津波遡上計算におけるメッシュ分割の影響に関する基礎検討

Basic Study of Effects of Mesh Division on Run-up Tsunami Simulation

村嶋陽一1•今村文彦2•越村俊一3

Yoichi MURASHIMA, Fumihiko IMAMURA, Syunichi KOSHIMURA

Mesh division of geographic model effects on results of run-up tsunami simulation. Recently, approximate accuracy of geographic models increase with using LIDAR (airborne laser). And run-up tsunami simulation using mesh of several meters came to be done. In this study, we study effects of mesh division on inundation area of run-up tsunami simulation. To exclude the effects of various conditions of the tsunami simulation, we designed the simplified probability calculation model. The calculation model determines the reaching probability of tsunami inundation area. As a result, the tendency that inundation area of run-up tsunami simulation decreases as mesh size decrease was theoretically confirmed.

1. はじめに

数値計算により求められる津波遡上の浸水範囲は、使 用している地形モデルの影響を強く受ける.近年、 LIDAR(航空機搭載型レーザスキャナー)により、精 度良い地形データを広域で得ることができるようになっ た.LIDARの1点/m³以上の高密度で、高さ精度20cm以 下の地盤高のデータ群は、津波遡上計算の数mのメッ シュサイズに対し、十分に大きな密度・精度を有してい る.

この LIDAR データを用いることで,地形モデルの近 似精度が格段に上がり,近年,数m程度の空間メッシュ の津波遡上計算も数多く行われるようになっている(村 嶋ら,2006;今村ら,2004;岩手県,2004など).

これまで適切なメッシュサイズの検討や,多量の地盤 高データ群から地形モデルを作成する手法が津波遡上計 算結果に及ぼす影響について議論されることは少なかっ た.しかし,地形モデル上で実施される津波遡上計算に おいて,メッシュサイズや地形モデル作成手法が浸水範 囲等の結果に及ぼす影響は大きい.村嶋ら(2006)は, LIDAR データを用いた5~40mメッシュの津波遡上計算 結果を比較し、メッシュサイズが小さく,空間解像度が 高くなるに伴い,浸水範囲は小さくなる傾向があること を報告している.この要因として,空間解像度が高くな ると,地形の近似精度が上がり,地盤のより細かい凹凸 が地形モデルに反映されることが挙げられている.

本研究は、津波遡上の広がりを評価する確率論的評価

1正会員	修(水)	国際航業株式会社 海洋情報室長
2 正 会 員	工博	東北大学教授 大学院附属災害制御研 究センター
3 正 会 員	博(工)	東北大学准教授 大学院附属災害制御 研究センター

モデル(以下,確率計算モデル)を考案し,津波遡上計 算におけるメッシュ分割および地盤高の算出方法の影響 を定量的に評価することを目的としている.

2. 研究方法

(1) 確率論的評価モデルの考え方

津波遡上計算では,Staggered 格子を用いた Leap-frog 差分法による非線形長波理論が一般的に用いられている. 津波遡上計算では,津波先端条件等の諸条件の設定と, 線流量・津波水位の時空間変位過程が相互に影響を及ぼ す.このため,メッシュ分割を変えた津波遡上計算の結 果からでは,地形モデルのメッシュ分割の影響のみを定 量的に評価することは困難である.

そこで、本研究では正方格子を用いた差分法による津 波の遡上を確率で評価するモデルを考案した.このモデ ルは、遡上した津波氾濫水(以下,氾濫水)の広がりを、 氾濫水の先端が到達判定ラインまで到達する確率(到達 確率)で評価するものである(図-1).



図-1 メッシュ分割と氾濫水の到達判定

この確率計算モデルでは、氾濫水の浸水は各メッシュ の地盤高と氾濫水水位との比較のみで判断し、水位より 地盤高が低いメッシュを浸水可能メッシュとする(図-2). さらに、理論式を解く物理計算は行わず、浸水可能メッ シュとなる確率を設定することで、到達確率を算定する.



図-2 各メッシュの浸水判断

(2) 到達確率の算定

到達確率の算定は,以下の手順で行った.

- 1×1~5×5のメッシュ分割において、氾濫水の先端 が到達判定ラインまで到達する、浸水可能メッシュ の分布パターン(図-3)(以下、到達パターン)を 抽出する。
- ② 浸水可能確率(浸水可能メッシュとなる確率)を一 律に0~1にした場合の各到達パターンの出現確率を 求める。
- ③ 各到達パターンの出現確率を合計する.



図−3 到達パターンの例

ここで,この確率計算モデルは,浸水の判定方法に加 え,以下の前提条件により検討している.

前提①:各メッシュの地盤高の値は、互いの値の影響

を受けておらず,独立している.

前提②:浸水範囲の広がりは、メッシュの地盤高と津 波水位の比較のみで判断する.

実際の地形モデルの作成を考慮した場合,作成するメッシュサイズに比べ十分に密度の高い計測データを使用した場合(例えば LIDAR データを元データとして数 m 以上のメッシュの地形モデルを作成する場合), TIN (Triangulated Irregular Network) によりメッシュ中央値の値を求めてメッシュ化しているとき,前提①は成立する.

一方,津波氾濫計算を実施した場合,②の前提につい ては,堰上げ効果や計算諸条件の影響が考えられ成立し ない.本研究では,これらの影響は無視し,メッシュが 分割される直接的な影響のみを議論することとする.

(3) メッシュ地盤高の算出方法の違いによる到達確率の比較

メッシュ地盤高を算定する方法は、使用するデータ密 度とそのばらつき、作成メッシュサイズ内のデータ数、 データ精度、作成する地形モデルの使用用途などにより 様々である.使用する元データが、作成する地形モデル のメッシュサイズに対して十分なデータ密度がある場合、 津波遡上計算に用いる地形モデルには、以下の3つの代 表的な算定手法があると考えられる.

①中央值法

メッシュ中央点の地盤高の値を求め,メッシュの地 盤高とする方法.最も近い地点のデータを用いる最 近隣法,TIN,仮想平面を想定する方法などが用い られている.LIDARにより多量データを処理する 場合,処理時間などの問題からTINなどの手法が 良く用いられている.

②平均值法

メッシュ内のデータの平均値を求め、メッシュ地盤 高とする方法. 作成するメッシュより細かいメッシュ データが存在する場合や、メッシュ内に複数の点デー タが存在する場合に用いることができる. メッシュ 内の全データを用いることができるため、データに バラッキが大きいなどに、より偏りの少ない地盤高 を求めることができる.

③最小值法

メッシュ内のデータの最低値または最低値に近い値 をメッシュ地盤高とする方法.平均値法同様に作成 するメッシュよりより細かいメッシュデータが存在 する場合や,メッシュ内に複数の点データが存在す る場合に作成できる.津波遡上計算による浸水範囲 が過小評価されないように,浸水が広がりやすい地 盤高の低め値を用いる方法.

前述した「(2)到達確率の算定」の方法は、上記中央値

⁽上段:到達パターン例,下段:未到達パターン例)

法を前提としている. 平均値法や最小値法は,中央値法 のある地点の地盤高を求める考え方と異なり,利用目的 に合わせた統計的なデータ処理の考え方である. このた め,元データが存在することが前提であり,使用する元 データの精度やデータ数により,求められる地盤高の値 が変わる.本研究では,元データはそれぞれが独立し, 正規分布することを前提に,使用したデータ数による到 達確率の変化を算定した. これは,津波遡上計算の地形 モデル作成で考えると,より詳細なメッシュ分割のデー タから,大きなサイズのメッシュデータを作成する方法 について,影響を評価することと同義となる.

平均値法は,浸水可能確率に対して正規分布する元デー タ群を仮定し,そこからn個のデータを抽出し,それら の平均値が浸水可能メッシュとなる確率として求めた.

同様に,最小値法は,浸水可能確率に対して正規分布 する元データ抽出したn個のサンプルの二項分布として 求めた.

3. 結果

(1) 中央値法による地盤高データのメッシュ分割の影響

メッシュ分割が1×1の場合は、到達ケースとなるのは、 間の1メッシュが浸水可能となる1ケースのみである. この場合、浸水可能確率がそのまま到達確率となる.

図-4に示すように2×2メッシュの場合,浸水可能メッ シュの出現パターンは16パターンとなる. このうち到達 パターンは7パターンとなり,到達しない9パターンより 少なくなっている. さらにメッシュ分割を3×3,4×4と 進めると,全パターン数/到達パターン数はそれぞれ 197/512,22,193/65,536となり,全パターンに対する 到達パターンの割合は,メッシュ分割を進めるほど減少 していくことが確かめられた.

この傾向は,全分布パターンの出現する確率が同じ場 合,すなわち各メッシュの浸水可能確率が0.5の場合, メッシュを細かく分割するほど到達確率は減少すること を示している.

このことを津波遡上計算にあてはめると,氾濫水の水 位とメッシュの地盤高がほぼ同じになるエリアにおいて は、メッシュを細かく分割するほど氾濫水は広がりにく い傾向があることを示している.

次に各メッシュの浸水可能確率を一律に0~1まで変化 させたときの到達確率の変化を,メッシュ分割1×1~5 ×5まで計算した結果を図-5に示す.

この結果,到達確率は浸水可能確率0.618…を境界として傾向が異なることが示された.浸水可能確率が0.618…より低い場合,メッシュ分割が大きいほど到達確率は低くなる.また,浸水可能確率が0.618…より高



図-4 氾濫水の到達パターン(2×2メッシュ分割)



図-5 全メッシュデータ浸水可能確率-到達確率(中央値法)

い場合,メッシュ分割が大きいほど到達確率は高くなる. このことは,津波遡上計算においては,以下のことを示 している.

- ① メッシュ分割を進めるほど、浸水可能なメッシュが 多いエリア、すなわち津波水位より地盤高の低いエ リアでは、浸水範囲は広がりやすくなる.また、浸 水可能なメッシュが少ないエリア(津波水位より地 盤高が高いエリア)では、メッシュ分割を進めるほ ど浸水範囲は広がりにくくなる.
- ② ①の傾向の分岐点は浸水可能確率が0.5より大きな 0.618…(黄金比)となっている.このため、メッシュ分割を進めるほど、すなわち、より小さいサイズで津波遡上計算を行うほど、全体的な傾向として 浸水範囲は小さくなる.

(2) メッシュ地盤高の算出方法の違い

図-6,図-7に平均値法および最小値法を用いて、メッシュ地盤高を算出した場合の,元データの浸水可能確率に対する到達確率を示す.





図-6 元データ浸水可能確率 – 到達確率(平均値法)

図-7 元データ浸水可能確率 – 到達確率(最小値法)

この結果,平均値法では到達確率は浸水可能確率0.5 を境界として,浸水可能確率が低い場合,使用データ数 が大きいほど到達確率は低くなり,また,浸水可能確率 が高い場合,使用データ数が大きいほど到達確率は高く なる.このことは,実際の津波遡上計算では,使用デー タを多くするほど,浸水可能なメッシュが多いエリア (津波水位より地盤高の低いエリア)では,浸水範囲は 広がりやすく,浸水可能なメッシュが少ないエリア(津 波水位より地盤高が高いエリア)では,浸水範囲は広が りにくくなることを示している.

また,最小値法では,到達確率は全ての浸水可能確率 で,使用データ数が大きいほど到達確率は高くなる.こ れは,浸水可能確率が0でない以上,独立した元データ 数を増加させるほど到達確率が高くなるためであり,当 然の傾向である.元データの浸水可能確率が0.1でも, 25個のデータを用いれば到達確率は0.9以上と高くなり, 元データのばらつきが大きい場合,浸水範囲はその分広 がりやすくなる.

4. 実地形での津波遡上計算結果での検証

これまでの検討で得られたメッシュ分割および地盤高 の算出方法による到達確率の変化傾向について,実地形 を用いた津波遡上計算にて検証を行った.

村嶋ら(2006)による,LIDAR データから作成した 地形モデルを用い,表-1に示すTINによる中央値法, 平均値法,最低値法による地形モデルをそれぞれ作成し, 津波遡上計算を行い,浸水範囲を比較した(図-8).

津波遡上計算は Staggered 格子を用いた Leap-frog 差 分法による非線形長波理論で行った(詳細は村嶋ら; 2006を参照).

この結果, Sm 中央値法と20m の各算定手法を比較す ると、メッシュ分割を進めた5m 中央値法が最も浸水範 囲が小さくなっている. 遡上距離の差をみると、遡上端 の地形勾配が1:10以上になるようなAエリア付近では、 浸水範囲に差は見られない. これは、データのばらつき や地盤高作成手法の差よりも、メッシュ間の地盤高の差 が大きいためで、当然の結果となっている. 一方、地形 勾配が約1/150 (標準偏差0.6m)のBエリア付近では、 遡上距離に60m 程度の差がでている. これは約0.4mの 地盤高の差にあたり、図-5に示した1×1から4×4へのメッ シュ分割による到達確率の減少を、標準偏差から地盤高 に置き換えて考えるとほぼ妥当な値となる.

また,20mのメッシュサイズで中央値法,平均値法, 最小値法を比較すると,前述の断面A付近において遡 上距離の中央値法と平均値法では差はほとんどなく,最 小値法と他の方法では約40m最小値法が長くなってい る.この傾向は,図-5,図-6,図-7の到達確率の差で見 られた傾向と一致するが,最小値法と他の方法の差は図 -7で想定される影響より小さくなっている.

5. 考察

以上の検討の結果,中央値法でのメッシュ分割では以 下の2点の傾向が示された.

① メッシュ分割を進めるほど、浸水確率が高いエリア= 浸水可能なメッシュ(津波水位>地盤高)が多いエ リアほど浸水範囲は広がりやすく、浸水確率が低い= 浸水可能でないメッシュ(津波水位<地盤高)が少 ないエリアほど浸水範囲は広がりにくくなる.これ は、メッシュ分割を進めるほど、浸水範囲の境界は 明確になり、地盤高データの偏差(地盤の凹凸)の 影響を受けにくいことを示している.

Ŀ	計算 rース	メッシュ サイズ	地盤高の 算定手法	元データ
	1	5m	中央値法	LIDAR データ
			(TIN)	
	2	20m	中央値法	LIDAR データ
			(TIN)	
	3	20m	平均值法	ケース 1 の 5m
			16 データの	メッシュ地形モ
			平均值	デルを元データ
				として使用
	4	20m	最小值法	ケース1の5m
			16 データの	メッシュ地形モ
			最小値	デルを元データ
				として使用

表-1 津波遡上計算ケース



図-8 地形モデルによる浸水範囲

② メッシュ分割による広がりやすさの分岐点は浸水確率0.618…(黄金比)(>0.5)となっている.このことはメッシュ分割を進めるほど、全体的な傾向として浸水範囲は狭くなること(メッシュ分割が粗いほど浸水範囲が広くなること)を示している.

また,使用データ数が多いほど,平均値法では浸水範 囲が明確に,最小値法では使用するデータのばらつきが 大きいほど,浸水範囲が大きくなる.

実地形での津波遡上計算の結果,メッシュ分割および 地盤高の算出方法の影響は浸水範囲の違いとして確認で きた.中央値法のメッシュ分割の影響の程度は,確率計 算モデルの結果と地形勾配,地形データの標準偏差を用 いることで説明できた.

このことは、使用する地形データにより、メッシュサ イズおよび地盤高の算出方法の浸水範囲への影響の程度 を事前に検討できる可能性を示している.

今後,このとこをより明確に実証するため,より地形 勾配の少ないエリアでの検証を進めていく必要がある。

参考文献

- 今村文彦・藤原誠・進藤一弥・市村強(2004):臨海都市域に 来襲する津波の統合シミュレーション開発,海岸工学論文 集,第51巻, pp. 291-295.
- 岩手県(2004) :岩手県地震・津波シミュレーション及び被害 想定調査に関する報告書(概要版), 164 p.
- 村嶋陽一・今村文彦・竹内仁・鈴木崇之・吉田健一・山崎正幸・ 松田健也(2006):津波浸水予測における航空機搭載型レー ザーデータの適応性,海岸工学論文集,第53巻,pp.1336-1340.