

浸水時を想定した地下空間からの避難行動シミュレーション

早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
早稲田大学大学院 学生会員 ○本山 量啓

1. 序論

近年，都市域では突発的な集中豪雨による氾濫被害が生じるようになり，特に地下空間の安全性が懸念されている．たとえば1999年および2003年の二回にわたって福岡で発生した水害では，地下空間に甚大な被害が生じたことになった．東京にも類似の危険性が懸念される地下空間は少なからず存在することから，著者ら¹⁾はこれまでに個々の地下空間の浸水の危険性ならびにその拡大過程を明らかにするための研究を行ってきた．本研究は，ひとたび浸水が発生した際の利用者の避難誘導を効率よく行うことを目的とした研究の第一歩となるものであり，人間の避難行動の特性を反映し，災害時の行動を予測するソフトウェアを開発することを目指している．こうした避難行動シミュレーションに関しては，これまでにたとえば朝井ら²⁾がセルオートマトン法を用いた解析を行っている．本研究では，人の避難行動を人間工学的な知見に基づいて取り扱おうとしている点に特徴があり，たとえば後述する「群集密度」と「歩行速度」の関係を陽に反映した解析手法となっている．

2. 解析方法の概要

本研究では，図-1に示した100m×100mの大きさを持つ模擬地下空間を対象とし，この空間から地上への人の避難行動を合理的に取り扱う解析手法を開発することを目指した．この地下空間は隔壁群によって複数の小空間に仕切られており，図の上下に地上への連絡階段が配置されている．本解析では，この空間を1m×1mの大きさのセル群に分割し，そこに予め配置された避難者一人一人の行動を数値的に追跡する．避難者の移動を質点系の運動方程式に基づき解析することは適切でないため，次のように取り扱う．すなわち，(1)各瞬間の避難者の移動速度ベクトルの大きさは，その移動経路に沿った混雑の度合いによって決まるため，後述する群集密度との関係で決定論的に定める，(2)移動方向に関しては，混雑の状況と当座目標とする到達地点の情報に応じて定める．

避難者の歩行速度は，床の単位面積あたりに存在する人の数（これを「群集密度」と定義する）と陽な相関関係があることが指摘されている³⁾．たとえば，群集密度が1人/m²未満の場合には他の人の影響を受けず個人の歩行能力に応じて移動できるとされ，これを「自由歩行」と呼ぶ．自由歩行時の速度は，一般に成人で1.3m/sec，高齢者で0.9m/sec程度とされる．一方，群集密度が1人/m²を越えるとその歩行速度は個人の能力の如何によらなくなり，「群集歩行」の状態にあるとされる．群集歩行時の歩行速度 v (m/sec)と群集密度 ρ_C (人/m²)の関係は，

$$v = 1.0 - 0.3 \times \rho_C \quad (1 \leq \rho_C \leq 3); \quad 0.3 \quad (3 \leq \rho_C < 7); \quad 0.05 \quad (7 \leq \rho_C) \quad (1)$$

のように書き表される．なお，群集密度が11～12人/m²になると周囲からの体圧を強く感じるようになり，13人/m²になると急にうめき声や悲鳴が多くなるとの言われている．そこで，ここでは群集密度の上限値を10人/m²とし，各計算セルの中に10人を越える人が入らないように留意した．

避難者の移動方向に関しては，計算時間刻み毎に判断するものとし，図-1のそれぞれの区画毎に設定された複数の避難目標点の中から，最も近いものを避難目標点として選定し，そこに向かうように方向を定めることにする．たとえば図-1の小空間にいる人はまずその出口に向かって行動を起こし，最終的には上方の赤矢印を付した階段に向かうように行動する．その移動は原則的に現在地点から避難目標点に向かう直線的なものであり，選定した避難目標点と現在地点との間に隔壁がある場合には，隔壁毎に属性として与えた中継目標点へとその方向を修正する．ただし，このように定めた移動方向のセルの群集密度が高い場合には，その方向を回避するように行動するはずである．人が両目で確認できる範囲は体が向いている方向に対して $\pm 60^\circ$ であると言われている．そこで，移動方向セルの群集密度よりもそれに隣接する2つのセルのいずれかの群集密度の方が小さければ，群集密度の小さい隣接セルの方向に避難方向を修正することにした．

初期状態として地下空間全域に一律に1000人（成人を800人，高齢者を200人）の避難者を配置（図-2参照）し，それぞれが同時に移動を開始する時刻を時間の原点とした．これは，地下空間全域に向かって避難を促すアナウンスがあったような場合を想定する条件と言える．模擬計算の計算時間刻みを1.0secとした．

3. 模擬計算結果と考察

避難開始後の避難行動状況をまとめた結果を図-3に示す．この図は，各時刻における各セルの群集密度を算定し，そのコンター図を表したものである．通路幅が狭くなる所や階段入り口付近などで，人が密集しているのがわかる．こうした場所では群集密度が高くなるため，避難者の歩行速度が低下し，渋滞の状態が発生する．特に出入口付近で群集密度が過度に高まるとアーチアクションと呼ばれる現象が引き起こされることになり，その崩壊時には人が折り重なって倒れるという危険性が指摘されている．従って，避難時にはこうした避難者の過度の集中が生じない

キーワード：避難行動シミュレーション，群集密度，歩行速度，地下空間，都市水害

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1，TEL 03-5286-3401，FAX 03-5272-2915

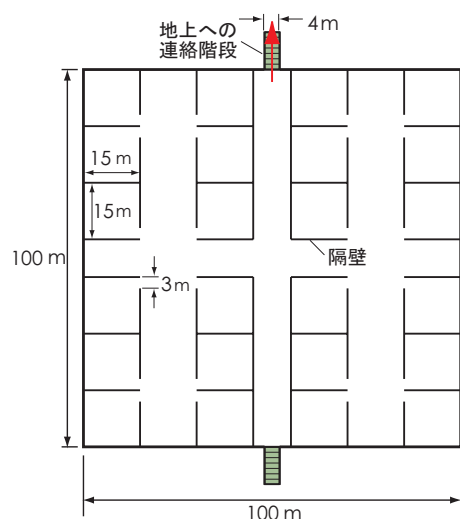


図-1 解析対象とする模擬地下空間

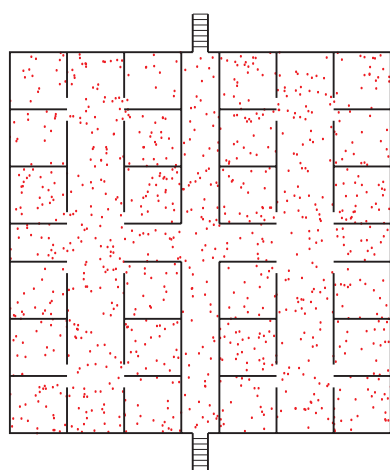


図-2 避難者の初期位置

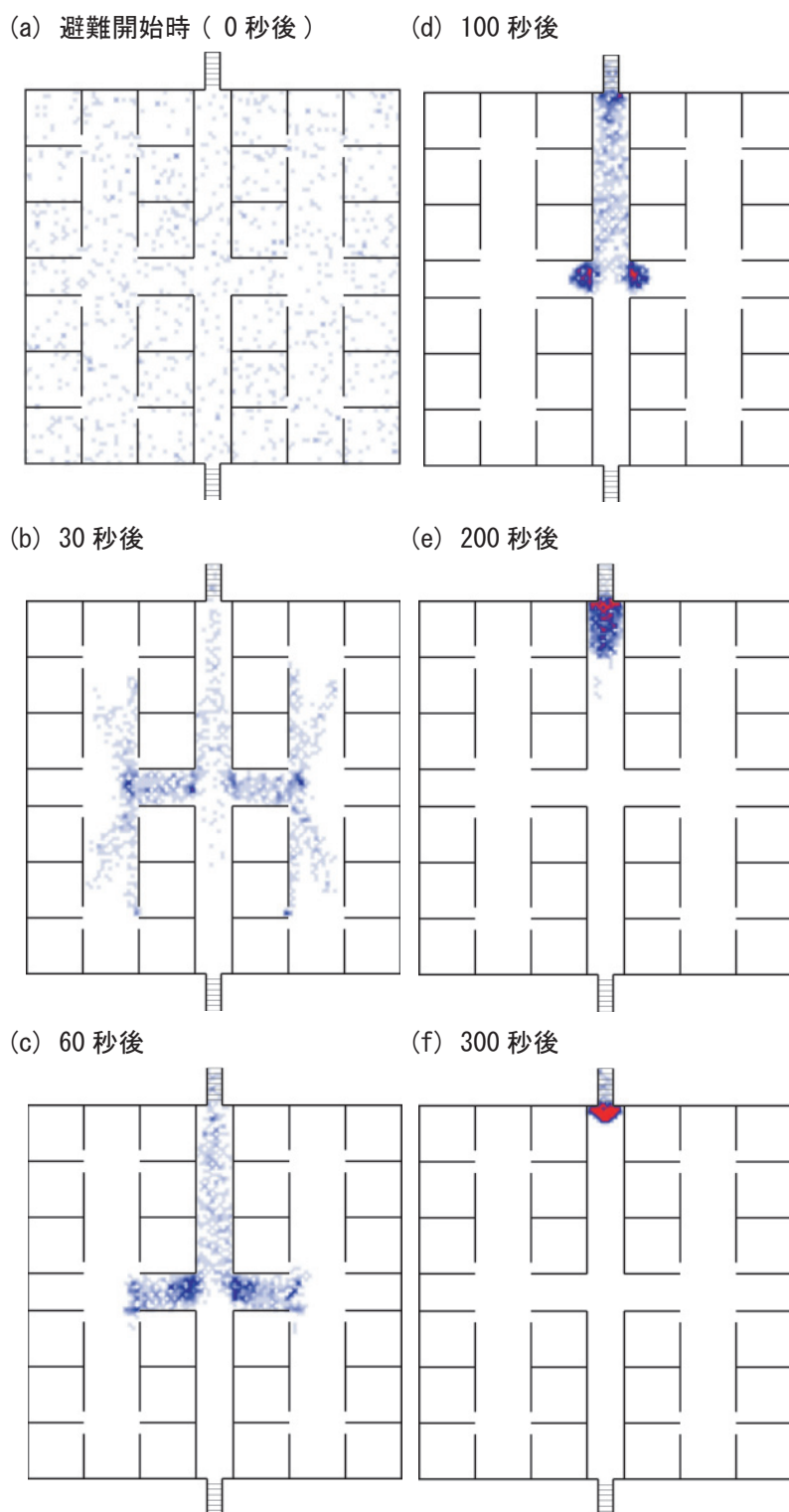


図-3 群集密度コンター図の時間変化

ような誘導が必要である。

4. 結論

本研究では、群集の地下空間から地上へ避難行動を解析する新たな手法を開発した。ここでは、人間工学的な検討から明らかになっている群集密度と歩行速度の関係をモデルに取り込むことで、避難者の密集状態での避難行動を合理的に再現するよう努めた。今後は、この解析の妥当性を定量的な検証する必要がある。また、水に浸かった状態での歩行をどのように評価するかについて検討を加え、浸水時の避難解析に発展させていく予定である。

参考文献

- 1) 関根正人, 河上展久: 地下街を抱える高度に都市化された地域の内水氾濫に関する数値解析, 土木学会論文集, No. 789/II-71, 2005.
- 2) 坪郷浩一, 朝位孝二, 羽田野袈裟義: 閉じた空間における浸水時避難行動シミュレーションに関する研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第9巻, 29-38, 2004. 1.
- 3) 岡田光正, 吉田勝行, 柏原士朗, 辻正矩: 「建築と都市の人間工学 空間と行動のしくみ」, 1-48, 鹿島出版会.