

ONLINE ISSN: 2188-9023 PRINT ISSN: 0919-2948

Volume 52, Number 8, Page 503-512

Category: Paper

Received date: 14 July 2016

Accepted date: 9 February 2017

J-STAGE Advance publication date: 25 April 2017

Publication date: 5 August 2017

Corresponding author: Yasushi TAKASE (E-mail address: takase@mech.kyutech.ac.jp)

DOI: 10.14953/jjsde.2016.2709

Copyright©2017 Japan Society for Design Engineering

健康弱者の自立歩行を支援する手摺収納式引き戸装置の開発 (第1報, 引き戸を開ける力のシミュレーション)

Development of Sliding Door with Storable Handrail Supporting Senior and Handicapped Persons to Walk by Themselves (1st Report, Simulation of Force to Open the Sliding Door)

斉藤 金次郎*¹, 野田 尚昭*², 佐野 義一*³, 高瀬 康*⁴, 村井 克成*⁵
 (Kinjiro SAITOU) (Nao-Aki NODA) (Yoshikazu SANOU) (Yasushi TAKASE) (Katsunari MURAI)
 王 澤鋒*⁶, 李 蘇瓊*⁷, 劉 瀟*⁸, 田中 洋征*⁹, 久保 嘉孝*¹⁰
 (Zefeng WANG) (Shuqiong LI) (Xiao LIU) (Hiroyuki TANAKA) (Yoshitaka KUBO)

Abstract

The purpose of our research is to install the handrail in the sliding doors used in hospitals and nursing facilities to support the senior and handicapped persons to walk by themselves. The semi-automatic lifting equipment is utilized for the storable handrail to make sure the bad health persons are able to open the door using a weak force. In this study, by considering equipment of the handrail, the theoretical formula of opening force is derived. Then the simulation is performed with varying geometry conditions and the results are compared with the experiment results.

Key words

sliding door, handrail, opening force, simulation, fatigue, handicap person

- * 1 正会員, 新日鉄住金テックスエンジ(株)機械事業本部エンジニアリング事業部八幡製鉄機械エンジニア部 (〒805-0058 北九州市八幡東区前田字洞岡2142-1), saitou613@jcom.zap.ne.jp
- * 2 正会員, 九州工業大学大学院工学研究院(〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1), noda@mech.kyutech.ac.jp
- * 3 非会員, 九州工業大学大学院工学研究院(同上), sano.yoshikazu029@mail.kyutech.jp
- * 4 正会員, 九州工業大学戸畑・若松キャンパス技術部(同上), takase@mech.kyutech.ac.jp
- * 5 学生員, 九州工業大学(同上)
- * 6 学生員, 九州工業大学大学院(同上), zefengwang@yahoo.jp
- * 7 学生員, 九州工業大学大学院(同上), 1558609579@qq.com
- * 8 学生員, 九州工業大学(同上), aishangliuxiao@hotmail.com
- * 9 非会員, 九州工業大学(同上), htanaka@ccr.kyutech.ac.jp
- * 10 非会員, ケイ・プロダクツ(株), (〒802-0063 北九州市小倉北区若富士町1-26-203), keipro21@iwk.bbq.jp

1 緒言

介護が必要とされる高齢者、障害者いわゆる「健康弱者」用の住宅や介護施設、病院等においては、介護者なしでもつかまり歩きができるように、廊下全長にわたり手摺が装着されている。しかし、廊下の途中で引き戸がある場合、引き戸の合わさる面に手摺を装着すると引き戸の開閉ができなくなるため、通常の手摺は装着することができない。そのため、手摺がなく歩けない部分ができしまい、トイレや、浴室に一人で行くことに困難が生じる。自立生活をするには、手摺を途切れることなく連続して装着する必要がある。健康弱者の自力歩行が可能な時期に、歩行機能の減退防止の対策がとられた場合、対象者の歩行機能を維持し、回復させることができる^{1)~3)}。この観点から本研究では、自立歩行を支援する手摺収納式引き戸^{4),5)}を開発することを目標とする。この製品は、歩行機能を維持または回復させて、自活環境を整え、健康寿命の改善に貢献できる装置である。同様の目的でこれ迄に報告されてきた、「跳ね上げ式」⁶⁾は建物構造によっては天井に固定できず、また跳ね上げ動作姿勢が不安定になり転倒の危険性がある等の難点がある(図1(a))。この他に「伸縮式」^{7)~9)}は手摺自体が伸縮するため耐久性への不安と、引き戸にすべての体重がかかり、脱落や転倒などの危険性が危惧される(図1(b))。引き戸以外では、階段に装着する手摺の形状や設置位置等を提案した研究^{10)~13)}は数多く行われているが、廊下に沿う引き戸に装着できる手摺の開発・研究はあまり行われていない。そこで本研究では、図2(a), (b)に示す収納式の手摺を有する引き戸を考案し、高齢者・障害者が安心して使用できる手摺装置を目指して、その設計上の設題に取り組む。具体的には手摺の操作性の点から引き戸開口力の解析を数値解析と実験を組み合わせ考察する。

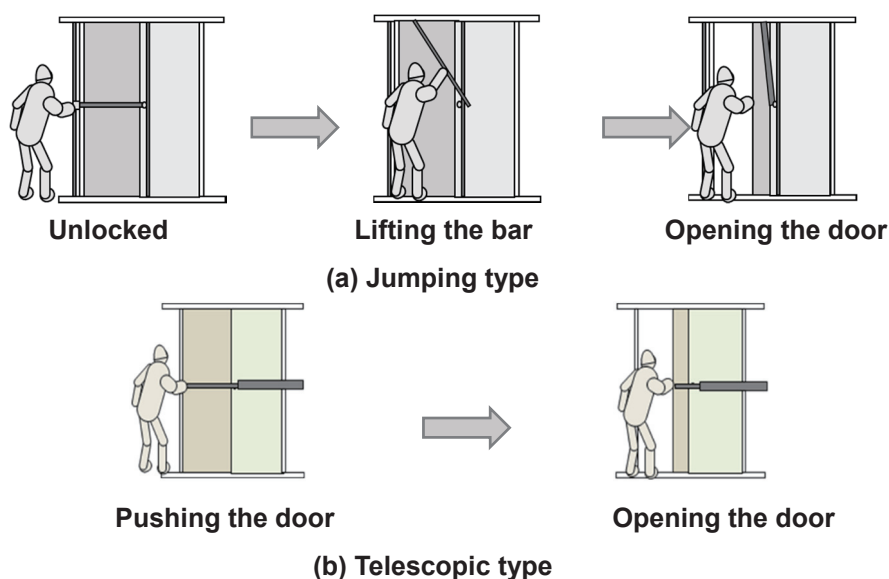


Fig. 1 Current types of the sliding door

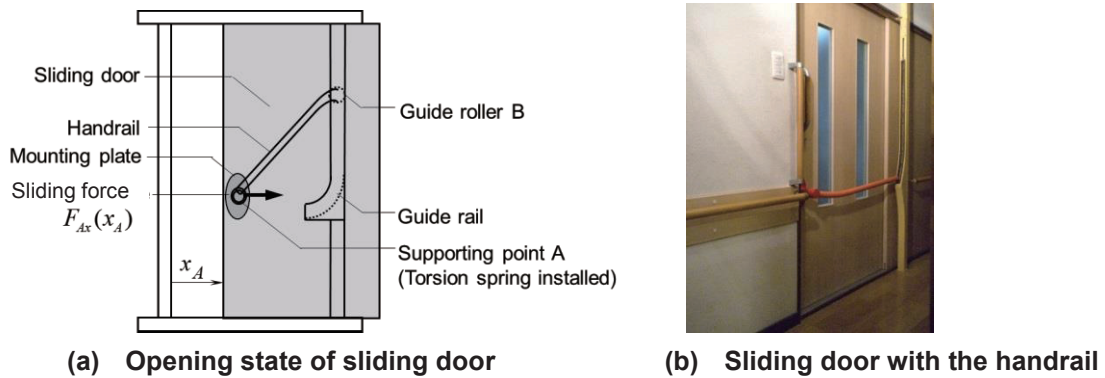


Fig. 2 Figure of this matter handrail summary

2 従来技術とその問題点

図3～図5に従来技術による引き戸の例を示す。図3に示す伸縮式手摺は手摺に体重を掛けると引き戸が敷居から外れ倒れる恐れがある。また、引き戸を開けた後に、閉まる方向の力が全く作用することがないため、開けた状態の引き戸を、閉める動作が必要となる。このため、手摺に沿った一方向の円滑な移動が困難となる。図4示す跳ね上げ式手摺は強度的には問題ないものの、手摺の跳ね上げ動作が対象者には困難である。図5に示すスタンド連結手摺¹⁴⁾は、簡単に設置できるが、スタンドが構造的に不安定で、固定を垂直方向の突張力に依存するため、経時的に緩みが生じやすく、スタンドが転倒する恐れがある。このように従来の技術によるものは、主として健常者の視点で考案されているようである。震える手足で立ちながら、倒れないように片手で体重を支え、残りの片手で手摺を操作し、引き戸を開く動作は使用者には過酷である。また、強度及び安全性に不安が残る。



Fig. 3 Extendable handrail



Fig. 4 Bascule handrail

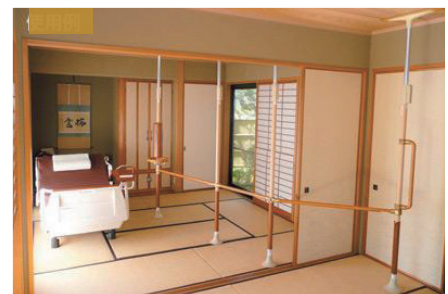


Fig. 5 Stand type handrail

3 論文に用いる記号と引き戸装置の構造

3.1 引き戸装置の構造

図6に示すように手摺収納式引き戸装置は、引き戸、収納式手摺、回転支点、収納式手摺端部の回転ローラとその転走面であるガイドレールで構成されている。引き戸を閉じた状態で、収納式手摺が水平状態になり、手摺としての機能を果たす。引き戸を開く動きで収納式手摺は回転支点Aを軸にして、手摺端部の回転ローラBがガイドレールスタンド内部の転走面を上方へ移動する。引き戸を閉じる動きで収納式手摺がガイドレール内部の転走面を伝い、下方へ移動する。扉を開く際、回転支点Aに装備されたねじりバネ（バ

ネ定数： $k=2395\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$)^{17),18)}が手摺の移動、回転をサポートし、開口力を小さくする。このように、引き戸開閉の動きに従って、手摺が半自動的に昇降する機構であることを利用して、筋力の衰退した高齢者や障害者でも弱い力（ 19.6N 以下）^{19),20)}で容易に開閉できるように工夫されている。

使用面においては、片手で引き戸を開くだけの単純な使い方となる。そのため車椅子利用者にとっても、手摺を小さい力で押し引きするだけで引き戸を簡単に開閉できる。引き戸を開ける力を目標通りのものにできたならば、利用者にとって安定して使い易いものになる。

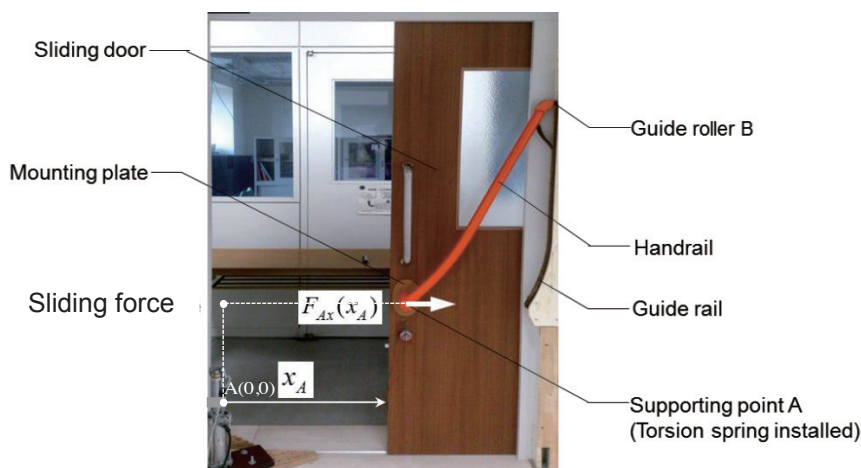


Fig. 6 Opening state of sliding door

3.2 記号および設計諸元

本論文で使用する記号をまとめて以下に示す。

- $F_{Ax}(x_A)$: 引き戸開口力 (目標値 19.6N)
- $F_{Ay}(x_A)$: 収納式手摺が引き戸本体から受ける力
- (x_B, y_B) : ガイドレール円弧部の中心座標
- x_A : サポートポイント A の X 方向座標 (=引き戸開口距離)
- x_B : ガイドローラ B の中心点の X 方向の座標
- y_B : ガイドローラ B の中心点の Y 方向の座標
- Q : 走行抵抗
- P : 収納式手摺がガイドレールから受ける力
- R : ガイドレールスタンド内部の転走面曲率半径 (試作品 $R = 478\text{mm}$)
- θ : 収納式手摺と水平線のなす角
- ϕ : 点 AB をつなぐ直線と、ローラとガイドレールの接点における接線方向のなす角
- ε : ローラとガイドレールとの接線と、垂直線のなす角
- W : ガイドローラを含む手摺棒の重量 (試作品, 鋼鉄製 $W = 13.7\text{N}$)
- M : ねじりバネによるモーメント ($M = k(0.5\pi - \theta)$)
- k : バネ定数 ($k = 2395\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$)
- μ_t : ベアリングの摩擦係数¹⁵⁾ 0.03 と回転ローラの転がり摩擦係数¹⁶⁾ (ベアリング軸径 8mm とトラクション 0.5mm から求まる) の和 $\mu_t = 0.035$
- a : AB 間 y 方向距離 (試作品 $a = 22.6\text{mm}$)
- b : AB 間 x 方向距離 (試作品 $b = 901.3\text{mm}$)

- r : ガイドローラ B の半径 (試作品 $r = 17.5\text{mm}$)
 e : ガイドローラ B の中心点から, ローラとレールの接点までの X 方向距離
 (試作品 $c = 58.2\text{mm}$)
 l : 収納式手摺棒の長さ (試作品 $l = 910.3\text{mm}$)
 S : ガイドレールの曲線終端部と接する, 垂直線との接点

4 引き戸開口力の解析

4.1 収納式引き戸の力のつり合いと開口力の導出

図 7 に解析する手摺のモデルを示す. 図 7 に回転支点軸にねじりバネを装着しない場合, 図 8 に回転支点軸にねじりバネを装着した場合の手摺自由体図を示す. 図 8 の力のつり合いより (1), (2), (3) が成立する.

$$F_{Ax}(x_A) = Q \cos(\theta + \phi) + P \sin(\theta + \phi) \quad (1)$$

$$F_{Ay}(x_A) + P \cos(\theta + \phi) = W + Q \sin(\theta + \phi) \quad (2)$$

$$M + lP \cos \phi = \frac{1}{2} lW \cos \theta + lQ \sin \phi \quad (3)$$

$$F_{Ax}(x_A) = \mu_t P \cos(\theta + \phi) + P \sin(\theta + \phi) \quad (4)$$

$$F_{Ay}(x_A) = W + \mu_t P \sin(\theta + \phi) - P \cos(\theta + \phi) \quad (5)$$

ここでは, 引き戸全閉状態位置での回転支点 A の中心座標原点 $(x_A, y_A) = (0, 0)$ と, ガイドレール曲率半径 R の座標原点 $(x_B, y_B) = (0, 0)$ を基準座標とする. 次に, 回転支点 A の任意の移動量 x_A に対するガイドローラ B の中心座標 (x_B, y_B) , 及び曲率半径 R とその中心点 $O(h, i)$ から定まる θ , ϕ は, 次式で求める (図 7).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_B - a}{\sqrt{l^2 - (y_B - a)^2}} \quad (6)$$

$$\phi = 90^\circ - (\theta + \varepsilon) \quad (7)$$

ここで,

$$\varepsilon = \sin^{-1} \frac{i - y_B}{R - r} \quad (8)$$

式(1)~(8)より $F_{Ax}(x_A)$ を求めることができる. なお, 開口力 $F_{Ax}(x_A)$ に及ぼす慣性力の影響についても検討したが, 無視できる程度であったので以下の解析には含めていない.

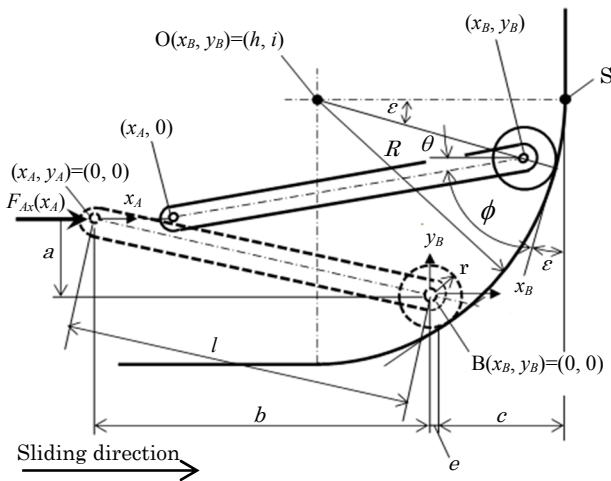


Fig. 7 Model of storable handrail

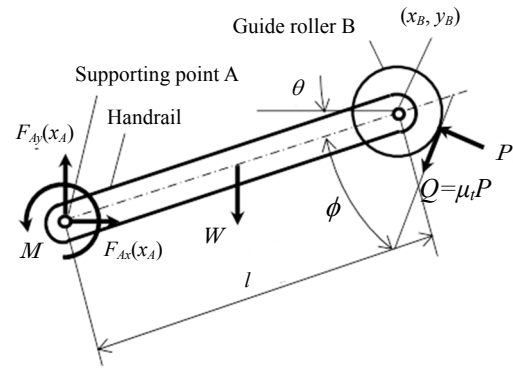


Fig. 8 Equilibrium of force with a torsion spring

4.2 引き戸開口力の実測及び解析結果

ねじりバネを有する試作引き戸を用いて引き戸開口力 $F_{Ax}(x_A)$ を測定した結果と、理論式(4)を用いガイドレールの曲率半径 R をパラメータにして求め **図 9** にその結果を示す. 実験値は、支点 A を水平方向に引張る力を、バネばかりを用い、一定速度 15 mm/s で引張る条件で測定した. この引張り力は、すなわち実験で求めた開口力である. それに対し、理論値は、 $R=200\text{mm}\sim 600\text{mm}$ の範囲で 5 種の曲率半径に対して求めた. 開口力 $F_{Ax}(x_A)$ は、引き戸の開口に伴い緩やかに増加し、 $x_A = 79\sim 99\text{mm}$ 付近で急激に増加、最大となり、その後大きく減少している. 開口力の最大値は、ガイドローラ B が曲率半径に沿って上昇していき曲率半径の終点位置 (直線との接点) で発生している. 開口力の最大値と増加及び減少過程の勾配は、曲率半径 R の大きさによって著しく変化し、曲率半径 R が小さくなるほど、ピーク値とその勾配が大きくなっている. 理論解析 (曲率半径 $R=478\text{mm}$) と実験によるそれぞれの最大値は $F_{Ax\text{max}}=19.5\text{N}$ と $F_{Ax\text{max}}^{\text{Exp}}=22.4\text{N}$ であり、解析値の実験値に対する差は 13% であった. この実験値と解析値の間に生じる差は、実験誤差と解析誤差それぞれに基づくものと推察される. 実験誤差は主にガイドレールの製作および組立誤差に由来するものと考えている. また、解析誤差については、慣性力の因子を含めていないが、数%の影響に収まることを確認している.

ところで、理論値では、目標の開口力 19.6N を達成できているが、試作機の実験では、目標値に対し $2.8\text{N}(14\%)$ 大きいことが分かる. この目標値に対する 2.8N の差は、回転支点 A に装着したねじりバネの調整をすることによって解消できる範囲である. 従って、3.2 項で示した設計緒元により目標開口力を具現化できるものとする.

4.3 引き戸開口力挙動の考察

図 9 において、開口力 $F_{Ax}(x_A)$ が急激に大きくなり最大値となる点が存在する. この凸形状最大値を示す現象は、ガイドレールの曲率半径 R が小さくなるほどその値が大きくなること分かる. ここで開口力が凸形状最大値を示す理由について考えてみる. まず、**図 7** に示す手摺棒の点 AB をつなぐ直線と、ローラとガイドレールの接点における接線方向のなす角度 ϕ に着目する. この角度 ϕ とローラを上方に動かすために要する力との関係を、**図 10** を用いて説明する. **図 10** には、異なる 3 種類の角度 ϕ の状態にあるモデル図を示す. 角度 $\phi = 90^\circ$ (**図 10(a)**) のとき、力 F_A が、ガイドレールに垂直に作用するため、ローラを上方に動かすのに要する力 $F_A = \infty$ となり、ローラを上昇させることができない. 角度 $\phi = \text{Middle}$ (**図 10(b)**) では、

示す. 角度 $\phi = 90^\circ$ (図 10(a)) のとき, 力 F_A が, ガイドレールに垂直に作用するため, ローラを上方に動かすのに要する力 $F_A = \infty$ となり, ローラを上昇させることができない. 角度 $\phi = \text{Middle}$ (図 10(b)) では, ローラを上昇させることができる. 角度 $\phi = \text{Small}$ (図 10(c)) では, 角度が小さいため, (b) よりも小さな力 F_A でローラを動かすことができる. このように角度 ϕ が 90° に近づくとローラを上昇させるための力は大きくなる.

図 11 に開口力 $F_{Ax}(x_A)$ の理論解析に基づく結果と, 角度 ϕ それぞれの x_A に変化挙動を併記して示す. 角度 ϕ は, 距離 x の増加と共に大きくなっていき, 開口力がピーク値を示す S (図 7) の近傍で立ち上がりが大きくなり, その後は減少に転じる. これは, 力 $F_{Ax}(x_A)$ と同様の挙動である. 角度 ϕ のピーク値を示す位置では, 開口力ピーク位置とは, ローラ径の影響で少し異なっているが, 最大開口力が凸起状を示す理由を角度を考えることによって明らかにすることができた. なお, 開口力凸起部の生じる位置は, ガイドローラがガイドレールの円弧から直線に移行する接点 S (図 7) に対応することを明らかにできた.

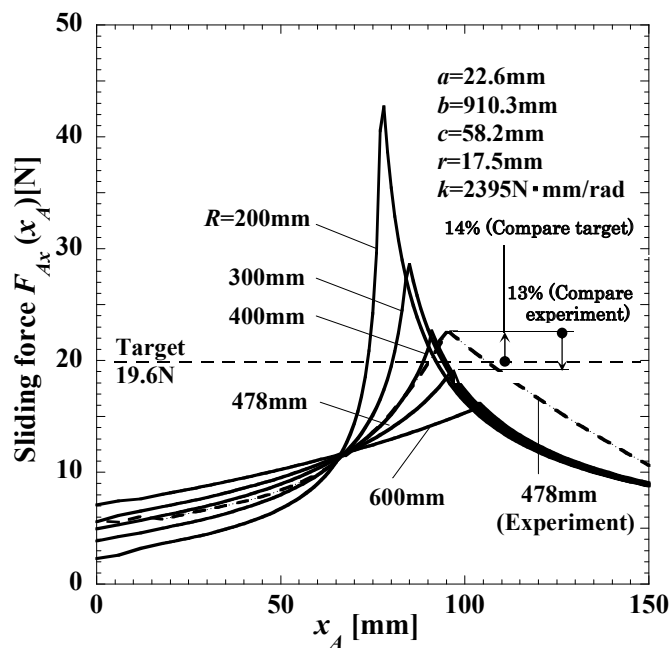


Fig. 9 Sliding force $F_{Ax}(x_A)$ calculated by theoretical equation

5 引き戸開口力の最適化とその考察

5.1 回転支点 A に対する回転ローラ B の初期位置の影響

4章では試作した引き戸装置の開口力を解析し, 考察したが, 目標である 19.6N を達成できなかった. よって試作した引き戸装置よりも開口力を小さくするため, 引き戸装置の幾何学的寸法形状が開口力に及ぼす影響を図 12 に示す, 3 つの場合について考える. 試作した引き戸は図 12(a) に相当するが, 図 12(b) や図 12(c) の場合を考察することで, 引き戸開口力に対する A, B の落差 a の影響を明らかにできる.

5.2 曲率半径 R による開口力の影響

図 13 において、 $a=70\text{mm}$, 0mm , -70mm がそれぞれ、モデル(a), モデル(b), モデル(c)に相当する。ガイドレール垂直部からガイドローラとの水平距離 c については試作品の $c=58.2\text{mm}$ に対比し、より大きくした $c=100\text{mm}$ の場合でシミュレーションし、手摺の収納部の奥行きに余裕がある場合の開口力への影響を調べる。

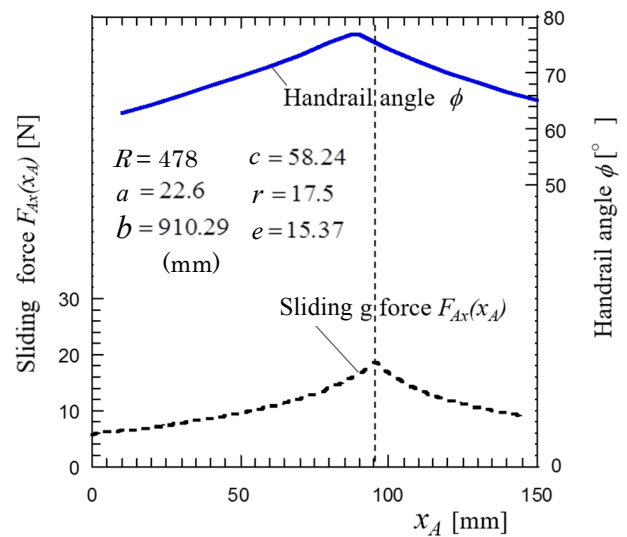
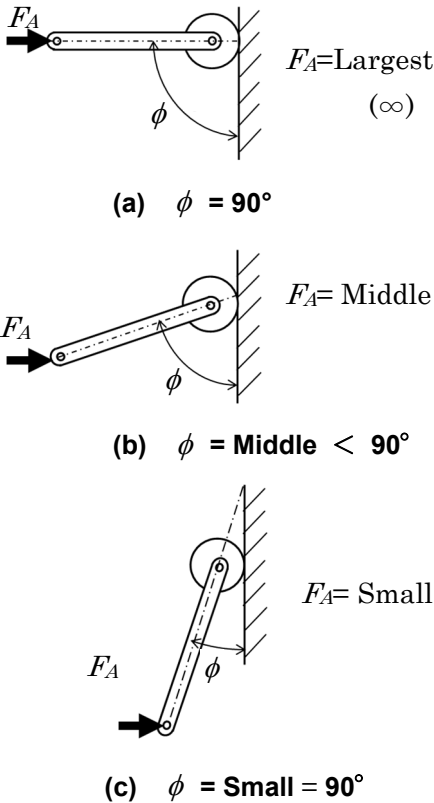


Fig. 10 Schematic illustration of sliding force F_A depending on the angle ϕ

Fig. 11 Comparison between the sliding force $F_{Ax}(x_A)$ and the angle ϕ

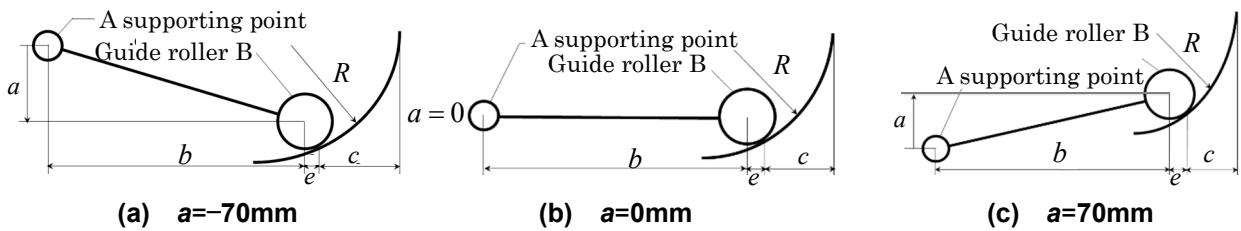


Fig. 12 Positional relation of supporting point A and Guide roller B

5.3 最適条件と考察 (初期手摺棒角の異なる $a = -70\text{mm}$, $a = 0\text{mm}$, $a = 70\text{mm}$ 3モデルの比較)

開口力 19.6N 以下の力で容易に引き戸を開けることを目標として図 12 に示す 3つの場合を考える。図 13 に回転支点 A と回転ローラ B の初期位置における引き戸開口力の影響を示す。寸法 a, c は概算的に設定し、寸法 b, d, e は試作機と同じ寸法に設定してシミュレーションを行った。回転支点 A よりも回転ローラ B が上にある場合の方が下にある場合に比べて引き戸開口力は小さくなる事が分かる。現時点での結論として、

手摺の収納部に余裕がある場合は $c=100\text{mm}$ として $a=-70\text{mm}$ にすることで、 $F_{Ax}(x_A) = 9.9\text{N}$ まで低減できることになる。ただし、伝い歩きをする高齢者にとって、引き戸開口力が軽すぎても危ないのではないかという指摘もある。

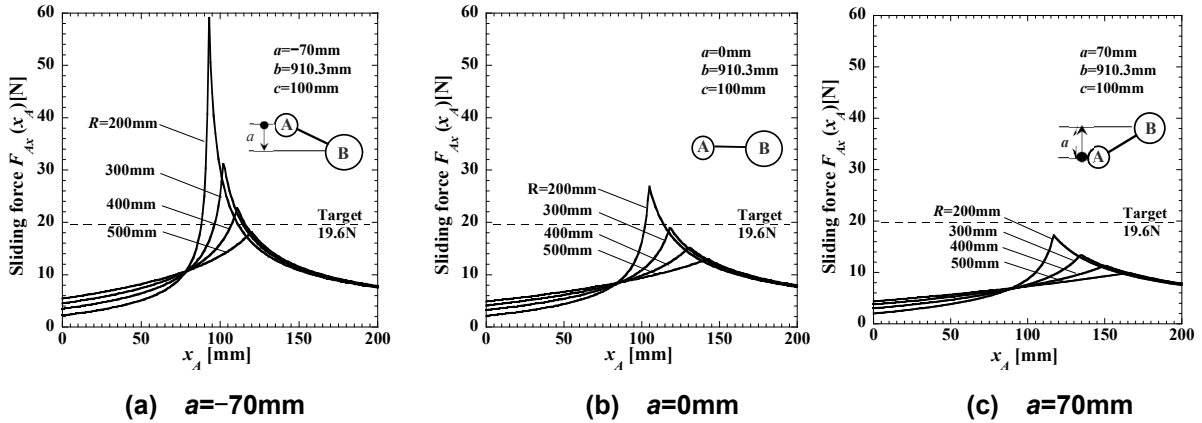


Fig. 13 Comparison among 3 models

5.4 アルミニウムを用いる場合

図 14 に手摺がアルミニウムの場合における引き戸の開ける力の影響について示す。図 14 よりアルミニウム製の手摺を採用すれば、ねじりバネがない場合でも鉄製の手摺でねじりバネがある場合よりも引き戸開口力は小さくなるのがわかる。図 14 $F_{Ax}(x_A)$ に示すねじりバネがない場合では手摺の重量 W と比例して $F_{Ax}(x_A) \propto W$ となる。これより手摺を鉄製からアルミニウム製にすることで、 $F_{Ax}(x_A)$ を 56% 低減できる。その結果は、鉄製でねじりバネを装着した場合と近い値になる。また、ねじりバネを装着することで手摺の重量を約 0.5 倍にしたことに相当する。

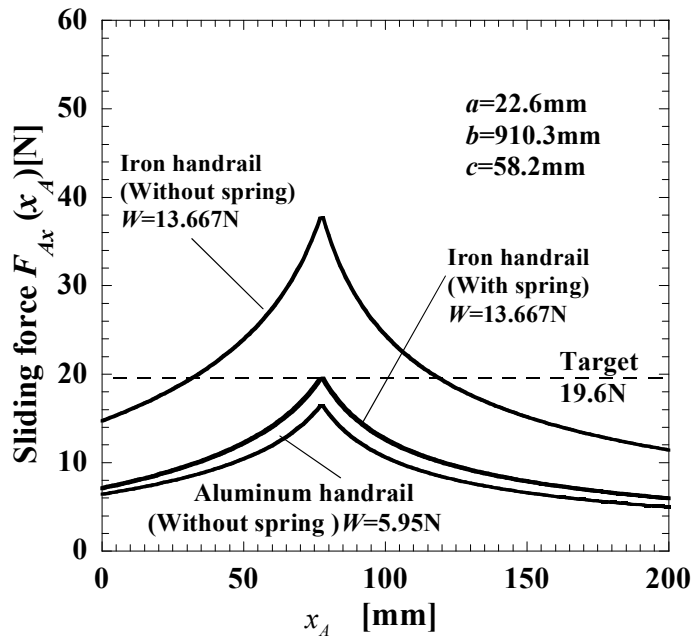


Fig. 14 Effect of handrail material on opening force

6 結言

本研究では、手摺を有する引き戸において、開ける力をシミュレーションする理論式を求め、それをを用いて引き戸を開口する力の解析と実験を行った。それらの結果を考察して以下の結論が得られた。

- (1) 引き戸開口力の最大値は、実測結果に対して本研究のシミュレーション方法を用いることによって誤差13%以内で一致する。
- (2) 回転支点 A にねじりばねを使い、回転支点とローラの高低差及びガイドレールの曲率半径を適切に組み合わせることによって引き戸開口力を目標 19.6N 以下に設計できる。
- (3) アルミニウム製の手摺を採用すれば、ねじりバネがない場合でもねじりバネ付鉄製手摺の場合より引き戸開口力は小さくなり、開口力の低減に有効である。

参考文献

- 1) 平成 18 年度厚生労働省老人保健健康増進等事業報告書。地域在宅高齢者に対する歩行支援プログラムの健康増進効果に関する研究, 29.
- 2) 金憲経, 吉田英世, 鈴木隆雄, 石崎達郎: 高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能—転倒外来受診者について—, 日本老年医学会雑誌, 38, 6(2001), 805.
- 3) WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age : WHO Library Cataloguing-in-Publication Data ISBN 978 92 4 156353 6 (NLM classification:WA 288), 20.
- 4) ケイ・プロダクツ株式会社, 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願 2010-102602, 公開番号 2011-231513.
- 5) ケイ・プロダクツ株式会社, 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願 2012-133492, 公開番号 2013-256808.
- 6) マツ六株式会社, 遮断機手摺 <http://www.firstreform.com/handrail/03.html>.
- 7) 有限会社伊藤製作所, テスリッコ, <http://tesuri.com/company/>.
- 8) 伊藤徳朗, 引戸用手摺, 特許出願 2003-340177, 公開番号 2005-105665.
- 9) 伊藤徳朗, 引戸用手摺, 特許出願 2004-382087, 公開番号 2006-188828.
- 10) Keiko Ishihara, Mitsuo Nagamachi, Koji Komatsu and Shigekazu Ishihara : Handrails for the Elderly:A Survey of the Need for Handrails and Experiments to Determine the Optimal Size of Staircase Handrails, Ergonomics, 1, 3(2002), 175.
- 11) Donald O. Dusenberry, Howard Simoson and Steven J. DelloRusso : Effect of Handrail Shape on Graspability, Ergonomics, 40, 4 (2009), 657.
- 12) 茅原崇徳, 大山修斗, 瀬尾明彦: 握りやすさの向上を目的とした把持物体の形状最適設計, 日本機械学会論文集, 80, 820(2014), 1.
- 13) JISZ8500 : 2011, 人間工学—設計のための基本人体測定項目, 日本規格協会.
- 14) ホクメイ株式会社, 伸縮式の突っ張り型支柱, 特許出願 2002-4743, 公開番号 2003-206640.
- 15) 角田和雄: ころがり軸受の摩擦, 機械設計便覧, 第 3 版(1992), 652.
- 16) 安藤常世: ころがり摩擦, 機械工学便覧, 改定第 5 版(1968), 3 章 34.
- 17) JISG3522 : 1991, ピアノ線, 日本規格協会.
- 18) 流石一郎: 実例から解くばね設計 Q&A 第 5 回 ねじりコイルばねの寿命推定・疲れ限度線図の応用日刊工業新聞社, 機械設計 47(11), (2003), 130.
- 19) 田中眞二, 赤澤堅造, 布田健, 佐藤克志: 高齢者の使用を考慮した引戸の適正な開閉力と操作部形状に関する基礎的検討, 生体医工学シンポジウム 2004 発表(2004), 147.
- 20) 財団法人ベターリビング: 優良住宅部品評価基準及び付加認定基準の評価基準玄関ドア, BLE FD : 2009(2009).