科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 28 年 10 月 24 日現在

機関番号: 57501

研究種目: 基盤研究(C)(一般)

研究期間: 2013~2015

課題番号: 25350699

研究課題名(和文)歩行者の歩きやすさ感性計測による舗装路面性状評価および設計手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of design and estimation of pavement materials based on pedestrians'

measurement.

研究代表者

田中 孝典 (TANAKA, Takanori)

大分工業高等専門学校・都市・環境工学科・教授

研究者番号:10450149

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文):歩きやすさに影響する歩道舗装の硬さに対する明確な数値基準は示されていない.歩行者の下肢筋活動および足首関節周りの加速度測定と意識調査から被験者が感知する歩道舗装等の硬さの違いによる下肢筋活動量と加速度波形の検討を行った、硬い歩道舗装上を歩行した場合には,腓腹筋の活動量が大きくなる傾向がみられ,鉛直方向の加速度波形では,踵接地後,立脚期時間における最初の10%および20%の時点に明確な加速度のピークがみられた,少数の被験者の鉛直方向の加速度波形を観察することにより,多数の歩行者が感知する硬さ,弾力性について歩道舗装を評価できることが示唆された.

研究成果の概要(英文): Numerical standard on hardness of sidewalk in Japan's Road Structure Ordinance hardly fixed from pleasant walking viewpoint. This researched that characteristics of pavement materials affected pedestrians by measuring acceleration of pedestrians' ankles, lower limbs muscles and questionnaire survey.

In case sidewalk surface which subjects who sensed hard, corrugation of surfaceelectromyogram of gastrocnemius grew, and that of acceleration showed definite peak at the first 10% and 20% time for stance phase.

As the result, Observing vertical acceleration of a few walking subjects suggested that hardness and bounce of pavement which many ones felt could be evaluated.

研究分野: 道路工学

キーワード: 歩行者 歩道舗装 下肢筋活動 加速度波形



科学研究費助成事業(科学研究費補助金)研究成果報告書

1. 研究開始当初の背景

バリアフリーおよびユニバーサルデザインに基づく快適な歩行空間の環境整備が図られている. その整備の一つとして, まちづくりや景観等への配慮からデザインや色彩等に工夫を施した歩道舗装が用いられているが, 歩道設計指針等において歩行負担軽減の観点から歩道舗装の硬さに対する明確な数値基準は示されてはいない.

2. 研究の目的

現在、歩道舗装路面の硬さを測定する方法としては、高さ1mからゴルフボールを路面上に自由落下させた後、同ゴルフボールが跳ね上がった高さを測定して衝撃を調査ないまで、その係数があり、路面が硬いほど、その係数があり、路面が硬いほど、その係数なる。しかし、ゴルフボールの衝撃とは失行も衝撃とは異なるものと思われる。受ける衝撃とは異なるものと思われる。影響とは歩行る衝撃とは異なるもの歩きやすさに影響とは歩行者の歩きやすさに配慮した歩道に寄与することが考えられることが見いた歩道舗装の硬さなを目的とした。

3. 研究の方法

屋外において複数の被験者が硬さの異なる歩道舗装等の上を歩行している際の身体情報と歩行後に硬さ等の歩道舗装等に対する材料特性の意識調査を実施した.

歩道舗装等の硬さについては(社)日本道路協会に基づいた GB 係数を,すべりの調査については,英国式ポータブル・スキッドレジスタンステスタを用いて BPN を測定した.

意識調査は被験者が歩道舗装等の上を歩行させた後に、歩きやすさの評価と歩道舗装の設計基準に示された弾力性、硬さ、すべりと平坦性について評価を求めた.

- 4. 研究成果
- (1) 測定結果
- ① 表面筋電位 (EMG) と積分筋電値 (IEMG) の測定結果

実験条件は1分間あたり100歩のペースに 統一した歩行実験Aを被験者 10 名に行うと ともに、歩道舗装等おける材料特性の違いに よる筋活動および筋疲労の状態を明確に比 較するために、被験者 10 名のうち2名には 歩行速度を1分間あたり100歩,110歩,120 歩, 130 歩のペースに変化させた歩行実験B を実施した. 全被験者において筋疲労を示す 電位の数値は個人の歩行特性により異なっ ていたが、全被験者において各歩道舗装等上 の歩行時における前脛骨筋の EMG に RMS を施 した波形は、腓腹筋のそれよりも電圧の値お よび振幅が大きいことから歩行動作では前 脛骨筋が腓腹筋に比べて活発であることが 分かった. 前脛骨筋の波形においては, 歩道 舗装等の違いによる電圧の数値および振幅 の大きな差はみられなかった. また, 一例と して、ある被験者の歩行実験Aでインターロ ッキングブロック舗装(以下, ILB 舗装とい う)上の歩行時おける腓腹波筋の波形におい て,図1中の矢印で示した波形ピークの特徴 が他舗装材等に比べて多くの被験者におい てみられた. これは複数の被験者から歩行時 において ILB 舗装におけるブロック間の目地 を意識した等の意見等があり、目地による躓 きを避けるために歩幅等の調整により、 腓腹 筋の筋活動パターンが変化したことが推察 された.

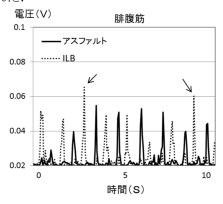


図1腓腹筋 EMG に RMS を施した波形

次に、歩行実験Bにおいて測定した、ある被験者の前脛骨筋および腓腹筋の活動量を定量的に示す IEMG の評価を行った. 歩行速度が増すにつれて前脛骨筋および腓腹筋の活動量が増加する傾向にあり、特に前脛骨筋の増加は顕著である. 各歩道舗装等における各筋の IEMG に大きな差はなく、材料特性と

の明確な相関性は得られなかった。図2に示す芝生上の歩行において、前脛骨筋の IEMG が大きかったのは芝生がクッションの様な働きをすることにより、歩行面から脚部に伝わる反作用が小さかったことが考えられる.

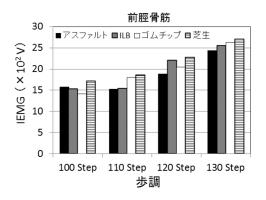


図2前脛骨筋の IEMG

② 足首関節周りの加速度測定結果

加速度の測定は歩行開始から 10 秒経過し た後、定常歩行時におけるサンプリング 1 msec のリアルタイムで加速度を測定し、30 秒間(約50歩数に相当)のデータを有効デ ータとした. 歩行周期は立脚相と遊脚相の2 相に分けられる. 立脚相は踵が地面に接地す る, 踵接地 (HS), 足底面が全て地面に接地 する,足底接地 (FF), 踵が地面から離れる, 踵離地(HO), そして, つま先が地面から離 れる,足指離地(TO)の要素に分類される. また,歩行時の加速度には踵接地,足底接地, 踵離地および足指離地の特徴がみられると いわれており、本実験で測定した加速度値で も全被験者において各歩道舗装等の歩行時 に同じ特徴を確認することができた. なお, 歩道舗装等の違いよる各被験者の3軸方向 におけ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.

歩道舗装等の硬さが被験者の足首関節周りの加速度に対して最も影響を及ぼすのは Y軸方向(以下,鉛直方向という)と考えられことから,図4に示した踵接地(HS)から足指離地(TO)までの立脚期時間 Tにおける鉛直方向の加速度波形について検討を行った.

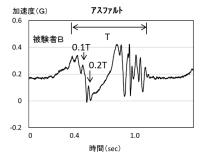


図3 アスファルトの加速度波形

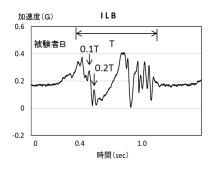


図4 ILB舗装の加速度波形

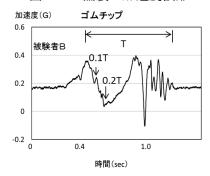


図5 ゴムチップ舗装の加速度波形

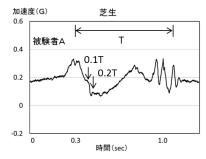


図6芝生の加速度波形

一例として、ある被験者が各歩道舗装等を歩行した際の鉛直方向における加速度波形を図3から図6に示したものである。その他の被験者の加速度波形においても同様の特徴が多く見られた.歩行中の地面反力(以下、GRFという)は立脚期時間Tでの最初の20%以内において初期接地に関する小さい衝撃力のピークが見られるといわれており、今回の測定した加速度波形においても同じよいて5年間であるといれても同じよいて5年間であるというがであるというでである。20%の時間(以下、0.17という)に発生する GRFに相当する2つの加速度ピークを示す。

図3のアスファルト舗装および図4のILB舗装の波形では、0.1Tおよび0.2Tの時点において明確な加速度のピークが見られるとともに、立脚期時間Tにおいて細かい加速度の振幅を除いて両波形が一致している特徴が見られた.一方、図5,6の加速度波形にお

いても, 0.1T および 0.2T の時点で加速度のピークが見られるが, アスファルト舗装および ILB 舗装に比べて, その値は小さいことが分かる. なお, 各被験者の歩行特性により加速度のピーク値は異なった.

表 2 は、被験者 3 名の加速度波形を、 $Z_{\rm N} = \alpha X_{\rm N} - 1 + (1 - \alpha) X_{\rm N}$ のローパスフィルターを用いて平滑化し、立脚期時間 0.1T、0.2Tの加速度ピーク値を示したものであり、同式中の $X_{\rm N} = 1$ はひとつ前の測定値であり、フィルタ係数 α は 0.9 とした.

表 1 立脚期時間 0.1T, 0.2T における 加速度ピーク値(G)

被験者	立脚期時間	アスファルト	ILB	ゴムチップ	芝生	自然土
А	0.1T	0.228	0.222	0.223	0.165	0.203
	0.2T	0.114	0.129	0.035	0.096	0.067
В	0.1T	0.268	0.276	0.242	0.189	0.223
	0.2T	0.112	0.135	0.073	0.074	0.098
С	0.1T	0.382	0.385	0.369	0.318	0.360
	0.2T	0.170	0.210	0.009	0.008	0.104

各歩道舗装等および各被験者における 0.1T の加速度おいて最大であった. 芝生の 0.1T における加速度ピーク値が, 他のそれと 比較して最も小さい値であったことは、材料 特性等の意識調査において芝生を軟らかい と評価したことに関連していることが考え られる. また, GB 係数が, ほぼ同じ値でも 0.1T の加速度ピーク値には差がみられたこ とは,路面の硬さを示す GB 係数は,歩行者 が感知する硬さの評価とは異なることが考 えられる. 次に、意識調査において弾力性に 富んでいると評価されたゴムチップ舗装に ついて,両被験者の 0.2T における加速度ピ ーク値をみると、ゴムチップ舗装は他の歩道 舗装等に比べて最も小さな値であったとと もに、0.1Tの加速度ピーク値に対する減少割 合が最も大きい結果となった. これは, 弾力 性を有する歩道舗装における加速度ピーク 値の特徴であることが示唆された.

③ 材料特性と意識調査の結果

意識調査は本校の健常な男子学生 20 名を 対象に、アスファルト舗装、ILB 舗装、ゴム チップ舗装、芝生および自然土の上を歩行さ せた後、アンケート調査を実施した.調査項 目は、歩きやすさの評価と歩道舗装の設計基 準に示された弾力性、硬さ、すべりと平坦性 の他、色彩および転倒時の安全性の項目について評価を求めた.全項目において5点を最 も高い評価、1点を最も低い評価とし、1点 毎に分類した回答を選択させた.

図7は、歩きやすさに対する全被験者が評価した点数の平均値である。最も高い評価を 得たのはゴムチップ舗装であり、全被験者が 歩きやすい、と評価しており、他の4つの舗 装等については、ほぼ同じ評価点であり、どちらでもない、との評価結果であった.弾力性、硬さ等の材料特性等について、全被験者が評価した点数の平均値を図8に示す.今回のアンケート調査において、弾力性、すべりおよび平坦性の要因からゴムチップ舗装を歩きやすいと評価したことが考えられる.

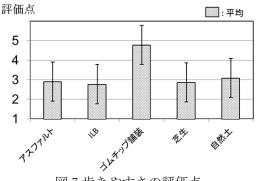


図7歩きやすさの評価点

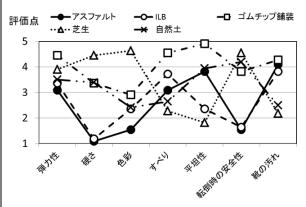


図8材料特性等の評価点

(2)結論

従来、歩道舗装の路面に対する硬さの評価は、GB係数を用いているが、舗装路面の硬さは歩きやすさに影響することから、本研究では、歩行者の身体情報と意識調査を用いて検討を行った。その結果、少数の被験者による歩行時における足首関節周りの鉛直方向の加速度波形を観察することにより、多数の歩行者が感知する硬さ、弾力性について歩道舗装を評価することができるとともに、歩行者が感知する硬さと弾力性に基づいた歩道舗装の設計に寄与することが示唆された。

本研究の結果を要約すると以下のとおりである。

- ①多くの被験者において ILB 舗装上の歩行時 おける腓腹筋の EMG の原波形に RMS を施した 波形において波形ピークの特徴がみられた. これは目地の影響により腓腹筋の筋活動パターンが変化したことが推察された.
- ②被験者の意識調査から歩きやすさに影響する歩道舗装の材料特性は、弾力性、硬さ、すべり、平坦性であることが示唆された.

- ③GB 係数が大きいアスファルト舗装および ILB 舗装の Y 軸方向(鉛直方向)の加速度波形では、踵接地後、立脚期時間における最初の 10%および 20%の時点において明確な加速度のピークが見られた.
- ④意識調査と Y 軸方向(鉛直方向)の加速度波形から, 踵接地後, 立脚期時間内の最初の10%および 20%の時間に, 明確な加速度ピークがみられる舗装は, 歩行者が硬いと感知することが推測された.
- ⑤ローパスフィルターを施した 0.1T における加速度ピーク値は、被験者の硬さに対する評価に影響することが推測され、GB 係数との関連はみられなかった。
- ⑥弾力性を有する歩道舗装は、ローパスフィルターを施した 0.2T における加速度ピーク値が、0.1T のそれに対して減少割合が大きくなる特徴がみられ、その特徴を被験者が弾力性に富んでいると評価することが推測された.

<引用文献>

- ① 江原義弘,山本澄子(2002)歩き始めと 歩行の分析,pp. 106~113,医歯薬出版株式 会社,東京.
- ② Peggy A. Houglum, Dolores B. Bertoti (2014) ブルンストローム臨床運動学 原著 第6版, pp. 494~495, 医歯薬出版株式会社, 東京.
- ③ 国土交通省<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/>, 2015.2.20 参昭
- ④ 国土交通省http://www.mit.go.jp/sogoseisaku/inter/keizai/gijyutu/pdf/road_design_j2_pdf, 2015. 2. 20 参照
- 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に は下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 田中孝典,徳安達士,松本慎平,足首関節周りの加速度波形と意識調査による歩道舗装の硬度調査について,環境情報科学学術研究論文集 29,査読有,2015,pp.141-146
- ② <u>田中孝典</u>, 松本慎平, <u>徳安達士</u>, 下肢筋 肉活動および歩行者意識による歩道舗装 の評価について, 雑誌「舗装」, 査読 有, VOL. 50, No. 7, 2015, pp. 31-35
- ③ 田中孝典, 徳安達士, 松本慎平, 足首関 節周りの衝撃加速度に着目した歩道舗装 の路面に関する評価, 雑誌「舗装」, 査読 有, 2013, VOL. 48, No. 4, pp. 10-14

〔学会発表〕(計4件)

- ① <u>田中孝典</u>,<u>徳安達士</u>,松本慎平,足首関 節周りの加速度波形と意識調査による歩 道舗装の硬度調査について,環境情報科 学学術研究論文集29,2015.12.1,日本大 学会館大講堂,東京千代田区,pp.141-146,
- ② 大谷勇太, 田中孝典, 徳安達士, 表面筋電位とアンケート調査による舗装材の材料特性に関する検討, 平成27年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集,2015.3.7, 琉球大学,沖縄県中頭郡西原町,pp.483-484
- ③ 大谷勇太, 田中孝典, 徳安達士, 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, 平成 26 年度土木学会西部支 部研究発表会講演概要集, 2014. 3. 8, 福岡 大学, 福岡県福岡市城南区, pp. 631-632
- ④ 大谷勇太, 田中孝典, 徳安達士, 下肢の表面筋電位を用いた歩道舗装の材料特性に関する検討, 第30回日本道路会議論文集, 2013.10.30, 都市センターホテル, 東京都千代田区, 論文番号3082 (CD-R)

〔その他〕 ホームページ等

大分高専 都市環境工学科 スタッフ紹介 http://www.oita-ct.ac.jp/toshi/staff_ta naka.php

福岡工業大学 研究者情報 http://www.fit.ac.jp/research/search/pr ofile/id/183

- 6. 研究組織
- (1)研究代表者

田中 孝典(TANAKA, Takanori) 大分工業高等専門学校 都市・環境工学科

教授

研究者番号:10450149

(2)研究分担者

徳安 達士 (TOKUYASU, Tatsushi)

福岡工業大学 情報工学部

教授

研究者番号:50435492