
各種環境バリアが車いす使用者に強いる負担量の 評価法およびバリア走破装置の開発に関する研究 (続報)

Study on Evaluating Influences of Barriers and Developing Usable Devices to Negotiate the Barriers for the Manual Wheelchairs

米田郁夫 北川博巳 室崎千重 神吉優美
YONEDA Ikuo, KITAGAWA Hiroshi, MUROSAKI Chie, KANKI Yumi
永吉雅人 谷内久美子
NAGAYOSHI Masato, TANIUCHI Kumiko
糟谷佐紀 (神戸学院大学総合リハビリテーション学部)
KASUYA Saki (Kobe Gakuin University)

キーワード:

手動車いす、バリア走破、定量的評価、開発

Keywords:

Manual wheelchair, Quantitative evaluation of negotiating barriers, Development of devices

Abstract:

It seems that there is actually very little possibility to clear all the level difference and gap complexes between platforms and trains. This paper concentrates the issue on negotiating the level difference and gap complexes by the manual wheelchairs. In this study, simulated platform and train floor were constructed at which level difference and gap can be changed.

Using the simulated platform and train floor, 15 wheelchair users and a normal person riding the experimental wheelchair performed trials to pass through various level difference and gap complexes.

In result, a scale that indicates the relation between driving ability of wheelchair users and size of level difference and gap complex that they can negotiate could be prepared. And, effectual device that can assist the wheelchair users to negotiate level difference and gap complexes was contrived.

And, it became clear that driving force could be reduced in negotiating level difference and gap complexes using the trial device we designed.

1 はじめに

移動は日常生活の基盤となる動作である。したがって、歩行機能が低下あるいは喪失した人たちにとって、歩行に代わる日常的な移動機能を確保するうえで、車いすは非常に重要な役割を担う用具である。言うまでもなく、車いすは車輪を用いた用具である。そのため、それによる移動を安全かつ負担のないものにするためには、車いすの機能を良くするだけでなく、使用環境を整備することも重要となる。

近年、各都道府県では福祉のまちづくり条例が制定され、また法律として1994年に「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」(通称:ハートビル法)が制定されたことにより、まちの環境整備はかなり進みつつある。しかしながら、車いすにとっての環境的バリアがまったくなくなることは現実にはありえない。

こうしたことから、本研究は、いろいろな環境バリアが車いす使用者にどの程度の負担を強いるのかを定量的に把握する一方で、車いすがバリアをより通り抜けやすくする機構を模索することを目的に設定した。

昨年度は、手動車いすで横断勾配路面を通り抜ける際の負担を計測するとともに、より楽に通り返けるための走行機構を提案した¹⁾。

今年度は、鉄道駅プラットフォームと列車床面の間に存在する段差および隙間が車いす使用者に与える負担を調べるとともに、その通り返けを楽にするための機構について考察した。

2 鉄道におけるバリアフリー化の状況

2000年に高齢者、障害のある人たち、妊産婦の人たち等も公共交通を利用して安全・便利に移動できるようにする趣旨で、「高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」（通称：交通バリアフリー法）が制定された。

それによると、市町村は、一定規模以上の旅客施設（特定旅客施設）を中心とした地区（重点整備地区）のバリアフリー化を重点的かつ一体的に推進するため、基本構想を作成することができるとしている。

また、交通事業者に対しては、駅などの施設の新設・大改良、あるいは車両を新しく導入する場合には「バリアフリー基準」への適合を義務づけている。

交通バリアフリー法の制定により、新設路線や主要駅などのバリアフリー化がかなり進んでいる例が見られる（例えば、福岡市営地下鉄3号線；通称七隈線）。しかし一方、既存の旅客施設や車両については努力義務にとどまっているため、依然としてバリアフリー化が進んでいない旅客施設および車両も多いのも事実である。とくに、鉄道駅プラットフォームと列車床面の間には、建築設計限界と車両設計限界があるため、段差と隙間が存在する。また、地理的条件により、プラットフォームを曲線にせざるを得ない場合は、大きな隙間が存在するのが現状である。こうしたプラットフォームと車両床面の間の段差・隙間は一朝一夕にはなくならないと考えられる。したがって、引き続き駅施設および車両のバリアフリー化を進める努力をする一方で、車いす側に、バリアをより安全かつ楽に通り返けられるようにするための機構的工夫の可能性を追求することも重要と考えられる。

3 段差・隙間通過検証実験

駅プラットフォームと車両乗降口の間の段差・隙間が車いす使用者に及ぼす影響を明らかにするために、実験による検証を行った。

3.1 実験装置の製作

実験室内に、図1に示すような、駅プラットフォームおよび車両の床を模擬した台座を製作、設置した。模擬プラットフォームおよび車両床は、いずれもベースは木製である。模擬車両床面は電動で昇降できるようになっており、また手動でスライドできるようになっている。それにより、段差高と隙間幅を変えることができる。なお、模擬車両の床面には通勤電車車両の乗降口に使われている実物のステンレス製沓摺りを設置している。

沓摺りの断面形状は図2に示すとおりである。沓摺りには高さ14mmのドアレールが取り付けられている。



図1 通過実験用段差・隙間架台
Fig.1 Experimental equipment of level difference and gap complex

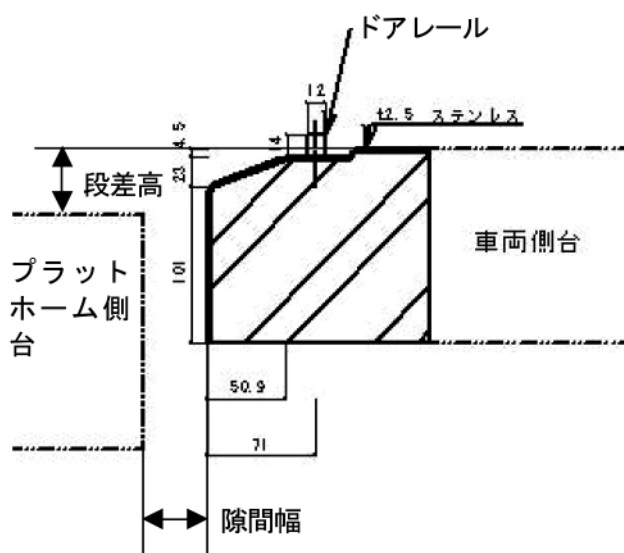


図2 沓摺り形状と段差高・隙間幅の定義
Fig.2 Definition of height and gap

3.2 実験内容

3.2.1 手動車いす使用者による通過検証実験

実際の手動車いす使用者による通過実験を行い、段差・隙間の影響を検証する。

手動車いす使用被験者による段差・隙間通過実験では、各被験者には自分の手動車いすで、普段行う方法で段差・隙間を通り抜けてもらう。

試行後、各被験者に通過しやすいかどうかの感想を聞くとともに、ビデオ映像も記録し、それらの検証によって、各試行について難易度を「楽に通過」、「楽ではないが通過」、「通過不可」で判定する。

また、すべての被験者について、使用車いすのキャスト径および駆動輪径、被験者が手動車いすに乗車した状態で前輪荷重および後輪荷重を計測する。さらに、架台に固定したプッシュプル計を車いすに連結してそれを牽引することによって、各被験者のハンドリムによる駆動力を計測する。

3.2.2 手動車いす使用被験者

段差・隙間通過検証実験に協力してもらった被験者は以下に示す15名である。

- A：男性25歳；第12胸髄損傷；ウィリー可能。
- B：男性27歳；第6頸髄損傷；ウィリー不可。
- C：男性29歳；第6頸髄損傷；ウィリー不可。
- D：男性20歳；第6頸髄損傷；ウィリー不可。
- E：男性25歳；第5、6頸髄損傷；ウィリー不可。
- F：男性32歳；第12胸髄損傷；ウィリー可能。
- G：男性47歳；第8～12胸髄損傷；ウィリー可能。
- H：男性42歳；脳卒中片麻痺；ウィリー不可。
- I：男性38歳；第6胸髄損傷；ウィリー不可。
- J：男性50歳；第6頸髄損傷；ウィリー不可。
- K：男性29歳；第12胸髄損傷；ウィリー可能。
- L：男性20歳；第5胸髄損傷；ウィリー可能。
- M：男性24歳；第8胸髄損傷；ウィリー可能。
- N：女性34歳；第6頸髄損傷；ウィリー不可。
- O：女性23歳；第5胸髄損傷；ウィリー可能。

3.2.3 計測用車いすによる通過実験

手動車いすで段差・隙間を通過するときの駆動力を調べるために、計測用車いす²⁾による通過検証実験も行う。

この実験は、段差・隙間を通過するのに必要な駆動力を求めることが目的であるので、被験者は男性健常者（57歳；体重673N）1名のみとする。

この実験では、段差・隙間を通過するにあたって、助走なしすなわち前後輪ともに段差の直前でいったん停止し、ハンドリムに瞬発力ではなく徐々に駆動

力を加える操作とする。したがって、キャストで段差・隙間を越える際、ウィリー操作は行わないものとする。

3.2.4 段差・隙間条件

段差・隙間通過検証実験は、図1に示す駅プラットフォーム・車両模擬設備を使って行うが、今回は、下記の段差高（8通り）および隙間幅（9通り）の組み合わせ（72通り）すべてについて行う。

段差高条件；

0、5、10、15、20、30、40、50mm

隙間幅条件；

0、10、20、30、40、50、60、70、80mm

4 段差・隙間通過検証実験結果

4.1 手動車いす被験者による検証結果

4.1.1 駆動力計測結果

手動車いす被験者のハンドリム最大駆動力計測結果は以下のとおりである。

- A：539N
- B：139N
- C：158N
- D：247N
- E：130N
- F：286N
- G：484N
- H：221N（後ろ向き）
- I：198N
- J：312N
- K：367N
- L：377N
- M：395N
- N：54N
- O：230N

ただし、被験者Hは片麻痺のため、段差および隙間を通過する際は、健側片手でハンドリムを駆動し健側片足で地面を蹴って車いすを後ろ向きに進めるため、その方法による駆動力を計測した。

4.1.2 重量計測結果

手動車いす被験者A～Oについて、前輪荷重および後輪荷重の計測結果、それらを合わせた総重量を表1に示す。

表1 被験者の重量計測結果

Table 1 The total weight of each subject

被験者	前輪荷重 N	後輪荷重 N	総重量 N
A	209	599	808
B	152	383	535
C	156	519	675
D	192	487	679
E	145	515	660
F	148	402	550
G	127	650	777
F	317	295	512
I	79	424	503
J	260	526	786
K	134	611	745
L	109	644	753
M	152	546	698
N	227	539	766
O	123	418	541

4.1.3 通過実験による検証結果

(a) 難易度官能評価

手動車いす被験者A～Oについて、段差・隙間通過検証実験を行い、試行後の聞き取り調査および記録したビデオ映像をもとに難易度を評価した。その結果の例として被験者AおよびBの検証結果を表2～3に示す。表中の○は楽に通過、△は少し苦しいが通過、×は通過不可を示す。

被験者Aの場合、実験したすべての段差・隙間についてまったく問題なく通過できている（表2）。

被験者Aは、ハンドリム駆動能力が高く、ウィリーも可能なことから、実験した条件すべてについて楽に通過できたものと考えられる。

それに対し、頸髄損傷の被験者B（表3）のように、駆動能力が低下している場合は、同じ段差高であっても、隙間が大きくなると通過できなくなることがある。

表2 通過難易度評価結果（被験者A）

Table 2 Evaluation of easiness/difficulty (Subject A)

		隙間幅 mm								
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
段差高 mm	0	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	5	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	10	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	15	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	20	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	40	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	50	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表3 通過難易度評価結果（被験者B）

Table 3 Evaluation of easiness/difficulty (Subject B)

		隙間幅 mm								
		0	10	20	30	40	50	60	70	80
段差高 mm	0	○	○	○	○	○	○	△	△	×
	5	○	○	○	○	○	○	△	△	×
	10	○	○	○	○	△	△	△	△	×
	15	○	○	○	△	△	△	△	△	×
	20	○	○	○	△	△	△	△	×	×
	30	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	40	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	50	×	×	×	×	×	×	×	×	×

(b) 正規化駆動力と難易度の関係

手動車いすで段差・隙間を通過する場合、ハンドリム駆動能力によって、通過難易度は変わると考えられる。

そこで、前項で示した段差・隙間通過難易度官能評価結果を、4.1.1で示した各被験者のハンドリム駆動力計測結果との関係で見てみる。

全被験者の段差・隙間通過難易度を段差高ごとにまとめた結果を図3～10に示す。横軸は隙間幅、縦軸は駆動力であるが、駆動力については被験者ごとに総重量（4.1.2で記述）で除して正規化した値で示している。

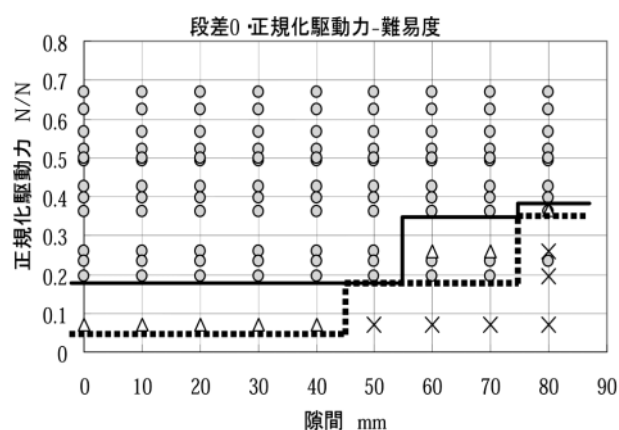


図3 正規化駆動力と難易度（段差高 0 mm）

Fig.3 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 0 mm)

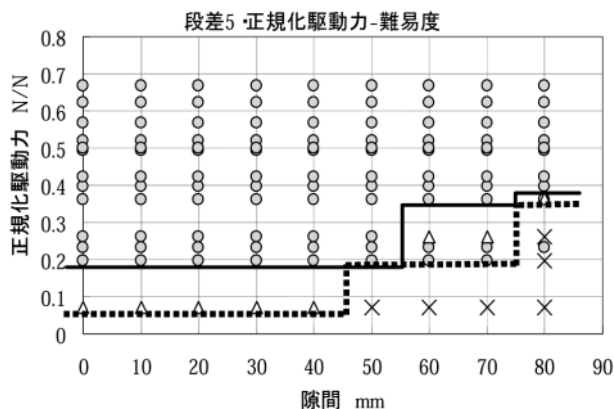


図4 正規化駆動力と難易度 (段差高 5mm)
Fig.4 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 5mm)

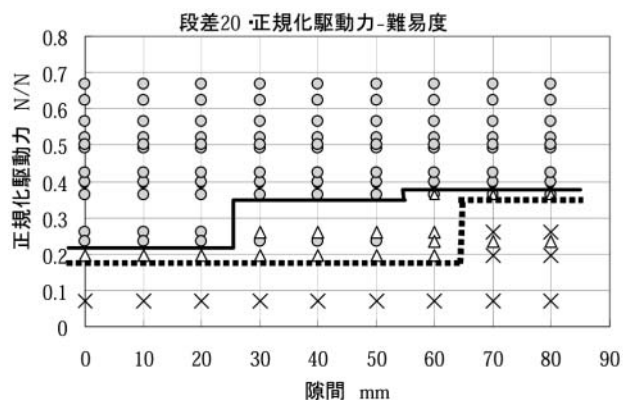


図7 正規化駆動力と難易度 (段差高 20mm)
Fig.7 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 20mm)

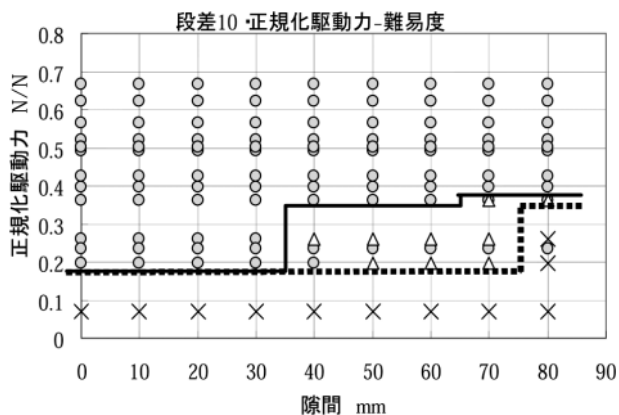


図5 正規化駆動力と難易度 (段差高10mm)
Fig.5 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 10mm)

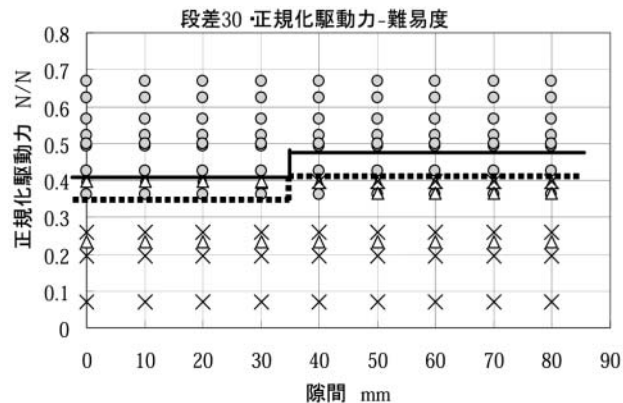


図8 正規化駆動力と難易度 (段差高30mm)
Fig.8 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 30mm)

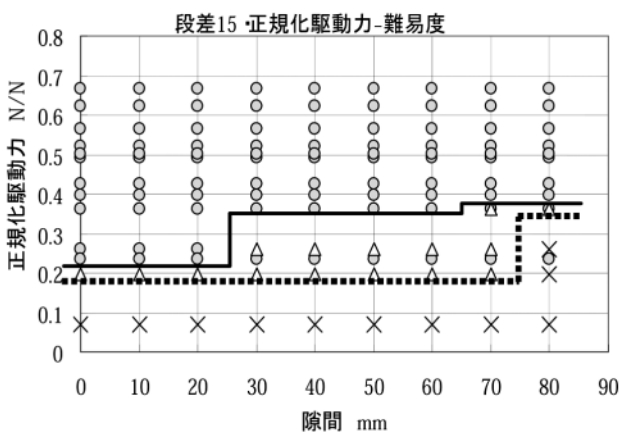


図6 正規化駆動力と難易度 (段差高15mm)
Fig.6 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 15mm)

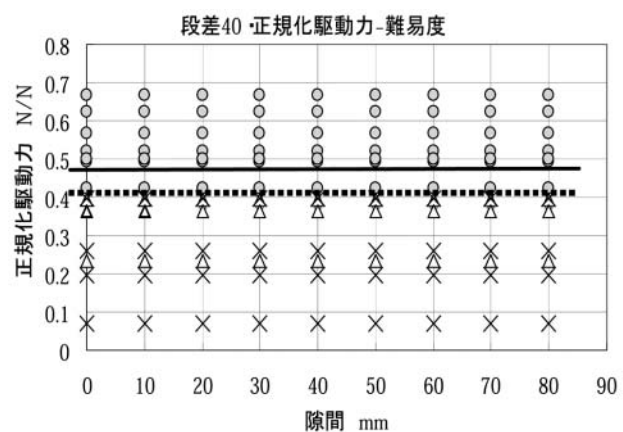


図9 正規化駆動力と難易度 (段差高40mm)
Fig.9 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 40mm)

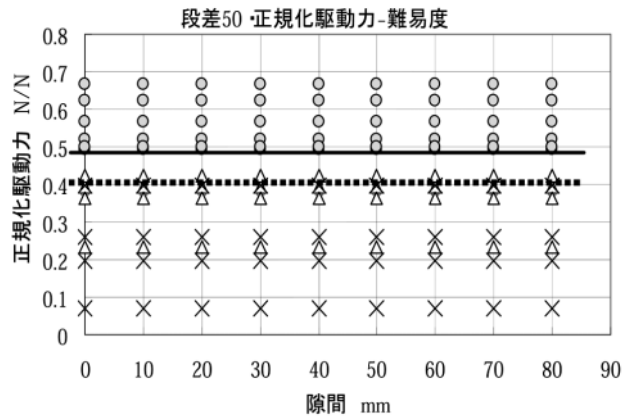


図10 正規化駆動力と難易度 (段差高50mm)

Fig.10 Relation between normalized driving force and easiness/difficulty (height 50mm)

図3～10から、正規化駆動力をスケールにして段差・隙間通過難易度をプロットすることによって、○、△、×の弁別は比較的良好になることが分かる。

図3～10の実線——は○だけが分布している領域限界、破線……は○と△が混在しているが×は含まれない領域限界を示すものである。つまり、各図において実線——より上方は楽に通過できる領域であり、破線……より上方は場合によっては楽ではないものの通過できる領域であることを示す。実線——より上方は実用領域、破線……より上方は許容領域とすることができよう。

以上の結果から、手動車いす使用者の駆動力と総重量を計測することができれば、図3～10を使って、対応できる段差・隙間を推定することができる。

4.2 計測用車いすによる検証結果

計測用車いすによる通過実験のデータ例を図11、図12に示す。これらは、それぞれ段差高15mm・隙間幅20mm、段差高30mm・隙間幅50mmを通過したときのデータ例である。今回の実験では、実際の鉄道車両で使われている沓摺りを用いたので、ホームと列車車両乗降口間の段差段鼻とドアレールによる段差があり、径の小さいキャストでそれらを通過する際には、それぞれで駆動力ピークが現れる。

次に、通過実験データから、段差高15mmおよび30mmについて、隙間幅によるキャストが段差段鼻を越えるときとドアレールを越えるときの駆動力ピーク値の違いを導出してまとめたグラフを図13、図14に示す。なお、駆動力ピーク値は、3試行分の駆動力の平均値を総重量で正規化したものである。

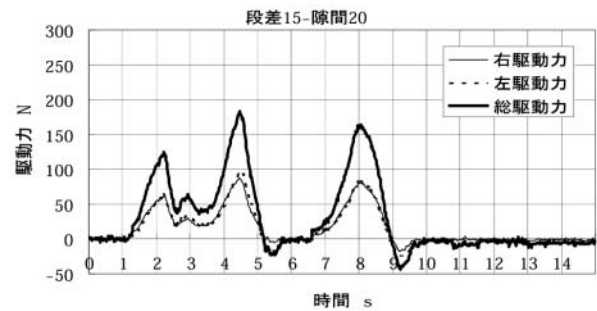


図11 段差高15mm・隙間幅20mmでの駆動力

Fig.11 Driving force negotiating 15mm level difference and 20mm gap

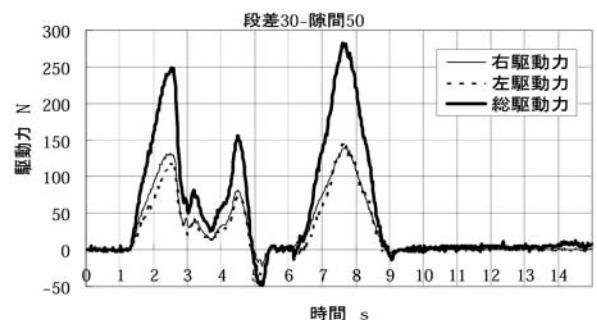


図12 段差高30mm・隙間幅50mmでの駆動力

Fig.12 Driving force negotiating 30mm level difference and 50mm gap

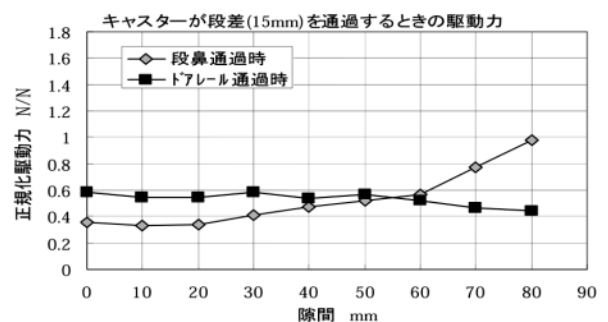


図13 段差 (15mm) 通過時の正規化駆動力

Fig.13 Driving force negotiating 15mm level Difference

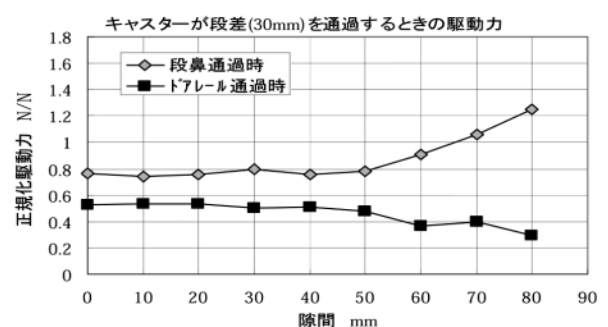


図14 段差 (30mm) 通過時の正規化駆動力

Fig.14 Driving force negotiating 30mm level Difference

図13、図14から、段差高が低く隙間幅が小さい場合は、ドアレールの影響の方が大きいことが分かる。計測用車いすによる通過実験から得られた全データを分析した結果、駅ホームと車両床面高さの差が15mm以下、隙間が60mm以下の場合は、径が130mmのキャストで通過する際、ドアレールによる影響の方が大きいことが明らかになった。

ここで、収集したすべてのデータを検証し、すべての段差高・隙間幅について、キャストが段鼻およびドアレールを通過するときの駆動力ピーク値のうち大きい方の値を選択して、それを段差・隙間を通過するのに必要な駆動力としてまとめ直すと図15のようになる。なお、段差高50mm・隙間幅80mmの場合、3回の試行いずれにおいても、キャストが隙間にはまり込んで脱出できず通過不可能であったので、データなしである。また、駆動輪で段差・隙間を通過するときの駆動力ピーク値の結果を図16に示す。駆動輪で通過するときは、段差段鼻とドアレールを通過するときの駆動力ピーク値は弁別できなかったため、1つのピーク値としてまとめている。段差高50mm、隙間幅80mmについては、前述したように、キャストが隙間にはまり込んで通過不可能であったので、データなしである。

一般的にキャスト径は駆動輪径に比べてかなり小さい。そのため、比較的小さい隙間でも車輪がそれにはまり込むことによる実質的な段差高さあるいは段差等価勾配³⁾が大きくなり、その分通過するのに要する駆動力が大きくなると考えられる。今回の実験結果(図15)からは、ほぼすべての段差高において、隙間幅が60~70mm以上になると、キャストでの通過にかなり影響を及ぼすようになることが明らかである。なお、今回用いた計測用車いすのキャスト径は130mmである。

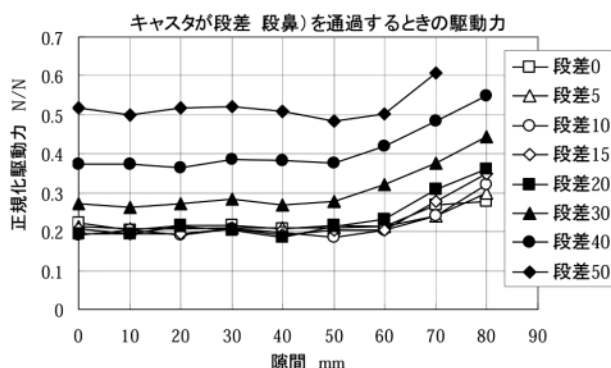


図15 キャスタが段差・隙間を通過するのに必要な駆動力
Fig.15 Driving force needed to negotiate level difference and gap complex by casters

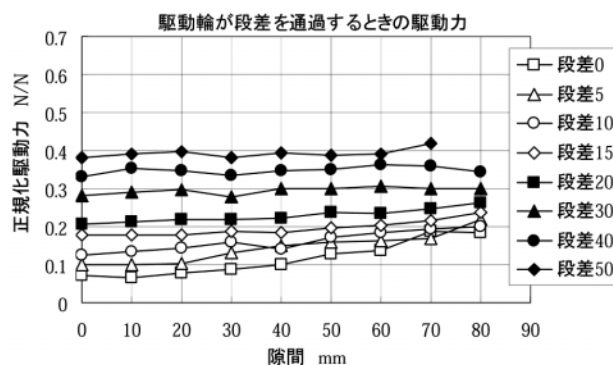


図16 駆動輪が段差・隙間を通過するのに必要な駆動力
Fig.16 Driving force needed to negotiate level difference and gap complex by driving wheels

5 段差・隙間通過補助機構の試作と検証

福祉のまちづくり条例、ハートビル法、交通バリアフリー法が施行され、まちのバリアフリー化がかなり進みつつある一方、前述したように、駅プラットフォームと車両間の段差・隙間を完全になくすることは非常に困難な面があることも現実である。

こうしたことから、環境整備(バリアフリー化)を進める一方で、車いす側にバリアをより安全かつ楽に通り返けられるようにするための機構的工夫の可能性を追求することも意義があると考えられる。

5.1 段差・隙間通過補助機構の試作

車いすのキャストで段差・隙間を通過しやすくする機構はいくつか開発・市販化されている。

図17はその例である。これは、車いす前方の左右サイドフレームに梁を渡して、それに振り子状のロッドを取り付け、そのロッドの下端にソリを装着した機構である。この補助機構は着脱式であるが、その取り付け・取り外しはそれほど簡単ではないと思われる。

本研究においては、キャストによる段差越え時の駆動力が軽減でき、80mmの隙間を安全に通過でき、機構が単純で軽量であり、着脱が簡単にできる可能性があるといった条件を設定して、ソリ状の補助装置を車いすのフットサポートに取り付ける方式を試作した。図18は試作した装置を計測用車いすに装着したものである。



図17 段差・隙間通過補助機構の例⁴⁾
Fig.17 An example of assistive device to negotiate level difference

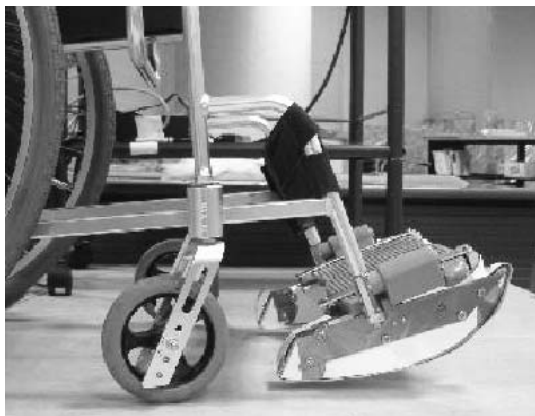


図18 試作した段差・隙間通過補助機構
Fig.18 Trial device to assist in negotiating level difference and gap complex

5.2 試作した段差・隙間通過補助機構の検証

試作した段差・隙間通過補助機構が有効か否かを検証するために、本試作機構を計測用車いすのフットサポートに取り付けて（図18）、段差・隙間通過時の駆動力データを収集した。

段差高 0 mm に対しては本試作機構の有効性はないので、段差高条件は 5、10、15、20、30、40、50 mm とし、隙間幅条件は 80 mm のみとした。

図19に段差高 50 mm・隙間幅 80 mm を補助機構つきで通過したときの駆動力パターンの例を示す。参考のために、段差高 50 mm・隙間幅 70 mm を通常状態（補助機構なし）で通過したときの駆動力パターンの例を図20に示す（前述したように、段差高 50 mm・隙間幅 80 mm の条件では、補助機構なし通常状態では通過することはできなかったため、データなしである）。

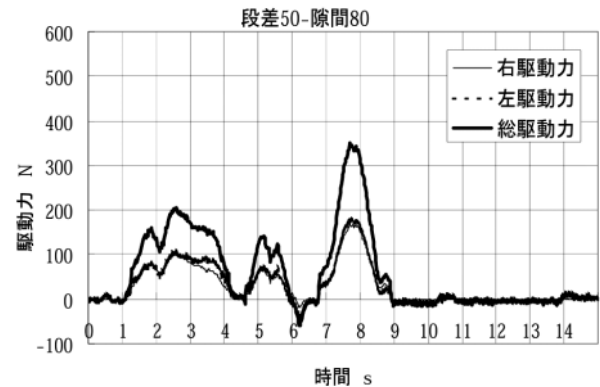


図19 補助機構付きでの駆動力パターン
Fig.19 Driving force pattern with trial device

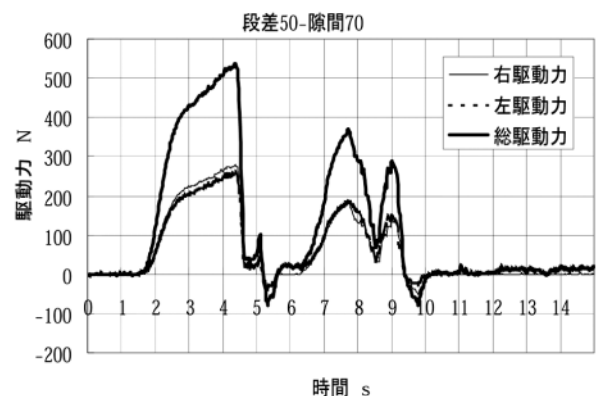


図20 補助機構なしでの駆動力パターン
Fig.20 Driving force pattern without trial device

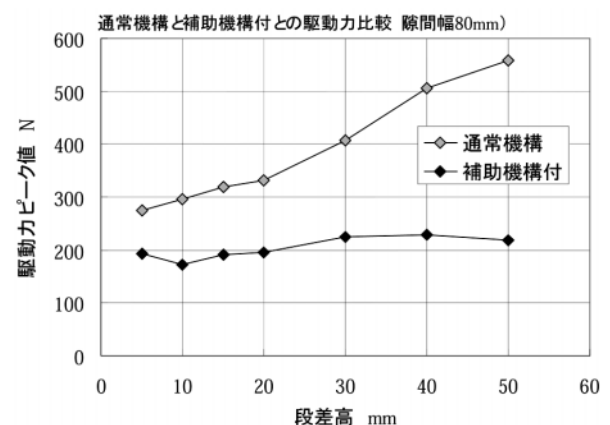


図21 補助機構の有無による段差通過時駆動力ピーク値の比較
Fig.21 Comparison of driving force in negotiating level difference and gap complex

図19、図20から、試作した補助機構を装着したことにより、キャストで段差・隙間を通過するのに要する駆動力が非常に小さくなったことが分かる。

ここで、補助機構を装着して実験した全データから、キャストで段差・隙間を通過するときの駆動力ピーク値を求め、段差高による必要駆動力の違いとしてまとめると図21を得る。なお、図21には、比較のために、同じ段差高・隙間幅条件を補助機構なしで通過したときの駆動力ピーク値（図15のデータを利用）も示している。ただし、補助機構なしでの段差高50mm・隙間幅80mm通過時のデータはないので、代わりに段差高50mm・隙間幅70mmにおける駆動力ピーク値データを示している。

図21から、試作した段差・隙間通過補助機構を装着したことにより、手動車いすで段差・隙間を通過するのに必要な駆動力が非常に小さくなっていることが明らかである。段差高が30mm以上になると、駆動力は補助機構なしの場合の半分以下になる。

さらに、補助機構なしでは、段差高50mm・隙間幅80mmではキャストが隙間にはまり込んでまったく動けなくなってしまうのに対し、補助機構を装着したことにより、キャストの隙間へのはまり込みがなく通過できるようになったことも注目に値する。本試作補助機構が安全性確保の面からも有効であることを示唆している。

6 まとめ

手動車いす使用者が対応できる段差・隙間の大きさは使用者の駆動能力に負うところが大きい。

今回、胸髄損傷者8名、頸髄損傷者6名、片麻痺者1名について段差・隙間通過検証実験を行った。

胸髄損傷者の場合は、全員が段差高50mm・隙間幅80mmまで楽に通過もしくは楽ではないが通過可能であった。ウィリーできる程度の残存機能が残っている場合は、それほど問題はなかったと言える。ただし、かなり上肢機能が良好な被験者であっても、実験後、隙間については万一操作を失敗してキャストを隙間に落としてしまうと身動きが取れなくなるので、実験施設ではなく実際の駅プラットフォーム・車両であれば心理的圧迫感があるとのコメントを残した人もいたことは留意しておく必要がある。

頸髄損傷者については、上肢機能も麻痺しているので、その残存機能（ハンドリム駆動力）によって、通過できる段差高・隙間幅が違ってくるのが今回の検証実験から明らかになった。

今回の手動車いす使用被験者による検証実験データから、車いす・使用者総重量と発揮できる駆動力

が分かれば対応できる段差・隙間の大きさが推定できる可能性を示すことができた。

次に、車いすのフットサポートに取り付けて段差・隙間を通過しやすくする方法を考えた。そして、試作モデルを製作して計測用車いすにより検証した。その結果、考案した装置は、とくにキャストで段差に乗り上げるのに必要な駆動力を非常に軽減することが明らかになり、段差・隙間通過補助装置として非常に有効であることが示唆された。とくに、通常の方法では、段差高50mm・隙間幅80mmがまったく通過できなかったのに対し、試作した補助装置を取り付けた場合、キャストが隙間に落ち込むこともなく、また、駆動力も格段に軽減された。このことは、キャストが段差・隙間を越える際の駆動力が軽減される効果だけでなく、安全性確保の面でも有効に働くことを示すものである。今後の実用化開発の検討に値するものと考えられる。

7 おわりに

本研究に被験者としてご協力いただいた兵庫県立総合リハビリテーションセンター自立生活訓練部重度身体障害者更生援護施設に入所されている方々に対し心より感謝の意を表します。

また、今年度の研究は、(社)交通バリアフリー協議会と共同で行った。

参考文献

- 1) 米田郁夫、糟谷佐紀ほか：各種環境バリアが車いす使用者に強いる負担量の評価法およびバリア走破装置の開発に関する研究、平成16年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集、pp.132-139、2004
- 2) 米田郁夫ほか：高齢者・障害者の移動機器の最適処方に関する研究開発（その1）－走行環境と車輪アライメントが車いす操作に及ぼす影響の定量的評価－、平成13年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集、pp.137-141、2001
- 3) 糟谷佐紀、米田郁夫ほか：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）－、平成14年度兵庫県立福祉のまちづくり工学研究所報告集、pp.119-126、2002
- 4) <http://www2.techno-aids.or.jp/asp/BXX.asp?oushiki=B-10&YouguCode1=00894&YouguCode2=000001>より引用