車椅子使用者が混在する群集の流動特性に関する研究

WALKING BEHAVIOR OF A CROWD INCLUDING WHEELCHAIR USERS

土屋伸一*, 古川容子*, 宮野義康**, 吉田直之**, 長谷見 雄二***

*Shin'ichi TSUCHIYA, Yoko FURUKAWA, Yoshiyasu MIYANO,
Naoyuki YOSHIDA and Yuji HASEMI*

The purpose of this study is to grasp the flow characteristics of a crowd including wheelchair users through experiments. The results show that the walking speed of the wheelchair users in the crowd tend to increase rather than decline, and the density of the crowd varies with whether people without disabilities pass the wheelchair users or not. The arrangement of the wheelchair users has a great effect on the walking speed of the crowd. Based on above results, the walking speed and flow coefficient of a crowd including the wheelchair on which the abled ride are presented for evacuation planning.

Keywords: Fire safety, Evacuation, Crowd, Wheelchair, Walking speed, Flow coefficient,
防火, 避難, 群集, 車椅子, 歩行速度, 流動係数

1. はじめに

1.1 研究の目的

「高齢者・身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律」(通称:ハートビル法)の制定に伴い、不特定多数が利用する建築物では、利用者は健常者だけとは限らず、非常時の避難において、群集内に健常者と車椅子使用者などが混在する可能性が高くなってきている。また、2000年6月には建築基準法が改正され、避難規定の一部に性能規定が導入されたが、病院や社会福祉施設など自力避難困難者が多い建築物については、在館者の避難特性を予測し難いとして国土交通省告示避難安全検証法の適用から外され、性能設計の道は当面ふさがれた状況にある。

従来、避難設計に用いられている歩行速度、流動係数等のデータは主に戸川^{*)}の研究によるものであり、駅施設や劇場等の出入口における群衆の観察から導きだされたものである。その他に歩行速度、流動係数等の既往研究には、戸川と同様、駅の通勤群衆を実測したもの^{文2)3)}があるが、いずれも健常者を対象としている。また、車椅子等の歩行行動に関する既往の研究には、病院の入院患者を実測したもの^{文4)5)}などがあるが、単独歩行を対象としており、車椅子使用者が健常者の中に混在した場合の群集歩行行動については解明されていない部分が多く、研究事例も少ない。しかし、災害時の避

難行動を考えると、車椅子利用者の単独避難という状況は想像できず、一般には健常者と混在して避難すると考えられる。また、高齢化社会の進行や車椅子でアクセス可能なバリアフリー建築の普及を踏まえると、高齢者や車椅子使用者が混在する群集の流動特性を把握し、避難設計に反映させることは緊急の課題である。

そこで本研究では、車椅子を使用した単独歩行及び健常者の中に車椅子が混在した場合の群集流動について、健常者を使った実験を行い、車椅子使用者が混在する群集の歩行速度及び流動係数を把握することを目的とする。

1.2 健常者を車椅子利用被験者とする理由

一概に車椅子使用者といっても、高齢者や病気の、下肢障害はあるものの上半身は健常な人などさまざまである。しかし、本研究では車椅子使用者が混在するときの群集流動への影響を把握することが目的であり、また、従来、車椅子使用者の避難に関する実験研究がほとんどなく、実際の身障者を被験者とした場合に起こり得る安全管理上の問題点を把握できていないことなどを考慮し、ここでは車椅子利用被験者も健常者とした。なお、その限界と実際に身障者等を被験者とする実験への展望については、本実験結果に基づいて後述する。

* 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生・工修

** 早稲田大学大学院理工学研究科 大学院生

*** 早稲田大学理工学部建築学科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Waseda University, M. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Waseda University Prof., Department of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

2. 実験の概要

2.1 実験の方法

早稲田大学理工学部建築学科の学生を被験者とした。実験は2年生を対象とする実験授業^{注1)}を利用して行い、①車椅子使用時の単独歩行、②車椅子使用者が混在する群集歩行という手順で行った。また、群集歩行実験において車椅子に乗るのは、単独歩行実験における車椅子使用時の歩行速度が遅かった者から選定した。なお、車椅子は自走式^{注2)}を使用した。

2.2 車椅子使用者の単独歩行実験

早稲田大学理工学部55号館の廊下を使用し、20mの距離を歩行したときの時間を計測した。歩行距離は建築基準法の重複距離の規定及び実際の建物における居室から避難階段に至る一般的な歩行距離を勘案し決定した。

2.3 車椅子使用者が混在する群集歩行実験

早稲田大学理工学部55号館のロビー空間に幅2mの通路を設定し、スタート地点に整列した状態から合図と共に一斉にスタートし、単独歩行実験と同様、20mの距離を歩行したときの各個人の歩行時間及びネック^{注3)}の通過時間等を計測した。通路幅については、建築基準法の廊下幅の規定及び実際の建物における一般的な廊下幅を勘案し決定した。実験は2001、2002年度に実施したが、一部の実験では歩行中の群集密度の変化を観測するために、スタート直後とネック手前の範囲(各5m)をビデオ撮影した(図1参照)。また、車椅子の配置パターンの違いによる実験ケースを図2に示す。周りの健常者に影響を及ぼすのは、車椅子で通路がふさがれる場合と考えられるため、混在する車椅子使用者の数は2人(混在率10%)を上限とした。ネックはスタート地点から10mの位置に設定し、ネックの位置の違いによる影響をみるために、ネックを通路中央と端に設定した。

2.4 用語の定義

本研究に使用される用語について、以下のとおり定義する。

列：群集の進行方向の列(a列～d列)

行：群集の進行方向に垂直な列(1行～最大7行)

歩行速度：各被験者個人の歩行速度

群集速度：群集最後尾における最も遅い健常者の歩行速度^{注4)}

通行量：単位時間、単位幅あたりの通過人数(単位：人/m/sec)

流動係数：扉等ネックの通過能力として定められる通行量^{注5)}

実験ケースの呼称：ケースAのパターン1であれば、「ケースA1」

被験者位置の呼称：a列の1行目であれば、「a1」

3. 実験結果

3.1 車椅子使用者及び健常者の単独歩行速度

図3(a)に車椅子使用者の歩行速度のばらつきを表す箱ひげ図を示す。被験者数は110人^{注6)}であるが、事前に図3と同様の方法で統計処理し、2人のデータを外れ値^{注7)}として除去した結果、108人のデータを有効とした。これによると、歩行速度の最大値は1.61 m/sec、最小値は0.58 m/sec、平均値は1.04 m/sec、標準偏差は0.25であった。図4には歩行速度の度数分布を示す。これによると、車椅子使用者の場合は正規分布に比べて偏平で若干左に寄っていることがわかる。このため、108人のデータから母平均のt推定を実施したところ、信頼度95%で車椅子使用者の歩行速度

図1 群集歩行実験の方法

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5
車椅子の位置	1 2 3 4 5 6 a b c d W	1 2 3 4 5 6 a b c d W	1 2 3 4 5 6 7 a b c d W	1 2 3 4 5 6 7 a b c d W W	1 2 3 4 5 6 7 a b c d W W
進行方向	↑	↑	↑	↑	↑
ケースA	ネックなし 2m				
ケースB	1m ネック右側 2m				
ケースC	1m ネック中央 2m				
ケースD	1m ネック左側 2m				

図2 群集歩行の実験ケース

図3 単独歩行速度のばらつき

図4 歩行速度の度数分布

の平均値は0.85～1.23 m/secの範囲にあることがわかった。志田等は病院の入院患者を対象とする実測に基づき、自力歩行の車椅子の単独歩行速度の代表値を、その平均値から標準偏差を引いた値

で表して 0.67 m/sec と報告している^{*)}。この考え方に従い、今回の歩行速度の平均値の下限から標準偏差を引いた値を求めると 0.6 m/sec と志田等の報告値に近い値となる。

また、健常者についても車椅子使用者と同様に分析した結果、110人のうち98人のデータを有効とし、これから母平均の t 推定を実施したところ、信頼度95%で健常者の歩行速度の平均は $1.25 \sim 1.65 \text{ m/sec}$ の範囲にあることがわかった。これにより、歩行速度の平均値の下限から標準偏差を引いた値は 1.1 m/sec となる。(図3(b), 図4参照)。

3.2 群集内の健常者及び車椅子使用者の歩行特性

ネックがない場合(ケースA)における健常者と車椅子使用者の単独歩行時と群集歩行時の歩行速度の関係を、車椅子使用者の数・配置別に表したものを図5(a)～(f)に示す。これによると、群集内の車椅子使用者の歩行速度は、単独歩行に比べてほとんど低下せず、むしろ増加傾向にあることがわかる。これは、群集に混在することによって、車椅子使用者が周りの健常者にあわせようとする意識が強く働いたためと考えられる。一方、健常者については、図5に示す対角線より右側の範囲にあり、群集になることによって歩行速度は低下する傾向にあることがわかる。ここで、車椅子使用者が並列しないパターン1～3(図5(b), (c), (d))では、車椅子使用者より後続の健常者でも、車椅子使用者より速く歩行している者がおり、車椅子使用者が後続の健常者の歩行速度を決定的に規定していないことがわかる。この原因としては、車椅子使用者により通路がふさがれないため、健常者は車椅子使用者を追い越すことが可能であったと考えられ、実験の様相を撮影した画像からもその傾向が観察できた。

これに対し、車椅子使用者が並列するパターン4, 5(図5(e),

(f))では、車椅子使用者より後続の健常者は、車椅子使用者より遅く歩行しており、車椅子が後続の健常者の歩行速度を規定していることがわかる。この原因としては、車椅子により通路がふさがれることによる影響が大きいと考えられるが、パターン5では、車椅子使用者に速度差が生じており、通路が完全にふさがれていないにもかかわらず、後続の健常者が車椅子使用者を追い越すことができていない。これは2台の車椅子周辺では、健常者は車椅子を回り込むような行動をとらなければ追い越せなかったためと考えられる。

なお、健常者の歩行速度は、単独歩行時にはかなりばらつきを示していたが、図5(a)に示すように、群集時は約 1.2 m/sec でほぼ一定になっている。その後、群集時の歩行速度は車椅子の増加とともに再びばらつきが大きくなるが、これは車椅子の追い越しができたかどうかによって由来すると考えることができる。

3.3 群集歩行実験における行数

ネックがない場合(ケースA)における車椅子の数・配置別の各行の歩行速度を図6(a)～(d)に示す。歩行速度は後方ほど遅くなるため、群集の歩行速度として列後尾(6, 7行目)に着目すると、縦6行のケースA1(図6(a))では、各列の歩行速度は約 1.2 m/sec に近づいているのがわかる。また、縦7行のケースA3(図6(b))では、ケースA1に比べてばらつきがみられるものの、後続にいくに従い歩行速度が低下する傾向がみられる。この傾向が顕著に表れるのがケースA4(図6(c))である。ケースA4では、車椅子使用者が先頭に2人並列しており、歩行速度がやや速かったc1後方のc3, c4が進行方向左側にいてa1を追い越した以外は追い越しが生じておらず、歩行速度低下の影響が後尾に伝播したと考えられる。このため、b列の7行目以外、6, 7行目にかけて歩行速度は約 1.1 m/sec に近づいているのがわかる。

図5 ネックがない場合(ケースA)の単独歩行と群集歩行との関係

一方、車椅子使用者より後続の行数が少ないケースA5(図6(d))では、a, b列とも6行目から7行目にかけてさらに歩行速度が低下しているが、これは3.2項で述べたように、車椅子使用者に速度差が生じ通路が完全にふさがれていないにもかかわらず、2台の車椅子周辺では、健常者は車椅子を回り込むような行動をとらなければ追い越せなかったために、歩行速度低下の影響が後尾に伝播したものと考えられる。

以上のことから、車椅子使用者によって通路がふさがれない場合には、健常者の歩行行動に及ぼす影響は比較的小さいが、車椅子使用者が並列し、通路をふさいでしまう場合には、後続の健常者の歩行速度に及ぼす影響が高くなること、また、避難設計に有効な群集速度を得るためには、健常者の列では6行以上配置して、行列後方の歩行速度の近似値が得られるようにする必要があると考えられる。

3.4 測定区間中央付近の群集密度の時間変化

パターン1, 3, 4, 5について、ネック手前となる測定区間中央付近の群集密度の時間変化を図7(a)~(d)に示す。時間軸の0秒の位置は、図1に示すように先頭がビデオ撮影区間の入口(スタート地点から7.5mの距離)に到着した時点としている。車椅子使用者が混在しないパターン0では、群集密度の最大は1.2人/m²で、通過時間は他のどのケースよりも短くなっている。次にネック通過時間が短いのは、車椅子の配置に関係なくネックがない場合(ケースA)であるが、ネックがある場合(ケースB~D)の密度変化は、パターンごとに似た性状を示しており、ネックがある場合はその位置よりも、車椅子の数・配置が群集行動特性に及ぼす影響が顕著であることがわかる。その中で、車椅子使用者が行列途中に2人並列した場合(パターン5)は、図7(d)に示すように、群集が二つに割れたことで、車椅子の配置が異なるパターン3, 4に比べて全体的に群集密度は低い傾向にある。また、車椅子使用者が2人直列した場合(パターン3)は、図7(b)に示すように、先頭到着後初期は、車椅子の混在率に関係なくパターン1と似た性状を示しているが、ネックがある場合(ケースB~D)は8秒前後から群集密度が増加し、ネック通過も停滞している。これは、パターン1のように車椅子使用者が1人ならば健常者は追い越しが可能であったものが、車椅子使用者が2人直列すると、追い越しが容易でなくなり、ネックの有無の影響が増大すること、また、ケースBでの遅滞が特に大きいことからみて、ネックと車椅子の位置関係の影響も顕著になると考えられる。

3.5 群集速度と群集密度の関係

ネックがない場合(ケースA)について、測定区間中央付近の密度^(注8)と群集速度の関係を表したものを図8に示す。車椅子の数・配

図7 測定区間中央付近の群集密度の時間変化

図6 配置パターン別の各列の歩行速度

図8 ネックがない場合（ケースA）の
群集密度と群集速度との関係

図9 群集密度と速度、通行量との関係^{*)}

置によって差はあるが、今回の実験では密度1.2～1.6人/m²の範囲で、その時の群集速度は1.05～1.2m/secであった。スタート時の密度は約3人/m²であるから、ほぼ半分に密度が低下しているが、これは群集の中に車椅子使用者のように遅い者が混在すると後続に影響してばらつきが生じるためと考えられる。また、パターン3のように車椅子使用者が2人直列したとしても、通路がふさがれず健常者が追い越すことができる場合には、密度が低下する傾向にあることがわかる。

以上のことから、車椅子使用者が混在する群集の密度は、健常者が追い越しができかどうかで異なり、それには車椅子の配置の影響が大きいと考えられる。

3.6 ネック通過時の通行量と群集密度の関係

通行量 N は単位幅、単位時間あたりの通過人数を示す数値であり、以下の式で表される。

$$N = \rho \times v$$

ここで、 ρ は群集密度（人/m²）、 v は群集速度（m/sec）を示す。通行量 N は群集密度 ρ と群集速度 v の積で表され、群集流の場合、歩行速度は密度に依存し、密度が高いほど速度が低下する。そこで最も単純なものとして、群集密度の上昇に対して、図9の破線のように直線的に群集速度が低下する場合を考えてみると、群集速度に密度を乗じた通行量は、 $\rho = 0$ 又は $v = 0$ のときに $N = 0$ となるため、定性的には図9の曲線^{*)}のように表わされる。通行量は当初群集密度の上昇に伴い増加するが、最大値 N_{max} に達した以降は逆に減少する^{*)}。

そこで、車椅子の数・配置の違いによるネック手前の群集密度^{*)}と通行量の関係を表したものを図10に示す。これによると、通行量は当初群集密度の上昇に伴い増加するが、車椅子使用者が先頭に2人並列した場合（パターン4）以外はその後低下する傾向がみられる。ここで、今回測定されたパターン1, 3, 4について、群集

図10 ネック手前の群集密度と通行量との関係

密度 ρ と通行量 N の関係が2次関数で表されると仮定して回帰すると次式のとおりとなる（図10の曲線を参照）。なお、パターン2は車椅子使用者が行列途中で1人混在しているが、測定された密度の範囲が狭いこと、また、パターン5については車椅子が行列途中で2人並列したことで群集が割れたために、ここでは除外した。

$$N_1 = -7.273 \rho^2 + 24.011 \rho - 18.112 (1.4 \leq \rho \leq 1.8)$$

$$\text{重相関係数: } R_1^2 = 0.960$$

$$N_3 = -1.381 \rho^2 + 4.876 \rho - 2.753 (1.2 \leq \rho \leq 2.2)$$

$$\text{重相関係数: } R_3^2 = 0.987$$

$$N_4 = -1.143 \rho^2 + 5.243 \rho - 4.393 (1.6 \leq \rho \leq 2.3)$$

$$\text{重相関係数: } R_4^2 = 1.000$$

ここで、添字の1, 3, 4は配置パターンを示す。

パターン3と4は、車椅子使用者の混在率は同じであるが、車椅子の配置の違いにより、群集密度と通行量の変化は異なった特性を示している。交通流の性質^{*)}としては、パターン3では重交通の範囲までが表れ、パターン4では実測データを放物線で回帰した場合、流動係数の最大値に達する程度以下の軽交通の範囲が表れている。本来、車椅子が並列し通路がふさがれる場合（パターン4）のほうが重交通になり、ネックの通過時間が長くなると予想されるが、表1に示すように、ネックの通過時間は、ネックの位置に関係なくパターン4のほうが短くなった。そこで、パターン3と4のネック通過時間についてt検定を実施したところ、有意水準0.05で有意な差は認められなかった。

表1 パターン3, 4のネック通過時間（単位：sec）

	ケースB	ケースC
パターン3	15.54	13.36
パターン4	12.35	12.44

4. 考察

4.1 群集速度と群集密度の関係

群集の歩行速度は密度の影響を強く受けると考えられ、群集密度と歩行速度の関係については、過去に様々な近似式が提案されている^{5,6)}。その中で、図8には健康者を対象とした戸川の近似式を重ねているが、今回の実験では群集密度の上昇に伴い歩行速度が低下するという顕著な傾向はみられなかった。これは、測定された密度の範囲が狭いためであるが、全体としては戸川が示した関係に近い結果となった。

一方、群集速度については、車椅子使用者によって通路がふさがれない場合（パターン1～3）は、群集密度の上昇が抑制されるため、群集速度の低下が顕著に表れなかったと考えられる。これに対し、車椅子使用者によって通路がふさがれる場合（パターン4, 5）は、群集密度の上昇により歩行速度が低下すると予想されるが、パターン5については、前述したように車椅子が行列途中に2人並列したことで群集が割れたために、パターン1～3に比べて同程度以下となっている。また、車椅子使用者が先頭に並列した場合（パターン4）は、同じ混在率で直列した場合（パターン3）と比べて、群集密度が高いのに群集速度がほぼ同じであるのは、車椅子使用者の歩行速度の違いによるものと推察される。パターン4は群集密度が明らかに高くなる配置形態であるが、図5に示すように車椅子使用者の歩行速度はパターン3よりも速くなっている。このため、パターン4では後続の健康者がそれに追従する形で全体的に歩行速度が速くなったことからみて、車椅子使用者が混在する群集の速度は、車椅子の配置だけでなく、車椅子使用者自体の歩行速度の影響を強く受けると考えられる。

4.2 車椅子使用者の配置が群集流に及ぼす影響

パターン4のように、車椅子使用者によって通路がふさがれた場合でも、ネック通過が遅滞しないという傾向は普遍的なものではなく、車椅子使用者の特性により変化する可能性は否定できない。このため避難計画においては、群集密度の上昇を極力抑える方策を考える必要がある。まず、車椅子使用者が並列し、通路をふさがないようにすることはいうまでもないが、車椅子使用者の混在率が同じ1人で、その配置が異なる場合（パターン1と2）を比較すると、図10に示すように、通行量は車椅子を行列途中に配置したパターン2のほうが高くなっており、車椅子使用者が前方に位置するほどネックでの通行量が低下する傾向にある。また、歩行速度については、図8に示すように、車椅子の位置に関係なく顕著な差はみられないことがわかる。

以上のことから、車椅子使用者は群集の後方で、通路の一方に寄せるように誘導することにより、群集内の健康者に及ぼす影響を抑えることができると考えられる。

4.3 車椅子使用者が混在する群集の歩行速度

1.2項で述べたように、今回の実験では健康者による車椅子利用を前提としており、単独で高齢者や病気の人などの車椅子利用が混在した場合を包含したものではない。

従来、避難設計に用いられている健康者の歩行速度は、群集密度が1.5人/m²以下のとき1.0m/sec^{5,6,8)}である。今回の実験では、健康者のみの群集速度は約1.2m/secであったのに対し、車椅子使用者が最大10%混在した場合には約1.0m/secとなり、健康者

のみの群集に比べて群集速度は約20%低下することがわかった。ただし、車椅子使用者が最後尾にいた場合には、個人の体力によって遅れをとる可能性も皆無ではない。したがって、避難設計上安全側の評価を導くためには、車椅子使用者が混在する群集の速度は車椅子使用者の単独歩行速度を考慮して定める必要がある。

なお、3.1項で述べたように、今回の実験における車椅子使用者の単独歩行速度の代表値を、志田等の考え方^{2,4)}に従い、平均値の下限から標準偏差を引いた値で表わすと0.6m/secとなる。

4.4 ネック通過時の流動係数

建築計画において、廊下等の通路または扉を通る人数は与条件としてわかっている場合が多いため、流動係数はその通過量を保証する必要がある。図9のように、通行量は群集密度の影響を受けるため、群集密度に条件を付けずに通行量を測定しても、吉田¹⁰⁾が指摘するように「通過した人数に基づく見かけの流動係数」となり、通過能力としての流動係数にはならない。通行量は $dN/d\rho=0$ のとき（図9の曲線の N_{max} のとき）に最大となり、これが、通過能力としての流動係数に相当するものであると考えられる。したがって、避難設計に用いる流動係数は、図9の曲線の最大値 N_{max} で定める必要がある。

今回の実験では、図10に示すように、パターン1, 3では通行量の最大値から重交通の範囲が表れ、パターン4についてはほぼ最大値に達すると考えられる軽交通の範囲が観測されている。また、前述したように、車椅子使用者の混在率が増えるほど群集流の安定性が低下する傾向にあることがわかった。そこで、車椅子使用者の混在率が同じ2人で、その配置が異なるパターン3, 4を比較すると、図10に示すように、車椅子使用者が2人直列した場合（パターン3）は、図9の放物線に近い通行量の近似曲線が表れているが、車椅子使用者が2人並列した場合（パターン4）については重交通の範囲が表われていないために、通行量と密度の全体の傾向を把握することはできない。また、パターン3は車椅子使用者によって通路がふさがれないため、実際の避難行動でも十分起こりえる形態であり、前述したように、パターン3と4のネック通過時間に有意な差も認められなかった。

以上の考察から、本論文ではパターン3から流動係数を推定する。図10の近似曲線より、群集密度が1.8人/m²のときに通行量は最大となり、流動係数は前述の回帰式から1.54人/m/secとなる。これに対して、従来、避難設計に用いられている流動係数は1.5人/m/sec^{7,8)}であるから、車椅子使用者の混在率が10%までの群集におけるネック通過時の流動係数は、健康者のみの群集に関する慣用値に比べて低下しないと考えられる。

5. まとめ

今回の実験を通じて、健康者による車椅子利用が混在する群集の流動特性を把握し、群集速度、流動係数等の数値を示した。主な知見は以下のとおりである。

- 1) 車椅子使用者が混在する群集では、車椅子使用者の歩行速度は単独歩行に比べてほとんど低下しない。
- 2) 車椅子使用者が混在する群集歩行実験において、避難設計上有効な歩行速度を得るためには、健康者の列では6行以上配置する必要がある。

- 3) 車椅子使用者が混在する群集の密度は、車椅子の配置の影響を強く受ける。
- 4) 群集行動への影響は、ネックの位置よりも車椅子の配置のほうが大きい。
- 5) 車椅子使用者が10%混在する群集の速度は、健常者のみの群集に比べて約20%低下するが、避難設計上安全側の評価を導くためには、群集速度は車椅子使用者の単独歩行速度を考慮して定める必要がある。
- 6) 車椅子使用者が10%混在する群集におけるネック通過時の流動係数は、従来避難設計で用いられていた健常者のみの群集に関する慣用値に比べて低下しない。

なお、4.3項で述べたように、今回の実験における車椅子使用者の単独歩行速度の代表値を、平均値の下限から標準偏差を引いた値で表わすと0.6 m/secとなる。また、車椅子使用者が後方にいて遅れをとった場合には、車椅子使用者の単独歩行速度によって群集速度が規定される可能性もある。したがって、上記1)～6)の群集に混在する車椅子使用者は、0.6m/sec以上の歩行速度で避難できることが前提となる。

今回は、健常者による車椅子利用の自力歩行を前提としたが、車椅子使用者が公共の建築空間を利用する際には、身障者や高齢者の車椅子利用、介助者が付き添う場合など多様な状態が存在する。また、実際の避難経路は直線ばかりでなく曲がりもあり、車椅子へ及ぼす影響が皆無とはいえない。これらの点を踏まえ、今後は、実際の身障者、高齢者との比較、群集内の健常者が車椅子使用者を介助した場合の群集の流動特性、経路途中の曲がりの影響などについても実測を行い、自力歩行との比較検討を行うことで、避難設計に用いるデータとしての有効性を明らかにしてゆきたい。

謝辞

本研究を実施するにあたり、実験に協力して頂きました早稲田大学理工学部建築学科2001, 2002年度の2年生の受講生並びに早稲田大学長谷見研究室の上川大輔氏、大西卓氏、峯岸良和氏、有村亮氏、渥美良紀氏、稲原攝雄氏、大山有紀子氏、柿木英治氏及び松尾祐介氏に厚く御礼申し上げます。また、本研究の一部は平成14年度科学研究費補助金(萌芽研究, 課題番号14655208), 「高齢者疑似体験用具を使用した高齢者の避難行動特性の定量化の手法」の補助を受けて行われた。ここに謝意を表します。

注

- 1) 2001, 2002年度において、早稲田大学理工学部建築学科の2年生を対象とした授業であり、履修する学生50数人を20名程度の3グループに分け、各グループごとに①単独歩行実験、②群集歩行実験、③車椅子等の利用体験の3種類を3回の授業に分けて行った。また、天候等の理由により②と③を入れ替えることはあったが、②を行う前に必ず①を終わらせるようにした。なお、授業では車椅子実験だけでなく、高齢者疑似体験用具を用いた実験も行っている。
- 2) ㈱マキテック製 KI-10 (幅: 車輪外側で60cm, 奥行き: 100cm)
- 3) 幅約50cm, 高さ約120cmのスチール製掲示板二つを障害物とし、幅員1mのネックを形成した。
- 4) 一般に群集流になると、遅い歩速の人に同調して全体が遅くなるといわれており²¹⁾、当然前列よりも後列のほうが歩行速度は遅くなるが、ある位置からは周りとの同調により一定の速度に収束していくと考えられる。また、群集における前列の健常者は、通常周りの影響を受けずに歩行することが可

能であり、各被験者の平均値で検討しても、群集全体の歩行速度の傾向を示すことができないこと、及び避難計画上は安全側の設計を誘導することから最後尾の歩行速度を群集速度と定義した。

5) 吉田²¹⁾は、流動係数には「通過した人数に基づく見かけ上の流動係数」と「通過可能な人数に基づく流動係数」という二つの概念があることを導いたが、戸川²²⁾が定めたのは「通過可能な人数に基づく流動係数」であると指摘しており、本論文ではこれを流動係数と定義した。

6) 2001, 2002年度の被験者数の合計である。男女比は4:1で男性のほうが多く、全ての被験者の健康状態は良好であり、実験に影響を及ぼす身体的障害はなかった。

7) 図3に示す箱ひげ図において、上側ヒンジとは、最大値と中央値の間に位置する値で、全データの75%がその値より小さくなる場所である。また、下側ヒンジとは、最小値と中央値の間に位置する値で、全データの25%がその値より小さくなる場所である。上側ヒンジと下側ヒンジの差は四分位偏差と呼ばれ、ばらつきの大きさを示す指標として用いることができる。統計学では、上側ヒンジと下側ヒンジからそれぞれ四分位偏差の1.5倍のところを上内境界点、下内境界点といい、上内境界点より大きいデータ、または下内境界点より小さいデータは外れ値として除去する。ただし、最大値が上内境界点より小さい場合、あるいは最小値が下内境界点より大きい場合は、それぞれ最大値を上内境界点、最小値を下内境界点とする。

8) ネック手前の画像データを基に、先頭が撮影区間に到着後1秒間隔で5m² (2m×2.5m)の範囲内にいる人数を計測し、その中の最大値を群集密度とした。

9) 文9)では、流動係数の最大値 N_{max} を境にして傾きが正の範囲を「軽交通」、傾きが負の範囲を「重交通」として区別している。

参考文献

- 1) 戸川喜久二: 群衆流の観測に基づく避難施設の研究, 建築研究報告, NO. 14, 1955. 2
- 2) 植竹徹, 渡部学, 奈良松範: 出入口および階段降り口における群集の流動係数について, 火災, Vol. 44. No1-2, pp. 1~7, 1996
- 3) 奈良松範, 大島泰伸, 渡部学: 避難時の群集歩行速度について, 階段における歩行, 火災, Vol. 45. No1-2, pp. 11~17, 1996
- 4) 志田弘二, 辻本誠: 病院患者の避難時運動能力, 火災, Vol. 35. No6, pp. 27~32, 1985
- 5) 厚生省病院管理研究所: 災害に対する病院の保安避難体制に関する研究(中間報告書), 1975. 3
- 6) 新建築学体系 12 建築安全論, 彰国社, 1983
- 7) (財)日本建築センター: 新・建築防災計画指針, 1995
- 8) 建築学体系 21 建築防火論, 彰国社, 1973
- 9) Richard Haberman 著, 中井暉久 訳: 交通流の数学モデル, 現代数学社, 1981
- 10) 吉田克之: 建築設計における避難行動予測に関する研究, 早稲田大学学位論文, 1991

本論文に関連する既発表論文

- 1) 土屋伸一, 古川容子, 宮野義康, 吉田直之, 長谷見雄二: 群集歩行行動における高齢者・身体障害者の影響 (その4) 車椅子使用者を含む群集の流動特性, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp. 425~428, 2002. 3
- 2) 土屋伸一, 古川容子, 宮野義康, 吉田直之, 長谷見雄二: 群集歩行行動における高齢者・身体障害者の影響 (その4) 車椅子使用者を含む群集流動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-2 分冊, pp. 165~168, 2002. 8

(2003年1月10日原稿受理, 2003年6月26日採用決定)