

建物倒壊による道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション

中央大学大学院	学生員	○ 中村	麻菜美
中央大学大学院	学生員	金澤	功樹
エイト日本技術開発	正会員	大川	博史
中央大学	正会員	樫山	和男

1. はじめに

我が国は地震や台風を始めとする自然災害の発生率が非常に高く、世界有数の災害大国である。2011年に発生した東日本大震災を機に、想定外の規模の災害において、ハード面での対策だけでは限界があるとされ、ソフト面の対策の重要性が確認された。ソフト面の対策において、防災・減災対策の評価・検討の手法の一つとして避難シミュレーションの有用性が認識され、著者らの既往の研究¹⁾ではマルチエージェントモデルを用いて様々な要素を考慮した避難シミュレーションが行われた。

本報告では、既往のシミュレーション手法に対し、新たに建物倒壊による道路閉塞を考慮した水害避難シミュレーションを実施した。

2. シミュレーション手法

必要なデータを ArcGIS を用いて、国土地理院が提供しているデータを基に作成した。対象地域である高知県中土佐町久礼地区での作成例の一部を図-1に示す。シミュレーションにはマルチエージェントモデルを扱うことが可能な NetLogo を用いた。

避難者は初期位置から最短距離にあるノードに移動後、隣接している各ノードに対し次式で表される重力モデルを用いて効用 S を算出し、 S が最大となるノードを選択して移動する。

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{z^\beta} - \frac{c}{w^\gamma} - \frac{d}{t^\delta} - \frac{e}{p^\epsilon} \quad (1)$$

ここで、 s は避難所までの距離、 z は標高、 w は水際線からの距離、 t は人数、 p は道路閉塞確率である。 a, b, c, d, e は変数に対する重みであり、値が大きいほど効用に占める割合が大きくなる。 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ は変数に対する空間距離の影響度であり、値が小さくなるほど影響度が大きい。

3. 建物倒壊による道路閉塞

地震により建物の損壊が生じることで、避難経路への影響が懸念される。2015年に東京消防庁が提示した手法²⁾を参考に、建物倒壊による道路閉塞を考慮する。道路閉塞確率の算出にあたり、前提条件を図-2を参照して以下に示す。

- 建物は必ず道路を挟んで向かい合っているものとする。
- 建物が層破壊した時の瓦礫幅に関する確率密度関数は正規分布とする。
- 建物の倒壊は互いに影響を及ぼさず独立して発生する。

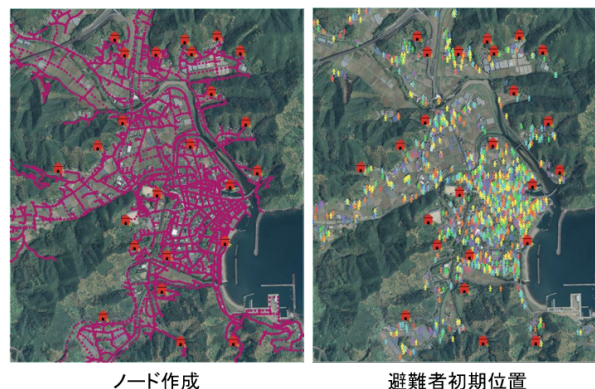


図-1 データ作成の例

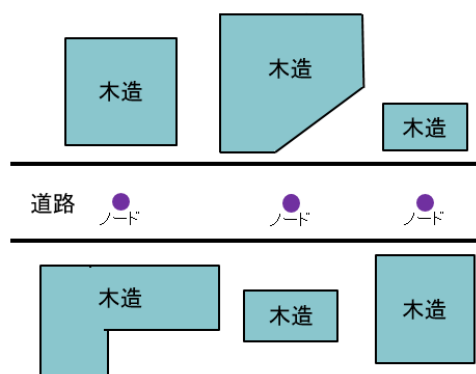


図-2 前提条件

- 確率は作成したノード毎に算出する。

ノード毎の道路閉塞確率 p は次式で表される。

$$p = 1 - \{(1 - x_w)^{\alpha_w} \cdot (1 - x_m)^{\alpha_m} \cdot (1 - x_p)^{\alpha_p} \cdot (1 - y_w)^{\beta_w} \cdot (1 - y_m)^{\beta_m} \cdot (1 - y_p)^{\beta_p}\} \quad (2)$$

ここで、各変数は以下の通りになる。

- x_w : 一對の正面で向かい合う木造建物間で道路が閉塞する確率
- x_m : 一對の正面で向かい合う木造・非木造建物間で道路が閉塞する確率
- x_p : 一對の正面で向かい合う非木造建物間で道路が閉塞する確率
- y_w : 一對の斜めで向かい合う木造建物間で道路が閉塞する確率
- y_m : 一對の斜めで向かい合う木造・非木造建物間で道路が閉塞する確率

KeyWords : 避難, マルチエージェントモデル, 建物倒壊, 道路閉塞確率, シミュレーション

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL : 03-3817-1815 E-mail : a16.a5rd@g.chuo-u.ac.jp

- y_p : 一対の斜めで向かい合う非木造建物間で道路が閉塞する確率
- $\alpha_w, \alpha_m, \alpha_p, \beta_w, \beta_m, \beta_p$: 出現期待値 (3-4) 参照)

また、各変数は以下の式を用いて算出される。

$$x_w = P_{Rw}^2 A_w^2 B_2 + 2P_{Rw} A_w (1 - P_{Rw} A_w) B_1 \quad (3)$$

$$x_m = P_{Rw} A_w P_{Rp} A_p B_2 + P_{Rw} A_w (1 - P_{Rp} A_p) B_1 + (1 - P_{Rw} A_w) P_{Rp} A_p B_1 \quad (4)$$

$$x_p = P_{Rp}^2 A_p^2 B_2 + 2P_{Rp} A_p (1 - P_{Rp} A_p) B_1 \quad (5)$$

$$y_w = P_{Rw}^2 A_w^2 B_2 \quad (6)$$

$$y_m = P_{Rw} A_w P_{Rp} A_p B_2 \quad (7)$$

$$y_p = P_{Rp}^2 A_p^2 B_2 \quad (8)$$

ここで、 P_{Rw} , P_{Rp} は震度別層破壊確率 (式 (9)), A_w , A_p は建物倒壊による瓦礫流出確率, B_1 , B_2 は車両通行幅が確保できない確率であり (式 (11), 式 (12)), ここでの車両通行幅はポンプ車の通行できる幅員 3m とする。これらの確率の算出方法を以下に示すが、詳細については参考文献 4) 5) 6) を参照されたい。

(1) 震度別層破壊確率

震度別層破壊確率の算出には次式を用いる。

$$P_R(x) = \phi \left\{ \frac{\log_e(x) - \lambda}{\xi} \right\} \quad (9)$$

$$m = 2.002 + 2.603 \cdot \log_{10}(PGV) - 0.213 \cdot \log_{10}(PGV)^2 \quad (10)$$

ここで、 $\phi(x)$ は標準正規分布の累積確率分布関数, m は計測震度, PGV は地表速度, λ , ξ は構造別回帰係数である。なお、地表速度 PGV を算出する際に用いる計測震度 m は南海トラフ地震の断層モデルケース 4³⁾において、対象地域で観測が予想される計測震度 6.4(震度 6 強)を用いた。

(2) 瓦礫の流出確率

建物が倒壊した際に瓦礫が道路側に向かって流出する確率を用いる。兵庫県南部地震の事後調査で得られた木造建物の倒壊率及び道路内倒壊率に関する数値データより、倒壊に占める道路内倒壊の割合の平均値 0.482(木造), 0.143(非木造)を用いる⁶⁾。

(3) 車両通行幅が確保できない確率

前述の調査で得られた瓦礫幅の分布⁶⁾を各平均 μ [m], 分散 σ^2 [m] における正規分布の確率密度関数 $f(x)$ とみなし、次式により車両通行幅が確保できない確率 B_1 , B_2 を算出する。

$$B_1 = \int_{w+s-3}^{\infty} f(x) dx \quad (11)$$

$$B_2 = \int_{w+2s-3}^{\infty} f(x) dx \quad (12)$$

ここで、 B_1 は向かい合う建物の片側のみが倒壊する場合の確率, B_2 は向かい合う建物の両側が倒壊する場合の確率, w は道路幅員, s は道路から建物までの距離である。

(4) 建物パターン別の組合せ出現確率

本手法では、ノード周辺において向かい合う建物が少なくとも 1 箇所以上で倒壊することを想定し、道路閉塞確率を算出している。そのため、建物構造 (木造, 非木造) とどのように向かい合っているのか (正面, 斜め) を考える必要がある。組合せ毎の出現期待値を以下の式によりノード毎に算出し、道路閉塞算出時に乗算することで考慮する。

1. 一対の正面で向かい合う木造建物間

$$\frac{N}{2} \left(\frac{m}{N} \cdot \frac{m-1}{N-1} \right) \quad (13)$$

2. 一対の正面で向かい合う木造・非木造建物間

$$\frac{N}{2} \cdot 2 \left(\frac{m}{N} \cdot \frac{N-m}{N-1} \right) \quad (14)$$

3. 一対の正面で向かい合う非木造建物間

$$\frac{N}{2} \left(\frac{m-1}{N} \cdot \frac{N-m-1}{N-1} \right) \quad (15)$$

4. 一対の斜めで向かい合う木造建物間

$$2 \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \left(\frac{m}{N} \cdot \frac{m-1}{N-1} \right) \quad (16)$$

5. 一対の斜めで向かい合う木造・非木造建物間

$$2 \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \left(\frac{m}{N} \cdot \frac{N-m}{N-1} \right) \quad (17)$$

6. 一対の斜めで向かい合う非木造建物間

$$2 \left(\frac{N}{2} - 1 \right) \left(\frac{m-1}{N} \cdot \frac{N-m-1}{N-1} \right) \quad (18)$$

4. 適用例

本報告では建物倒壊による道路閉塞を考慮した場合の効果を見るため、既往のシステム¹⁾を基に、対象地域を高知県中土佐町久礼地区、避難者を歩行避難者 (年齢及び性別毎の歩行速度, 群衆速度, 勾配速度, 年齢性別毎の体重, 避難者の疲労, 浸水済み避難経路の回避, 避難所の収容人数の制限及び区分けを考慮) に限定し、本システムと既往のシステムとで避難開始時刻の変化による犠牲者数の比較を行った。各シミュレーションは地震発生直後から 60 分後まで行った。結果は講演時に示す。

参考文献

- 1) 近真弥, マルチエージェントモデルを用いた津波避難シミュレーションの適応性向上に関する研究, 第 46 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 I-75, 2p., 2018
- 2) 東京消防庁, 地震火災による人的被害の軽減方策 火災予防審議会答申, pp74-91, 2015
- 3) 内閣府中央防災会議, 南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2012
- 4) 堀江啓 等, 木造建物を対象とした層破壊被害関数の適用性に関する考察, 土木学会地震工学論文集 27 巻 1-9 項, 2003
- 5) 藤本一雄, 翠川三郎, 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集 7 巻, pp241-246, 2005
- 6) 土木学会, 沿道建物の倒壊を考慮した道路の横断面構成 土木学会阪神・淡路大震災調査報告, 1998