

歩行者の下肢身体情報に着目した歩道舗装の評価について

大分工業高等専門学校 機械・環境システム工学専攻 学生会員 大谷 勇太
同 都市・環境工学科 会員 田中 孝典
福岡工業大学 情報工学部 情報システム工学科 徳安 達士

1. 緒言

現在、我が国では歩行環境の整備を図ることを目的として、安全な歩行空間の整備や運動公園の整備が進められている。2006年に制定されたバリアフリー新法は利便性や安全性を総合的かつ計画的に向上させるために、公共施設や道路等のバリアフリー化を促進するための設計基準が示されている。同法等において歩道に関する幅員等の具体的な構造基準は示されているが、歩行分析による歩行負担の軽減に配慮した歩道舗装の材料特性に関する基準は示されていない。著者らは先行研究においては足首の動作メカニズムに着目した足首周りの衝撃加速度値および脚部の筋活動に着目した下肢表面筋電位の統計学的な分析による歩行特性の評価と歩行特性に応じた舗装路面の性状について比較検討を行った¹⁾。これにより左右の足首における衝撃加速度の有意差によって各被験者の歩行特性がみられ、また有意差の少ない被験者に対しては歩道舗装の材料特性に関する評価を行うことが可能であることが示唆された。しかし、一方において下肢筋肉の表面筋電位の測定においては被験者の歩行時間が30秒間であったことから歩道舗装の材料特性と表面筋電位の明らかな相関が認められなかった。

そこで、本報告は長距離を歩行する被験者の筋疲労に伴う下肢筋肉の表面筋電位の測定を行い、歩道舗装の材料特性と下肢筋肉の表面筋電位について考察する。

2. データ計測システムと歩行実験

歩行実験においてはアスファルト舗装、インターロッキングブロック舗装(以下、ILB舗装という)、ゴムチップ舗装による歩道舗装の他に、芝生および自然土を対象とした。表-1に各舗装等の材料特性を示す。本研究では屋外での歩行者の足首周りの衝撃加速度の測定および下肢筋肉の表面筋電位を測定するために図-1に示す歩行データ計測システムを構築した。足首周りの衝撃加速度測定においてはノートパソコン(以下、PCという)にAD/DA変換ボードを通して三軸加速度計を接続して行った。また、下肢筋肉の表面筋電位の測定においてはPCに無線データ送受信装置を取り付けるとともに、筋電センサをEMGログに接続し、測定される表面筋電位(Electromyogram: EMG)及び積分筋電値(Integrated Electromyogram: IEMG)のデータを同送受信装置を通してPCに取り込む。

測定する表面筋電位の下肢筋群は腓腹筋、前脛骨筋、大腿二頭筋を対象とし、サンプリング周波数1000Hzのリアルタイムで計測を行った。被験者は健常な本校男子学生9名とし、被験者の着用靴は各被験者の足のサイズに合った

表-1 GB係数およびBPN値

	GB係数[%]	BPN値
アスファルト	72.1	77.6
ILB	67.3	65.7
ゴムチップ	32.6	80.0
芝生	8.8	—
自然土	7.6	—

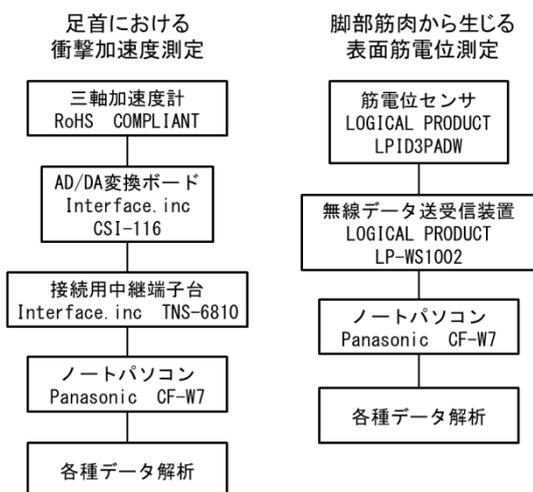


図-1 データ計測システム

同メーカーが市販している同型の革靴とした。歩行速度については被験者の衣類に装着した携帯用メトロノームの音に合わせて1分間あたり100歩のペースで統一した。また、歩幅および歩行動作は指定せず、歩行方法に過剰な意識をもたないように配慮して測定を行った。これまでの歩行実験において定常的な歩行動作状態のデータを取得するために、歩行開始から10秒間経過した後の30秒間(約50ステップに相当)のデータを有効データとして分析を行った。

今回の表面筋電位の測定においては、各舗装での長距離歩行時における下肢筋肉の表面筋電位の違いを観察する。まずは運動を伴わない休憩を充分とった後に、歩行実験を開始し、30秒間の有効データを測定する。次に同歩道舗装上を5分間歩行後、直ちに30秒間の有効データを測定する。この歩行実験を7回(歩行距離約3km)行った。

3. 統計学的分析

3.1 一元配置分散分析による有意差検定

これまでの衝撃加速度測定において歩道舗装等および被験者の違いに関わらず、最も大きい値を示したものはX軸(進行方向)で、次いでY軸(鉛直方向)の値であった。各被験者の各軸方向に対する各々の加速度最大値について

は歩道舗装等の違いによる明らかな傾向はみられなかった。そこで、歩行周期の加速度データを包括的に評価するために加速度値に二乗平均平方根 (Root Mean Square: : RMS) 処理を施した。RMS 処理後、左右の足首における各軸方向の衝撃加速度値の差の有無を調べるために一元配置分散分析による有意差検定を行った。なお、有意水準は $\alpha=0.05$ とした。

3.2 連続 Wavelet 変換による時間周波数解析

最大下筋収縮のような高負荷下において、筋肉により生じる表面筋電位には周波数の減少傾向と積分筋電値の増加傾向がみられると報告されている²⁾。本報告では下肢筋肉の表面筋電位から歩道舗装の違いによる筋疲労を評価するために測定時に得られる積分筋電値と連続 Wavelet 変換を用いる。一般的に Wavelet 変換は非定常な信号データの解析手法として用いられている。同変換は時間軸に対する周波数およびパワースペクトルを得ることができるが、これらの変化を数値的に示すことは難しいことから、各歩道舗装における周波数の変化を定量的に検討することとした。

4. 結果

特徴がみられた被験者3名における一元配置分散分析による有意差検定の結果の一例を表-2に示す。被験者Aは有意差が最も少なく、被験者Bでは有意差が最も多い結果となった。有意差が少ない被験者Aにおいては左右の足首に均等な加速度が作用していることが推測され、他の被験者に比べて歩行特性がみられないことが考えられる。次に、歩行負担を計測するために長距離の歩行時における下肢筋肉に生じる表面筋電位の測定を行った。全被験者において最も大きい筋電値を示した部位は前脛骨筋であった。被験者Aがアスファルト舗装、ILB舗装およびゴムチップ舗装を歩行した場合の測定回数毎の積分筋電値の総和の結果を図-2に示す。前脛骨筋の積分筋電値はILB舗装の歩行時が最も大きかったことから、ILB舗装の歩行時において前脛骨筋が最も活発であったことが推測された。また、アスファルト舗装では測定回数毎に積分筋電値に減少傾向がみられた。

次に、前脛骨筋の筋疲労の状態を評価するために今回の歩行実験(5分間歩行後、直ちに30秒間の有効データを測定)で得られた表面筋電位に連続 Wavelet 変換を施した結果を図-3に示す。ILB舗装においては周波数が最も小さい値で変化しており減少傾向がみられた。筋疲労の進行に伴い周波数は低減にシフトすることが報告されていることから³⁾、ILB舗装の歩行時において被験者に筋疲労がみられることが示唆された。

5. まとめ

本文の結果を要約すると以下の通りである。

- ・歩行時の左右足首の衝撃加速度を測定し有意差検定を行うことにより被験者の歩行特性を推測できる。
- ・歩行時の下肢筋肉の表面筋電位測定を行った結果、前脛骨筋の活動が最も顕著であることがわかった。

表-2 有意差検定の結果 P 値

	軸方向	被験者 A	被験者 B	被験者 C
アスファルト	X	0.002	0.000	0.500
	Y	0.894	5.07E-06	6.94E-02
	Z	0.762	0.021	2.77E-10
ILB	X	0.023	0.001	0.387
	Y	0.444	0.006	1.08E-02
	Z	0.923	0.089	8.16E-10
ゴムチップ	X	0.022	0.000	0.108
	Y	0.828	0.001	8.37E-02
	Z	0.120	0.298	6.13E-07
芝生	X	0.016	5.19E-08	0.811
	Y	0.871	1.57E-06	1.18E-01
	Z	0.636	0.121	4.91E-14
自然土	X	0.008	6.87E-06	0.126
	Y	0.469	0.000	2.99E-04
	Z	0.951	0.031	1.51E-08

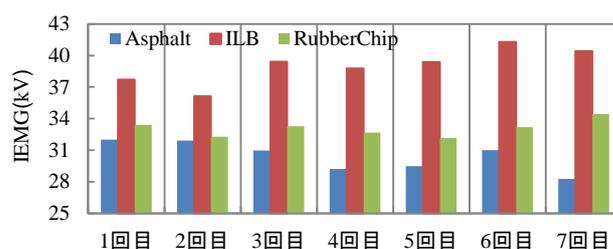


図-2 長距離歩行時の積分筋電値の変化

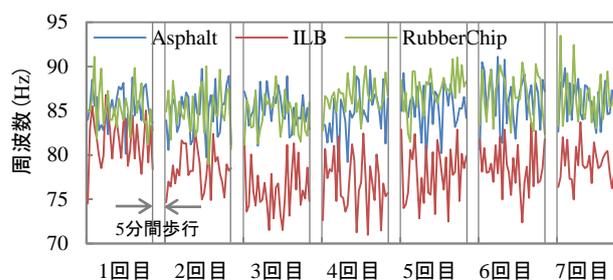


図-3 長距離歩行時の表面筋電位における周波数の変化

- ・ILB舗装はアスファルト舗装およびゴムチップ舗装に比べて前脛骨筋の積分筋電値が大きかった。
- ・表面筋電位における周波数の変化からILB舗装の歩行時において被験者に筋疲労がみられることが示唆された。

6. 今後の課題

歩道舗装の材料特性による筋疲労への影響を明確化するために、歩行データの充実化を図ることとしている。

謝辞

本研究は平成25年度科学研究費助成事業(基盤研究(C)課題番号25350699)の助成を受けたことを記します。

参考文献

- 1) 出納ら, 歩行時下肢動作センシングによる歩行分析と舗装路面評価への応用, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012講演会論文集, 2A2-A05, 2012
- 2) 山田英司他, ウェーブレット変換を用いた等速性運動中の筋電図周波数解析, 理学療法学, VOL.30, NO.7, PP.391-396, 2003
- 3) 山田ら, 疲労筋電図を用いた筋・神経機能の非侵襲的評価, バイオメカニクス学会, Vol.16, P47-59, 2012