

建物破壊を考慮した津波陸域遡上モデルの検討

東北大学大学院

学生会員 ○林 里美・Bruno Adriano

東北大学災害科学国際研究所

正会員 Erick Mas・越村 俊一

1. 序論

津波による建物被害想定手法を高度化するためには、遡上津波力が建物の破壊において支配的であるという理由から、氾濫流速や作用波力に関連した被害予測式を利用することが望ましい。したがって、陸域を遡上する津波氾濫流速・作用波力の推定手法の高度化は、建物被害予測の精度向上において不可欠である。しかし、被害想定の実務で用いられる解析手法では、津波氾濫に伴う建物破壊および抵抗力の変化を考慮できないため、実際に起こりうる建物破壊有無の時間・空間的な発展に対応した遡上計算手法の必要性が指摘されている(林ら, 2013)。

そこで本研究では、津波氾濫流速の高精度予測を可能にする津波数値解析手法の整備を目的に掲げる。具体的には、異なる合成等価粗度モデルによる津波再現結果と実現象を比較することで、適切な陸域遡上計算条件を選定するほか、建物の存在・破壊を考慮した抵抗則の付与手法(以下、時間発展型合成等価粗度モデル)を提案する。

2. 適切な陸域遡上計算条件に関する検討

本研究では、図-1に示す仙台市若林区藤塚(F)、名取市閑上(Y)、名取市小塚原(K)を対象に、陸上域の最終計算格子間隔を10 mとする津波数値計算を実施した。初期条件として、仙台平野における再現性が良好なSatake et al.(2013)の津波波源モデルを採用した。

また、土地利用状況の変化による再現性の差異を確認するため、本稿では異なる計算ケース(被災前条件・被災後条件)を設定した。ここで、被災前条件は海岸線沿いの防潮林と全ての建物が存在している状況を、被災後条件は津波の来襲によって全ての防潮林と一部の建物が流失した状況を仮定した。

(1) 合成等価粗度モデルの概要と種類

合成等価粗度モデルとは、構造物による抵抗をそれと等価なManning粗度係数で置き換える手法である。油屋・今村(2002)の合成等価粗度係数 n_{ab} は、Morison式にならい、流水に作用する力が底面摩擦力と家屋抵抗力の合力であるとして、式(1)のように導かれる。

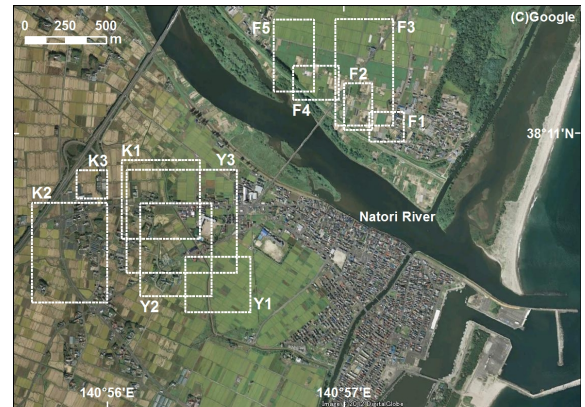


図-1 解析対象地域

$$n_{ab} = \sqrt{n_0^2 + \frac{C_D}{2gk} \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times D^{\frac{4}{3}}} \quad (1)$$

ここで、 n_0 :底面粗度、 D :水深、 k :家屋幅、 u :流速、 θ :家屋占有率、 C_D :抗力係数、 dx および dy :各方向の格子幅である。本モデルは簡便かつ精度が高いとされているが、式(1)は家屋占有率 $\theta = 100\%$ の場合に適用できないという問題がある。さらに、家屋占有率が小さい場合のみ適用が可能という提言もあることから、今井ら(2013)は合成等価粗度モデルの汎用性向上のため、新しい合成等価粗度係数 n_{im} として式(2)を示した。

$$n_{im} = \sqrt{\frac{100 - \theta}{100} \times n_0^2 + \frac{C_D}{2gk} \times \frac{\theta}{100} \times D^{\frac{4}{3}}} \quad (2)$$

(2) 津波遡上速度・流速の再現性検証

津波遡上速度と流速に関する再現性の検証結果を図-2に示す。図-2(a), (b)から、油屋・今村(2002)と今井ら(2013)のモデルでは、同等もしくは前者の方がより良好な再現性を示すことが明らかになった。特に、後者のモデルでは、内陸部でやや過大となる傾向が確認された。

一方、図-2(c)から、流速に関する再現性は両者共に同等、もしくは今井ら(2013)の方がより高い整合性を有することが分かった。しかし、海岸線付近では、いずれのモデルにおいても再現性が低下する結果となっている。この原因として、局所的かつ瞬間的に、実測値と計算値を比較していることが挙げられる。現段階では、実測値の測定時間と同じタイミングで計算値を抽出しているが、実

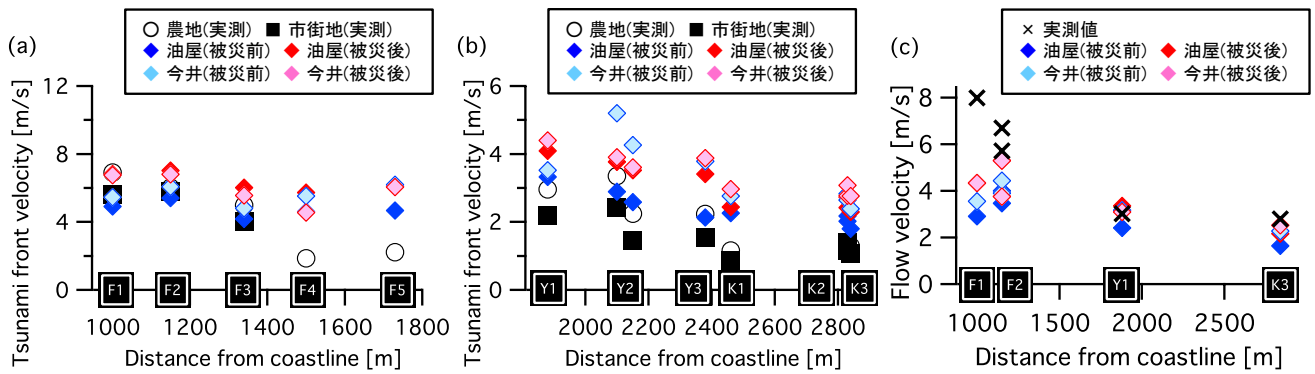


図-2 油屋・今村(2002)と今井ら(2013)の抵抗則を用いた計算値と実測値の比較. (a) 藤塚の遡上速度, (b) 関上・小塚原の遡上速度, (c) 藤塚・関上・小塚原の流速.

現象に比べ、シミュレーション上では緩やかに流速が上昇したため、過小評価の傾向を示した。

これら流速に関する検討結果のほか、津波浸水挙動や浸水深の再現性検証を踏まえ、本研究では今後、今井ら(2013)の合成等価粗度モデルを採用することとした。

3. 時間発展型合成等価粗度モデルの提案

津波の氾濫に伴う建物被害の拡大を再現するためには、各計算ステップにおいて建物の流失判定を行い、被害状況を粗度係数として反映・更新する必要がある。本稿では、津波外力と建物被害程度の関連性について論じた既往研究を参考に、建物流失基準の検討を行った。

(1) 木造建物の流失条件

既往津波の現地調査結果から、木造建物の被害程度および破壊基準は、主に浸水深や氾濫流速と関連づけて論じることが可能である(例えば、松富・首藤, 1994)。今次津波においても同様の傾向が確認されたことから、対象領域内における実際の被害状況を踏まえ、本研究では最高浸水深3 m以上の場合に着目した。すなわち、飯塚・松富(2000)が提案した、家屋に対する津波氾濫流の抗力式(抗力係数 $C_D = 1.1$)より算定された抗力 $F = 60.93 \text{ kN/m}$ 以上を閾値として、流失対象建物の選定を行い、抗力の降順に流失させることとした(表-1)。

(2) 鉄骨造・RC造建物の流失条件

鉄骨造およびRC造に関しては、松富ら(2013)の調査・検討から、浸水深や氾濫流速、抗力のみで被害度を論じることが困難であることが示されている。その一方で、建物の浸水縦断面積や開口率によって、破壊程度が良好に分類されることも明らかになった。本研究では、浸水縦断面積 A_C に関連付けられた被害限界を参考に、鉄骨造およびRC造の流失判定基準を決定した(表-1)。

表-1 本研究で設定した流失建物の判定基準

(F : 抗力 [kN/m], A_C : 浸水縦断面積 [m^2], h : 浸水深 [m])

木造	鉄骨造・RC造
$F \geq 60.93$	$A_C \leq 6.8 \times h$

4. 結論

本稿では、時間発展型合成等価粗度モデルの構築に向け、適切な陸域遡上計算条件の選定を行った。油屋・今村(2002)と今井ら(2013)の合成等価粗度係数に関して、流況再現性を検証することでモデルの妥当性を考察し、今後は後者を適用することとした。また、建物破壊に関する既往の知見および実際の被害状況を参考にして、時間発展型合成等価粗度モデルにおける建物の流失判定基準を設定した。今後は、この基準を津波数値計算に適用させることで、氾濫流速に関する推定精度の向上を図る。

参考文献

- 油屋貴子・今村文彦(2002): 合成等価粗度モデルを用いた津波氾濫シミュレーションの提案, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.276-280.
- 今井健太郎・今村文彦・岩間俊二(2013): 市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I.311-I.315.
- 林里美・成田裕也・越村俊一(2013): 東日本大震災における建物被害データと数値解析の統合による津波被害関数, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I.386-I.390.
- 松富英夫・決得元基・齋藤雅大(2013): 開口部を有する鉄筋コンクリート造建物に働く津波流体力に関する基礎実験, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I.326-I.330.
- 松富英夫・首藤伸夫(1994): 津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.246-250.
- Satake, K., Y. Fujii, T. Harada, and Y. Namegaya(2013): Time and Space Distribution of Coseismic Slip of the 2011 Tohoku Earthquake as Inferred from Tsunami Waveform Data, Bulletin of the seismological society of America, Vol.103, No.2B, pp.1473-1492.