

砂詰め人工芝の衝撃緩和特性に関する検討

STUDY OF SHOCK ABSORBED FUNCTION ON ARTIFICIAL SAND GRASS

牧 恒雄*・天野景敏**・尾本志展***・玉置壽熙****

By Tsuneo MAKI, Kagetoshi AMANO, Shinobu OMOTO and Toshihiro TAMAKI

The function of shock absorbed about artificial sand grass were examined to elasticity by the method of analysis to impact wave on human body about the 18 different species of pavement. It is concluded. The thick surface course material show the more effective function of shock absorbed. But surface course material is more effective than layer course materials, and there is not effect of bedrock materials. Good function of shock absorbed like the true are granular rubber with polypropylene net and blister urethane mat.

Keywords : function of shock absorbed, artificial sand grass, elasticity method

1. ま え が き

芝生は、鮮やかな緑と弾力性のある歩行感が好まれて、広場・公園や運動施設、一般の家庭などで広く用いられているが、管理に多くの手間と時間を要することから、最近の運動施設では人工芝を用いる事例が多くなった。しかし、人工芝の上で長時間運動を行うと膝や腰などに悪影響を与えるといわれており、人工芝に天然芝の体感をもたせる工夫が行われている。

人工芝は表層材の形状からカットパイル、カールパイル、ループパイル、砂詰めタイプの4種類に分類され、芝の素材もポリエステル、ポリプロピレン、ナイロンなどが開発されている¹⁾。人工芝の構造としては、透水性アスコンやコンクリート舗装を基盤として、その上に人工芝を直接施工するか、中間に衝撃吸収層を設ける例が多い。特に、砂詰め人工芝は、表層が厚みのある砂層になっているので、砂層が衝撃を吸収し天然芝に近い感覚

が得られるといわれているが、表層だけでは十分に機能を発揮できず、中間に衝撃吸収層を設けている事例もある。

本研究は、天然芝に近い体感が得られるような砂詰め人工芝を開発することを目的として、舗装を構成する各種材料を変化させながら、人工芝の衝撃緩和特性について検討したものである。

2. 目 的

砂詰め人工芝上で運動した場合、人体が受ける衝撃量は、芝の長さや表層に詰める砂の量、中間層に用いる素材の材質や厚さ、舗装基盤材などに影響されると思われるが、人工芝を構成する材料の衝撃緩和特性は十分に解明されていない。衝撃緩和特性を測定する場合、舗装上で実際に運動を行い人体が受けた衝撃を直接解析するのが好ましいが、この場合、測定する人体の個体差や靴の種類など多くの要因が影響してくる。そこで、本研究では、これらの測定要因を取り入れた解析法として生体振動解析法²⁾を用い、舗装を構成する各材料の衝撃緩和特性を調べ、天然芝に近い体感性をもつ砂詰め人工芝の舗装構造について研究することを目的とした。あわせて、物理的な試験方法としてばね定数の測定を行った。

* 正会員 東京農業大学講師 農学部農業工学科
(〒156 世田谷区桜丘1-1-1)

** 学博 東京農業大学教授 農学部農業工学科(同上)

*** 正会員 日本舗道(株)技術研究所
(〒140 品川区東品川3-32-34)

**** 積水化学工業(株)産業用品事業部
(〒530 大阪市北区西天満2-4-4)

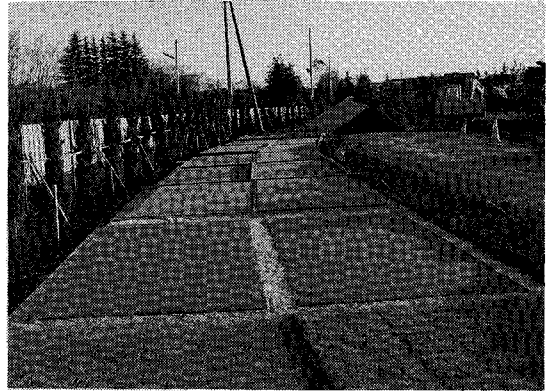
3. 試験方法

生体振動解析法は、人体が舗装から受ける衝撃を解析し舗装の衝撃緩和特性を判定する解析法で、使用している靴や人体自身の緩衝機能が測定値に含まれている。本実験では、衝撃波形を人体の中でも緩衝作用が比較的少なく、波形を求めやすい足首（前脛骨下端の外果）と膝間接（大腿骨下端の外側顆）で求めた。そして衝撃波形を解析し、足全体が受ける衝撃を足首と膝の衝撃加速度値の和から求め、舗装に当たったときの硬さを足首の波形をFFTで周波数分析して得られるメジアン周波数値から求め、舗装の変形応答特性を振動波形の波形積分値から求め、これらの3つのデータから舗装材の衝撃緩和特性を検討した。測定に使用した加速度計は、いずれも圧電素子タイプの小型加速度で、共振周波数50000 Hz、測定加速度0~5000 Gのものを用いた。測定データは、データレコーダに記録し、5 kHzでA/D変換後に解析を行った。また、運動時に人体が受ける衝撃を定量化することは難しいので、本試験では人体が受ける衝撃条件を一定にするため、ぶら下がり健康器から舗装に垂直落下することで衝撃量を定量化した。落下高さは、地面への接地速度を2.0 m/s程度として、20 cmの高さから各舗装面に10回ずつ落下させた。測定はジョギングシューズ、ゴム底の運動靴、靴底の固い革靴と裸足を加えた4種類で行った。なお、被験者は22歳男子（被験者Aとよぶ）と23歳男子（被験者Bとよぶ）の2名である。

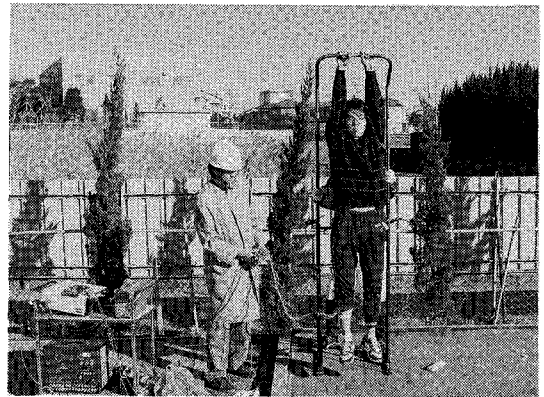
ばね定数の測定は、5000±50 gの重錘を100 cmの高さから自由落下させて衝撃時の加速度波形を求め、これを積分計で変位に換算し変位量曲線を求め、最大変位量からばね定数を求めた。測定に使用したばねは、外径8 cm、厚さ0.4 cmのゴム板を15枚重ねたもので、全体のばね定数は250~300 kg/cmである。試験は各舗装に対し3回ずつ実施した。

4. 試験材料と舗装構造

砂詰め人工芝の衝撃緩和特性を高める方法として、表層を厚くするか、中間層あるいは基盤材料に衝撃緩和特性の高い材料を用いる等の方法が考えられる。そこで、本試験では表層材の厚さが異なる人工芝を3種類、中間層の機能を考慮して高分子系の緩衝材を2種類、ゴム系の緩衝材2種類、砂系の緩衝材2種類を選んだ。また、基盤材料は、一般に使用されているアスコン基盤、砕石基盤、砂系基盤など5種類を用いた。そして、これらの材料を組み合わせた試験区を15種類作成した。さらに、標準試験区として天然芝舗装、クレイ舗装、開粒度アスコン舗装の3種類を作成し比較した。それぞれの試験区



写真一 試験区の状況



写真二 測定状況

の面積は7.2 m² (4 m×1.8 m)で、写真一、二に試験区の概況と測定状況を示す。

試験に使用した材料は次のとおりである。

表層材

- 砂詰め人工芝

芝の長さが50, 25, 19 mmの3種類で、充填砂は細珪砂を用い、充填量は19 mm芝で26 kg/m²を標準とし、芝の長さに比例して充填量を変えた。

中間層材

- プラスチックハニカム板

ハニカム構造 ($d=8$ mm) をしたプラスチック製パネルで、厚さ30, 50 mmの2種類があり、ハニカムの両面にポリプロピレン不織布 (200 g/m²) が接着されている。

- 発砲ポリエチレンフォーム

厚さは10 mmのシートで、ポリエチレンの発泡倍率は20倍である。

- 高分子ネット+ゴムGタイプ

ポリプロピレンネット (厚さ12 mm) に破碎ゴムGタイプ (径3.36~1.14 mm) を詰めたもので、

ポリプロピレン不織布 (200 g/m²) と組み合わせて用いる。

• 高分子ネット+ゴムHタイプ

ポリプロピレンネット (厚さ 12 mm) に破碎ゴム Hタイプ (径 2.00~1.00 mm) を詰めたもので、ポリプロピレン不織布 (200 g/m²) と組み合わせて用いる。

• ゴムチップ+山砂

粒状グレインゴム (径 3.0~1.0 mm) と山砂を混合したもので、厚さ 100 mm である。

• メッシュエレメント+山砂

ポリプロピレンメッシュ (50×100 mm) と山砂を混合したもので、厚さ 100 mm である。

基盤材

- 開粒度アスコン (13)
- ソイルセメント
- 碎石 (C40 級)
- 山砂 (0.075 mm 通過分が 10~15 % のもの)
- 土 (普通の裸地)

試験区の舗装構造を表一に示す。

5. 結果および考察

(1) 衝撃緩和特性について

生体振動解析法を用いて、砂詰め人工芝に落下したときに受ける衝撃波形を解析し、衝撃加速度値、周波数値、

波形積分値を求め各材料の衝撃緩和特性について検討した。

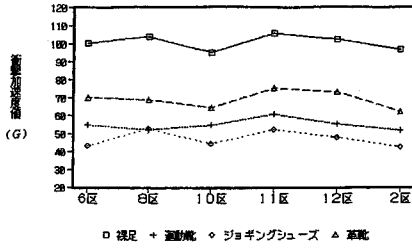
(衝撃加速度値)

表層材の厚さと衝撃緩和特性について、被験者間で衝撃加速度値に差を生じたが、測定結果は一定の傾向を示した。図一1~4の測定結果をみると、19 mm 芝の試験区は 25 mm 芝の試験区に比べ、中間層の材質に関係なく被験者 A で 12~35 %、被験者 B で 7~28 % 程度、衝撃加速度値が大きくなっていった。しかし、図一5, 6 に示すように中間層に高分子ネット+ゴムチップを使用した 17, 18 区の試験区を比較すると、表層厚さは 25 mm、50 mm と異なっているが、衝撃加速度値に大きな差がなく表層材の厚さの影響が認められなかった。これらをまとめると、表層材が厚い芝は薄い芝に比べて衝撃緩和特性が大きい、中間層に衝撃緩和特性が大きい材料を用いると、表層材の厚さの影響より中間層の緩和特性が強くなり、表層材の厚さの影響が小さくなる。

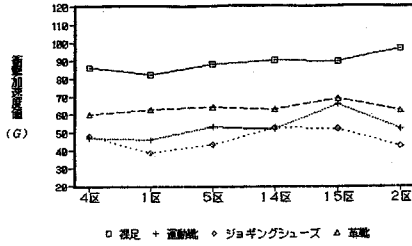
中間層の材質について検討すると、図一1~4 に示すようにプラスチックハニカム材を用いた 8, 10, 11, 12 区の試験区と、中間層を設けずにアスコン基盤上に直接人工芝を施工した 6 区の試験区が、同程度の衝撃加速度値を示し、プラスチックハニカム材には衝撃緩和特性が認められなかった。これは、ハニカム材は空気層があるが表面が硬いので、中間層として用いても基盤と同じ機能をしたと思われる。次に、硬い舗装の代表として作成

表一 試験区の舗装構造

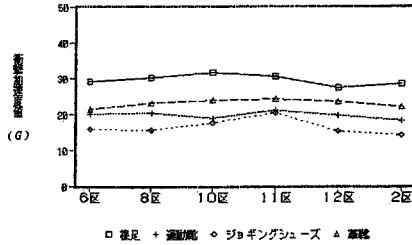
表 層	中 間 層	基 盤 材 料		試験区番号	
人工芝19mm	なし	アスコン基盤	50mm	6区	
人工芝19mm	プラスチックハニカム30mm	アスコン基盤	50mm	8区	
人工芝19mm	プラスチックハニカム50mm	アスコン基盤	50mm	10区	
人工芝19mm	プラスチックハニカム30mm	ソイルセメント基盤	50mm	11区	
人工芝19mm	プラスチックハニカム50mm	ソイルセメント基盤	50mm	12区	
人工芝25mm	なし	アスコン基盤	50mm	4区	
人工芝25mm	プラスチックハニカム30mm	アスコン基盤	50mm	1区	
人工芝25mm	プラスチックハニカム50mm	アスコン基盤	50mm	5区	
人工芝25mm	発泡ポリエチレンフォーム	アスコン基盤	50mm	9区	
人工芝25mm	高分子ネット+ゴムG	アスコン基盤	50mm	3区	
人工芝25mm	高分子ネット+ゴムH	アスコン基盤	50mm	7区	
人工芝25mm	高分子ネット+ゴムG	砂基盤	100mm	17区	
人工芝50mm	高分子ネット+ゴムH	砂基盤	100mm	18区	
人工芝25mm	ゴムチップ+山砂	碎石基盤	150mm	13区	
人工芝25mm	メッシュエレメント+山砂	碎石基盤	150mm	14区	
標準試験区	開粒度アスコン	50mm	碎石基盤	150mm	2区
標準試験区	クレイ舗装	150mm	土基盤	100mm	15区
標準試験区	天然芝	100mm	土基盤	100mm	16区



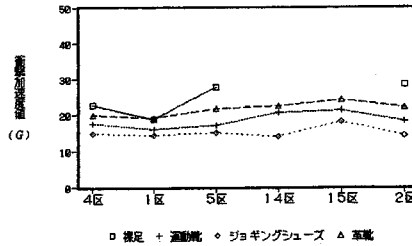
図一 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 A)



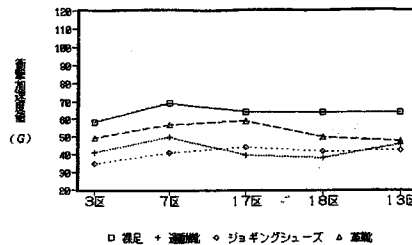
図二 25 mm 芝で各種中間層を用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 A)



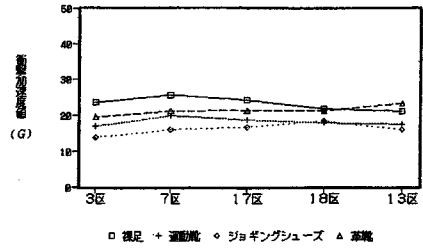
図三 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 B)



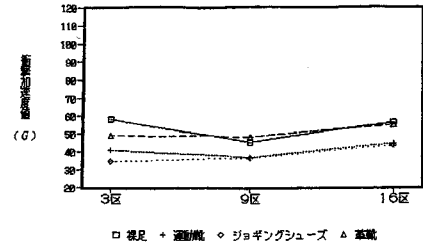
図四 25 mm 芝で各種中間層を用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 B)



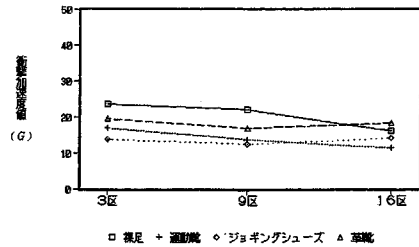
図五 25 mm 芝でゴムチップを中間層に用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 A)



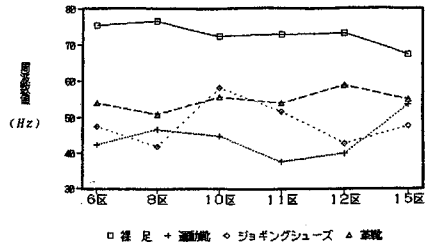
図六 25 mm 芝でゴムチップを中間層に用いたときの衝撃加速度値の比較 (被験者 B)



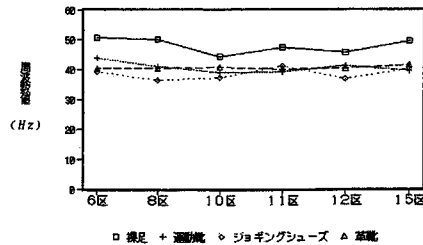
図七 天然芝に近い衝撃加速度値を示す舗装の比較 (被験者 A)



図八 天然芝に近い衝撃加速度値を示す舗装の比較 (被験者 B)



図九 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの周波数値の比較 (被験者 A)



図一〇 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの周波数値の比較 (被験者 B)

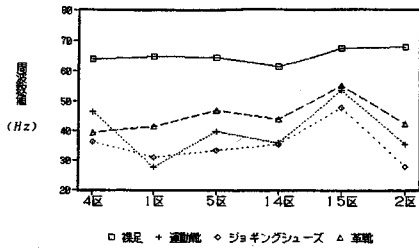


図-11 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの周波数値の比較 (被験者 A)

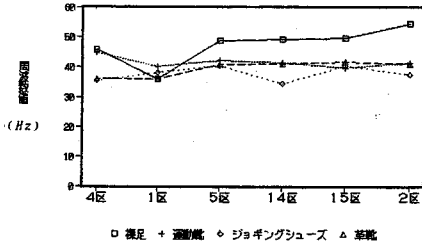


図-12 19 mm 芝で各種中間層を用いたときの周波数値の比較 (被験者 B)

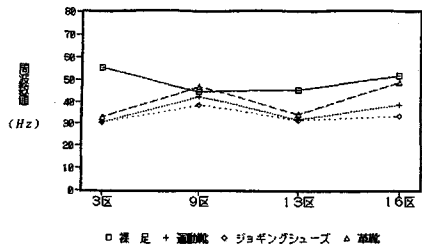


図-13 天然芝に近い周波数値を示す舗装の比較 (被験者 A)

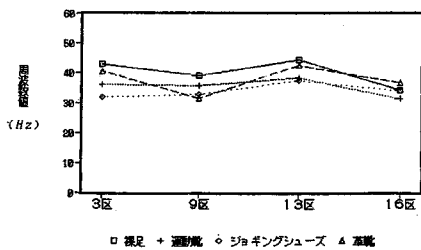


図-14 天然芝に近い周波数値を示す舗装の比較 (被験者 B)

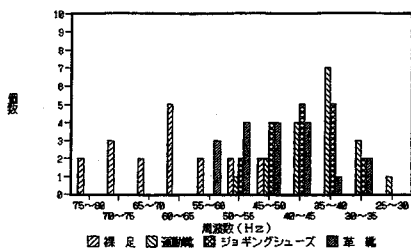


図-15 靴の種類別の周波数分布図 (被験者 A)

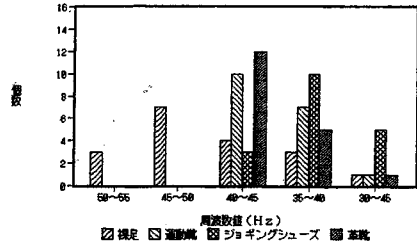


図-16 靴の種類別の周波数分布図 (被験者 B)

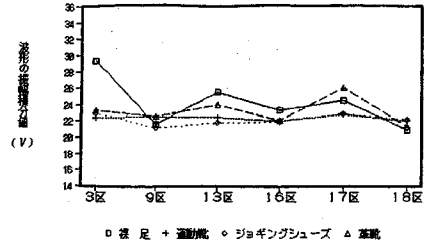


図-17 天然芝に近い積分値を示す舗装の比較 (被験者 A)

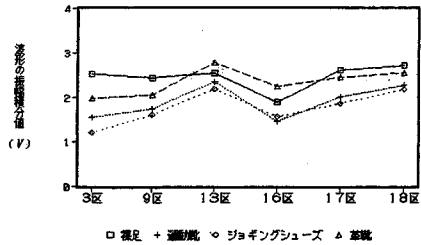


図-18 天然芝に近い積分値を示す舗装の比較 (被験者 B)

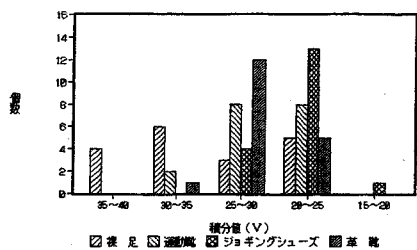


図-19 靴の種類別の積分値分布図 (被験者 A)

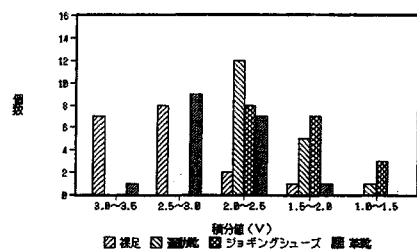


図-20 靴の種類別の積分値分布図 (被験者 B)

した2区の開粒度アスコン舗装は、衝撃加速度値が他の舗装より大きくなるものと思われたが、14区のメッシュエレメント+山砂を中間層を用いた試験区や、15区のクレイ舗装試験区と同程度の衝撃加速度値を示した。これは、アスコン舗装が体験的に硬い舗装であることがわかっているので、落下時に人体の緩衝作用が強く働き、その結果、衝撃加速度値が他の舗装より極端に大きくならなかったものと考ええる。また、高分子ネット+ゴムチップの中間層を用いた3, 7, 17, 18区の試験区(図-5, 6)は、他の中間層を用いた試験区(図-2, 4)に比べ、衝撃加速度値が10~40%程度低下しており、高分子ネット+ゴムチップの中間層の衝撃緩和特性が大きいことを示していた。また、ゴムチップ+山砂を用いた13区の試験区でも同様の測定結果を示した。しかし、同じメッシュエレメント+山砂を用いた14区と比較すると、メッシュエレメントを用いた中間層は、衝撃加速度値が大きく衝撃緩和特性が働いていなかった。これは、メッシュエレメントが砂の移動を押さえる動きをして衝撃が拡散されず、大きな衝撃加速度値になったことが原因と考えられる。また、16区の天然芝の衝撃加速度値に近い値を示した試験区は、図-7, 8に示すように、3区の高分子ネット+ゴムチップGを用いた試験区と、9区の発泡ポリエチレンフォームを用いた試験区で、いずれの試験区も中間層の衝撃緩和特性が大きく天然芝に近い値となっていた。

基盤材質の影響をみるために、19mm芝の試験区でアスコン基盤の8, 10区とソイルセメント基盤の11, 12区を比較した。その結果、図-1~4に示すように、衝撃加速度値にほとんど差がなく、25mm芝の試験区でもアスコン基盤の3, 7区と砂基盤の17, 18区では差がなかったことから、衝撃緩和特性は基盤材料の材質にほとんど影響しないことがわかった。

靴の影響について検討すると、衝撃加速度値が大きい試験区では、靴の種類によって測定結果に差が生じ、靴底の衝撃緩和機能が測定結果に影響していたが、衝撃加速度値が小さい天然芝や3区, 9区では差が少なく、中間層の衝撃緩和特性が大きいと靴の影響が小さくなる結果となった。

(周波数値)

舗装に当たったとき感覚を測定するために、周波数値を比較検討した。表層材の厚さによる影響は、図-9~12に示すように、被験者Aでは25mm芝の試験区に比べ19mm芝の試験区が高い周波数値を示したが、被験者Bでは25mm芝の試験区が逆に高い周波数値となり、被験者により個体差が出ていた。

しかし、図-13, 14に示すように、天然芝に近い衝撃加速度値を示した高分子ネット+ゴムGの3区、発泡ポ

リエチレンフォームの9区、ゴムチップ+山砂の13区の試験区は、周波数値が他の舗装に比べて低く靴による差も少なかった。これは、比較した試験区の表層がいずれも砂詰め人工芝で表面性状が同じであることから、当たったときの感覚はある程度似たものとなり、その結果、測定した周波数値が逆転したので、感覚的にはほとんど差がないと考える。また、中間層の衝撃緩和特性が大きい試験区では、衝撃緩和特性が当たったときの感覚にも影響し、周波数値が小さくなったものと考ええる。

靴の影響について、被験者Aは裸足や靴の種類によって周波数値に差を生じたが、被験者Bでは靴による周波数値に差が少なかった。また、いずれの試験区でも裸足が一番高い周波数値を示した。そこで、靴の影響をみるため全データの周波数値の分布を求めた。その結果、図-15, 16に示すように、裸足の周波数値は靴を履いた場合に比べ全体に高い範囲に分布しており、革靴、運動靴、ジョギングシューズの順に周波数帯が低くなっていた。これは、靴底の厚さや材質が関係していると考えられ、ジョギングシューズでは舗装に当たったときの衝撃が緩衝されている。

(積分値)

舗装の変形応答特性に示す積分値をみると、図-17, 18に示すように試験区による差は少なかった。その理由として、表層の素材が砂詰め人工芝で同じであることや、中間層に山砂を用いた13, 14区以外は中間層の厚さが薄く衝撃を受けて変形する割合が少ないことや、プラスチックハニカムを用いた試験区は基盤と同じ機能をしていたり、衝撃緩和特性が基盤の材質に影響しないことなどがその原因と考えられる。また、被験者Bの測定では、衝撃加速度値も小さかったことから、被験者Aに比べると積分値はほとんど変化していなかった。したがって、変形応答特性は衝撃加速度を積分した値であることから、これを速度とみなすと、図-19, 20に示すように、靴底の衝撃緩和機能が大きいジョギングシューズや運動靴は、裸足や靴底が硬い革靴で落下した場合と比べると、靴底の緩衝機能が大きく積分値は小さい結果を得た。

(2) ばね定数の測定について

重錘落下試験によるばね定数の測定結果を表-2に示す。重錘落下試験は生体振動解析法に比べて、落下荷重や接地面積が小さいこと、あるいは人体のような緩衝機能がないことなどから、測定結果に表層や基盤材質の影響が出やすい。そのため、開粒度アスコン舗装のばね定数は、天然芝のばね定数に比べて36倍の値を示し、人工芝では表層の厚さと中間層の材質で測定結果にかなり差を生じた。これは、重錘落下試験の測定結果が、舗装表面近くの物性に影響されることを意味しており、ばね

表一2 ばね定数の測定結果 (単位: kg/cm)

表 層	中 間 層	基 盤 材 料	試験区番号	バネ定数
開粒度アスコン	なし	碎石基盤	2区	36000
人工芝19mm	なし	アスコン基盤	6区	7600
人工芝19mm	ハニカム30mm	ソイルセメント基盤	11区	5700
人工芝19mm	ハニカム50mm	アスコン基盤	10区	5000
人工芝19mm	ハニカム50mm	ソイルセメント基盤	12区	5000
人工芝19mm	ハニカム30mm	アスコン基盤	8区	4800
人工芝25mm	なし	アスコン基盤	4区	4600
人工芝25mm	ハニカム50mm	アスコン基盤	5区	4200
人工芝25mm	ハニカム30mm	アスコン基盤	1区	3800
人工芝25mm	メッシュ+山砂	碎石基盤	14区	2900
クレイ舗装	なし	土基盤	15区	2700
人工芝25mm	高分子+ゴムH	アスコン基盤	7区	2150
人工芝25mm	高分子+ゴムG	アスコン基盤	3区	1900
人工芝25mm	高分子+ゴムG	砂基盤	17区	1850
人工芝25mm	ムチップ+山砂	碎石基盤	13区	1750
人工芝50mm	高分子+ゴムH	砂基盤	18区	1650
人工芝25mm	発砲ポリエチ	アスコン基盤	9区	1480
天然芝	なし	土基盤	16区	1020

定数の測定結果は体感と異なっている。しかし、同一種類の材料で検討する場合には、生体振動解析法を用いた測定結果と同様の傾向を示し、高分子ネット+ゴムや発砲ポリエチレンフォームを中間層に用いた試験区では、比較的天然芝のばね定数に近い値を示した。したがって、ばね定数によるある程度の舗装の弾性の傾向はつかむことができる。

6. 結 論

砂詰め人工芝の衝撃緩和特性を調べる目的で、舗装構造の異なる15種類の砂詰め人工芝試験区と開粒度アスコン舗装、クレイ舗装、天然芝の標準試験区を作り、生体振動解析法を用いて検討を行った。あわせてばね定数の測定を行った。その結果、各種舗装材の衝撃緩和特性について次の結果を得た。

(1) 表層の薄い芝は厚い芝に比べて人体が受ける衝撃加速度値が大きくなり、表層材の厚さが衝撃緩和特性に影響していた。しかし、中間層に衝撃緩和特性が大きい材料を用いると、表層材の厚さの影響が小さくなる。

(2) 中間層に用いた材料について、プラスチックハニカム材はアスコン基盤に人工芝を直接施工したときと同程度の衝撃加速度値を示し、衝撃緩和特性が認められなかった。ゴムチップ系の材料を用いた試験区は、他の試験区に比べるといずれも大きな衝撃緩和特性が認められ、中でも高分子ネット+ゴムGの中間層を用いた試験区が大きな衝撃緩和特性を示した。このとき、ゴムチップは粒径が細かいHタイプより粒径が大きいGタイプの

方が緩衝特性が大きい。また、山砂を中間層に用いた試験区を比較すると、メッシュエレメント+山砂の中間層よりゴムチップ+山砂の中間層の方が衝撃緩和特性が大きい。発砲ポリエチレンフォームは、衝撃加速度値や周波数値で靴の種類による影響が小さく、天然芝に一番近い衝撃緩和特性を示した。

(3) 基盤材料を比較すると、アスコン基盤に直接人工芝を施工した場合や、ソイルセメント基盤、アスコン基盤を用いた場合でも、衝撃緩和特性はほとんど影響しなかった。

(4) 標準試験区の開粒度アスコン舗装は、舗装が硬いという先入観があり、飛び降りた直後から人体自身が緩衝している可能性が高く、アスコン舗装が他の舗装に比べ特別に大きな衝撃を受ける結果は得られなかった。また、運動靴やジョギングシューズなどで飛び降りると、靴の緩衝効果と人体の緩衝機能が相乗的に働き、アスコン舗装上の衝撃加速度値はかなり小さな値を示した。

(5) 天然芝に近い性状を示した舗装構造は、25mm芝で中間層に高分子ネット+ゴムGタイプを用いたものと、25mm芝で中間層に発砲ポリエチレンフォームを用いたものであった。

(6) ばね定数による測定は、測定結果が人体が受ける体感とかなり異なっており大まかな傾向はつかめるが、測定結果が表層の材質に影響されており、表面性状が全く異なる舗装や、中間層の衝撃緩和特性が高い試験区では比較しにくい。

7. あとがき

砂詰め人工芝は、テニスコートやサッカー場など各種の運動施設で使用されているが、維持管理や舗装の人体への影響などを考えると、今後、その利用範囲はますます広がると考える。本データがこれらの設計に参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) (財)日本体育施設協会編：屋外体育施設の建設指針，各種スポーツ施設の設計・施工，pp.202～207，1987.10.
- 2) 牧 恒雄：歩道舗装材の弾性測定法に関する研究—生体振動解析法について—，土木学会論文集 第426号/V-14，pp.141～150，1991年2月.

(1990.8.20・受付)
