

沖縄県沿岸域における津波・高潮の浸水・被害予測

Evaluation of Inundation and Damage Caused by Tsunamis and Storm Surges
on the Coast of Okinawa Prefecture

山下隆男¹・仲村佳輝²・宮城栄喜²・岡 秀行³・

西岡陽一³・竹内 仁³・喜屋武 昂⁴・星 宗博⁴

Takao YAMASHITA, Yoshitaka NAKAMURA, Eiki MIYAGI, Hideyuki OKA,
Yoichi NISHIOKA, Hitoshi TAKEUCHI, Takashi KYAN and Munehiro HOSHI

Numerical simulations for both tsunamis and storm surges on the coast of Okinawa Prefecture, which are expected to be the most dangerous cases, were conducted to evaluate the possible inundation area and potential damage. The detailed topographic model derived from filtered LiDAR observation data was applied to inundation simulation. Nonlinear long wave theory was used in tsunami simulation. The third generation wave spectrum model (SWAN) and VOF method (CADMAS-SURF) were used to calculate wave height and overflow volume, respectively, in storm surge simulation. The simulation results were compiled in inundation maps and computer graphic animations, and they were distributed to municipalities along the coast to promote tsunami and storm surge disaster prevention measures.

1. 緒 言

沖縄県域では, 1771年4月24日(明和8年3月10日)に発生した大津波(明和大津波)により, 宮古・八重山諸島において12,000人弱が死亡するという大災害が発生した。また, 1998年(平成10)5月4日08時30分頃, 石垣島南方沖(石垣島の南方20km)でマグニチュード7.7の地震が発生し, 津波警報が発表された。

一方, 台風は毎年数個~10個前後が沖縄県に接近し, しばしば強風, 高波, 高潮災害をもたらしている。気候変動に伴う地球温暖化により, 今後, 熱帯低気圧の巨大化が予測されている状況で, 現在考えられる最大規模の台風を想定し, 最悪のシナリオを描きだすことは, 台風銀座の沖縄県にとって極めて重要な「防災対策」である。本稿は, 我が国の巨大化する台風災害予測の先駆的業務として, その成果を発信することを目的としている。

本研究では将来発生が予想される津波・高潮について沖縄本島, 宮古・八重山諸島沿岸域における津波・高潮それぞれの浸水・被害予測を実施した。これにより沖縄県の防災対策の基礎資料にするとともに, 今後, 各市町村が作成する津波・高潮の住民避難用ハザードマップに

活用する基礎資料とすることを目的とした。

2. 本研究の流れ

本研究の流れを図-1に示す。津波・高潮ともに陸域での詳細な氾濫計算を実施するために, レーザプロファイラ等によって取得した詳細な標高データから地形モデルを作成した。一方で, 将来発生が予想される津波・高潮を想定するために, 想定地震・想定台風を設定した上で, 地形モデルを適用した津波・高潮シミュレーションを実施した。

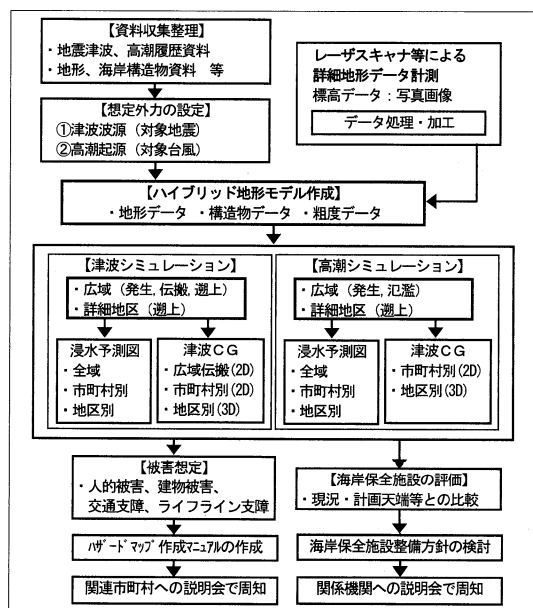


図-1 研究の流れ

1 正会員 工博 広島大学教授 大学院国際協力研究科
2 沖縄県 土木建築部海岸防災課
3 正会員 国際航業(株)
4 (株)国建

さらに、シミュレーションの結果を用いて、建物被害、人的被害、交通支障、ライフライン支障、防潮施設の充足度などを評価した。成果として津波・高潮ハザードマップの基礎となる津波・高潮浸水予測図、津波・高潮動画、データベースを作成し、市町村・関係機関に配布した上で、説明会を開催して津波・高潮防災対策の推進を促した。

3. 地形モデル作成

沖縄県の海岸全体を対象範囲とした。海岸全体は50mメッシュでカバーするよう地形モデルを組み立てた(図-2)。沿岸市町村のうち、津波・高潮の遡上により多大な影響を受ける、低地で人口・資産の集中する地区については、詳細な10mメッシュの遡上計算を実施することとした。レーザプロファイラ生データから作成した2mメッシュ地形データおよび同時撮影したオルソ画像を活用し、地形データをフィルタリング処理して家屋樹木等を除去した陸域のデータと、海域のデータを統合し陸上氾濫計算用の10mメッシュ地形データを作成した(図-3)。

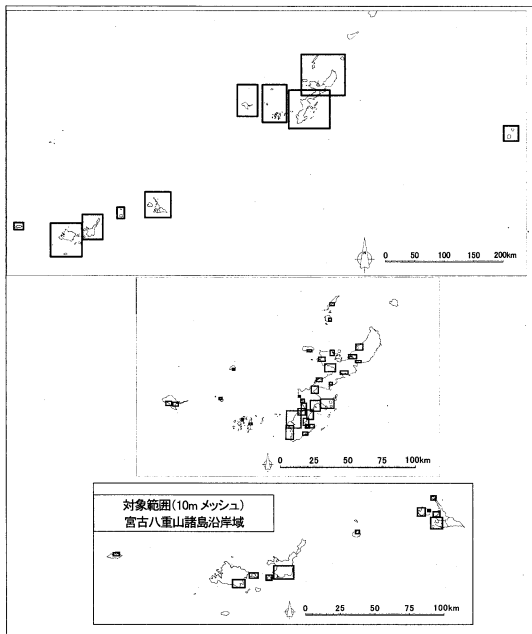


図-2 研究の対象範囲と計算メッシュサイズ

4. 津波シミュレーション

沖縄本島および宮古・八重山諸島に分けて、16ケースの震源について伝播計算を行い、市町村ごとに最も津波が高くなる3ケースを想定地震として設定した。その波源位置としては、琉球海溝、沖縄トラフ、琉球弧の海底活断層などや、近年周辺に比べて地震活動が活発でない領域を想定した(図-4、表-1)。図-4の⑨と⑩は同じ領

域に設定しているがパラメータの異なるモデルで、それぞれ⑨は八重山諸島に、⑩は宮古・八重山諸島に大きな津波が来襲するタイプのモデルとなっている。



図-3 10mメッシュ地形モデルの作成例

津波初期波形は断層近傍の海底面の垂直変動量分布を与えた(Mansinha and Smylie, 1971)。津波伝播計算は、線形、非線形長波方程式を水平2次元有限差分法で解く一般的なモデルである。陸上への遡上は、堰モデル(閥値10E-5m)による移動境界(岩崎・真野, 1979)とし、土地利用によりマニングの粗度係数を、海域・河川域: 0.025, 田畑域: 0.02, 森林域: 0.03, 居住区: 0.04-0.08で設定した(小谷ほか, 1998)。また、津波の遡上計算にあたって、防波堤・防潮堤等の津波防災施設が機能する場合と機能しない場合の2ケースを想定してこれらの構造物の影響を考慮した。

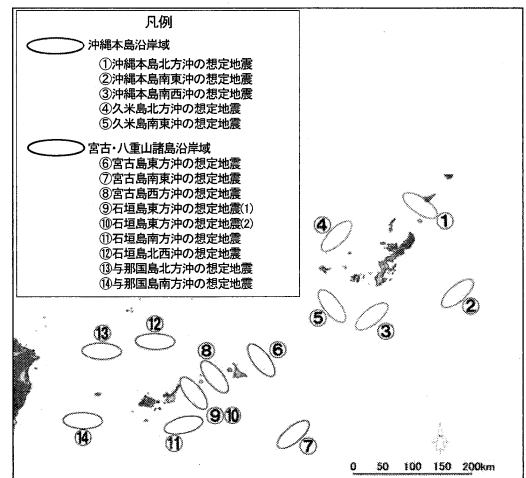


図-4 想定地震断層の位置

5. 高潮シミュレーション

想定台風は、沖縄本島周辺及び宮古・八重山諸島別に、それぞれの地域に来襲した既往の台風の中から、被害を与え、県民によく知られた台風を選定した。さらに、考慮しうる最大の被害を想定するために、想定台風の中心気圧は過去に観測された台風の最低気圧である870hPa

となり、かつ対象地域に最も危険となるように調整した上で、既往の台風経路を平行移動させ、波浪、高潮に対して最も危険であると考えられる気圧、経路を設定して想定台風とした。想定台風のコースを図-5に示す。

表-1 想定地震の断層パラメータ

No	断層深さ (km)	走向 (deg)	傾斜角 (deg)	すべり角 (deg)	断層長さ (km)	断層幅 (km)	すべり量 (m)	緯度 (deg)	経度 (deg)
①	2.0	130	60	270	80	40	4	27.3	128.4
	2.0	310	60	270	80	40	4	27.3	128.4
②	10.0	225	60	270	80	40	4	25.9	129.1
③	7.5	235	30	90	80	40	4	25.5	127.6
④	5.0	225	60	270	80	40	4	26.9	126.9
	5.0	45	60	270	80	40	4	26.9	126.9
⑤	2.0	325	60	270	80	40	4	25.8	126.9
	2.0	145	60	270	80	40	4	25.8	126.9
⑥	0.5	140	60	270	80	40	4	24.5	125.4
⑦	10.0	225	60	270	80	40	4	23.5	126.2
⑧	0.5	315	60	270	80	40	4	24.4	124.5
⑨	0.5	135	60	270	80	40	4	24.3	124.3
⑩	0.3	135	70	270	60	30	20	24.3	124.3
⑪	1.0	270	70	90	40	20	20	23.6	124.2
	0	260	70	90	15	10	90	24.0	124.2
⑫	5.0	270	60	270	80	40	4	25.1	123.5
⑬	5.0	270	60	270	80	40	4	24.6	122.6
⑭	2.0	270	30	90	100	50	5	24.1	122.4

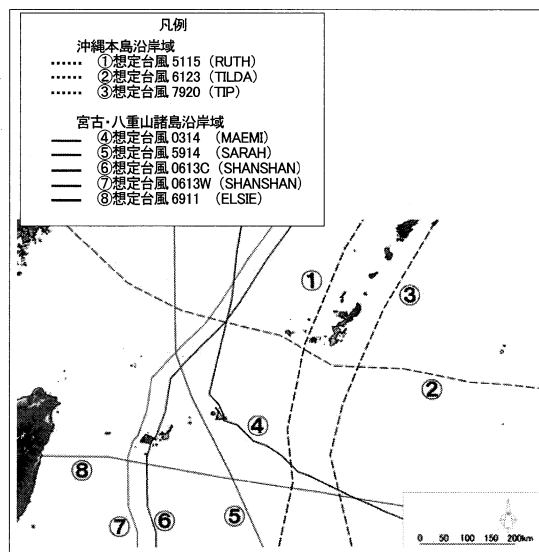


図-5 想定台風のコース

図-6に示す計算フローで高潮シミュレーションを実施した。1) 台風モデルによる風速場の推算、2) 波浪推算モデルによる波浪場の推算、3) 高潮推算モデルによる高潮の推算を行った。4) VOF法による越波・越水量の算定、5) 求められた越波・越水量を浸水域に流入させ、氾濫計算により浸水域を推定した。なお、津波の浸水計算と同様に、海岸の構造物がある場合とない場合の2ケースについて氾濫計算を実施した。

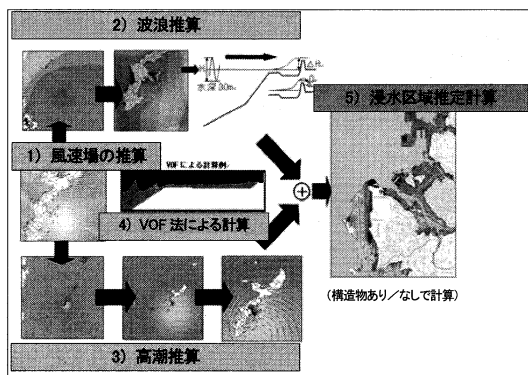


図-6 高潮・波浪による浸水域計算フロー

台風モデルは陸上地形の影響が小さいため、風速場の推算には光田の傾度風モデル(藤井・光田, 1986)を用いた。海水温の変化や、暖水渦の影響等、気象場や平均海面変動に及ぼす気象海象の影響ファクターはあるが、今回はこれらは考慮しなかった。波浪推算モデルには第三世代の波浪推算モデルであるSWAN (Delft University of Technology, 2004)、高潮推算モデルには津波と同様の非線形長波方程式の水平2次元計算を用いた。

リーフ上での越波・越水量の算定方法は、沖縄県特有の海岸地形を考慮した海岸モデル(図-7)を開発した。すなわち、1)表-2に示す波浪、高潮偏差の条件で、VOF法(CADMAS-SURF)((財)沿岸開発技術センター, 2001)により計算した越波・越水量を予め表化しておく。2)対象地域(図-8)の地形、構造物条件と、波浪推算および高潮計算から求めた、波浪、高潮偏差の条件を、表化した計算結果を用いて線形補間により越波・越水量を求める。3)これを境界条件として陸上への氾濫計算を行う。

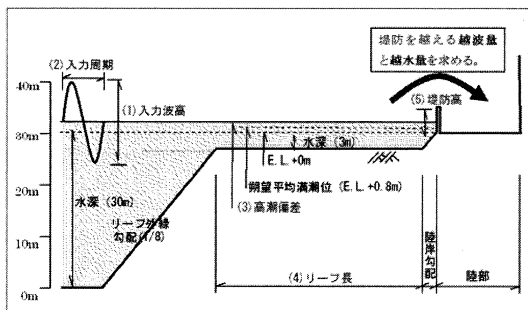


図-7 海岸モデルの模式図

表-2に、事前計算に用いた入力波の波高、周期、堤防高、高潮偏差、リーフ長のパラメータの組み合わせ(合計384通り)を示す。

図-8に例として沖縄本島周辺海域を分割して計算した想定台風5115による越波・越水の区域別流入量を示す。

表-2 VOF法のモデルパラメータの値

要素	波高 H(m)	周期 T(s)	堤防高 B(m)	高潮偏差 S(m)	リーフ長 L(m)
値	5	5	2.6	1	0
	10	10	3.8	2	200
	15	15	5.0		500
	20	20	6.2		
ケース数	4	4	4	2	3

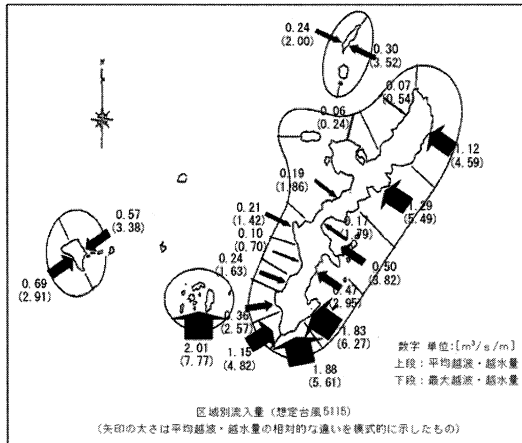


図-8 高潮による区域別流入量（想定台風5115）

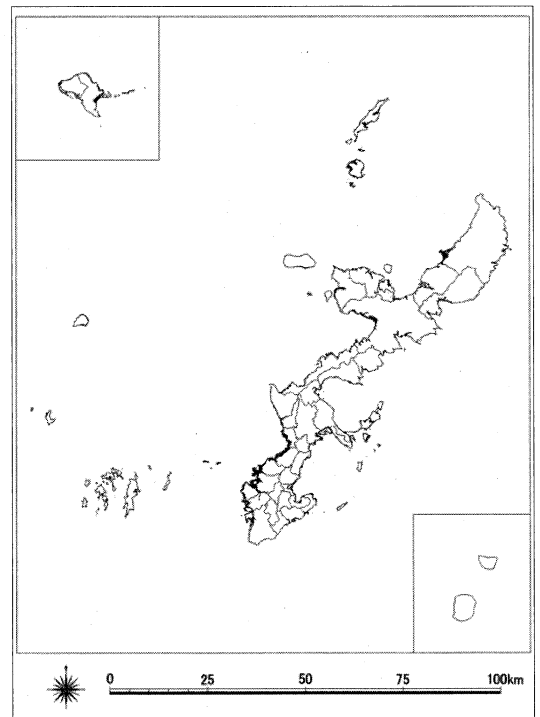


図-9 津波浸水予測結果（沖縄本島周辺）

6. 被害想定

想定地震・想定台風に伴う建物被害、人的被害、交通支障、ライフライン支障、防潮ライン・防潮施設被害を、中央防災会議と同様の方法で想定した。建物被害・人的被害は、50m メッシュ単位として実施した。道路は、路線の交差点間を単位として実施、ライフラインは拠点施設ごとに浸水の有無を判定、防潮ライン・防潮施設については施設ごとに評価した。

7. 浸水予測図等の作成

想定台風および想定地震に対する、沖縄本島周辺沿岸域での浸水予測結果を図-9および図-10に、宮古・八重山諸島沿岸域での浸水予測結果を図-11および図-12に示す。沖縄本島周辺沿岸域では高潮、宮古・八重山諸島沿岸域では津波による浸水が大きいという結果が得られた。これらの予測結果として、ハザードマップを作成する基礎情報とするために、津波・高潮浸水予測図、想定津波で予測される最短の影響開始時間、津波到達時間、最大遡上高、最大浸水深、想定台風による最大高潮浸水範囲等の情報が、沖縄県より沖縄県下の沿岸全市町村に対して提供されている。沖縄県からの情報提供の際には、各自治体において地域の実態に合った適切で効果的なハザードマップを作成する方法を示した。

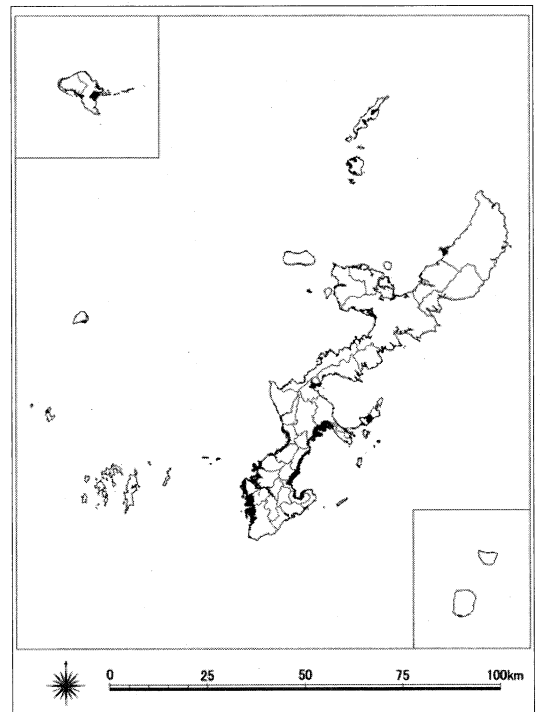


図-10 高潮浸水予測結果（沖縄本島周辺）

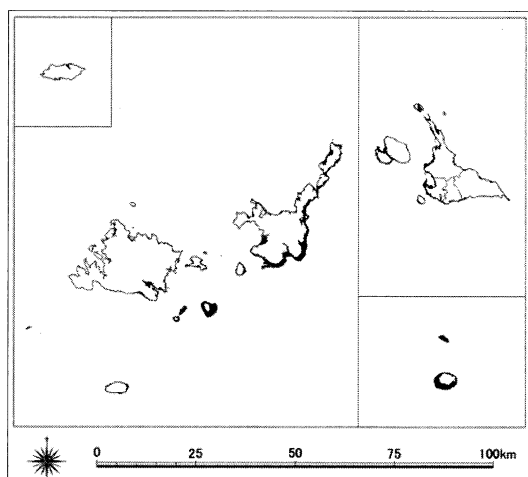


図-11 津波浸水予測結果（宮古・八重山諸島）

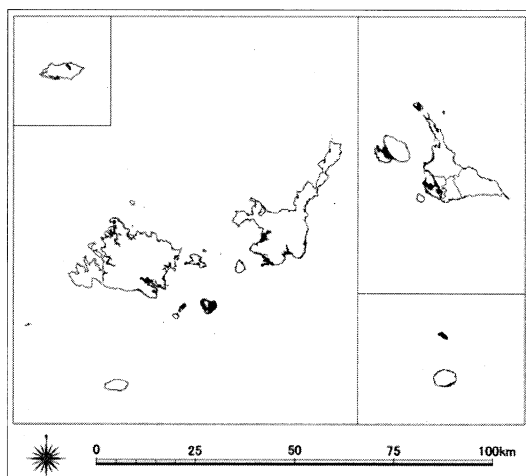


図-12 高潮浸水予測結果（宮古・八重山諸島）

浸水予測図の他にも、津波・高潮の伝播の状況を示した動画を想定地震・想定台風ごとに作成した。また、主な津波・高潮の浸水の状況が分かる動画も市町村ごとに作成した。

8. 結 語

本研究で得られた結果は以下のとおり要約される。

- (1) 精度が高く信頼度の高い津波・高潮の浸水予測情報を沿岸市町村・住民に提供するため、レーザプロファイラ等による標高データを用いて、高精度の地形モデルを作成し、津波・高潮の浸水シミュレーションに用いた。
- (2) 津波シミュレーションは、沖縄本島及び宮古・八重山諸島に分けて16ケースの震源について、伝播計算を実施した。その結果から沿岸市町村ごとに最も津波が高くなる3ケースを想定地震として、詳細な遡上計算まで実施し、結果を浸水予測図に反映した。
- (3) 高潮シミュレーションは、風速場の推算から波浪推算・高潮推算を実施し、沿岸の入力波浪、高潮偏差を推定した。サンゴリーフにおける波浪減衰、水位上昇を算定するために VOF 法を用いて入力条件別の越波・越水量を算出し、これを基本として先に求めた波浪推算・高潮推算の結果から補間によって時系列の越水量を算出し、浸水シミュレーションに反映した。これまで、サンゴリーフにおける波浪減衰、水位上昇を沖波の想定から一体的に算定する方法が無かったが、本研究では、VOF 法によって得られた入力と出力の関係式を導入する事により、沖波から越波・越水量を推定する方法を得た。
- (4) 浸水予測結果を用いて被害想定、浸水予測図作成、動画作成を実施し、市町村等が津波・高潮防災対策を進めるための基礎資料として提供した。

なお、ここで示した沖縄県津波・高潮被害想定調査の結果は、土木建築部海岸防災課のホームページで参照可能である。 <http://www.pref.okinawa.jp/kaigannbousai/index.html>

参 考 文 献

- (財) 沿岸開発技術研究センター (2001) : CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会報告書。
- 岩崎敏夫・真野 明 (1979) : オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算, 第26回海講論文集, pp.70-74.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998) : GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 第45回海講論文集, pp.356-360.
- 藤井 健・光田 寧 (1986) : 台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション, 京都大学防災研究所年報, 第29号, B-1, pp.229-239.
- Delft University of Technology (2004) : SWAN Cycle III version 40.41 USER MANUAL.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971) : The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., 61, pp.1433-1440.