

津波遡上解析における家屋のモデル化に関する研究

1120320 中川英里香
高知工科大学工学部社会システム工学科

津波解析では、合成等価粗度係数を用いることで、津波計算における空間格子幅が50m以下の場合、最大浸水深と最大遡上距離の精度がよくなることが分かっている。

本研究では、合成等価粗度係数のさらなる合理的な活用を目指し、平均的な家屋モデルを入れ込んだ地形モデルを作成し、家屋を合成等価粗度係数として考慮した場合と不透過な物体としてモデル化した場合の数値実験を行った。両者の解析結果に着目し、その適合度から合成等価粗度係数による家屋のモデル化の可能性について検討を行った。

Key Words : 津波, 合成等価粗度係数, 一定粗度, 差分法

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、多くの人や建物が津波の被害にあった。想定を超える高さの津波に戸惑っていたので、避難などに関して対応しきれていなかった。なによりも過疎化が進む地域で高齢者の逃げ遅れが極めて目立っていた。今後30年以内に起こると予測されている南海大地震では、今回のような、逃げ遅れるなどといった事態は繰り返したくない。

高知県須崎市における50mメッシュ領域までの津波解析を行ったが、そこには建物を考慮していない。私たちが実際に必要とするのは、津波が市街地をどのように流れるのかということである。

家屋などの障害物については、粗度係数を用いて、地表の粗度を入れ込むことによって津波の遡上を阻む効果を表現することができる。GISによって作成された土地利用・地形・地理情報に一定粗度を与えることによって、精度の高い津波遡上を計算することができる。土地利用を考慮する場合と考慮しない場合を比較すると考慮した場合、津波遡上を妨げることができるという結果が示されている。また、この結果をもとにして人的・家屋の被害推定も可能であるとしている[小谷(1998年)]。

さらに、格子幅が50m以上の場合には一定粗度を用い、50m以下の場合には、合成等価粗度係数を用いることにより精度が高くなるという報告も示されている[油屋(2002年)]。

津波解析では、大領域の解析から、局所的な遡上の解析を行う必要がある。大きなサイズのメッシュと小さなサイズのメッシュを用いた複数の解析を組合せて行っている。そのため、家屋を物理的にモデル化できるメッシュサイズによる解析と、物理的にモデル化できないメッシュサイズの解析を組合せて解析を行う必要がある。

そこで本研究では、家屋が物理的にモデル化でき

るメッシュサイズによる解析と整合するメッシュサイズが大きい場合の解析を合成等価粗度を用いて実現する。また、格子幅が50m以上の場合には一定粗度を用い、50m以下の場合には、合成等価粗度係数を用いる。これにより、津波解析をより高度化することができ、より正確な情報を住民に提供することができるかと期待できる。

2. 数値実験

2.1 津波計算手法

津波の数値計算は、平面二次元の線形長波理論の支配方程式(運動方程式(1)・連続の式(2)(3))を差分化してを行っている。以下に基礎式を示す。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} = 0 \quad (3)$$

η : 水位、
 M, N : x, y 方向の線流量
 ξ : 海底鉛直変位分
 D : 全水深 (= $h + \eta$)
 n : マニングの粗度係数

2.2 合成等価粗度係数

G I Sを使うことによって高度な津波遡上計算ができ、粗度を考慮するかしないかによって遡上範囲が違う。すなわち、土地利用データを考慮することによって津波の遡上を抑えることができるということが分かっている。合成等価粗度係数は底面摩擦力 R1, 家屋の抵抗力 R2 を足し合わせてもとめることができる。

$$R_1 = \rho g D \frac{n_0^2 u^2}{D^{4/3}} dx dy \left(1 - \frac{\theta}{100} \right)$$

$$R_2 = \frac{1}{2} C_D \rho u^2 (kD) \frac{\theta}{100} dx dy / k^2$$

油屋の論文では以下のように合成等価粗度係を設定していた。 2)

$$n = \sqrt{n_0^2 + \frac{C_D}{2gk} \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times D^{4/3}}$$

式を見直し、本研究では、以下のように合成等価粗度係数を設定した。

$$n = \sqrt{n_0^2 \times \frac{100 - \theta}{100} + \frac{C_D}{2gk} D^{4/3} \times \frac{\theta}{100}}$$

3. モデル作成

3.1 地形モデル

中央防災会議の高知県須崎における 50mメッシュのデータより標高、水深を検討した。それより、幅 3100m, 奥行 15450m, 水深 300m, 標高-10m のモデルを作成した。メッシュサイズは表 1 に示すように、外洋では大きなメッシュ領域(50m), 沿岸部に向けては、線形補間により小さなメッシュ領域(16.7m, 5.6m, 1.85m)の空間格子間隔を設定して地形モデルを作成した。

3.2 領域図

領域モデルを図1に示す。

赤線は水深0mを表しており、赤線より上側が陸域、下側が海域である。また黒い点は、家屋を表しており、家屋のモデルは幅奥行を5.6mとし、道路については、小さい通りを5.6m, 大通りを16.7

mとした。



図1：領域図(第1～4領域)

表1：各領域の位置およびサイズ

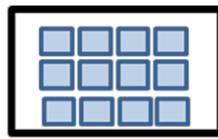
領域	メッシュサイズ(m)	北西端の位置		メッシュ個数		領域サイズ	
		X座標(m)	Y座標(m)	X方向(個)	Y方向(個)	X方向(m)	Y方向(m)
第1領域	50	0	0	62	309	3100	15450
第2領域	16.7	583.3	14924.4	122	233	2037.4	3891.1
第3領域	5.6	761.4	14782.6	308	590	1724.8	3304
第4領域	1.85	983.55	14714.3	689	1187	1274.65	2195.95

4. 数値実験結果

家屋なし，一定粗度の場合をcase1とした．また，第4領域では家屋を物理的にモデル化し，第1領域，第2領域，第3領域では合成等価粗度係数を用いて家屋を表現した場合を case2とした．



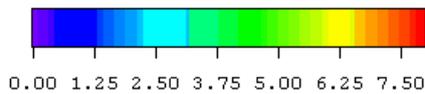
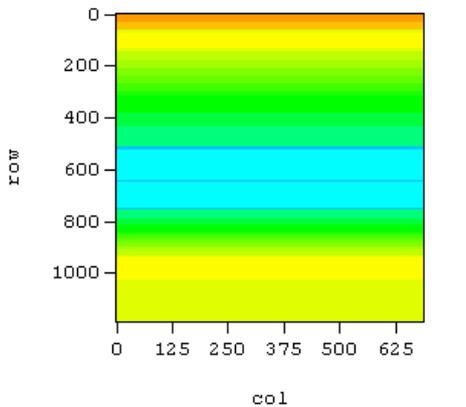
case1(家屋なし)



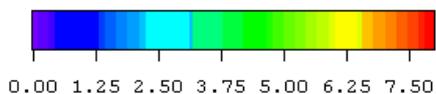
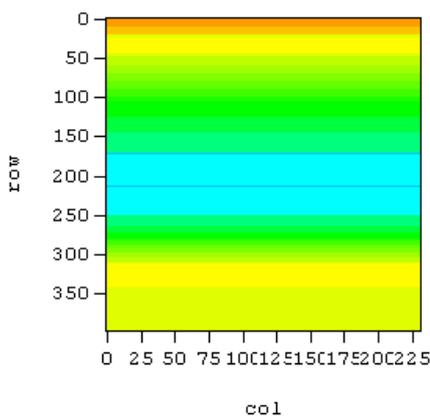
case2(家屋あり)

本研究の検討について以下に列挙する．下図は，同時間，同地点における各領域の最大浸水深を表している．

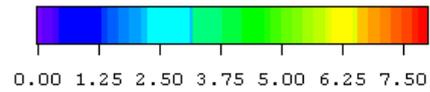
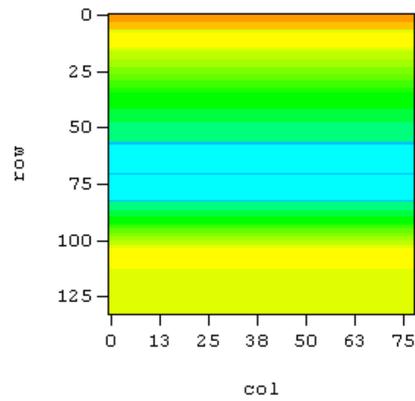
(1) case1 : 家屋なし，一定粗度あり



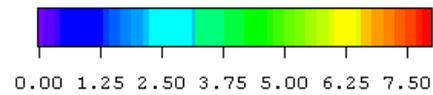
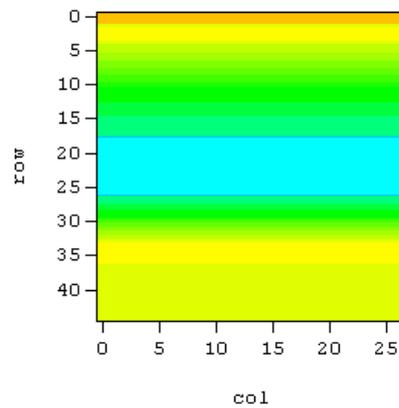
ZMX_RD_361_OUT3
図2:最大浸水深(第4領域)



ZMX_RC_361_OUT2
図3:最大浸水深(第3領域)

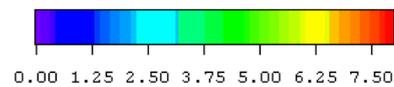
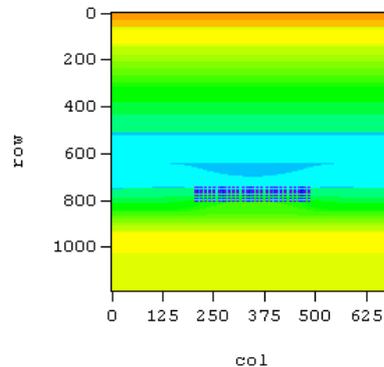


ZMX_RB_361_OUT2
図4:最大浸水深(第2領域)

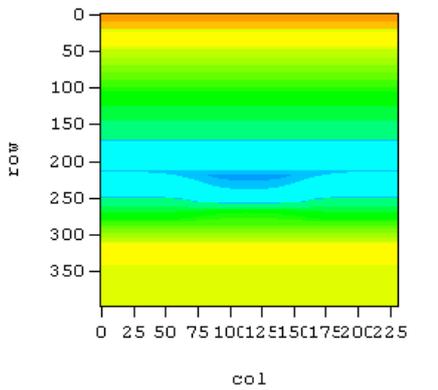


ZMX_RA_361_OUT2
図5:最大浸水深(第1領域)

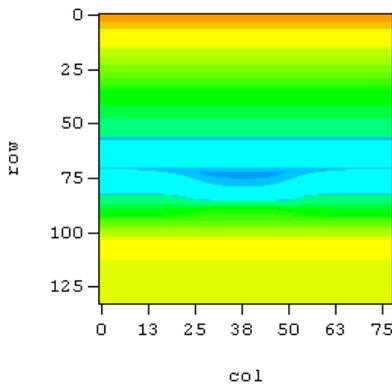
(2) case2 : 家屋あり，合成等価粗度



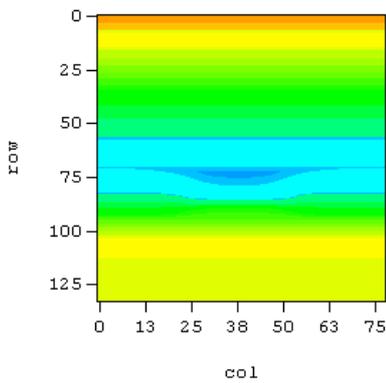
ZMX_RD_361_OUT2
図6:最大浸水深(第4領域)



ZMX_RC_361_OUT
図7:最大浸水深(第3領域)



ZMX_RB_361_OUT
図8:最大浸水深(第2領域)



ZMX_RB_361_OUT
図9:浸水深(第1領域)

5. 考察

前項(1)(2)の解析結果(最大浸水深)を比較して以下に示す. まず, (1)case1については, 第1領域から第2領域まではほぼ同様の最大浸水深であることが分かる. つまり, 格子サイズによる差はみられない. 次に, (2)case2については, 第4領域における家屋モデルの背面と合成等価粗度係数を用いた第3領域, 第2領域, 第1領域の同じ場所を比較すると同様の最大浸水深となっている. よって, 本研究で設定した合成等価粗度係数は適切であるといえる.

合成等価粗度係数でモデル化したものと, 家屋を物理的にモデル化した場合を比較し, 両者の違いを吟味することで, 合成等価粗度係数を用いる事の限界, 評価精度を明らかにする. また, 合成等価粗度係数評価方法に関して考察を行い, より精度のよい評価法について提案を行う.

前述の議論から明らかなように一定粗度を用いた解析結果は家屋を物理的にモデル化した場合と比較して, 違いがあるので, 詳細な解析を行えば, 遡上域に関しては大きく異なる結果が出るものと考えられる.

また, 大きな格子間隔での解析結果が, 小さな格子間隔での解析の入力条件となる. そのため適切な合成等価粗度係数の評価によって細かい格子間隔の解析に良い影響を及ぼし, 解析精度の向上ができることが分かった.

6. まとめ

本研究では, 地形に家屋モデルを入れ込んだ場合に, 家屋を合成等価粗度として考慮した場合と不透過な物体として考慮した場合の数値実験を行った. その結果, 適切な等価粗度の評価によって細かい格子間隔の解析に影響を及ぼすことが分かった. そのためにも, ここで検討を行った粗度の評価は大変重要である.

今後, 本研究で得られた数値実験結果に基づき, 適切な合成等価粗度を設定することにより, 高知県沿岸部全域における家屋を考慮した津波シミュレーション解析を実施することが可能である.

参考文献

- 1) 小谷美佐, GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集 Vol. 45, 356-360 (1998年)
- 2) 油屋貴子, 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 Vol. 49, 276-280 (2002年)