

動作に着目した住宅空間設計のガイドラインに関する研究(その1)

- 車いす使用者の操作能力を考慮した住宅整備指針の構築(第二報) -

Guideline of the housing space design for disabled (Part1)

- Construction of a housing design indicator in consideration of a wheelchair user's operation capability(2) -

糟谷佐紀 米田郁夫

KASUYA Saki, YONEDA Ikuo

阪東美智子(国立保健科学院健康衛生学部)

BANDO Michiko (National Institute of Public Health)

奥英久(岡山理科大学工学部福祉システム工学科)

OKU Hidehisa (Okayama University of science)

キーワード:

空間整備指針、車いす、段差、操作能力

Keywords:

Guideline of space design, wheelchair, level difference, operation capability

Abstract:

The obstacles, especially level differences and ramps at housing and building make the manual wheelchair users' access to them difficult. The difficulty of negotiating them by a wheelchair depends on their figures, diameter of caster, and a wheelchair user's ability to push the hand-rims. So, we evaluated the difficulties of negotiating various types of level differences and ramps quantitatively, using the specially designed wheelchair equipped with torque meters and rotary encoders. With all data we obtained, we attempted to constitute quantitative scales indicate the reasonable height, shape, and gradient of level differences or ramps for wheelchair users of various physical abilities.

1 研究の目的

昨年度の研究では、床材と車いすの走行速度による走行抵抗の関係を明らかにした¹⁾。平成12年度は被験者として健常者2名の段差通過実験とスロープ走行実験を行った²⁾。平成11年度は、車いす使用者を被験者に段差通過実験を行ったが、日常使用している車いすを使用したため、計測データが取れず官能評価のみを得た³⁾。

今年度は段差通過時に、車いすにかかる負荷を計測用車いすを用いて計測、評価した。

多くのマニュアルに記載されている設計基準は、一般的に目安とされる寸法や勾配であり、個人が利用する住宅の指標としては、あまり参考になるものとは言えないのが現状である。個人の運動能力や機器の操作能力にはばらつきがある。それらを考慮した上で判断できる指標があれば、実際の現場での利用価値は高いと考えられる。

車いす使用者の住宅改造に関する設計要件として、廊下や出入り口の幅の確保や段差の解消、出入り口等に設置するスロープの勾配、床材の種類などが想定される。

本研究の目的は、車いす使用者の運動能力を容易に計測し、得られたデータからその人に適合した寸法や勾配等を推測できるシステムの開発である。

今回は様々な条件で段差の通過実験を行い、得られたデータから統一的な尺度を構築する可能性について考察した。

2 実験の概要

2.1 実験装置

実験に用いた試験用段差と計測用車いすの仕様を以下に示す(図1)。

2.1.1 試験用段差

実験室内に設置した基板(1,500mm×2,700mm)の上に、高さの異なる板(1,500mm×1,500mm:5.5,9,15,21,24,30mm)を敷き段差を構成した。さらにそうした段差にすり付け加工を施し、勾配を緩和する木材(1,500mm×120mm:45、30、15度)も用意した。なお、スリップ防止用に滑り止めシートを基板の一部に貼っている。

2.1.2 計測用車いす

使用した計測用車いすは、左右の駆動輪にトルク変換器とロータリ・エンコーダが装備されており、ハンドリムに加えられる駆動トルクと駆動輪の回転数が計測できるものである。データはAD変換器を介してコンピューターに取り込むことができる。使用した計測用車いすの概要は以下のとおりである。

重量：245N

駆動輪呼び径：24インチ

キャスター：取替え可能

ハンドリム操作力計測：

トルク変換機(共和電業製TPR-S-100NM22)

駆動輪回転数計測：

ロータリ・エンコーダ(分解能2000P/R)

車体フレーム：

固定式(折りたたみ不可) 座幅370mm

駆動輪取り付け位置：位置可変(20mm^レツフ)

今回は、径の異なるキャスターを3種類と、駆動輪の取付け位置を3パターンに変えて実験を行った。キャスターは呼び径4インチ(実寸106.3mm)、5インチ(129.6mm)、6インチ(150.1mm)の3種類、駆動輪位置は標準(背もたれ直下)、前方(標準位置より40mm前方)、後方(標準位置より40mm後方)の3パターンである。

図2に計測用車いすから得られたデータの一例を示す。最初の波形はキャスターが段差を通過する時の推力を、2番目のそれは駆動輪通過時の推力を

示す。この推力の最大値(左右推力の合計値)を、段差通過時に必要となる駆動力の定量的指標として用いた。



図1 計測用車いすと段差

Fig.1 Wheelchair of Measurements and the level difference

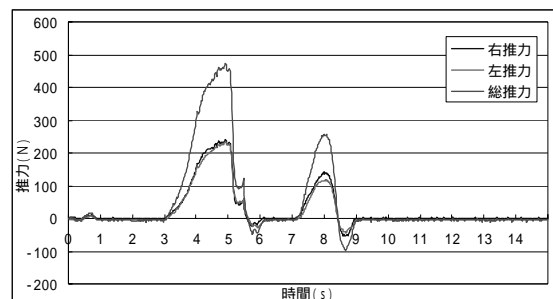


図2. 段差通過実験のデータの一例

Fig.2 Example of wheelchair negotiating the level difference

2.2 実験方法

段差高さやキャスター径などの環境要因を変え、各条件下で3回試行を行い、データを収集した。被験者は段差の手前で車いすを静止させ、助走をつけずに段差を通過させた。駆動輪もキャスター通過後、段差の前で一度静止させてから段差を通過させた。実験風景を示す(図3)。

2.3 被験者

今回の実験では、体格や性別、年齢の異なる10名の健常者を被験者とした。5インチ・キャスター(駆動輪位置：標準)の実験には10名すべて、4、6イ

5インチ・キャストの実験はその内の5名(A、B、G、I、H)、駆動輪車軸位置を変えた実験は3名(A、B、H)で行った(詳細データは表1)



図3 実験風景
Fig.3 Scene of experiment

表1. 被験者データ
(キャスト・駆動輪にかかる荷重(N))
(駆動輪位置: 標準)

Table.1 The subject's data and the load of casters and rear wheels
(standard position)

被験者	性別	年齢	キャスト/駆動輪
A	男性	54	442.18/558.60
B	女性	33	309.68/443.61
C	男性	26	516.95/524.30
D	男性	54	313.36/443.21
E	女性	21	308.70/432.18
F	女性	21	339.33/402.29
G	男性	29	379.75/413.32
H	女性	21	486.08/496.86
I	男性	30	492.94/466.48
J	男性	53	515.97/556.89

3 実験結果

本実験では、前述の実験装置と計測用車いすを用いて、キャストと駆動輪それぞれの段差通過時の推力を計測した。本論文では、キャスト通過時のデータのみを用いて分析を行った。これは、キャストが通過できる段差は、キャストより径の大きな駆動輪も通過することができるからである。

3.1 5インチ・キャスト(車軸位置変更)

5インチ・キャストの車いすの駆動輪を車軸位

置を標準、前出、後出に設定し、6種類の高さの直段差(高さを緩和する処理を施していない段差をいう)の通過実験を行った。また、すりつけ加工を施した木材(45、30、15度)を設置した通過実験も行った(車軸位置: 標準、高さ5mmを除く)。以下にそれぞれの実験から得られた最大推力のデータを示す(図4~7)。

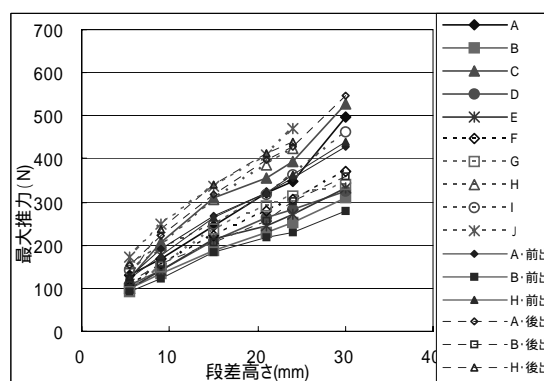


図4. 段差通過時の最大推力
(5インチ、直段差、車軸位置; 前・標準・後)
Fig.4 The peak force differences (5in, right angle, rear wheels three positions)

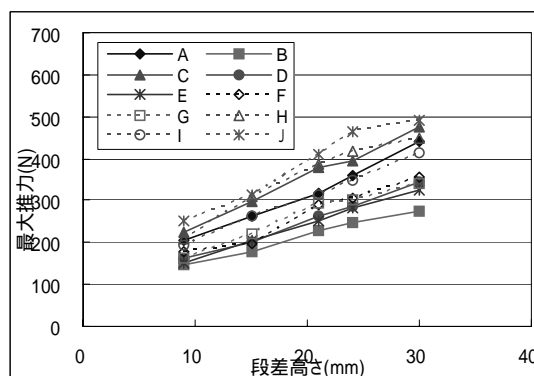


図5. 段差通過時の最大推力(5インチ、45度)
Fig.5 The peak force (5in, 45degree)

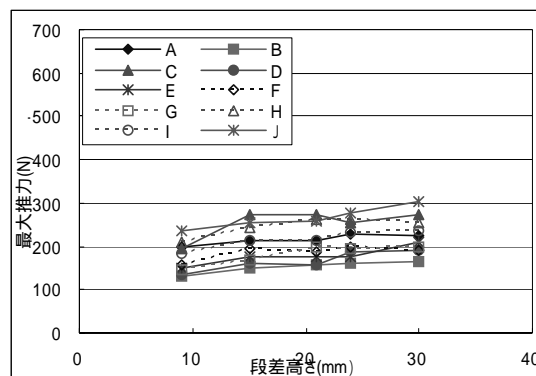


図6. 段差通過時の最大推力(5インチ、30度)
Fig.6 The peak force (5in, 30gree)

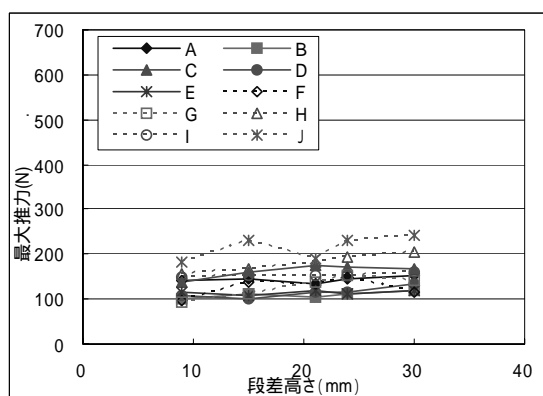


図7. 段差通過時の最大推力 (5 ｲﾝﾁ、15 度)
Fig.7 The peak force (5in, 15degree)

以上のグラフにおいて、データのばらつきが大きいこと、車輪にかかる荷重が大きな被験者の推力は、すべての条件下において大きな値を示していることがわかる。

また図4より、駆動輪の位置を変えた実験では、各被験者とも駆動輪を前出しに設定した時より後出しの場合のほうが、大きな推力を必要としていることがわかる。

3.2 4、6インチ・キャスト（車軸位置：標準）

次に、環境側ではなく車いす側の要素を考えてみる。図8は、4、6インチのキャストを装備した車いすが各高さの段差通過時の最大力を示したものである。

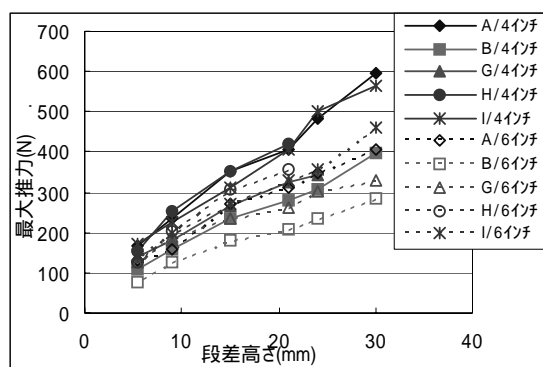


図8. 段差通過時の最大推力 (4 , 6 ｲﾝﾁ)
Fig.8 The peak force (4,6in)

これも5インチと同様、車輪にかかる荷重が大きな被験者の推力が大きいことと、すべての被験者において6インチ・キャストの時よりも4インチの時のほうが大きな推力を要していることがわかる。

本研究では、推力の指標化が目的である。次に、これらの得られたデータを正規化する方法を検討しなくてはならない。

3.3 正規化へ向けての考察

最大推力のグラフのばらつきは、被験者の体格や体重、キャスト径の寸法、駆動輪の車軸位置によるものだと考えられる。

3.3.1 車輪にかかる荷重

前述の表1の被験者のデータと、以下に示す表2は、被験者が車いすに乗車した状態で計測したキャストと駆動輪それぞれにかかる荷重である。それぞれの荷重配分を図9、10に示す。図9が車軸位置・標準のもの、図10が車軸位置・前、後のもの(被験者3名)である。

図9から、キャスト、駆動輪の荷重配分は個人によってかなりばらつきがあることが、図10からは、各被験者とも駆動輪を前方にすると、キャストにかかる荷重は小さくなることがわかる。

表2. キャスター・駆動輪にかかる荷重(N)
(車軸位置; 前出・後出)

Table.2 The load distributions
(forward and backward position)

	車軸位置	キャスト/駆動輪
A	前出	384.89/631.85
	後出	481.91/537.53
B	前出	261.90/462.56
	後出	306.90/418.29
H	前出	460.92/546.67
	後出	520.38/490.98

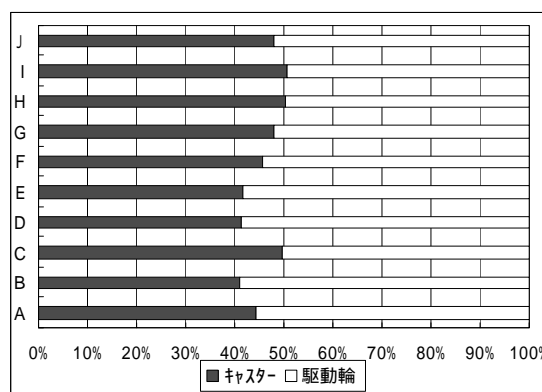


図9. 荷重配分 (車軸位置; 標準)
Fig.9 The load distribution
(standard position of rear wheels)

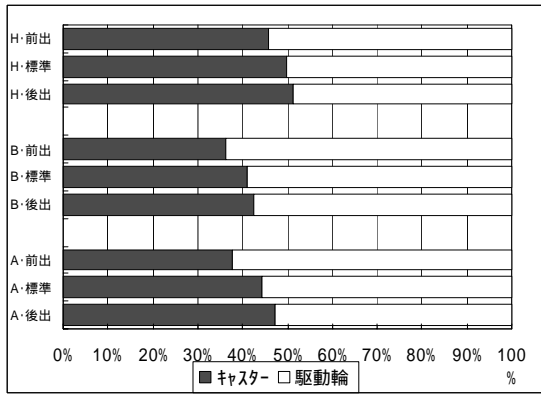


図 10 . 荷重配分(車軸位置 : 前、標準、後)
Fig.10 The load distribution
(rear wheels three positions)

これらのことから、実験で得た最大推力のばらつきをなくすため、それぞれのキャスターにかかる荷重で最大推力を除し、正規化をはかることを試みた (図11~15)。

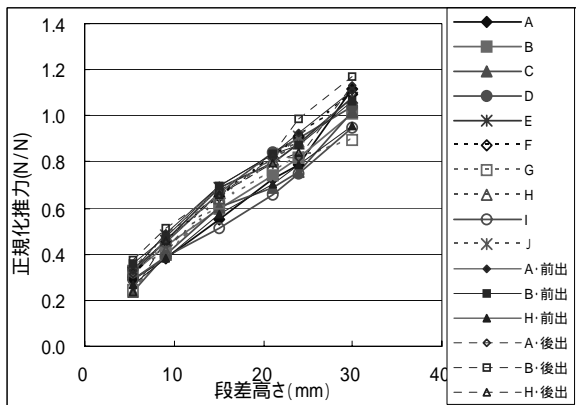


図 11 . 正規化推力 (5 インチ、直段差)
Fig.11 The normalized peak force
(5in, right angle)

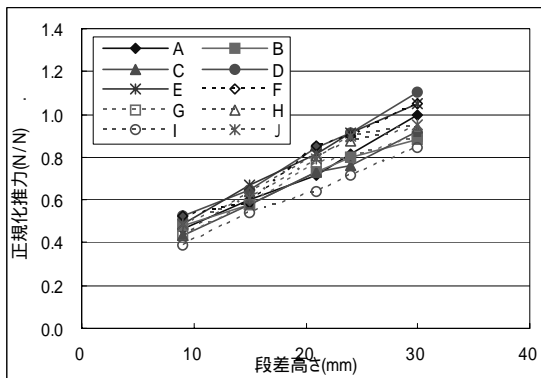


図 12 . 正規化推力 (5 インチ、45 度)
Fig.12 The normalized peak force (5in, 15gree)

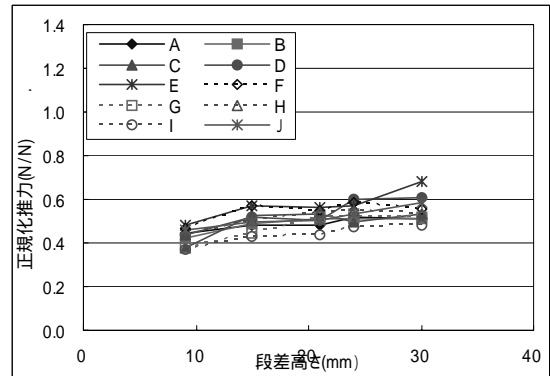


図 13 . 正規化推力 (5 インチ、30 度)
Fig.13 Normalized peak force (5in 30degree)・

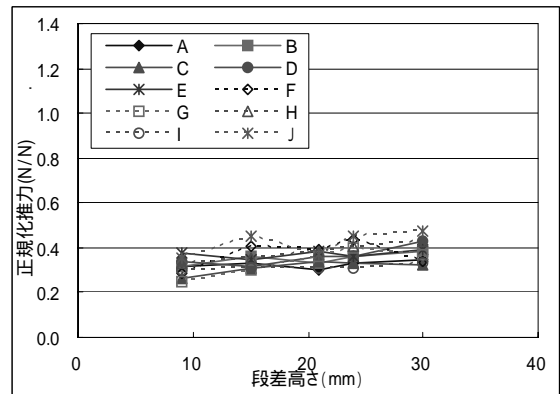


図 14 . 正規化推力 (5 インチ、15 度)
Fig.14 The normalzied peak force (5in, 15gree)

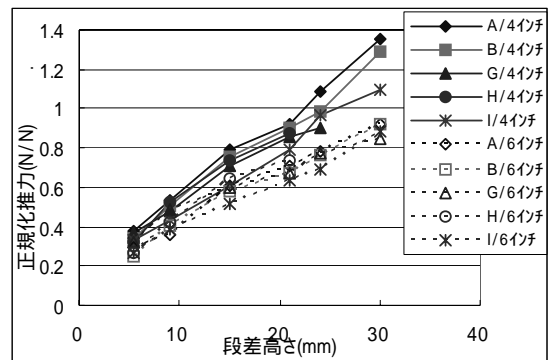


図 15 . 正規化推力 (4 , 6 インチ)
Fig.15 The normalzied peak force (4, 6in)

これらのグラフを、前述の最大推力のグラフと比較すると、全体にばらつきが小さくなっていることが分かる。しかし、図 15 の 4 , 6 インチのキャスターのグラフは他に比べると、まだばらつきは大きい。

これをさらに正規化するために、次に段差高さとかaster径との関係を考えることにする。

3.3.2 車輪径と段差高さとの関係

車輪と段差の関係は、図18のように段差を斜面上置き換えて考えることができる。車輪の半径をR、段差高さをhとすると、車いすが段差を越えるときは瞬間的に勾配θの(仮想的な)斜面が立ちはだかっていると考えるとよい。これを「段差等価勾配」⁴⁾と呼ぶ。これを数式で表すと、等価勾配θは、式(1)のように表すことができる。

$$\theta = \cos^{-1}((R - h) / R) \quad (1)$$

今回の実験で使用した、3つの異なるキャスト径とそれぞれの段差との等価勾配を表3に示す。これによると、4インチにとっての高さ15mmの等価勾配44.13度は、6インチにとっての高さ21mmの等価勾配43.93度とほぼ同じ角度となる。

これにより、同じ段差でも車輪の半径が大きいほど等価勾配は小さく、段差を越えるときの抵抗は小さくなると考えられる。

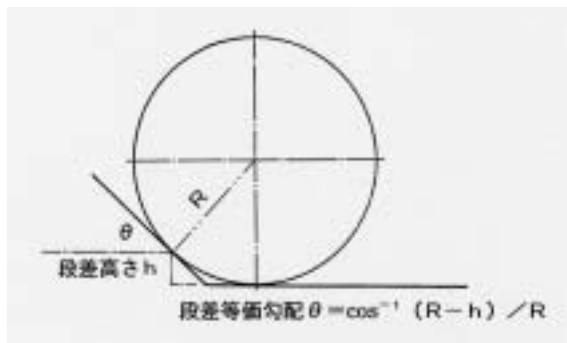


図16 段差等価勾配
Fig.16 The equivalent gradient of level differences

表3 . 等価勾配 (キャストと段差の関係)
Table.3 Equivalent gradient of level differences for casters

高さ	4インチ(度)	5インチ(度)	6インチ(度)
5.5	26.30	23.78	22.07
9	33.83	30.56	28.35
15	44.13	39.78	36.86
21	52.78	47.47	43.93
24	56.74	50.98	47.14
30	64.18	57.52	53.11

図15のキャストにかかる荷重で正規化したものを、段差高さではなく、等価勾配を基準にしたグラフを次に示す(図17)。

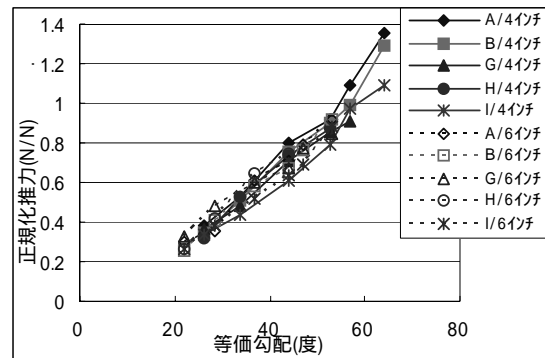


図17. 正規化推力(4、6インチ、等価勾配)
Fig.17 The normalized peak force (4, 6in, the equivalent gradient)

図15に比べると、図17のグラフはかなりまとまりを持ったグラフとなった。段差高さや車軸位置の違いはキャストにかかる荷重で正規化することで、またキャスト径の異なるものは等価勾配という概念を用いて正規化することで、ある程度まとまりのあるグラフが得られ、指標化の可能性があると考えられる。

また、緩和勾配が緩くなるほど、高さによる推力の差は無くなる。緩和勾配15度のグラフにおいては、段差に関係なくほとんど一定の推力を示す。これは表3を見て分かるように、一番小さな等価勾配角度である6インチ・キャスト、高さ5.5mmで22.07度よりも小さな勾配であるからである。つまり、あるキャスト径と段差の等価勾配角度よりも小さな角度のスロープは、通過するために必要な推力を軽減することが出来るということである。また理論上は、段差高さが違ってても等価勾配が同じであれば、同じ推力で通過することができるということである。

3.3.3 検証

前述の二つの正規化に対する考え方より、ばらつきが小さくなったことが分かった。しかし、最大推力と正規化推力とは単位が異なるので、これらのグラフだけでは本当にばらつきが小さくなったのかを判断することは難しい。そこで、分散分析を用いて検証を行う。

図18は5インチ・キャスト(駆動輪車軸位置:前、標準、後)の車いすで直段差を通過したときの最大推力の分散分析の結果を、図19がキャストにかかる荷重で最大推力を除いた正規化推力の分散分析の結果を示している。

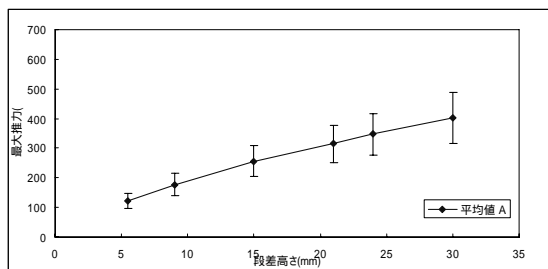


図 18. 最大推力の平均値と標準偏差
(5インチ、直段差)

Fig.18 The average and the standard deviation of the peak force (5in, right angle)

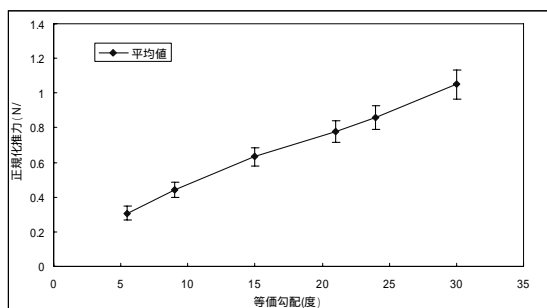


図 19. 正規化推力の平均値と標準偏差
(5インチ、直段差)

Fig.19 The average and the standard deviation of the normalized peak force (5in, right angle)

図18を見ると、最大推力は段差高さが大きくなるほどばらつきが大きいことが分かる。図19の正規化推力の結果は、図18と比較すると、全体にばらつきが少ない。しかし、これら二つのグラフは指標が異なるため、この図だけから単純に判断することは出来ない。

そこで、得られた標準偏差を平均値で除したものを比較することで、実際のばらつきの評価を試みる。その結果、最大推力の平均値は0.20、正規化推力は0.09となった。これより最大推力(図18)より、正規化推力(図19)の方が、ばらつきを抑えることができる。

4 結論

本論文では、段差通過時の推力を、車輪にかかる荷重や荷重配分、車輪径の違いといった条件の違うデータを、統一的にスケール化することを試みている。得られたデータは多少のばらつきが見られたが、分散分析を行い指標化の可能性はあるという結果が得られた。

そこで、今回得られたデータから、ある近似式を

導き出すことの可能性を探る。図20に得られたすべてのデータを正規化推力と、等価勾配角度で示す。

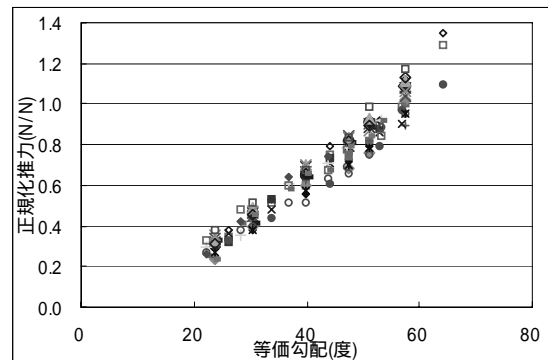


図 20. 等価勾配と正規化推力

Fig.20 Standardization of level differences using the normalized peak forces and equivalent gradients

次に同じデータを分散分析し、単回帰解析の予測値を得た(図21)。4インチ・キャストが段差高さ30mmを越えるときのデータのばらつきはかなり大きくなっている。

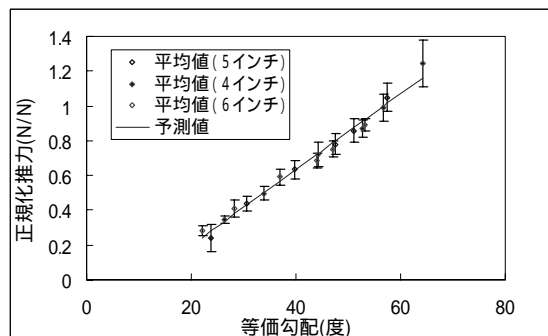


図 21. 等価勾配と正規化推力によるスケール化

Fig.21 Standardization of level differences using normalized peak forces and equivalent gradients

図21のデータを単回帰分析したところ、以下の関数を得た。

$$F = 0.021804X - 0.23772 \quad (2)$$

危険率は1% ($P=3.42 \times 10^{-16}$) である。

この指標を用いると、ある個人の段差通過時に必要な推力を容易に知ることができる。それには、キャスト径と段差高さ、キャストにかかる荷重の計測が必要だが、これらは実験室や実験装置がなくても、身の回りで容易に計測できる。キャストにかかる荷重も、家庭用体重計で簡易に計測することが可能である。このように容易に計測できる段差通過時の推力を、他の設計上必要な寸法を知るための指標とする。

5 考察とまとめ

今回の実験の被験者は10名と少数であったが、段差実験が運動能力を知る指標とできる可能性が認められた。今後被験者を増やして、より精度の高い指標の作成を目指す。

また、この指標を用いて他の設計上の手がかりを得ることが出来るように、その他の設計上必要な寸法等も指標化する必要がある。現在、スロープの実験を進めているが、スロープ実験で得られた指標と、今回の段差の指標との相関関係の解明が今後の課題である。今回の実験の段差高さは最高でも30mmであり、通過に要する時間は非常に短いものであった。しかしスロープの走行に要する時間は長く、操作者の持久力や耐久力といった要素も影響する。同じ勾配であっても、水平距離が違えば(所要時間が長くなれば)必要な推力は異なることも予想される。

また、実験で得られたデータと、被験者の官能評価との整合性も図る必要がある。現在、総合リハビリテーション中央病院の車いす処方を担当する理学療法士と共に、実験を重ねている。

これらの指標が、精度の高いものとして作成できれば、実際の設計現場で利用することができ、利用者に適合した設計を行うことができる。本研究で目指す指標は、ある人に適合したデータを得るためのものであり、不特定多数の利用を想定した施設などで用いるものではない。よって、使用者が限定される住宅の設計を想定している。住宅は、日常生活を送る場所であるので、瞬間的に出せる最大力ではなく、日常的に出せる力、無理のない力としての指標であることが重要な要素であることを基本において、今後の実験を進めていく。

参考文献

- 1) 阪東美智子、米田郁夫、糟谷佐紀、金井謙介：「動作に着目した住宅空間設計のガイドラインに関する研究 - 車いす使用者の操作能力を考慮した住宅整備指針の構築 - 」、福祉のまちづくり工学研究所報告集平成13年度版、pp.124-128、2002
- 2) 阪東美智子、米田郁夫、西岡基夫：「高齢社会対応型住宅のあり方に関する研究(その1) - 車椅子の使用に適した床に関する研究 - 」、福祉のまちづくり工学研究所報告集平成12年度版、pp.124-129、2001
- 3) 阪東美智子、米田郁夫、田中大、西岡基夫ほか：「高齢社会対応型住宅のあり方に関する研究(その1) - 高齢者等の歩行特性に適した床に関する研究 - 」、福祉のまちづくり工学研究所報告集平成11年度版、pp.103-109、2000
- 4) 米田郁夫：「車いすの工学的基礎」、第12回日本リハビリテーション工学協会車いすSIGテキスト、日本リハビリテーション工学協会車いすSIG、pp.17-31、2000
- 5) 建設省住宅局住宅整備課監修：「長寿社会対応住宅設計マニュアル・集合住宅編」、(財)高齢者住宅財団、pp.118、1995
- 6) 糟谷佐紀、米田郁夫、金井謙介、浅和貴ほか：「段差形状が車いすの操作に及ぼす影響」、第17回リハ工学カンファレンス講演論文集、pp.481-484、2002