

学位論文要旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	ランナーの着地衝撃に影響を与える舗装の性質に関する研究
氏名(Name)	池田 茜

2000年代以降, わが国ではランニング人口が増加しつつある。幅広い年齢層のランナーが, ケガなく快適に走り続けられるよう, ランナーの走行快適性を追求した舗装材料を開発することは, 舗装工学におけるひとつの新しい分野である。

ランナーの走行快適性に関連して, 継続的なトレーニングによるケガの問題等の観点から, スポーツ医工学の分野で盛んに研究されているが, 舗装材料の影響を検討したものは少なく, ランナーの走行快適性を考えるときに最大化すべき舗装の性質およびその計測方法については答えを提示していない。一方, 舗装工学における走行快適性とはもっぱら車両走行を対象としており, 車両にとっての走行快適性の指標およびその調査試験法が, ランナーの走行のための方法としてそのまま適用できるわけではない。

そこで本研究では, アスファルト舗装を中心に, ランナーの走行快適性に寄与する舗装の性質を明らかにし, その評価方法を提案することを目的とする。

第1章「序論」では, 本研究の社会的背景と目的, 論文の構成を述べている。

第2章「舗装とランナーの着地衝撃に関する研究と課題」では, 主にスポーツ医工学分野から先行研究をレビューしている。ランニングに関する統計から, 路面素材としてはアスファルト舗装が最もよく走られており, 着地衝撃の小さい舗装が好まれることを明らかにした。既往研究で, 着地衝撃は床反力計や加速度計, 圧力計, 筋電位センサなどを用いて計測されており, その大きさは走行速度, 走行時間, 着地方法, シューズと路面の剛性, ランナーの経験年数の影響を受ける。ただし, 路面素材の差が着地衝撃に与える影響を巡っては研究者間で実験結果が対立しているのが現状である。以上を踏まえて, 本研究ではアスファルト舗装を中心に, 着地衝撃に影響を与える舗装の性質を明らかにし, 着地衝撃の評価方法を確立する必要があることを明確にした。

第3章「舗装に対するランナーの着地衝撃の感触に関する調査」では, 舗装の表面粗さの異なる2種のアスファルト舗装および弾性舗装による試験コースで, 10名のアスリートを被験者とした走行試験とアンケート調査を実施した。その結果, 舗装の表面粗さの標高差が小さい細密(13)に比べ, 舗装の表面粗さの標高差が大きい開粒(13)は, ランナーは走行時の着地衝撃を小さく感じることを明らかにした。舗装の表面粗さはランナーの着地時の感触に影響を与えており, 舗装の表面粗さの差異によってランナーの走行快適性をコントロールしうることを示唆している。

第4章「ランナーの足首に生じる着地衝撃に関する検討」では, 着地衝撃の計測方法を確立し, 室内・屋外走行実験に適用した。ウェアラブルな9軸加速度・角速度ワイヤレスセンサを足に装着することにより足の運動を連続的に計測するものである。着地衝撃の計測方法として, 従来の床反力計では, 定点

での着地時反力しか計測できなかったのに対して, 本手法により, 場所を選ばず, ランナーの足の動きを連続的に観測することが可能となった. また, 3軸方向の加速度に加えて3軸方向の角速度の情報も導入することで, 時々刻々変化するセンサの姿勢を考慮し, 足の運動を固定座標系の中で処理することを可能にした. 本センサを用いた室内実験により, 走行時の足の運動と加速度波形との対応を明らかにしたのちに, 屋外において舗装材料の異なる5種類の路面で走行実験を実施した. 実験の結果, 着地時の衝撃加速度ピーク値は, 鉛直加速度よりも水平加速度(前後方向)において舗装種別の影響が顕著に現れることを明らかにした.

第5章「舗装の表面粗さがシューズ底面の変位および摩擦特性に及ぼす影響」では, 第3章を踏まえて, 舗装の表面粗さがランナーの着地衝撃の感触に与える影響を詳細に検討するため, 室内実験を実施している. 表面粗さと材料の異なる10種類の舗装供試体の表面に, シューズ底を模擬したゴム板を載せて載荷したときの変形を計測することにより, ランナーが着地時に受ける感触をシミュレートしたものである. 実験の結果, ランナー着地程度の荷重レベルでは, 舗装-シューズ接触面の変形特性に, 舗装材料の変形係数はほとんど影響を与えない一方, 表面粗さによる差異は顕著に現れることを明らかにした. 実験結果は第3章の着地衝撃に関するアンケート結果と整合する. さらに, 3D スキャナで計測した表面粗さの標高データに基づき, 標高の高いほうから順に接触していくというシンプルな負荷曲線モデルにより, 実験上の荷重-変位曲線をモデル化可能であることを明らかにした. ランナーの着地時の感触に対して舗装の表面粗さが支配的に影響することを実証するとともに, 表面粗さの標高データから, ランナーの着地時の変形特性を計算的に求めうる可能性を示した.

第6章「ランナーの着地衝撃の感触に影響する舗装の性質に関する検討」では, 前章で提案した負荷曲線パラメータを用いた舗装-シューズ接触面の変形・摩擦特性のモデル化の妥当性を検証するため, 53名の市民ランナーに対する走行試験を実施した. その結果, 被験者の多くは, 負荷曲線パラメータの値が中程度であるポーラス(5)およびSMA(5)を最も着地衝撃が小さい舗装と評価した. 負荷曲線パラメータは, 値が上昇するにつれて接触面の変形性は大きくなるが, 同時に摩擦抵抗も増大する. 着地衝撃の感触は, 接触面の変形性の影響が卓越する領域と, 摩擦抵抗の影響が卓越する領域が存在し, 両者がバランスするような表面粗さで最も着地衝撃が軽減するものと推察される.

第7章「結論」では, 本研究の各章の成果を要約して総括し, 本研究をとりまとめた.

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	池田 茜
審 査 委 員	主 査 : 中島 伸一郎
	副 査 : 清水 則一
	副 査 : 麻生 稔彦
	副 査 : 中田 幸男
	副 査 : 吉武 勇
論 文 題 目	ランナーの着地衝撃に影響を与える舗装の性質に関する研究

【論文審査の結果及び最終試験の結果】

マラソン・ジョギングブームが定着するなか、ランナーの走行快適性を追求した舗装の開発は舗装工学における新しい分野である。本研究は、ランナーの走りやすさを左右する着地衝撃の問題に焦点を当て、着地衝撃の感覚に影響を与えるアスファルト舗装の性質を明らかにし、その評価方法を提案することを目的としている。

本論文は6章で構成される。

第1章では、本研究の社会的背景と目的、論文構成を述べ、第2章では、主にスポーツ医工学分野から先行研究をレビューし、着地衝撃の定義と計測方法、影響因子に関する既往の知見を整理している。

第3章では、舗装種別による着地衝撃の感覚の差異を調査するため、野外走行実験とアンケート調査を実施している。その結果、ランナーの感じる着地衝撃は舗装種別により異なり、密実な舗装に比べて多孔質な舗装では着地衝撃を小さく感じやすいことを明らかにし、着地衝撃の感覚には舗装の表面粗さが影響していることを指摘した。

第4章では、着地衝撃の計測方法を提案し、室内・屋外走行実験に適用している。ワイヤレスモーションセンサの導入により、場所を選ばず、走動作を連続的に観測することが可能となった。本センサを用いた室内実験により、走動作と加速度波形との対応を明らかにしたのちに、屋外において舗装材料の異なる5種類の路面で走行実験を実施している。実験の結果、着地時の衝撃加速度ピーク値は、水平加速度（前後方向）において舗装種別の影響が顕著に現れることを明らかにした。

第5章では、舗装の表面粗さが物体接触時の変形および摩擦に与える影響について室内実験を実施している。舗装供試体の表面にシューズ底を模したゴム板を介して垂直載荷する変形試験と振り子式の摩擦試験を実施し、10種の舗装表面の変形・摩擦特性を実測した。また、舗装の表面粗さを面的に捉える指標として、標高分布から求められる負荷曲線に基づく

(様式 9 号)

「接触深さ」の概念を新たに導入し、実験で得られた舗装表面の変形・摩擦特性は接触深さの指標を用いてモデル化可能であることを明らかにした。これにより、接触深さが大きくなるにつれて、舗装表面のゴムを介した変形（やわらかさ）および摩擦（ブレーキ）がともに線形的に増加することを表現可能にした。

第 6 章では、市民ランナー 53 名による野外走行実験とアンケート調査を実施し、その結果に基づき、接触深さの指標を用いてランナーが感じる着地衝撃を評価することの有効性を検証・考察した。

第 7 章では、本研究の成果とともに今後の課題を明記し、論文の結論としている。

公聴会はオンライン形式により開催し、学内外から 45 名の聴講者があった。公聴会における主な質問内容は、1) 接触深さの最適範囲、2) シューズソールの硬さやパターンの影響、3) アスファルト舗装以外の舗装への適用性、4) アンケート調査における上級ランナーと一般ランナーの回答の差異、5) ランナーの着地方法への対応、などであった。いずれの質問に対しても的確かつ十分な解答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（工学）の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 2 編、参考論文 計 0 編）

- 1) 池田茜，遠藤柱，中島伸一郎：中距離ランナーが走りやすいと感じる舗装のテクスチャ指標に関する研究，土木学会論文集 E1（舗装工学），75(2)，pp.1_49-1_56，2019.
- 2) 池田茜，中島伸一郎，小澤将希，遠藤柱：モーションセンサを用いたランナーの足首加速度の計測と舗装種別の影響，土木学会論文集 E1（舗装工学），76(1)，pp.51-59，2020.