
走行環境と車いすの構造が車いす使用者の身体におよぼす影響と快適性に関する研究

—歩車道境界縁石デザインと車いす使用者の身体的負担の評価—

Study on Driving Environments and Wheelchair's Structures that Influence Wheelchair User's Physiologic Conditions and Comfort

—Assessment of the Design of Boundary Curbs between Pavement and Roadway from the Viewpoint of Wheelchair User's Body Vibration and Wheelchair Driving Torque—

橋詰 努 大原 誠 室崎千重 村井裕樹

HASHIZUME Tsutomu, OHARA Makoto, MUROSAKI Chie, MURAI Hiroki

キーワード：

車いす、縁石、身体振動、身体負荷、評価

Keywords:

wheelchair, curb, body vibration, body load, assessment

Abstract:

The design of boundary curbs between pavement and roadway constructed in the crosswalk is requested to secure safety and smooth traffic for all passing people. It is preferable to set the step of curb to be about 2cm for the visually handicapped persons to ascertain the boundary. However, this step is a barrier for the wheelchair user. This research aims the quantitative evaluation of the typical existing curbs from wheelchair user's viewpoint, and the final proposal of the universal design of an easy-to-use curb for all. The wheelchair user's body vibration and body load were examined by using the three directional accelerometers and the torque meter equipped wheelchair. It was shown to be able to evaluate the curb objectively by assuming the body vibration and the wheelchair driving torque as a measure.

1 はじめに

車いすを安全で快適に走行するには、道路の段差・隙間・路面勾配や交通機関、施設のアクセシビリティ等の走行環境と車いすの構造、さらに車いす使用者の身体特性や生活環境を総合的に検討する必要がある。

車いすを駆動する時の身体的負担を軽減する課題とともに、走行中の振動や衝撃等に起因する不快感や疲労、姿勢のくずれや痙性の誘発等の研究も重要である。

本研究は走行環境と車いすの構造が車いす使用者の身体におよぼす影響を定量的に評価し、安全で快適な走行環境を実現するために、まちづくりの基礎的なデータを提供することと、車いすの工学的な改良点を提示することを目的とする。

横断歩道等に敷設されている歩車道境界縁石は、通行する全ての人に対して安全で円滑な通行を保障するデザインが求められる。縁石と車道の段差は視覚障害者が歩車道の境界を見極めるため、2 cm程度とすることが望ましいとされている。しかしこの段差は、車いす使用者にとってはバリアとなっている。

一方、視覚障害者の安全確保と車いす使用者等の快適走行の両立を目的として、段差をなくしてスロープにして溝を設けることにより白杖での境界認識性を維持するデザインなど、各自治体でさまざまな縁

石のデザインが提案されている。

本研究は車いす使用者の立場から、既存の代表的な縁石の特性を定量的に評価し、最終的に全ての人を使いやすい縁石のユニバーサルデザインを提案することを目的とする。本報告では、身体振動計測用加速度計とトルク計測用車いすを用いた縁石の走行実験と評価結果を述べる。

2 実験手法

2.1 評価対象縁石

評価対象の縁石は、国土交通省関東技術事務所に敷設された13種類（表1）である。

表1 評価対象縁石の構造特性
Table 1 Type of curbs for experiment

No.	Slope Type	No.	Step Type
①		⑧	
②		⑨	
③		⑩	
④		⑪	
⑤		⑫	
⑥		⑬	
⑦		-	Surface * Horizontal Slits ** Vertical Slits

敷設レイアウトを図1に示す。対象縁石は、国内各地域住民の合意形成をえて実際に敷設されているものであり、視覚障害者誘導用ブロック（①～④、⑥⑦⑨⑪⑫）や排水用グレーチングと併設している場合（③）には、その条件を再現している。

各縁石の断面形状と前端部（表中aと表示）と後端部（表中b）の寸法、表面仕上げなどの構造特性を表1に集約した。表中①～⑦は前端部段差aが0で路面に擦りつけてあり、スロープで後端部b（2～5cm）へと連続するスロープタイプである。スロープの傾斜[%]は10～40%で、表面仕上げは滑り止めや白杖での確認を容易にする目的で、水平もしくは垂直方向の溝や、突起が付けられているタイプがある。⑤はスロープタイプのなかでも、前端部からの立ち上がり急峻（傾斜40%）であることに注意が必要である。

⑧～⑬は前端部に段差があるステップタイプであり、寸法aは1cmまたは2cmである。前端部aと後端部bの寸法が同じフラットなタイプは⑧、⑪、⑬である。⑨、⑩、⑫は前端部と後端部がスロープになっている。⑪は断面図に一点鎖線で示すように、車いすが通過する部分を一部スロープとしている。

⑬は国内で従来から広く普及している、標準的な縁石である。

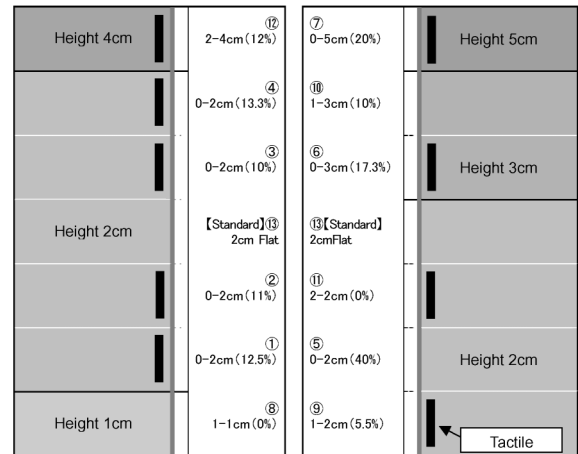


図1 評価対象縁石の敷設レイアウト
Fig. 1 Layout of Experimental Curbs

2.2 被験者と計測システム

縁石通過実験の状況を図2に示す。実験では、左右のハンドリムを押す時のトルクを計測するトルク計と、走行距離を測定するロータリーエンコーダを装備した計測用車いす（共和電業製）を使用した。

身体振動（X、Y、Zの3方向加速度）の計測はRION製座席用ピックアップ（PV-62）と3軸振動計（VM-54）を使用した。

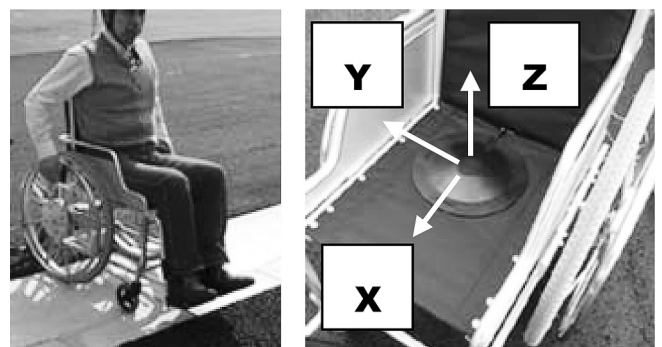


図2 実験状況と加速度計
Fig. 2 Experimental Conditions and Accelerometer (X, Y, Z)

被験者は成人健常男性1名（体重73kg）である。実験は（1）キャスト輪を縁石前端部に押しつけた

状態から縁石を乗り越える、(2) 助走をつけて縁石を乗り越える、(3) 縁石の上端にキャストを静止した状態から縁石を降りる条件において、車いす駆動トルクと身体振動を計測した。各縁石について各実験条件において3試行計測を行った。

3 実験結果

3.1 身体振動加速度波形例、P-P値とRMS

身体振動加速度波形例(縁石タイプ⑬)を図3に示す。X、Y、Z 3方向について加速度の両側振幅最大値P-P値[m/sec²]を評価指標とした。

また、キャストが縁石前端部に衝突した時点から0.6秒間の加速度波形についてRMS[m/sec²]を算出した。

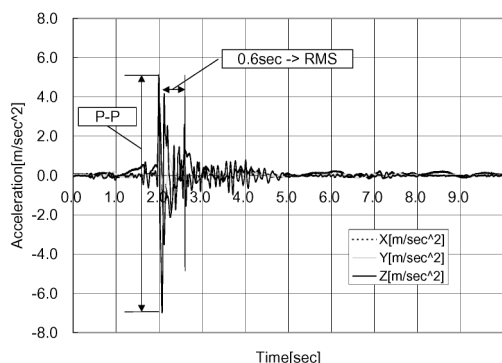


図3 振動加速度とP-P値、RMS
Fig. 3 X, Y, Z Accelerations (Ascending Curb), P-P value and RMS

3.2 車いす駆動トルクとピーク値

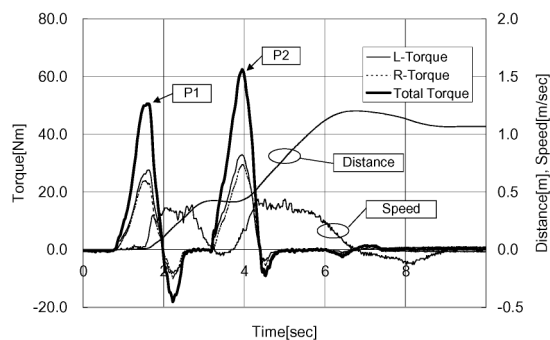


図4 車いす駆動トルク、距離、速度
Fig. 4 Wheelchair Driving Torque, Distance, Speed

図4に計測用車いすによって計測された駆動トルク、距離、速度データ例を示す。駆動トルクは前輪キャストが縁石を乗り越える時と、後輪駆動輪が乗り越える時の2回ピーク値が出現する。縁石を乗り越えるときの指標として、最初のピーク値をP1、

2番目のピーク値をP2とした。

ロータリーエンコーダのデータから、距離、速度が求められる。

3.3 縁石乗り上げ時の身体振動加速度P-P値

縁石の手前からハンドリムを一漕ぎし、助走をつけて平均速度約3.5kmで縁石に乗り上げたときの身体振動加速度のP-P値を図5に示す。

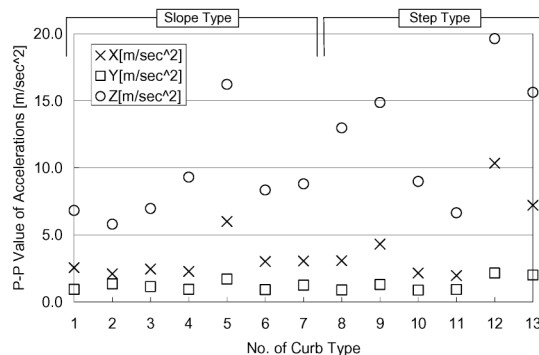


図5 縁石乗り上げ時の身体振動加速度P-P値
Fig. 5 P-P Value of Accelerations (Ascending Curb)

前後方向Xは、ステップタイプではキャストが前端の段差に衝突するため、スロープタイプに較べて大きくなると予想される。前端部段差が1 cmの⑧⑨⑩では、⑨が4.3[m/sec²]であるが、⑧3.1、⑩2.2[m/sec²]とスロープタイプと同程度の低い値になっている。⑪はスロープ部を通過するため小さな値2.0[m/sec²]となっている。

前端部段差が2 cmの⑫10.3と⑬7.2[m/sec²]では値が大きくなっている。スロープタイプに分類される⑤は前端部の傾斜が40%と急峻なため、ステップタイプと同じように大きなP-P値6.0[m/sec²]を示す。

左右方向YのP-P値は⑫が2.2、⑬が2.0[m/sec²]とわずかに大きい他の縁石は約1.7[m/sec²]以下の小さな値であり、縁石間の差も少ない。

垂直方向Zの身体振動加速度は、X、Y方向の加速度に較べていずれの縁石もP-P値の値が大きく、縁石間のバラツキも大きい。

スロープタイプで後端部高さが2 cmの①~⑤は、①6.8、②5.8、③7.0、④9.3程度だが、⑤は16.2[m/sec²]と非常に大きい。後端部の高さが3 cmの⑥は8.3、5 cmの⑦は8.8[m/sec²]程度に収まっている。

ステップタイプで前端部高さ1 cmの⑧~⑩では、⑩が9.0と小さいが、⑧13.0、⑨14.9[m/sec²]と大きな値である。段差2 cmではさらに値が大きくなり⑫19.6、⑬15.6[m/sec²]の大きな値をとる。⑪はスロープ部を通過しているため、6.7[m/sec²]と小さな値になっている。

3.4 縁石を降りる時の身体振動加速度P-P値

静止状態から各縁石を降りた時のP-P値を図6に示す。全体の傾向としては、助走をつけて縁石を乗り越えたときの結果と同様の傾向を示している。

左右方向Yの身体振動加速度はX、Zに比較して小さく1.0~1.9[m/sec²]の範囲に収まっている。

前後方向Xも⑤や、⑫⑬でも小さな値で、全体で2.3~3.7[m/sec²]の範囲をとる。

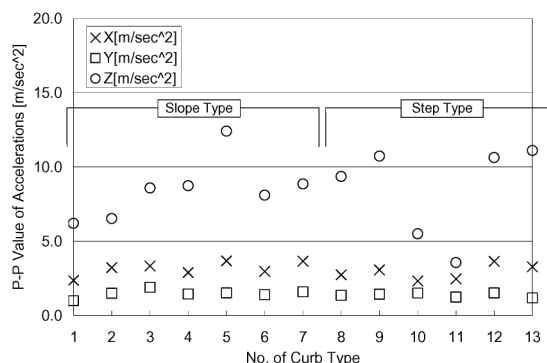


図6 縁石から降りる時の身体振動加速度P-P値
Fig. 6 P-P Value of Accelerations (Descending Curb)

垂直方向Zは①~④、⑥⑦では乗り越え時の値とほぼ同じである。しかし、傾斜が急峻なステップタイプ⑤と、ステップタイプ⑧⑨⑩⑪⑫⑬は大きく減少している。

3.5 縁石乗り越え時の身体振動加速度RMS

P-P値の値が大きく、また各縁石間のバラツキも大きい垂直方向Zについて、身体振動加速度のRMS値を求めた。

Z方向のRMS値を横軸に、P-P値を縦軸とした両者の散布図を図7に示す。瞬間的な加速度の大きさを示す指標であるP-P値と、縁石に衝突後0.6秒間の波形の実効値を示すRMS値に相関が見られる。

スロープタイプの①~⑦は、スロープが急峻な⑤を除いて、散布図の左下に分布する。この中には、ステップタイプであるがスロープを走行したタイプ⑪と、⑩が含まれる。

ステップタイプで前端部高さが1cmのタイプ⑧⑨は中間位置に分布する。⑤と標準タイプの⑬は右上の範囲に位置し、⑫はP-P値とRMS値の双方とも最大値をとり、垂直方向の身体振動加速度が非常に大きいことが明らかである。

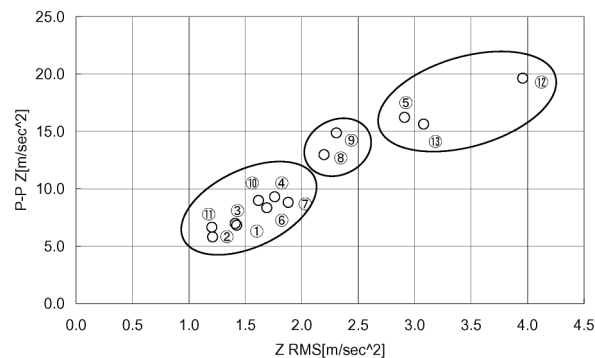


図7 身体振動加速度ZのRMSとP-Pの散布図
Fig. 7 RMS vs. P-P of Accelerations (Z)
(Ascending Curb)

3.6 縁石乗り越え時の駆動トルク

図8に縁石乗り越え時の駆動トルクの実験結果を示す。スロープタイプでは、キャストが縁石を乗り越えるときのピーク駆動トルクP1は、駆動輪が乗り越える時のピーク値P2より小さい傾向を示す。

しかし、ステップタイプ⑧ではキャスト乗り越え時P1が少し大きく、⑨⑩⑫⑬ではほぼ同等のピーク値を示す。⑪はスロープを通過するためP1はP2より小さい。

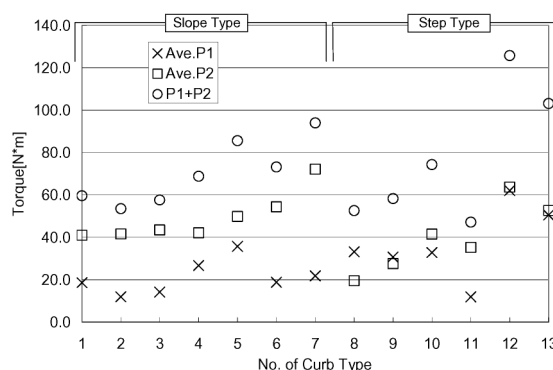


図8 縁石乗り越え時の車いす駆動トルク
Fig. 8 Peak Torque of Wheelchair (Ascending Curb)

スロープタイプ①~⑦では、スロープの傾斜が大きいほど大きな駆動トルク (P1+P2) を必要とする傾向を示す。⑤は後端部の高さが2cmであるが、前端部の傾斜が急峻なため大きな値85.6[Nm]を示す。④の傾斜は13.3%であり、⑥17.3%、⑦20%より緩やかな傾斜であるが、表面に突起があるため必要とされる駆動トルクが大きめに思われる。

ステップタイプの⑧~⑩は前端部高さが1cmで同じであるが、後端部高さが1cm、2cm、3cmと異なるため、順次トルクが増加する傾向が見られる。⑪はスロープを通過しているため、47.2[Nm]と全縁石中の最小値である。

⑫⑬は前端部の高さが2 cmあり、乗り越え所用トルクが大きい。特に⑫は後端部高さが4 cmで、12%の勾配があるため最大値125.8[Nm]をとる。

4 考察

図5から図7の結果から、縁石のデザインが車いすで走行するときの身体振動特性に大きな影響を与えることが明らかである。

図9は身体振動加速度が人体の健康に悪い影響をおよぼす目安¹⁾を、図7のRMS値とP-P値の散布図に重ねて表示したものである。長期にわたる強い全身振動は、腰椎・脊椎や椎体間の結合神経に悪影響をおよぼすとされている。特に車いす使用者にとっては二次障害を誘発する可能性があり、注意が必要である。

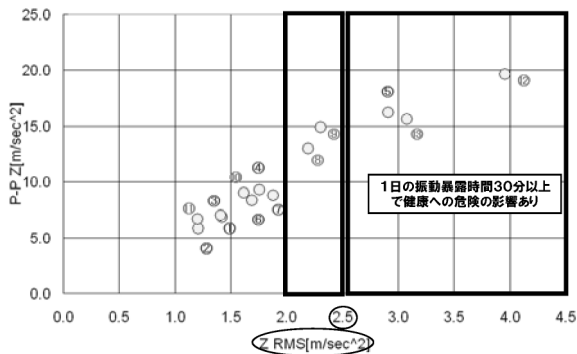


図9 身体振動加速度ZのRMSと健康への影響
Fig. 9 Whole-body vibration with reference to health (Accelerations Z, Ascending Curb)

振動の大きさは、全体として垂直方向Z >> 前後方向X > 左右方向Yの傾向を示す。

垂直方向Zに着目すると、縁石前端部の高さを0として擦りつけた、スロープタイプの振動加速度はステップタイプに比較して小さい傾向があり、その優位性が認められる。しかし、縁石の傾斜角度や表面突起の有無によっても違いが認められる。特に前端部の傾斜が大きい(40%)⑤は、乗り上げ時16.2、降り時12.4[m/sec²]と双方で大きな振動加速度を生じていることに注意が必要である。

ステップタイプは前端部、後端部の高さが高いほど振動が大きい傾向を示す。特に⑫は助走して乗り上げる際に、衝撃で車いすが停止することもあり(その影響は前後方向Xの値が最大値をとることに反映されている)、被験者が前方に投げ出されるほどの大きな衝撃Z19.6[m/sec²]を受けており、身体的ダメージが大きいと推測される。

標準型の⑬もZ方向、X方向の値が大きく、身体

振動特性の視点からは望ましいデザインではないことが示唆される。

⑩はステップタイプであるが、同タイプの⑧⑨より乗り上げ、下りの値がかなり小さい傾向があるが、その理由についてはさらに実験による考察が必要である。

スロープタイプとステップタイプ等縁石デザインの相違は、図7に示した振動加速度のRMS値とP-P値の関係から分類が可能と思われる。

静止状態から縁石を乗り越えるときに必要とされる駆動トルクは、車いす使用者が車いすを走行する際の身体的労力と関係する指標である。

スロープタイプ①~④で前端部が擦りつけてあっても、ステップタイプ⑧~⑩の前端部高さ1 cmの所要トルクと同等であることに注意が必要である。

また、表面に突起があるタイプ④や、傾斜が急峻なタイプ⑤では駆動トルクが大きくなることにも配慮が必要である。

ステップタイプで前端部の高さが2 cmの⑫⑬の場合は、乗り越え時のZ方向振動加速度と同様、必要とされる駆動トルクも大きく、車いす使用者の身体的負担が大きいことが明らかである。

5 まとめ

13種類の縁石を対象として、加速度計とトルク計測用車いすを用いた縁石通過実験を実施し、車いす使用者の身体振動と身体的負担について検討を行った。実験結果から以下の知見を得た。

- 縁石デザインが走行中の車いす使用者の身体振動特性と駆動トルクに大きな影響を与える。
- 垂直方向振動加速度は、スロープタイプはステップタイプに比較して小さい傾向がある。しかし、スロープ角度や表面突起の有無によって違いが認められる。
- ステップタイプは前端部、後端部の高さが高いほど振動が大きい傾向を示す。
- 国内標準型(ステップタイプ前端後端高さ2 cm)は乗り越え時の振動加速度と駆動トルクが大きく、車いす使用者の身体的負担が大きい。
- 身体振動と車いす駆動トルクを指標として、縁石の客観的評価が可能である。

今後、車いすの通過速度、キャスト輪と駆動輪の直径、車輪への荷重配分などのパラメータについても詳細な検討が必要である。

スロープタイプでは、表面仕上げとして垂直、水平方向の溝や、波形の溝を施しているタイプもある。白杖による認識のしやすさとともに、雨天時等のス

リップ防止に配慮した構造であるが、縁石表面の滑り摩擦についても検討を行う必要がある。

視覚障害者による縁石の検証実験は国土交通省などが検討しており、筆者等の検証結果との付き合い合わせも必要である。

最終的には、縁石の安全で円滑な通行については、車いす使用者に限らず歩行者やベビーバギー等についても検証が必要であり、全ての人が使いやすい縁石について研究を継続する予定である。

謝辞

今回の実験は、国土交通省関東地方整備局関東技術事務所の協力により実施した。末尾ながら関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) JIS B 7760-2 全身振動-2部 測定方法及び評価に関する基本的要求、日本規格協会、pp.31-32, 2005
- 2) 橋詰努、高見正利ほか：走行中の車いすの身体振動に関する研究、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会論文集、1A2-M06(CD), 2007
- 3) 高見正利、橋詰努ほか：路面状態が車いす走行に及ぼす影響について；駆動力と振動の評価、第22回リハ工学カンファレンス論文集、pp.121-122, 2007