left\{1.0 - \tanh\left(1.2 \sqrt{\frac{h}{h_b}} - 3.0\right)\right\}$$

$$d_{max} = \begin{cases} C_{Dd} \cdot C_{hd} \cdot C_e \times 0.44 \left(\frac{\sum E_y}{\rho g}\right)^{1/3} \\ C_{Dd} \cdot C_{hd} \cdot C_f \times 0.15 \left(\frac{\sum F_y \Delta t}{\rho \sqrt{gh_b}}\right)^{1/2} \end{cases}$$

$$C_{Dd} = \exp\left\{-0.027 \left(\frac{D_{50} - D_{0.2mm}}{D_{0.2mm}}\right)\right\}$$

$$C_{hd} = \frac{1}{2} \left\{1.0 - \tanh\left(1.6 \sqrt{\frac{h}{h_b}} - 3.0\right)\right\}$$

$$C_e = 1.11 \exp\left\{-0.038 \left(\frac{z}{h_b}\right)\right\}$$

$$C_f = 1.04 \exp\left\{-0.018 \left(\frac{z}{h_b}\right)\right\}$$

$$\sum E_y = \frac{1}{2} \rho \sum (u_{by} h_b \Delta t) u_{by}^2$$

$$\sum F_y \Delta t = \rho \sum (u_{by} h_b \Delta t) u_{by}$$

ここで、 L_p は最大洗掘位置までの水平距離、 L_t は同水平距離の計算値、 u_b は護岸上の戻り流れの流速、 β は陸側地盤勾配、 t_r は戻り流れが護岸天端から砂面に到達するまでの時間、 f は陸側地表面の摩擦係数、 g は重力加速度、 α は戻り流れの砂面への打ち込み角、 D_{50} は前面砂浜の中央粒径、 h は護岸前面水深、 h_b は護岸上の戻り流れの水脈深さ、 z は護岸天端から砂面までの落差、 d_{max} は最大洗掘深、 ρ は水の密度、 u_{by} は戻り流れが砂面に到達する瞬間における流速の鉛直方向成分、 Δt は累加時間間隔である。

開発済みの地形変化予測数値モデルと本洗掘算定法を用いれば、地形変化も考慮した堤防・護岸の安定計算が可能となる。本研究で改良された数値モデルによる浸水・地形変化計算法は、陸上浸水域と近海域だけの計算を可能にするため、陸側の条件を変えるたびに、離れた震源地から陸まで全域の計算をやり直す経費を節約でき、且つ、陸側の計算格子を細かくできる。本浸水・洗掘予測計算法と前述の構造物破壊限界評価法を組合せれば、町役場が、パーソナル・コンピュータを用いて、破壊条件の考慮や多数の陸域対策工の検討が簡単に行えるようになり、小地域単位の実情に即した減災対策が容易になる。

(2) 高波・高潮被害の予測法に対して：

高波による構造物の破壊評価については、高波の陸側影響範囲が狭いことから、堤防・護岸の破壊機構のみを対象とした。

本研究では、既往文献、現地踏査と水理模型実験から洗掘と吸出しによる破壊機構の理解を深め、改良した地形変化予測数値モデルを用いて、外力、前面水深と底質粒径が判れば洗掘量を予測できる算定図を作成し、2012年海洋開発シンポジウムと2012年土木学会論文集B3で近く発表する。さらに、吸出しによる破堤の評価法(山本ら, 2009, 2011)

を構築し、吸出し量予測モデルを 2012 年土木学会論文集 B2 に投稿中である。

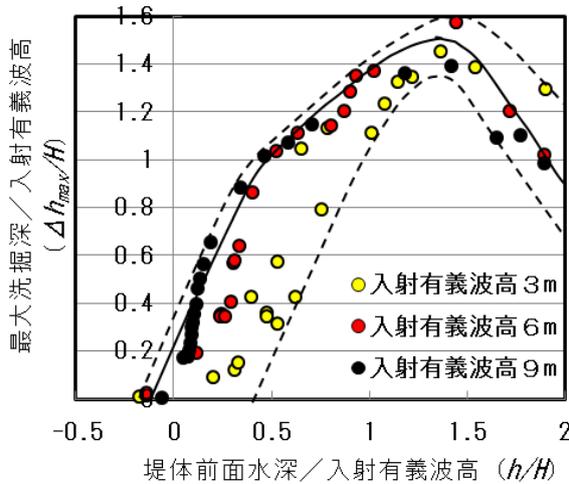


図-2 無次元堤体前面水深と無次元最大洗掘深との関係 (波形勾配 0.025, 主波向は堤体前面の直角方向)

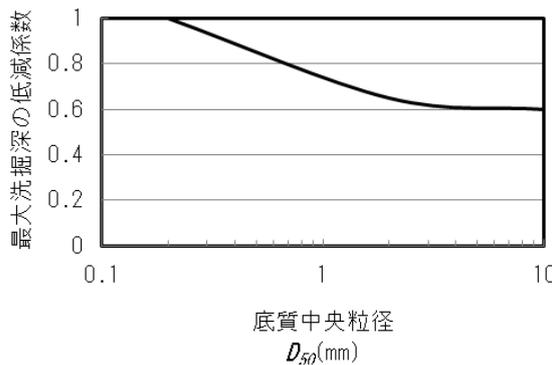


図-3 前面底質の中央粒径と最大洗掘深の低減係数との関係 (波形勾配0.025, 主波向は堤体前面の直角方向)

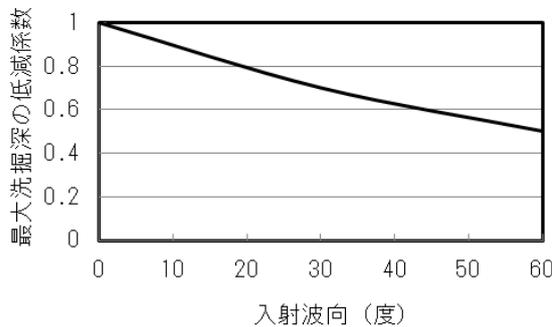


図-4 入射波向と最大洗掘深の低減係数との関係 (波形勾配0.025, 前面底質の中央粒径は0.2 mm)

三面張り堤防と二面張り護岸の安定性は、前面矢板下端の吸出し部での、戻り流れ時の有効剪断抵抗力 τ_R と最大剪断力 τ_F の差 (正味

の有効剪断抵抗力) で次の様に決まると考えた。

$$\text{原則的に非破壊: } \tau_R - \tau_F > 0$$

$$\text{半破壊～全壊: } \tau_R - \tau_F < 0$$

$$\tau_R = \{(\rho_s - \rho_w)gd - p_{ob}\} \tan \phi$$

$$\tau_F = \frac{f}{2} \rho_w v^2, \quad v^2 = \frac{2p_{ob}}{C\rho_w}$$

$$\frac{p_{ob}}{\rho_w g H} = 0.68 \left[\tanh \left(\frac{0.03H}{d} \right) \right]^{0.6}$$

$$C = \left(\frac{h}{H} + 1.0 \right)^{1.11}$$

ここで、 ρ_s は砂層の密度 (=1800kg/m³)、 ρ_w は海水の密度 (=1030kg/m³)、 g は重力加速度、 d は堤体前面の地表面から矢板下端までの砂層厚 (m)、 p_{ob} は矢板下端における戻り流れ時の過剰間隙水圧 (動の間隙水圧) の最大値、 ϕ は内部摩擦角 (砂質土ならば 30 度)、 f は剪断力係数、 v は戻り流れ時の最大流速、 C は戻り流れ時の流体力係数、 H は堤体前面から換算沖波波高の 5 倍ほど沖側位置での入射有義波高、 h は矢板下端までの水深である。

なお、洪水ハザードマップを作成している自治体は相当数に上るが、津波や高潮によって浸水する可能性大の箇所に、洪水時避難場所を設定している場合がある。また、津波や高潮のハザードマップ作成時に破堤を考慮していないため、破堤し浸水する可能性大の区間に避難ルートを設定している場合もある。本研究によって、津波や高潮による破堤判定に実用レベルでの根拠を与え、パーソナル・コンピュータによる現実的な浸水・家屋被害予測を可能にすれば、住民の避難等に一層有益な情報を与えることが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線:ウー博士以外の共著者は、山本が指導する学生)

[雑誌論文] (計12件)

- ① 山本吉道, 五百蔵政文, 比嘉了規, 海岸堤防・護岸の高波による被害予測の研究, 土木学会論文集B3 (海洋開発), 査読有, Vol.68, 2012, 10月公開予定 (掲載決定),
- ② 成吉兼二, 山本吉道, 石井俊輔, 津波による護岸前面洗掘と海底地形変化の予測モデルの改良, 土木学会論文集A1 (地震工学), 査読有, Vol.68, 2012, 6月公開

- 予定（掲載決定），
- ③ ナトワット チャラスロタテッチ, 山本吉道, ヴー タン カー, Trial of an Evaluation Method of the Building Damage by Tsunami, Journal of Earthquake and Tsunami, 査読有, Vol.6No.2, 2012, DOI(10.1142/S1793431112001279),
 - ④ ナトワット チャラスロタテッチ, 山本吉道, ヴー タン カー, Trial of Damage Evaluation by Indian Ocean Tsunami in Patong Beach of Thailand, Coastal Engineering Journal, 査読有, Vol.53No.4, 2012, DOI(10.1142/S0578563411002367),
 - ⑤ 山本吉道, ナトワット チャラスロタテッチ, 成吉兼二, 津波による陸域構造物被害の合理的評価法の提案, 土木学会論文集B 2 (海岸工学), 査読有, Vol.67 No.1, 2011, pp.72-91,
 - ⑥ 山本吉道, 成吉兼二, 比嘉了規, 海岸堤防・護岸の被災限界の研究, 土木学会論文集B 3 (海洋開発), 査読有, Vol.67No.2, 2011, pp. I-100~I-105,
 - ⑦ 山本吉道, 津波のおそろしさと生き残り方法, 東海大学紀要工学部, 査読無, Vol.51No.1, 2011, pp.1-8,
 - ⑧ 山本吉道, 成吉兼二, ヴー タン カー, 津波の戻り流れによる海岸洗掘・侵食予測方法の改良, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 査読有, Vol.65, 2009, pp.511-515,
 - ⑨ 山本吉道, 南宣孝, 高波による海岸堤防破壊メカニズムの実験的研究, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 査読有, Vol.65, 2009, pp.901-905,

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① 山本吉道, ナトワット チャラスロタテッチ, ウハ シカエ, Topographical change prediction of the beach or the seabed in the front of a coastal structure, Proc. 22nd International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 査読有, 2012.6.17-22発表決定, ギリシャ (ロードス島),
- ② 山本吉道, 成吉兼二, 比嘉了規, Study of the Destruction Mechanism of Concrete-Coated Coastal Levees by Waves, Proc. 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 査読有, 2011.6.19-24, pp.1133-1140, USA (ハワイ),
- ③ ナトワット チャラスロタテッチ, 山本吉道, ウハ シカエ, Effect of Coastal Prevention by Beach and Serious Problems in Some Coasts of the Gulf of Thailand, Proc. 21st International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 査読有, 2011.6.19-24, pp.1185-1192, USA (ハワイ),
- ④ ヴー タン カー, 山本吉道, ナトワット チャラスロタテッチ, Improvement of prediction methods of

coastal scour and erosion due to tsunami back-flow, Proc. 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, 査読有, 2010.6.20-25, pp.1053-1060, 中国 (北京),

〔図書〕（計 1 件）

- ① 山本吉道, ほかに16人, 日本専門図書出版, 日本の自然災害, 2012.09出版決定,

〔その他〕

ホームページ等

<https://www.ev.u-tokai.ac.jp/yamamoto/index.htm>.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 吉道 (YAMAMOTO YOSHIMICHI)
東海大学・工学部・教授
研究者番号：70366087