

# 温度変化のランニングシューズミッドソール 緩衝特性に及ぼす影響について

兵庫教育大学 木下 博  
(共同研究者) 同 寺岡 敏郎  
福井大学 戎 利光

## **The Effects of Temperature on the Shock Absorbing Characteristics of Running Shoes**

by

Hiroshi Kinoshita, Toshiro Teraoka  
*Hyogo University of Teacher Education*

Toshimitsu Ebisu  
*Fukui University*

### **ABSTRACT**

The purpose of this study was to investigate the effects of temperature on the shock absorbing characteristics of two kinds of viscoelastic polymer sponges (EVA and RB) which were usually used for the running shoe midsoles. Changes in the temperature inside the midsole during running 10km ( $200\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) were recorded using a thermistor for various environmental conditions. The hardness and viscoelasticity of the midsole materials exposed to temperatures between  $-10$  and  $60$  degrees (C) were measured by means of a dynamic viscoelasticity measurement system (Rheovibron) and a rubber hardness tester. In addition, impact testing ( $H_t=4$  cm) on shoes with varying midsole hardness was conducted using 4 subjects. An accelerometer was used to monitor the shock wave to the leg.

It was found that the midsole temperature during running ranged between approximately  $2$  degrees (C) in winter and  $53$  degrees in summer. The difference in the peak shock to the leg between the two seasons was estimated to be about  $20\text{ m}\cdot\text{sec}^{-2}$ , indicating the difference in shock value was large enough to cause various problems to the runners' bodies. As far

as the tested materials concerned, the RB sponge appeared to be more effective in shock absorption for high temperature conditions than the EVA.

諸 言

ランナーに頻発する障害の一原因として反復性の着地衝撃があげられる。そのような着地衝撃を緩和する手段として、昨今では厚目の緩衝用スポンジ材をミッドソール（中底）材に装備したランニング用シューズが開発されてきた。一般に、多くの緩衝用材料に用いられるスポンジ材は、ゴムまたはプラスチックを主材料とした粘弾性高分子共重合樹脂の架橋発泡体であるが、これらの高分子材料の力学的性質は、温度変化への依存度が高いことでよく知られている。

したがって、異なる温度下にあっては、必ずしも同様な緩衝効果が期待出来るとは限らない。また、緩衝作用に伴うミッドソール材の内部発熱による温度上昇も、ミッドソール自体の力学的性質に変化をもたらすであろうことが予想された。

そこで、本研究では外気や、路面温、体温、または緩衝作用に伴う発熱がミッドソール内部の温度変化に及ぼす影響について、さらには、そのようなミッドソール材内部の温度変化が緩衝材料の緩衝特性に及ぼす影響について検討することを目的とした。

方 法

測定 I

表 1 に示されるような各種環境温度条件下の実走時におけるミッドソール内部温度の変化を観察する目的で、成人男子 1 名 (72kg) に実験用シューズを着用させ、着用後 30 分よりアスファルト路面上を約  $200\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  の速度にて 40 分間のランニングを行わせた。

実験用シューズは、アッパーをナイロン材、中

表 1 実走時のミッドソール内部温度の測定が行われた各種環境温度条件

条 件	外気温*	路面温*
C1 夏 (炎天下)	38	42
C2 夏 (日中)	35	39
C3 春 (日中)	21	22
C4 冬 (日中)	4	2
C5 冬 (早朝)	0	-2

\* 走開始前の温度 (°C)

敷を 2mm のゴムスポンジ材、外底を 5.5mm のゴム材により、左右のミッドソール部のみに、ポリブタジエンを主材料とした発泡体 (R) とエチレン酢酸ビニールを主材料とした発泡体 (E1) の二種類を用いて作製された。E1 材 および R 材は、共に現在最も頻繁に利用されているシューズ中底用緩衝材である。

E1 材と R 材の室温 20°C における SRIS ゴム用硬度計 C タイプを用いての各所測定平均値は、それぞれ 54.8 と 55.3 であった。ミッドソール材の踵部の厚みは、20mm、前足部の厚みは、10mm とし、全体を平均的ジョギングシューズの形状、素材構成となるように配慮した。

温度の計測は、ミッドソール踵中心部に埋め込んだサーミスターからの抵抗値変化を有線にて伴走車内より記録する方法によった。

測定 II

ミッドソール材の力学的性質の温度依存性を明らかにする目的で、まずゴム用硬度計により硬度と温度との関係を調べた。試料としては、R 材および E1 材に加えて、室温 (20°C) にての硬度を 36 と 69 とするエチレン酢酸ビニル材スポンジ二種類 (E2 と E5) を用いた。

さらに、E1 材と R 材については、試料片 (50 × 5 × 0.5mm) を切り出し、Rheovibron (佛東洋

ポールドウィン) によって動力的挙動の対温度変化を観察した。強制振動周波数は、ジョギング時の床反力垂直分力に見られた着地衝撃波の周波数に近い 35Hz に設定し、温度変化は、 $-10^{\circ}\text{C}$  から  $60^{\circ}\text{C}$  までとした。

力学的損失正接 ( $\tan \delta$ ) は、測定器より直読し、複素弾性率 ( $E^*$ ) は、応力とひずみの関係より、動的貯蔵弾性率 ( $E'$ )、および動的損失弾性率 ( $E''$ ) は、それぞれ、式  $|E^*| \cos \delta$  と  $|E^*| \sin \delta$  により算出した。

### 測定Ⅲ

ミッドソール部の硬度変化と緩衝特性との関係を調べる目的で、成人男子 4 名 ( $\bar{X}=7.13 \pm 19$  kg) に室温 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) でのゴム用硬度計測定値を約 36, 50, 58, 69 とするエチレン酢酸ビニル材 (E2, E3, E4, E5) をミッドソール部に用い、中敷、外底などを同一材料にて作製したシューズ 4 種を着用させ、両体側での腕支持から片脚踵着地による落下試験を行った。

落下高は、ジョギング時 (約  $200\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) の踵接地時に得られた下肢への最大衝撃波値に近似

した値の得られた 4cm に設定した。

衝撃波の計測は、ストレインゲージ型加速度計 (㈱共和電業) を用い、下肢前面にプラスチック板 ( $40 \times 40\text{mm}$ ) とテーピング用テープにて強く固定した。加速度信号は、増幅、AD 変換後、コンピュータ (㈱ソード) に取り込み、後に緩衝効果の指標として最大加速度 (衝撃波) 値を求めた。

### 結 果

図 1 は、実走時におけるミッドソール材内部温度の変化を表わしている。また、各条件における最低と最高温度、およびそれらの差を表 2 に示した。

ミッドソール内部温度は、環境温度の影響を大きく受けることは一目瞭然であるが、冬期における走開始時の内部温度に見られるように、足裏温の影響による若干の温度上昇も認められた。最高内部温度は、夏期の炎天下条件での走開始後 20 分前後に記録された  $51.0^{\circ}\text{C}$  (R 材) と  $52.8^{\circ}\text{C}$  (E1 材) で、最低内部温度は、冬期早朝の走開始時に

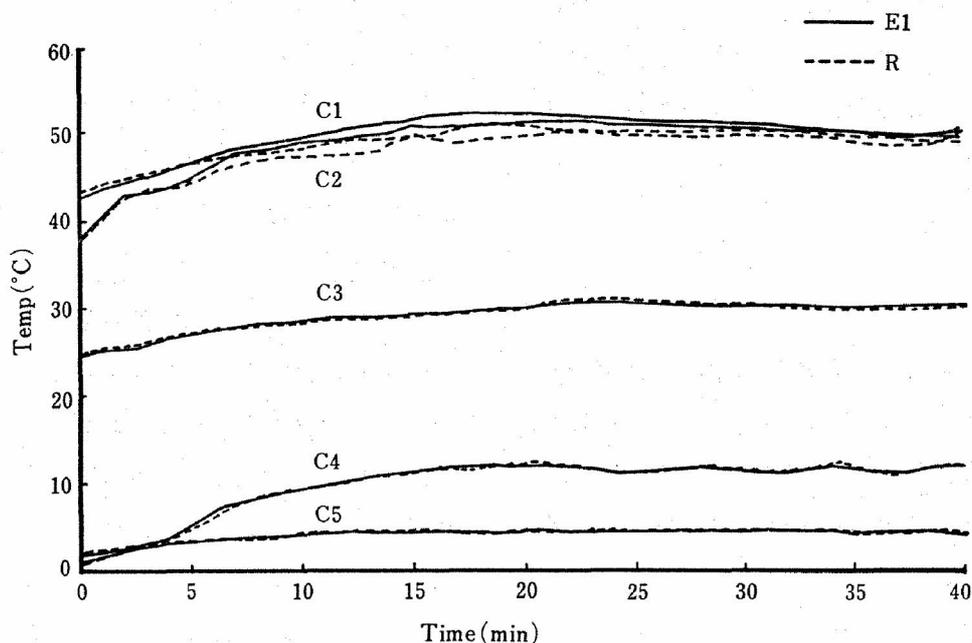


図 1 実走時のミッドソール内部温度変化

表2 ミッドソール内部温度の最高と最低値（左側表）とそれらの内部温度発生時に身体が受ける衝撃波値（右側表）

	Min. Temp.*		Max. Temp.		Difference (Max-Min)		Min. Accel.**		Max. Accel.		Difference (Max-Min)	
	E1	R	E1	R	E1	R	E1	R	E1	R	E1	R
C1	43.3	44.0	52.8	51.0	9.5	7.0	57.65	57.23	60.16	57.53	2.51	0.30
C2	38.5	38.5	52.0	50.0	13.5	11.5	57.24	57.46	59.86	57.45	2.62	-0.01
C3	25.5	26.2	31.3	32.5	5.8	6.3	59.40	59.67	57.81	58.21	-1.59	-1.46
C4	3.1	2.9	13.4	14.0	11.3	11.1	78.52	75.44	66.72	65.27	-11.80	-10.17
C5	2.5	2.4	6.3	6.4	3.8	4.0	79.41	76.06	74.20	71.53	-5.21	-4.53
					$\bar{X}$ 8.78	7.98					$ \bar{X} $ 4.75	3.31

\* degrees(C), \*\* m/sec<sup>2</sup>

見られた 2.4°C (R材) と 2.5°C (E1 材) であった。

緩衝作用や体温の上昇によるミッドソール内部の温度上昇は、走開始後15分前後までは、比較的早く起こり、その後は、除々に定値化の傾向を呈し、20分前後よりほぼ同値にて推移するというパターンが一般的であった。推移状態では、内部での発熱と外部への放熱とが均衡状態となっているためと考えられる。

二種のミッドソール材の内部温度変化を比較すると、冬期においては差異は認められず、夏期のような高温下では、E1 材の方が 1.5 度前後高温にて推移する傾向を示した。

ミッドソール材硬度と温度との関係を図2に、また、それぞれの関係の回帰式を最小二乗法により求め表3に示した。

図3は、身体の自由落下試験によって得られた各被験者のデータをプロットしたものである。二被験者 (S1 と S3) では、柔らかいミッドソール材

(E2) 使用のシューズで、それより硬いミッドソール材 (E3) 使用シューズ時よりも大きな衝撃波

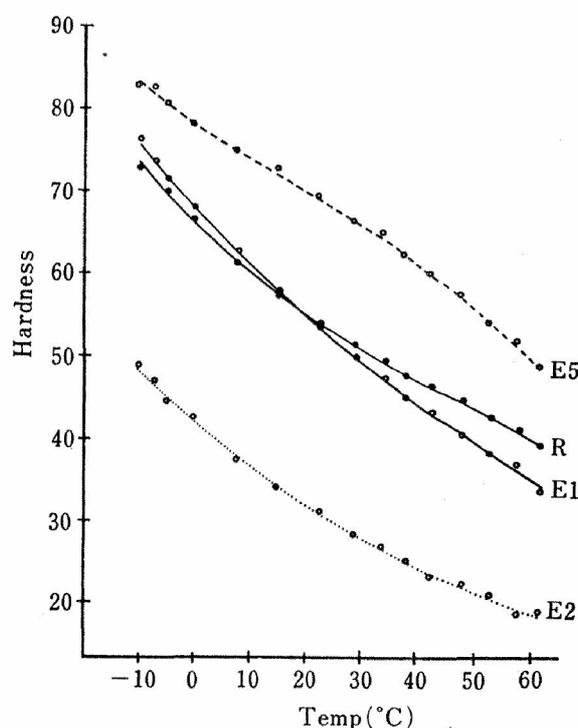


図2 各種材料の硬度・温度関係

表3 硬度 (H)・温度 (T) 関係を表わす回帰曲線式

R	$H = -4.714E - 05 T^3 + 6.616E - 03 T^2 - 0.662 T + 62.643$
E1	$H = -2.652E - 05 T^3 + 4.231E - 03 T^2 - 0.713 T + 64.460$
E2	$H = -6.050E - 06 T^3 + 3.142E - 03 T^2 - 0.557 T + 42.240$
E5	$H = -6.224E - 05 T^3 + 3.243E - 03 T^2 - 0.454 T + 78.486$

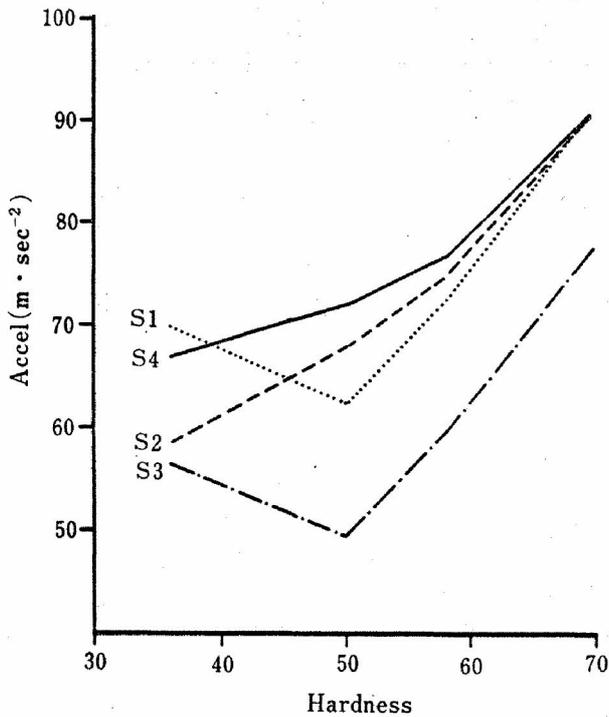


図3 ミッドソール材の硬度と下肢への衝撃波最大値の関係 (個人データ)

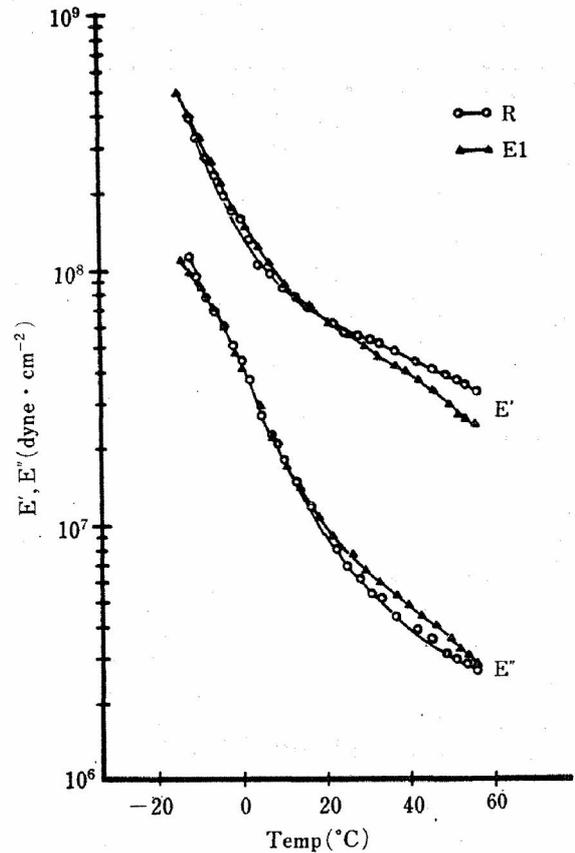


図5 試料 (R と E1) の動的弾性率 (E' と E'') の対温度曲線

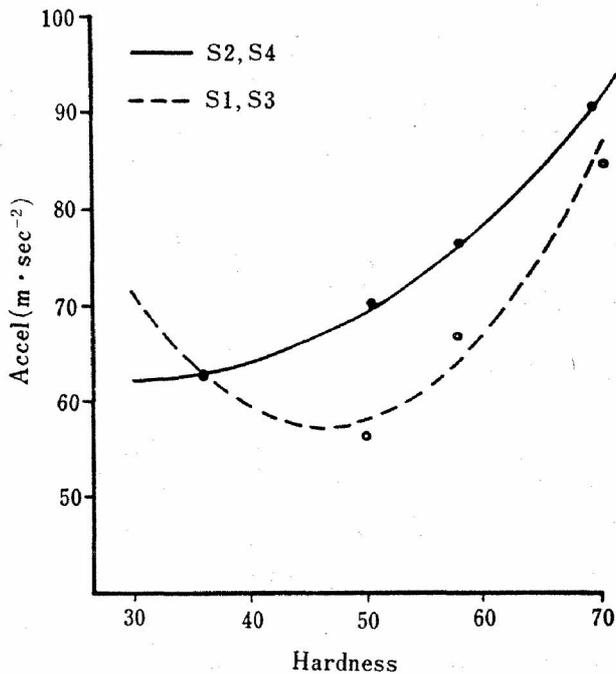


図4 硬度と衝撃波最大値への回帰曲線 (S2, S4:  $A=0.193H^2-1.186H+80.651$ , S1, S3:  $A=0.053H^2-4.860H+169.440$ , A: Accel, H: Hardness)

値が観察された。このような現象は、緩衝材の圧縮限界への到達、すなわち「底突き」現象の発生を示していると考えられる。

類似する傾向を示した被験者について、それぞれのグループ特性を表わす硬度、最大衝撃波値の回帰式を求めた (図4)。

図5は、E1材とR材からの試料の動的貯蔵弾性率 (E') と動的損失弾性率 (E'') の対温度変化曲線を表わしている。E' は、両材料共に  $-10^{\circ}\text{C}$  付近で約  $4 \times 10^8 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-2}$  となり、温度の上昇と共に低下し、 $60^{\circ}\text{C}$  付近では、E1材で  $2.5 \times 10^7 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、R材で  $3.5 \times 10^7 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-2}$  となった。低下の度合いは、低温域では大きく、温度が上昇するに従い減少する様相を呈した。

E'' は、測定温度全域において E' より低値を示したが、温度変化への対応は、E' と同様に温度の上昇に伴い低下の傾向を示した。E'' の  $-10^{\circ}\text{C}$  付近での値は、両材料共に  $9 \times 10^7 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-2}$  であり、 $60^{\circ}\text{C}$  では  $3 \times 10^8 \text{ dyne} \cdot \text{cm}^{-2}$  にまで低下していた。

考 察

実走時におけるミッドソール内部の温度変化(図1)では、走開始後15分前後まで比較的早い温度上昇が観察された。永井ら<sup>1)</sup>は、 $270\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ の速度にてランニング中のシューズ内の温度を走開始前、3.2km、6.4km、10kmの各地点で測定した結果、3.2km(走開始後約13分)までの上昇が急激であったことを報告している。

また、走開始前と走行中との温度差は、夏期(外気温  $34^{\circ}\text{C}$ )で約  $7^{\circ}\text{C}$ 、冬期( $9^{\circ}\text{C}$ )で約  $5^{\circ}\text{C}$ であったと報告しており、これらの値も表2に示された数値にある程度類似すると判断される。走速度、または温度測定部位など本研究の方法とは相異なるが、永井らの結果は、測定1の結果の信頼性を間接的に裏付けていると言えよう。

身体の落下試験による下肢への衝撃波値とミッドソール材の硬度との関係(図4)では、類似する傾向が認められた被験者群ごとに回帰式が求め

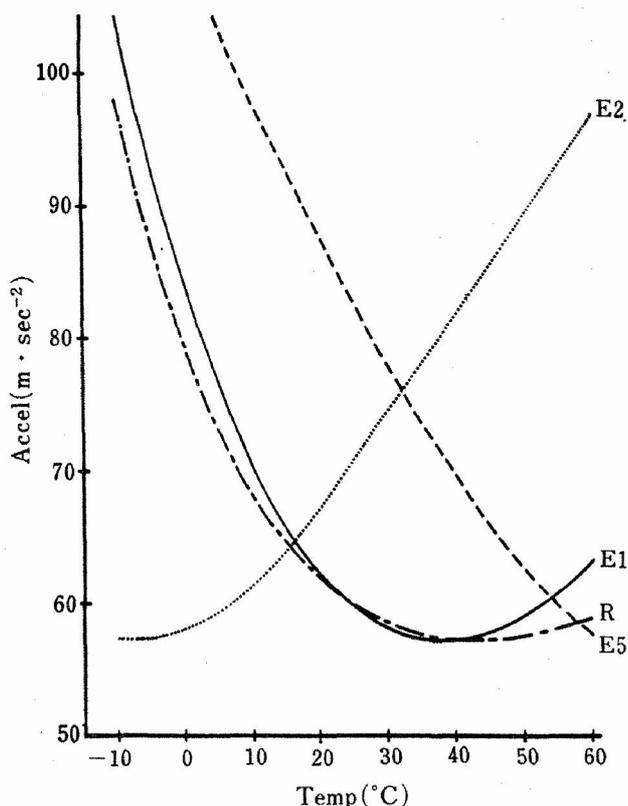


図6 各種ミッドソール材の緩衝効果の対温度曲線

られた。緩衝機能の評価をより厳密に行うためには、「底突き」が表出した被験者群のデータへの回帰式を利用するのが賢明と判断できる。

そこで、表3に示された各々のミッドソール材の温度、硬度の関係式を「底突き」被験者群の回帰式 ( $A=0.0526H^2-4.860H+169.440$ ) に代入し、衝撃波値の対温度変化関係式を導き出した(附表1)。

図6は、それらの式に基づき衝撃波値と温度との関係をプロットしたものである。また、表2の右辺には各環境条件下におけるミッドソール内部の最低と最高温度の衝撃波推定値を附表1の関係式より算出した結果が示されている。

まず、季節差に伴うミッドソール内部の温度変化と、その緩衝機能性について考察するため、走開始時の値を比較した。最大の温度差が認められた夏期炎天下条件(C1)と冬期早朝条件(C5)間では両材料共に約  $40^{\circ}\text{C}$ の温度差となり、衝撃値の差ではE1材で  $21.96\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、R材で  $18.83\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ となる。

いま、身体温の影響が夏冬である程度同様であったと仮定すると季節温の影響により、走者の下肢は約  $20\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ の衝撃波値の差を経験することになる。緩衝機能の評価に用いた「底突き」被験者群回帰式によると、緩衝が理想的に行われた場合(硬度(H)=46)は、衝撃波の値を  $57.23\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ にまで低下させることが可能となる。

この理想値と夏冬の走開始時の値とを比較すると、夏期の値は、ほぼ同値であり、理想的な緩衝機能状態にあることが示唆されるが、冬期における値とは、E1材で  $21.18\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、R材で  $18.83\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ の差が存在していたことになり、本来の緩衝材が発揮出来る機能の約14%低下した状態であったことになる。

走行中に測定された内部温度と衝撃波値との関係を季節差(C1とC5)で見ると(表2)、温度差は、E1材で  $46.6^{\circ}\text{C}$ 、R材で  $44.6^{\circ}\text{C}$ となり、衝

撃波値の差は、両材料共に  $14\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  前後となる。また、走行中の衝撃波値と理想的に緩衝が行われた場合の値 ( $57.23\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ ) との差を求めると、夏期には高温のために材料の軟化が過度となり、「底突き」が発生したこととなり E1 材で  $2.93\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、R 材で  $0.3\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  の増大が推定できる。

冬期では、E1 材で  $16.97\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、R 材で  $14.3\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  となり、走開始後20分前後においても理想値より約13%の緩衝機能低下状態にての走行が余儀なくさせられていた計算となる。

Clarke ら<sup>2)</sup>は、10名の走者を用いて走速度  $228\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  における下肢への衝撃波値を測定した結果、中硬度ミッドソール付シューズ着用時で  $71.58\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、裸足時で  $97.02\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  であったと報告しており、これらの値の差は、 $25.48\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  となる。したがって、本研究の結果にて推定された冬期における衝撃波の増大値は、決して無視出来る程度の小さな値ではなかったと判断できる。

中島ら<sup>3)</sup>が1,530名のジョギング愛好者を対象に行った障害に関するアンケート調査では、秋から冬にかけての寒冷期に障害の多発傾向が観察されている。本研究の結果は、これらの障害の一部がシューズ底の緩衝機能の低下に原因していたことをも示唆していると言えよう。冬期 ( $0^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ) に緩衝性が最良となるような材料硬度を図6の衝撃波値と温度との関係より推定すると、E2 材よりも若干硬目の40前後 (室温下) の硬度材料が必要となるようである。

一環境下での走行中に起る緩衝機能の変化について考察すると、表2 (右辺下) に示されたように、各条件における最大と最小温度との差の絶対値を平均すると、E1 材で  $4.7\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$ 、R 材で  $3.3\text{m}\cdot\text{sec}^{-2}$  が得られる。これらの値は、夏冬の衝撃波値の差のほぼ4分の1程度となり、季節差の影響の方がはるかに大きいことを示している。

しかしながら、走行中に起る路面温、外気温、走速度などの様々な要因の変化次第では、ミッドソール内部の温度は  $10^{\circ}\text{C}$  以上の変化を呈し、それに伴い緩衝性も比較的大きく変化することも走者に何んらかの影響を与えるであろうことが予想された。

二種類の高分子材料の温度依存性について比較すると、実走時の材料内部の温度変化 (図1) は、高環境温下でR材の方が若干ではあるが低温度にて推移しており、内部発熱が少なかったことを示していた。

このような現象は、動的粘弾性試験の結果 (図5) においても観察されたように、E1 材はR材に比べて特に高温域では、貯蔵弾性率 ( $E'$ ) の減少が大きくなり、逆に損失弾性率 ( $E''$ ) の減少が小さくなるような力学的特性の材料であったことから理解されよう。

すなわち、高温域では、E1 材はR材よりも応力の減衰作用が大きいような性質になっていたことになり、結果として、発熱し易い状態にあったと判断される。衝撃波値の対温度変化 (図6) の様相においても、R材の緩衝機能は、若干ではあるがE1 材よりも温度変化の作用を受けにくいことが示された。

## ま と め

本研究では、ジョギングシューズのミッドソール用材料として最も一般的なエチレン酢酸ビニル材の架橋発泡体から一例、およびポリブタジエン材の架橋発泡体から一例を取り上げ、それらのミッドソール材に託された着地衝撃の緩和吸収機能が各種の環境温度下で、どのような変化を示すかについて検討した。

その結果、寒冷気温下では、材質の硬化に伴う緩衝特性の著しい低下が認められ、着地時の足裏が受ける衝撃に原因する障害発生の可能性が増大するであろうことが示唆された。また、種類の異

なる材料では、その緩衝特性の温度変化に対する反応が若干ではあるが異なって表われることが明らかとなった。

文 献

- 1) 永井純, 他; ランニングシューズ内の温度・湿度に関する一考察, 日本体育学会, 第33回大会号, pp. 626 (1982)
- 2) Clarke, T.E., et al.; Biomechanical Measurement of Running Shoe Cushioning Properties, Proceedings of the International Symposium on Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surfaces, (Nigg, B. and Kerr, B. ed.), pp. 25—33 (1983)
- 3) 中島寛之, 他; 昭和54年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. V, 大衆ランナーの整形外科的研究, 日本体育協会スポーツ科学委員会 (1979)

附表1 衝撃波値 (A)・温度 (T) 関係を表わす回帰曲線式

R	$A = 1.170E - 10T^6 - 3.283E - 08T^5 + 5.590E - 06T^4 - 5.630E - 04T^3 + 0.037T^2 - 1.427T + 79.278$
E1	$A = 3.767E - 11T^6 - 1.181E - 08T^5 + 2.932E - 06T^4 - 3.697E - 04T^3 + 0.037T^2 - 1.672T + 83.365$
E2	$A = 1.926E - 12T^6 - 2.001E - 09T^5 + 8.744E - 07T^4 - 1.818E - 04T^3 + 0.015T^2 + 0.231T + 58.049$
E5	$A = 2.039E - 10T^6 - 2.125E - 08T^5 + 3.527E - 06T^4 - 3.666E - 04T^3 + 0.022T^2 - 1.544T + 112.167$