

屋外落下物を考慮した地震災害時の避難経路の安全性の評価に関する基礎的研究

荻野 光司¹・高田 和幸²・山下 倫央³・大原 美保⁴

¹非会員 東京工業大学大学院 環境・社会理工学院 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

E-mail: ogino.k02@gmail.com

²正会員 東京電機大学教授 理工学部 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

E-mail: takada@g.dendai.ac.jp

³非会員 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1 中央第1)

⁴正会員 国立研究開発法人 土木研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

本論文は、地震による屋外落下物に注目し避難経路の安全性を評価したものである。

対象地域は東京都足立区千住地域で、住宅が密集しており、不燃化率も低いといった防災上多くの課題が残されている地域である。また、北千住駅は多くの線が乗り入れるターミナル駅で災害時には多くの帰宅困難者が予想される。

首都直下地震を想定した際、避難時において建物からの落下物は軽視することの出来ない問題である。そこで、落下物に対する回避の困難度という指標を提案し、歩道単位でこの値を算出した。さらに、一時集合場所から広域避難場所への2段階避難を想定し、落下物に対し安全な避難が期待出来る経路を探索した。そして、最短経路・安全経路それぞれで避難した際の避難完了時間・混雑度などをシミュレーションで確認した。

Key Words : *earthquake disaster, falling objects, safety evacuation*

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以降、災害による被害を最小に抑える取り組みが今まで以上に求められるようになった。また、この度の熊本地震を受けて、本震・余震、前震・本震も事後的に定義されることが明らかになり、首都直下地震が起きた際にも、どのような地震が発生するかを予想することは困難であると明らかとなった。このような背景から、避難に関して、時々刻々と変化する災害状況に応じて適切な行動を取ることが重要である。そのために、災害状況を想定した避難シミュレーションや、避難経路の安全性評価を事前に行い、市民をはじめ地域・地区の防災に積極的に関わる方々に情報を提供することは有用であると考えられる。

(1) 既往の研究と本研究の位置づけ

首都直下地震を想定した地域の危険度を示しているものとして、東京都都市整備局(2013)、地震に関する地域危険度測定調査(第7回)がある。しかし、この指標は町丁目ごとに示されたもので、東京都全域の危険地域

を可視化する上では役に立つが、ミクロ的な避難経路など歩道単位を評価するには適さない。

一方で、避難経路などのミクロ視点での安全性評価については、これまでに多くの研究がなされている。市川ら¹⁾は、建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を分析し、被災場所、一時集合場所、広域集合場所を結ぶ避難経路(2段階避難)の避難危険度を出来るだけミクロな視点から計量している。その上で、避難地への到達可能性について考察している。また、馬淵ら²⁾は、道路閉塞および火災延焼の危険度を評価した上で、2段階避難モデルを構築し避難方法の提案を行っている。

これらは本震による被害を想定したものであり、余震時のリスクは考慮されていない。しかし、避難中に余震の被害に襲われる可能性は十分に考えられるし、本震並みの強い揺れが起こるかもしれない。そこで本研究では、歩道単位で屋外落下物に対する危険度を算出し、最も安全な避難が期待出来る経路を示し、シミュレーションを行うことでその経路の有効性を評価することを目的とする。

(2) 対象地域について

本研究では、東京都足立区千住地域を対象に選定した。足立区は、東京 23 区の北東部に位置し、隅田川と荒川にはさまれた地域と、面積の大半を占める荒川以北の地域とに分かれている。

足立区の災害上の概況について述べる。足立区地域防災計画によると、足立区は河川が運んできた土砂の堆積により陸地が形成された沖積低地であり、区域全域が海拔 2m 前後で、一部では海拔 0m 地帯を形成している。地質は粘土質を主成分とした沖積層で、湿潤で水はけの悪い地層である。また、表層部に砂層が堆積し、地震の程度によっては液状化の危険もある。既成市街地では住商工業の混在、木造家屋の密集、狭い道路等、防災上極めて多くの問題を抱えている。特に千住地域は、自然発展過程のままに住宅が密集し、建築密度が高く、不燃化率が低いため、防災上多くの課題が残されている。このことは、東京都が 5 年ごとに実施している地域危険度測定調査にも示されており、千住地域は建物倒壊、および火災延焼の危険性が高い箇所が多く、ゆえに全体的に見ても総合危険度の高い地域である (図-1)。

2. 研究方法

(1) 歩道単位での避難危険度指標

東日本大震災では、横浜市の大通りに面するビルの壁面が落下するなどの事例があった。また、避難時には混雑が発生することが十分に考えられ、国道など避難者が集中する道路では特に混雑が懸念される。このような状況下で、落下物が生じると回避することは困難に思われる。そこで、建物からの落下物が生じた際に、前面道路にどれだけ回避する余裕があるかという指標を提案した。

落下物が発生した際の水平飛散距離を、総合設計の公開空地の落下物曲線を参考に、

$$x = \sqrt{h}/2 \quad (1)$$

とし、前面道路 (歩道) 幅員に対する落下物の飛散影響率を落下物回避困難度とし式-(2) で定義した。

$$\begin{aligned} \text{影響範囲率} &= 2x/y = 2\sqrt{h}/2y \\ &= \sqrt{h}/y \end{aligned} \quad (2)$$

概略図を図-2 に示す。なお、前面道路幅員 (y) に関して、車道と歩道が分断されている場合は、歩道の幅員を (y) とした。

(2) 指標値算出過程

使用したデータについて、表-1 に示す。また、歩道 (リンク) 単位の避難危険度の算出、および経路探索のフローを図-3 に示す。建物利用現況データより、建物単位での落下物の飛散影響範囲率を式-2 より算出した。

この際、建物利用現況データには階数データしかないため、1 階分を 3m として計算した。次に、ネットワークデータから 7m バッファデータを作成し、算出した沿道建物の飛散影響範囲率の平均値をリンクデータに付加させた。その値に、沿道建物の建築面積密度の補正值を掛けて、最終的にリンク単位での落下物に対する回避困難度を算出した (図-4)。

(3) 落下物回避経路の探索

千住宮本町の一時集合場所である千住神社から、荒川河川敷の広域避難場所への 2 段階避難を想定し、落下物に対して安全な避難が最も期待出来る経路 (以下、落下物回避経路) を探索した。

まず、K 番目経路探索により、目的地までの避難総距離が短い順に 100 経路を抽出した (図-5)。次に、これら各経路の落下物回避困難度を期待値的に求め評価した (図-6)。そして 100 経路の中で、落下物回避困難度の期待値が最も低い経路を落下物回避経路と定めた。

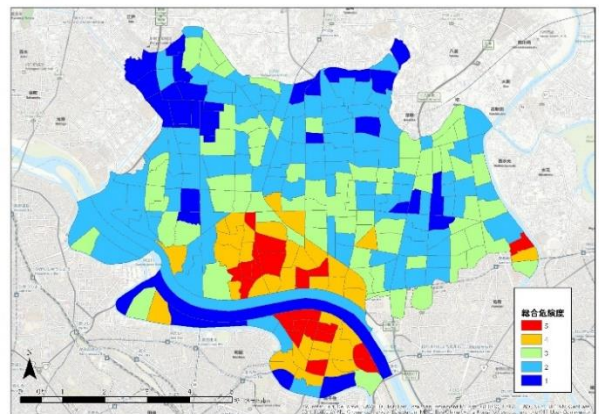


図-1 足立区の総合危険度

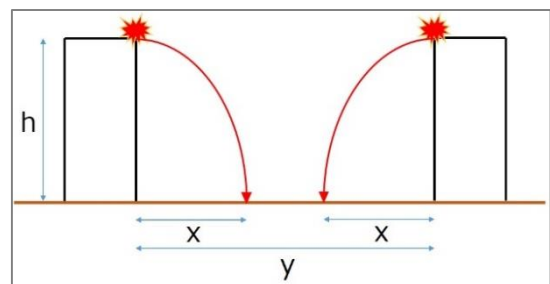


図-2 落下物の飛散影響率 概略図

表-1 使用データ

データ名	詳細
建物データ	東京都都市計画地理情報システムデータ 平成 18 年度建物利用現況
歩行者ネットワークデータ	昭文社 歩行者ネットワークデータ

3. 分析結果

(1) 落下物回避経路

千住宮本町からの2段階避難の目的地を3箇所設定し、それぞれの落下物回避経路を算出した(図-7, 8, 9)。また、各経路の避難総距離、および落下物回避困難度の期待値を最短経路、落下物回避経路で比較した(表-2)。設定1, 2においては最短と落下物回避経路で大きな違いが見られないため、期待値にもあまり影響は見られない。しかし、設定3においては経路に明確な違いが見られ、具体的には国道4号線を避け、幅員が広めで比較的低い建物が並ぶ経路を示した。これは、本研究で提案した指標値である落下物回避困難度が、沿道建物高さ・前面道路(歩道)幅員・建物面積密度に依存するため、大通りなどの高い建物が建っていて車道と歩道が分断された道路(歩道のみで計算)に関しては危険であると見なされるからである。設定3での経路間での各指標値を比較してみると、多少迂回するものの期待値が半分以下に抑えられていることが分かる。

(2) シミュレーション結果

千住宮本町の2段階避難において、最短と落下物回避経路に明確な違いが見られた設定3をシミュレーションの条件とし、それぞれの経路を通り避難する人を50%ずつ配分した。なお、他の町丁目からの避難者は2段階避難をすべて最短経路で行うものとした。そして、この設定でシミュレーションを行った際の、宮本町からの最短経路避難者と落下物回避経路避難者の、避難完了時間、および混雑内滞留時間を比較した。シミュレーションの条件詳細、および結果を表-3、図-10に示す。

4. まとめ・課題

避難時における屋外落下物の危険性に着目し、落下物回避困難度という指標を提案し歩道単位で危険性を評価した。この値を用いて、最も安全な避難が期待される経路を探索し、シミュレーションなどを通してその経路の有効性を定量的に評価した。

今後は、全町丁目からの避難者が安全経路で避難した場合を想定し、より現実に即した結果の提示を行いたい。また、現段階では避難時の混雑におけるリスクを評価出来ていない問題がある。ある場所に留まることは、落下物の観点から見ても危険なことであるため、経路探索の段階でより混雑が緩和出来る配分を考える必要があると考える。

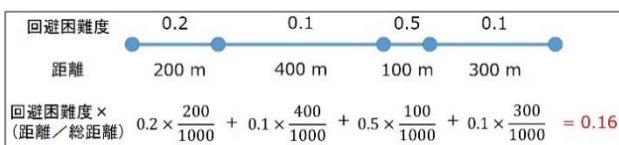


図-6 落下物回避困難度の期待値的計算モデル図

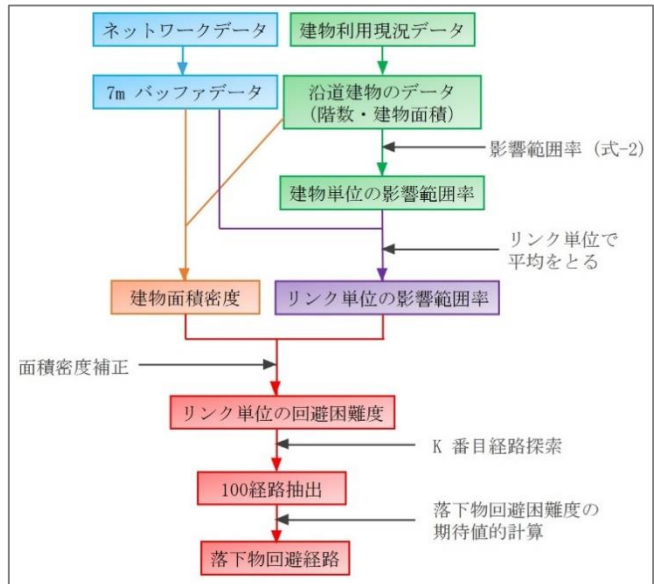


図-3 分析のフロー図

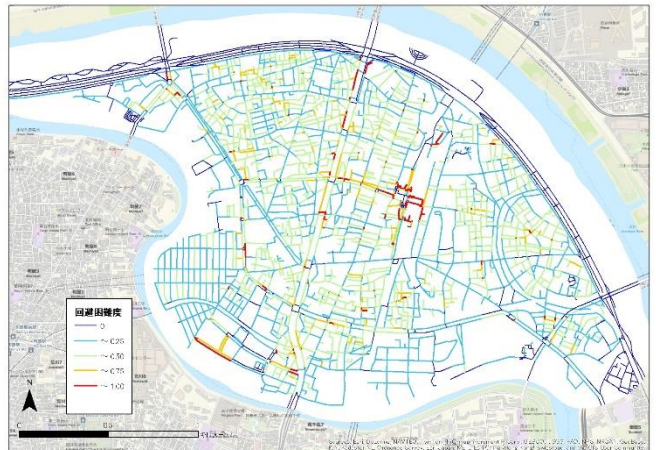


図-4 道路単位の落下物回避困難度

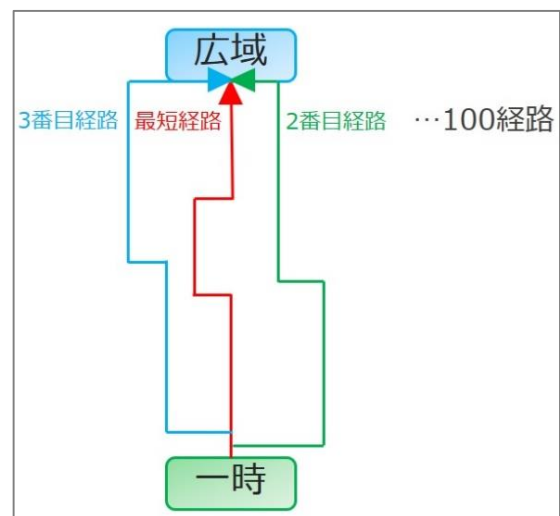


図-5 K 番目経路探索 概略図



図-7 避難経路 (設定 1)



図-8 避難経路 (設定 2)



図-9 避難経路 (設定 3)

表-2 最短・落下物回避経路の指標値

最短から()番目	避難総距離 [m]		落下物回避困難度の期待値	
	最短経路	回避経路	最短経路	回避経路
設定1 (12)	1336	1346	0.192	0.169
設定2 (5)	1312	1330	0.172	0.172
設定3 (24)	1578	1601	0.375	0.143

表-3 シミュレーション条件

使用ソフト	歩行者シミュレータ CrowdWalk
避難者数	72,401 人
避難者発生期間	発災後 10 分間
避難方法	2 段階避難 (一時集合場所で指定時間まで待機 → 広域避難場所へ再避難)
経路の選択方法	最短経路探索 (千住宮本町のみ、最短・落下物回避経路で設定)

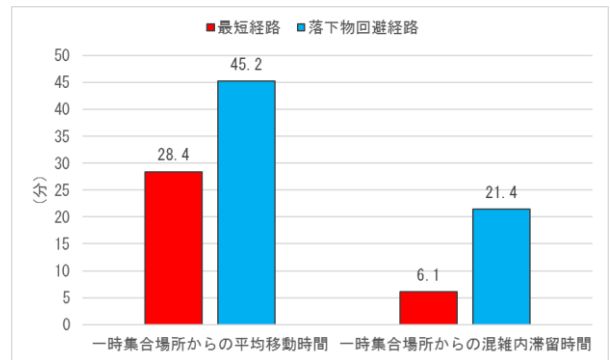


図-10 シミュレーション結果

参考文献

- 1) 市川総子・阪田知彦・吉川徹：建物倒壊および道路閉塞のモデル化による避難経路の危険度を考慮した避難地への到達可能性に関する研究，「GIS - 理論と応用」，2004 - 07, Vol.12, No.1, pp.47 - 56.
- 2) 馬淵ゆみ・瀬尾和大・元木健太郎・上田遼：木造密集地域における地震時の広域火災に対する避難計画に関する研究，2008 - 11，「地域安全学会論文集(10)」，pp.409 - 415.

SAFETY EVALUATION OF EVACUATION PATH CONSIDERING THE RISK OF FALLING OBJECTS

Koji OGINO, Kazuyuki TAKADA, Tomohisa YAMASHITA and Miho OHARA

Risk of falling objects from the wall and the roof after quakes may damage people on the road. Therefore, in this study the level of safety of evacuation considering the falling objects is examined. The study area of this research is Senju district in Adachi ward. There would be many people who evacuate on the road after Tokyo metropolitan earthquake. Index which can evaluate the level of safety of evacuation path was developed. This index is utilized to find out the safest evacuation path from origin to evacuation site. Meanwhile, multi-agent simulation was executed to examine the required evacuation time and congestion level on roads. And effectiveness of the proposed evacuation path was verified.