

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(第三報)—

Guideline of the housing space design for disabled (Part1)

—Construction of a housing design indicator in consideration of
a wheelchair user's operation capability (3)—

糟谷佐紀 米田郁夫 浅和 貴 金 承喜

KASUYA Saki, YONEDA Ikuo, ASAWA Takashi, KIM Seunghee

岡野生也 篠山潤一 山本直樹 安田孝司 馬場琴子(兵庫県立総合リハビリテーションセンター)

OKANO Ikuya, SASAYAMA Junichi, YASUDA Takashi, BABA Kotoko

(Hyogo Prefectural Rehabilitation Center)

阪東美智子(国立保健科学院健康衛生部)

BANDO Michiko (National Institute of Public Health)

末田 統(徳島大学大学院エコシステム工学科) 奥 英久(岡山理科大学工学部福祉システム工学科)

SUEDA Osamu (Tokushima University) OKU Hidehisa (Okayama University of science)

キーワード:

空間整備指針、車いす、段差、スロープ、
操作能力、指標、評価基準

Keywords:

guideline of building/housing design,
wheelchair, level, slope, operation capability,
measurement, criterion

Abstract:

Many guideline of building/housing design are defined to be guidelines of facilities for the general public. They are not guidelines of housing for a specific person.

In this research, it aims at the construction of the system that easily finds the measurement of housing design for a wheelchair user. In our research of last year, we constructed new criterion that easily finds the maximum propelling power of the wheelchair users in negotiating level.

In this research, we constructed the system that easily finds the appropriate gradient of the slope for a wheelchair user using this criterion.

1 はじめに

多くのマニュアルに記載されている設計基準は、不特定多数の利用を目的とする施設等の基準であり、個人が利用する住宅の指標として利用するには問題がある。なぜならそれは、個人の運動能力や機器の操作能力を考慮に入れた基準ではないからである。

本研究の目的は、特殊な実験装置を用いることなく、自操用車いす使用者に適合した住環境における寸法や勾配等を導き出す指標の構築である。

一昨年の研究では、素材の異なる床材上で、速度や旋回半径が車いす操作負担に及ぼす影響を明らかにした¹⁾。昨年度の研究では、段差通過時における、段差高さとキャスターの関係と推力による指標を構築し、それにより車いす操作能力の推定が可能であることを明らかにした²⁾。

今回は、住環境整備において段差解消の有効な手段として用いることの多いスロープにおいて走行実験を行い、勾配や速度がスロープ走行に及ぼす影響を明らかにした。また、昨年度の段差の指標³⁾を用いて、車いす利用者に適合したスロープ勾配を推定できるシステムを構築した。

2 研究のながれ

スロープ走行実験

実験により、勾配、乗車者や車いすの荷重、速度等が走行に及ぼす影響を明らかにする。

段差実験による指標

昨年の研究結果に今回の実験データを加え、新たな段差の指標を示す。

頸髄損傷者のスロープ、段差実験

日常で車いすを使用する頸髄損傷者を被験者に、段差とスロープの実験を行い、データを収集する。

スロープ適正勾配推定システム

の段差の指標を用いて個人の最大推力を推定し、「スロープ勾配判定値」を求める。これにより適正な勾配を決定するシステムを構築する。

3 スロープに関する現行の法的基準

スロープと段差に関する法的基準の主なものを、表1に掲げる。長寿社会対応住宅設計指針⁶⁾には、勾配1/12のスロープは「加齢に伴う車いすを使用する高齢者にとって、独力での昇降は困難である。ここでは、主に介助用車いすによる昇降を主眼においている」とあり、勾配1/15のスロープについては「自立用車いすによる独力での昇降が可能な勾配」と具体的に記述されている。しかし、その他の法や条例では数値のみが記され、それを決めた根拠は書かれていない。

表1 スロープと段差の法的基準

Table1 Legal standards of slope and level

法・条例など	基準値	スロープ	基準値	段差
建築基準法 ⁴⁾	1/8	・階段に代わる傾斜路		
ハートビル法 ⁵⁾	1/12 1/15	(高低差が16cm以下の場合は1/8) ・屋外の誘導基準		車いす使用者が通過する際に支障となる段を設けない
長寿社会対応住宅設計指針 ⁶⁾	1/12	・(自操車いすの場合は1/15以下) 緩和勾配として高低差120mmの場合は1/5、80mmで1/4、60mmで1/3	3mm 5mm 20mm	段差なしとみなす限界値 くつずりと玄関土間の段差 くつずりと玄関外側の段差 浴室入り口の段差
交通バリアフリー法 ⁷⁾	5% (1/20)	・やむをえない場合8%(約1/12)	20mm	歩道と車道の段差
福祉のまちづくり条例(兵庫県) ⁸⁾	1/12 1/15	(高低差100mm未満なら1/8以下でも可) 高さ75cm以内に踏幅150cm以上の踊り場 ・望ましい基準 (高低差100mm未満なら1/8以下でも可)	3mm 5mm 20mm	段差なしとみなす限界値 くつずりと玄関土間の段差 くつずりと玄関外側の段差 浴室入り口の段差

4 スロープ走行実験の概要

4.1 実験装置と被験者

4.1.1 試験用スロープ(図1)

実験室内に設置した勾配可変スロープ(斜面長さ3,000mm、幅900mm)を用いた。この装置は任意の勾配に設定することができるが、今回の実験でのスロープ勾配は、前述した法的基準を参考に表2の6種類とした。

なお走行路面には滑り防止のために、摩擦係数の高い防滑シート^{注)}を貼った。

注) 住友スリーエム;セーフティ・ウォーク・タイプB

動摩擦係数;1.1(MIL-D-17951-EIによる、ゴム・乾燥時)

表2 勾配データ

Table2 Data of inclination of slope

	勾配		高さ (mm)
	%	角度	
1/20	5.0	2.86	149.7
1/15	6.67	3.81	199.3
1/12	8.33	4.76	249.0
1/10	10.0	5.71	298.5
1/8	12.5	7.13	372.4
1/6	16.67	9.46	493.1



図1 勾配可変試験スロープ
Fig.1 Slope track for test running

4.1.2 計測用車いす (図2)

実験で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・エンコーダを装備し、ハンドリムに加えらる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A/D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。概要を以下に示す。

- 重量：245N
- 駆動輪呼び径：24インチ (600mm)
- キャスター呼び径：5インチ (130mm)
- 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
 - ホイールベース：460mm
 - 駆動輪取り付け位置：バックサポート直下より40mm前方へ



図2 計測用車いす
Fig.2 Wheelchair of measurement

図3にスロープ走行時データの一例を示す。横軸を時間(sec)、縦軸を推力(N)と累積力積(N・s)とし、左右それぞれの推力と累積力積、左右の総推力を示す。波形の一つがハンドリムの一漕ぎを示す。

本研究ではキャスター、駆動輪が共にスロープ上にある状態を「スロープ走行時」と定義する。すべてのデータにおいて、一漕ぎ目で両輪ともにスロープ上に乗っていたため、最初と最後の一漕ぎ分のデータを除いて分析した。また、本研究における最大推力とは、それぞれの波形における頂点の推力を指し、これも最初と最後の一漕ぎを除いたものの平均値を取る。

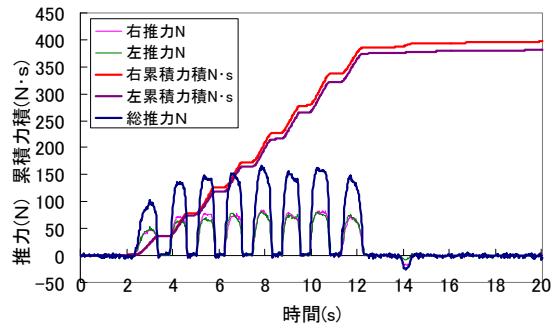


図3 スロープ通過実験のデータの一例
Fig.3 Example of data of driving a wheelchair

4.1.3 被験者 (表3)

今回の実験では、体格や性別、年齢の異なる7名の健常者のデータを収集・分析した。表の右欄の「キャスター/駆動輪」は、被験者が車いすに乗車した状態で計測したキャスターと駆動輪それぞれにかかる荷重(N)を示す。

表3 被験者データ

Table3 Date of subjects

被験者	性別	年齢	キャスター/駆動輪(N)
A	男性	55	238.87/631.27
B	女性	34	189.53/545.63
C	男性	31	271.74/715.93
D	男性	21	288.90/539.84
E	女性	30	209.44/524.34
F	男性	40	274.19/628.82
G	女性	25	180.01/523.85

4.2 実験方法

スロープ勾配を表2の6種類に変えて各条件下で7回試行し、データを収集した。被験者はまずスロープ下部の水平部分で車いすを静止させ、助走をつけずにスロープを走行する(図4)。ハンドリム把持位置や姿勢などは被験者の任意とし、特に指定しなかった。また被験者には、7回の試行を異なる任意の速度で走行するよう指示した。



図4 スロープ実験風景
Fig.4 Scene of experiment of slope

4.3 実験結果

実験の結果を図5に示す。横軸は勾配(%)、縦軸は負担率($N \cdot s/m$)とし、運動量($N \cdot s$)を移動斜面距離(m)で除したものである。以後、本研究では負担率を用いる。

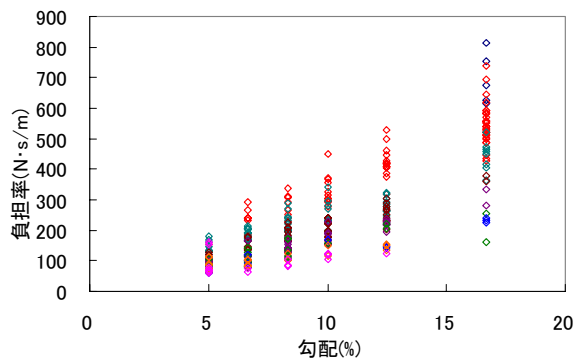


図5 勾配と負担率
Fig.5 Slope and momentum needed for running 1m

グラフのばらつきは、走行速度によるものであり、横軸を平均速度(m/s)、縦軸を負担率($N \cdot s/m$)としたものを図6に示す。

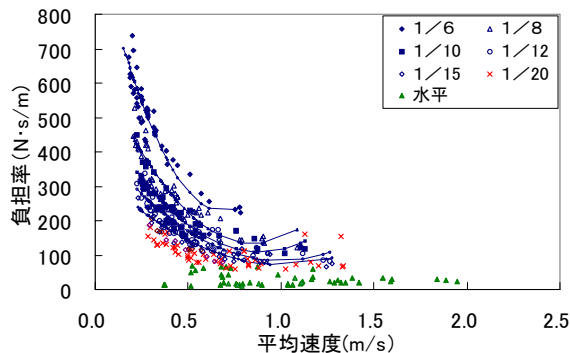


図6 速度と負担率
Fig.6 Speed and momentum needed for running 1m

同じ勾配のデータでは、速度が大きいほど負担率は小さいことがわかる。この傾向は各勾配で見られるが、勾配が緩くなるとその差は小さく、水平走行では速度と無関係であることがわかる。

これより、同じ勾配でも速い駆動が可能であれば、負担は小さくなることがわかる。しかし勾配が急な場合や推力が小さい場合は、駆動速度を上げることは難しく、負担の軽減ははかれない。これに関しては米田の研究に詳しい¹⁹⁾。

5 段差による指標

昨年度の研究では、段差を用いた簡単な計測から車いす使用者の運動能力を知ることのできる指標を構築した²⁾³⁾。指標の概要を、スロープ実験の被験者(健常者7名)の段差通過実験の概要とともに以下に説明する。昨年度と同様の実験を行い、このデータを合わせて改めて指標とした。

5.1 段差通過実験の概要

実験室内に図7のような実験装置を設置し、6種類の段差高さを用意した(5.5, 9, 15, 21, 24, 30mm)、使用した計測用車いすは、スロープ実験と同じものだが、スロープ実験時より駆動輪を40mm後方(バックサポート直下)とし、座面高は15mm上げた。これは、昨年度の段差通過実験と同じ条件とするためである。これを用いて各条件下で5回試行し、データ収集を行った。

被験者は段差の手前で車いすを静止し、進行方向に合わせたキャスターを段差と直角にして助走をつけずに通過する。この時、被験者にはバックサポートに背中をつけ、顔は正面を向いた状態を保持するように指示した。駆動輪も同様にキャスター通過後、段差の前で一度静止させてから、同じ姿勢を保ち、段差を通過した。



図7 段差実験風景
Fig.7 Scene of experiment of difference

5.2 段差等価勾配

段差と車いすの関係を「段差等価勾配」¹⁰⁾で表す。段差等価勾配とは、車輪の半径をR、段差高さをhとしたとき、車いすが段差を越える瞬間に勾配の(仮想的な)斜面が立ちはだかっているものとして、段差を斜面上に置き換えたものである(図8)。これを数式で表すと、段差等価勾配は、式(1)のように表すことができる。

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

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8 段差等価勾配

Fig.8 Equivalent gradient of step

5.3 段差による指標

実験より得られた段差通過時の最大推力をキャストにかかる荷重Mc(被験者乗車時に測定)で除して正規化をはかった。昨年度のデータと合わせたもの(述べ15名)を図9に示す。グラフの横軸は段差等価勾配(°)、縦軸は正規化推力(N/N)を示す。

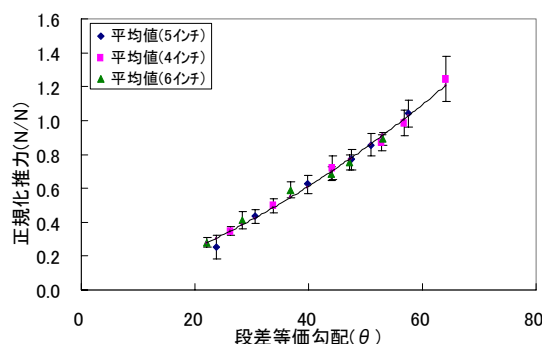


図9 段差通過実験の結果

Fig.9 Result of experiment of level

これを多項式回帰分析し式(2)を得、これを新たな指標とする。

$$F_{正} = 0.000143 \theta^2 + 0.009755 \theta - 0.00705 \quad (2)$$

(P値 = 2.05×10^{-16} 、22.07、64.18)

これより車いす使用者は、使用する車いすのキャスト径(R)、通過した段差高さ(h)、キャストにかかる荷重(Mc)と車いすを含む全重量(Mg)がわかれば、これらの計算式を用いてその人の出せる最大推力を知ることができる。

6 車いす使用者の実験概要

ここまでの実験は、指標作成のため姿勢を保持するという条件設定を遵守できる健常者を被験者として行ってきた。しかし、この指標が実際車いすを使用している人にとって有用であるのか検証する必要がある。そこで頸髄損傷者5名を被験者として同様の段差通過とスロープ走行実験を行い、データ収集を行った。

6.1 実験装置と被験者

6.1.1 処方用計測用車いす(図10)

今回用いた車いすは、健常者を被験者とした実験と同じ計測機器と車輪だが、頸髄損傷者の座位姿勢に合わせるため、車体を処方用車いす(日進医療器株式会社製・採形用車いす)とし、理学療法士が移乗とフィッティングを行った。

フィッティングは、バックサポートの上端が肩甲骨下角(下端)より5cm下、またフットサポート高は下腿長の高さ、膝関節屈曲角度が90度となるように設定した。本実験は共同研究者の肘屈曲角度が駆動動作に及ぼす影響に関する研究¹¹⁾¹²⁾のデータも同時に収集している。そこで、ハンドリム頂点に手掌を置いた時の肘屈曲角度を70, 90, 100度(被験者aのみ110度)となるように、車いすクッションの下にウレタンマットを敷いて高さ調節を行った。以下に、車いすの概要を記す。

重量：290N

車体フレーム：

固定式(折りたたみ不可) 座幅400mm

ホイールベース：400mm

駆動輪取り付け位置：バックサポート直下より40mm前方へ



図10 処方用計測用車いす
Fig.10 Prescriptive of Wheelchair

6.1.2 被験者(表4)

被験者は、肘伸展筋力を有さない頸髄損傷の男性5名である(表4)。5名だが肘屈曲角度を変えて同じ実験を行い、後に示すが屈曲角が操作に及ぼす影響は大きく、別データとして扱えるため述べ12名のデータとして用いる。

表4 被験者データ¹

Table4 Data of subjects(cervical cord injury)

被験者	性	年	肘角(度)	キャスト-駆動輪(N)
a(C6)	男	28	90,110	189.53/634.51 ²
b(C6b)	男	21	70,90,100	160.39/535.63
c(C5)	男	33	100	170.69/548.87
d(C6b)	男	20	70,90,100	191.05/561.87
e(C6b)	男	17	70,90,100	159.17/626.37

1.被験者の横の()内は、残存機能レベル(Zancoll IIの分類)を表す。

2.被験者aは全荷重しか計測できなかったため、他の被験者の荷重バランス平均(キャスト-駆動輪=0.23/0.77)より計算した数値を示している。

6.2 実験方法

被験者の体力を考え、スロープ、段差ともに1試行のみとした。それぞれ勾配の緩い方、段差の小さい方から試行し、走行、通過不可となった時点で実験を終了した。実験装置は健常者の実験と同じものを用いている。

6.3 実験結果

頸髄損傷者の実験結果のスロープ走行を表5に、段差通過を表6に示す。表5の「 」と「 」(横に数値のないもの)は、実験装置の斜面距離3mを最後まで走行したことを示す。横に数値のある「 」はその数値の漕ぎ数までは走行したがそれ以降は逆走したことを、「x」は上れなかった、もしくは試行しなかったことを示す。

表5 スロープ走行実験の結果

Table5 Result of experiment of slope

被験者	スロープ走行実験の結果				
	1/20	1/15	1/12	1/10	1/8
a-90			6	x	x
a-110				3	x
b-70			8	x	x
b-90			9	x	x
b-100			6	x	x
c-100	2	x	x	x	x
d-70	4	x	x	x	x
d-90		5	x	x	x
d-100		5	x	x	x
e-70			5	x	x
e-90			6	6	x
e-100				8	3

記号は官能評価を示す。

;楽、 ;少し苦しい、 ;苦しい

(注) 横の数字は逆走せずに前進した駆動回数

表6 段差通過実験の結果

Table6 Result of experiment of level

被験者	段差通過実験の結果					
	5.5	9	15	21	24	30
a-90					b	x
a-110					b	x
b-70			f	x	x	x
b-90				x	x	x
b-100				x	x	x
c-100	x	x	x	x	x	x
d-70	x	x	x	x	x	x
d-90	x	x	x	x	x	x
d-100			x	x	x	x
e-70				f	f	x
e-90				f	x	x
e-100				x	x	x

記号は官能評価を示す。

;楽、 ;少し苦しい、 ;苦しい

の横はf:キャストのみ、b:駆動輪のみ通過したことを示す(駆動輪のみとは、キャストを通過させた状態にしてから駆動輪のみだけの試行を表す)

表6中の記号の中で、太字になっているものは、後に最大推力を推定する時に用いる、被験者が通過できた段差高さである。6.4で説明するが、駆動輪が通過できなくてもキャストのみ通過できた段差を用いることとする。

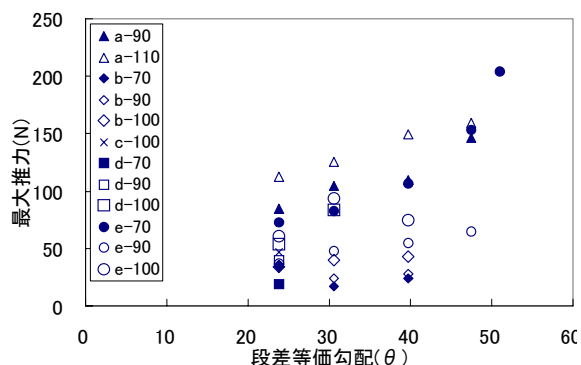


図 11 段差通過時(キャスター)の最大推力
Fig.11 Maximum thrust of driving in negotiating

段差通過実験のグラフを図11に、スロープ走行実験のグラフを図12に示す。図11の横軸は段差等価勾配(θ)、縦軸は最大推力(N)を示し、図12の横軸はスロープ勾配(%), 縦軸は負担率(N/m)を示す。

このグラフから、同じ被験者でも肘角が違ると、推力が大きく違うことが分かった。例えば、被験者dは肘角70度では、高さ5.5mmの段差しか通過できなかったが、肘角100度になるとキャスターのみだが9mmの段差を越えることができた。理学療法士の技術が必要であるが、適合した車いすの処方は、とても重要であると言える。

6.4 キャスターか駆動輪か

共同研究者の理学療法士から、車いす使用者は段差通過時には、前傾姿勢や頭部を前後に異動して重心の位置を変えながら、キャスターを浮かしてまたいでしまうことが多いので、本実験のような条件設定は現実的ではない。キャスター通過時より駆動輪通過時のデータの方が、実際に近いのではないかと提案があった。

そこで、段差の指標にはキャスター、駆動輪どちらのデータが有効であるかを検証することとする。まず、前述のキャスター通過時の段差の指標と同様に、駆動輪通過時の最大推力を、駆動輪にかかる荷重で除して正規化した。また全荷重でも同様に正規化した。これらすべてを示したものが図13である。

駆動輪にかかる荷重で正規化したデータは、キャスター荷重のそれより、少し大きな値を示す。これは、駆動輪にかかる荷重の計測を水平面で行っているためと考える。実際には駆動輪通過時にキャスターは段差の上であり、水平面で計測した駆動輪にかかる荷重より大きくなるはずである。これを被験者A、Bについて計測したのが図14である。キャスターを6種類の段差高さに乗せ、駆動輪にかかる荷重

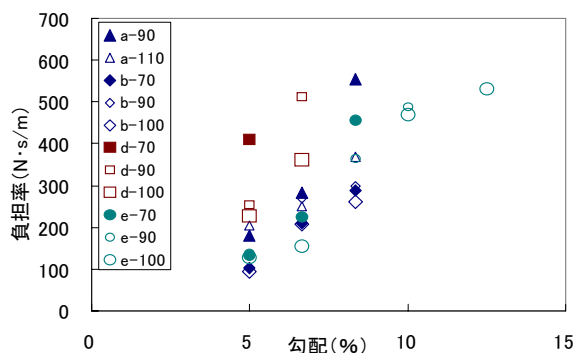


図 12 スロープ勾配と負担率
Fig.12 Momentum needed for running 1m and slope (cervical cord injury)

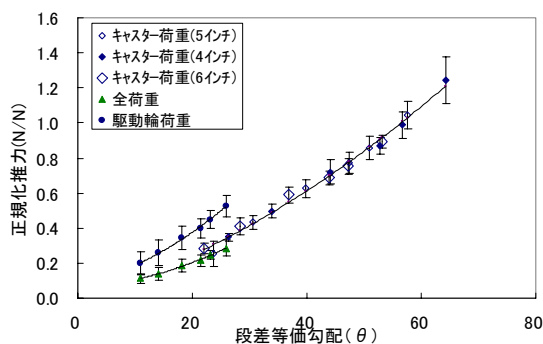


図 13 段差等価勾配と正規化推力による指標
Fig.13 Standardization of maximum thrust of driving in negotiating level

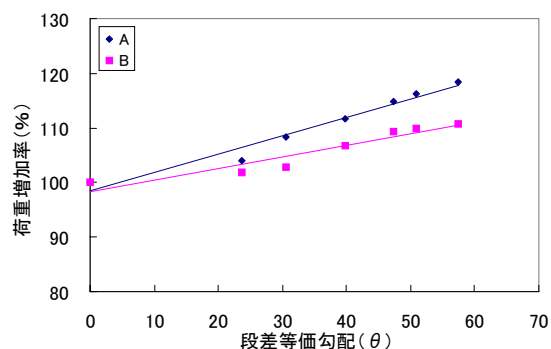
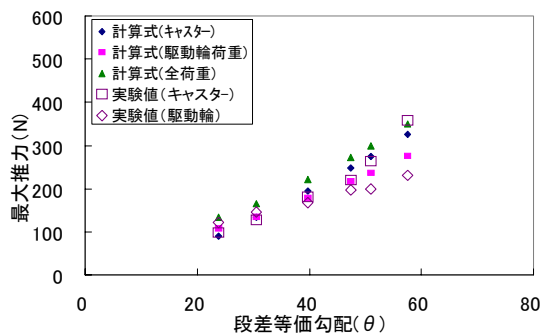


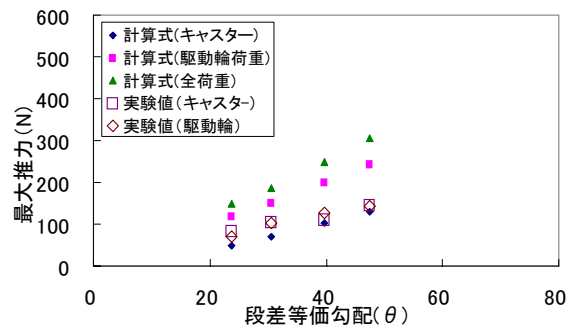
図 14 荷重増加率
Fig.14 Increase rate of load

を計測し、水平面での計測値を基準値としたときの増加率を示す。個人差はあるが、被験者A、Bともに増加している。図13のグラフの駆動輪とキャスターのデータのずれは、これが影響していると考えられる。

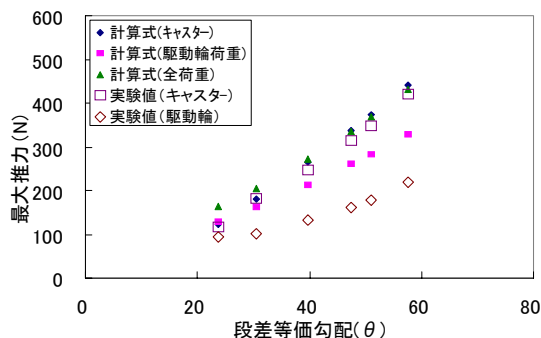
この影響を考慮すれば、駆動輪データもキャスター同様、指標として用いる可能性はある。そこで、計算値と実験値の比較を行い検証した。



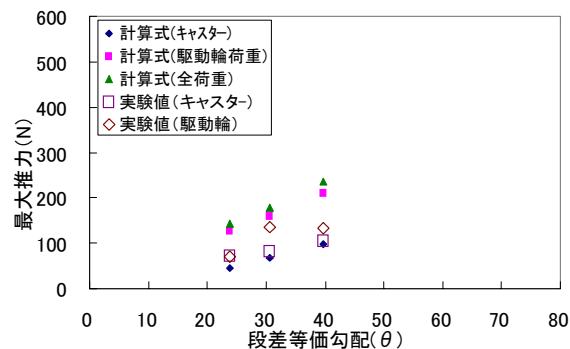
(a) 被験者 E (subject E)



(c) 被験者 a-90 (subject a-90)



(b) 被験者 F (subject F)



(d) 被験者 e-70 (subject e-70)

図 15 計算値と実験値の比較(段差通過実験)

Fig.15 Comparison between calculation and experiment value in negotiating level

図15は(a)(b)は健常者E、Fの、(c)(d)は頸髄損傷者a-90、e-70のデータであり、グラフの横軸は段差高さ (mm)、縦軸は最大推力 (N) を示す。

段差の指標は健常者の実験値をもとに作成したものであるため、図15、16の健常者データの实验値と計算値が近いのは当然の結果である。図15の被験者Lは女性で図16の男性のデータと異なり、キャストと駆動輪の实验値にあまり差は無いことがわかる。これは、頸髄損傷者のデータ(図17、18)にも同じことが言える。实验値はキャスト、駆動輪ともに、キャストにかかる荷重から計算した計算値に最も近く、指標には駆動輪データよりも、キャストデータを用いる方がよいことが分かった。今後、段差の指標としては、5.3で求めたキャストの段差通過時の指標を用いることとする。

7 スロープ適正勾配推定システムの構築

7.1 車いす操作能力の推定

これまでのデータをもとに、車いす使用者の運動能力、操作能力を知り、適正なスロープ勾配を求めシステムの構築を図る。

まずは、次の3つを計測する。

使用する車いすのキャスト径 : R
 通過した段差高さ(少し苦しい) : h
 キャスターにかかる荷重 : M_c 、全重量 : M_g

次にこの、を式(1)に代入して段差等価勾配を求め、これを式(2)に代入して正規化推力 $F_{正}$ を求める。

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

$$F_{正} = 0.000143 \theta^2 + 0.00975 \theta - 0.00705 \quad (2)$$

求めた $F_{正}$ に、キャストにかかる荷重 M_c を乗じて最大推力 F_{max} を求める。以下に手順を示す。

「最大推力 F_{max} の算出方法」

(被験者 a-90 のデータを使用した場合)

- (1) キャスター径 130mm と 通過可能な段差高さ 21mm (官能評価は「少し苦しい」) を式(1)に代入、段差等価勾配 $\theta = 47.40$ を求める。
- (2) 段差等価勾配 θ を式(2)に代入、正規化推力 $F_{正} = 0.78$ を得る。
- (3) 正規化推力 $F_{正}$ に、キャストにかかる荷重 M_c を乗じて $F_{max} = 130.90N$ を求める。

7.2 スロープ勾配判定値

スロープ走行は段差と異なり、車いすがスロープ上にある状態において登坂抵抗と転がり抵抗に抗するための最低限の推力がなくてはならない。この登坂抵抗とは車いすと乗車者の全重量の斜面に平行な分力であり、転がり抵抗にはタイヤが転動する際に生ずる進行に役立たないエネルギーロスを含め、路面の摩擦力などが含まれる¹³⁾。まず、スロープ上で静止するためには登坂抵抗に抗する力が必要で、スロープ上を前進するためにはさらに転がり抵抗を上積みした推力を出すことができないと、スロープ上を前進することは難しい¹⁴⁾。転がり抵抗はタイヤの変形など複雑な要素を含むので、ここでは登坂抵抗を最大推力と比較するモデル値とする（図16における $Mg \cdot \sin$ ）。

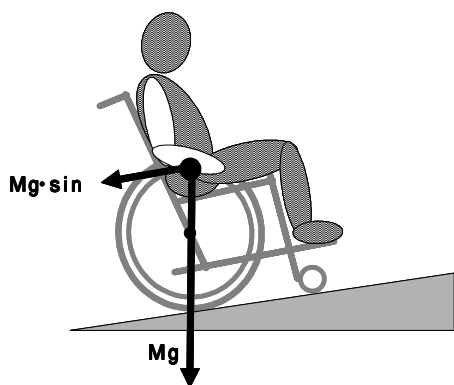


図16 スロープ上での重力成分
Fig.16 Gravity element on slope

図17、18、19のグラフは、各被験者（Aのスロープ走行時のものであるが、横軸と平行に、その勾配における登坂抵抗 $Mg \cdot \sin$ を示したものである。横軸は時間（s） 縦軸は推力（N）を示す。

図17は、被験者A（健常者）が勾配1/20のスロープを走行したときのグラフであり、かなり余裕を持って走行したものである。最大推力が登坂抵抗をはるかに上回っている。

図18は被験者G（健常者）が勾配1/6のスロープを走行したときのグラフである。何とか斜面距離3mを完走したが操作に余裕はなく、官能評価でも「かなり苦しい」と答えている。

図19は被験者b-70が勾配1/12のスロープを走行したときのグラフである。3 漕ぎ目あたりから、次の操作のためにハンドリムに戻す手が間に合わなため、次のサイクルはわずかな回転しかできなくなり、少ししか前進できない。8 漕ぎ目で逆走し始め、その時点で斜面距離で1.02m（鉛直高さ：84.6 mm）であった。

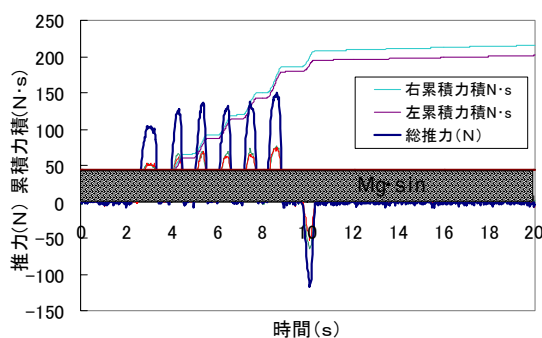


図17 無理なく走行(1/20：被験者A)
Fig.17 Affordable driving (subject A)

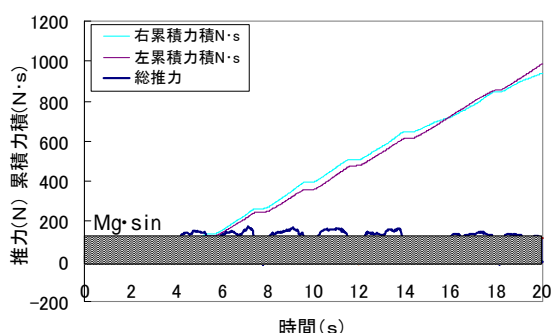


図18 負担は大きい走行 (1/6：被験者G)
Fig.18 Rough driving (subject G)

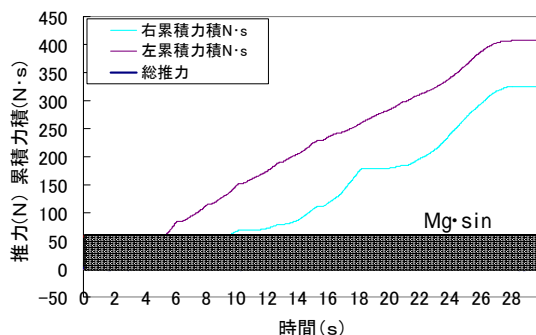


図19 走行不可(1/12：被験者b-70)
Fig. 19 Failure driving (subject b-70)

これらのグラフから、各ストロークの最大推力が、登坂抵抗 ($Mg \cdot \sin$) に達することを最低条件として、さらに最大推力が登坂抵抗よりどれだけ大きいか、スロープ走行の可否、また楽に走行できるかの指標となるのではないかと考えた。

そこで、最大推力を登坂抵抗 ($Mg \cdot \sin$) で除した値を評価値として「スロープ勾配判定値(d)」と呼ぶ。

$$d = F_{\max}(\text{最大推力}) / Mg \cdot \sin \quad (3)$$

これにより各勾配におけるスロープ勾配判定値を計算し、実験結果から走行できた場合を「○」、苦しいながら走行した、途中まで走行したものを「△」、走行不可を「×」をグラフに示した(図20)。

グラフでわかるように、グラフ左側(緩勾配)で高いスロープ勾配判定値(d)を示し「○」となっているものは健常者のデータであり、グラフ右側(急勾配)で「×」を示しているものは脊髄損傷者のデータである。dが1.8より小さな値では、ほとんどが走行不可、逆にdが3.2以上の時は、ほとんどが走行可能となっている。この間は、斜面距離3mの途中で前進が不可能となったか、完走したが苦しいと答えたものである。

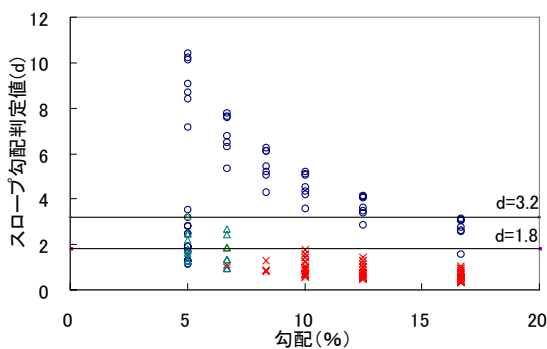


図 20 スロープ勾配判定値

Fig.20 Decision of the gradient of slope

以上の結果より、スロープ勾配判定値(d)を以下のように定義した。

表 7. スロープ勾配判定値

Table.7 Decision of the gradient of slope

d 値	スロープ走行状態
3.2 d	無理なく走行できる
1.8 < d < 3.2	走行可能(負担大) もしくは斜面距離1.5m程度の走行
d 1.8	走行不可

7.3 適正スロープ勾配

これから、7.1で求めた最大推力 F_{max} を式(3)' に代入し適正スロープ角度 θ を求める。

$$d = F_{max}(\text{最大推力}) / Mg \cdot \sin \theta \quad (3)$$

$$\theta = \sin^{-1}(F_{max} / Mg \cdot d) \quad (3)'$$

次に、適正スロープ角度 θ を式(4)に代入し、勾配(1/水平距離)を求める。

$$\text{スロープ勾配} = 1 / \tan \theta \quad (4)$$

ここで、先に求めた $F_{max}=130.90N$ を用いて、適正勾配を求める手順を以下に示す。

ここで得られた勾配より、楽にスロープを上る勾配(「推奨値」という)は1/20、走行不可な勾配(「限界値」という)は1/11であることから、これを参考に設置環境の条件に応じて勾配を決定すればよい。

「スロープ勾配の算出方法」

(被験者a-90のデータを使用した場合)

(4)先に求めた F_{max} と計測した Mg と、無理なく上れる判定値 $d = 3.2$ と、走行不可である判定値 $d = 1.8$ を、式(3)' に代入し $\theta = 2.89^\circ$ と $\theta = 5.14^\circ$ を求める。

(5)これらを式(4)に代入し、無理なく上る勾配 1/19.8 と、走行不可である勾配 1/11.1 を得る。

他の被験者のデータも同じように算出したところ、段差実験から得た適正勾配とスロープ走行実験による実際に上ることのできた勾配とは、かなり近い値になった。結果を表8に示す。

ここで段差等価勾配を算出するのに入力した通過できる段差高さは、「少し苦しい」と答えたが通過できたもの、キャスターだけでも通過できた段差高さ(表6の太字の記号)である。

表中の上段は式(1)から(4)を用いて計算した計算値、下段はスロープ走行実験の結果を示している。上段矢印の右側の数値「限界値」は、負担は大きいけど何とか走行できる勾配であり、左側の数値「推奨値」は、無理なく走行できる勾配を示している。

このシステムを実際の住環境整備の中で利用する場合、スロープ設置場所の条件が大きく影響する。設置場所の水平距離に余裕がある場合は、推奨値を採用する。しかし住宅の立地条件から水平距離に制約がある場合もある。そのような場合は、与条件の許す限りの水平距離の中で、限界値を超えないことができる限り緩い勾配とする。このように本システムは、スロープ設置の際の勾配決定の参考データとして使用することが可能である。

表8 スロープ走行の計算結果と実験値の比較
Table8 Comparison between calculation result and experiment value of slope running

被験者		スロープ走行実験の計算値 ^(上段) と結果 ^(下段)				
		1/20	1/15	1/12	1/10	1/8
a-90	計	1/20 ←→ 1/11				
	実			6	x	x
a-110	計	1/20 ←→ 1/11				
	実				3	x
b-70	計	1/23 ←→ 1/13				
	実			8	x	x
b-90	計	1/23 ←→ 1/13				
	実			9	x	x
b-100	計	1/23 ←→ 1/13				
	実			6	x	x
c-100	計	→ 1/24				
	実	2	x	x	x	x
d-70	計	→ 1/22				
	実	4	x	x	x	x
d-90	計	→ 1/22				
	実		5	x	x	x
d-100	計	1/29 ←→ 1/16				
	実		5	x	x	x
e-70	計	1/18 ←→ 1/10				
	実			5	x	
e-90	計	1/20 ←→ 1/11				
	実			6	6	x
e-100	計	1/26 ←→ 1/14				
	実				8	3

1. 上段に計算値、下段に実験値を示す。
2. 記号は官能評価を示す。
; 楽、 ; 少し苦しい、 ; 苦しい
(注) 横の数字は逆走せずに前進した駆動回数

8 考察とまとめ

本研究では、簡単な計測から車いす使用者のスロープ走行の適正勾配を割り出すシステムの構築を行い、それが実験値に近い値であることを証明した。今回は被験者は、日常使用している車いすではなく、計測用車いすに移乗して実験を行ってもらった。今後、車いす使用者に日常使用している車いすで段差実験とスロープ走行実験を行ってもらう実験を行う計画をしている。計測用車いすのような計測機器を装備することができないため、推力の計測は不可能であるが、本研究のシステムを用いて、実際に通過

した段差と走行したスロープ勾配とを照合することで、検証を行う予定である。さらに一昨年に行った床材の違いによる走行抵抗データを、本システムに組み込むことで、住環境整備における総合システムの構築を進めていく予定である。

謝辞

本研究に被験者として協力いただいた、身体障害者更生施設自立生活訓練センターの入所者の皆様に心より感謝いたします。

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(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 -」, 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) 糟谷佐紀、米田郁夫、阪東美智子ほか：「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) -」, 福祉のまちづくり工学研究所報告集平成14年度版、pp.119-126、2003
- 3) 糟谷佐紀、米田郁夫、他3名：「段差通過時の手動車いす駆動力に関する指標化」, 第3回福祉工学シンポジウム講演論文集、pp.25-28、2003
- 4) 「建築基準法施行令」, 第二十六条、1950
- 5) 「基本建築基準法関係法令集2003年版・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関係告示」, 第一の二の(五)口、1996
- 6) 建設省(現国土交通省) 住宅整備課、財団法人 高齢者住宅財団発行、「長寿社会対応住宅設計マニュアル」, 戸建住宅編pp.71、集合住宅編pp.118、1997
- 7) 国土交通省 道路局企画課監修、財団法人 国土技術研究センター編集・発行：「道路の移動円滑化整備ガイドライン」, 大成出版社、pp.36-43、2003
- 8) 兵庫県：「福祉のまちづくり条例 施設整備マニュアル」, pp.12-13、74、1994、2002
- 9) 米田郁夫、糟谷佐紀、他3名：「縦断勾配が手動車いすの走行操作に及ぼす影響の定量的評価」, 第3回福祉工学シンポジウム講演論文集、pp.47-50、2003
- 10) 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
- 11) 山本直樹、岡野生也、篠山潤一、他10名：「車いす座面角度と背もたれ角度の関係が脊髄損傷者の座位姿勢や駆動動作に及ぼす影響について」, 第16回リハ工学カンファレンス講演論文集、pp.545-548、2001

- 12) 馬場琴子、岡野生也、米田郁夫、糟谷佐紀、他 5 名 : 「車いす駆動トルクからみた車いすの駆動特性」、第43回近畿理学療法学会抄録集、pp.40、2003
- 13) 財団法人 自転車産業振興協会 : 「自転車実用便覧」、奥村印刷株式会社、pp.149-157、1982
- 14) 小林博光、松尾清美、他 5 名 : 「車いすの坂道での駆動に関する力学的モデル」、第 2 回福祉工学シンポジウム講演論文集、pp.193-195、2002
- 15) Rory.A.Cooper 著、田中 理、大鍋寿一監修 : 「車いすのヒューマンデザイン」、医学書院、2000