

### 1. はじめに

近年、都市の避難安全性確保の重要性がクローズアップされる事故が相次いで発生している。2001年の明石市民夏祭り事故や新宿区雑居ビル火災などがその典型である。これらの例で報告されているような出口に向かって人々が殺到する状況では、人間相互の力学的関係が群集の避難行動を支配する要因の中で相対的に大きなウェイトを占める。そこで本研究では、避難者間の物理的な接触関係が考慮できる個別要素法(DEM)を用いて避難行動を分析する。その際、往来は要素形状を円形としていたものを、より実際の人間の断面形状に近い楕円形に近似して扱う。理由は、混み合った状況下での避難行動では、形状の影響が大きいためである。

### 2. 楕円形個別要素法の特徴

2つの楕円の方程式を連立させ  
4次方程式を作る

Ferrariの4次方程式の解の公式により  
3次方程式に還元する

Cardanoの3次方程式の解の公式より  
4つの解を求める

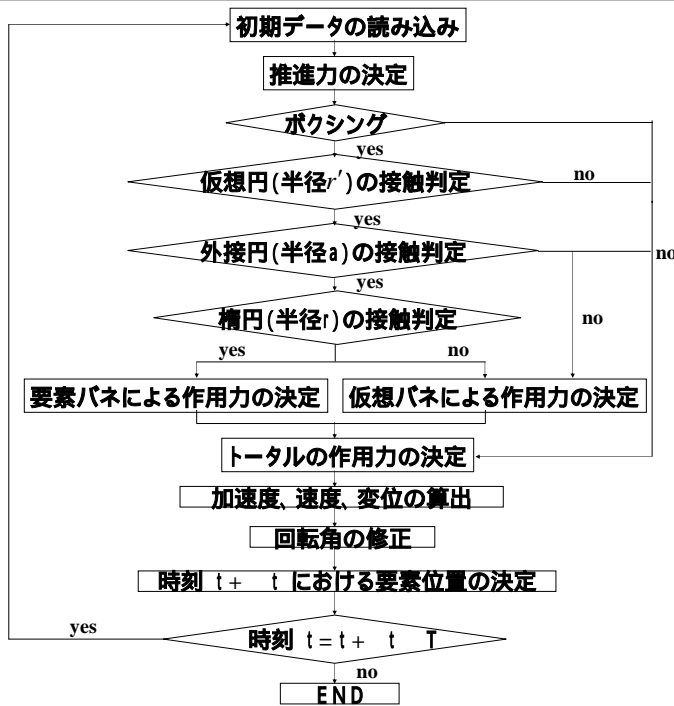
実数根が存在すれば接触となり  
存在しなければ非接触となる

円形要素に比べ計算時間が伸びる

楕円形要素の接触判定法

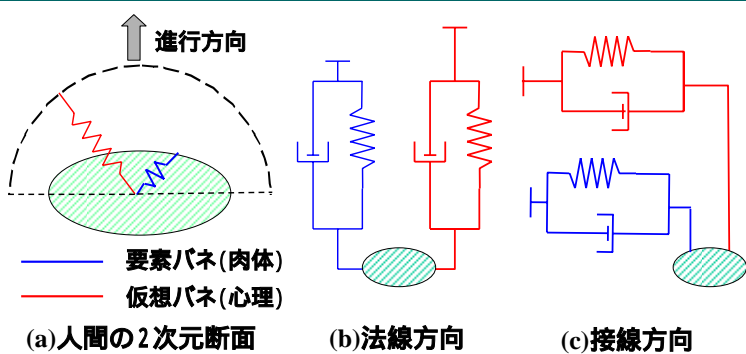
そこで

接触判定を4段階に分け計算時間を大幅に短縮

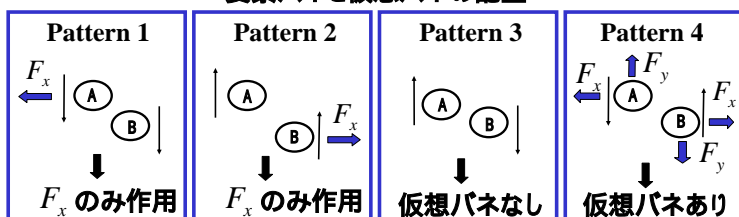


計算手順

### 3. DEM要素のモデル化



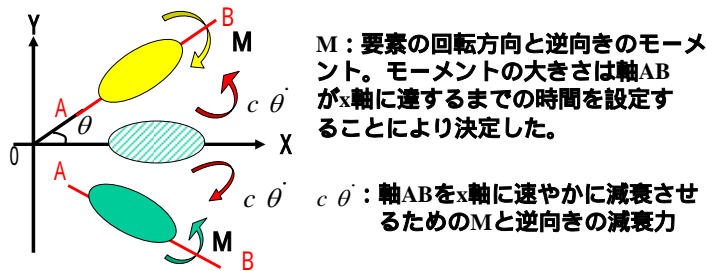
要素パネと仮想パネの配置



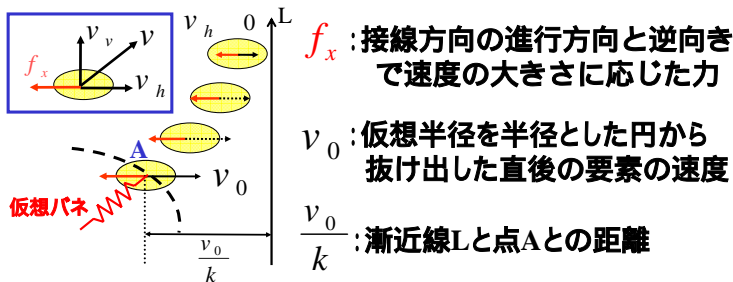
仮想パネの発生する条件

仮想パネの導入より「人間相互が心理的に  
接触を避けようとする」ことを表現

仮想パネの導入



回転角の補正により「歩行・走行時に人間が進行  
方向に対し肩軸を直角にしようとする」ことを表現

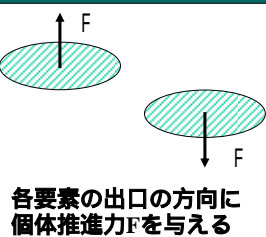


接線方向の速度の補正により「人間は外力が作用  
しない限り直進しようとする」ことを表現

回転角・直進性の考慮

$$\sqrt{v_x^2 + v_y^2} \leq v = 1.3 \text{ m/s}$$

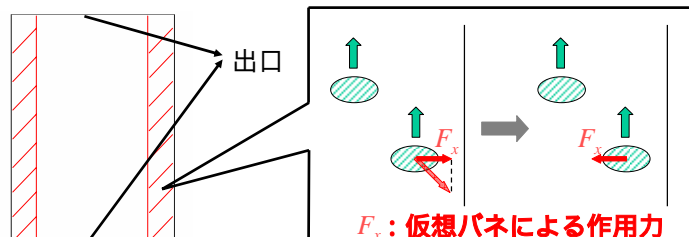
(平時の歩行速度)



各要素の出口の方向に  
個体推進力Fを与える

各要素は一定の速度に達するまで要素を出口  
に向かわせる力F(個体推進力)を受ける

### 個体推進力の導入



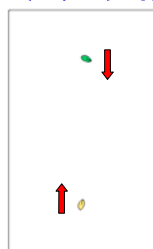
$F_s$ : 仮想バネによる作用力

領域の導入により「人間は壁との接触を避け  
ようとする」ことを表現

### 壁との接触を避けるための領域の導入

## 4. シミュレーション

### シミュレーション(1)



要素数: 2  
空間スケール  
: 5m x 10m  
 $\theta$ : 回転角  
反時計回り 緑  
時計回り 黄色

### シミュレーション(2)

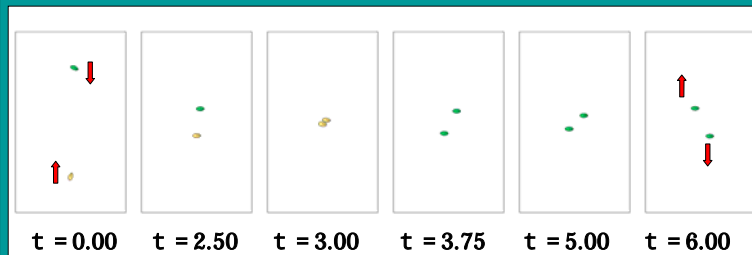


要素数: 30  
空間スケール  
: 5m x 10m  
F: 個体推進力  
上方向 緑  
下方向 赤

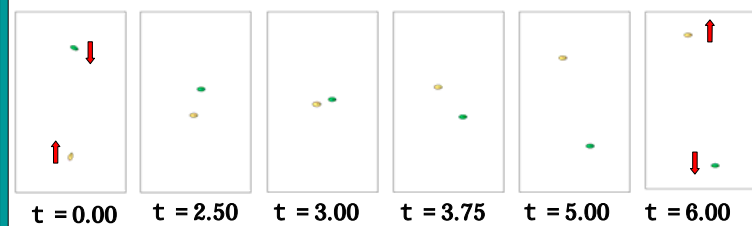
### 対象空間と初期配置

要素バネ定数 (法線方向)	(N/m)	$3.30 \times 10^4$
要素バネ定数 (接線方向)	(N/m)	$1.22 \times 10^4$
要素減衰定数 (法線方向)	(Ns/m)	$2.90 \times 10^3$
要素減衰定数 (接線方向)	(Ns/m)	$1.76 \times 10^2$
仮想バネ定数 (法線方向)	(Ns/m)	$4.50 \times 10^2$
仮想バネ定数 (接線方向)	(N/m)	$2.71 \times 10^0$
仮想減衰定数 (法線方向)	(Ns/m)	$3.39 \times 10^0$
仮想減衰定数 (接線方向)	(Ns/m)	$2.63 \times 10^1$
要素半径 (長軸, 短軸)	a, b (m)	$2.19 \times 10^{-1}, 1.15 \times 10^{-1}$
仮想半径	r (m)	$2.97 \times 10^0$
歩行速度	v (m/s)	$1.30 \times 10^0$
加速度	(m/s)	$8.61 \times 10^{-1}$
個体推進力	(N)	$5.51 \times 10^1$
計算時間間隔	(s)	$1.00 \times 10^{-2}$

### 個体要素パラメータ



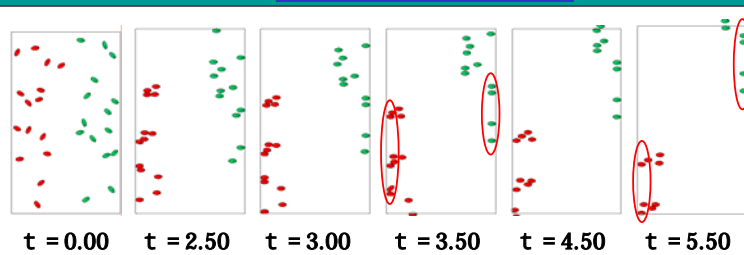
(a) 仮想バネなし(接触する)



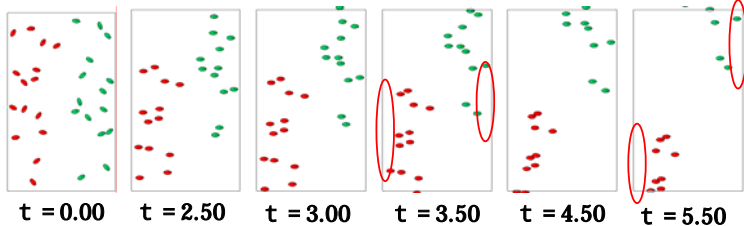
(b) 仮想バネあり(接触を回避する)

### 仮想バネの導入による効果

### シミュレーション結果(1)



(a) 領域導入前(壁付近に避難者が集中)



(b) 領域導入後(壁付近の避難者の集中はなくなる)

### 領域導入による効果

### シミュレーション結果(2)

## 5. まとめ

- 次のような人間の行動特性に、楕円形要素を用いた個別要素法(DEM)を適用することができた
- 人間相互が物理的に接触する前に接触を避けようとする
- 歩行・走行時に人間が進行方向に対して肩軸を直角にしようとする
- 人間は外力を受けない限り直進しようとする
- 人間は壁との接触を避けようとする

## 6. 今後の予定

今後はパラメータの吟味をすることで、解析の精度を高め、再現性の高いモデルの構築を試みる。そして、実際の構造物に適用してシミュレーションを行う予定である