

ウォークスルー型シートシャッターの避難安全性の実験的検討

流動性、視認性と操作性

Experimental Study on the Refuge Safety of the walk-through type Sheet Shutter

An aim at quantity of human flow, visual recognition and operation

建部 謙治 * 佐野 友紀 ** 内山 聖士***
Kenji TATEBE Tomonori SANO Seiji UCHIYAMA

The purpose of this paper is to clarify the refuge safety of the sheet shutter.

Three kinds of experiments were performed and analyzed by five viewpoints; visual recognition, operation, quantity of human flow, safety, durability. The quantity of human flow, visual recognition, and operation are described in this paper.

The results are summarized as follows.

- 1) The sheet shutter satisfies the necessary flow coefficient of 1.5 persons/m·s which was estimated in case of a fire.
- 2) Mental evaluation of a sheet shutter is lower than a fire door.
- 3) It is difficult for wheel chairs to pass through as the passage is narrow.
- 4) The optimum point at which to push the sheet shutter is not in a suitable position for tall people.

1 はじめに

1.1 研究の背景

わが国では、近年の建築技術の進歩に伴い、新しい区画構成部材としてシリカクロスという非常に遮炎性、遮煙性に富んだ材料を用いたシャッターの開発が進んでいる。このシャッターは、従来の防火戸に変わる区画構成部材として、これまでも建築基準法第38条の規定に基づく建設大臣の特別認定の建築物に使用されてきた。しかし、閉鎖後の通り抜けに関しては、これまでに経験のない材料・形状なため、通り抜けの円滑性や安全性の立証が十分でないこととされ、建築物の主たる経路に用いない事などの制約を受けている。しかし、今般の建築基準法の一部性能規定が取り入れられたことをきっかけとして、この防火設備の特性を活かし、より使いやすくするために通り抜けの実験を行い、通り抜けの円滑性、安全性等の評価を行う必要がある。

しかし、この種の安全性の評価は、定量的に表す適切な尺度がなく、その評価が決めにくい。そこで、本研究では円滑性のひとつの指標として、流動係数を用い、また人間工学的に捉えた通過時の体の動きを比較するなどの検討を行った。

1.2 研究の目的

本研究の目的は、ウォークスルー型シートシャッター（以下、シートシャッターと記す。）の開口部における避難安全性の検討である。本論文では、主に流動性の確保、扉の開閉操作部分の認識度合、扉を開く動作のしやすさの観点からの検討を行った。

1.3 シートシャッターの特徴

シートシャッターは、防火戸と防火シャッターの機能を兼ね備えた新しい防火・防煙区画構成部材であり、併設の防火戸及び防火戸を支える支柱の設置が不要となる特徴を持っている。しかし、シートシャッターの開口部は、従来の防火戸とは異なり三角形であるため、防火戸で見られる通常の通り抜け動作ではなく、三角形の隙間を作ってすり抜けるような動作（図1、図2）

* 愛知工業大学 工学部 建築学科 (豊田市)

** 名古屋市立大学 芸術工学部 生活環境デザイン学科(名古屋市)

***愛知工業大学 工学部 建築学科 (豊田市)

を避難者に求める構造的特徴を持っている。

2 研究の概要

2.1 研究方法

開口部の避難時の通過について問題となるのは、群集による速やかな避難行動が保障される流動性の確保が重要である。一般的な防火戸の場合は、その幅と流動係数の大きさにより評価される。しかしシートシャッターは、1.3 のように特別な動作を避難者に強いる構造的な特徴がある。そのため、避難安全性は、流動係数だけでなく、通過時の人間の様々な挙動についても十分に把握し、総合的に捉える必要がある。

そこで本研究では、シートシャッターの開口部における避難安全性を、単独歩行と群集歩行に関わる問題に大別し、これを実験的に検討する。実験では、歩行者の心理、及びシートシャッター開閉機構と力学的特徴を把握する。そのため、単独実験、群集通常実験、群集パニック実験の 3 つを行い、視認性、操作性、流動性、安全性、耐久性の 5 つの観点から避難安全を検討する。

5 つの避難安全性を以下に示す。

- ① 視認性：扉の開閉操作部分の確認のしやすさ。
- ② 操作性：扉を開く動作のしやすさ。
- ③ 流動性：開口部の通り抜けやすさ。流動係数を主な指標として捉え、対物対人の接触状況の有無。
- ④ 安全性：転倒、つまずき、打撲などの危険性の有無。
- ⑤ 耐久性：避難者によってもたらされる外的圧力に対するシートシャッターの破断、変形の有無。

また、3 種類の実験と 5 つの避難安全性の関係は表 1 に示す通りで、相対的な評価を行うため防火戸の実験も同様に行い、その結果を比較した。なお、防火戸の寸法については、高さ 2095mm、通路幅内法 800mm である。

本論文では、主に流動性、視認性、操作性について記述する。

表 1 実験と避難安全性の関係

| | 視認性 | 操作性 | 流動性 | 安全性 | 耐久性 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 単独実験 | ● | ● | ● | ● | |
| 群集通常実験 | ● | ● | ● | ● | ● |
| 群集パニック実験 | | ● | ● | ● | ● |

表 2 実験概要

| 実験名称 | 目的 | 方法 | 被験者 |
|------|---------------------------------|--|------------|
| 単独 | 転倒の危険性、視認性、操作性などの計測、転倒のメカニズムの解明 | 属性の異なる単独被験者が実験装置を通り抜ける。あわせてアンケート調査も行う。 | 5種類の属性10人 |
| 群集 | 群集流動、通り抜け行動特性の把握 | 群集が実験装置を通り抜ける。あわせてアンケート調査も行う。 | 健康者成人男女49人 |
| | 倒れ込みに対する動作特性の把握、開口部周辺にかかる圧力の確認 | 群集が実験装置を通り抜ける。あわせてアンケート調査も行う。 | 健康者成人男性20人 |

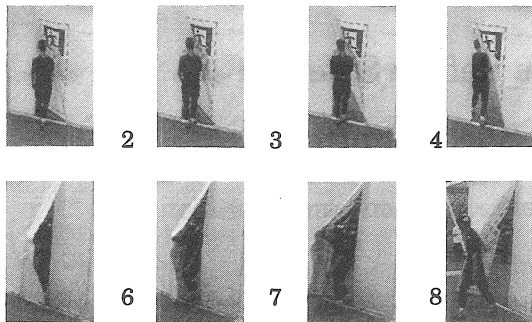


図 1 シートシャッターの通り抜け

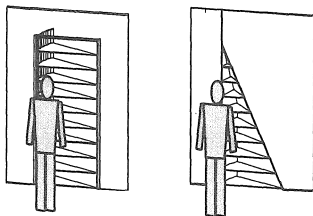


図 2 開口面積の違い

1.4 シートシャッター各部の寸法と名称

本研究で用いるシートシャッターの各部寸法と名称は以下の通りである。

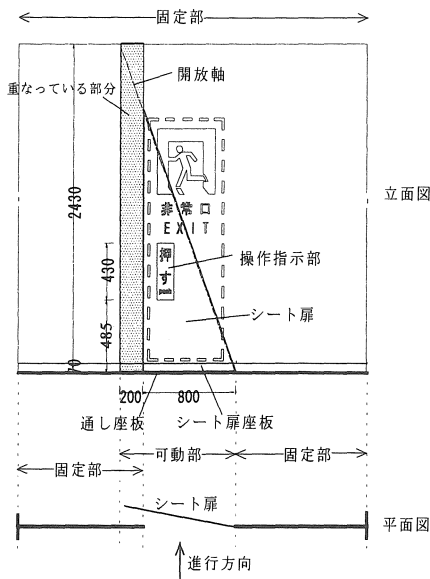


図 3 シートシャッター各部寸法と名称

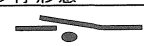
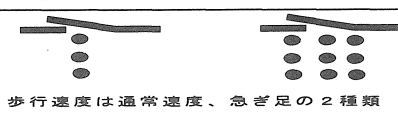
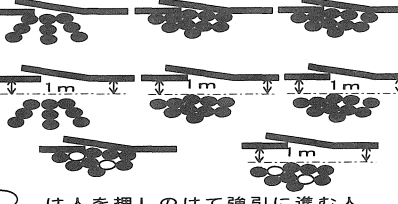
2.2 実験の概要

単独実験とは、シートシャッター開口部における単独歩行者の通り抜け実験であり、歩行者の属性による開閉操作及び通り抜け動作などの把握と問題点の抽出を行う。被験者属性は、単独実験では、健常者成人（男女）、高齢者（男女）、車椅子（手動式・電動式）、子供（小5・小2）、ストレッチャーである。

群集通常実験とは、整然とした避難状態における群集歩行者の通り抜け実験であり、群集特有の動作特性、流動性などの把握と問題点の抽出を行う。被験者は健常者成人（男26名・女23名）である。

群集パニック実験は、パニックを想定した密集した群集歩行者における通り抜け実験であり、倒れこみ行動特性やシートシャッターにかかる群集からの圧力を把握する。被験者は健常者成人男性20名である。実験概要を表2に示す。なお実験ごとの歩行形態は、表3に示す通りで、同じ実験を3回ずつ行った。

表3 実験の種類と歩行形態

| 実験名称 | 歩行形態 |
|------|--|
| 単独 |  <p>健常者のみ歩行速度は通常速度、急ぎ足の2種類</p> |
| 群集 |  <p>歩行速度は通常速度、急ぎ足の2種類</p> |
| |  <p>○ は人を押しのけて強引に進む人</p> |

実験日時と実験場所

- 第1回目 2000年7月、名古屋市立大学
単独実験と群集通常実験(2日間)
- 第2回目 2000年9月、大林組技術研究所
- 第3回目 2001年1月、大林組技術研究所
2、3回目は群集パニック実験

3 実験結果と考察

3.1 流動性

3.1.1 通過時間

図4は単独実験における開口部の通過時間の平均値を示したものである。単独歩行者による通り抜けでは、電動車椅子とストレッチャーを除いて、シートシャッターにおける通過時間の方が防火戸よりもやや短い。

ターにおける通過時間の方が防火戸よりもやや短い。

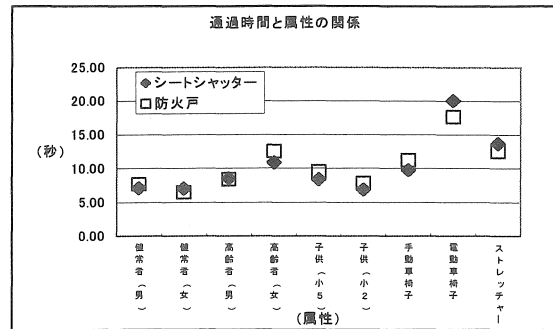


図4 通過時間（単独実験、平均）

3.1.2 流動係数

流動係数は、避難計算を行う際に用いられる係数で、通常1.5人/m・sを用いる。群集通常実験においては実験ごとに3回ずつの流動係数を計測したが、いずれもバラツキは見られず、分析にあたっては各実験ごとの平均値で比較検討することが可能であると判断した。

(1) 群集通常実験

図5は群集通常実験における歩行形態別の流動係数の平均値を示したものである。防火戸の流動係数は、歩行形態1列通常速度(以下「1列通常」)を除くと、1.5人/m・s以上である。シートシャッターの流動係数は歩行形態3列急ぎ足(3列急ぎ足)のみで1.5人/m・s以上であった。

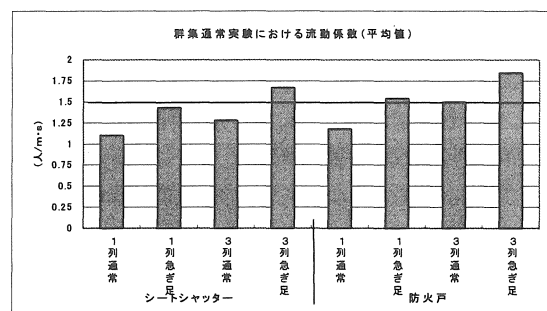


図5 流動係数（群集通常実験、平均）

(2) 群集パニック実験

図6は群集パニック実験における流動係数の平均値を示したものである。群集パニック実験では、「他人に気遣いながら」という歩行形態を除くと、いずれも2.5人/m・s以上と高い値である。たとえ、「他人に気遣いながら」の通り抜けでも、1.5人/m・s以上であった。

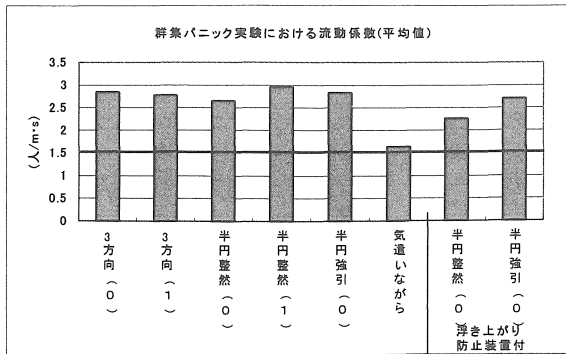


図 6 流動係数 (群集パニック実験、平均)
() 内はシート扉までの距離 (m)

(3) 流動係数の算出に必要な被験者人数の検討

流動係数を計測するにあたっては、何人程度の計測人数が必要かどうかを検討するため、被験者 49 人を 10 人ずつにまとめて、流動係数の計測結果を比較した。

図 7 は、群集通常実験における 10 人ごとの流動係数と、その時刻における停止人数の関係を示したものである。これによると、防火戸、シートシャッターともに、最初の 10 人のケースを除くと、シート待ちの人数にかかわらず、流動係数の値に変化が見られない。

この結果、流動係数の算出にあたっては、被験者は 30 人程度であれば安定したデータを抽出することができると考えられる。

(4) シートシャッターにおける流動係数

シートシャッターにおける流動係数は 1.5 人/m・s 以上であるかどうかを検討した。

群集パニック実験では 2.64~2.95 人/m・s の高い計測値を得られた。参考までに第 2 回目の実験では 3.59 人/m・s を計測した。このように開口部前に滞留した状態での流動係数は非常に高い。

また、「他人に気遣いながら」の実験でも 1.57~1.78 人/m・s を計測し、1.5 人/m・s を上回った。

以上の結果より、シートシャッター開口部前に滞留した状態での流動係数は総合的には 1.5 人/m・s 以上であると判断される。

3.1.3 通り抜けやすさの心理評価

図 8 は、群集通常実験における通りやすさの心理評価結果を示したものである。シートシャッターと防火戸では、通り抜けの際の心理評価は異なる。防火戸では 1 列と 3 列で大きく評価が異なるのに対し、シートシャッターではあまり変わらない。この理由として体の接触が考えられる。図 9 は、人との接触と実験装置との接触状況

を示したものである。

実験装置との接触については、防火戸に比べてシートシャッターでは 1 列でも多い。また、人との接触については防火戸の場合、3 列で急激に増大する。

こうしたことから、シートシャッターでは、群集の密度が低い段階からシートシャッターと接触して通り抜けにくいと評価する人が存在する。一方、防火戸では、群集の密度が高くなると、実験装置との接触は少ないものの、人との接触が増えて通り抜けにくくなるため、評価が悪くなると判断される。

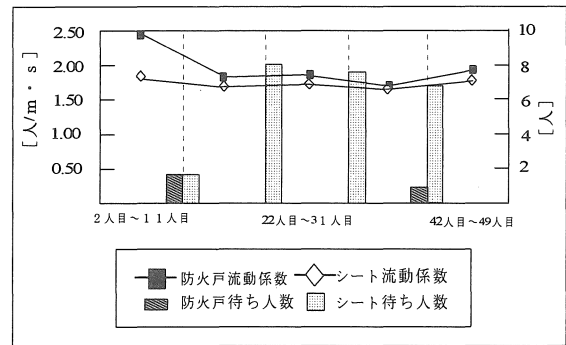


図 7 流動係数と停止人数 (群集通常実験)

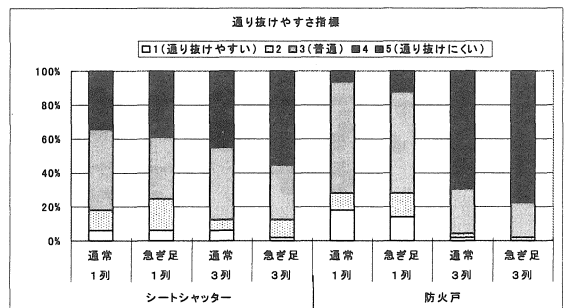


図 8 通り抜けやすさの心理評価 (群集通常実験)

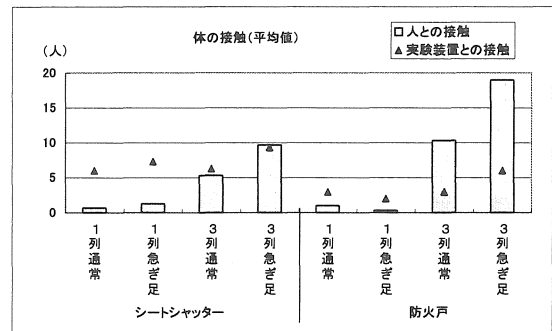


図 9 体の接触人数 (群集通常実験、平均)

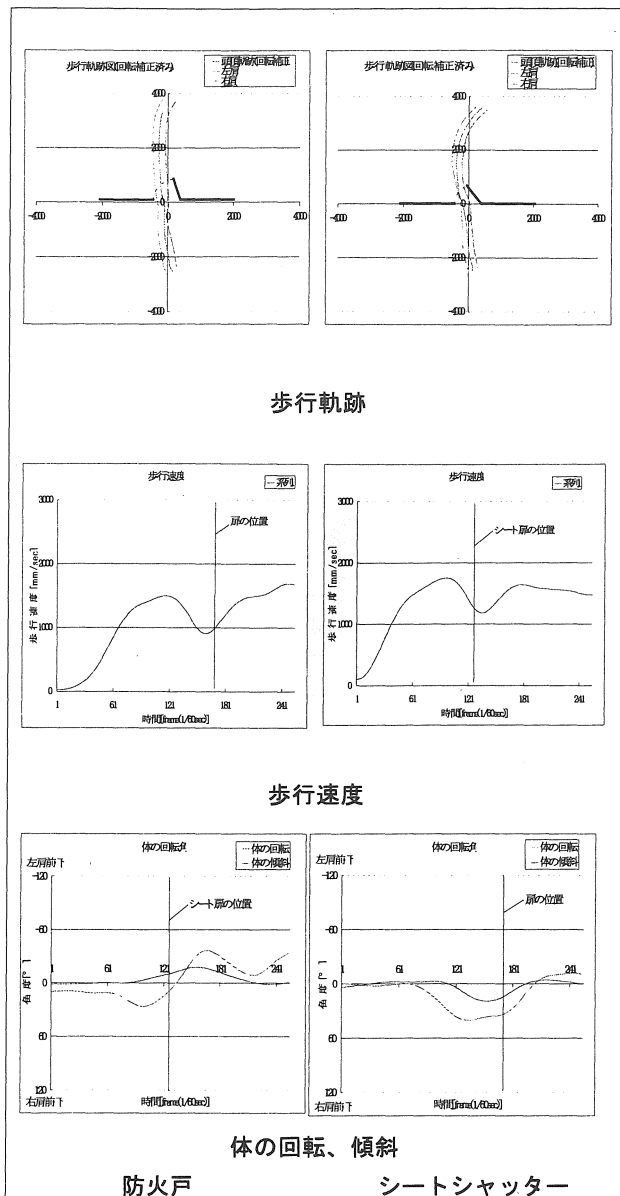


図 10 モーションキャプチャによる動作比較
単独実験（健常者女性）

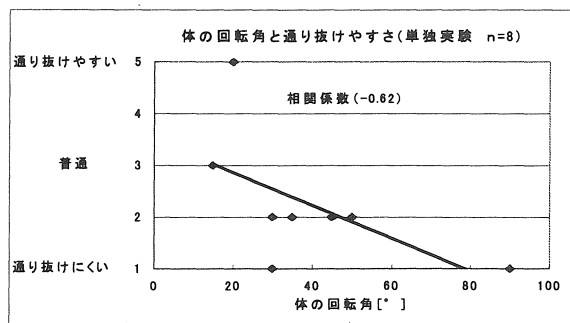


図 11 体の回転と通り抜けやすさの関係（単独実験）

3.1.4 行動特性からみた通り抜けやすさ

本研究では、3次元の動作解析が可能なモーションキャプチャを用い単独実験、群集通常実験における歩行軌跡、歩行速度、体の回転に着目した通り抜け行動特性の解析を行った。その結果を以下に示す（図 10）。

シートシャッターにおける開口部通過時の歩行軌跡は単独歩行者、群集歩行者共に、防火戸に比べて扉の開放方向（左寄り）に寄る。

シートシャッターでの歩行速度は、通過直後に減速する。これに対して、防火戸の（扉が閉まっている）場合は単独実験、群集通常実験ともに扉を開けるために扉の直前で減速する。体の回転は、シートシャッターは開口部へ右肩から入り左肩から抜け出のに対して、防火戸では開口部へ右肩から入りそのまま右肩で抜け出るという結果を得た。

図 11 は、体の回転と通り抜けやすさの関係を示したものである。これによると体の回転が大きいほど通り抜けやすさの心理評価は低くなる傾向が見られる。

3.2 視認性

本研究の視認性は具体的には防火戸ではノブを、シートシャッターでは操作指示部に触れたかどうかを確認する。

ビデオによる観察の結果、実際に操作指示部を押した人は、単独実験では、高齢者女性、子供（小 5、小 2）、車椅子（手動式、電動式）、ストレッチャーであり、群集通常実験では、49人中 22人（45%）であった。

この理由として、操作指示部が認識されていない可能性と、身長の影響により操作指示部を押したくても身体的理由から押せない可能性に分けて考えることができる。

1つ目の可能性については、心理アンケートの調査によると、89%の者がシートシャッターのどこを操作するかが、わかると答えている。このため、操作指示部は概ね認識されていると考えることが出来る。なお、防火戸では 100%の人が分かるかと答えていた。

図 12 は、単独実験における被験者の身長とシート扉を押した高さを示したものである。2つ目の可能性については、図 12 に示すように、単独実験の場合、身長の低い人は低い位置を押すという傾向があった。

図 13 は、群集通常実験における被験者の身長とシート扉を押した高さを示したものである。群集通常実験についても、身長に比例して押した位置は高くなる。相関関係を調べたところ、相関係数 0.45(n=49)という高い相関が見られることが分かった。

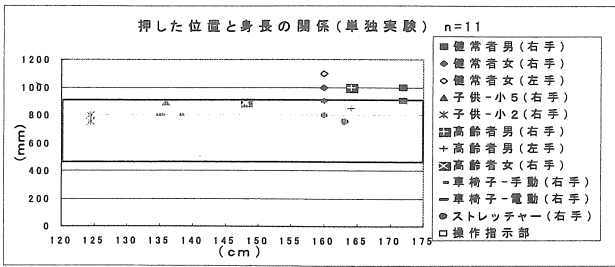


図 12 押した位置と身長の関係 (単独実験)

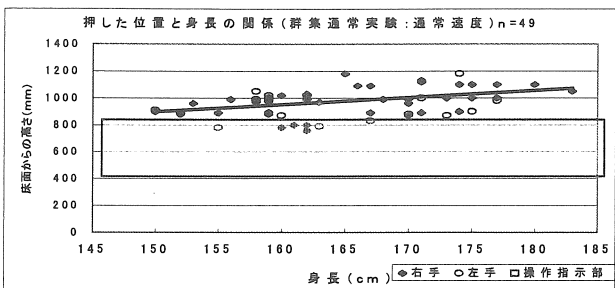


図 13 押した位置と身長の関係 (群集通常実験)

よって、操作指示部は認識されるものの身長の影響により押したくても押せないと考えることが出来る。特に、群集通常実験で操作指示部を押さなかった者は、操作指示部よりも高い位置 915mm~1200mm を押している (操作指示部の高さは 485mm~915mm)。このため、操作指示部の高さを変更する必要があると考えられるが、この方法については、操作性と合わせて次節で考察することにする。

3.3 操作性

3.3.1 健常者の操作性

一般的に戸の操作において要求される動作は、第 1 に扉を“押す”動作 (図 1 の 1 の動作) であり、第 2 に“開口形状の保持”という動作 (図 1 の 7 の動作) である。また、その動作のしやすさは、群集の密度によって異なることが実験より明らかとなった。扉の開放動作が一人一人独立して行われる群集の密度が低い場合 (単独実験の場合) は、扉を押し、開口形状の保持をするという動作を開口部通過者に求める。一方、扉の開放動作が連続して行われる群集の密度が高い場合 (群集パニック実験の場合) は、開口形状の保持のみでよい。

(1) 単独実験

単独実験における防火戸を開く動作のしやすさは、操作者のノブを押す力の強さによって異なる。押す力を測定することが出来るテンションゲージの計測によって、押す位置と必要とする力の関係を示した者が図 14 である。これによってシートシャッターでは、図 15 に示すように、開放軸から遠い距離を押すほど押しやすい性質を持つことが明らかとなった。

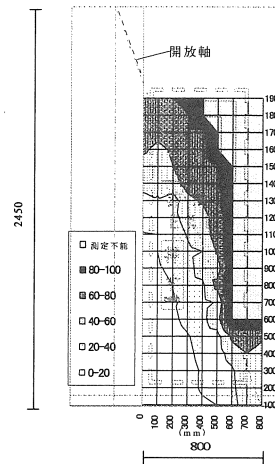


図 14 押す位置と必要とする力の関係

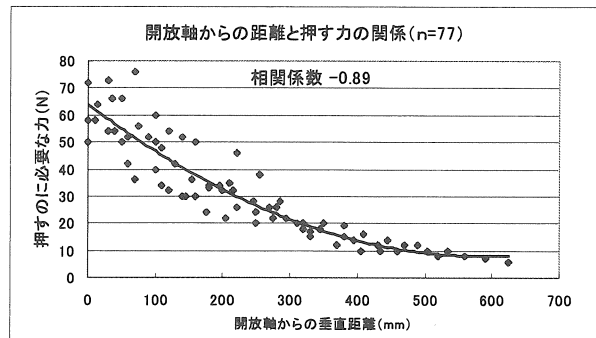


図 15 開放軸からの垂直距離と力の関係

視認性で得られた、押す位置と必要とする力を重ね合わせると、身長の低い人は低い位置を押すため、少ない力でシート押し開くことが出来る。一方身長の高い人は、シート扉の高い位置を押す傾向にあるために、その操作性は低くなる。身長の高い者が操作しやすくするために、左斜め上の高さ 1200mm の位置まで操作指示部を含めるのが望ましいと考える。図 16 にシート扉の開けやすい位

置を示した。

(2) 群集パニック実験

群集パニック実験における扉の操作のしやすさは、開口部通過者は、常に開かれたシート扉（写真1）の開口形状の保持という動作のみをする為、その操作性は防火戸とほぼ同等である。

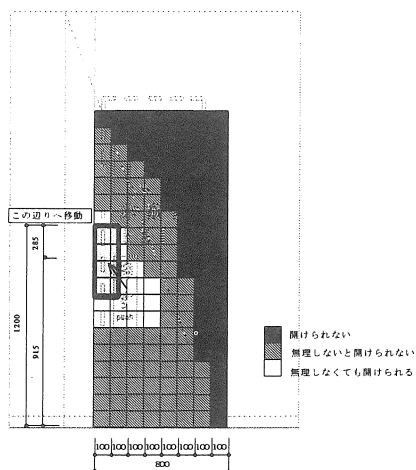


図 16 シート扉の開けやすい位置

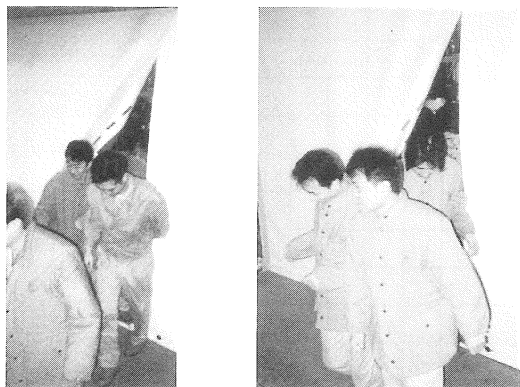


写真 1 常に開かれたシート扉（群集パニック実験）

3.3.2 災害弱者の操作性

ここでは、高齢者、子供、車椅子、ストレッチャーを災害弱者とする。災害弱者の操作性については、高齢者女性、子供（小5）は開閉操作方法がわからずシート扉を開く動作をするまでにかかなり時間がかかった。このため、シートシャッターの操作方法を予めわかりやすく明示する必要があります。

シートシャッターの下端幅は 800mm であるが、開口

部が三角形なため、上にいくほど狭くなる性質もっている。この結果、子供、高齢者では通行障害は少ないものの、車椅子（電動式、横幅 640mm、長さ 1050mm）、ストレッチャー（横幅 55mm、長さ 1910mm、高さ 680mm）では、下端幅 800mm が物理的に不足し、さらに開口上部の狭くなっている部分からの制約を受けたため通行障害が起き操作性は低くなった（写真 2）。

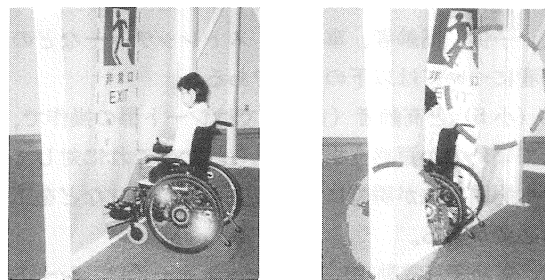


写真 2 電動車椅子の通り抜け

3.3.3 考察

通過時の人間の挙動に着目すると、視認性では操作指示部は概ね認識されるものの、背の高い人は身長の影響により操作指示部よりも高い位置を押した。この結果、身長の高い人の操作性は比較的良好であるが、身長の高い人には操作性が高いとはいいがたい。シートシャッターの力学的性質を考慮し、これを改善するためには、操作指示部を現在の位置から上端を左斜め高さ 1200mm 程度に高くする必要がある。

シートシャッターの下端幅は 800mm であるが、高さによって開口形状は異なる。このため、災害弱者の操作性では、車椅子（電動式）、ストレッチャーでは下端幅、開口上部の狭くなっている部分から制約を受け通行障害が起き、操作性は低くなった。このためシート扉の高さを現状のままとすると、下端幅は最低 900mm 以上が必要である³⁾。しかし、シートシャッターの開口部の性質を考えると、下端幅と、高さによって決定される開口形状による制約を考慮した改善案が期待される。

4 結論

今回、高さ 1920mm、最大内法幅 800mm のシートシャッター開口部を対象にして、その避難安全性を、流動性、視認性、操作性について、防火戸と比較しながら検討した。

群集による避難で求められる速やかな流動性については、シートシャッターの流動係数が一般的に避難計算で利用されている 1.5 人/m・s 以上であった。防火戸並であ

ることより、必要な流動性は確保できると考えられる。

視認性については操作指示部が概ね認識されるものの、操作性についてはいくつかの問題点が明らかとなった。

シート扉は、開口部が三角形の形状のため、開放軸から遠いほど少ない力で押し開くことが出来る性質を持っている。従って、身長の高い人は低い位置を押すことが開放軸から遠い場所を押すことになって、必然的に操作性は高まる。しかし、身長の高い人などが、高い位置を押してしまうと開放軸に近づくため操作性が低くなる。このため操作指示部の位置を検討する必要がある。

また、子供、高齢者、車椅子、ストレッチャーなどの災害弱者については以下の通りである。

子供（小5）と高齢者（女性）ではシート扉の操作で、どうしていいのかわからない場面が見られた。これに対しては誰でも開閉方法が瞬時に分かるようにサインなどを工夫する必要がある。

また、車椅子（電動式）、ストレッチャーでは、シート扉の下端幅及び、上部で狭くなる開口形状の制約を受け通行障害が生じた。このため、設置場所によっては開口部の高さを高めたり、下端幅を広めたりするなどの改善が求められる。

謝辞

実験を行うにあたっては、多くの方々にご協力をいただきました。名古屋大学医学保健学科の原和子先生、AJU 自立の家の浅井貴代子氏、被験者の皆様に対し深謝の意を表します。また、名古屋市立大学芸術工学部にはモーションキャプチャの使用に際して多大な便宜を図っていただきましたことを付記します。

なお、本研究は、(社)建築研究振興協会・ウォークスルー型シートシャッターの避難安全性検証委員会の研究で、三村由夫(日本建築センター)、萩原一郎・布田 健(建築研究所)との共同研究である。

参考文献

- 1) 戸川 喜久二、建築学大系 21 防火論、pp.74～p 79、昭和 31 年 6 月
- 2) 徳田 哲男、講座高齢者社会の技術 3、pp.40～p 41、1995 年 10 月
- 3) 植崎 雄之、図解 高齢者・障害者を考えた建築設計、pp.113、2000 年 9 月

(受理 平成13年 3月19日)