津波被害予測モデルの構築について

Numerical Modeling of Damage Estimation by Tsunami Disaster

為廣 哲也*・小谷野 喜二** TAMEHIRO Tetsuya, KOYANO Yoshiji

*前(財)沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員 **(財)沿岸技術研究センター 研究主幹兼第一調査部長

Tsunami damage is generally estimated by calculating inundation area. However, it is obvious that even outflow of the vehicles, drift of ships, collision to buildings by drfting obstacles and destruction of buildings by the flow pressure of tsunami cause serious damage. It is useful for making an appropriate damage reduction plan to estimate the various tsunami damages by numerical simulations. This report shows the tsunami simulation models considering tsunami energy by adding water level and the speed of running fluid, and the results of numerical simulations calculated for Sendai port and Kesennuma Bay.

Key Words: tsunami simulation, tsunami energy, outflow damage, drift damage, building destruction damage

1. はじめに

従来,津波による被害想定を行う際は,津波の伝搬及 び遡上シミュレーションにより浸水域を求め,浸水によ る被害を想定することが一般的であった.しかし,これ までの津波被害事例をみると,津波による被害としては, 浸水被害のみならず,陸上にある車両や貨物等の流出被 害,海域にある船舶の漂流被害,これらの流出物や漂流 物の住宅等への衝突被害,津波の流圧力による建物の破 壊被害等が想定される.このため,津波被害軽減方策の 検討に際しては,より実態に則した被害想定を行うこと が不可欠であると考えられる.

本稿では、流出・漂流被害や建物破壊被害を想定する ためのシミュレーションモデルを構築し、モデル地域を 対象としたケーススタディの結果を報告する.

2. 検討フロー



3. 地形モデルの作成

仙台港と気仙沼湾の計算領域は、格子サイズ別に表-1 に示す第1領域から第6領域の6つの領域から構成され る. それぞれの計算領域は、図-2と図-3に示すとおりで ある. 地形モデルは、表-2に示す水深データと地盤高デ ータを用いて計算領域毎に作成した.

表-1 計算領域と格子サイズ			
計算領域	格子サイズ		
第1領域	1,350m格子		
第2領域	450m格子		
第3領域	150m格子		
第4領域	50m格子		
第5領域	10m格子		
第6領域	2m格子		



図-2 仙台港(左図)と気仙沼湾(右図)の計算領域 (1,350m,450m,150m,50m格子)



(10m, 2m格子)

<u> </u> ま_の	水泥ニー ロ	し##船台デー	なの概画
12-2	バルテーク	と印照局アー	グリルは安

項目	概要
水深データ	・第1~4領域:中央防災会議の水深データ
	・第5~6領域:中央防災会議データ,海図,
	港湾計画図及び深浅測量データ
地盤高データ	・第1~3領域:中央防災会議の地盤高データ
	・第4領域:航空測量データ,都市計画図,国
	土地理院 50m データ
	・第5領域:航空測量データ,都市計画図及び
	国土地理院 50m データ
	・第6領域:航空測量データ

遡上シミュレーションを行う第6領域(2m格子)の 陸域については、建物は航空測量データを基に高さ情報 を評価し、建物以外(道路や空き地等)は従来通り土地 利用状況に応じてマニングの粗度係数により底面粗度を 評価した.航空測量で得られた2m格子の気仙沼湾と仙 台港の地表面データをそれぞれ図-4、図-5に示す.



図-4 気仙沼湾の地表面データ(2m格子)



4. シミュレーションモデルの構築

4.1 遡上シミュレーションモデル

遡上シミュレーションの概要を表-3 に示す.数値モデ ルは、2次元非線形長波モデルとし、時間差分スキーム はリープフロッグ法を用いた.想定地震は、明治三陸地 震と宮城県沖(連動型)地震の2地震を対象として、事 前に仙台港と気仙沼湾のそれぞれについて 10m格子領域 迄の遡上シミュレーションを行い、浸水域と流速に着目 して津波被害がより大きいと予想される地震を選定した. その結果、仙台港は宮城県沖(連動型)地震、気仙沼湾 は明治三陸沖地震を選定した.想定地震の震源位置を図 -6、初期水位分布を図-7 に示す.再現計算時間は、別途 実施した 50m格子領域における津波伝搬シミュレーショ ン(再現計算時間 24 時間)の結果を基に少なくとも津波 水位のピークが現れるまでの時間を設定した.

表-3 遡上シミュレーションの概要

項目	概要		
数値モデル	2次元非線形長波モデル		
想定地震	明治三陸地震,宮城県沖(連動型)地震		
初期水位分布	中央防災会議より提供された海底地盤変動量		
	を基に水位分布を設定		
時間ステップ	・50m 格子領域:Δt=0.5s		
	・10m 格子領域:Δt=0.2s		
	・ 2m 格子領域:Δt=0.05s		
潮位条件	・仙台港 :H.W.L. (T.P.+0.76m)		
	・気仙沼湾:H. W. L. (T. P. +1. 09m)		
再現時間	・仙台港 : 地震発生から6時間		
	・気仙沼湾:地震発生から5時間		





図-7 初期水位分布 (左:明治三陸地震,右:宮城県沖(連動型)地震)

4.2 流出・漂流シミュレーションモデル

流出・漂流シミュレーションモデルは、後藤(1983)¹⁾ による木材の流出に関する研究成果を基に構築しており、 流出・漂流物の流水抵抗及び付加質量を考慮した移流・ 拡散モデルとした. 遡上シミュレーション結果から得ら れる浸水深、流速、流向の時系列データを入力データと して、2m格子領域において計算を行った. なお、流出・ 漂流シミュレーションの対象物は、表-4のとおりとした.

表-4 流出・漂流シミュレーションの対象物

	仙台港	気仙沼湾
流出	車両,木材,コンテナ	車両
漂流	船舶	船舶,養殖資機材

また,各対象物の流出・漂流開始及び停止条件は,既 往研究成果等を基に以下のとおり設定した.

(1)車両

・普通自動車、トラック

「利根川の洪水(須賀尭三監修・利根川研究会編, 1995年)」を参考に浸水深0.5m以上になれば流出す るとした.

・トレーラー、シャーシ

台車までの高さを1mと仮定し、台車の高さにコ ンテナの流出条件(空コンテナ1段積0.43m)を加 えた浸水深1.43m以上になれば流出するとした.

(2)木材

仙台港で実施した現地調査結果を基に梱包材(製材) を対象とし、浸水深が梱包材の高さ(0.72m)以上にな れば流出するとした.

(3) コンテナ

コンテナの種類は、空コンテナと実入りコンテナを対 象とした.実入りコンテナは、仙台港における利用状況 を基に全取扱量の約6割を占める国際コンテナとした. また、コンテナの段積み数は、空コンテナと実入りとも に3段積みとした.コンテナの流出条件は、水谷ら (2005)²⁾を参考に津波外力とコンテナ重量との関係から 表-5に示す浸水深とした.

表5	コンテナの流出開始条件	(浸水深)
10		

段積み数	空コンテナ	実入りコンテナ(国際)
平積み	0.43m以上	1.20m 以上
3段積み	0.74m以上	2.08m以上
小山小山		

(4) 船舶

船舶の係留力は,船舶の規模や係留方法により異なる. 係留方法は,「横付け」と「船尾付け」に大別されるが, 船尾付けは,漁船を対象とした.(写真-1)

船舶の漂流条件は、「日本海北部海域における津波発生時の港湾在泊船舶の安全対策に関する調査研究、(社)日本海難防止協会」等を基に係留方法や船舶の規模に応じて表 -6、表-7のとおり設定した.船尾付けの場合、漂流開始条件は、船尾の係留索による係留力及び船舶の岸壁へ乗り揚 げ限界を考慮し、漂流停止条件は、流速が小さい場合に錨 の抵抗が有効になることから把駐力を考慮して設定した. なお、船首の錨・錨鎖による把駐力は、流速が大きい場合 の流圧力に比べて小さいため無視した.



写真-1 係留状況(左:横付け,右:船尾付け)

表-6 横付けの場合の漂流条件

船舶の規模	漂流開始条件	
500トン未満	水位上昇2m以上 あるいは	
	流速4.0m/s以上	
500トン~1万トン未満	水位上昇3m以上 あるいは	
	流速3.5m/s以上	
1万トン以上	水位上昇4m以上 あるいは	
	流速3.0m/s以上	

表-7 船尾付けの場合の漂流条件

船舶の規模	漂流開始条件	漂流停止条件	
379トン級	水位上昇3m以上あるいは	流速0.4m/s以下	
漁船	流速2.0m/s以上		
119トン級	水位上昇2m以上あるいは	流速0.3m/s以下	
漁船	流速1.7m/s以上		

(5)養殖資機材

養殖資機材(筏等)は、永野ら(1989)³⁾を基に流速が1m/s 以上になれば漂流するとした.

4.3 油拡散シミュレーションモデル

油の流出初期条件としては、地震動により石油タンク が破損したものと仮定し、石油タンクから流出した油は 防油堤内に滞油しているものとした.油拡散シミュレー ションモデルは、後藤(1985)⁴の研究成果を基に数値モデ ルを構築しており、現地条件に合わせて防油堤を設置し た 10m格子の地形モデル(遡上抵抗は粗度係数で考慮) において、遡上シミュレーションを行い、計算ステップ 毎に防油堤を越流した場合に防油堤内の油が流出すると した.なお、すべての油が流出した場合はそれ以後の油 の流出は生じないものとした.

4.4 建物破壊シミュレーションモデル

建物破壊シミュレーションは、2m格子領域の遡上シ ミュレーション結果から得られた1分毎の浸水深を用い て建物が津波から受ける流体力(抗力 F_D)を求め、1分 毎に抗力 F_D と建物の耐力を比べて破壊の有無と程度を判 断した.なお、ある計算ステップで破壊すると判断され た2m格子の浸水深は、粗度係数により減衰させた上で 次の計算ステップの破壊判定に用いた.建物の区分は、 木造とRC造の2種類とし、基本的には住宅地図を基に 2階建て以下を木造、3階建て以上をRC造と設定した. 建物に作用する抗力 F_D は式(1)で求められる.式(2)は、 飯塚ら(2000)⁵より u≒1.1√(g・h_f)として抗力 F_D を浸水 深h_fのみで表したものである.

$$F_{\rm D} = 0.5 \rho C_{\rm D} u^2 A \qquad (1)$$

= 0.5 \gamma \vee C_{\rm D} u^2 h_{\rm f} B/g
\Rightarrow 0.61 \gamma \vee C_{\rm D} h_{\rm f}^2 B \qquad (2)

ここで、 ρ は海水の密度、 C_D は抗力係数、u は陸上流速、 Aは投影面積、 γ_w は海水の単位重量(10.09kN/m³)、 C_D は1.1 ~2.0とされているうちの危険側の2.0を採用、B は浸水 部分の幅、g は重力加速度である.また、建物の被害判断 基準は、同じく飯塚ら(2000)より表-8のとおりとした.

建物の	中破		大破	
種類	h _f (m)	F _D (kN/m)	h _f (m)	F _D (kN/m)
RC造	—	_	7.0以上	603 以上
木造	1.5	27.4	2.0	49.0
被害 程度	柱は残っているが壁 の一部が破壊される		壁と柱のかなりの部分が 折れるか失われる	

表-8 建物の造り別被害判断基準

5. シミュレーション結果

5.1 遡上シミュレーションの結果

仙台港と気仙沼湾 の最大浸水深の分布 を図-8及び図-9に示 す.2m格子という 建物も反映した詳細 な計算であるため, 浸水が道路を通って 広がっていくことが 分かる.



図-8 最大浸水深分布図(仙台港)



5.2 流出・漂流シミュレーションの結果

仙台港における地震発生から6時間経過までの船舶の 漂流軌跡を図-10に示す.陸域では、浸水深が小さいこと からコンテナや木材は流出せず、車両が若干流出する結 果となったが、海域については、多くの船舶が漂流する 結果となった.



図-10 仙台港における船舶の漂流軌跡

気仙沼湾では、図-11 に示したとおり車両が流出する結果となり、図-12 及び図-13 に示すとおり船舶と養殖資機材が漂流する結果となった.





図-12 気仙沼湾における船舶の漂流予測結果



図-13 気仙沼湾における養殖資機材の漂流

5.3 油拡散シミュレーションの結果

仙台港では、遡上した津波が防油堤を越流しなかった ため防油堤内に滞油している油の拡散は生じない結果と なった.一方、気仙沼湾では、遡上した津波が防油堤を 越流したため油が防油堤外に流出する結果となった.地 震発生前及び地震発生後1時間から5時間までの1時間 毎の油の拡がりを図-14に示す.



図-14 油拡散シミュレーション結果(気仙沼湾)

5.4 建物破壊シミュレーションの結果

仙台港では、浸水した範囲内の建物はRC造であること、浸水深が小さいことから、建物の破壊被害は生じないものと予測される。一方、気仙沼湾については、計算結果の一部として図-9内の丸囲みエリアの結果を図-15に示したが、木造の建物が多く存在する住宅地において最大3m程度の浸水深となっていることから、建物の破壊被害が生じる結果となった。



図-15 建物破壊シミュレーション結果

6. おわりに

本研究では、浸水深(陸域)、水位(海域)及び流速を 用いることにより津波エネルギーを考慮した流出・漂流 シミュレーション、油拡散シミュレーション及び建物破 壊シミュレーションモデルを構築した上で、仙台港と気 仙沼湾をモデル地域とした最小格子間隔2mの地形モデ ルに対してケーススタディを行った. その結果, これま での浸水被害だけではなく、陸域の車両や海域の船舶、 養殖資機材の流出・漂流被害、石油タンクから流出した 油の拡散被害,家屋の破壊被害を予測することができた. 津波によるさまざまな被害をシミュレーションによって 再現することは、より実態に則した被害想定を可能とし、 有効かつ効率的な被害軽減方策の検討に役立つものと考 えられる. 今後, これらのシミュレーションモデルの再 現性を検証することや今回の検討対象以外の被害(漂流 物が建物や防護施設に衝突する被害等)についても考慮 していくことが必要であると考えられる.

最後に、本稿は、国土交通省東北地方整備局より受託 した「平成17年度 沿岸部と背後地の連携による総合的 な津波災害軽減方策検討調査」の成果の一部を取りまと めたものであり、ここに記して関係各位に厚く御礼申し 上げます.

参考文献

- 後藤智明:津波による木材の流出に関する計算,海岸工学講 演会論文集,vol. 30, pp. 594-597, 1983.
- 2) 水谷法実・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史:エプ ロン上のコンテナに作用する津波力と漂流物衝突に関する 研究,海岸工学論文集, vol. 52, pp. 741-745, 2005.
- 3) 永野修美・今村文彦・首藤伸夫:数値計算による沿岸域での チリ津波の再現性,海岸工学論文集,vol.36,pp.183-187, 1989.
- 4) 後藤智明:津波による油の拡がりに関する数値計算,土木学 会論文集,vol.357/Ⅱ-3,pp.217-223,1985.
- 5) 飯塚秀則・松冨英夫:津波氾濫流の被害想定,海岸工学論文 集, vol. 47, pp. 381-385, 2000.