歩行者系舗装の物理性状と筋活動の 定量的評価に関する研究

鬼塚信弘¹・平野晴也²・多田悟士³・沢口義人⁴

¹ 正会員 博 (工) 木更津工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1)

E-mail: onizuka@kisarazu.ac.jp

² 学生会員 千葉大学工学部都市環境システム学科 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

³ 正会員 東亜道路工業株式会社 技術研究所 (〒300-2622 茨城県つくば市要 315-126)

⁴ 非会員 博 (工) 木更津工業高等専門学校 電子制御工学科 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1)

歩行者系舗装は安全かつ円滑な移動ができるものとされ、歩行感測定法などの研究が行われているが、体系化された定量的な評価法は確立されていない。本研究は筆者らの既往研究に新たな舗装種および無線測定装置を導入し、筋電図のノイズ除去と表面筋電図法の%MVC法で正規化の処理を施した。また、下腿が受ける影響を表面筋電図法により定量的に評価し、その関係性を明らかにし、体系化を試みた。その結果、下腿の筋活動は路面の硬さおよびすべり抵抗係数の違いによって一傾向をもって変化することが明らかになった。下腿の筋活動を測定することで、舗装の物理性状を定量的に評価できることから、人からみた歩行者系舗装の性能指標の一項目として導入できる可能性が示唆された。

Key Words: *pavement for pedestrians, physical properties of pavement, skid resistance of road surface, muscular activity, quantitative evaluation method*

1. はじめに

2006年の高齢者、障害者らの移動等の円滑化の促進に関する法律（バリアフリー法）¹⁾が施行されて以来、歩道等の歩行空間において、バリアフリー化やユニバーサルデザインの考え方が推進され、現在では多様な舗装材料を用いた歩行者系舗装が施工されている²⁾。

バリアフリーは障害のある人が社会生活をしていく上で障壁（バリア）となるものを除去するという意味で、段差等の物理的障壁の除去を指すことが多いが、より広く障害者の社会参加を困難にしている社会的、制度的、心理的な全ての障壁の除去という意味でも用いられる。それに対して、ユニバーサルデザインはあらかじめ、障害の有無、年齢、性別、人種等に関わらず多様な人々が利用しやすいよう都市や生活環境をデザインする考え方とされている³⁾。

現在の道路整備のあり方は車両を中心としたものから人を中心としたものに移行している⁴⁾。しかし、人を中心とした道路整備を考えているのにも関わらず、舗装が人にどのような影響を与えているのかを研究された事例は少ない。既往の研究^{5,6,7)}では舗装種や舗装の性能の違いによる筋活動やアンケートによる歩きやすさ、転倒時

の安全な硬さ、快適に通行できる硬さの評価等がなされてきたが、人からみた場合の路面の定量的な評価を体系化することまではなされていない。

舗装設計便覧の歩道の舗装材料に注目し、その表層に用いる材料選定では、利用者の人数や高齢者、障害者等の歩行者構成、アメニティ、周辺環境との調和等を考慮して行う²⁾としている。また、バリアフリー法に基づく移動等円滑化基準のために必要な道路の構造に関する基準を定める省令では、歩道等の舗装は平たんで滑りにくく、水はけの良い仕上げとする⁸⁾としており、歩道等の舗装材料選定のための規定は抽象的で明確な指標がない。

既往の研究における歩行者系舗装の人への影響を考慮した路面評価は、主にアンケート調査が多く行われてきた^{6,7)}。しかし、このような官能試験では個人の主観的な判断によって影響を受けやすい。この一方、人体への影響を客観的に定量化できる測定量として、歩行時の下肢部加速度や下肢の表面筋電図がある。4種類の舗装を対象とした研究では、特に表面筋電図について舗装材料特性による変化がみられることが報告されている⁹⁾。そこで、神田ら⁹⁾は物理性状が異なる16舗装上を歩行した際の右下腿筋活動の測定・解析を行い、舗装の物理性状（舗装硬さおよび路面のすべり抵抗係数）と筋活動の関

表-1 歩行者系舗装の性能指標の例⁴⁾

舗装の性能		性能指標
安全・円滑な交通の確保	すべり抵抗性	すべり抵抗値
	衝撃吸収性・弾力性	反発係数、硬さ
	平たん性	路面段差 ラフネス
快適な交通の確保	防塵性	飛散量
	透水性	浸透水量
	防塵性	飛散量
環境の保全と改善	路面温度低減	路面温度低減値
	景観性・周辺環境との調和	シミュレーションによる評価など
	CO ₂ 排出低減	CO ₂ 排出量低減値

係性に一定の傾向があることを示唆した。

本研究では神田らの報告⁹⁾後に新たな舗装種および無線装置、測定した筋電図のノイズ除去、表面筋電図法の代表的な正規化方法(%MVC法¹⁰⁾)を導入した。これにより解析データの精度向上および定量的路面評価の体系化を目指すこととした。本研究は舗装の物理性状の違いから人が受ける影響を表面筋電図法により定量的に評価し、その関係性を明らかにした上で体系化を図り、歩きやすさ、歩き心地、負担感などの人からみた歩行者系舗装の性能指標の導入を目指すことを目的とする。

2. 舗装の物理性状

(1) 歩行者系舗装の性能指標

歩行者系舗装は歩道やコミュニティ道路など歩行者等の交通弱者が利用対象の中心となる歩行者系道路に施工されるアスファルト舗装やコンクリート舗装、ブロック舗装等の総称である³⁾。歩行者系舗装の要求性能(表-1)には衝撃吸収性や弾力性、すべり抵抗性、平たん性、透水性などがあり、これらを具体化したものが性能指標である。

(2) 試験舗装の種類

筋活動の測定を行う舗装は、発生土およびおが屑入りの土系舗装2種、クレイ舗装、材料の異なるブロック系舗装3種、アスファルト系舗装4種、ウッドチップ舗装、人工芝、ゴムチップ系舗装2種、コンクリート舗装、芝舗装の計16種類である(図-1)。神田らの報告⁹⁾後に新たにゴムチップシート7mm舗装種を加えた。なお、砂利舗装は砂利そのものが突起して測定ごとに移動し、路面の硬さおよびすべり抵抗係数の測定値が安定した状態で得られなかったため、本研究の報告では除外した。

(3) 舗装の物理性状

16種類の舗装の性能指標である衝撃加速度(G)およびすべり抵抗係数(C.S.R)を測定した。

路面の硬さ試験には床の硬さ試験機(JISA6519)を用いた。当該試験は人が頭から転倒した時を想定しており、舗装の転倒時安全性試験に用いられる¹¹⁾。人の頭蓋骨を横に切った構造を模した、質量3.85kgの鋼製ヘッドモデルを高さ20cmの高さから路面上に置いた規定のゴム板上に自由落下させ、路面に衝突した時の衝撃加速度(G)の最大値を測定し、それを路面の硬さとして評価する。

路面のすべり抵抗性試験はJIS A 1454を参考に東亜道路工業が自作した試験機を用いた。路面に785N(80kgf)の鉛直荷重を載荷し、それを傾斜角度18°で引張荷重速度785N/s(80kgf/s)で引っ張った際の最大荷重を計測してすべり抵抗係数(C.S.R)を求める。当該試験は歩行動作を想定しており、接触部のゴムの硬度は運動靴のソールと同じ硬度のものである。

舗装の物理性状の試験結果を表-2、3に示す。衝撃加速度(G)の値が大きいほど舗装が硬く、値が小さいほど軟らかいことを示すため、最も軟らかい舗装はおが屑入り舗装1であり、最も硬い舗装は遮熱性舗装であることがわかる。また、すべり抵抗係数(C.S.R)は値が大きいほどすべりにくく、値が小さいほどすべりやすいことを示すため、芝舗装が最もすべりやすく、遮熱性舗装およびウッドチップ舗装が最もすべりにくい舗装であることがわかる。

本研究から新たにゴムチップシート7mmを追加した。本試験舗装で測定した路面の硬さおよびすべり抵抗係数の両方において中間の値を示したことから、本舗装の物理性状の試験範囲で体系化することができた。

3. 筋活動の測定

(1) 表面筋電図

本研究では人が受ける影響を定量的に評価するために

名称	おが屑舗装1	おが屑舗装2	土舗装	インターロッキングブロック舗装
断面	<div>マサ土 20mm</div> <div>おが屑:マサ土=1:1 30mm</div> <div>おが屑 50mm</div> <div>5号砕石 50mm</div> <div>衝撃加速度 27(G) すべり抵抗係数 0.64(C.S.R)</div>	<div>おが屑:脱水ケーキ:マサ土=3:1:6 50mm</div> <div>おが屑:マサ土=1:1 50mm</div> <div>5号砕石 50mm</div> <div>衝撃加速度 43(G) すべり抵抗係数 0.66(C.S.R)</div>	<div>マサ土 50mm 苦汁1.2kg/m²</div> <div>防草シート</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 41(G) すべり抵抗係数 0.71(C.S.R)</div>	<div>インターロッキングブロック 60mm</div> <div>敷き砂 20mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 107(G) すべり抵抗係数 0.78(C.S.R)</div>
名称	木レンガ舗装	樹脂カラーすべり止め舗装	石坂舗装	アスファルト舗装
断面	<div>木ブロック 50mm</div> <div>敷き砂 20mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 94(G) すべり抵抗係数 0.78(C.S.R)</div>	<div>樹脂舗装研究会工法規格番号 RPN-501</div> <div>密粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 121(G) すべり抵抗係数 0.78(C.S.R)</div>	<div>御影石タイル 13mm</div> <div>ポリマーセメントモルタル 30mm</div> <div>密粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 122(G) すべり抵抗係数 0.76(C.S.R)</div>	<div>密粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 118(G) すべり抵抗係数 0.75(C.S.R)</div>
名称	透水性舗装	遮熱性舗装	ウッドチップ舗装	コンクリート舗装
断面	<div>開粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 111(G) すべり抵抗係数 0.73(C.S.R)</div>	<div>ポリウレア遮熱</div> <div>開粒度アスファルト混合物(5) 30mm</div> <div>開粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 125(G) すべり抵抗係数 0.87(C.S.R)</div>	<div>ウッドチップウレタン 40mm</div> <div>開粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 52(G) すべり抵抗係数 0.87(C.S.R)</div>	<div>コンクリート 210mm</div> <div>M-30路盤</div> <div>衝撃加速度 124(G) すべり抵抗係数 0.77(C.S.R)</div>
名称	人工芝舗装	ゴムチップブロック舗装	芝舗装	ゴムチップシート舗装
断面	<div>人工芝 8mm</div> <div>密粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 83(G) すべり抵抗係数 0.71(C.S.R)</div>	<div>ゴムチップブロック 25mm</div> <div>密粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 59(G) すべり抵抗係数 0.78(C.S.R)</div>	<div>芝生</div> <div>砂+改良材 200mm</div> <div>火山砂利 100mm</div> <div>衝撃加速度 29(G) すべり抵抗係数 0.51(C.S.R)</div>	<div>ゴムチップシート 7mm</div> <div>開粒度アスファルト混合物(13) 40mm</div> <div>M-30路盤 100mm</div> <div>衝撃加速度 71(G) すべり抵抗係数 0.61(C.S.R)</div>

図-1 舗装の断面

表面筋電図法を用いた。この手法は侵襲性がないことから、主に体育・スポーツ、リハビリテーション、人間工学などの分野において用いられている¹²⁾。筋電位は運動の起動力となる筋収縮の原因となって生じ、表面筋電図は表面皮膚に取り付けた電極でその筋電位を測定し、それを可視化させたものである。

測定した筋電位は通常 mV～μV で表される。筋収縮の強さが増大するにあたり、筋電図の振幅（筋電位）が増

大する¹³⁾ことが明らかになっているため、筋活動の評価が可能となる。また、動作の詳細な評価を行うため、生体信号の同期化として関節角度計やフットスイッチ、加速度計などが用いられている¹⁴⁾。

(2) 測定条件

被験者は男性4名、女性4名の計8名で年齢は18歳から20歳の範囲で、平成25年度に新規購入した同一の運

表-2 試験舗装の衝撃加速度

舗装種	衝撃加速度 (G)
おが屑舗装1	27
芝舗装	29
土舗装	41
おが屑舗装2	43
ウッドチップ舗装	52
ゴムチップブロック舗装	59
ゴムチップシート舗装	71
人工芝舗装	83
木レンガ舗装	94
インターロッキングブロック舗装	107
透水性舗装	111
アスファルト舗装	118
樹脂カラーすべり止め舗装	121
石板舗装	122
コンクリート舗装	124
遮熱性舗装	125

表-3 試験舗装のすべり抵抗係数

舗装種	すべり抵抗 係数(C.S.R)
芝舗装	0.51
ゴムチップシート舗装	0.61
おが屑舗装1	0.64
おが屑舗装2	0.66
土舗装	0.71
人工芝舗装	0.71
透水性舗装	0.73
アスファルト舗装	0.75
石板舗装	0.76
コンクリート舗装	0.77
インターロッキングブロック舗装	0.78
木レンガ舗装	0.78
樹脂カラーすべり止め舗装	0.78
ゴムチップブロック舗装	0.78
遮熱性舗装	0.87
ウッドチップ舗装	0.87

動靴（MIZUNO、マキシマイザーWB3（8KA-33289））を測定時のみ履いて試験を行った。

測定する被験筋は左右の前脛骨筋および腓腹筋とした（図-2）。前脛骨筋は歩行の着地時に衝撃を吸収する働きをする筋である。腓腹筋は足首を伸展する際に働く筋であり、外側頭と内側頭に分かれている¹⁵⁾ため、別々に測定した外側頭と内側頭の筋電位を合計して腓腹筋の筋電位として算出した。筋電位のサンプリング周波数は2000Hzとした。通常、表面筋電図の周波数成分は5Hzから500Hzまでといわれているため、筋電位のサンプリングは1000Hz以上が望ましいとされている¹²⁾。

図-2 測定対象とした被験筋

(3) 測定準備

解析データの精度向上を図るためには、筋電位測定の準備段階から丁寧に行わなければならない。手順は以下の通りである。

対象とする筋を触診し、その筋腹中央に黒マジックで印をつけ、体毛を剃り、生体信号モニター用皮膚前処理剤（日本光電社製）およびアルコール綿を使用し、電極貼り付け部の皮膚抵抗を低減させる。

20mm 間隔の Ag-AgCl 皿電極に電極貼り付け用ペースト（日本光電社製）を塗布し、事前に印をつけた位置に取り付け、その上からキネシオロジーテープで固定し、デジタルテスターで皮膚の電気抵抗（200kΩ程度）を確認する。ノイズ成分を抑制するため、皮膚直下に筋がない左膝上にアース電極を取り付けて、自作の無線装置を腰にひもで固定し、電極と対応するチャンネルを合わせる。

歩行動作を解析するため、両足首に三軸加速度計、シ

ューズの中敷き下のつま先およびかかと2カ所にフットスイッチを貼り付けて、安静時の基線および収縮時の筋電位が測定できているかを確認する。

(4) 測定方法

測定準備終了後、筋電位の正規化を行うために、両足かかとの路面非接触状態でのつま先屈伸運動など全被験者共通の動作を行い、最大随意筋収縮時の筋電位を測定した。そのデータの中で、最大筋収縮時の筋活動量を代表的な正規化方法 100%MVC¹⁰⁾として用いることにした。試験は路面が乾いた状態の舗装を左右6歩ずつ、計12歩を歩行し（写真-1）、これを各舗装5回ずつ、全16舗装で行った。また、自然な歩行となるよう歩行速度は規定せずに測定を行った。なお、全被験者平均の1歩行周期は1.206s ± 0.029sであった。

写真-1 歩行時の筋活動測定

4. 筋活動の解析方法

(1) ノイズ除去

表面筋電図法では測定する際にノイズが混入してしまうため、測定した筋電位の生波形に対し、ノイズ除去を行った。通常、筋電図には交流雑音や電極リード線が動作中に引っ張られるため、それぞれ 50Hz、10~20Hz のノイズが混入する¹²⁾。したがって、本研究ではコードの揺れや動作中の皮膚に貼り付けた電極のずれによる影響を highpass フィルター15Hz（低域遮断フィルター）、商用交流電源に由来する影響を notch フィルター50Hz によりノイズ除去を行った。

ノイズ除去前後の筋電図を図-3、4 に示す。ノイズ除去前とノイズ除去後で振幅の振れ幅はあまり変化せず、ノイズ除去により基線を 0μV に設定した。ノイズ除去を行うことでデータのばらつきを防ぎ、精度の向上を目指した。また、歩行動作と筋電図の同期に用いる上下加速度には lowpass フィルター50Hz（高域遮断フィルター）によりノイズ除去を行った。

(2) 上下加速度からの1歩行周期データの切り出し

歩行を時間的要素に沿って観察する際の基本的単位で、片側のかかとが接地して再び同側のかかとが接地するまでの時期を歩行周期と呼び¹⁶⁾、この区間の1つ1つの筋電位を解析するため、1歩行周期を切り出す。筋電図からは歩行周期の開始点を特定できないため、あらかじめ記録しておいた上下加速度により歩行周期を特定する（図-5）。既往の研究¹⁷⁾により、歩行動作と上下加速度が対応していることが明らかになっていることから、かかと着地から次のかかと着地までの歩行周期を特定し、1歩行周期の筋電位を切り出し、解析を行った。

(3) RMS（二乗平均平方根）

切り出した1歩行周期の筋電位から筋活動量を算出するため、最も広く用いられている解析パラメータの筋電図の平均振幅を計算した。(1)式に示したように、平均

図-3 ノイズ除去前の筋電図（生波形）の例

図-4 ノイズ除去後の筋電図の例

図-5 歩行周期の特定に用いる上下加速度

振幅は Root Mean Square（RMS：二乗平均平方根）により求めた。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

ここに、 N ：1歩行周期間のサンプル数、 x_i ：各時刻の筋電位（μV）である。

振幅の増加は運動単位の参加程度（動員と発火頻度により規定される）が増したことを表し、活動電位を生み出す筋繊維が増加、すなわち筋力が増加していることを示す¹⁴⁾。したがって、舗装を歩いた時の RMS の値が大きいほど、筋活動量が増加していることがわかる。

(4) 100%MVC

筋活動量を表す RMS では個々で数値の桁が異なり、個体差があるため、被験者間や被験筋間で比較する場合

には正規化する必要がある．本研究では表面筋電図法の代表的な正規化方法である 100%MVC 法により正規化を行い、(2) 式のように示される¹⁰⁾．

$$\%MVC = \frac{1 \text{ 歩行周期のRMS}}{\text{最大筋収縮時のRMS}} \quad (2)$$

これはある動作局面の筋活動量を、対象となる筋の最大随意筋収縮時の筋活動量に対する割合で示す方法である．また、(2) 式において、最大筋収縮時の RMS を 100% として計算した場合には 100%MVC と表記する．

ここで歩行試験前にあらかじめ測定した最大随意筋収縮時のデータを用いる (図-6)．得られた%MVC の波形から最大振幅の前後 1 秒程度を対象区間に選択する¹⁸⁾ため、本研究の最大筋収縮時の RMS は筋電図の最大振幅の時間から前後、各被験者の歩行周期分の区間を対象とした．これにより、1 歩行周期の筋活動量は最大筋力と同じ時間で発生させた際の筋活動量の割合でみることができる．

(5) 解析データ処理

試験は片脚 6 歩の歩行を行っているため、5 つの歩行周期が生じる．また、1 舗装につき 5 回の測定を行うため、1 被験者・1 舗装につき 25 の歩行周期のデータが取得できる．波形の乱れ等により測定結果には外れ値が混入するため、25 歩行周期のデータの 10% 調整平均値を算出し、それを被験者ごとに行った．10% 調整平均値とはデータの上限・下限からそれぞれ 10% ずつ除外した平均値である¹⁹⁾．また、最大筋収縮時となる両足かかとの路面非接触状態でのつま先屈伸運動などの動作を行ったが、解析データの中には歩行動作と同程度の値、すなわち%MVC は 95% を超えて 100% に近い値が全体の約 5.5% 得られた．これは発汗による電極のずれや剥れにより瞬間的に大きな電圧信号が生じていたものと考えられる．通常の歩行では最大筋収縮に近い筋収縮が得られることはなく、このような%MVC 値は歩行時筋活動によるものと考え難いため、このような%MVC 値を解析から除外することとした．

5. 舗装の物理性状からみた筋活動

(1) 路面の硬さの違いによる筋活動の変化

路面の硬さの違いによる筋活動の変化について解析した結果を図-7, 8 に示す．下腿の筋活動は路面の硬さの違いによって下に凸の近似曲線形状を示した．前脛骨筋および腓腹筋の筋活動量は、衝撃加速度がおおよそ 70~100G の路面の硬さの範囲で比較的小さく、その範囲より硬いほど、また軟らかいほど筋活動量が比較的大きく

図-6 %MVC の対象区間

なる傾向があり、左右下腿でも同様の傾向を示した．これは下腿の筋活動量が最小、すなわち下腿への負担が最小となる舗装の硬さが存在すると考えられる．

左右の前脛骨筋において、衝撃加速度が 100G 以上の路面の硬さ以降の舗装を歩行した際の筋活動量にばらつきが大きくみられる．近似曲線を基準として、その下側に位置する石板舗装、アスファルト舗装、透水性舗装、遮熱性舗装、コンクリート舗装を歩行時に筋活動量が比較的小さく、上側に位置するインターロッキングブロック舗装、樹脂カラーすべり止め舗装は筋活動量が比較的大きい．筋は繰り返し行われるトレーニングによって確実に強くなっていくが、いつも同じ負荷、いつも同じような動作のトレーニングを繰り返すと、筋が徐々に刺激に慣れてしまう²⁰⁾．同程度の硬さの舗装を歩行した場合、負荷の差が顕著でないため、筋がその硬さの負荷に慣れてしまったと考えられる．比較的小さな筋活動量が得られた舗装では、全舗装を測定する際に測定順が後半となったため、人があらゆる舗装に対応できるよう筋肉を学習させる効果があった可能性が考えられる．

左右の腓腹筋のデータに着目すると、前脛骨筋のデータとは異なり、衝撃加速度が 100G 以上の路面の硬さ以降で筋活動量が増加しているとはいいたい．このことから、路面の衝撃加速度 80G 以上の筋活動量は一定になる可能性も考えられる．

(2) 路面のすべり抵抗係数の違いによる筋活動の変化

路面のすべり抵抗係数の違いによる筋活動の変化について解析した結果を図-9, 10 に示す．下腿の筋活動は路面のすべり抵抗係数の違いによって右下がりの近似直線形状を示した．前脛骨筋および腓腹筋の筋活動量は、すべり抵抗係数が高いほど比較的小さく、すべり抵抗係数が低いほど比較的大きくなる傾向があるといえる．なお、近似直線の傾きは違うものの左右下腿でも同様の傾向を示した．右前脛骨筋および左前脛骨筋、左腓腹筋では決定係数が低い値を示している．筋活動量の値が大きくなっている芝舗装やおが屑舗装 1 では、舗装表面が軟らかくたわんで変形し、すなわち路面が均質でないことが原

図-7 路面の硬さの違いによる右下腿筋活動の変化

図-8 路面の硬さの違いによる左下腿筋活動の変化

図-9 路面のすべり抵抗係数の違いによる右下腿筋活動の変化

図-10 路面のすべり抵抗係数の違いによる左下腿筋活動の変化

因となって、歩行時の筋活動のデータにばらつきが出てしまったと考えられる。

本報告の解析では足が地面についていない遊脚期も含めて計算しているため、足が地面についている立脚期のみを解析することが望ましい。すなわち足と舗装が接触している時のみの筋活動量を求めることでより良い値が得られる可能性がある。

(3) 人からみた歩行者系舗装の性能指標の可能性

官能試験によって、安全で快適に通行できる弾性舗装の適正硬さは衝撃加速度の最大値が概ね 70~90G の範囲であり、衝撃加速度 54G を下回って軟らかすぎる舗装では歩道アスファルト舗装と比較して歩きにくく感じる事がわかっている⁷⁾。また、路面がすべりにくい、いわゆる静止摩擦係数が大きいほど歩きやすく、静止摩擦係数が小さくてすべりやすいほど、歩きにくいと感ずることがわかっている⁸⁾。

試験舗装や測定試験装置が同一ではないが、上述を踏まえて本研究の結果と比較してみると、筋活動量が小さいときには歩きやすく、筋活動量が大きいときには歩きにくいと感じる傾向にあり、筋活動量と主観的感覚には一部で対応があるが、全体をみると必ずしも一致しない。

筋活動測定を行うためには必ず専用の測定装置が必要となる。そこで本報では路面の硬さおよびすべり抵抗係数の違いに対する下腿の筋活動の関係式を算出した。今回の測定条件（乾いた路面、年齢一定、履物を統一）における舗装の物理性状と下腿筋活動の関係式により、舗装の物理性状を測定することで、対象となる舗装において、歩行時の筋活動量を推測することができると考えられる。

人を中心に考える歩行者系舗装に、人からみた定量的評価法を取り入れることで、舗装の物理性状の違いによって人が受ける影響（筋活動量）を相対的に知ることができる。したがって、都市部での歩道や公園内の歩道、リハビリ施設舗装など、利用目的に合わせて、人への負担を考慮した舗装材料の選定および舗装の物理性状の設計が可能になると考えられる。

6. まとめ

本研究は舗装の物理性状による下腿の筋活動の変化を定量的に評価し、その関係を明らかにして関係式を算出し、人からみた路面の定量的評価の体系化を試みた。また、人を中心に考える歩行者系舗装の定量的評価法として筋活動の測定を提案した。筋活動により路面を定量的に評価できることから、筋活動を歩行者系舗装の性能指標の一項目として導入できる可能性がある。

今後は被験者を増加することや年齢の違い、靴の種類の変化、湿潤路面での測定、官能試験と筋活動量の対応等を調査し、より普遍的な定量的評価法を目指すことが必要となる。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、木更津工業高等専門学校情報工学科の栗本育三郎教授、東亜道路工業株式会社の野尻大祐氏、谷知尚之氏、木更津工業高等専門学校平成 26 年度専攻科修了生の神田夕葵氏に本研究の御支援をいただくとともに、貴重な御意見もいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：<http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/bf/design/about.html>, (2015/12/19 閲覧)
- 2) 日本道路協会：舗装設計便覧, pp.241, 日本道路協会, 2006.
- 3) バリアフリーとユニバーサルデザイン：<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/udbf/1st-reference5.pdf>, (2015/12/19 閲覧)
- 4) 土木学会：歩行者系舗装入門 - 安全で安心な路面を目指して -, pp.3-6, 丸善出版, 2014.
- 5) 田中孝典, 松本慎平, 徳安達士：下肢筋肉活動及び歩行者意識による歩道舗装の評価, 舗装, pp.31-35, 建設図書, 2015.
- 6) 小森谷一志, 池田拓哉, 谷口聡：歩行者系舗装の歩きやすさの評価手法に関する研究, 第 2 回舗装工学講演論文集, pp.181-188, 土木学会, 1997.
- 7) 鍋島益弘, 山田優：高齢者のための歩道舗装における適正な硬さ範囲, 土木学会論文集, No.788/V-67, pp.117-126, 土木学会, 2005.
- 8) 移動等円滑化基準のために必要な道路の構造に関する基準を定める省令：<http://www.mlit.go.jp/common/000207246.pdf>, (2015/12/19 閲覧)
- 9) 神田夕葵・鬼塚信弘・沢口義人・栗本育三郎・多田悟士：歩行者系舗装の性能の違いが人の筋活動に与える影響とデータの再現性, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門, pp.667-668, 土木学会, 2015.
- 10) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル 基礎・臨床応用, pp.67-71, 酒井医療株式会社, 2010.
- 11) 土木研究所：土系舗装ハンドブック（歩道用）, pp.37-39, 大成出版社, 2009.
- 12) 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 佐渡山亜兵：表面筋電図, pp. 1-12, 東京電機大学出版局, 2006.
- 13) D.Gordon E.Robertson and Graham E.Caldwell, Joseph Hamill, Gary Kamen, Saunders N.Whittleseyv（宮西智久, 榎本靖士, 岡田英孝, 川上泰雄, 木塚朝博, 藤井範久, 森丘保典訳）：身体運動のバイオメカニクス研究法, pp.191-195, 大修館書店, 2008.
- 14) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル 基礎・臨床応用, pp.52-60, 酒井医療株式会社, 2010.
- 15) 左明, 山口典孝：筋肉のしくみ・はたらき辞典, pp.102, 西東社, 2011.
- 16) 川島敏生：筋肉・関節の動きとしくみ事典, pp.134-143, 成美堂出版, 2012.

- 17) 鬼塚信弘・刀根航平・栗本育三郎・沢口義人・金井太一・在原惇：人の筋活動量から見た舗装の性能評価方法の提案，舗装，pp.3-7，建設図書，2011.
- 18) 相馬俊雄，江原義弘ら：臨床歩行計測入門，pp.119-127，医歯薬出版，2008.
- 19) 統計 WEB： <http://software.ssri.co.jp/statweb2/column/column0704.html>，(2016/1/17 閲覧)
- 20) 石井直方：運動に関わる筋肉のしくみ，pp.124-125，新星出版社，2014.

QUANTITATIVE EVALUATION METHOD OF PHYSICAL PROPERTIES ON PAVEMENT FOR PEDESTRIANS AND MUSCULAR ACTIVITY

Nobuhiro ONIZUKA, Haruya HIRANO, Satoshi TADA and Yoshihito SAWAGUCHI

Safety and smoothness in pavement for pedestrians are required. It has been put in various methods other than method for measurement of walking sensation. However, systematic quantitative evaluation methods have not yet been established. In this study, new pavement in our pavements is added and wireless equipment is introduced, denoising and normalizing using % maximal voluntary contraction on surface electromyogram is processed. Effects on the lower legs due to physical properties of pavement are evaluated quantitatively. Between the physical properties and muscular activities are clarified, and systematizations is tried. As a result, it is clarified that the muscular activities of the lower legs vary with a tendency of one graphical form by differing to stiffness and skid resistance of the road surface. Physical properties for measuring muscular activities of the lower legs can be evaluated quantitatively. Thus it is shown possibility that pavement for pedestrians with a viewing point to human can be to introduce an item of evaluation index.