

地震による建物倒壊及び火災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
 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⁾²⁾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。

沿岸部における地震津波の人的被害では、津波による溺死が死因の大部分を占める。一方で、内陸部や建物が密集する都市では、建物や家具の倒壊による圧死に加えて火災による焼死が多い。地震発生後の火災では、建物の損壊による火気器具や電熱器具からの出火や、停電直後の電気機器や配線からの出火が考えられ、規模によっては山林火災や市街地火災といった二次災害にも繋がる。このことから、地震発生後の避難行動に地震火災が大きく影響すると考えられる。

そこで、本報告ではこれまでに行ってきた建物倒壊による道路閉塞に加え、地震火災を考慮した津波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

シミュレーションまでの流れを図-1に示す。シミュレーションに用いるデータは国土地理院が提供しているデータを基に作成した。作成手法の詳細は著者らの既往の研究²⁾を参照されたい。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プログラミング言語(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。

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

ここで、第一項は最短距離、第二項は標高、第三項は水際線、第四項は建物被害、第五項は地震火災を考慮した項となる。 s は避難所までの距離、 z は標高、 w は水際線からの距離、 p は道路閉塞確率、 f は出火元からの距離である。 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。 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ϵ 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。

KeyWords : 避難, マルチエージェントモデル, 地震火災, 建物倒壊, 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

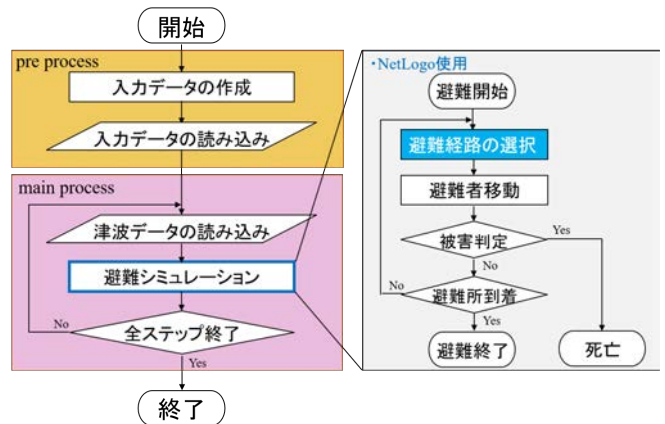


図-1 シミュレーションの流れ

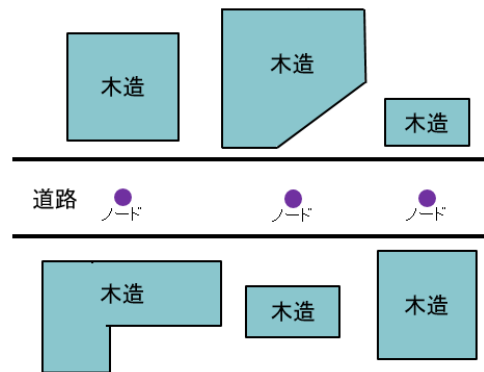


図-2 〈道路閉塞〉前提条件

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³⁾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。
- 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 は一対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 は一対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 ：一対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 は一対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 は一対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、 y_p は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であり、 α_w 、 α_m 、 α_p 、 β_w 、 β_m 、 β_p は出現期待値である。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、 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、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。これらの確率の詳細については参考文献³⁾を参照されたい。

4. 地震火災の考慮

(1) 建物倒壊確率

地震火災は地震の揺れによる建物の損壊に伴い発生する。想定する計測震度を、南海トラフ地震断層モデルケース⁴⁾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) とし、用いる建物の全壊率は、木造建物において 40%、非木造建物において 12% とした。また、以降に用いる建物倒壊棟数は、この全壊率を用いて算出した。

(2) 出火件数

地震の揺れに伴い発生する火災の出火件数は、出火要因毎の出火率を基に算出する出火件数の総和とする。出火率及び出火件数の算出手法は、内閣府が 2012 年に提示した手法⁵⁾を参考とし、以下に示す算出式を用いた。

1. 建物倒壊しない場合の火気器具・電熱器具からの出火

$$\text{出火件数} = \text{震度別用途別出火率} \times (\text{建物総数} - \text{倒壊棟数}) \quad (9)$$

2. 建物倒壊した場合の火気器具・電熱器具からの出火

$$\text{出火件数} = \text{季節時間帯別出火率} \times \text{倒壊棟数} \quad (10)$$

3. 電気機器・配線からの出火

$$\text{電気機器からの出火件数} = 0.00044 \times \text{倒壊棟数} \quad (11)$$

$$\text{配線からの出火件数} = 0.00030 \times \text{倒壊棟数} \quad (12)$$

ここで、季節時間帯別出火率は季節別補正值と時間帯別補正值の乗算により算出する値である。季節別補正值は、最も火気器具類が使用される冬の 0.0449% とし、時間帯別補正值は正午 (12 時) の 2.2 とする。

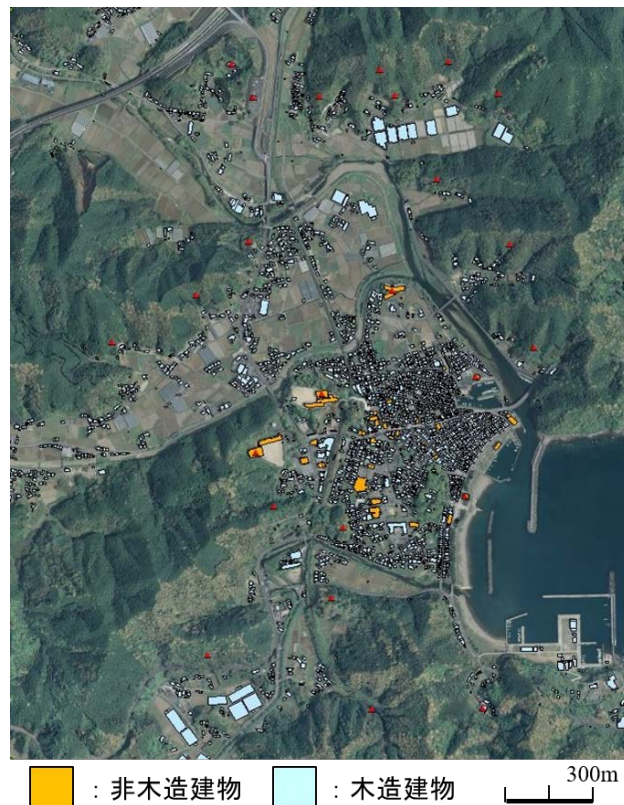


図-3 対象地域

5. 適用例

本報告では、対象地域を高知県中土佐町久礼地区 (図-3) とし、地震による建物倒壊と火災を考慮した津波避難シミュレーションを行う。避難者は歩行避難者 (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) に限定した。また、火災は出火元を出火率からランダムに設定し、出火時刻は任意に設定した。地震火災に関する詳細及びシミュレーション結果は講演時に示す。

6. おわりに

本報告ではマルチエージェントシステムに基づく津波避難シミュレーションにおいて、地震に伴い発生する建物倒壊による道路閉塞に加え、火災の影響について考慮を行った。

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) 中村麻菜美, 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, 令和 2 年度土木学会第 75 回年次学術講演会 CS5-16, 2p., 2020.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 内閣府中央防災会議, 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要, 2012.