

セルオートマトンを用いた津波遡上シミュレーションに関する基礎的研究

徳島大学大学院 学生員 ○藤原 康寛 東洋建設株式会社 非会員 辻本 健次
 徳島大学大学院 学生員 源 貴志 徳島大学大学院 正会員 成行 義文

1. はじめに 今後、30年以内に約50%、50年以内に約80%という高い確率で発生すると考えられている地震に南海地震がある¹⁾。南海地震による被害の特徴としては、地震動による直接的な家屋倒壊などの被害のほか、津波の発生による被害も受けることである。したがって、地震時には必ず津波が発生すると考え、迅速に避難することが人的被害を最小限に抑える方法である。この避難を迅速に行うためには、実際に防災対策や避難対策を行うことが大切である。そのためには、津波がどこまで到達するのか、家屋に及ぼす被害はどのくらいなのかなどの情報が詳細にわかれば、より有効な対策を行うことができ、被害も少なくなると考えられる。このような観点より、本研究ではセルオートマトン²⁾を用いて、津波遡上を視覚的に捉えるとともに、津波が構造物に及ぼす力の推定が可能な津波遡上シミュレーションモデルを作成し、それを用いて津波浸水深、津波遡上速度、ならびに津波が家屋に及ぼす影響について比較検討するとともに、若干の考察を加えた。

2. セルオートマトンを用いた津波遡上シミュレーションシステムの概要

セルオートマトンは、計算対象をセルに分割し、各セル上に状態量を与え近傍のセル間の相互作用を表わす局所近傍則によって、状態量を推移させる現象のモデル化手法である。

本シミュレーションは、解析対象モデル地区の作成、想定地震の決定、津波浸水深の決定、局所近傍則の決定、解析、結果の出力・表示の順で行う。図1に示すような108m×112mのモデル地区を作成し、解析対象モデル地区とした。想定地震は南海・東南海地震が同時発生した場合と安政南海地震が同時に発生した場合を想定し、初期水位を3m、初期流速10m/sとした³⁾。

1セル □
 = 2m×2m
 □ : 田畑
 粗度係数: 0.020
 ▨ : 家屋
 ■ : 道
 粗度係数: 0.013

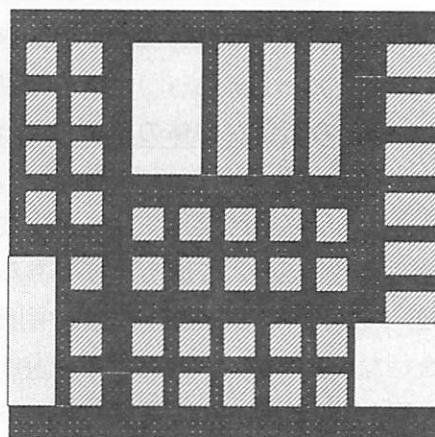


図1 解析対象モデル地区
 (108m×112m, 1セル=2m×2m)

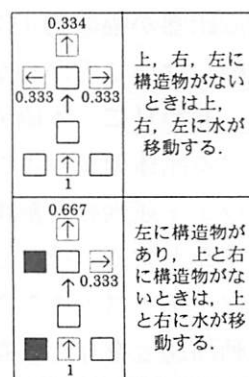
3. 津波浸水深の計算方法と局所近傍則の決定 津波は開水路の不等流と

考え、損失を考慮したベルヌーイの式を用いて津波浸水深を計算する。以下にその式を示す。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(z + h + \frac{v^2}{2g} + h_L \right) = 0, \quad \frac{\partial h_L}{\partial x} = \frac{n^2 v^2}{R^3}$$

ここで、 x は流体の移動距離、 z は位置水頭、 h は水深水頭、 v は速度、 g は重力加速度、 R は径深、 h_L は摩擦損失水頭、 n はマンニングの粗度係数である。

また、図2に本研究で使用する局所近傍則の一例を示す。図2に示している局所近傍則は周囲に水がない場合で、最初の水の進行方向が上向きの場合の局所近傍則である。本研究では、最初の水の進行方向が右向き、左向き、下向きの場合も同様に考慮している。図中の数値は水が移動する割合である。



4. 津波が家屋に及ぼす被害の考慮 本研究では、津波が家屋に及ぼす影響も考慮した。

その方法として、飯塚・松富らの研究成果より⁴⁾、水の流れ中における家屋等に働く

抗力を浸水深より算定し、家屋の危険度を「小破」、「中破」、「大破」、「被害なし」の4段階で評価する。以下にその抗力算定式を示す。

$$F_D = 0.5 \rho C_D u^2 A = 0.5 \gamma_w C_D u^2 h_f B / g$$

ここで、 F_D は抗力、 ρ は流体の密度、 A は流積、 γ_w は海水の単位重量、 C_D は抗力係数、 u は陸上流速、 h_f は前面浸水深、 g は重力加速度、 B は浸水部分の幅である。

図2 局所近傍則の一例

5. シミュレーション結果の比較と考察 図3に示す解析対象モデル地区内の5つの地点(①～⑤)と、3つの道(A～C)においてシミュレーション結果の比較と考察を行った。津波遡上開始位置は図3の下端とする。

5.1 津波遡上時の浸水深の評価 表1は図3の解析対象モデル地区上の5つの地点におけるマンニングの粗度係数と浸水深を示した表である。地点①の浸水深は、津波遡上開始位置からの距離が短いため、初期波高(3m)とほぼ同じ2.999mとなった。地点②、③の浸水深は、家屋に水がぶつかることにより、浸水深が大きくなっており、地点④、⑤の浸水深は、家屋などの障害物がないため、次第に初期波高(3m)より低くなり約2.5mとなった。これより、家屋などの構造物や田畑や道路などの土地条件が津波浸水深に影響を及ぼしているのがわかる。

5.2 津波遡上時間の評価 表2は図3の解析対象モデル地区内の3つの道における津波遡上時間を示した表である。道Bの津波遡上時間は、6.53秒と他の2本の道より短くなっている。これは道B上には何の障害もなく、また道Bに面する家屋と家屋の間を通過しており、水がそこに流れ込むため流速が大きくなり、津波遡上時間が短くなったと考えられる。また、道Aと道Cは、田畑の上を通過しており、その場所の流速が遅くなっていることも結果として表れている。これより、津波遡上時間も家屋などの構造物や、田畑や道路などの土地条件により影響を受けることがわかる。

5.3 津波が構造物に及ぼす被害の評価 津波が構造物に及ぼす被害を、解析対象モデル地区の家屋が全て木造の場合と全てコンクリート造の場合について評価した。図4が木造の場合、図5がコンクリート造の場合である。木造の場合は、津波が最初にぶつかる家屋は大破し、それと重なって建っている家屋はほぼ小破となるが、解析対象地区のほぼ全域で被害が発生した。コンクリート造の場合は、津波が最初にぶつかる家屋は中破するものの、それ以外は被害なしとなった。本プログラムでは、家屋が大破や中破しても、構造物はそのままの状態を保っているとして、シミュレーションしているため、実際よりも被害が小さく判定されることが考えられる。

6. おわりに セルオートマトンの理論を用いて、津波浸水深や津波が構造物に及ぼす力の判定が可能な津波遡上シミュレーションプログラムを作成し、モデル地区の津波遡上シミュレーションに適用した。その結果本手法は、津波遡上時間、津波浸水深ならびに津波が構造物に及ぼす力等を比較的良好にシミュレートできることが分かった。

7. 参考文献

- 1) 文部科学省研究開発局地震・防災研究課 地震調査研究推進本部 ホームページ <http://www.jishin.go.jp/>
- 2) 森下信：セルオートマトン 複雑系の具象化、養賢堂、2003
- 3) 南海地震情報コーナー、徳島県ホームページ、<http://www.pref.tokushima.jp/>
- 4) 飯塚秀則・松富英夫：津波氾濫流の被害想定、海岸工学論文集、第47巻、pp.381-385、2000。

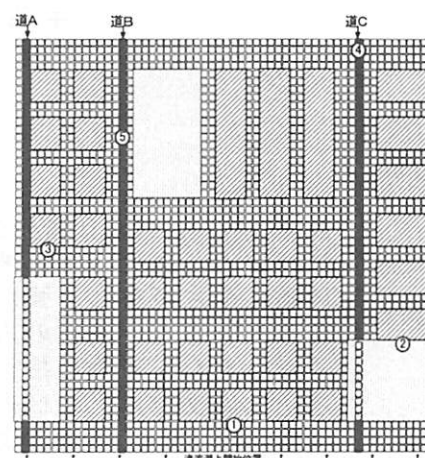


図3 解析対象モデル地区上の測定地点

表1 着目点(①～⑤)の粗度係数と浸水深

点番号	マンニングの粗度係数	浸水深(m)
①	0.015	2.999
②	0.020	4.187
③	0.015	3.244
④	0.015	2.574
⑤	0.015	2.508

表2 各道の津波遡上時間

道番号	津波遡上距離(m)	津波遡上時間(秒)
A	104	9.10
B	104	6.53
C	104	9.68

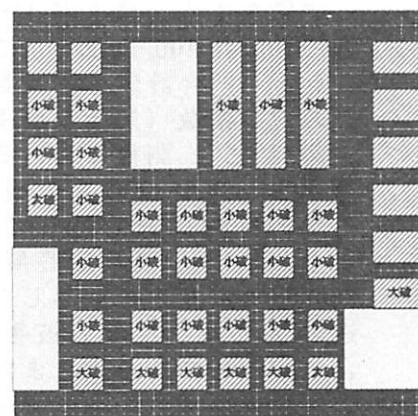


図4 津波による家屋の被害(木造)

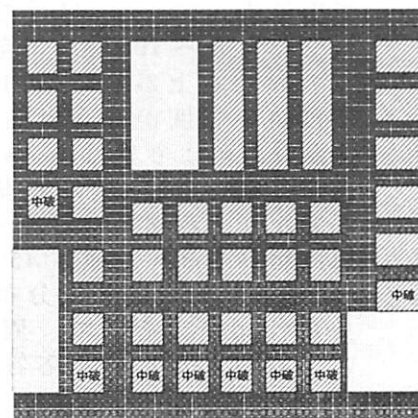


図5 津波による家屋の被害(コンクリート造)