

地震動による建物屋上および壁面からの 落下物の飛散特性に関する一考察

松岡 佑樹¹・藤生 慎²・南 貴大³・
高田 和幸⁴・高山 純一⁵・中山 晶一朗⁶

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:yuki.sapphire.12@gmail.com

²正会員 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:fujiiu@se.kanazawa-u.ac.jp

³学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:takahoro1993@gmail.com

⁴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

⁵フェロー 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁶正会員 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

2011年3月11日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震から、2011年東北地方太平洋沖地震の津波避難の再現シミュレーションや今後地震が発生すると想定されている地域での避難シミュレーションが盛んに行われるようになった。非難シミュレーションの種類には、地震後の津波を想定したシミュレーション、地震後の火災を想定したシミュレーション、地震により倒壊した建物による道路閉塞を考慮したシミュレーションなどがある。しかし、地震動による落下物およびそれによる道路閉塞を考慮した避難シミュレーションはまだなされていない現状である。そこで、本研究では地震動により発生する落下物を考慮した避難シミュレーションを行うために、落下してくる建設材料の飛散特性を、実験を通して把握することを目的とし、材料別の飛散特性を明らかにした。

Key Words:falling object, scattering, evacuation simulation, earthquake ground motion

1. はじめに

2011年3月11日に発生した2011年東北地方太平洋沖地震から、地震と津波に対する考え方が改められるようになり、2011年東北地方太平洋沖地震の津波避難の再現シミュレーションや今後地震が発生すると想定されている地域での避難シミュレーションが盛んに行われるようになった。

避難シミュレーションの種類には、地震後の津波を想定したシミュレーション、地震後の火災を想定したシミュレーション、地震により倒壊した建物による道路閉塞が発生した場合を想定したシミュレーションなどがある。しかし、地震動による落下物およびそれによる道路閉塞を考慮した避難シミュレーションはまだなされていない現状である。その背景には、落下物がどの様なタイ

ミングで落下し、どの様に飛散するのかが明らかになっていないためである。

避難シミュレーションでは落下物を考慮されていないが、2011年東北地方太平洋沖地震の時には、首都圏において、余震によりビルの壁面が剥がれコンクリート片が落下してきた事例が報告されている。また、2016年4月16日に発生した平成28年熊本地震においても、地震動により建物の壁面が剥がれて落下する、戸建ての家から瓦が落下してくるなどの報告がされている。

このような背景を鑑みて、本研究では落下物を考慮した避難シミュレーションを行うために、地震動の影響により落下してくることが予想される建設材料がどの様に飛散するのか、飛散特性を実験を通して把握することを目的とする。

2. 既往研究の整理

本研究の目的に沿って、地震時の避難シミュレーションに関する既往研究についてレビューを行った。

牧野嶋ら²⁾は、既存の津波シミュレーションを改善し、歩車混在の影響を考慮した避難シミュレーションを行い、避難実態調査で歩車混在の危険性が示されている箇所でもシミュレーション上でも顕著な影響が得られている。

廣井ら³⁾は、首都圏を対象として大規模避難シミュレーションを構築し、帰宅困難者対策の量的評価を行い、災害時における混雑危険度指数を提案している。

小林ら⁴⁾は、仮想現実(VR)を用いて地震発生直後の火災を再現し、被験者がどのような避難行動をとるかを分析し、その結果を地震火災シミュレーションの人間避難行動モデルに適用することを目的としている。

これらの研究では、いずれも地震発生直後から状況が変化することはないと考えられ、落下物が考慮されていない避難シミュレーションが行われている。

一方、清水ら⁵⁾は、地震発生後の建物からの屋外落下物の危険性に着目し、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提案している。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ている。

清水らの研究で行われている落下物を考慮した避難路の選択行動と本研究により明らかにする落下物の飛散特性を用いることにより、落下物を考慮した避難シミュレーションが可能であると考ええる。

3. 実験概要

本研究では、落下実験から、地震時に建物屋上及び壁面から落下が想定される建設材料の地面落下時における飛散状況の把握、材料別の飛散特性の把握を行う。以下に、今回行った落下実験についての概要を示す。

(1) 実験日時・場所

実験日時は、21017年5月21日(日)の午前10時ごろから午後4時ごろまでに行った。

実験場所は、金沢大学K駐車場を使用した。今回大学の駐車場を使用した理由は、K駐車場は金沢大学の駐車場の中で校舎から1番離れた位置にあり、休日に利用する者は少なく、また十分な広さがあるため落下物が飛散しても周囲に被害が及ばないためである。K駐車場の奥には薬用植物園があるが、実験中にそこに行く者がいないか注意を払い、通行者が現れた場合は一時実験を中断し安全には十分配慮した。

(2) 落下物

今回の実験で落下させた建設材料の諸元を以下に示す。

a) コンクリートブロック基本型 100mm

コンクリートブロック基本型 100mm は、サイズ(幅×奥行×高さ):390×190×100mm, 重さ 9753g(3つの平均)である。

b) コンクリートブロック基本型 150mm

コンクリートブロック基本型 150mm は、サイズ(幅×奥行×高さ):390×190×150mm, 重さ 13340g(3つの平均)である。

c) コンクリート板

コンクリート板は、サイズ(幅×奥行×高さ):400×190×50mm, 重さ 7583g である。

d) レンガ

レンガは、サイズ(幅×奥行×高さ):210×100×60mm, 重さ 2463g である。

e) 薄レンガ

薄レンガは、サイズ(幅×奥行×高さ):210×100×25mm 重さ 1250g である。

f) セメントレンガ

セメントレンガは、サイズ(幅×奥行×高さ):210×100×60mm, 重さ 1900g である。

(3) 落下高さ

今回の実験では、本章2節に示した建設材料を高所作業車を用いて5mと15mから落下させた。5mは戸建ての住宅を想定した高さであり、15mは5階建て程度のビルの屋上及びそれ以上の高さのビル壁面からの落下を想定した高さである。

落下させる条件として、規定高さから落下物を自由落下させた。他の力が加わらないように建設材料から手を離すとき下に引き抜くようにした。

(4) 飛散状況の調査方法

飛散状況の調査の準備として、まず高所作業車の荷台に建設材料を落下させる者、実験の様子をカメラで撮影する者、計二人乗車する。そして、建設材料を落下させる高さまで荷台をあげ、荷台から地面までメジャーを降ろし、規定の高さ(5m, 15m)になるように設定した。

規定の高さに到達後、1人が建設材料を落下させ、1人が実験状況を撮影する。まず、建設材料を落下させる際に落下地点を把握するために、落下始めから地面に衝突するまでの写真を高所作業車から撮影する(図-1)。地面に衝突し飛散した後、落下地点からの飛散距離を算出するために、飛散物付近にメジャーをひき、荷台から撮影する(図-2)。写真撮影後、飛散した落下物をダンボー

表-1 落下実験を行った地点のアスファルト強度

計測回数	アスファルトの強度(kN/mm ²)
1	12
2	11
3	12
4	14
5	12
6	17
7	13
8	16
9	14
平均	13.44

ルに片付け、次の建設材料を落下させた。

落下実験終了後、画像データから飛散物の距離を測定し、それぞれの重さを測定した。

(5) 落下地点の強度

今回の実験において、落下地点である駐車場表面のアスファルト強度をシュミットハンマーを用いて計測した。その結果、9回計測した平均が、13.44(kN/mm²)であった(表-1)。

(6) その他

建設材料を落下させ、次の建設材料を落下させる前に、落下地点付近を箒を用いて出来る限り綺麗にし、次の飛散状況に影響がないよう考慮した。

4. 実験結果

画像データから飛散物の距離の測定を行った(図-3)。今回は、飛散距離を概算で算出しており、落下地点を中心に直径10cm以内、20cm以内、30cm以内、40cm以内、50cm以内、70cm以内、100cm以内、200cm以内、300cm以内、500cm以内、500cm以上に分割した。図-3の黄色の点が落下地点、丸い円が内側から10cm、20cm、30cm、...、となっている。

建設材料を高さ5mから落下させたときの飛散物の重さと距離の関係を図-4に、建設材料を高さ15mから落下させたときの飛散物の重さと距離の関係を図-5に示す。

図-4より、全体の特徴として、飛散物が重くなれば飛散距離も短くなることがわかる。一方で、軽いから必ずしも遠くに飛んでいくことはなく、1000g未満の飛散物は300cm以内に集中して点在している。

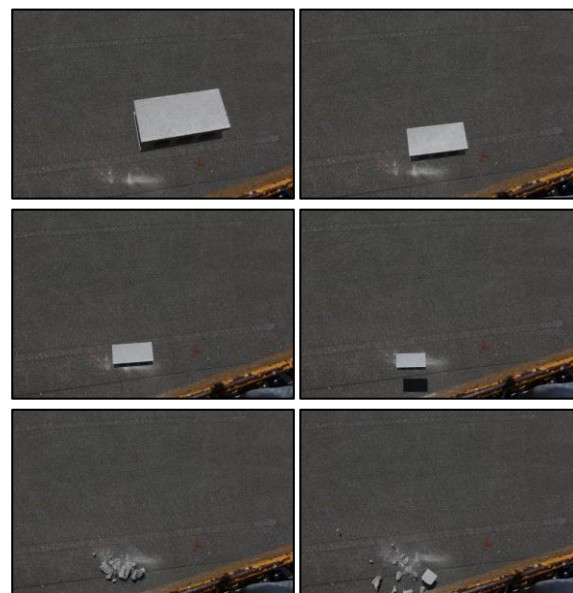


図-1 落下地点の把握



図-2 飛散距離の算出

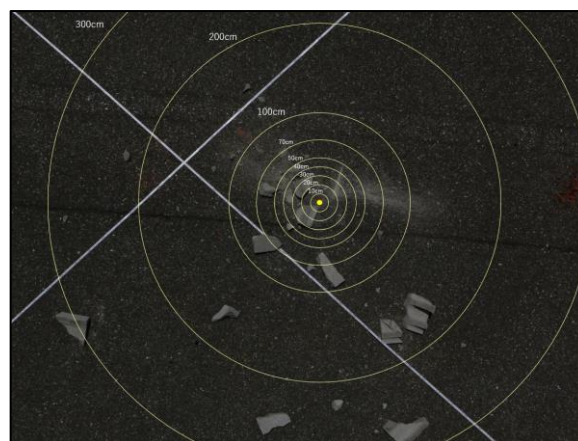


図-3 飛散距離の計測

次に、それぞれの建設材料別に着目してみる。コンクリートブロック基本型100mmは、全体の特徴と同様に、重いものは遠くまで飛ばず、軽いものは落下地点付近にあるものもあれば遠くに飛んでいるものもある。

コンクリートブロック基本型 150mm は、1つ突出している値がある。飛散物が重くても条件次第で稀にこのような事象が起きるということが得られた。他の特徴は、コンクリートブロック基本型 100mm と同じと言える。

コンクリート板は、他の材料に比べると、重いものは遠くへ飛ばず、軽いものは遠くに飛ぶという重さと距離の関係が分かりやすい。

レンガは 5m からの落下では分裂せず、エネルギーが分散しなかったため、分裂しないまま遠くまで飛んだと考えられる。

薄レンガはレンガに比べると脆く、落下の衝撃で分散した。ゆえに、グラフの特徴はコンクリートブロックと同様、重いものは遠くまで飛ばず、軽いものは落下地点付近にあるものもあれば遠くに飛んでいるものもある。

セメントレンガは、レンガ同様、落下の衝撃では分裂しなかったが、落下地点付近に留まっていた。

図-5 より、全体の特徴として、5m のときよりも飛散距離はどの材料においても伸びている。

次に、それぞれの建設材料別に着目してみる。コンクリートブロック基本型 100mm は、すべてが 1000g 未満の破片となり 5m のときと比べ遠くまで飛んでいる。

コンクリートブロック基本型 150mm は、5m のときと比べ多くの破片に分割され飛散し、1000 g 前後のものでも落下地点付近にあるものもあれば 500cm 以上飛んだものもある。

コンクリート板は、2450g のものを除くと、落下高さ 5m のときに比べグラフの形が縦に伸びている。これは高さが高くなったのに比例して飛散距離も伸びたと考えられる。

レンガは、5m 同様分裂せず、エネルギーが分散しなかったため、分裂しないそのままの状態でも遠くまで飛んだと考えられる。

薄レンガは、小さく分裂し軽いものが落下地点付近に集中している。特徴としては、落下高さ 5m のときと同様、重いものは遠くまで飛ばず、軽いものは落下地点付近にあるものもあれば遠くに飛んでいるものもある。

セメントレンガは、落下地点から 100cm 以上 500cm 未満の範囲に飛散している。落下地点付近には破片が留まることはなかったがグラフの形は、5m からコンクリートブロックを落下させたときと同様の形をしている。

以上から、落下物の飛散の特性として、コンクリートブロックは重いものは落下地点付近に留まり、軽いものは落下地点付近留まるものと遠くまで飛ぶものがある。

コンクリート板は重いものは落下地点付近に留まり軽いものは落下地点付近留まるものと遠くまで飛ぶものという特徴がはっきり示された。

レンガは、5m、15m から落下させても分裂せず、そのままの大きさ、質量で飛ぶ。

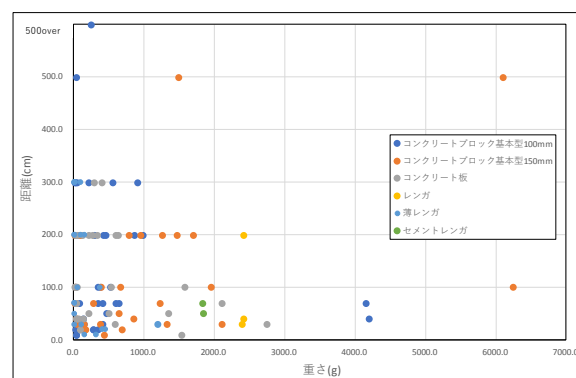


図-4 建設材料を高さ 5m から落下させたときの飛散物の重さと距離の関係

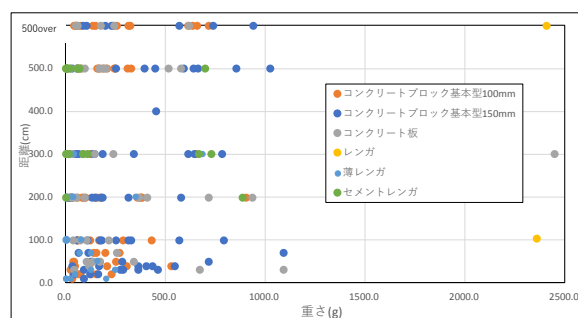


図-4 建設材料を高さ 15m から落下させたときの飛散物の重さと距離の関係

薄レンガは、コンクリート板ほどではないが、重いものは落下地点付近に留まり軽いものは落下地点付近留まるものと遠くまで飛ぶものがあるという特徴が示された。

セメントレンガは、落下高さ 5m と 15m を考えると、コンクリートブロックと飛散特性が類似していると言える。

一方で、重いにもかかわらず落下地点から遠くまで飛んだ破片があったが、条件次第でこのような事象が起こりうるということが得られたが、今回の実験ではその条件は判断することができなかったため、今後行う実験の課題である。

5. まとめと今後の課題

2011 年の東北地方太平洋沖地震が発生してから、地震と津波に対する考え方が改められ、多くの地震避難シミュレーション、津波避難シミュレーションが行われるようになった。しかし、地震動による落下物を考慮した避難シミュレーションは実施されておらず、その背景には落下物の飛散特性が明らかになっていないためである。そこで本研究では、落下実験を通じて、建設材料別に飛

散特性の把握を試みた。

その結果、コンクリートブロック、コンクリート板、薄レンガ、セメントレンガにおいては、重いものは落下地点付近に留まり、軽いものは落下地点付近留まるものと遠くまで飛ぶものがあるという特徴を得られた。また、レンガにおいては、5m, 15mでは分裂しなかった。

今後の課題として、重いにもかかわらず遠くまで飛ぶものの条件について、今回の実験では明らかにすることができなかったため、実験を重ねてその特性の把握を行う。今回は飛散距離を概算で算出したが、破片1つずつの距離を正確に測ることにより、落下物の材質、落下高さ、破片の重さ、飛散距離から落下物の飛散関数を算出することを今後の展望としている。

参考文献

- 1) 牧野嶋文泰, 今井文彦, 安部祥: 歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発 -2011 年東日本大震災での気仙沼市での検証-, 土木学会論文集 B2(海岸工学), vol.71, pp1645-1650
- 2) 廣井悠, 大森高樹, 新海仁: 大都市避難シミュレーションの構築と混雑危険度の提案, 日本地震工学会論文集, vol.16(2016), pp.115-126
- 3) 小林大吉, 加藤孝明, 河原大: VR (仮想現実) を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性の予備的検討, 生産研究, vol.68(2016), No.4, pp327-330
- 4) 清水真幸, 高田和幸, 萩野光司, 山下倫央, 大原美保, 藤生慎: 震災発生時の壁面落下物の危険性を考慮した避難に関する研究, 第36回地震工学研究発表会論文概要集, 099

SCATTERING CHARACTERISTICS OF FALLING OBJECT FROM ROOF AND WALL OF BUILDING

Yuki MATSUOKA, Makoto FUJIIU, Takahiro MINAMI
Kazuyuki TAKADA, Junichi TAKAYAMA, Syoichiro NAKAYAMA