

中長距離走に適した舗装の評価方法に関する研究

黒岩拓馬¹・川上篤史²・峰岸順一³・増山幸衛⁴・前川亮太⁵

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail : dnasarv_14ge@yahoo.co.jp

²正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

³正会員 博(工) 東京都技術支援・人材育成センター (〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-5)

⁴正会員 博(工) 世紀東急工業株式会社 関西支店関西試験所 (〒639-1037 奈良県大和郡山市額田部北町 1137-1)

⁵正会員 博(工) 中央大学 理工学部 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

近年、ジョギングがブームであり、各地の市民マラソンが活況を呈していると同時に、駅伝やマラソンに注目が集まっている。これらの中長距離走は一般に車道の舗装上で実施されるが、車道の舗装に関する既往の研究は専ら車両走行時を対象としており、ランナーの安全やタイム向上と舗装を関連付けた研究は進んでいない。

筆者らは、ランナーの足に発生する衝撃と舗装の関係に着目し、中長距離走に適した舗装の評価方法についての検討を進めてきた。ここでは足に発生する加速度(鉛直・水平の 2 方向)および足裏に発生する圧力に着目した試験と、FWD 等の既往の評価方法とを比較し既往の評価方法では測定し得ない、舗装種類の違いによるランナーの足への影響を検証する試みについて報告する。

Key Words : roadway pavements, portable FWD, SB/GB, acceleration, pressure distribution

1. はじめに

現在の道路は主に車両を対象として安全、円滑、快適に走行させるための設計が行われている。一方、東京マラソンでは応募者数が年々増加するなど、ランニングへの関心が高まっている¹⁾と同時に、マラソン競技のハイスピード化などランナーを考慮した舗装路面が求められている。しかし、中長距離競技は、既存の道路を使用せざるを得ないのが現状である。

そこでランナーの視点に立った舗装の構築を最終目的に、第一段階として舗装の評価方法についての検討を試みたので、その状況を報告する。

現在、ランナーを対象とした舗装の評価方法として確立されたものはない。そのため、筆者らは、まずランナーが舗装による違いを感じているのかを調査した。その後走りやすさ・走りにくさに関する要因の中からランナーの足に発生する衝撃と舗装の関係に着目し、既往の試験方法によって評価が可能か検討した。次に、直接人間が感じる舗装の違いを評価するために衝撃加速度試験と

足圧分布試験の検討を行った。

なお、本研究ではランニングをしている人々をランナーと呼ぶ。ランナーの中でも、ジョギングを楽しむ人々をジョガー、中長距離走の競技歴が長く競技レベルの高い人々をアスリートと区別している。

2. アンケート調査による検討

ランナーは舗装の違いを感じて走っているのか、皇居ジョガー(38 人)と大学の陸上部(30 人)を対象にアンケート調査を行った。対象としたのは、アスファルト舗装、ウレタン舗装、ブロック舗装、土系舗装、ウッドチップ舗装である。なおアンケート調査の標本数が限られることなどから、解析においてはばらつきなどの詳細検討は行わず、大まかな傾向をとらえるにとどめている。

a) ジョガーを対象としたアンケート調査

皇居周辺のジョギングコースにて行ったアンケート調査の結果を以下に示す。

①マラソン(ジョギング)歴：マラソン経験者 19名(フルマラソン：11名，ハーフマラソン：8名)，マラソン未経験者 19名であり，被験者の競技レベルはあまり高くない。

②走りやすい・走りづらいと感じる区間：舗装の違い(硬さ，すべり，凹凸など)が気になるジョガーは，競技歴がおおよそ5年以上であるが，人数は少なく，他はあまり気にしないという結果を得た。

③走りやすい・走りづらいと感じる理由：有意義な回答は得られなかったことから，ジョガーは舗装の違いが判別できず，足に大きな負担のかかる舗装でも走ってしまう可能性が高いことから，安全な舗装を提供する必要性が確認できた。

b) 大学陸上競技部員対象のアンケート調査

競技レベルが高ければ，舗装の違いが分かる可能性があるかと想定した。中央大学陸上部の中長距離競技部員を対象に行ったアンケート調査の結果を以下に示す。

①ベストタイム：平均はハーフマラソンが1時間5分31秒，10km走が30分28秒であり，ジョガーのタイムと比較すると，競技レベルは高いといえる。

②走りやすい・走りづらいと感じる舗装：図-1に示すように，アスファルト舗装(排水性・密粒度)，ウレタン舗装が走りやすく，コンクリート舗装，ブロック舗装，土系舗装は走りづらい結果となった。

③走りやすい・走りづらいと感じる理由：表-1に示すように，舗装を意識しながら走っていることが確認できた。

c) ジョガーおよびアスリートの傾向

アンケート調査の結果，以下のことが判明した。

- 一般ジョガーでは，舗装別の走りやすさ・走りづらさが認識できない。
- ジョガーに比べ，競技レベルが高いアスリートには，舗装別の走りやすさ・走りづらさが認識できる。
- アスリートの走りやすいと感じる舗装は排水性舗装(以下，排水性)，密粒度アスファルト舗装(以下，

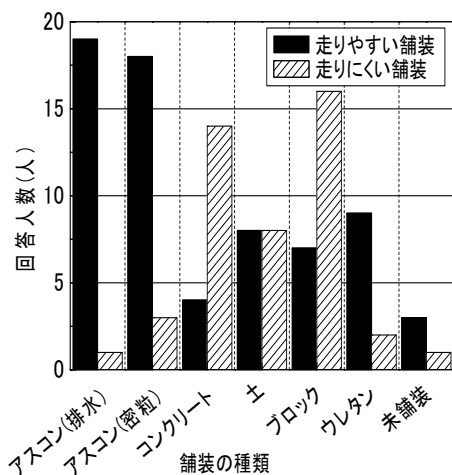


図-1 アスリートを対象とした走りやすい舗装に関する調査結果

密粒)，ウレタン舗装である。また，走りづらいと感じる舗装はコンクリート舗装，ブロック舗装である。さらにアスファルト舗装の中でも排水性舗装と密粒度舗装に違いを感じて走行している。

d) 舗装に求められる働き

アンケートの結果から，ジョガーは舗装の種別を認識せずに走ること，アスリートは記録を目標とすることから，中長距離走に適した舗装には「安全性」，「競技成績向上性」の2つが求められると考えられる。2009年度土木学会研究討論会で表-2に示された中長距離走に求められる舗装性能より，ランニングに適した舗装の存在が確認されたものの，中長距離競技に適した舗装を評価する方法は存在しない。そのため，舗装を工学的に評価する物理調査を見直すことと，人間と舗装の関係を整理することが必要である。舗装に求められる性能として「衝撃」に着目した性能評価方法を表-3に示す。既往の性能評価方法は，歩道の性能評価に用いられる方法である。

3. 既往の物理的評価方法による調査

舗装路面の弾性試験方法(以下 GBSB)調査，小型 FWD(以下 HFWD)調査によって，独立行政法人土木研究所舗装路面騒音研究施設にて排水性 5mm，排水性 13mm

表-1 アスリートが感じる要因

走りやすいと感じる理由	走りづらいと感じる理由
<ul style="list-style-type: none"> • 蹴りやすい • 路面の凹凸感がない • 足元が安定する • 走りがぶれない • 足裏への負担が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> • 路面が滑りやすい • 路面が硬い • 着地が安定しない • 足首に負担がかかる

表-2 中長距離走に求められる性能

目的	舗装に求められる性能	根拠，出典
安全性	足への衝撃が少ない	皇居アンケート 討論会
	路面が滑らない	皇居アンケート 討論会
	平坦である	皇居アンケート 討論会
競技成績向上性	シューズが路面をつかみやすい	中大アンケート 討論会
	適度に硬い(推進力を得やすい)	中大アンケート 討論会

表-3 求められる舗装性能と既往の性能評価手法

目的	舗装に求められる性能	既往の性能評価(歩道用)
安全性	足への衝撃が少ない	GBSB 試験 HFWD 試験
競技成績向上性	適度に硬い(推進力を得やすい)	GBSB 試験 HFWD 試験

(以下、排水5、排水13)、密粒、多孔質弾性舗装(以下、多孔質)を対象に調査を行った。試験条件は天候:快晴(平均気温13℃)、路面状態:良好(平均路面温度12℃)

(1) GBSB 試験

GBSB 試験²⁾の結果を図-2に示す。GB係数は、多孔質に比べ排水性と密粒の反発弾性が大きい。またSB係数は多孔質で反発弾性が大きいことから、GBSB試験では舗装による違いを示すことができる。しかし、ゴルフボールは軽いので舗装が落下したボールの衝撃を吸収しなかったことと、スチールボールは排水性の空隙への当たり方で跳ね返り方が大きく異なるなど、正しく評価しているとは言えない。

(2) HFWD 試験

HFWD 試験³⁾は重錘の質量10kg、落下高さ10cmから50cm、舗装に加えることが可能な荷重は2kNから5kNである。重錘を落下させたときの表層から路床における弾性係数を図-3に示す。

これから多孔質は他の舗装に比べ弾性係数が小さい。このことから、HFWD試験による舗装による違いが示されたが、アスリートが感じる舗装の差は示されなかった。

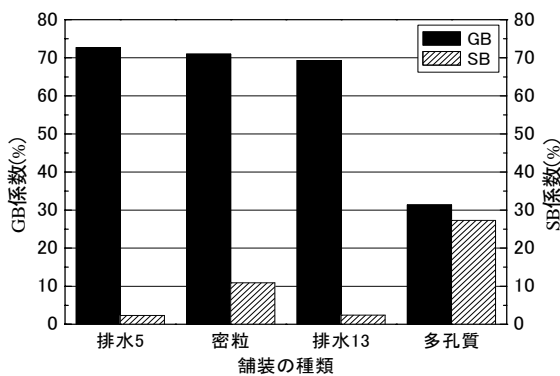


図-2 GBSB 試験結果からの係数比較

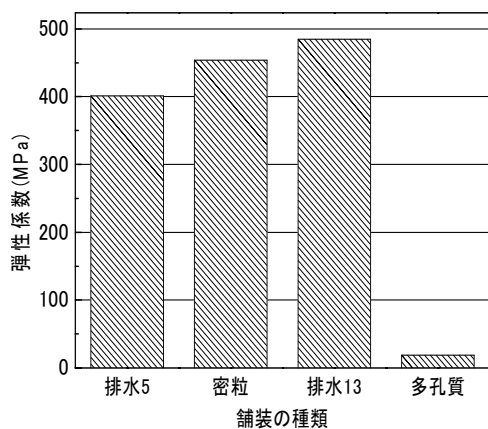


図-3 HFWD 試験結果

4. ランナーに着目した評価方法の検討

既往の評価方法でも舗装による差は見られるものの、中長距離走に適した舗装を評価する上での工学的な差は明確にできないことから、自転車や車椅子などの評価方法⁴⁾に着目し、表-4に示す新たな性能評価法からランナーの足首の加速度と着地圧力(以下、足圧分布)に注目して以下の試験を行った。

- 被験者: 競技経験者(競技歴: 10年)、競技未経験者
- 測定項目: 加速度と足圧分布
- 走行速度・周回数: 図-4に示す独立行政法人土木研究所舗装路面騒音研究施設のコース(1周約360m)を被験者のペースで3周走行。
- サンプルング間隔: 加速度試験では加速度のピーク値を抽出するために0.5ms、足圧分布試験では試験機の限界サンプルング間隔である100msで実施。

(1) 衝撃加速度試験

足への衝撃が少ない状態は着地した際の加速度、適度に硬い状態は路面を蹴る際の加速度から評価できると想定した。測定は加速度計を足のくるぶしの位置に装着し、

表-4 求められる舗装性能と新たな性能評価手法

目的	舗装に求められる性能	新たな性能評価方法
安全性	足への衝撃が少ない	着地時の足首に発生する加速度
競技成績向上性	適度に硬い(推進力を得やすい)	蹴出し時の足首に発生する加速度

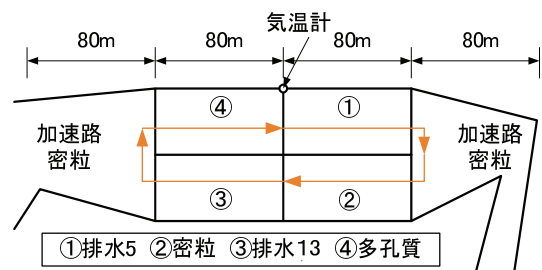


図-4 舗装の種類と走行経路

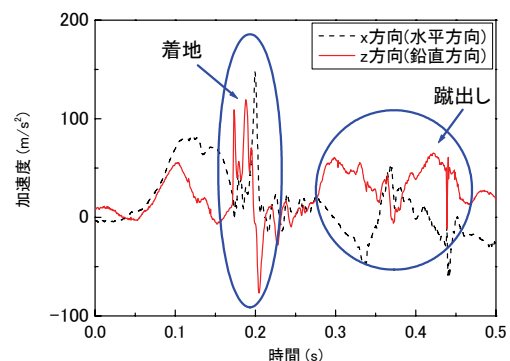


図-5 着地と蹴出しの加速度



写真-1 試験に用いた機材



写真-2 Pedar-X システム

ひずみレコーダを背負って行った。写真-1 に示すように加速度計を取り付けたときの足の裏に対して水平を x 方向、鉛直を z 方向とする。利き足による違いを想定し、両足で計測を行った。図-5 は足が路面に着地してから蹴出しするまでの加速度の波形を示したもので 1 つ目のピークは着地、2 つ目のピークは蹴出しを示す。

(2) 足圧分布試験

測定は写真-2 に示すインソール型センサーの足圧分布測定システム(Pedar-X システム)を用いて行った。インソールは左右それぞれ 99 区画に分割されており、各区画の圧力が計測できる。

足圧分布試験では足に加わる圧力を区画ごとに評価できるものの、サンプリング間隔が最高 100ms であるため、急激な変化を記録できない可能性がある。

5. 結果及び考察

(1) 衝撃加速度試験

a) 加速度のピーク値の比較

走行コース 1, 2, 3 周目において、各舗装の中央 20m 間走行時の加速度のプラスのピーク値を歩数で割り、平均化した。競技経験者(右が利き足、以下、経験者)の舗装ごとのピーク値を図-6、競技未経験者(右が利き足、以下、未経験者)の舗装ごとのピーク値を図-7 に示す。

その結果、以下が確認できた。①x 方向と z 方向で舗装に対する加速度の大きさの傾向が違う②経験者において左右で x 方向と z 方向の大きさが逆転してしまっている。

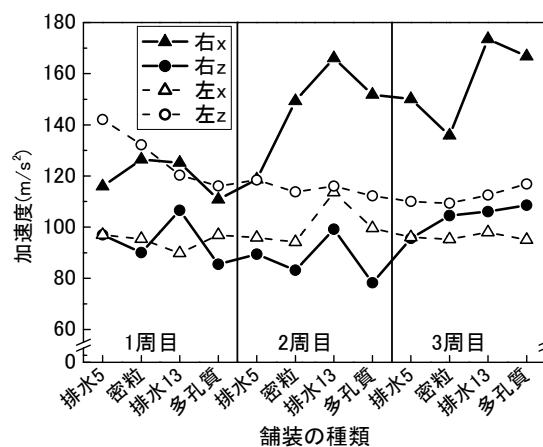


図-6 経験者の走行時の推移

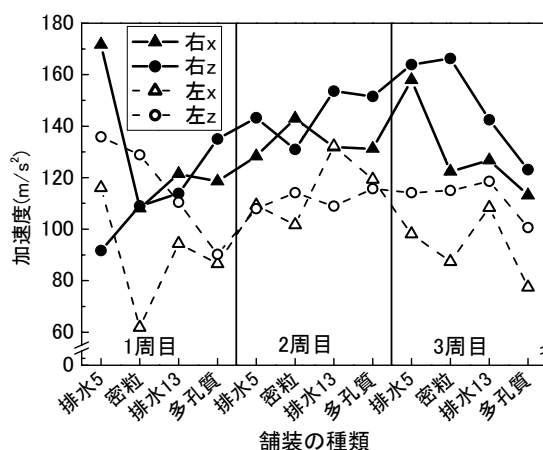


図-7 未経験者の走行時の推移

③未経験者の加速度のデータは経験者に比べ変動が大きい。これより適切な解析方法を見出すために、まず経験者の自分のペースのデータをさらに細かく着地時と蹴出し時の加速度に分けた評価を行った。

b) 着地の瞬間の加速度の比較

各舗装の中央 20m 間走行したときの着地時の加速度を歩数で割り、平均化し、x 方向・z 方向と合成加速度の評価を行った。右足における着地時の加速度の推移を図-8、左足における推移を図-9 に示す。

図-8 の合成加速度から、右足(利き足)では 2, 3 周目の排水 13 において着地時の加速度が大きくなる。図-9 の左足でも 1, 2 周目の排水 13 で加速度が大きくなる傾向が見られた。また右足では x 方向、左足では z 方向における加速度が合成加速度に大きく影響していた。左右で x 方向と z 方向の加速度の大きさが逆転してしまった要因として、加速度計の取り付け方に左右で誤差があったことと、着地の仕方が左右で違うといったことが考えられるため今後検証が必要である。

c) 蹴出しの瞬間の加速度の比較

各舗装の中央 20m 間走行したときの蹴出し時の加速度

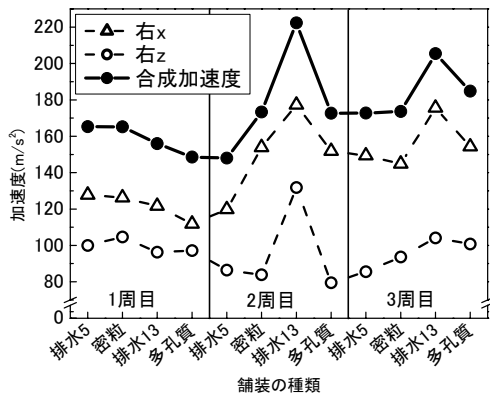


図-8 右足における着地の加速度の推移

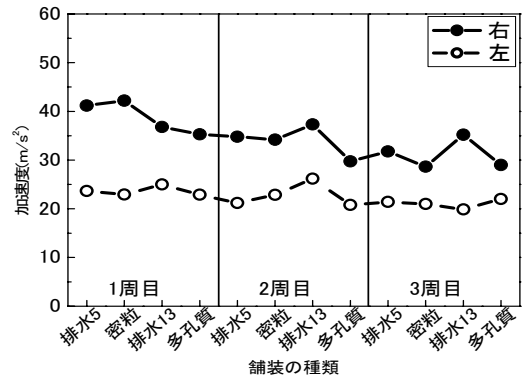


図-10 経験者の蹴出し加速度の推移

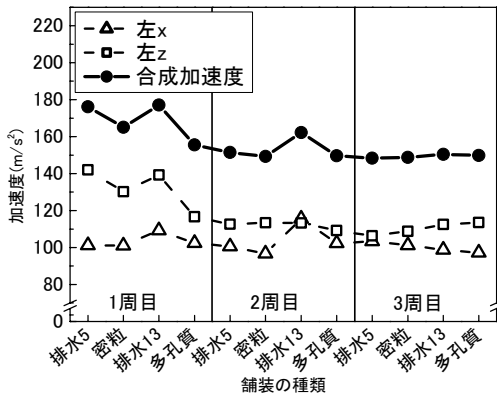


図-9 左足における着地の加速度の推移

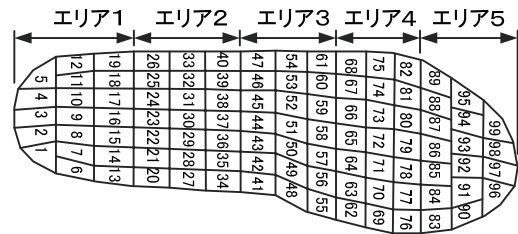


図-11 エリアの分け方

を歩数で割り、平均化した。しかし、z方向の加速度から蹴出す瞬間のピーク値を抽出することはできなかった。そこで、x方向の加速度のみを比較した。蹴出しの加速度の推移を図-10に示す。

足に発生する加速度は着地時と比べ、蹴出し時の方が小さい。また、蹴出し時の加速度は、右足では2、3周目において排水13で大きくなり、左足でも1、2周目において排水13で大きくなる。また、全体的に右足の方が大きいことから、蹴出すときの推進力は右足の方が大きいことが考えられる。

これらの結果から、着地時と蹴出し時では加速度の大きさが違うことと、ピーク値のみの評価よりも舗装ごとの差が現れたことから、着地と蹴出しを分けた評価が必要であると考えられる。また、z方向の加速度の抽出の仕方が課題である。

(2) 足圧分布試験

足の面積を99区画に分割し、かかとからつま先にかけて5つのエリアに分け、エリアごと走行時における各舗装の中央20m間走行時に加わった圧力を歩数で割った平均圧力を評価した。分割したエリアを図-11に示す。経験者・未経験者の静止状態の両足に加わる圧力はそれぞれ2.5MPa(最大荷重：右1.6kN, 左1.5kN), 4.4MPa(最大荷

重：右1.9kN, 左2.0kN)であった。

経験者が自分のペースで走行したときのエリアごとの右足の圧力の推移を図-12、左足の圧力の推移を図-13に示す。図-12よりエリア4とエリア1の圧力はほかの比べ、大きい。これは、かかとから着地し、つま先に近いところで蹴出しているためと考えられる。特に、エリア4では静止状態で両足に加わる圧力より1MPa大きい圧力が加わっている。右足においてエリア1とエリア2での1周目と2周目の圧力は排水13で大きくなる。

図-13より左足ではエリア1の1周目の排水13、エリア4の2周目の排水13で圧力が大きくなる。左右を比べたときに利き足ではない左足に負担が加わっている可能性があり、着地から蹴出しまでが左右において異なる可能性がある。また、未経験者は右足のかかと近くに負荷のかかる走り方であった。

経験者と未経験者では走行時の圧力の分布が異なり、未経験者の方が圧力のばらつきが大きかった。このことから、未経験者は、経験者に比べ走り方が不安定であると考えられる。したがって、安定した走り方の経験者から舗装による違いの評価が必要であると考えられる。また足圧分布試験から、走行時の足の圧力分布を計測することができ、中長距離走において舗装に加わる荷重を推定することが出来る。しかし、サンプリング間隔は最高100msであるため、着地と蹴出しを分けた細かい圧力の評価を行うことはできない。

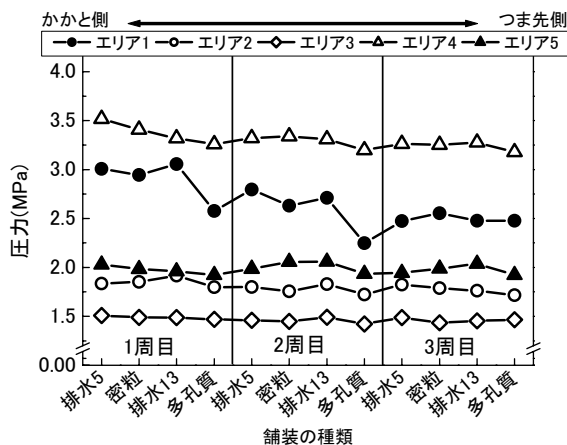


図-12 経験者の平均圧力の推移(右足)

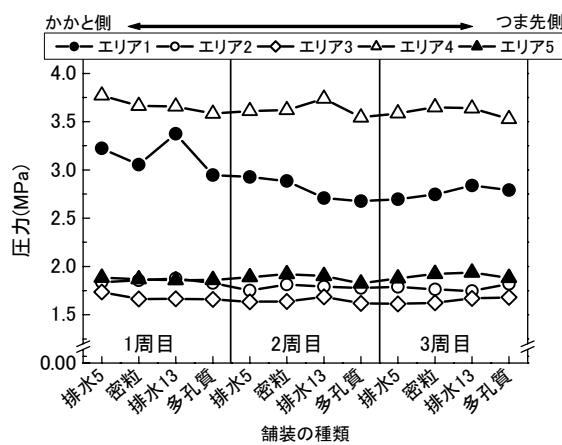


図-13 経験者の平均圧力の推移(左足)

6. まとめ

本研究ではランナーが走る際の、舗装の種類による影響の評価方法の検討を行い、以下までが分かった。

- アンケート調査から、ジョガーに比べて競技レベルが高いアスリートは、舗装別に走りやすさ・走りづらさを認識して、走行していることが確認できた。
- 既往の評価方法として GBSB 試験, HFWD 試験を行った結果、アスリートが感じる排水性舗装と密粒度舗装における差は見出せなかった。
- ランナーの足首に発生する衝撃加速度の測定では、解析方法に工夫が必要である。足圧分布試験では足裏発生する大きな圧力の位置が推定できる。

今回、研究ノートとしてまとめたが、論文としてまとめるために今後以下の研究を行う。

- 加速度試験、足圧分布試験の精度向上のため、被験者を増やした計測を行う。
- 競技経験者が自分のペースで走行時の x 方向と z 方

向の加速度の大きさが左右で逆転した要因の解析。

本研究の最終的な目標はランナーの安全やタイム向上に資する舗装に求められる物性の特定であり、今回得られた結果を前述の最終目標に到達するための研究を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 田口貞善, 矢部京之助, 伊坂忠夫: スポーツサイエンス入門, 丸善株式会社, pp.92-96, 2010
- 2) (社) 日本道路協会: 舗装試験法(便覧別冊(暫定試験方法)), pp.34-38, 1996
- 3) 土木学会: FWD および小型 FWD 運用の手引き, 舗装工学ライブラリー2, pp.80-82, 2002
- 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 田口貞善, 矢部京之助, 伊坂忠夫: スポーツサイエンス入門, 丸善株式会社, pp.127-133, 2010

EVALUATION METHODS ON ROAD WAY PAVEMENTS FOR MIDDLE AND LONG-DISTANCE RUNNING RACES

Takuma KUROIWA, Atsushi KAWAKAMI, Junichi MINEGISHI
Yukiei MASUYAMA and Ryota MAEKAWA

In late years, Jogging has become popular and running people has been increasing. A lot of runners run on the roadway pavements. Therefore, this study researched the evaluation of road pavement that is intended for runner. This study examined the evaluation methods that can be found difference of each pavement that acts on running. Especially, this study considered impact of foot and conducted an impact acceleration test of feet and a pressure distribution test at the bottoms of feet, and compared the result of these tests to the result of portable FWD test and SB/GB test. In this paper, reported on the attempt that look at the effect of pavement type on the runner's feet.