

準3次元モデルと平面2次元モデルによる氾濫結合モデルの構築

名古屋大学 学生会員 ○ 鈴木 一輝

名古屋大学 学生会員 高杉 有輝

名古屋大学 学生会員 根笹 裕太

名古屋大学 学生会員 西浦 洋平

名古屋大学 正会員 川崎 浩司

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴う台風の強大化が指摘され、高潮災害の増加とその甚大化が懸念されている。我が国の三大都市は低平地に位置し、沿岸災害のリスクが高く、今後、激甚な高潮氾濫被害が生じる恐れがある。高潮災害を事前に検討する手段の一つとして、数値計算は極めて有効である。これまで、主に非線形長波理論に基づく平面2次元モデルが活用されてきたが、台風接近時には、強風による吹き寄せなどによって、海域では3次元的な流動場が形成される。Weisberg and Zheng (2008) は、平面2次元モデルと準3次元モデルによる高潮の計算結果を比較し、平面2次元モデルでは、高潮を過小評価すると指摘した。また、Weisberg and Zheng は、wet-dry point treatment method を用いることで、準3次元モデルによる陸域氾濫計算を実施している。このように、高潮を精度良く計算するためには、流動場の3次元性を考慮する必要がある。しかし、広域な氾濫過程を3次元的に計算することは、計算負荷の観点から効率的でないといえる。

そこで、本研究では、計算負荷の抑えた効率的な高潮氾濫解析の実施を目的に、海域流動を計算する準3次元モデルと氾濫計算を行う平面2次元モデルを接続した氾濫モデルを構築する。さらに、構築したモデルを用いて、有光ら (2012) の水理模型実験の再現計算を実施し、モデルの検証を行う。

2. 氾濫結合モデルの構築

本研究で構築するモデルは、海域と陸域において、異なるモデルを用いる。海域計算には、村上ら (2004) が開発した多重 σ 座標準3次元海洋モデル CCM (Coastal Currents Model) を、陸域氾濫計算には、川崎ら (2010) に基づく CIP (Constrained Interpolation Profile) 法を用いた平面2次元モデル (CIP モデル) を採用した。両モデルを接続することで、海域から陸域氾濫までを連続的に解くことが可能となる。図-1 に本モデルの概要を示す。本モデルでは、CCM から得られる陸域 (構造物) 前面部の水位 h_1 、CIP モデルからの構造物背後の水位 h_2 をもとに、本間 (1940) による越流公式を用いて越流量 Q を算出する。同越流量を次の時間ステップの境界条件に課し、各モデルの計算を実施する。なお、越流量の算定は、毎ステップ行うとした。

3. 数値計算の概要

本モデルの検証として、有光ら (2012) による水理模型実験との比較を行った。有光らは、矩形水路 (長さ 18.0m, 幅 0.5m, 高さ 0.5m) を用いて、貯水部のゲートを急開することで、段波状の波を発生させ、陸上に設置した構造物に作用する波圧、浸水深 H_i および水平方向流速 u_i を計測した。同実験では、構造物がない場合についても検討している。本研究では、構造物がない場合を対象に再現計算を実施した。設定した計算領域を図-2 に、検証に用いた有光らの実験条件を表-1 に示す。本計算では、海側 ($x > 6.8\text{m}$) に CCM を、陸側 ($x < 6.8\text{m}$) に CIP モデルを適用し、海側から陸側まで連続的に計算を実施した。その他の計算条件は、表-2 に示すとおりである。また、陸域と海域ともに CIP モデルを用いた再現計算についても実施し、モデルによる違いも検討する。

4. 計算結果と考察

防潮壁から陸側 2m の地点 (図-2 中 Pt.1) の水位および流速の計算結果と実験結果の比較を図-3 に示す。防潮壁から 2m 沖に津波が到達した時刻を $t = 0\text{s}$ としている。図-3(a)

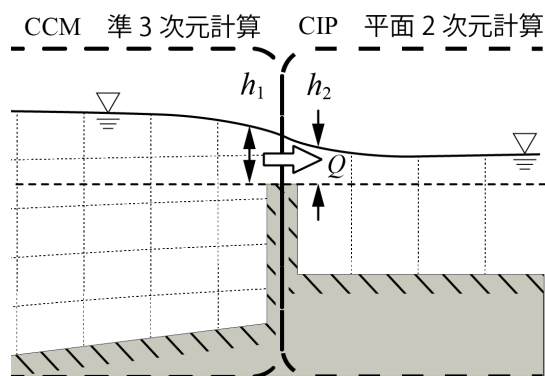


図-1 氾濫結合モデルの概要

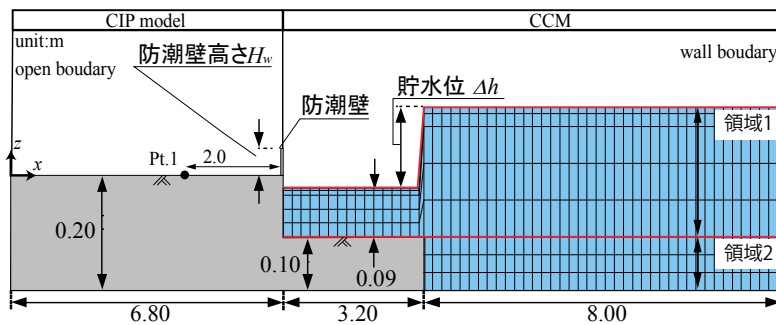


図-2 計算領域

に示す浸水深をみると、Case 1 では、水塊の到達直後の水位の立ち上がりを、計算結果は実験結果を若干過大評価している。しかし、その後の水位変動および他のケースでは、計算結果は実験結果を良好に再現している。図-3(b)に示す流速についても、計算結果と実験結果は概ね一致している。なお、実験結果では、水塊到達直後に流速の立ち上がりが小さいが、これは、実験において流速の計測にプロペラ流速計を用いたためと考えられる。図-4 は、Case 3 において、海域と陸域ともに CIP モデルを用いた場合と本モデルによる計算結果の比較を示したものである。本研究で対象とした水理現象は、水深方向にほぼ一様である。そのため、モデルにより水位の違いがあるものの、変動傾向は一致し、有意な差はみられなかった。

5. おわりに

本研究では、準 3 次元モデルと平面 2 次元モデルを接続した氾濫モデルを構築した。そして、水理模型実験の再現計算を実施し、本モデルによる計算結果が実験結果を良好に再現することがわかった。なお、本計算条件下では、全域に平面 2 次元モデルを用いた場合との違いはほとんどみられなかった。今後は、3 次元的な流動構造が形成される高潮を対象とした再現計算を実施し、本モデルの妥当性・有用性を検証するとともに、越波の影響についても検討する予定である。

【参考文献】 [1]Weisberg and Zheng (2008) : Hurricane storm surge simulations comparing three-dimensional with two dimensional

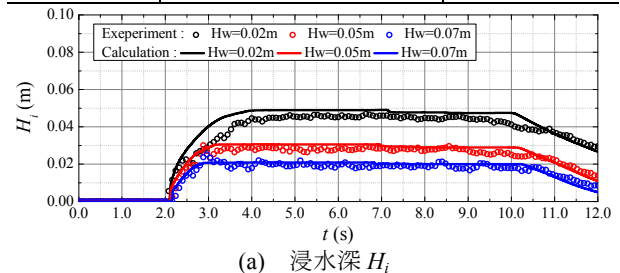
formulations based on an Ivan-like storm over the Tampa Bay, Florida region. J. Geophys. Res., Vol. 113, 17pp. [2]村上智一・安田孝志・大澤輝夫 (2004) : 気象場と結合させた湾内海水流動計算のための多重 σ 座標モデルの開発, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.366-370. [3]川崎浩司・丹羽竜也・水谷法美 (2010) : 高波の影響を考慮した高潮・高波氾濫モデルの構築とその精度検証, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No. 1, pp. 196-200. [4]有光 剛・大江一也・川崎浩司 (2012) : 構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波圧の評価手法に関する水理実験, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 1_776- 1_780. [5] 川崎浩司, 小野稔和, Napaporn PIAMSA-NGA, 熱田浩史, 中辻啓二 (2004) : CIP 法と SMAC 法に基づく平面 2 次元氾濫流モデルの構築, 水工学論文集, 第 48 巻, 1 号, pp. 565-570.

表-1 実験条件

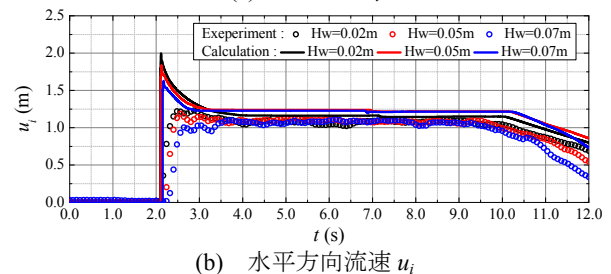
	防潮壁高さ H_w (m)	貯水位 Δh (m)
Case 1	0.02	0.15
Case 2	0.05	0.15
Case 3	0.07	0.15

表-2 計算条件

海洋モデル CCM	格子間隔	$dx=dy=0.01m$
	格子数	1120×5
	σ 座標の適用領域数	2
	全層数	8 層
氾濫モデル	タイムステップ	0.0005s
	格子間隔	$dx=dy=0.01m$
	格子数	680×5
	波先端条件	川崎ら (2010) に基づく



(a) 浸水深 H_i



(b) 水平方向流速 u_i

図-3 Pt.1 における浸水深および水平方向流速の実験値との比較

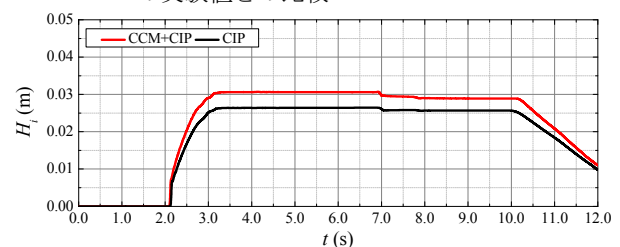


図-4 本モデルと CIP モデルによる Pt.1 における浸水深の比較 (Case 3)