

DEMを用いた被災時の群集流挙動に関する研究

山口大学工学部 正員 清野 純史
山口大学工学部 正員 三浦 房紀
㈱ニュージェック 正員 ○末松 美香

1. はじめに

近年の社会環境の急速な変化に伴い、構造物の大規模化、多様化、機能高度化が進んでいるため、これらの構造物の防災対策は、ハード面のみならずソフト面からもますます重要になっている。そこで、本研究では、DEMを用いて避難者の行動を主に物理的な側面からシミュレーションを行い、避難時に出口に向かう一連の群集に対する群集流の解析を行う。人間の個々の歩行の連続性と群集流出の連続性を基礎とし、時間積分により動的現象の解析を行うことにより、避難の安全性評価を行うための避難時間、滞留人数に関する理論式を導いた。

2. DEMによる群集流の解析

避難の安全性を大きく左右する要素である構造物の寸法、人数、避難速度を様々に変化させ、1つの出口をもつ部屋からの避難を想定したモデルを多数作成する。そして、これらの要素と避難状況との因果関係を明らかにするために、回帰分析を行って、普遍性のある線形重回帰モデルを求める。この回帰モデルを用いて、出口が1つの部屋の群集流の解析を行った後、これを複数の出口をもつ部屋の解析に拡張する。まず、0.5(sec)ごとに出口に向かう（流入する）避難人数及び出口を通過する（流出する）避難人数をカウントし、それぞれのヒストグラムに対応するワイブル密度関数を当てはめる。これらは、以下のような流入式、流出式とする。

$$\text{流入式: } I(t) = n \int_0^t N_{dn}(t) dt$$

$$\text{流出式: } O(t) = n \int_0^t N_{dout}(t) dt$$

ここに、 $N_d(t)$ は次式で表されるワイブル密度関数である。

$$N_d(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} \exp\left\{-\frac{t^m}{t_0}\right\}$$

m は形状パラメータ、 t_0 は尺度パラメータであり、この2つのパラメータ値を求めることにより、人間の流動状況の把握が可能となる。線形重回帰モデルにおいて、 m 、 t_0 は目的関数、上述の各要素は説明変数であり、実際のシミュレーション結果から得られる避難時間、避難人数と、線形モデルから考えられる避難時間、避難人数との比較を行い、妥当性を検証した。

3. 解析結果

1つの出口をもつ部屋での避難シミュレーション結果と理論値との比較を図-1に示す。線形重回帰モデルを用いて、流入式、流出式を計算することにより、避難人数を近似できることがわかる。複数の出口をもつ部屋での避難シミュレーション結果と理論値との比較を図-2に示す。この場合、避難人数は、部屋の個数分の流入式、流出式を重ね合わせるにより、実際にシミュレーションすることなく計算することができる。また、出口部分に滞留が生じた場合には、流入式、流出式から滞留式を求め、最大滞留が生じる時間を把握することが可能である。

4. 実際問題への適用

DEMを用いた避難時の群集流解析による回帰分析の結果を、実際の避難例のモデルに適用する。出口が1つの部屋の場合の避難例としては、カデール・インダストリアル（タイ）社での火災で、犠牲者の一番多かった4階のシミュレーションを、出口が複数の部屋の場合の避難例としては、東京日本橋の白木屋百貨店での火災の出火階である4階のシミュレーションを行った。

ただし、以上の解析は、部屋の中の障害物は考えていない。図-3にカデール・インダストリアル社の火災の流入式、流出式を、図-4に白木屋百貨店の火災の流入式、流出式を示す。また、おのこの滞留式も図-5、図-6に示す。以上より、カデール社では、20.0(sec)で最大滞留が生じ、66.7(sec)で避難を完了し、白木屋では、10.0(sec)で最大滞留が生じ、22.3(sec)で避難を完了することがわかる。

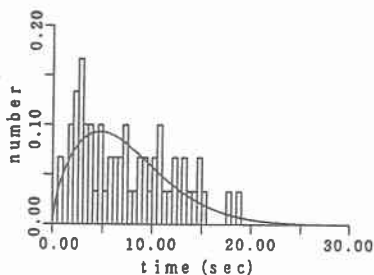


図-1 理論値と実測値

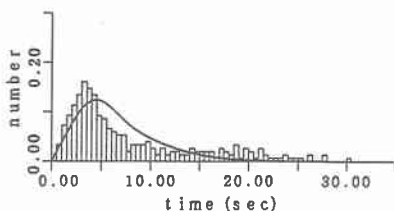


図-2 理論値と実測値

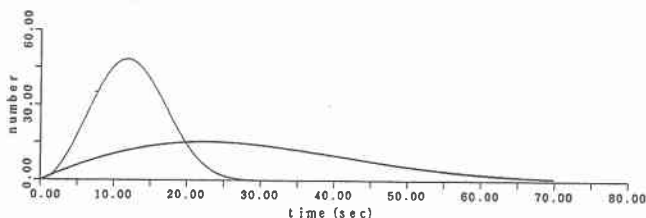


図-3 流入式(細線)・流出式(太線)

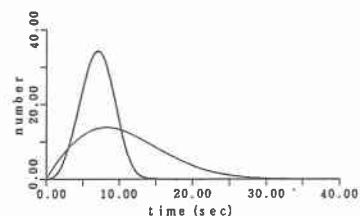


図-4 流入式(細線)・流出式(太線)

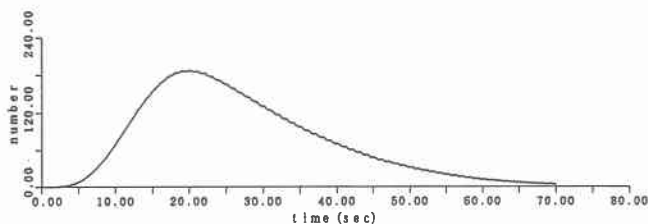


図-5 滞留式(カデール社)

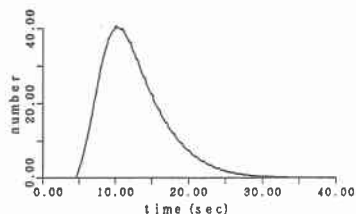


図-6 滞留式(白木屋)

5. 結論

- 1) 群集流の流動状況を表すワイブル分布の諸元をDEMを用いて再現した。
- 2) 回帰分析により予測される流入式、流出式を求めることによって、ある時刻における出口への流入人数、出口からの流出人数、滞留人数を実際に観察・実験することなく知ることができ、実験に安全性が問われるものでも、避難群集の挙動を的確に把握することができ、有用性が大きい。
- 3) 1つの部屋に1つの出口がある場合の理論式が得られれば、複数の出口のある部屋を対象にする場合は、その重ね合わせで対処できる。

6. 参考文献

- (1) 戸川喜久二：避難計画、建築学体系 21 (建築防火論)、pp329-343、1970。
- (2) 目黒公郎・伯野元彦：粒状体シミュレーションによるコンクリート構造の破壊解析、地震研究所彙報、Vol.21(6)、pp409-468、1988。
- (3) 斎藤嘉博：信頼性の基礎数学、東京電機大学出版局、pp54-63、1990。