

震災時の道路混雑を考慮した 避難危険度指標の開発 ～壁面の落下物を考慮して～

高田 和幸¹・清水 真幸²・宮内 弘太³・藤生 慎⁴
・大原 美保⁵・山下 倫央⁶

¹正会員 東京電機大学理工学部 建築・都市環境学系（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

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

²学生会員 東京電機大学理工学研究科 建築・都市環境学専攻（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

E-mail: 16rmg05@ms.dendai.ac.jp

³学生会員 東京電機大学理工学研究科 建築・都市環境学専攻（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

E-mail: base4710@gmail.com

⁴正会員 金沢大学 理工学域環境デザイン学系（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

E-mail: fujiu@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵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）

E-mail: mi-ohara@pwri.go.jp

⁶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）

E-mail: tomohisa.yamashita@aist.go.jp

地震発生後の避難に関しては、火災や土砂災害に配慮することが求められている一方、建物からの落下物に対しては、あまり議論がなされていない様である。しかしながら2016年4月の熊本地震では、規模の大きい地震が継続して起こり、窓ガラスの飛散や、壁面からのパネル片・コンクリ片の落下が見受けられた。このような状況を鑑み、本研究では地震発生時の建物からの屋外落下物の危険性に注目し、落下物からの回避の困難度を表す指標を作成し、避難路の安全性の評価方法を考えた。さらにケーススタディとして震災発生時に避難者が大勢発生すると思われる経路を複数取り上げ、落下物に対し安全避難が期待できる経路の抽出を行った。さらに、利用者均衡法を用いて避難経路上に存在する避難者数を算出し、落下物の危険性ととも、複数の指標を考案し避難路の評価を行った。

Key Words: earthquake disaster, falling objects, GIS, safety evacuation, user equilibrium

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、想定外を無くすための検討・調査研究・対策が施されてきた。

一方、2016年4月に発生した熊本地震では、前震、本震、余震が事後的に定義され、また規模の大きい余震が継続して起こるなど、これまでにない地震の発生形態が見られ、新たな対策の必要性を認識させられた。また熊本地震では、窓ガラスの飛散や、壁面からのパネル片・コンクリ片が落下するなど、地震発生時刻によっては、市民が大怪我をする事象も発生した状況であったと考

えられる。

このような建物からの落下物は、将来発生すると想定される首都直下地震発生後の避難の安全性に多大な影響を及ぼす要因と考えられる。

本研究では、東京都足立区千住地域を対象に選定した。千住地域には5路線が通行する北千住駅があり、また国道4号線も通っているため、首都直下地震発生時には、北千住駅や都心方面からの避難者がこの地域を通って移動することが予想される。混雑した状況下での避難は、落下物の危険度をより一層高める要因である。

そこで本研究では、壁面からの落下物の危険性を表す指標を開発し、落下物を考慮した震災避難時の安全な避難のあり方について考察を加えることとした。

2. 既往研究と本研究の位置付け

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のには適さない。

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。

3. 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。

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

概略図を図-1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。

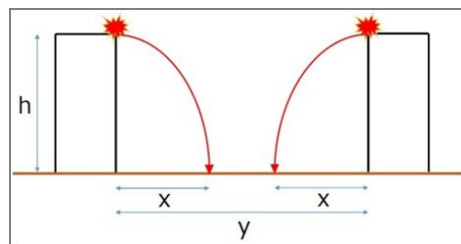


図-1 落下物の飛散影響率 概略図

(2) 指標値算出過程

使用したデータを表-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-2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E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と設定して計算した。

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(E_A)をリンクデータに付加した。その値に、7mバッファの中にある建物の建築面積の7mバッファのエリアに対する密度をリンク毎にもとめ、それを補正值としてE_Aに掛け合わせ、リンク毎の回避困難度を算出した。(図-2)

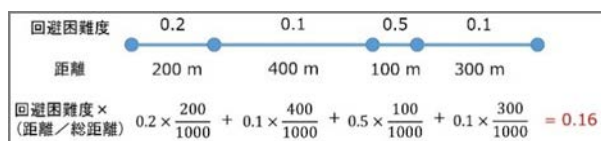
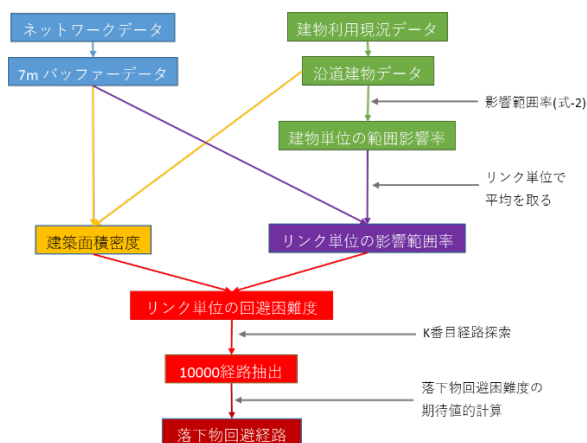
その後K経路探索を行い、目的地までの避難総距離が短い順に10000経路を抽出した。なお経路探索を行う際には、大勢の避難者が通行することは困難と想定される細街路（幅員3m未満）を探索の候補から除外した。さらに探索された10000経路について、総距離に対するリンク長の割合を、リンクの回避困難度に乗じ、これらを全リンク分足し合わせることで、避難路の危険度とした(図-3)。この危険度が最も低い経路を落下物回避経路と定めた。

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



図-2 補正值算出の概略図



(3) 落下物回避経路の探索

地震発生後に避難者が大量に発生すると考えられる北千住駅から千住新橋の経路と、千住大橋を発ち千住新橋にいたる経路、加えて一時集合場所に設定されている場所からの経路を検討するために、千住スポーツ公園と尾竹橋公園から、それぞれ千住新橋に至る経路の計 4 つのケースについて、落下物に対して安全な避難が期待できる経路(以下落下物回避経路)を探索した。

4. 新たな落下物危険度算出指標

首都直下地震発生後には帰宅困難者や避難者によって歩道が混雑することが予想される。そこで、従来の危険度算出指標では評価できていなかった混雑による危険度の変化を盛り込んだ指標を提案した。混雑を考慮した落下物危険度指標算出のフローを図-7 に示す。今回、より実際の建物現況に則した落下物危険度指標を提案するために、個々の建物の道路に面した壁面の幅を ArcGIS 上で建物利用現況ポリゴンから抽出した。まず、建物ポ

リゴンの外周をポリラインデータ化しそのポリラインを頂点で区切った。各歩道リンクに歩道幅員+3m のバッファポリゴンを発生させ、その中に完全に含まれる建物ポリラインを建物沿道壁面を表すラインとし、そのライン長を建物沿道壁面幅 w とした。

次に、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、

$$x = \sqrt{h}/2 \quad (3)$$

とし、式(3)を 0 から H の範囲で積分して与えられた落下物危険度関数に建物沿道壁面幅をかけた式を建物単体での落下物危険度と定義した。

$$X = \frac{1}{3}\sqrt{H^3} \times w \quad (4)$$

式-4 で求められた建物個々の落下物危険度を最寄りのリンクに集約し、それをリンク単位の落下物危険度とした。

次にそのリンク上に存在する歩行者数からリンク内の歩行者密度を求め、その時の歩行者の歩行速度 v を図-8の歩行者密度歩行速度曲線¹⁾ から求めた。

最後に、求められた歩行速度でリンク単位の落下物危険度を割ることで混雑を考慮した落下物危険度指標が求められた。その指標を式-5 に示す。また、想定した状況の概略図を図-9 に示す。

$$\sum \frac{1}{3} \sqrt{H_i^3} \times \frac{w_i}{v} \quad (5)$$

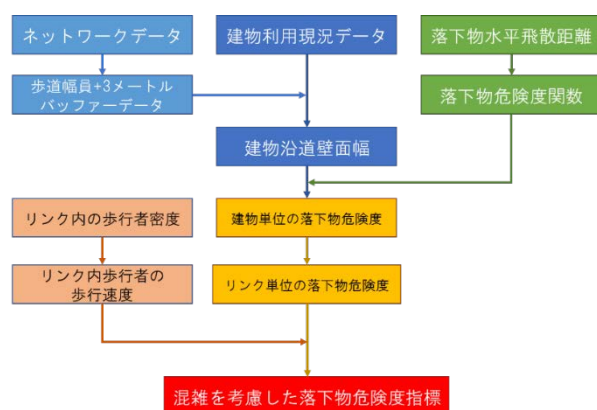


図-7 混雑を考慮した落下物危険度指標

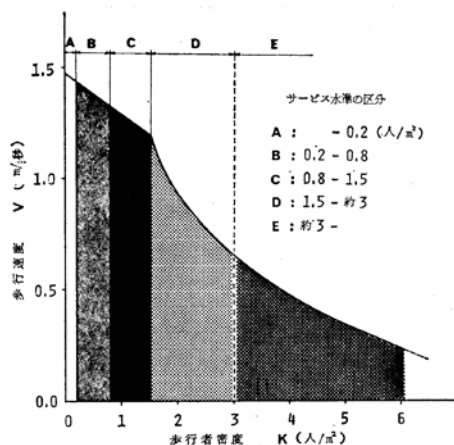


図-8 歩行者密度歩行速度曲線

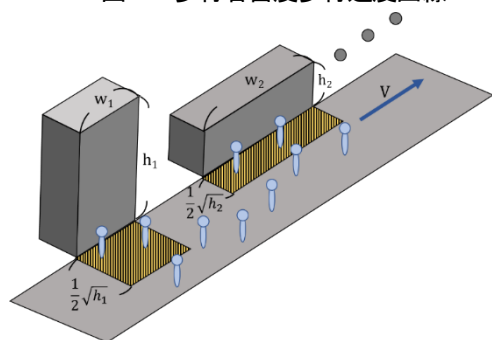


図-9 概略図

5. 分析結果

避難者が移動する出発地と目的地について 4 ケース設定した。ケース 1 は北千住駅を発ち千十新橋に至る経路、(図-10) ケース 2 は千住大橋を発ち千住新橋に至る経路(図-11)、ケース 3 は一時避難場所である千住スポーツ公園を発ち千住新橋に至る経路(図-12)、ケース 4 は同じく一時避難場所である尾竹橋公園を発ち千住新橋に至る経路(図-13)である。これら 4 ケース全ての避難距離最短経路と落下物回避経路の距離と落下物危険度の比率(表-2~5)を比較すると、距離の増加率は落下物危険度の減少率を下回った。これから、震災発生後に最短経路ではなく落下物回避経路をたどって避難することは有効であると判断できる。



図-10 最短経路と落下物回避経路
(ケース 1 : 北千住駅)

表-2 最短経路と落下物回避経路の比較(ケース 1 : 北千住駅)

	避難経路 最短経路	危険度 最小経路	比率
距離(m)	1429	1743	1.22
落下物危険度	0.182	0.147	0.81



図-11 最短経路と落下物回避経路
(ケース 2 : 千住大橋)

表-3 最短経路と落下物回避経路の比較
(ケース 2 : 千住大橋)

	避難経路 最短経路	危険度 最小経路	比率
距離(m)	2540	2742	1.08
落下物危険度	0.236	0.17	0.72

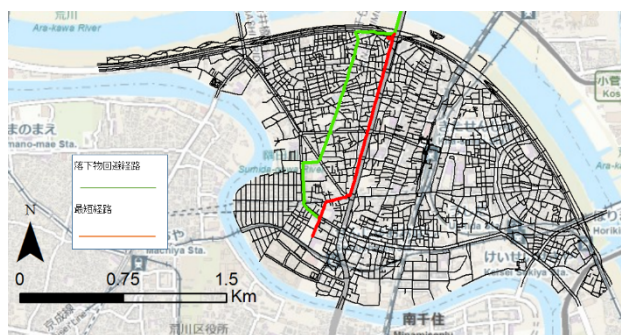


図-12 最短経路と落下物回避経路
(ケース 3 : 千住スポーツ公園)

表 4 最短経路と落下物回避経路の比較
(ケース 3 : 千住スポーツ公園)

	避難経路 最短経路	危険度 最小経路	比率
距離(m)	2275	3420	1.50
落下物危険度	0.34	0.154	0.45

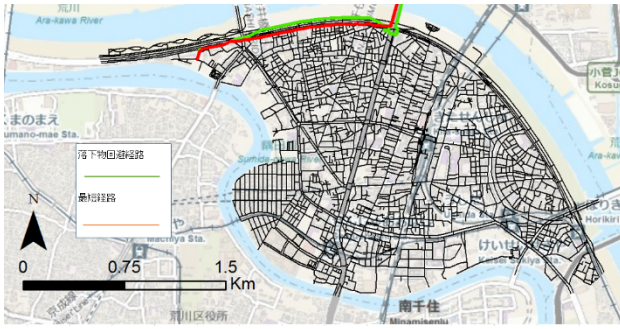


図-13 最短経路と落下物回避経路
(ケース4：尾竹橋公園)

表5 最短経路と落下物回避経路の比較
(ケース4：尾竹橋公園)

	避難経路 最短経路	危険度 最小経路	比率
距離(m)	2150	2270	1.06
落下物危険度	0.0728	0.033	0.45

6. まとめと今後の課題

平成28年熊本地震における余震の発生状況を踏まえると、首都直下地震時の帰宅者の安全確保には、余震による危険性にも十分配慮が必要と考えられる。

そこで本研究では、震災避難時の屋外落下物の危険性に着目し、「落下物回避困難度」という指標を作成した。実際の歩道のリンク単位で「落下物回避困難度」を評価し、避難者が多く発生すると想定される2地点と、一時

避難場所に指定されている場所の代表としての2地点からの避難経路について、最短経路と危険度最小経路を抽出し、これらの比較を行った。

落下物の回避困難性については、本研究で考慮した変数の他、通行者の密度や避難にかかる時間も大きな要因であると考えられる。今後は、混雑度の影響や時間的概念を反映した指標の作成を図るとともに、その他の危険度とあわせた総合的な評価指標の開発を進める。

また避難経路抽出の際の抽出数を増やし、より安全な経路があるかどうかを検討する必要があると考えられる。今後、この指標と利用者均衡配分を用いて避難者及び帰宅困難者がより安全に移動できるような避難経路を検討していく。

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・瀬尾和太・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.
- 3) 毛利正光 塚田博司：歩行路における歩行者挙動に関する研究，土木学会論文報告書 1977 年 pp99～108.

(2017年9月8日)

REASARH ON SAFE EVACUATION PATH CONSIDERING THE RISK OF FALLING OBJECTS FROM BUILDINGS

Kazuyuki TAKADA, Masayuki SHIMIZU, Kota MIYAUCHI, Makoto FUJII,
Miho OHARA and Tomohisa YAMASHITA