

車いすの乗り心地に着目した 歩行者系舗装の性能指標に関する一考察

岡村美好¹

¹正会員 博（工） 山梨大学大学院 医学工学総合研究部（〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11）
E-mail : miyoshi@yamanashi.ac.jp

歩行者系舗装には、多様な歩行者が安全かつ円滑に、そして快適に通行できるなどの機能が要求される。これらに対する性能指標として、すべり抵抗や歩行の硬さ、路面段差、平たん性などがある。土木学会舗装工学委員会歩行者系舗装小委員会では、歩行者系舗装の性能評価法に関する検討に必要な基礎資料を得ることを目的として、2008年2月に供用中の歩道においてすべり抵抗性や弾力性、平たん性などの路面性状に関する物性値の測定に加えて車いすの振動加速度の測定を行った。

本研究では、これらの測定データから車いすの乗り心地への影響が大きい平たん性と路面段差を取り上げ、車いすの乗り心地の評価指標の一つである振動レベルとの関係について検討した。

Key Word : *performance indexes, pavement roughness, surface smoothness of road, ride comfort of wheelchair*

1. はじめに

歩行者系舗装においては、高齢者や視覚障がい者、車いす利用者などの多様な歩行者の安全で円滑・快適な通行の確保などの機能が求められる。「舗装性能評価法別冊―必要に応じ定める性能指標の評価法編―」¹⁾では、歩行者系舗装における性能指標として、すべり抵抗値、平たん性、路面段差、硬さ、浸透量の5項目について詳細を示しているが、車いす利用者の路面に起因する乗り心地に着目すると、これらの5項目のうち平たん性と路面段差が密接に関連すると考えられる。

「舗装性能評価法別冊」では、平たん性と路面段差について以下のように規定している。

平たん性は歩道路面の凹凸の程度をいい、プロファイラによる測定方法と標準偏差を用いた評価方法を示している。基準値の設定は既往の調査研究結果を踏まえて道路管理者が設定することとしている。既往の研究事例では、歩行者を対象とした場合には路面高さの標準偏差が3.5mm以下の場合が歩きやすいと評価しており、車いす利用者が対象の場合には、石田ら²⁾が行った車いす利用者の走行負荷に関する官能評価結果と関係づけた研究を参考にすることを推奨している。

路面段差はブロック等を使用した舗装の目地部の高低差である。基準値の例として、インターロッキング

グブロック舗装の場合には歩道の施工管理の出来高基準として3mm、補修の基準として最大5mmを示している。しかし、目地幅については言及されておらず、性能指標としては取り上げられていない。

著者ら^{3),4)}は、これまでにブロック系舗装の目地が車いすの乗り心地に及ぼす影響について検討しており、振動レベルを用いた乗り心地の評価や目地幅とブロック寸法が車いすの乗り心地に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。しかしながら、これらの研究では、路面の平たん性や段差の測定は行っておらず、それらが車いすの乗り心地に及ぼす影響も明らかにできていない。

2008年2月に、土木学会舗装工学委員会歩行者系舗装小委員会では、歩行者系舗装の性能評価法に関する検討に必要な基礎資料を得ることを目的として、供用中の歩道においてすべり抵抗性や弾力性、平たん性、段差、目地幅などの路面性状に関する物性値の測定と車いすの振動加速度の測定を行った。

そこで、本研究では、これらの測定データから平たん性と段差、目地幅を取り上げ、車いすの乗り心地の評価指標として振動加速度から振動レベルを算出して、これらの関係について検討したので、その結果を報告する。なお、本研究は上記小委員会の同意を得て、著者が独自に分析を行ったものである。

2. 測定の概要

表-1 調査対象路面

No.	名称	仕様等	延長距離
1	カラー As-1	赤系, 平たん	50m
2	カラー As-2	赤系, 根上りあり	30m
3	IL ブロック	98×198mm	20m
4	平板-1	298×298mm, 波型模様	30m
5	平板-2	448×598mm	50m
6	タイル	100×100mm	10m



(1) IL ブロック



(2) 平板-1



(3) 平板-2



(4) タイル

写真-1 対象路面

(1) 対象路面

測定箇所は、茨城県取手市戸頭駅より徒歩1分に位置する戸頭住宅（UR 都市再生機構）内の供用中の歩道である。

表-1 に調査対象路面を、写真-1 にブロック系舗装の表面写真を示す。カラー As-1, カラー As-2 は赤系アスファルト舗装であるが、カラー As-1 は平たん部分であり、カラー As-2 には街路樹の根上りによる路面の凹凸やクラックの発生が見られた。IL ブロックと平板-1 には破損は認められなかったが、平板-2 には段差や割れが発生しており、騒音も生じていた。また、IL ブロックのブロック間は面取りによって幅 10mm 程度が低くなっており、平板-1 の波型模様は板表面よりも低い幅約 15mm の曲線で描かれている。

(2) 路面性状の測定

「舗装性能評価法別冊」に従って、舗装材の性能指標の測定を実施した。

平たん性は、各路面に測定用のラインを引き、ポータブル型路面プロファイル測定装置 DAM（分解能 1/100mm）を使用して測定を行った。10mm 間隔で路面高さを測定し、250mm 間隔でデータを抽出して、そ

表-2 車いすの主要寸法

箇所	寸法 (cm)	箇所	寸法 (cm)
全幅	53	前輪間隔	43
前輪直径	15	前後輪車軸間隔	37
後輪直径	48	シート奥行	40

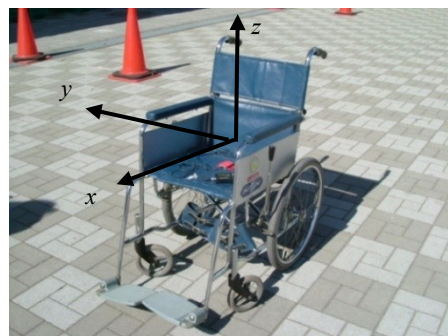


写真-2 車いすの外観と座標

の標準偏差を平たん性とした。

段差と目地幅は、IL ブロック、平板-1、平板-2、タイルを対象路面とした。平たん性の測定を行ったライン上の 50 点について、ノギスと定規を用いて製品間の目地幅および段差を測定し、最大値、最小値、平均値、標準偏差を求めた。

(3) 車いす振動の測定

通常、高齢者が車いすを使用する場合は介助者が操作することから、本研究では手動の介助用標準型車いすを使用する。表-2 にその主要寸法を、写真-2 にその外観と設定座標を示す。車いすの質量は 14.7kg である。従来の研究で使用されている手動の自走用標準型車いすと比べると、後輪径が小さくハンドリムがついていないため、一回り小さいものとなっている。

3 軸加速度センサ (MA-3-04Ac, マイクロストーン) はシートの幅方向中央、奥行方向前方より 2/3 の位置に固定した。車いすは平たん性等を測定したラインを左右両輪で挟んで走行し、測定用 PC を持った乗員（重量 540N）が車いすに乗り、後ろから介助者が車いすを押して測定を行った。介助者の歩行速度は 1.0m/s を目安とし、サンプリングタイム 2ms で、各路面における振動加速度データの収集を行った。

測定データより、加速度応答、パワースペクトルを求めた。さらに、車いすの乗り心地の評価指標として振動レベルを算出した⁴⁾。

3. 測定結果と考察

(1) 路面性状

表-3 路面性状の測定結果

(1) 平坦性

No.	名称	平坦性
1	カラー As-1	1.6
2	カラー As-2	2.9
3	ILブロック	1.6(*)
4	平板-1	2.4
5	平板-2	1.9(*)
6	タイル	1.3

(*)複数個所の平均値

(2) 段差

No.	名称	最大値	最小値	平均値	標準偏差
3	ILブロック	1.5	0.0	0.33	0.39
4	平板-1	3.63	0.0	1.02	0.97
5	平板-2	8.76	0.0	1.91	1.51
6	タイル	1.55	0.0	0.47	0.46

(3) 目地幅

No.	名称	最大値	最小値	平均値	標準偏差
3	ILブロック	3.61	0.98	2.18	0.45
4	平板-1	7.45	1.46	3.18	1.12
5	平板-2	5.27	1.06	2.32	0.76
6	タイル	9.85	7.02	8.48	0.59

(単位：mm)

平坦性、段差、および目地幅の測定結果を表-3に示す。

平坦性は、すべての路面で歩行者が歩きやすいと評価される 3.5mm 以下である。製品間の平均段差はいずれも補修基準の 5mm 以下であるが、平板-2が平均値、最大値、標準偏差ともに最も大きく、最大値は基準値 5mm を超えている。目地幅は、湿式工法で施工されているタイル舗装以外では、平板-1が平均値、最大値、最小値、標準偏差も大きい。

(2) 振動加速度応答

図-1 は、各路面における上下 (z 軸) 方向加速度応答波形の一部 (2 秒間) である。

カラー As-1 では、加速度振幅は 1m/sec^2 以下と小さく、明確な周期性は見られない。カラー As-2 では、根上り部分通過と見られる大きな振幅の部分がみられる。

ILブロックでは、振幅が $2 \sim 4\text{m/sec}^2$ の波が約 0.1 秒間隔で生じており、これらは目地部分通過によって生じた衝撃的な応答と考えられる。これらの衝撃的応答の振幅にばらつきが見られるのは、寸法 $98 \times 198\text{mm}$ のブロックが縦横に敷設されていること

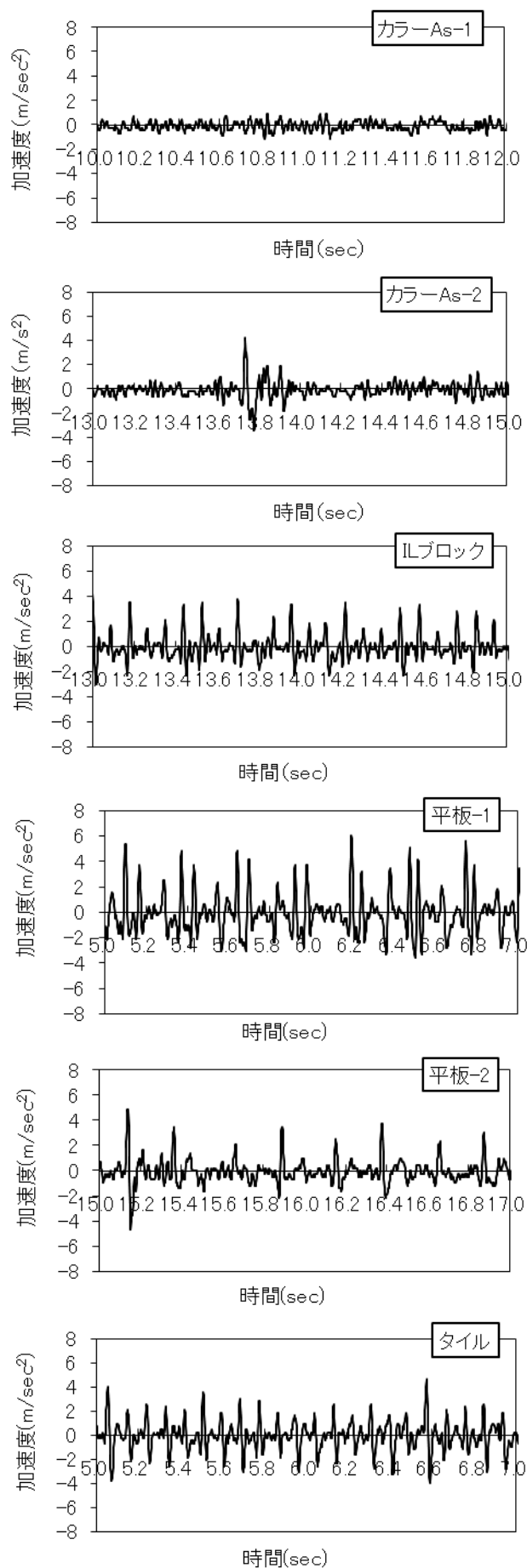


図-1 z 軸方向加速度応答波形

により進行方向に直交する目地の位置が揃っている箇所と揃っていない箇所があるためである。目地位置が揃っている箇所では左右のキャストが同時に目地を通過して応答振幅が大きくなるが、揃っていない箇所では左右いずれかのキャストだけが目地を通過して応答振幅は小さくなるからである。

平板-1では、振幅が約2, 4, 6m/sec²の3種類の衝撃的応答波形が生じ、その周期は目地通過時間の0.3秒よりも短い。これは、製品間の目地による凹凸だけでなく波型模様の凹凸によっても衝撃的応答が生じていることを示している。平板上のどの位置を車輪が通過したかを把握していないため、これらの衝撃的応答が目地による応答か、模様による応答かは明確にできないが、凹凸模様の影響は無視できないことがわかる。

平板-2では0.2～0.3秒間隔で衝撃的な応答が生じている。平板-2は、寸法448×598mmの平板が目地位置をずらして敷設されており、左右の車輪が隣り合った平板上を通行したことにより、このような間隔で衝撃的応答が生じたと考えられる。また、平板-2の段差は最大値8.76、標準偏差1.51とばらつきが大きいので、衝撃的応答の振幅にもばらつきが現れたものと考えられる。

タイルにおける応答は約0.1秒間隔で衝撃的応答が生じており、それらの振幅は他のブロック系舗装に比べて小さい。

4種類のブロック系舗装について、目地あるいは凹凸通過時の振幅を比較すると、平均段差が最も大きい平板-2よりも平板-1の方が振幅が大きい。平均目地幅は平板-2よりも平板-1の方が大きく、平板-1には幅約15mmの凹凸模様があることから、目地については段差だけでなく幅の影響も無視できないこと、目地以外の凹凸の影響も大きいことがわかる。また、ILブロックと平板-2を比較すると、目地幅は同程度であるが平均段差が小さいILブロックと振幅が同程度となっており、これはILブロックの面取りによる凹凸の影響によると考えられる。

(3) パワースペクトル

各路面における上下(z軸)方向加速度応答のパワースペクトルを図-2に示す。

ILブロックとタイルでは、ブロック寸法と走行速度から求められる基本周波数の整数倍でスペクトル振幅が大きくなっている。平板-1でも同様の卓越周波数が生じており、平板寸法から求められる基本周波数が約3Hz、波型模様から求められる基本周波数が約7Hzであることを考慮すると、目地よりも波型模様の影響が大きいことがわかる。カラーAs-2にお

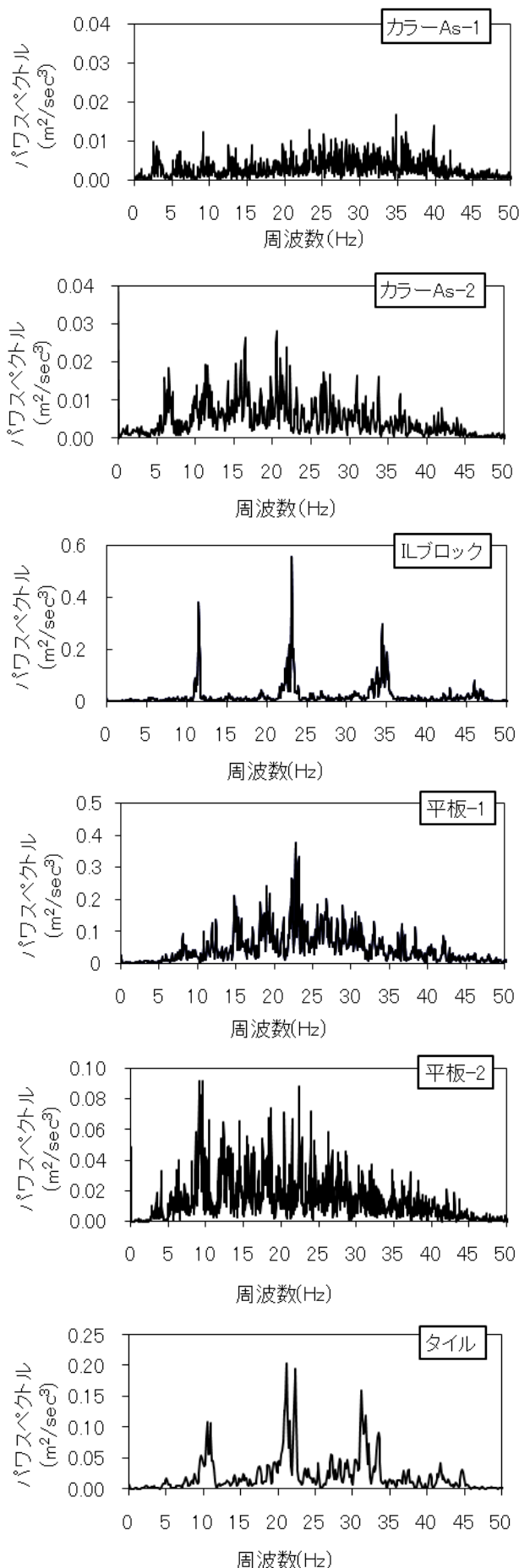


図-2 z軸方向加速度のパワースペクトル

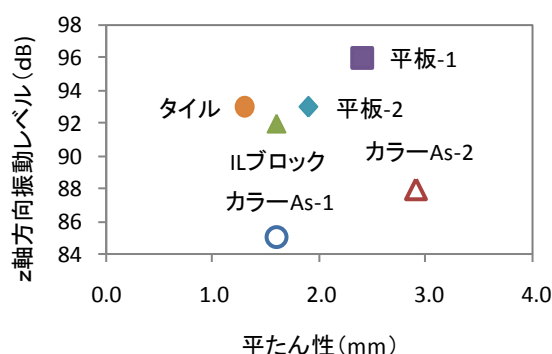


図-3 平坦性と z 軸方向振動レベルの関係

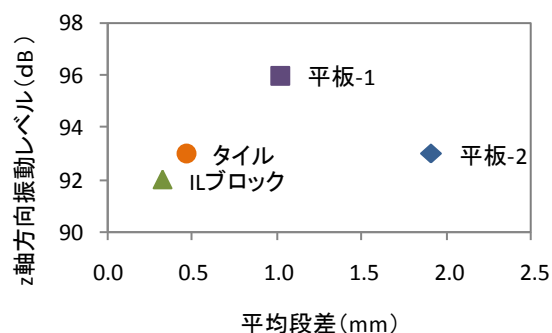


図-4 平均段差と z 軸方向振動レベルの関係

いても複数の卓越周波数が生じており、これらは根上り部分による応答の影響と考えられる。平板-2では、隣合う平板の目地位置がずれていることによって車いすには 30cm 間隔で衝撃的応答が生じるため、基本周波数は 3.3Hz となり、その整数倍の周波数においてスペクトル振幅が大きくなる傾向が表れている。

カラー As-1 と平板-2 以外で、20～25Hz のスペクトル振幅が大きくなっている。このようなスペクトル振幅の増大は車いすの固有振動の影響であることが文献 4) において明らかになっている。本研究で測定に用いた車いすは文献 4) で使用した標準型車いすではなく介助用車いすであるが、卓越周波数はほぼ一致しており、同様の固有振動特性を有すると考えられる。平板-2 では、約 10Hz のスペクトル振幅が大きくなっている。これは、隣合う平板の目地位置がずれていることにより、左右車輪の目地通過時間が異なり、その他の路面とは異なる振動モード（偏揺れ振動）が発生したと考えられる。

(4) 性能指標と振動レベルの関係

各舗装路面の平坦性と z 軸方向振動レベルの関係を図-3 に示す。アスファルト舗装であるカラー As-1、カラー As-2 は平坦性の値が大きくなるのに伴って振動レベルも大きくなっている。ブロック系舗装も同様の傾向を示しているが、振動レベルはア

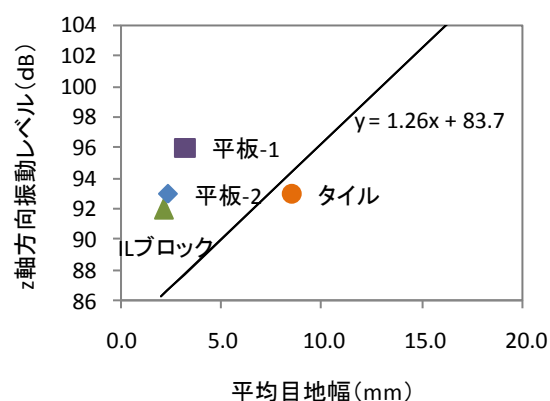


図-5 平均目地幅と z 軸方向振動レベルの関係

スファルト舗装よりも大きな値を示している。これより、車いすの乗り心地の観点からは、アスファルト舗装とブロック系舗装は異なる評価基準を用いる必要があると考えられる。また、ここでの平坦性は、2. 測定の概要で述べたように「舗装性能評価法別冊」に示されたポータブル型路面プロファイル測定装置 DAM による 10mm 間隔で測定したデータから 250mm 間隔で路面高さを求めていることから、ブロック系舗装の目地のように幅 10mm 前後の凹凸を有する路面性状の正確な把握は困難である。このことから、車いすの乗り心地という観点からはアスファルト舗装とブロック系舗装の評価基準は区別すべきであろう。

ブロック系舗装の平均段差と z 軸方向振動レベルの関係を図-4 に示す。平板-2 以外は、平均段差と振動レベルの間に相関性が見られる。これは、平板-2 以外の舗装は、目地あるいは波型模様の間隔が 10～15cm 間隔で、目地幅、波型模様の幅、目地の面取り部分の幅が 10mm 前後と凹凸の条件が比較的揃ったことによるものと考えられる。また、平板-2 の振動レベルが低い理由として、平板寸法が約 60cm（隣合う平板の目地間隔 30cm）と大きいことが挙げられる。このことは参考文献 4) においても示されているが、振動レベルは加速度実効値を対数表示したものと考えられることから、目地による衝撃的応答の振幅が同じ場合、衝撃応答の時間間隔が大きいほど加速度実効値は小さくなり、振動レベルは低下する。

図-5 は、ブロック系舗装の平均目地幅と z 軸方向振動レベルの関係を示したものである。図中には、著者が文献 4) に示した目地幅と振動レベルの関係を表す推定式も記入した。推定式はタイル舗装を対象とした測定結果から誘導されたものであるが、今回の測定結果においてもタイルでは推定式とほぼ一致した結果が得られている。このことから、タイル系舗装における車いす乗り心地の評価として推定式の有

効性は高いことが確認できた。一方、その他の舗装は推定式よりも大きな値を示している。これは、平板-1とILブロックでは目地幅よりも幅広い波型模様や面取りによる凹凸幅の影響が大きいことによるものと考えられる。したがって、模様や面取りによる凹凸がある場合には、製品間の目地幅だけによる評価では実際よりも過小評価になることがわかる。

4. まとめ

土木学会舗装工学委員会歩行者系舗装小委員会が実施した歩道の路面性状の測定結果を用いて、車いすの乗り心地の観点から歩道の性能指標である平坦性と路面段差について検討した。また、ブロックの面取りや模様による路面凹凸の幅ならびに目地幅と車いすの乗り心地の関係についても検討し、著者が先に提案したタイル系舗装における車いすの振動レベルの推定式の有効性についても確認した。

本研究により得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- (a) 本研究で用いた介助用車いすにおいて目地通過時に励起される固有振動特性は標準型車いすとはほぼ一致する。
- (b) 平坦性と車いすの振動レベルには相関関係が見られるが、アスファルト舗装とブロック系舗装は異なる評価基準が必要である、
- (c) ブロック系舗装では、目地における段差だけで

なく目地幅やブロック寸法も性能指標として検討すべきである。また、ブロック表面の面取りや模様等による凹凸がある場合には、それらの幅や間隔についても検討する必要がある。

- (d) 著者が先に提案した目地幅を用いた車いすの振動レベルの推定式は本研究による測定結果とほぼ一致し、タイル系舗装の乗り心地評価としては有効であることが確かめられた。

謝辞：本研究の遂行にあたり、データの使用をご了承くださいました土木学会舗装工学委員会歩行者系舗装小委員会の皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装性能評価法別冊―必要に応じ定める性能指標の評価法編―，pp.205-217，2008年
- 2) 石田眞二，亀山修一，岳本秀人，姫野賢治，鹿島茂：車椅子の走行負荷に基づいた歩道の路面凹凸評価方法，土木学会論文集E，Vol.62，No.2，pp.295-305，2006年4月
- 3) 岡村美好，深田直紘：車いすの振動加速度を用いた歩道路面凹凸の評価に関する研究，舗装工学論文集，第9巻，pp.17-24，2004年12月
- 4) 岡村美好：タイル舗装の目地が走行中の車いすの振動と乗り心地に及ぼす影響，土木学会論文集E，Vol.64，No.1，pp.237-246，2008年3月

STUDY ON PERFORMANCE INDEXES OF SIDEWALK PAVEMENT BY FOCUSING ON RIDE COMFORT OF WHEELCHAIR

Miyoshi OKAMURA

Pavement roughness and surface smoothness of road are used as Performance indexes of sidewalk pavement. In this paper, the performance indexes are investigated by focusing on ride comfort of wheelchair. Pavement roughness, surface smoothness of road, joint width of block pavement and vibration level of wheelchair were calculated from the data of sidewalk pavement which were measured by the committee on Pavement Engineering, JSCE. And then the relation between ride comfort of wheelchair and the evaluation indexes of performance assessment of sidewalk pavement is discussed. The results from the discussion are as follows: 1) the joint width of block pavement is necessary for a performance index; 2) the criterion of evaluation of pavement roughness of block pavement is needed to be distinguished from that of asphalt pavement; 3) the equation which is previously suggested by the author is useful for estimating vibration level of a wheelchair running through tiled pavement.