

小型 FWD を用いた舗装のエネルギーロス率とランナーの走りやすさに関する検討

日本道路（株）正会員○池田 茜
日本道路（株）正会員遠藤 桂
山口大学大学院学生会員縞居 公介
山口大学大学院正会員中島 伸一郎

1. はじめに

マラソンやジョギングのランナーにとって、舗装素材は走りの快適さやタイムを大きく左右する重要な要素である。素材を大別すれば、土や芝などの自然素材、陸上競技場で使用される人工素材、一般道路で使用されるアスファルト舗装やコンクリート舗装である。一方、競技レベルの高いランナーは舗装素材に意外と敏感で、同じアスファルト舗装であっても、密粒度アスファルト舗装と排水性アスファルト舗装の走り心地の差を感じ取っている^{1),2)}。ランナーが走路に対して感じる走り心地とは、着地時の衝撃の大きさややすべりにくさ、足元の安定性、蹴り出しやすさなどを総合した感覚である。そこで本研究では、ランナーが舗装ごとに感じている走りやすさ（着地衝撃の大きさ、蹴り出しやすさ）を小型 FWD 载荷条件下の舗装のエネルギーロス率と路面弾性係数で評価を行った。

2. 小型 FWD 試験

(1) 試験概要

小型 FWD の载荷条件は、ランナーが舗装に与える最大荷重とされている 2kN 程度³⁾の荷重を目安とした。しかし、アスファルト舗装のたわみが極めて小さいことから、混合物による差を顕著に示すため、载荷直径 100 mm, 落下高さ 500 mm, 重錘質量 10 kg とした。芝生と陸上ウレタン舗装は、アスファルト舗装と同条件を適用するとたわみが大きくなりすぎるため、重錘質量のみ 5 kg とした。

(2) 舗装種類

調査対象の舗装を表-1 に示す。本研究では、アスファルト舗装と陸上競技場の外周フィールドの芝生、陸上競技場の全天候型ポリウレタン系舗装（以下、陸上ウレタン）を対象とした。

(3) 舗装評価指標

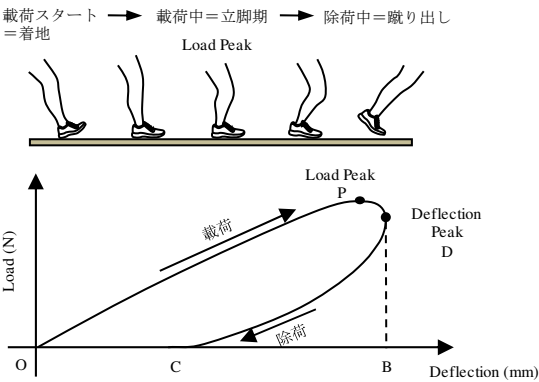
小型 FWD の荷重-たわみ曲線から、路面弾性係数およびエネルギーロス率を算出した。路面弾性係数は、荷重とたわみのピーク値を用いて、表-2 に示す弾性理論式⁴⁾より求めた。ポアソン比は 0.4 とした。エネルギーロス率は図-1 の荷重-たわみ曲線において、曲線内の面積（面積 OPDC）で表される散逸エネルギー⁵⁾を载荷過程で舗装に与えたエネルギー（面積 OPDB）で除することによって求めた。ランナーが着地動作時に

表-1 調査対象の舗装

	舗装種類	名称	備考
1	天然芝	芝生	芝生刈込高さ 30 mm
2	全天候型ポリウレタン系舗装	陸上ウレタン	ウレタン層 15 mm アスファルト層 75 mm
3	再生密粒度アスファルト舗装	RC密粒	アスファルト層 50 mm
4	砕石マスタック舗装 5mmTop	SMA(5)	
5	ポーラスアスファルト舗装 5mmTop	ポーラス(5)	
6	ポーラスアスファルト舗装 13mmTop	ポーラス(13)	
7	弾性ウレタン骨材アスファルト舗装	弾性(多)	

表-2 評価指標の算出方法

評価指標	算出方法
エネルギーロス率 (%)	エネルギーロス率 (%) = (散逸エネルギー / 全エネルギー) × 100
载荷点の路面弾性係数 ⁴⁾ E_0 (MPa)	$E_0 = \frac{2(1 - \nu^2)\sigma_0 \cdot a}{d_r}$ $= \frac{(1 - \nu^2) \cdot P}{2 \cdot a \cdot D}$ E_0 : 载荷点の路面弾性係数(MPa) ν : ポアソン比 σ_0 : 载荷版の接地圧 (kPa) a : 载荷版半径(mm) d_r : 距離 r にあるセンサのたわみ(mm) P : 荷重の最大値(N) D : たわみの最大値(mm)



面積OPDB：全エネルギー（载荷時、舗装へ与えたエネルギー）
面積CDB：弾性エネルギー（除荷後、舗装が変形前の位置へ戻るために費やしたエネルギー）
面積OPDC：散逸エネルギー（熱エネルギーとして散逸したエネルギー）

図-1 小型 FWD の荷重-たわみ曲線（例）

キーワード：ランナー、小型 FWD、路面弾性係数、散逸エネルギー
連絡先：〒146-0095 東京都大田区多摩川 2-11-20 TEL:03-3759-4872

舗装へ与えたエネルギーを全エネルギーとした場合、散逸エネルギーが小さい舗装ほど、ランナーは舗装から大きな地面反力を受けることができる。エネルギーロス率は蹴り出しやすさを、载荷点の路面弾性係数は着地衝撃の大きさを表すといえる。

3. 試験結果

各舗装の荷重-たわみ曲線を図-2 に示す。芝生は最も散逸エネルギーが大きく、陸上ウレタンは、载荷エネルギーに対して、除荷エネルギーが大きい。アスファルト舗装の弾性（多）は他の 4 種類に比べて、散逸エネルギーが大きい。

エネルギーロス率を図-3 に示す。素材の異なる舗装で比較すると、陸上ウレタン舗装が最も小さく、次いでアスファルト舗装、芝生の順で大きい。アスファルト舗装を比較すると、弾性（多）舗装はエネルギーロス率が大きく、その他の 4 種類のアスファルト舗装は大きな差は見られない。

路面弾性係数を図-4 に示す。素材の異なる舗装で比較すると、芝生が最も小さく、次いで陸上ウレタン舗装、アスファルト舗装の順で大きい。アスファルト舗装では弾性（多）舗装が最も小さい。次いでポーラス(13)、ポーラス(5)、SMA(5)、RC 密粒の順で大きい。弾性（多）舗装が最も小さい理由は舗装表面の空隙に擦り込んだ弾性骨材の影響である。その他 4 種類のアスファルト舗装は同一の素材であるが、路面弾性係数に差が見られた。これはアスファルト舗装の空隙率による差⁶⁾である。

以上より、芝生は路面弾性係数が最も小さく、着地衝撃が小さいのが特徴である。陸上ウレタン舗装は路面弾性係数とエネルギーロス率が小さいため、着地衝撃小さく、蹴り出しやすい。アスファルト舗装は路面弾性係数が大きいため、着地衝撃を大きく感じる。

4. まとめ

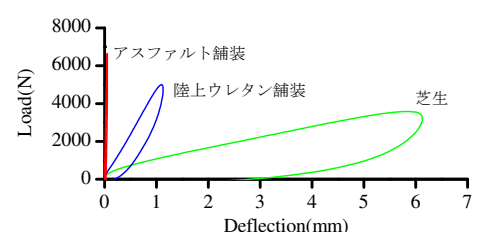
本研究では、ランナーが舗装ごとに感じている走りやすさに寄与する舗装の指標を明らかにすることを目的として、ランナーが舗装ごとに感じている走りやすさ（着地衝撃の大きさ、蹴り出しやすさ）を小型 FWD 载荷条件下の舗装のエネルギーロス率と路面弾性係数で評価を行った。結果を以下に示す。

- ・ 6 種類の路面素材の中で、芝生は路面弾性係数が最も小さく、エネルギーロス率が大きい。陸上ウレタン舗装は路面弾性係数とエネルギーロス率、ともに小さい。これは、芝生は着地衝撃が小さく、蹴り出しにくく、陸上ウレタンは着地衝撃が小さく、蹴り出しやすいと感じる傾向と合致している。
- ・ アスファルト舗装の弾性（多）を除く 4 種類について、路面弾性係数はポーラス(13)が小さく、RC 密粒は大きい結果が得られ、エネルギーロス率は同程度であった。よって、アスファルト舗装の中ではポーラス(13)が着地衝撃を小さく、そして蹴り出しやすいと感じると推察する。

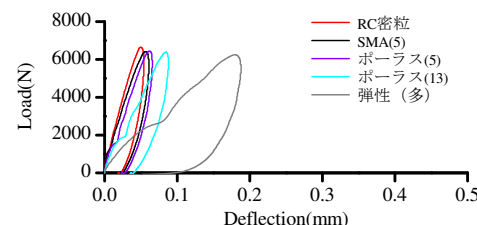
以上より、小型 FWD の路面弾性係数とエネルギーロス率によって、ランナーが感じている走りやすさを表現しうる可能性が示唆された。

【参考文献】

- 1) 黒岩拓馬, 川上篤史, 峰岸順一, 増山幸衛, 前川亮太: 中長距離走に適した舗装の評価方法に関する研究, 土木学会論文集 E1, Vol.69, No.3, pp.1185-1190, 2013.
- 2) 池田茜, 遠藤桂, 中島伸一郎: 中長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, Vol.75, No.2, pp.149-156, 2019.
- 3) 黒岩拓馬, 増山幸衛, 川上篤史, 峰岸順一, 前川亮太: ランナーの走行時の足圧状態と舗装に与える荷重に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会, pp.613-614, 2012.
- 4) 公益社団法人 土木学会 舗装工学委員会: 舗装工学ライブラリー14 非破壊試験による舗装のたわみ測定と構造評価, 公益社団法人 土木学会, p.34, 2015.
- 5) 井本立也: レオロジー入門, 高分子化学刊行会, pp.92-93, 1958.
- 6) 工藤正幸, 岡部俊幸, 林信也: アスファルト混合物のレジリエントモデュラスに関する一検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会, pp.1447-1448, 2003.



(a) 材料の異なる 3 種類



(b) アスファルト舗装

図-2 荷重-たわみ曲線

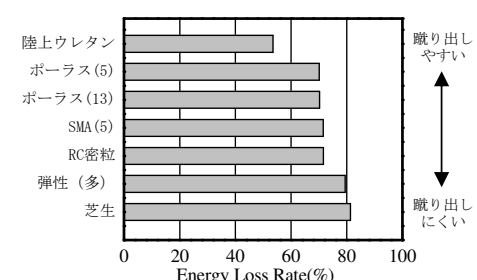


図-3 エネルギーロス率 (%)

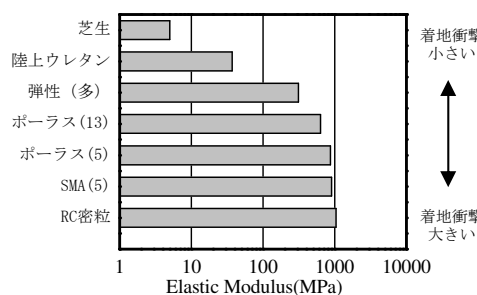


図-4 路面弾性係数 (MPa)