

個別要素法による車椅子の避難シミュレーション

～シミュレーションモデル改良とその適用例～

○山口大学工学部 瀧本 浩一
山口大学大学院 三浦 房紀
同 永井 健太郎

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災により、災害弱者といわれる高齢者・障害者が家屋から、安全かつ迅速に避難できるような手だてをを考えておくことが非常に重要であることがわかった。筆者らはこれまで車椅子使用者を対象に避難行動を解析、再現するための個別要素法（DEM）による避難行動シミュレーションモデルの開発を行ってきた。しかし、これまでのモデルでは通路幅が広い場合、避難時間に大きな誤差が生じるなどの問題点があった。

そこで、本稿では従来のモデルの問題点の改良とその検討を行い、一般家屋の通路幅や障害物を変えるなどして、シミュレーションを行い、避難時間や移動速度の変化について考察を行ったので報告する。

2. DEMによる避難行動シミュレーションモデルの問題点と改良

本シミュレーションモデルでは車椅子を図 1 のように接線方向、法線方向の弾性バネとダッシュポットを有する円形要素でモデル化を行い、固体要素についてそれぞれの独立した運動方程式を立ててこれを微小時間ステップごとに計算していく²⁾。なお、仮想バネとは人間の心理上作用するバネである。本研究では図 2 に示すような L 字型の通路をモデルに基本的な避難行動実験を行い、シミュレーションモデルを作成してきた。しかし、従来のシミュレーションモデルでは W1 が W2 より広い場合、実験とシミュレーションとの避難時間の差が大きかった。これは実際の車椅子は引力作用領域（スムーズに曲がれるように要素に向心力を作用させる領域）に入る前に x 軸方向に加速度を持ち、より内側を曲がるのに対して、従来のモデルでは引力作用領域に進入して後に x 軸方向に加速度を持たせたため、実際の車椅子の軌跡に比べ、より外側を曲がっている。また、コーナーを曲がる際、シミュレーションでは要素の進行方向を決定する目標点を引力作用領域内に設けていた。これらが避難時間のずれを生じさせたものと考えられる。

そこで、図 2 に示すように W1 が W2 より広い場合、x 軸方向に加速度を持つ地点が入口幅 W1 に依存する旧引力作用領域

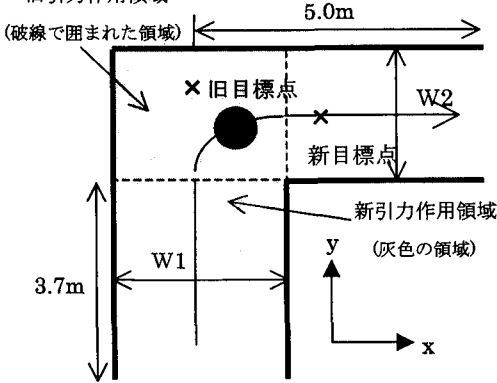


図 2 L 字型の通路モデル

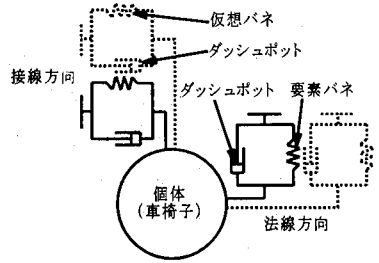
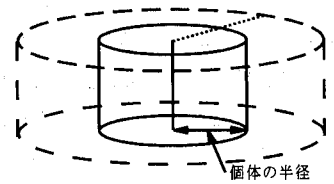


図 1 車椅子モデル

表 1 避難時間と速度の比較

(W1-W2)	(1.0-0.8)		(1.4-0.8)	
	速度 (m/s)	時間 (s)	速度 (m/s)	時間 (s)
実験結果の平均 (a)	0.43	7.54	0.56	5.44
実験の標準偏差 (b)	0.13	1.94	0.15	0.54
従来モデル結果 (c)	0.40	6.70	0.50	6.66
誤差 (c-a)	-0.03	-0.84	-0.06	1.22
改良モデル結果 (d)	0.40	6.40	0.53	5.89
誤差 (d-a)	-0.03	-1.14	-0.03	0.45

ると仮定して、引力作用領域を長さ $W1$ の正方形に変更した。また、目標点を引力作用領域外に変更した。変更後、改良モデルの妥当性の検討を行うため実際の実験結果と比較を行い、各ケースにおける実験結果とシミュレーション結果を避難時間とその時の速度に関して比較したものを表1に示す。これより $W1=1.4(m)$, $W2=0.8(m)$ のパターンにおいて従来のモデルの結果の誤差が大きいのに対し、新モデルでは誤差は標準偏差内におさまっており、改良が妥当であることが分かった。

3. 家屋内での避難行動シミュレーション

改良モデルを介護用モデル住宅であるウェルフェアテクノハウス宇部（以下、WTH）に適用し、避難行動シミュレーションを行った。このとき用いた各パラメータは先のL字通路と同じである。シミュレーションを行った4つの避難経路を図3に、実験結果と避難時間を比較した結果を表2にそれぞれ示す。これより、経路A～Cではシミュレーションが実験結果を良く再現できている。しかしながら、経路Dでは最初の直線区間の最高速度の違いが原因で、避難時間に誤差が出ている。

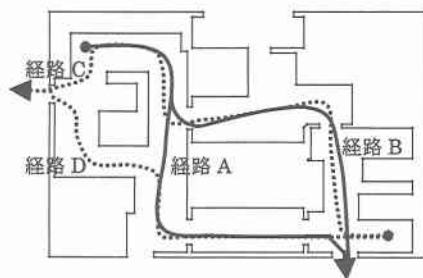


表2 WTHの避難時間結果（秒）

	経路A	経路B	経路C	経路D
実験結果の平均(a)	14.87	15.26	19.67	13.82
実験の標準偏差(b)	1.15	1.6	1.64	1.87
シミュレーション結果(c)	16.03	16.91	21.03	17.74
誤差(c-a)	1.16	1.65	1.36	3.32

図3 WTHでの避難経路

次に、各経路の凸部分を一つまたは複数取り除いてシミュレーションを行い速度変化を考察した。図4に経路A(凸あり)と経路A(凸なし)で最も早く避難できた軌跡を、それらの速度変化を図5にそれぞれ示す。これらより、コーナー区間（図4の破線円部分、図5の灰色部分）で凸のない方が凸のある場合よりも軌跡や加速、減速が滑らかであり、実際の避難時に避難者にかかる負担を軽減できると考えられる。また、避難時間も凸ありの場合が16.03秒だったのに対し、凸なしの場合は13.84秒とおおいに短縮されている。

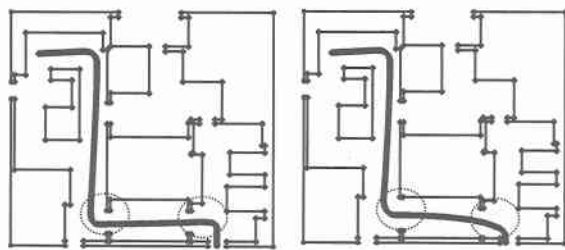


図4 経路A凸あり(左)と経路A凸なし(右)の軌跡

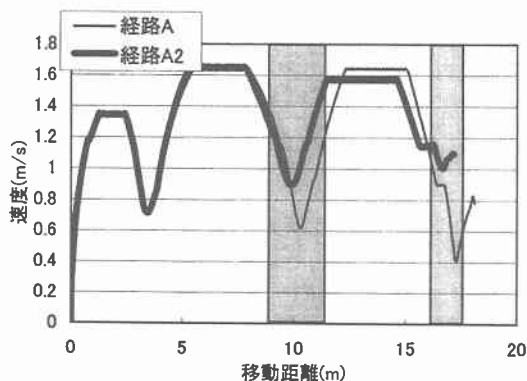


図5 経路Aと経路A2の速度変化

4. おわりに

本研究では従来の個別要素法による避難行動シミュレーションモデルの改良とその妥当性の検討を行った。さらに、改良モデルを実際の家屋に適用してシミュレーションを行い、考察を行った。以上より、本シミュレーションモデルは避難の観点から一般家屋を検証する際のツールとして活用できるものとする。

参考文献 1) Fusanori Miura et al.: Development of a Simulation method for Evacuation by Wheelchair using Distinct Element Method, Paper No. 1018, Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000.