

# 歩きスマホの現状と衝突危険性の見積もり

川口寿裕<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科

## 概要

歩きながらスマートフォンや携帯電話等を操作する、いわゆる「歩きスマホ」が社会問題となっている。歩きスマホをしている人自身が電柱等への衝突や鉄道駅から線路への転落などの危険があるだけでなく、他の歩行者に衝突することで周囲の人をも危険に巻き込む可能性がある。しかし、街中では多くの歩きスマホを見かけるのが現状である。本研究では離散要素法 (DEM : Discrete Element Method) をベースとした数値シミュレーションにより、歩きスマホをしている人が混在した歩行者空間を模擬し、歩きスマホが歩行者間の衝突に及ぼす影響について調べた。また、歩きスマホの実態調査を行い、現状把握と将来の危険性の検討を行った。

## Current Situation and Estimation of Collision Risk

### about Texting While Walking

Toshihiro Kawaguchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Safety Management, Faculty of Safety Science, Kansai University

#### Abstract

Some pedestrians operate their smartphone while walking, which becomes a social problem. While the danger of the texting while walking (TWW) is often cautioned, we often encounter or sometimes collide with the TWW. In the present study, a numerical simulation based on a particle model is applied to the pedestrian space including the TWW. The inter-particle forces are modeled with DEM (Discrete Element Model). The effect of the ratio of the TWW on the inter-pedestrian collision is studied. The current situation of the TWW is also investigated.

## 1 はじめに

2017年7月27日、米国ハワイ州ホノルル市の市議会が、歩行者が「歩きスマホ」をしながら道路を横断することを禁じる条例が可決された。この条例は同年10月25日から施行され、違反した場合には15～99ドルの罰金が科される。

歩きスマホは日本でも社会問題となっている。通常の歩行者であれば周囲の歩行者・自転車や電柱などの障害物に早めに気付き、衝突を回避する。しかし、歩きスマホをしている人は視野が狭くなるため、回避行動が遅れて他の歩行者や電柱などと衝突する危険性が高まる。また、段差を踏み外しての転倒や、鉄道駅から線路への転落などの事故にも繋がる。

東京消防庁[1]によると、歩きスマホ等に係る事故は

増加傾向にあり、平成28年は東京消防庁管内で救急搬送された事例だけで50件に上る。救急搬送に至らない軽微な衝突や転倒がその数倍から数十倍に上ることは容易に想像できる。また、過去5年間に救急搬送された人の事故内容としては、他の歩行者、電柱、自動車などとの衝突が45.6%とほぼ半数を占めている。このことから、特に人が密集する場所では歩きスマホによる衝突事故への対策が大きな課題と言える。

本研究では歩きスマホをすることが歩行者間の衝突に及ぼす影響を調べるため、離散要素法 (DEM) [2] に仮想パネモデル [3,4] を組み込んだ手法を用いた数値シミュレーションを行った。また、歩きスマホの現状を知るために実態調査を行い、実態調査と数値シミュレーションの結果から、歩きスマホの危険性についての検討を行った。

## 2 計算手法

### 2.1 離散要素法

DEM は相互作用を及ぼしながら移動する岩石の挙動を解析する目的で開発された手法で、主に土木工学の分野で発展してきた[5]。後に、粉体工学[6]や粒子系混相流[7]にも適用されるようになった。近年では歩行者流れへの適用も試みられている[3,4,8]。

DEM では物理的に接触した粒子同士(図1の赤色と青色の粒子)の相互作用力をバネ、ダッシュポット、スライダで表現する。バネは弾性反発力を表し、ダッシュポットは非弾性衝突を表現するための粘性減衰力を意味する。スライダはすべり摩擦(動摩擦)を表す。

物理的な接触による力は次式で与えられる。

$$\vec{f}_{c_n} = (-k_n \delta_n - \eta_n \vec{V}_{ij} \cdot \vec{n}) \vec{n} \quad (1)$$

$$\vec{f}_{c_t} = \min[-k_t \delta_t - \eta_t \vec{V}_{ij}, -\mu_f |\vec{f}_{c_n}|] \vec{t} \quad (2)$$

ここで、 $k$  はバネ定数、 $\delta$  は変形量、 $\eta$  は粘性減衰係数を表し、添字  $n$ 、 $t$  はそれぞれ、法線方向、接線方向を意味する。 $\mu_f$  は摩擦係数、 $V_{ij}$  は粒子  $i$  と粒子  $j$  の相対速度、 $V_{ij}$  は粒子  $i$  と粒子  $j$  の接触点における接線方向相対表面速度である。 $\vec{n}$  は法線方向単位ベクトル、 $\vec{t}$  は接線方向単位ベクトルである。式(2)の記号  $\min[A, B]$  は  $A$ 、 $B$  のうち絶対値の小さい方をとることを意味する。つまり、式(2)は変形量が小さいうちは静止摩擦を表現し、変形量が大きくなるとすべり始め、すべり摩擦(動摩擦)が作用することを表現する。

### 2.2 仮想バネモデル

DEM を歩行者に適用する場合、物理的な接触による力に加えて心理的な力を表現するために仮想バネ

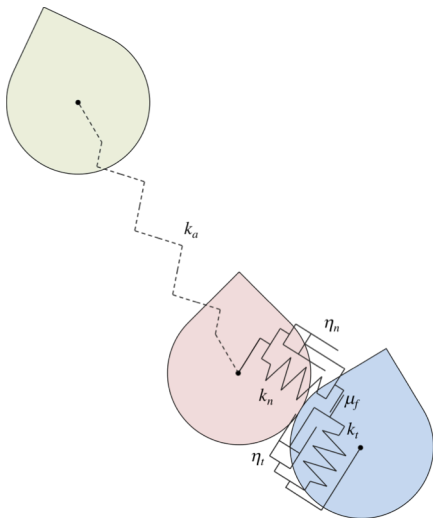


図 1: DEM による歩行者モデル

が導入されることがある[3,4]。物理的な接触力に関しては Newton の第三法則(作用・反作用の法則)が成り立つが、心理的な力については第三法則を適用しない。これは、歩行者(図 1 の赤色の粒子)が前方の歩行者(図 1 の緑色の粒子)の影響で速度を落とす(あるいは避ける)ことを仮想バネで表現するとき、その反作用を前方の歩行者に与えるのは不自然であるためである。心理的な力は法線方向のバネのみを用いて表現し、ダッシュポットによる粘性減衰力や接線方向の力は考慮しない。

### 2.3 反モーメントモデル

歩行者は通常、目標方向に正対して歩行する。他の歩行者との衝突などで歩行者の向きが目標方向からずれた場合には、自らずれを修正する。このことを表現するため、反モーメントモデル[4]を用いた。

### 2.4 粒子運動の計算

DEM による接触力から、Newton の運動方程式を数値積分することで粒子の運動を求めることができる。粒子の並進運動だけでなく、接線方向接触力による回転運動も計算した。

## 3 数値シミュレーション

### 3.1 計算条件

一辺 20 m の正方形領域内に 50 人の歩行者をランダムに配置した。このときの群集密度は  $0.125$  人/ $m^2$  となる。境界には全て周期境界条件を適用し、領域内の歩行者の人数を一定に保った。歩行者は直径 40 cm の円形粒子で表現した。

歩行者として、通常の歩行者と歩きスマホをしている人の 2 種類を考えた。通常の歩行者は正面から左右に  $90$  度ずつの視野角を持つとし、その視野角の中で自分から  $1$  m 以内の距離にいる他の歩行者の影響を受けるものとした。つまり、この範囲内に他の歩行者がいる場合に仮想バネモデルで心理的な力を与えた。仮想バネ定数が小さすぎると通常の歩行者が他の歩行者を避けきれずに衝突、大きすぎると他の歩行者と接近したときに後ずさりするような不自然な挙動が目立つようになる。通常の歩行者のみの条件において歩行者の挙動が不自然にならない値として、本計算では仮想バネ定数を  $500$  N/m で与えた。

歩きスマホをしている人は一切周囲を見ていないものとした。つまり、歩きスマホをしている人には心理的な力を一切与えない。

また、通常の歩行者の歩行速度の大きさは  $1.0 \sim 2.0$  m/s の一様乱数で与え、歩きスマホをしている人の歩行速度の大きさは  $0.7 \sim 1.5$  m/s の一様乱数で与えた。速

粒子直径	40	cm
歩行者質量	60	kg
物理バネ定数	$1.0 \times 10^4$	N/m
仮想バネ定数	$5.0 \times 10^2$	N/m
仮想半径	1.0	m
視野角	90	°
反モーメント係数	1500	Nm
計算時間刻み	0.01	s

表 1: 主な計算パラメータ

度の方向はランダムで与えた。計算に用いた主なパラメータを表 1 にまとめる。

### 3.2 計算結果

本手法による数値シミュレーション結果の一例を図 2 に示す。青色は通常の歩行者を表し、赤色は歩きスマホをしている人を表す。図 2 は歩きスマホをしている人が 50 %混在している場合の結果である。衝突しているペアは緑色で示されている。

本モデルによる数値シミュレーションの結果、通常の歩行者同士は全く衝突しないのに対して、歩きスマホをしている人同士は頻繁に衝突した。両者が混在している場合には、通常の歩行者と歩きスマホをしている人の間でも衝突が見られた。これは、通常の歩行者の背後から歩きスマホをしている人が近づいてくるときには両者の間で衝突が発生するためである。特に、他の歩行者との衝突を回避するために通常の歩行者が速度を落としているときに歩きスマホをしている人が背後から衝突する様子が多く見られた。

歩きスマホをしている人の割合を 0 % から 100 %まで 10 %刻みで変化させて計算を行った。50 秒間の歩行挙動を計算し、(a) 通常の歩行者同士、(b) 歩きスマホをしている人同士、(c) 通常の歩行者と歩きスマホをしている人の 3 つに分けてそれぞれの衝突回数を数えた。それぞれの歩きスマホの割合に対して、初期配置や歩行速度を乱数で与え直した計算を 10 回行い、(a)~(c)の 3 種類の衝突回数の平均を求めた。

いずれの場合においても、(a)の通常の歩行者同士の衝突は全くなかった。(b)と(c)およびそれらの合計回

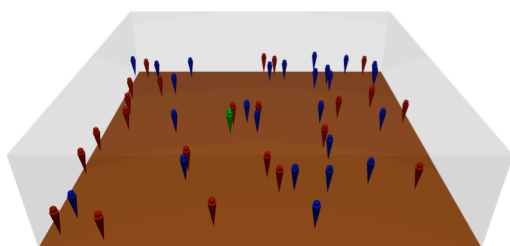


図 2: 計算結果例

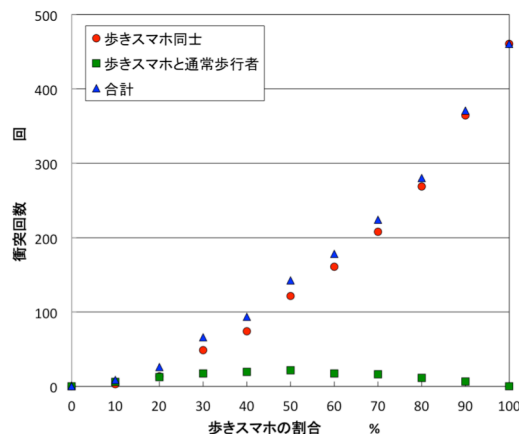


図 3: 歩きスマホの割合と衝突回数との関係

数を歩きスマホの割合に対してプロットしたものを図 3 に示す。歩きスマホ同士の衝突回数は歩きスマホの割合の約 2.2 乗に比例して増加している。一方、通常の歩行者と歩きスマホをしている人の衝突回数は、歩きスマホの割合が 50 %のときが最大となっている。衝突の合計回数は歩きスマホの割合の約 1.7 乗に比例して増加する結果となった。

## 4 歩きスマホの実態調査

### 4.1 調査概要

市街地での歩きスマホの実態を知るため、歩きスマホをしている人の割合を調査した。特定の場所において、歩行者数を数取器 (PLUS, KT-101) で計数した。歩きスマホをしている人の数も別途計数した。主に大阪市内の 7 つの駅前 (A~G) で計測を行った。各計測場所で 300~350 人の歩行者について調べ、そのうち歩きスマホをしている人の割合を求めた。歩きスマホであるかどうかは観測者の判断となるが、基本的には以下の基準に従った。

1. 歩きながら画面を見ている人を歩きスマホとする
2. 歩きながら通話しているだけの場合は歩きスマホとみなさない
3. 完全に立ち止まって画面を見ている場合は歩きスマホとみなさない
4. 上記の条件を満たせば、スマートフォンだけでなく、携帯電話も歩きスマホとみなす

### 4.2 調査結果

調査結果を表 2 にまとめる。A~D 駅については 12 時ごろ(昼)と 18 時ごろ(夕)の異なる時間帯について調査した。歩きスマホの割合が最も低かったのが A 駅の昼で 5.4 %であった。一方、最も高かったのが D 駅の夕で 17.1 %であった。場所や時間帯によってばらつき

場所	歩行者数	歩きスマホ	割合
A 駅(昼)	350	19	5.4 %
A 駅(夕)	350	36	10.3 %
B 駅(昼)	350	42	12.0 %
B 駅(夕)	350	40	11.4 %
C 駅(昼)	350	31	8.9 %
C 駅(夕)	350	44	12.6 %
D 駅(昼)	350	48	13.7 %
D 駅(夕)	350	60	17.1 %
E 駅	300	29	9.7 %
F 駅	300	36	12.0 %
G 駅	300	26	8.7 %
合計	3700	411	11.1 %

表 2: 駅前での歩きスマホ実態調査結果

はあるが、大阪市内の駅前における歩きスマホの割合は 10 %前後程度であった。

A～D 駅の昼と夕を比較すると、B 駅以外は夕の方が歩きスマホの割合が明らかに高くなっている。これは駅前の歩行者の特性が昼間と夕方で異なることが原因であると考えられる。昼間は仕事中のビジネスマンや買い物中の主婦が多かったのに対して夕方は仕事帰りの人が多く、昼間に比べて余裕のある人の割合が多いと考えられる。

大阪市内の駅前は、乗換案内や地図のアプリ使用率が高く、それ以外の場所に比べて歩きスマホの割合が比較的高くなりやすいと予想できる。それでも歩きスマホをしている人の割合は 10 %前後程度であり、現状ではそれほど高い数値とは言えないかも知れない。しかし、図 3 に示すように衝突回数は歩きスマホの割合に対して非線形に増加すると考えられ、今後さらに歩きスマホをする人の割合が高くなると重大な事故に繋がる可能性が急激に高まると予想される。ホノルル市の条例のように、何らかの対策を早めに検討することが重要である。

なお、本調査において歩きスマホをしている人が実際に衝突した場面は全体で数回程度であった。図 3 では歩きスマホをしている人の割合が 10 %でも 50 秒間で約 8 回の衝突が発生しており、実態調査よりもかなり頻度が高い。これは歩きスマホをしている人には心理的な力を与えないという極端な条件で計算していることが原因であると考えられる。実際には歩きスマホをしていても、他の歩行者と衝突する前に気づくことの方が多くはらずであり、このことに対応した仮想バネを与えるべきである。今後、歩きスマホをしている人がどの程度の範囲内にいる歩行者を認識できるのか実験的に明らかにし、本モデルに導入することで本計算結果が実現象に近づくことを期待される。

## 5 まとめ

通常の歩行者と歩きスマホをしている人が混在する歩行者空間を模擬するため、離散要素法 (DEM) に仮想バネモデルを導入した手法を用いた数値シミュレーションを行った。その結果、歩行者間の衝突回数は歩きスマホの割合に対して非線形に増加するという結果を得た。

主に大阪市内の駅前で歩きスマホの実態を調査したところ、歩きスマホをしている人の割合は 10 %前後程度であった。現状ではそれほど高い割合ではないが、歩きスマホの割合が高くなるにつれて衝突回数が非線形に増加することから、早めの対策が必要であることが示唆された。

## 謝辞

本研究は JSPS 科学研究費補助金基盤研究(C) (課題番号:16K01294)の支援を受けた。また、本論文の数値計算は主に関西大学社会安全学部卒業生 宮上奈那美氏によるものであり、実態調査は関西大学社会安全学部 4 年生 伊豆敬太氏と 3 年生 片山智裕氏によるものである。記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 東京消防庁ホームページ, <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/lfe/topics/201602/mobile.htm> (2017 年 11 月 2 日確認)。
- [2] P.A.Cundall, O.D.L.Strack, *Geotechnique* **29-1** (1979) 47.
- [3] 清野純史, 三浦房紀, 瀧本浩一, *土木学会論文集* **537** (1996) 233.
- [4] 川口寿裕, 第 20 回交通流のシミュレーションシンポジウム論文集 (2014) 83.
- [5] 木山英郎, 藤村尚, *土木学会論文報告集* **333** (1983) 137.
- [6] 日高重助, 金星直彦, 三輪茂雄, *粉体工学会誌* **26-2** (1989) 77.
- [7] 川口寿裕, 田中敏嗣, 辻裕, *日本機械学会論文集(B編)* **58-551** (1992) 2119.
- [8] Y.Tsujii, *Pedestrian and Evacuation Dynamics* 2003 (2003) 27.