

(201) 地下街の安全性評価のための避難行動シミュレーション

東京大学大学院 学生会員 ○横山秀史
 東京大学生産技術研究所 正 会 員 目黒公郎
 東京大学生産技術研究所 正 会 員 山崎文雄
 東京大学生産技術研究所 正 会 員 片山恒雄

1. はじめに

現在、大規模な地下街・地下駅などが全国に多数建設されており、中にはピーク時の利用者が数万人に達するものも多い。これらの、常時不特定多数の人が滞在する大規模地下空間の安全性を検討する際には、設計時に想定したとおりの避難行動が可能かどうかを検証する必要がある。このとき、実構造物を用いた被験者実験による検討は、実験自体の安全性の問題から困難であり、コンピュータ・シミュレーションによる検討が有用であると考えられる。

建物などの避難安全性検討には、従来より戸川による群集流動モデル¹⁾を基礎とした避難計算法が標準的手法として用いられており²⁾、同モデルに基づくコンピュータ・シミュレーション手法もいくつか提案³⁾されている。これらのモデルでは、避難者全体を群集として取り扱うため、大人数の避難者を対象とした、所要避難時間や避難時の滞留箇所の検討などが容易である反面、個々の避難者の行動を詳細に検討することが困難であるという短所がある。

近年のコンピュータの発達に伴い、個人の行動を予測することを目的としたモデル（文献4,5,6など）が提案されている。これらのモデルの多くは、避難目標物や障害物などが避難行動に及ぼす影響を、影響力ベクトルとして評価し、力のつりあいに基づいて行動を決定するモデルである。しかし、これらのモデルでは、障害物の回避や壁を回り込む行動など、複雑なモデル化が必要な行動があり、空間的な広がりや複雑な形状を持つ大規模地下構造物からの避難行動シミュレーションを行うには問題を残している。

そこで本研究では、対象空間を避難に関する各要因の影響を表すポテンシャルの時間・空間分布としてモデル化し、得られたポテンシャルモデルを用いて避難行動シミュレーションを行う手法を提案する。

2. 避難行動シミュレーション

モデルの構築

以下に、説明を簡略化するため、対象空間を2次元の平面場としてモデル化した場合を例として、提案モデルの基本的な考え方を示す。

避難行動シミュレーションは、大きさ (d_x, d_y) のメッシュ単位で行う。避難者 i から見た時刻 t における対象空間のポテンシャル分布 $\Omega_i(X, t)$ は、図1に示すとおり、全避難者に共通の要因である、対象空間の平面構成などの影響を表すポテンシャル分布、避難者の個人特性の違いを表すポテンシャル分布、地震・火災・煙などの災害による影響を表すポテンシャル分布などの重ね合わせとして定義し、次式により求める。

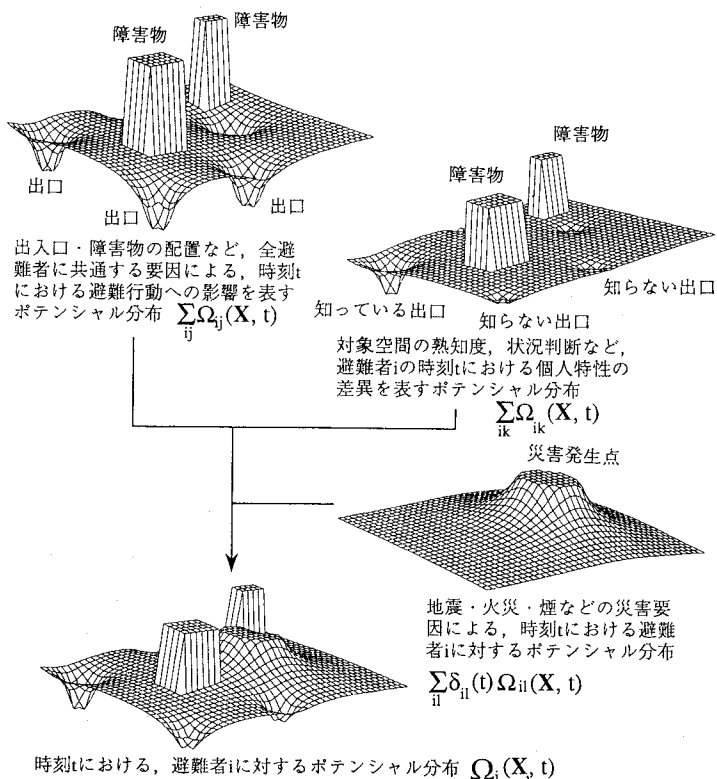


図1 ポテンシャル計算のフロー

$$\Omega_i(x, y, t) = \sum_{ij} \Omega_{ij}(X, t) + \sum_{ik} \Omega_{ik}(X, t) + \sum_{il} \delta_{il}(t) \Omega_{il}(X, t) \quad (1)$$

$$\delta_{il} \begin{cases} 0: \text{時刻} t \text{で考えない災害} \\ 1: \text{時刻} t \text{で考える災害} \end{cases}$$

ここで、 $\Omega_{ij}(X, t)$ は、対象空間の平面構成などの影響を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{ik}(X, t)$ は避難者の対象空間に対する知識など、個人特性の影響を表すポテンシャル分布、 $\Omega_{il}(X, t)$ は地震、火災などの各災害要因の影響を表すポテンシャル分布である。

避難者*i*に対するポテンシャル分布 $\Omega_i(X, t)$ が定まったときの進行方向選択は、図2に示すように、

$$F_i(t) = \sum f_{ik}(X_0, t) + \alpha_i(t) v_i(t) \quad (k=1, 8) \quad (2)$$

と仮定する。ここで、

$$f_{ik}(X_0, t) = [\Omega_i(X_k, t) - \Omega_i(X_0, t)] / |X_k - X_0| \quad (k=1, 8) \quad (3)$$

ただし、

$$X_0 = (x_0, y_0), X_1 = (x_0 + dx, y_0), X_2 = (x_0 + dx, y_0 + dy), X_3 = (x_0, y_0 + dy), X_4 = (x_0 - dx, y_0 + dy), X_5 = (x_0 - dx, y_0), X_6 = (x_0 - dx, y_0 - dy), X_7 = (x_0, y_0 - dy), X_8 = (x_0 + dx, y_0 - dy)$$

また、 $v_i(t)$ は直前の進行方向を表す単位ベクトルで、

$$v_i(t) = F_i(t-1) / |F_i(t-1)| \quad (4)$$

として求める。 $\alpha_i(t)$ は、個人特性の違いを表す係数で、 $\alpha_i(t)$ が大きい場合には、周囲の状況をあまり考慮せず前進する傾向にあり、 $\alpha_i(t)$ が小さい場合には、行動を決定する際に周囲の状況を重視する傾向にあることを表す。

避難行動シミュレーションモデルの構築にあたっては、使用するポテンシャルモデルを決める必要がある。本研究では、避難者*i*に対する、時刻*t*における対象空間内のポテンシャル分布計算法として、出口などの避難目的地点に負のポテンシャル値、壁や障害物に正のポテンシャル値を与え、その他の点*p*のポテンシャル値は次式を用いて補間する方法を仮定した。

$$\Omega_{ip}(t) = \sum_{j=1}^n c_{ij}(t) \exp \left[- \left(\frac{\Delta r_{ijp}}{dr_{ij}} \right)^2 \right] \quad (5)$$

ここで、 $\Omega_{ip}(t)$ は、避難者*i*に対する、時刻*t*における点*p*のポテンシャル値、*n*はポテンシャル値を与えた点の数、 $c_{ij}(t)$ は時刻*t*における点*j*のポテンシャル値、 Δr_{ijp} は点*j*からポテンシャル値を求める点*p*までの距離である。また、 dr_{ij} は相関距離と呼ばれ、点*i*のポテンシャル値との相関の程度を決める係数である。避難者の対象空間についての知識や、個々の避難目標物・障害物の特性などに応じて、相関距離の大きさを変えることで、各々の要因の影響度をモデル化する。

ポテンシャル計算に用いる距離モデルとしては、最短距離、直線距離、直達距離、心理距離などが考えられる⁹⁾。本研究では、対象空間内の各通路をネットワークとしてモデル化し、最短距離を計算する方法を仮定した。ネットワーク上の各バスの長さに、各避難経路の性質や対象空間に対する個々の避難者の知識などに応じた重みを付けることにより、避難者の個人特性なども取り入れたモデル化が可能であると考えられる。

3. 避難行動シミュレーション例

大規模地下街モデルを例題として、避難行動シミュレーションモデルの検討を行った。地下街モデルは、面積が約27,000m²、一日の入出場者数が約21万人、ピーク時の1時間あたり入出場者数が約3万人に達する、実際の大規模地下街の平面構成をもとに、簡略化し構築した。シミュレーションの単位としては、1mメッシュを仮定し、各メッシュの属性（出入口、通路、壁など）を定めた。また、1メッシュに最高4人まで収容し得るものと仮定した。図3に、地下街モデルを示す。

提案モデルを実際の大規模地下空間の安全性解析へ適用するには、出口や壁などの避難行動への影響度を表すポテンシャル値や相関距離など、避難行動シミュレーションに必要な各パラメータの決め方などを検討する必要がある。

モデルを簡略化し、これらのパラメータの検討を容易にするため、地下街モデル内の多数の出入口のうち、上部中央にある出入口のみを避難行動目標として、同時に避難行動を開始するものと仮定し、同出口にポテンシャル値-1.0

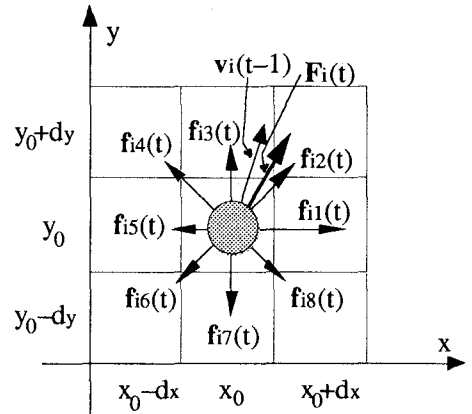


図2 進行方向の選択

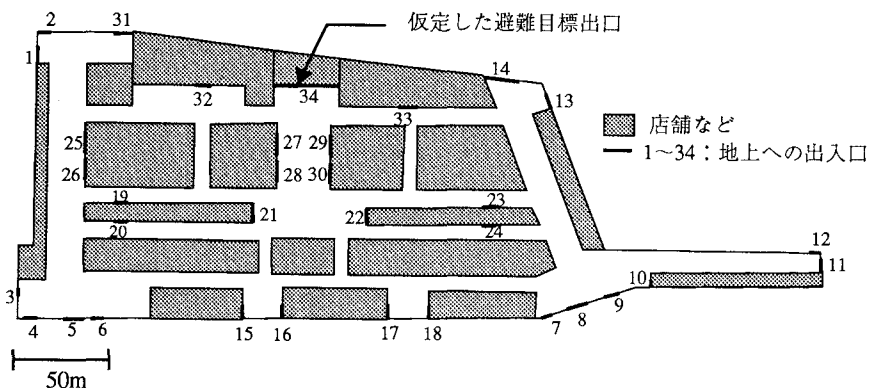


図3 地下街モデル

を与えて避難行動シミュレーションを行った。また、歩行速度についても全避難者について同一であると仮定し、1m/sを用いた。

以上の条件で、4,000人の避難者を仮定して避難行動シミュレーションを行った検討例を図4に示す。この図より、通路の合流点の手前や目標出口の前など、数カ所に避難者の滞留が生じている様子がわかる。また、通路の合流点において、滞留避難者の影響により、集団の後方の避難者が他の通路へ向うという行動が観察された。避難行動を開始してから全員の避難完了までの所要時間は、シミュレーション時間で330秒であった。

本例題は、HPapollo 9000モデル720ワークステーション上で計算を行った。4,000人の避難者に対する計算時間は、CPU時間で900秒程度であり、より複雑な大規模地下空間モデルへ本手法を適用した場合にも、実用的な計算時間の範囲内でシミュレーションを行い得るものと考えられる。

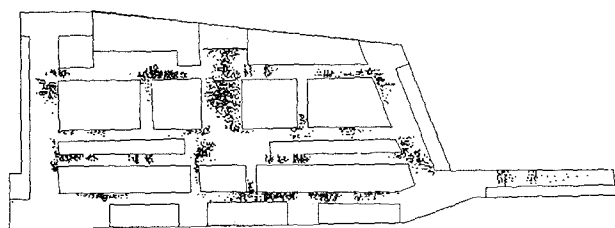
3. まとめ

本研究では、ポテンシャルモデルに基づく避難行動シミュレーション手法について、基本的な考え方を提案し、簡易な地下街モデルを例題とした検討を行った。その結果、提案モデルに基づく大規模地下空間の避難行動シミュレーションへの適用可能性を確認できた。

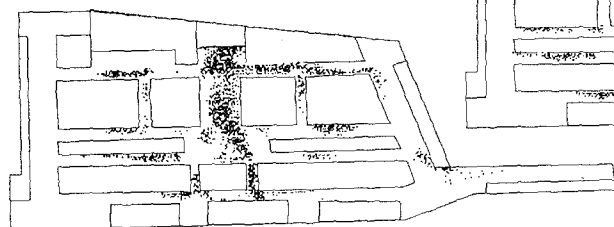
本報告で検討した例題では、全避難者に対して同一の行動特性を仮定し、同じ出口に対して避難することを仮定して避難行動シミュレーションを行った。今後は、今回構築した基本的なモデルを用いて、各パラメータの妥当な決定法など、現実の大規模地下街の避難安全性解析へ適用するための基礎的な検討を行う。また、各避難者の年齢などの個人特性や、対象空間に対する知識、歩行速度などの行動特性の影響を避難行動シミュレーションモデルに取り入れるための検討を行う。その他、地震、火災、煙などの災害要因や避難誘導の効果などのモデル化についても検討を行っており、後日報告したいと考えている。なお、本研究にあたり文部省科学研究費補助金（一般研究B 研究代表者：片山恒雄）の補助を受けた。

参考文献

- 1) 戸川喜久二、避難群集流の計算について、建築雑誌、No.4, pp.15-19, 1954.
- 2) 例えば、吉田治典、建物全体を考慮した避難時間のシミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集、1973.
- 3) 位寄和久：避難行動モデルに関する研究－火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案－、日本建築学会論文報告集、No.325, pp.125-132, 1983.
- 4) 岡崎甚幸・松下聡：避難計算のための群集歩行シミュレーションモデルの研究とそれによる避難安全性の評価、日本建築学会計画系論文報告集、No.436, pp.49-58, 1992.
- 5) 大槻明・海老原学：オブジェクト指向型言語を用いた地震時人間行動シミュレーション、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 第1部, pp.1080-1081, 1989.
- 6) 岡田光正・高橋鷹志：新建築学体系13 建築規模論、彰国社、1988.



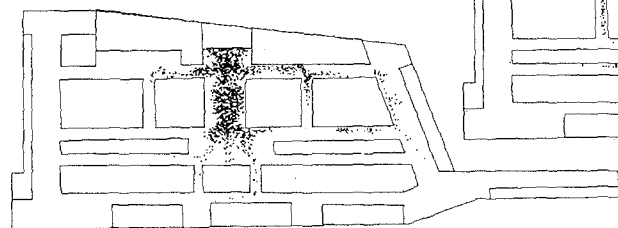
(a) シミュレーション開始直後



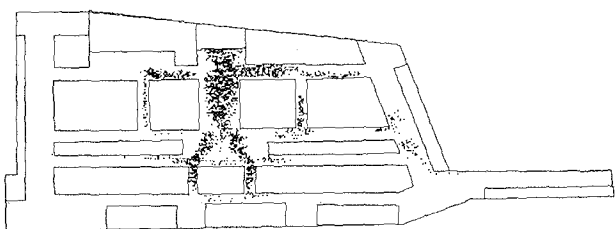
(c) 60 秒後



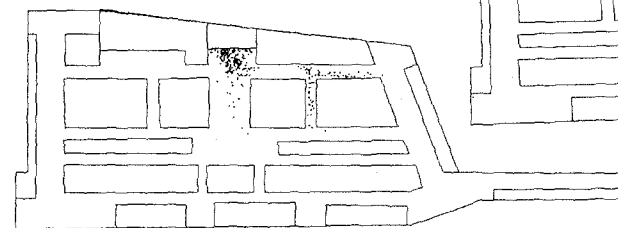
(b) 30 秒後



(e) 120 秒後



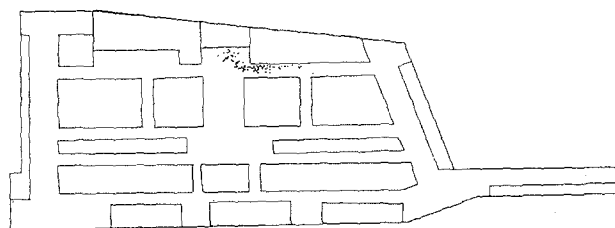
(d) 90 秒後



(g) 180 秒後



(f) 150 秒後



(h) 210 秒後

図4 避難行動シミュレーション例