

車いす使用者等混入率の増加に伴う流動係数減少率の把握と その予測式の提案

— 車いす使用者を含む群集の避難流動特性に関する実験研究 (その2) —

GRASP OF THE RELATIVE DECREASING RATIO OF FLOW COEFFICIENT AND PROPOSAL OF THE CALCULATING FORMULA

— An experimental study on the escape flow of crowd
including wheelchair users (Part 2) —

嶋田 拓*, 久保田一弘**, 直井英雄***

Taku SHIMADA, Kazuhiro KUBOTA and Hideo NAOI

The escape of wheelchair users and other large-sized persons from buildings at fire has not been considered enough. In this study, we made two experiments to grasp the characteristics of crowd escape flow including wheelchair and other large-sized persons. Then we intended to grasp the relative decreasing ratio of a flow coefficient to the able-bodied people. Through these experiments, we recognized as follows:

1. We could grasp the relative decreasing ratio of group including non-abled people. The larger person's size is indicated more ratio.
2. We proposed a calculating formula using ergonomic factors; personal occupation area, speed and wheelchair users ratio.

Keywords: Wheelchair, Crowd, Flow coefficient, Escape

車いす, 群集, 流動係数, 避難

1. はじめに

ハートビル法の制定等によるバリアフリーやユニバーサルデザインの導入が進み、身体状況によらない公共建築物へのアクセスは容易なものとなってきている。これを平時のバリアフリーとするならば、火災等による非常時の避難に関するバリアフリーへの対応については、十分な検証がなされていない状況にある。

現在、避難計画に用いられることのある避難安全検証¹⁾では、群集が扉等の開口部を通過する際の流動係数には、90人/㎡分(1.5人/m秒)が基準値として使われているが、健常者に限定された集団から得られた基準値であり、身体障害者等は含まれていない。車いす使用者等が混在した群集では、流動量が減少することが予想されるため、その減少の程度を把握しておく必要がある。

この状況を受けて、前報²⁾では、群集の流動を妨げるネックとなる建築物の開口部を群集が通過する際の流動係数減少傾向を密度、開口幅、車いす使用者混入率の視点から実験、考察を行い、次のような知見が得られた。

- ① 群集密度が2~8人/㎡の範囲では、群集密度の増加に対して流動係数は増加する。

- ② 車いす使用者混入率の増加によって、流動係数が比例的に減少する。

- ③ 開口幅の影響は他の条件に比べ少ない。

しかし、これらの知見では避難計画への適用には不十分である。そこで、本報では次の2点を目的とした。

- ① 前報では、自走式手動車いすのみを対象としていたが、流動係数を左右する要素はこれだけではない。本報では介助式手動車いす、電動車いすや、車いすと同様に物理的制約が大きいと思われるベビーカー利用者や荷物・乳幼児の抱きかかえを新たな対象に加えた実験を行う。
- ② 前報および上記の実験結果をもとに、車いす使用者等を含む群集の、車いす使用者等混入率の増加に伴う流動係数の相対的な減少率を推定することが可能な予測式を提案する。

2. 実験方法

2-1. 実験の概要

(1) 設定条件

本研究では、各種物理的制約の大きなものが混在する集団について、2つの実験(実験1、実験2)を行った。2つの実験

* 東京理科大学工学研究科建築学専攻 大学院生・工修

** 東京理科大学工学部第二部建築学科 補手・工修

*** 東京理科大学工学部第二部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Tokyo Univ. of Science, M. Eng.

Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering (Night Course), Tokyo Univ. of Science, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering (Night Course), Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

を行った理由は、実験1では車いす使用者（自走式・介助式）の混入率について、実験2では各種混入タイプについて主点を置いた実験を行うことにより、より幅広いデータを得るためである。それぞれの実験日が異なり被験者も異なるが、比較を行うため同様な実験装置及び方法としている。それぞれ実験について、表1のような条件を設定した。

①開口幅

一般建築物において使用されている開口幅を意識し、片開き扉程度の900mmと両開き扉程度の1,800mmとした。

なお、相対的な比較を行うという目的より安定した定常流を再現するため、被験者に対し次のような教示を行った。「通勤ラッシュをイメージし、前の人を押さない程度に近づいて開口部を通過してください。」

②混入タイプ

移動の細やかさを考えると、自走式手動車いす（以後自走式車いす）に比べ移動特性が異なると考えられる介助式手動車いす（以後介助式車いす）や、電動車いすについても対象に加えた。ベビーカー利用者や荷物・乳幼児の抱きかかえについては、一般的に混在比率が比較的高く、かつ物理的な制約が健常者に比べ大きいと考え対象に加えた。なお、ベビーカーには10kgの荷物を載せ、抱きかかえでは10kgの荷物をかかえてもらった。

③混入台数

実験1では車いす使用者混入率のある程度広い範囲を捉えるため、自走式及び介助式車いすは最大約15%となる1～6台とした。自走式と介助式の混合は、1対1の割合とし各1～3台（計2～6台）とした。実験2では、混入タイプに主点を置いたため各1～3台とした。

なお、被験者の全体人数は変えずに行った。そのため、健常者として参加していた被験者が試行回によっては車いすを使用した。

(2) 被験者

普段車いすを使用しない本学の学生を被験者とし、服装は普段着、足元は、実験1については靴下を着用し、実験2では靴を履いた状態で行った。車いす使用者として車いすに乗車する者も同様の被験者から任意に選択した。ある程度の操作を習得してもらう為に、実験前に練習を行ってもらった。

被験者数は、実験1:38人(男性29人、女性9人)、実験2:92人(男性62人、女性31人)とした。

(3) 実験装置

図1に示すような実験装置を、東京理科大学体育館及び火災実験棟に設置し実験を行った。各部の詳細及び形状等については図中に示すとおりである。なお、通過前後の空間はその規模を限定しない空間とした。通過後の空間が流動に与える影響は無視できるものではないと思われるが、本実験はネック部で生じる現象のみに着目し、通過前後の空間形状が結果に影響を及ぼさない条件とした。

(3) 車いす及びベビーカーの仕様

自走式車いす及び介助式車いすは、一般にレンタル等でも使用される大型の車いす³⁾を使用した。実際の車いす使用者は、

表1 設定条件

実験1 (被験者総数38人)			
No.	開口幅[mm]	混入タイプ	混入台数[台]
1	900	なし	—
2	900	自走式車いす	1・2・3・4・6
3	900	介助式車いす	1・2・3・4・6
4	900	混合(自走式+介助式)	2・4・6
5	1,800	なし	—
6	1,800	自走式車いす	1・2・3・4・6
7	1,800	介助式車いす	1・2・3・4・6
8	1,800	混合(自走式+介助式)	2・4・6
実験2 (被験者総数92人)			
No.	開口幅[mm]	混入タイプ	混入台数[台]
1	900	なし	—
2	900	抱きかかえ	1・3
3	900	ベビーカー	1・3
4	900	自走式車いす	1・3
5	900	電動車いす	1・3
6	1,800	なし	—
7	1,800	抱きかかえ	1・3
8	1,800	ベビーカー	1・3
9	1,800	自走式車いす	1・3
10	1,800	電動車いす	1・3

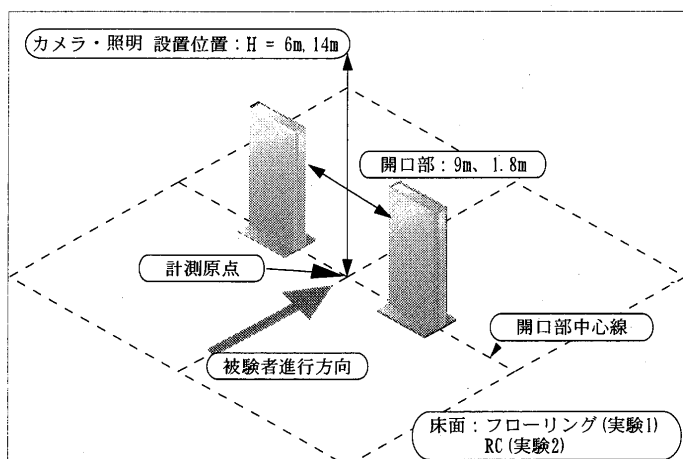


図1 実験装置

自走式・介助式手動車いす	ハンドル形電動車いす	ベビーカー

図2 実験に使用した車いす及びベビーカー

自分のサイズに合わせ小型の車いすを使用することが多いが、現実的に使用される場面もあり、実験結果に大きな影響を与えるとも考えにくく、かつ、安全側に考え大型の車いすで支障はないと判断した。

電動車いすについては、JIS規格⁴⁾によれば外観上ハンドル形と標準形が主となるが、ここでは前述の手動式車いすと同様に安全側に考え、より大型であるハンドル形電動車いすを採用した。

ベビーカーについては、一般に市販されている標準サイズとし、SGマーク認定基準⁵⁾のB形のものとした。

各混入タイプの各部寸法について図2に示す。

2-2. 解析方法

(1) 座標データ変換方法

開口部を通過する様子を開口部の中心の直上およそ6~14mよりカメラを用いて撮影し、解析機を用いて1/10秒毎に位置座標データに変換した。健常者並びに自走式車いす使用者の位置座標については、実験前に被験者の頭部に1点、自走式車いす・介助式車いす・電動車いす・ベビーカーに各4点、抱きかかえ荷物に1点貼り付けておいた反射板が開口部を通過する際の反射光をプロットする事で得ている。撮影画像の一例を写真1に示す。

なお、群集の先頭と最後尾の被験者は前方もしくは後方が群集の影響を受けていないため、群集の最初と最後の約5%程度を除外した人数を有効人数として、以後の解析を行うものとする。具体的な除外した人数は、実験1で各3人、実験2で各5人である。そのため有効人数は、実験1で32人、実験2で82人となる。

また、車いす使用者等の混入率（以後、車いす等混入率）の算出方法は有効人数に対する割合とする。その際、群集の初期配置を自由配置としたため、解析時に除外する群集の最初と最後の5%の中に車いす使用者等が含まれる場合もあったが、全体の人数に対して用意した車いす使用者等の割合及び全体が開口部を通過する群集の流動は変わらず、かつ、集団のばらつき、精度を含めて考えて支障はないと判断した。

介助式車いす、ベビーカー利用者及び抱きかかえについては、基本的に一体となって移動することから1つの移動体として解析を行うものとする。

以上の方法から得られた位置座標データより流動係数、速度、占有面積といった基礎的なデータを算出した。

(2) 占有面積の算出方法

開口部通過の際の流動係数の相対的減少は、人の占有する面積より車いす使用者等の占有する面積が大きくなることに起因するという仮定のもとに、それぞれの占有面積を求めた。

占有面積の算出にはポロノイ分割を用いた。ポロノイ分割とは、平面上にいくつかの点（母点）が与えられた時、他のどの点よりも近い領域を割り当てるために仕切ったものをいう。これにより得られた被験者ごとの領域のうち、他の被験者に十分囲まれたものを本報における占有面積と定義し、それ以外はデータから除外した。

この方法での問題点は、各被験者の頭頂部を母点としてポロ

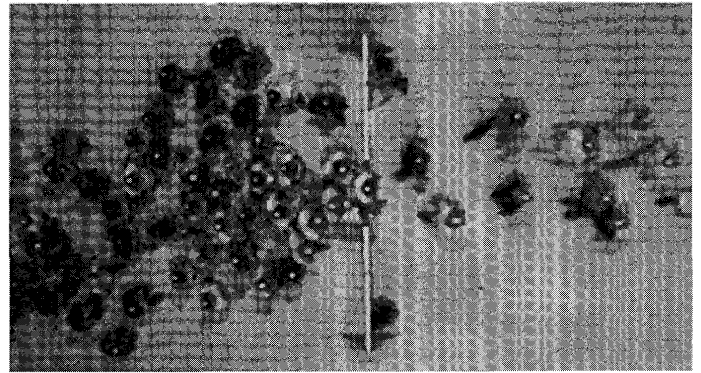


写真1 撮影画像の一例

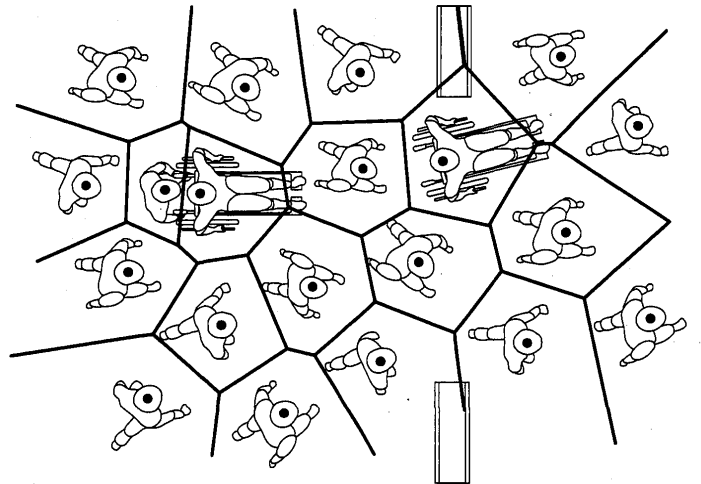


図3 通常のポロノイ図作成例

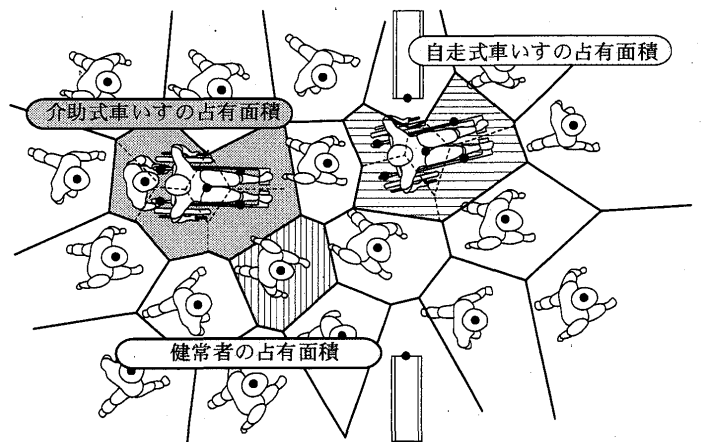
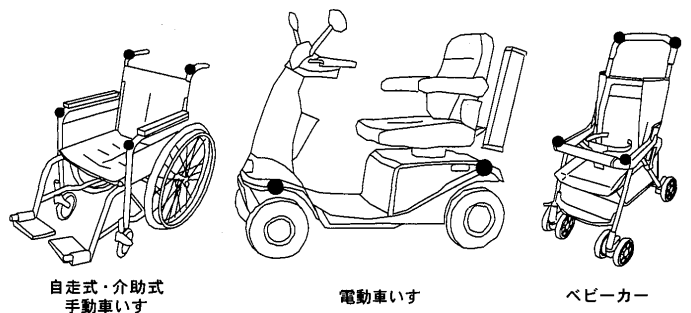


図4 本報で改善したポロノイ図作成例



自走式・介助式
手動車いす

電動車いす

ベビーカー

図5 混入タイプ別母点の取り方

ノイ分割を行うと、個人の領域を決定するにあたって、健常者と車いす等では水平投影面積が異なる。このため、両者の領域をポロノイ分割法によって求めようとする、図3からも分かるように、車いす使用者等の領域を小さくする事になってしまう。また、被験者のみを点でプロットすれば壁を越えた領域を含めてしまう可能性がある。そこで、健常者と車いす等との距離の取り方を考慮し、車いす等を面として反映させ、かつ壁との距離を考慮したものが改善後の図4である。具体的な改善点は、自走式、介助式及び電動車いすについては角部(図5参照)及びそれらの4点の中心点の計5点を取った。ベビーカーについては角部の4点(図5参照)及び押し手の頭頂部の計5点を取った。この分割方法で各被験者の流動の様子が把握できるものと考え、1/10秒ごとの各被験者の占有面積を算出した。各混入タイプの母点の取り方を図5に示す。

3. 実験結果及び考察

3-1. 群集流動係数

(1) データの安定性

図6に実験2における車いす等混入率0.0%での経過時間に対する健常者の速度の推移を示す。速度は、実験2における開口部中心より手前1.0mの範囲にいる健常者のみの群集の各試行ごとの平均である。これをみると各試行共に速度はほぼ一定の数値で推移している事がわかる。その他の試行も同様な傾向がみられたため、安定した定常流が再現されていると考える。

(2) 群集流動係数の推移

車いす等混入率に対する流動係数の推移を実験1について図7に、実験2について図8に示す。

図7から、自走式車いすと介助式車いすの流動係数の推移はほぼ同様な値である。介助式車いすは介助者と被介助者を1つの移動体として捉えている。そのため、2人で1移動体となるため、同数の人間が開口部を通過する効率を考えるならば、介助式車いすの方が流動効率が良いと言える。

図8から、混入率の増加に応じた流動係数の低下割合は、小さなものから「抱きかかえ」<「ベビーカー」<「自走式車いす」<「電動車いす」の順位となる。これは物理的寸法(水平投影面積)と同順位である。

実験1・2共に、車いす等混入率の増加に伴い、流動係数は一定の低下傾向を示している。物理的制約のある移動体が混在した場合、流動に影響を与えていることは明らかである。しかし、実験1と実験2の混入率0.0%を比較すると、流動係数の値が異なっている。これは、占有面積等の群集の移動状況が異なることが原因と考えられる。これらの原因については次節3-2(3)において分析を行う。

3-2 予測式に用いる人間工学的要素の解析

(1) 占有面積

開口部までの距離に対する占有面積の推移を実験1について図9に、実験2について図10に示す。実験1・2の各混入タイプ共に、通過前0.0~0.5mの付近まで、小さな値(密度が高い)を示し、その後徐々に上昇する(密度が小さくなる)傾向

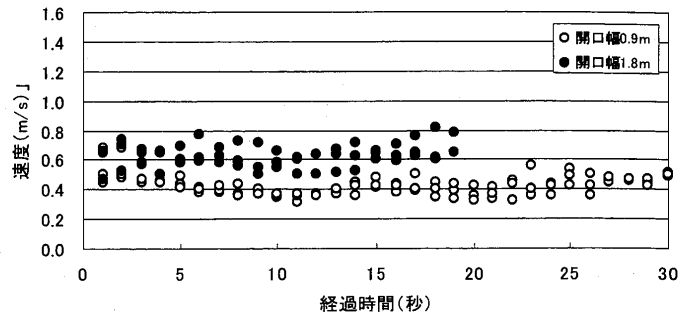


図6 経過時間に対する健常者の速度の推移

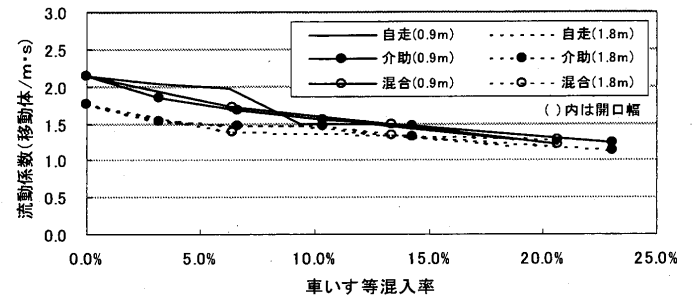


図7 車いす等混入率に対する流動係数の推移(実験1)

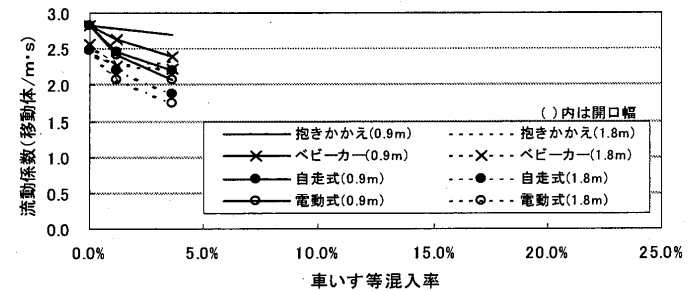


図8 車いす等混入率に対する流動係数の推移(実験2)

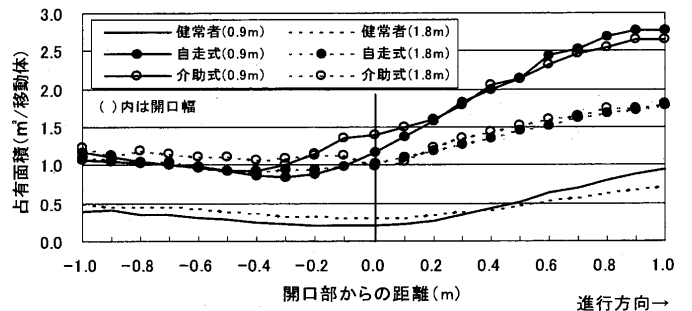


図9 開口部までの距離に対する占有面積の推移(実験1)

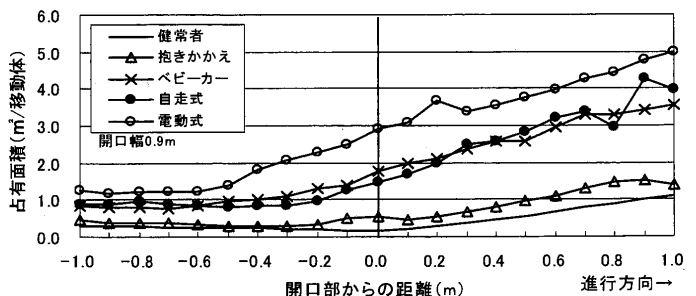


図10 開口部までの距離に対する占有面積の推移(実験2)

を示す。値が上昇する地点は、物理的寸法が大きいほど開口部より手前となっている。これは、大きな寸法を有している移動体は開口部通過時において、健常者の間に入っていきような細やかな動きができないため、必然的に流動が滞る瞬間ができてしまう。その影響で前方の被験者との間隔が健常者と比較して開き気味になるため、このような結果として表れたものと考えられる。

占有面積は小さなものから「健常者」く「抱きかかえ」く「ベビーカー」く「自走式車いす」く「電動車いす」となるが、これは物理的寸法と同順位となる。

図11は、開口部より前後1.0mの範囲にいる被験者の車いす等混入台数に対する占有面積の推移を示したものである。これを見ると、車いす等混入台数によらず一定の範囲の値を示していることがわかる。この結果は、教示による擬似的な群集を作った実験により得られた知見であり、その教示により、群集密度がおおよそ通勤ラッシュ時程度の一定の条件下のものであるが、車いす等混入台数の増加によって生じる車いす使用者同士の接近等による、物理的面積の相違以外の占有面積に与える影響はほとんどみられない。

(2) 速度

開口部までの距離に対する速度の推移を、実験1について図12に、実験2について図13に示す。速度は、健常者・自走式・介助式それぞれ開口部との距離によってややばらつきは見受けられるが、どの被験者も概ね同様の値を示す。

実験2の開口幅900mmのとき、ほとんどの電動車いすが開口部手前で急停止し、その後急発進する様子が観察された。一方、開口幅1,800mmのときは、電動車いすが健常者と共に開口部をスムーズに通過する様子が観察された。このことから、電動車いすで開口幅900mmの開口部を群集と共に通過するのは、開口幅1,800mmに比べやや困難なことが分かった。この傾向は電動車いすが最も顕著であったが、自走式車いす、介助式車いすについても同様な傾向がみられた。これらのばらつきについては、開口部周辺での急停止や急発進によって、計測される速度が約0~2(m/s)まで変化し、一旦立ち止まると、開口部通過の順番待ちの状態が続いた様子が観察された。一方、健常者は複数人が開口部付近にいるため、1人が立ち止まったとしても他の被験者が動いていた。そのため、平均値として双方を比較するとばらつきが見られた原因ではないかと思われる。

車いす等混入台数に対する速度の推移を図14に示す。占有面積と同様に車いす使用者等混入率の影響はあまりみられなかった。

(3) 各要素と群集流動係数の関係

車いす等混入率によらず健常者、車いす等は占有面積、速度について開口部前後のある地点においておおよそ一定の値を示す。車いす等混入率増加に伴う相互作用がみられないことから、車いす等の混入が群集流動係数に及ぼす影響は、群集全体としてその見かけの面積を増加させる事にあると考えられる。

3-1(2)でも触れたが、実験1と実験2では、車いす等混入率0%時の値が異なっている。両実験共に群集密度をおおよそ一定に保つため、同様な教示を行ったが被験者集団及び実験日

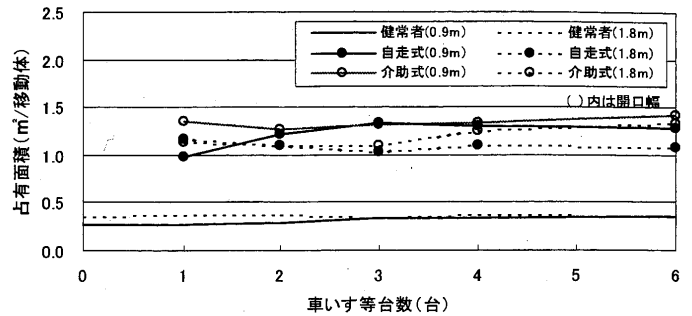


図11 車いす等台数に対する占有面積の推移 (実験1)

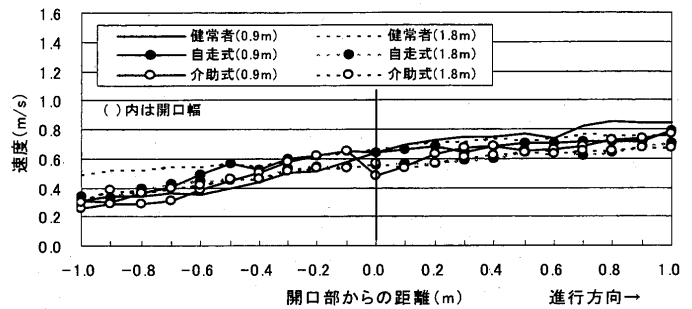


図12 開口部までの距離に対する速度の推移 (実験1)

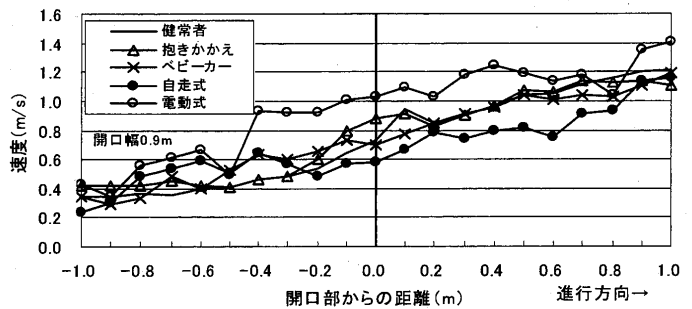


図13 開口部までの距離に対する速度の推移 (実験2)

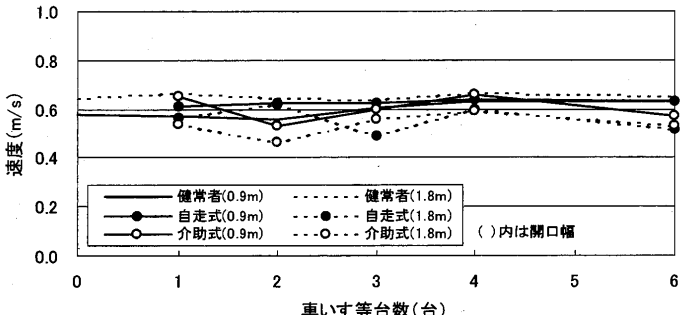


図14 車いす等台数に対する速度の推移 (実験1)

$$N = \frac{v}{A \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) + B \left(\frac{\alpha}{100}\right)}$$

N: 流動係数[移動体/m・s]
α: 車いす使用者等混入率[%]

		実験1		実験2	
		平均値			
開口幅[m]		0.9	1.8	0.9	1.8
v	速度[m/s]	0.58	0.64	0.62	0.70
A	健常者占有面積[m ² /移動体]	0.31	0.36	0.27	0.32
B	抱きかかえ占有面積[m ² /移動体]	-	-	0.45	0.46
	ベビーカー占有面積[m ² /移動体]	-	-	1.52	1.22
	自走式車いす占有面積[m ² /移動体]	1.23	1.09	1.50	1.34
	介助式車いす占有面積[m ² /移動体]	1.34	1.18	-	-
	電動車いす占有面積[m ² /移動体]	-	-	2.45	1.83

図15 流動係数の予測式と実験値

が異なるため群集密度に差が生じた。結果をみると実験1よりも実験2の方が、群集密度が大きく（占有面積が小さく）なり（図9・10参照）、速度は実験1の方が実験2よりも小さくなった（図12・13参照）。物理的に、群集密度が大きく速度が速いほど流動係数は高い値を示すため、流動係数に差異を生じた原因となったと考えられる。しかし、本研究での目的である、車いす使用者混入率の増加に伴う流動係数の、相対的流動係数の減少率を捉えるという目的に照らせば、重大な問題ではないと考える。

3-3. 流動係数の予測方法

以上の人間工学的要素を用いた予測式及び開口部前後0.5mの範囲の平均値を図15示す。また、平均値を用いて求めた予測値と、実験によって得られた測定値を比較すると、ほぼ同様な数値が得られる。しかし、実験1と2では群集の違いによる流動係数の差異があるため、単純に比較することが意味を持つとは考え難い。そこで、本報での目的である健常者のみの群集に対する車いす等が混入したときの相対的流動の減少割合を示すため、健常者のみの群集の流動係数を1とした場合の車いす等混入率に応じた流動係数の減少率を、実験1について図16に、実験2について図17に示す。いずれも開口幅900mmのものであるが開口幅1,800mmについても同様な傾向を示した。

これらの値がほぼ同様な減少傾向を示すことから、解析に用いた要素の速度やポロノイ分割を用いて定義した占有面積により、流動係数の相対的減少率を予測することができると考える。

4. まとめと今後の課題

以上、本研究より得られた知見を以下にまとめる。

- ① 各種車いす、ベビーカー等物理的制約の異なる移動体が混在する群集の、健常者のみの群集に対する相対的減少率の大きさは、物理的寸法の大きさと同じ順位であり、「抱きかかえ」<「ベビーカー」<「自走式車いす」<「電動車いす」の順に減少率が大きくなる。
- ② 実験より得られた人間工学的要素である占有面積、速度を定数とし、車いす使用者等混入率を変数とした流動係数予測式を提案した。

健常者のみの集団の流動係数は、避難安全検証法等の実際の避難計算に用いられているが、この相対的減少率はそれと同等の前提条件のもとで避難計算に用いることができるのでは

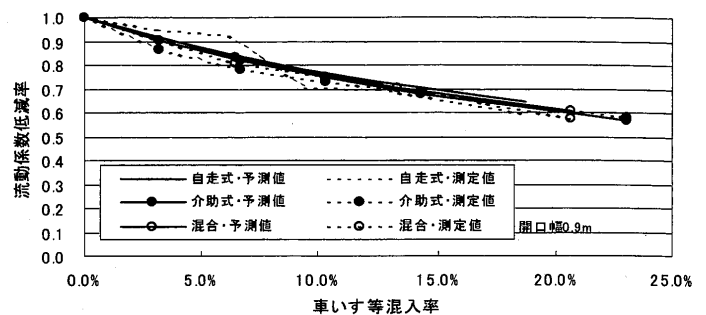


図16 流動係数の低減率（実験1）

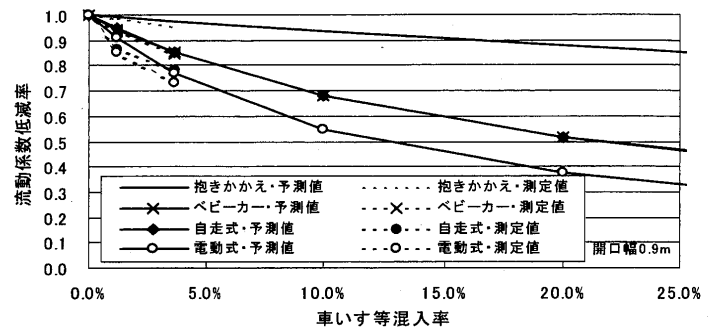


図17 流動係数の低減率（実験2）

ないかと考えている。しかしながら、これらの知見は、健常者と車いす使用者等が混在して同一方向に避難するという想定のもとに得られた知見であり、実際の避難時に健常者と車いす使用者との間に生じる心理的な問題、避難方法に起因する問題等については想定しておらず、それらは今後の課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課編：2001年版 避難安全検証法の解説および計算例とその解説，井上書院，2001.3
 - 2) 嶋田拓，金井昌昭，矢島規雄，直井英雄：車いす使用者を含む群集の避難流動特性に関する実験研究，日本建築学会計画系論文報告集 No. 569, pp. 71 ~ 76, 2003.7
 - 3) 日本規格協会：JIS T 9201, 手動車いす
 - 4) 日本規格協会：JIS T 9203, 電動車いす
- 注 1) 財団法人製品安全協会：CPSA0001, 乳母車の認定基準及び基準確認方法において形式分類されA形とB形がある。B形は自身で支えなしに一人座りできる乳幼児（標準として生後7月以降）を対象としている。

(2007年3月9日原稿受理, 2007年8月27日採用決定)