

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

Volume 54, Number 12, Page 843-854

Category: Paper

Received date: 12 April 2019

Accepted date: 29 July 2019

J-STAGE Advance publication date: 12 September 2019

Publication date: 5 December 2019

Corresponding author: Kinjiro SAITOU (E-mail address: saitou613@jcom.zaq.ne.jp)

DOI: 10.14953/jjsde.2019.2862

Copyright©2019 Japan Society for Design Engineering

高齢者・障害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2報, 収納式引き戸の強度解析と実験的検討)

Development of Sliding Door with Storable Handrail Supporting Senior and Handicapped Persons to Walk by Themselves

(2nd Report, Strength Analysis of the Sliding Doors and the Experimental Verification)

斉藤 金次郎*¹, 野田 尚昭*², 佐野 義一*³, 高瀬 康*⁴, 李 蘇瓊*⁵

(Kinjiro SAITOU) (Nao - Aki NODA) (Yoshikazu SANO) (Yasushi TAKASE) (Shuqiong LI)

王 澤鋒*⁶, 村井 克成*⁷, 劉 瀟*⁸, 田中 洋征*⁹, 久保 嘉孝*¹⁰

(Zefeng WANG) (Katsunari MURAI) (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, stress analysis and fatigue experiment were conducted to confirm the safety during 20 years. Also, the FEM results showed that the maximum stress is small enough. And, the experimental observation confirmed that no significant damage can be seen by the compressive and alternative stress.

Key words

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

* 1 正会員, 日鉄テックスエンジ(株)機械事業本部エンジニアリング事業部八幡製圧延機械エンジグループ (〒805-0058 北九州市八幡東区前田字洞岡2142-1), saitou613@jcom.zaq.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.naoaki844@mail.kyutech.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.yasushi415@mail.kyutech.jp
- * 5 非会員, 九州工業大学大学院(同上), 1558609579@qq.com
- * 6 非会員, 九州工業大学大学院(同上), zefengwang@yahoo.jp
- * 7 非会員, 九州工業大学(同上)
- * 8 非会員, 九州工業大学(同上), aishangliuxiao@hotmail.com
- * 9 非会員, 九州工業大学(同上), hiro-hiro5123@jcom.home.ne.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.bbiq.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。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)}。しかし、廊下の途中に引き戸がある場合、通常の手摺は装着することができず、そのため、手摺がなく歩けない部分が出てしまう。自立生活をサポートするには、手摺を途切れることなく連続して装着する必要がある。この観点から本研究では、20年の長期使用に耐える、自立歩行を支援する手摺収納式引き戸^{4)~7)}の開発を目標とする。

著者らは先に、手摺を有する引き戸(ドアと呼称することもある)の、開口力をシミュレーションする理論式を求め、それを用いて、最大開口力を実験の13%以内でシミュレーションでき、必要に応じてさらに小さくできることを示した⁸⁾。残された課題は、引き戸が繰返しの使用に耐えて、十分な安全性を有することを確認することであり、このことは身体能力が十分でない使用者の立場に立てば重要な課題である。

そこで本研究では、**図1**に示すような手摺を有する試作品引き戸を対象として、手摺棒取付金具に作用する支持荷重を繰返し負荷させた疲労試験で、繰返し使用条件下の耐久性に対する安全性を実証する。合わせて、構造上の最弱部と想定される手摺棒取付金具周辺部の引き戸に生じる応力を有限要素法 FEM 解析によって、強度評価を行った。

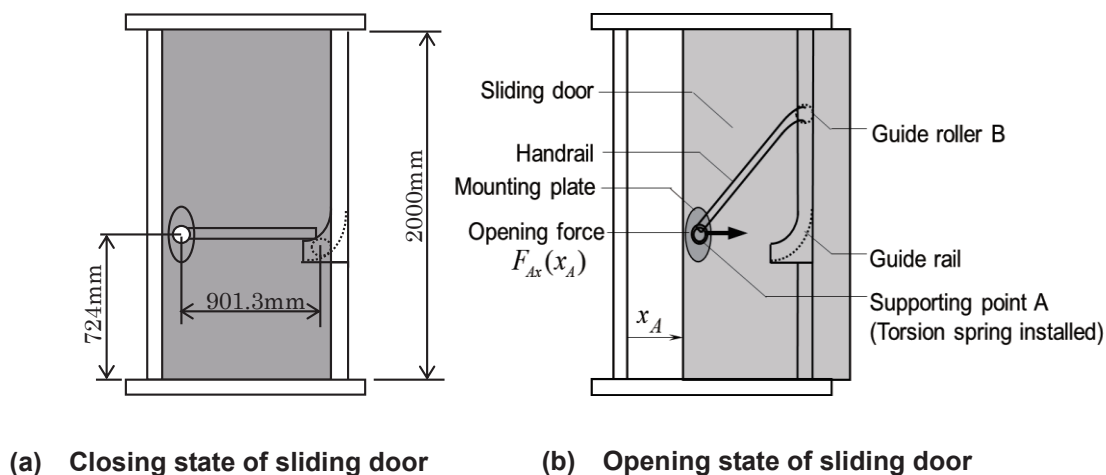


Fig. 1 Structure of the sliding door

2 試作品を用いた引き戸開口力の実測とシミュレーション

2.1 引き戸装置の構造

図 1(b)に示すように手摺収納式引き戸装置は、引き戸、手摺棒取付金具、収納式手摺、その手摺端部の回転ローラー、ガイドレールで構成されている。図 1(a)に示す引き戸を閉じた状態で、収納式手摺が手摺としての機能を果たす。引き戸を開ける動きで収納式手摺は取付金具の回転支点 A を軸にして、手摺端部の回転ローラー 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。図 1(a)に引き戸の代表寸法を示す。

2.2 引き戸開口力の実測とシミュレーション

図 2 に示すように、バネばかりを使って、試作引き戸開口力の挙動 $F_{Ax}(x_A)$ を測定した。測定には取付金具と同一高さの水平板上に設置された、摩擦を無視できる台上にバネばかりを固定し、バネの一端を取付金具側に固定し、他端のバネに固定されたひもを 15mm/s の速さで引っ張る方法を用いた。図 3 に測定結果を示す。図中に示すシミュレーション解析は、力のつり合い式を用いた理論値に基づくものである。実験より得た結果をつり合い式で導き出した結果と比較すると、 $R=478\text{mm}$ のときの実験値と理論値の最大値はそれぞれ 22.4N と 19.5N であり、13%以内で一致することが確認できた。これらの結果は、著者らがすでに既報で報告している通りである⁸⁾。

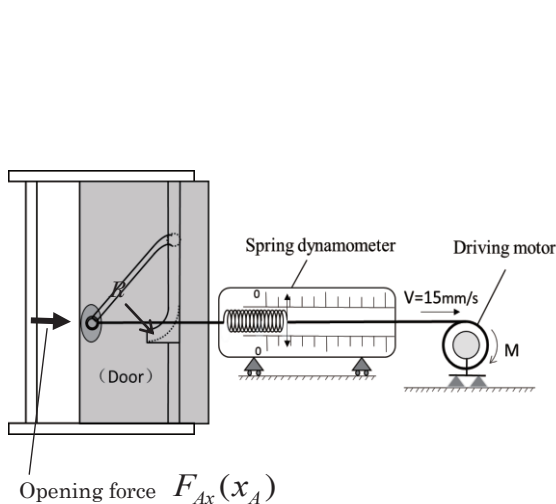


Fig. 2 How to measure sliding force $F_{Ax}(x_A)$

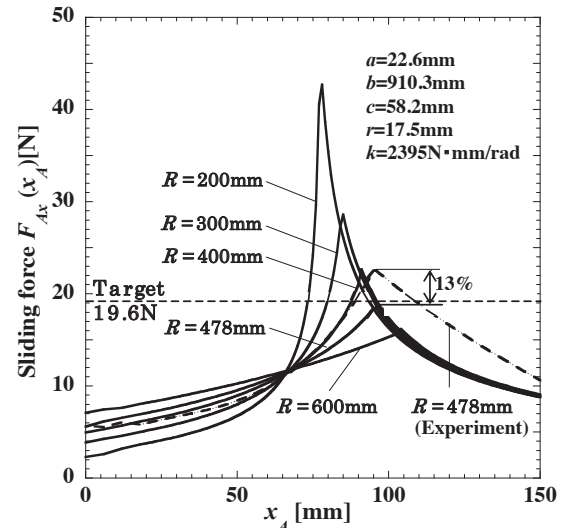


Fig. 3 Sliding force $F_{Ax}(x_A)$ obtained theoretically and experimentally in Fig. 1

3 引き戸木材部の強度解析

本章では、図 1 の引き戸の木材部を対象にして取付金具周辺の強度解析と考察を述べる。付帯する取付金具等の強度設計については、JIS 規格^{9),10)}に準じて行っており、詳細には触れない。

3.1 木材の機械的性質と応力解析方法

表 1 に FEM 解析において必要な引き戸材と金具の機械的性質を示す。表 1 の合板製ドア材は、厚さ 15mm の芯材を 2 枚接着し、その表裏面に厚さ 2mm のスギ材の化粧板を被覆してドア全体に用いられる。この合板ドアの全厚みは 35mm であり、接着剤厚さを含む。合板ドアの強度は、実質的には芯材の強度

とみなすことができるので、「合板の日本農林規格¹¹⁾」の構造用合板 1 級 (C-C 等級材, スギ材) に与えられるものを使用する. その規格にある降伏応力は, 木材の強さを表しているので, **表 1** に示すように, 本論文では, 曲げ降伏強さ σ_y^B , 引張降伏強さ σ_y^T , 圧縮降伏強さ σ_y^C と呼ぶ. **表 1** の曲げ強さ σ_B^B , 引張強さ σ_B^T および圧縮強さ σ_B^C は, 各々の基準許容強さ¹¹⁾を元に, 木質構造設計基準¹²⁾に従い計算により求めた値である. ここで, 基準強度は, 安全を見て, 応力値の低い板の繊維に平行方向の値⁹⁾を採用するが, 合板の性格上強さの方向性は無いと判断される. また, 合板の疲労強度は規格¹¹⁾に示されていないので, 疲労強度は同種の合成材で比較的耐久比の低い, ヒノキ集成材における耐久比 0.3^{13),14)}を用いて求める. 縦弾性係数 E は, 合板の日本農林規格¹¹⁾に基づいて引用する. ポアソン比 ν は, ラワン合板の板目直角方向の値を用いる^{15)~18)}. なお, スギ材の化粧板は, 強度検討に加えない.

解析対象として, 稼動中の損傷が最も高いと想定される手摺棒取付金具の周辺部に注目する. **図 4** に解析に用いる取付金具がドアに固定されたモデルを示す. 取付金具の回転支点部には, 二つの力が作用する. すなわち, ①固定用ボルトによる締付力(**図 4(b)**)と②取手に作用する支持荷重である. ①固定用ボルトの締付力は一定荷重であり, ②支持荷重は変動荷重であるので, これらを考慮した強度評価が必要である. 文献¹⁹⁾より, 支持荷重の最大値は, 500N と見積もられ, ここではこの値を用いる.

図 4(b)の形状は, JISA1541-1⁹⁾の木製ドア用ハンドルのボルト取付に用いるものを参考にしてている. **図 4(b)**の各部寸法は, 強度アップを目的にサイズアップした寸法形状である. また, ボルト径も通常よりサイズアップした M6 とし, 取付本数を 2 倍の 4 本としている. 金具外形は, ドアへの取付位置のスペース制限と強度を考慮してだ円形にする. ここで用いた金具の強度は, JISA1541-1⁹⁾および JISA1513¹⁰⁾に規定された部品取付部の強さ試験の判定基準を満たしている. 後述するように(4.1, 4.3 節), 手摺棒端部のローラー及びレールと, 取付金具については, 実験により問題無いことを確認している.

金具をボルトで固定する際, ボルト単独で板厚方向に締付ける座面下の木材に加わる圧縮応力が, 木材の降伏強さの 1/3(安全率 3)の値となるように, ボルトの締付力を 350N に設定した.

ドア全体の安全性を確認するために, 金具を中心に 200mm×300mm×35mm の木材部分を解析対象とし, さらに対称性を利用してその 1/2 を解析モデルとする(**図 4(c)**). モデル全体の要素数は 6.2×10^4 である. 解析コードには市販の ANSYS16.2 を使用し, 弾性接触を考慮した非線形解析を行う. 解析に先立って,

Table 1 Material properties for FEM analysis

Items		Ply wood for door	Mild steel SS400 for mounting plate
Elastic modulus	E	3.5 GPa	200 GPa
Poisson's ratio	ν	0.4	0.3
Ultimate strength	Bending σ_B^B	16.5 MPa	—
	Tension σ_B^T	10.5 MPa	400 MPa
	Compression σ_B^C	7.5 MPa	—
Yield strength	Bending σ_y^B	5.5 MPa	245 MPa
	Tension σ_y^T	3.5 MPa	
	Compression σ_y^C	2.5 MPa	
Fatigue limit	σ_w	4.9*MPa	—

* : $\sigma_w = 0.3 \sigma_B^B = 4.9 \text{ MPa}$

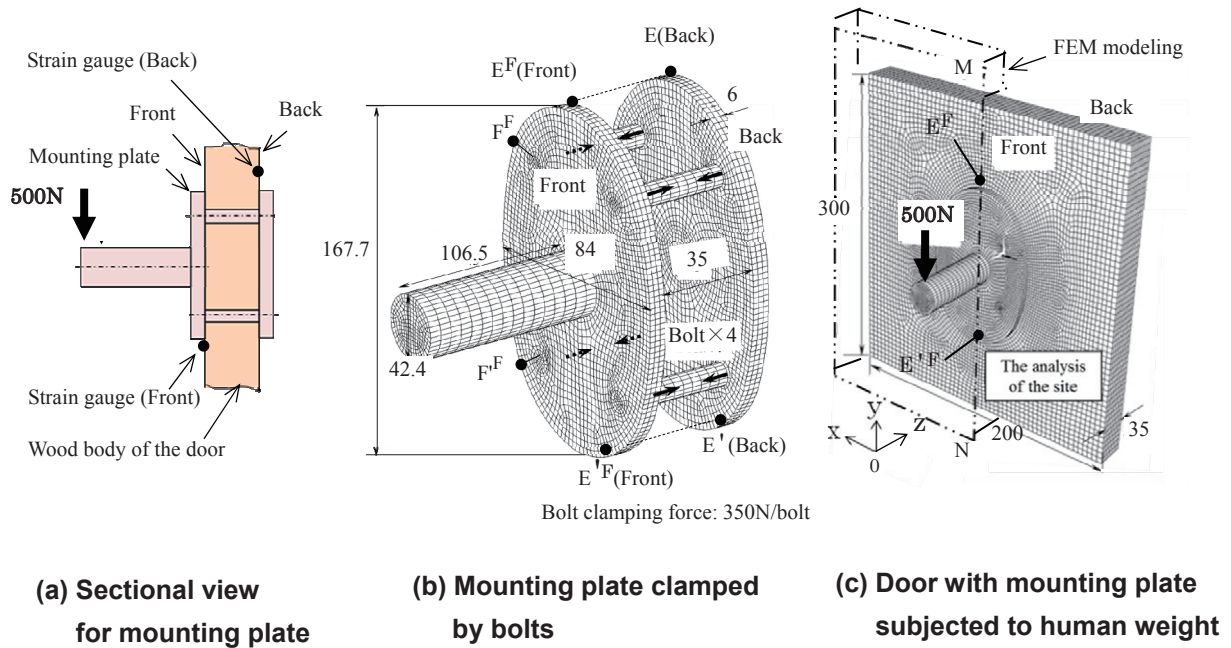


Fig. 4 FEM analysis model for mounting plate and door (Unit: mm)

取付金具周辺のドアのひずみを表面と裏面でゲージにより測定する。その詳細は、4.3 節および 4.4 節で述べる。測定により、ひずみ振幅が大きかった裏面に注目して以下に解析結果を示す。

3.2 最大応力に対する強度評価

まず最初に、最大応力によって生じる一発破壊を想定して考察する。図 5 に最も破壊の危険性が高いボルト取付金具固定部のドア板裏面の FEM 解析結果に基づく相当応力を示す。図 5(a)は、図 4(b), (c)に示すように取付金具をボルトで締結した後、支持荷重 500N を作用させた時のドアの裏面の応力分布を表面側から透視して見たものである。

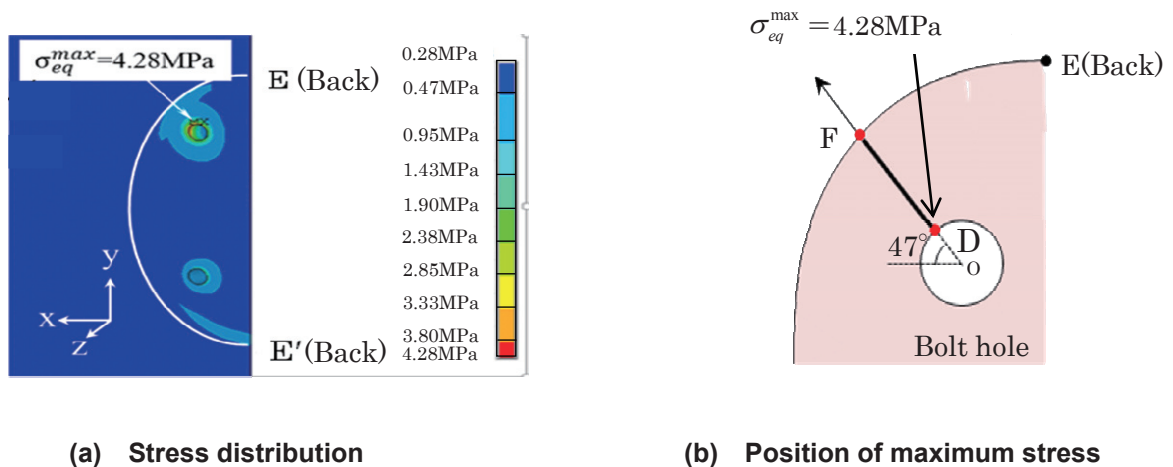


Fig. 5 Equivalent stress under the action of bolt clamping and human weight 500N on the back side in Fig. 4

図 5 (a), (b)に示すように、最大相当応力はボルト孔周辺の点 D に生じる。そのため、図 6 は、孔周縁の点 D を起点にした線 DF(図 5(b))に沿って生じる応力分布を示している。ここでは、板材の疲労強度評価に用いることができる主応力 σ_1 , σ_2 , $\sigma_3 = \sigma_z$ を示す。図 6(a)に示すボルト締付状態における応力は、支持荷重 500N が加わることによって図 6(b)に変化する。図 6(b)において、最大圧縮主応力は裏面上側のボルト孔周辺に生じる $\sigma_3 = -3.95\text{MPa}$ である。一方、最大引張主応力は $\sigma_1 = 0.85\text{MPa}$ である。最大圧縮応力および最大引張応力は点 D に作用する。

表 2 は、まず、孔周辺の最大引張応力 $\sigma_1 = 0.85\text{MPa}$ 、最大圧縮応力 $\sigma_3 = -3.95\text{MPa}$ に注目して、それらが表 1 の引張降伏強さ σ_y^T 、圧縮降伏強さ σ_y^C に対してどの程度安全であるかを安全率 $= \sigma_y^T / \sigma_{max}^T$ と安全率 $= \sigma_y^C / \sigma_{max}^C$ で定義してまとめたものである。表 2 より、引張応力 σ_{max}^T に対する引張降伏強さ σ_y^T の安全率 $\sigma_y^T / \sigma_{max}^T = 4.1$ で十分な安全性を有するが、圧縮応力 σ_{max}^C に対する圧縮降伏強さ σ_y^C の安全率は $\sigma_y^C / \sigma_{max}^C = 0.6$ であり、1 を下回る。しかし、降伏域は座面孔縁直下角部の応力集中部に限定されており、板厚全域に及ぶものではない。さらに、圧縮強さ σ_B^C に対しての安全率は $\sigma_B^C / \sigma_{max}^C = 1.9$ であり十分安全である。このことを踏まえ、ボルト孔周辺の欠け等の発生を懸念して、4 章で実験的にも確認する。

図 7 は、取付金具周辺の損傷の可能性に注目している。ここでは、ドア板裏面に生じる応力分布を示している。図 7(b)に示すボルト締付状態における応力は、支持荷重 500N が加わり図 7(c)に変化する。図 7(b)に、ボルト孔近くの点 F、点 F' の周辺にボルト締め付けに伴う板厚方向に圧縮応力が生じている。図 7(c)に示すように、取付金具に支持荷重 500N が加わると、点 F の圧縮応力は $\sigma_z = -0.25\text{MPa}$ から $\sigma_z = -0.76\text{MPa}$ に増大する。また点 E'(Back)近傍に最大引張応力 $\sigma_y = 0.95\text{MPa}$ が生じる。この結果に基づき、図 4(b)に示す最大応力が生じる引き戸裏面金具頭部点 E (Back)と、表面で最大応力が生じる金具底部点 E'F (Front)に注目する。具体的には、点 E'F(Front)、点 E(Back)の金具縁から 2mm 離れた点(図 7(a)参照)にひずみゲージを貼り付けた。そして支持荷重の繰返しに伴うひずみの変化をこれらの 2 点でモニタリングする。その結果を 4.3 項で述べる。

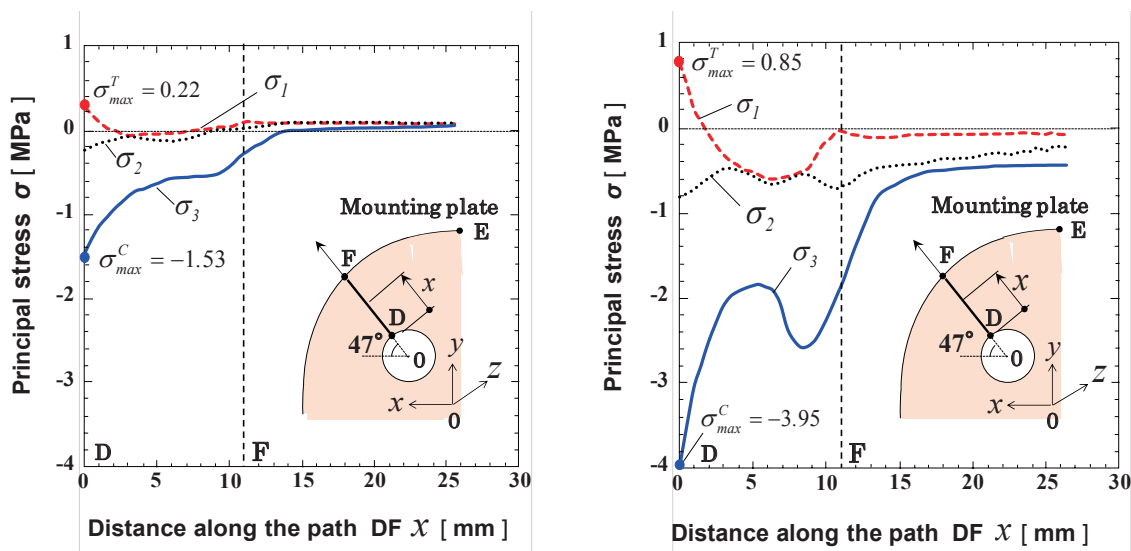
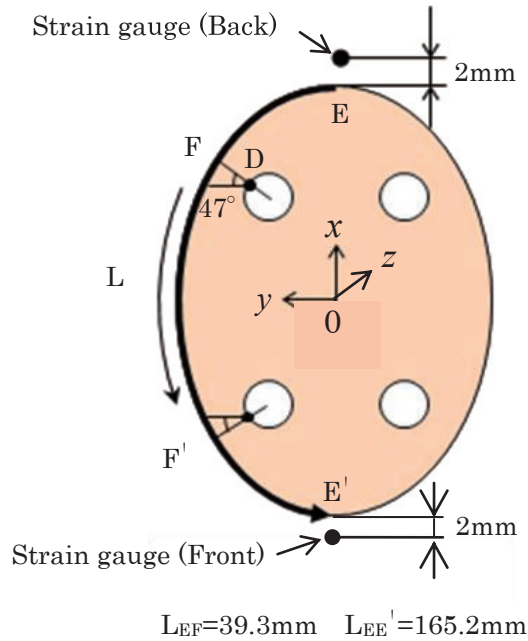


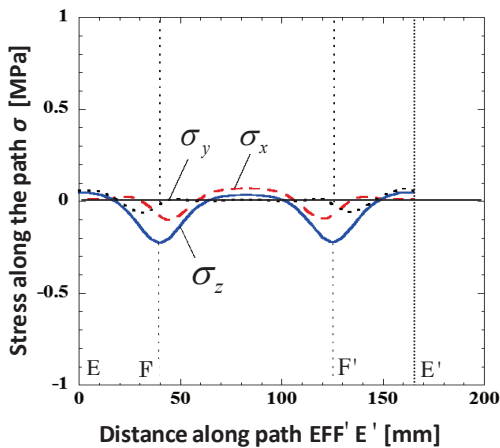
Fig. 6 Principal stress distributions along path DF (Back side)

Table 2 Maximum stress, strength and safety factor at point D in Fig. 5(b)

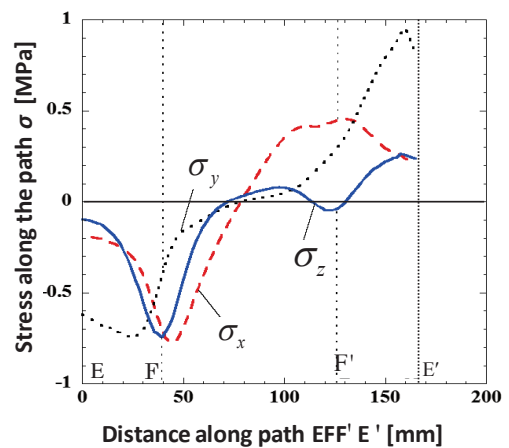
Maximum stress in Fig. 6(b)	Strength in Table 1	Safety factor
Maximum tensile stress $\sigma_{max}^T = 0.85 \text{ MPa}$	$\sigma_y^T = 3.5 \text{ MPa}$	$\sigma_y^T / \sigma_{max}^T = 4.1$
Maximum compressive stress $\sigma_{max}^C = -3.95 \text{ MPa}$	$\sigma_y^C = 2.5 \text{ MPa}$	$\sigma_y^C / \sigma_{max}^C = 0.6$
	$\sigma_y^C = 7.5 \text{ MPa}$	$\sigma_B^C / \sigma_{max}^C = 1.9$



(a) Path EFF'E' along the mounting plate



(b) Stress due to bolt clamping



(c) Stress due to bolt clamping and human weight

Fig. 7 Stress distributions along path EFF'E' on the back side in Fig. 4(c)

3.3 疲労に対する強度評価

表 3 は、通常の金属疲労の考え方に基づいて応力振幅と平均応力をまとめたものである。金属疲労では、応力振幅と平均応力から耐久線図を用いて疲労強度を評価することが通常行われており²⁰⁾、き裂の発生には応力振幅が重要であり、き裂の伝播には平均応力が重要であることが知られている。この表では、図 6(a)と図 6(b)の比較から、最大応力振幅が生じるボルト孔縁の危険部位点 D に注目している。また、図 7(a)と図 7(b)の比較から、金具縁の危険部位点 E および点 F にも注目してまとめた。図 8 は、表 3 の結果を耐久限度線図にプロットしたものである。ここでは、強さに異方性は無いものとして引張降伏強さ σ_y^T と両振疲労限度 σ_w を結ぶ線で求まる耐久限界を示した。なお、これは引張さを用いる修正グッドマン線図に対して、降伏強さを用いるゾーダベルグ線図に相当する耐久限度線図である。図 8 に示す 5 点は、図 6(a), (b)の主応力の差並びに図 7(a), (b)の応力の差を基準にして近似的に求めた。これらの 5 点は、いずれも耐久限度線の範囲内にあり、強度的に安全である。

Table 3 Average stress σ_m and stress amplitude σ_a along the mounting plate edge in Fig. 7(a)

Position	Stress componennt	σ_m [MPa]	σ_a [MPa]	Safety Factor
D in Fig. 6(a), (b)	σ_l	0.54	0.32	4.5
E in Fig. 7(b), (c)	σ_y	-0.28	0.34	—
F in Fig. 7(b), (c)	σ_z	-0.49	0.26	—
F' in Fig. 7(b), (c)	σ_z	-0.15	0.1	—
E' in Fig. 7(b), (c)	σ_y	0.45	0.39	4.4

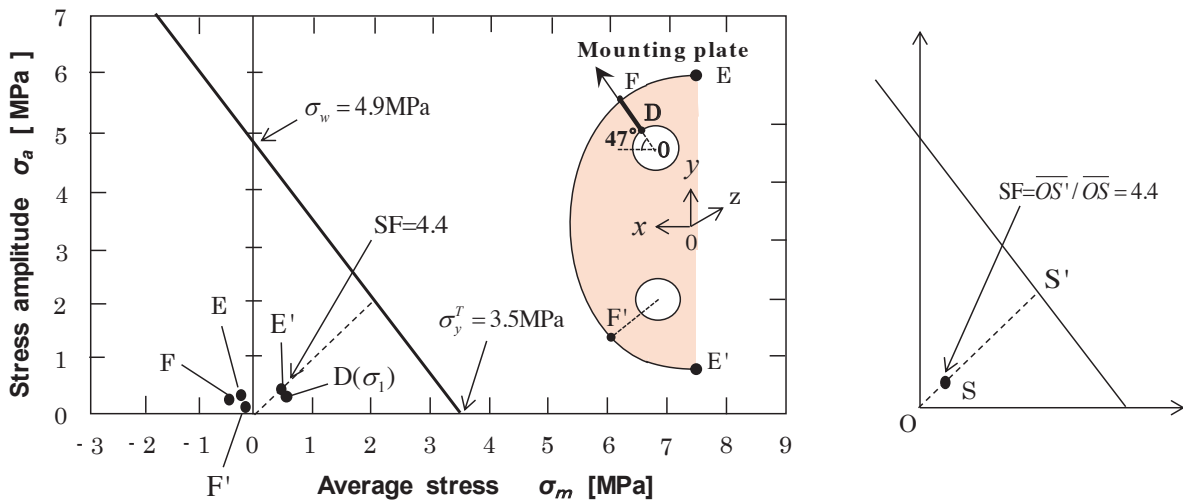


Fig. 8 Endurance limit diagram

4 引き戸の耐久性に関する実験的検討

前節より、最大引張応力は、表 2 より、十分な安全性を有するが、圧縮応力に対しては、ボルト孔周辺の欠け等の発生の懸念がある。そこで、本節では試作ドアを用いて、ドアの繰り返し開閉試験と、取付金

具への繰り返し負荷試験を行う。開閉試験では、引き戸のレールやローラー等の構造部の損傷を確認する。負荷試験ではドア表面と裏面に生じるひずみの繰り返し荷重に対する変化を測定し、金具周辺に発生するへこみやドア面の変形を測定する。なお、金具周辺部の繰り返し荷重による損傷は、ひずみの増加によって評価できることを予備実験で確認した。

4.1 繰り返し開閉試験の方法および試験結果

引き戸全閉状態から全開状態までの1往復を1回として、 2×10^5 回繰り返し、引き戸のレールやローラー等の構造部の損傷を目視および染色探傷確認する。併せてドアの反りや変形も測定する。その開閉試験を 2×10^5 回繰り返した結果、①手摺の変形異常なし、②ガイドレールの摩耗変形異常なし、③ローラー摩耗およびローラー軸の変形異常なし、試験作動中の異音はなかった。④ドアの反りは0.8mm以下で、引き戸開閉に使用上の支障がなく、規定(JISA1513 建具の性能試験方法通則¹⁰およびJISA1530 建具の開閉繰り返し試験方法²¹)を満足した。また、ドア下部のこのころの変形および作動中の異音はなかった。

4.2 繰り返し荷重試験の方法

繰り返し使用時に最大圧縮応力によってドア表面と裏面に生じるひずみの変化をモニタリングする。そして、繰り返し回数に伴う変化を調べる。疲労による大きな損傷が生じれば、対応するひずみが増加すると考えられる。この目的のため、前節の解析結果に基づき、図4(a)に示す点E(Back)、点E'(Front)の金具縁から2mm離れた点にひずみゲージを貼り付けた(図7(a)参照)。取付金具の支点軸先端部(図4参照、支点軸と手摺棒中心軸との交点)に支持荷重500Nをエアシリンダで、片振り(応力比 $R=0$)で垂直に繰り返し加える。そして設計目標 2×10^5 回の繰り返しにより取付金具装着部の板材が耐えるかどうかを調べる。これは、JISA4702に規定された引き戸の耐用回数 1×10^5 回²²、ならびにJISA4706に規定されるアルミ製サッシの耐用回数 3×10^4 回²³の2倍以上の繰り返し数である。

図9(a)に荷重を加えるエアシリンダ装置を示す。図9(a)では、取付金具に掛かる荷重が最大となるように支点軸先端部に直接エアシリンダの荷重を加えた。図9(b)にエアシリンダのエア回路図を示す。用いるエアシリンダの内径 $\phi 40$ mm、ストローク140mmであり、エアシリンダの先端と取付金具の手摺位置を直径 $\phi 6$ mmのワイヤロープで繋ぎ、エアシリンダの引き側作動で取付金具に荷重を加える。エアシリ

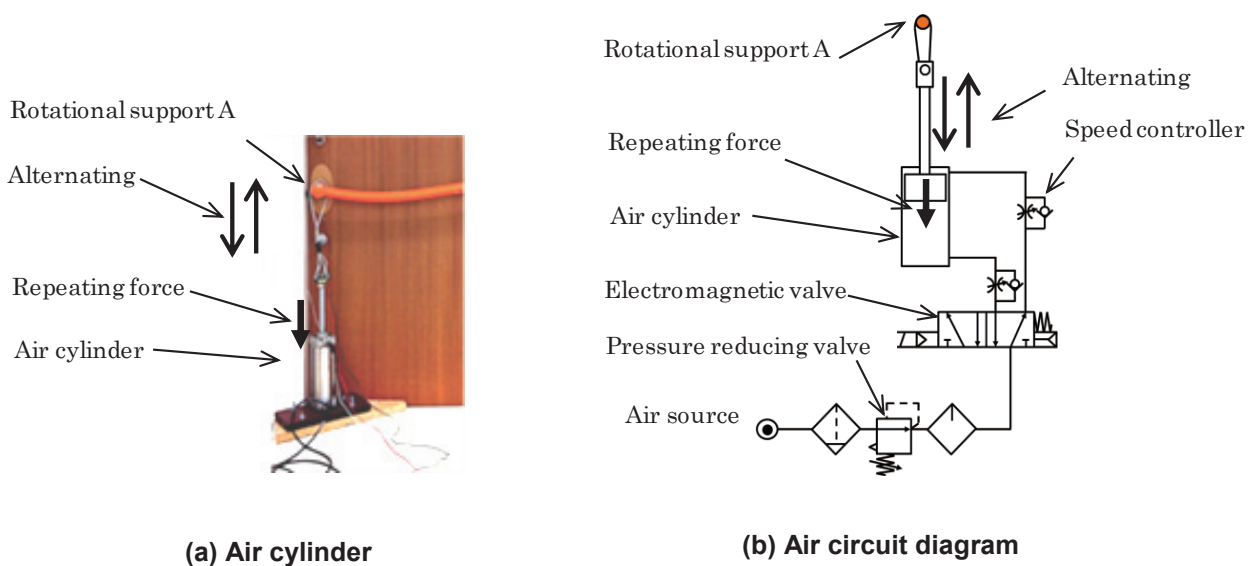


Fig. 9 Fatigue experimental equipment

ンダで荷重 500N が加わるように減圧弁でコンプレッサエア圧力を 0.47MPa に設定した。シリンダ引圧作動の切り替えは、電磁弁をタイマ制御で行い、本実験では、繰返し速度を 3.8s/回に設定した。荷重による引き戸面のひずみは、引き戸表裏の取付金具上下端近傍にひずみゲージを貼付け測定した。繰返し回数は、機械式カウンタで測定した。その詳細は、**図 9(b)**の通りである。

4.3 繰返し荷重試験結果

図 10 に実体ドア疲労試験の結果として、金具取付下部の板材表面のひずみ ε_y (E'F (Front))と裏面のひずみ ε_y (E(Back))を示す。表面と裏面の両者のひずみとも、繰返し回数とともに大きな変化は認められず、大きな損傷は生じていない。なお表面と裏面のひずみの違いには、ひずみゲージ貼り付け時の接着材の施工、板面粗度、および木材繊維の不均一性等の影響が含まれている。

実験終了後、取付金具下部板材のボルト孔周辺部におけるき裂有無を肉眼で調べた。ボルト孔開け加工時に孔周辺に生じた 1mm ほどの微細な欠けは見られるが、その部分から肉眼で検出できるようなき裂の発生はなかった。さらに、**図 11(a)**に示すように、表面形状の変化を見るために、金具取付部を中心に、引き戸の表面プロファイルをダイヤルゲージで測定した。まず、定盤上に引き戸裏面を上側にして水平に置き固定した。引き戸の縦方向端面と平行にゲージプレートを設置して、ゲージプレートに沿ってダイヤルゲージブロックを移動させ、取付金具の取付部を含むドア表面プロファイルをデジタルダイヤルゲージで測定した。**図 11(b)**に測定結果を示す。金具取付位置の上下端の 2 点に -0.05mm と -0.07mm の圧痕が認められるが、強度的に影響するものではない。また、ボルト孔周辺の、欠け落ち等が懸念されたが、問題となる傷は認められなかった。なお、繰返し荷重試験によるドア面の反りは、最大 0.8mm であった。試験終了後の取付金具において、軸等の変形はなく、開閉作動の支障もなかった。

なお、ドアが木製であるので、経年の乾燥による収縮に伴う緩みやガタツキが生じる恐れがある。対策として、十分乾燥した木材を使用することや、収縮に伴う再締め等の管理が必要であることは言うまでも無い。

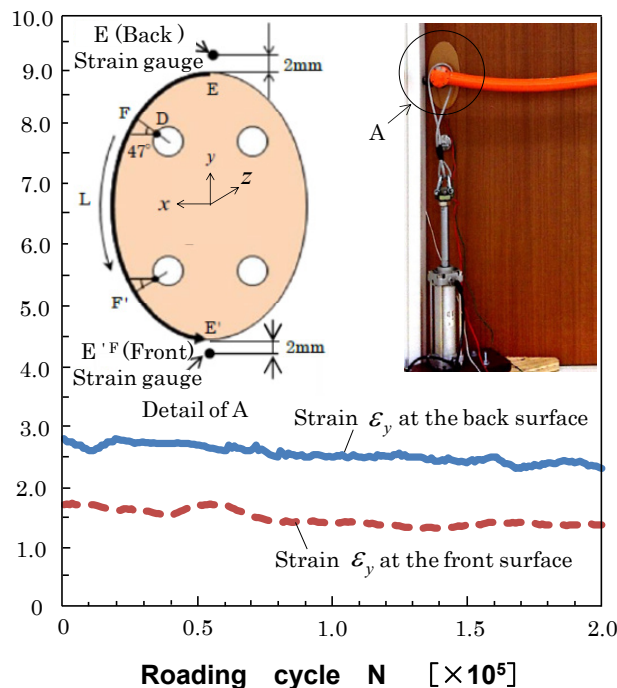


Fig. 10 Strain versus roading cycle

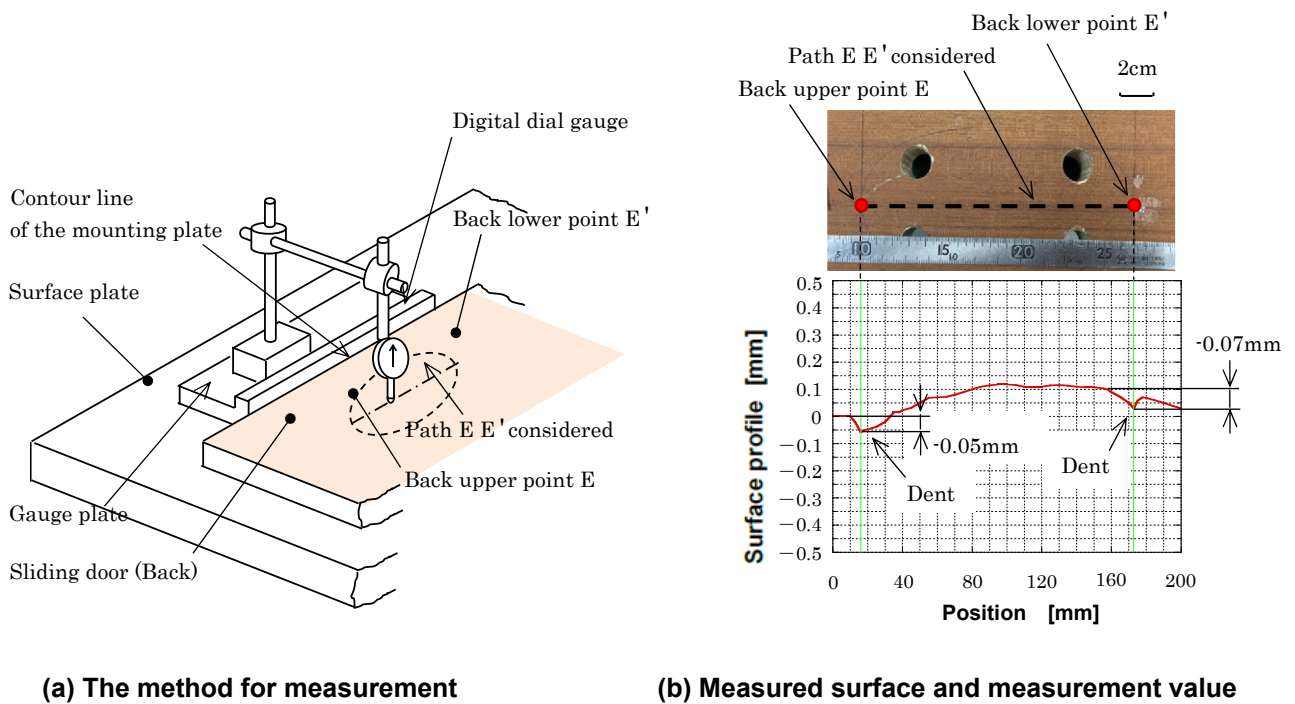


Fig. 11 Surface roughness along path E E' in Fig. 4

5 結言

本研究では、**図 1** に示すような健康弱者の自立歩行を支援する手摺収納式引き戸を対象として、最も危険であると考えられる手摺棒取付金具周辺での引き戸の安全性を評価した。具体的には、その部分を対象に FEM 解析を行うとともに、試作ドアによる実体疲労実験を行った。これらにより得られた結論は、以下の通りである。

- (1) 有限要素法 FEM 解析によって、引き戸に固定させる手摺棒取付金具周辺を対象に最大応力を求めた。合板の強度としては、日本農林規格¹¹⁾による曲げ強さ σ_b^B 、引張強さ σ_b^T および圧縮強さ σ_b^C から安全率を算定し、安全であることを確認した。
- (2) 有限要素法 FEM 解析によって、引き戸に固定させる手摺棒取付金具周辺を対象に最大応力振幅と平均応力を求め、耐久限度線図上で考察した。それらの結果は、引張降伏強さ σ_y^T と両振疲労限度 σ_w を結ぶ耐久限度線の範囲内にあり、強度的に安全であることを確認した。
- (3) 試作された引き戸を用いて、取付金具に 500N の負荷を JIS 規格^{22),23)}で規定された以上の繰返し数 2×10^5 回で実体疲労試験を行った結果、使用上問題となる損傷が生じることなく、十分な耐用性が確認できた。
- (4) 試作された引き戸を用いて、主として取付金具とそれに付随する構造の安全性を繰り返し開閉試験により調べた結果、いずれも、使用上問題となる損傷が生じることなく、JISA1513 建具の性能試験方法通則¹⁰⁾の規定を満たす結果が得られた。

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 (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), 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), 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願 2012-133492, 公開番号 2013-256808.
- 6) ケイ・プロダクツ(株), 引き戸用手摺, 引き戸装置, 特許出願 2016-035259, 公開番号 2017-150260.
- 7) ケイ・プロダクツ(株), 引き戸用手摺の取付構造, 引き戸装置, 特許出願 2016-035260, 公開番号 2017-150261.
- 8) 斉藤金次郎, 野田尚昭, 佐野義一, 高瀬康, 村井克成, 王澤鋒, 李蘇瓊, 劉瀟, 田中洋征, 久保嘉孝: 高齢者・障害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, 引き戸開口力のシミュレーション), 日本設計工学会誌, 52, 8 (2017), 503.
- 9) JISA1541-1, 建築金物—錠—第 1 部: 試験方法, 日本規格協会, 2016.
- 10) JISA1513, 建具の性能試験方法通則, 日本規格協会, 1996.
- 11) 合板の日本農林規格, 平成 26 年 2 月 25 日農林水産省告示第 303 号.
- 12) 日本建築学会木質構造設計規準・同解説, (2006), 149.
- 13) 伊吹幸彦, 佐々木光, 河本実, 満久崇磨: 集成材の耐久性に関する研究 集成材の平面曲げ疲労強度について, 社団法人日本材料学会, 材料試験, 11 (1962), 103.
- 14) 伊吹幸彦, 佐々木光, 河本実, 満久崇磨: 平面曲げ疲労強度について, 京都大学木材研究所報告, 39 (1963), 11.
- 15) 高見勇: 合板の強さについて(I), 独立行政法人森林総合研究所, 林業試験場研究報告 208 (1968), 80.
- 16) 沢田稔: 木材の強度特性に関する研究 主として, その木材梁への適用, 日本林業学会, 日本林學會誌, 41 (1959), 139.
- 17) 綿貫幸宏, 上田恒司, 奥山裕美: 木質平面材料の弾性定数に関する研究 第 2 報異種構成合板の弾性定数, 北海道大学農学部演習林研究報告, 29 (1972), 347.
- 18) 福原敬彦: 木材の横圧縮変形に関する研究, 東京大学農学部演習林報告, 61 (1965), 103.
- 19) 加藤正男, 八藤後猛, 野村歡, 布田健, 直井英雄: 動作・行為から見た手すりの分類および手すりにかかる人の転倒時荷重の計測—住居内壁付け手すり取付強度の定量的評価法に関する実験研究(1)—, 日本建築学会計画系論文集, 584 (2004), 27.
- 20) 石橋正: 金属の疲労と破壊の防止, 養賢堂, 11 (1969), 1.
- 21) JISA1530, 建具の開閉繰り返し試験方法, 日本規格協会, 2014.
- 22) JISA4702, ドアセット, 日本規格協会, 2000.
- 23) JISA4706, サッシ, 日本規格協会, 2000.