

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：33901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01575

研究課題名(和文)人の動作特性を考慮した2次元衝撃試験法によるスポーツサーフェス緩衝性評価法の開発

研究課題名(英文) Development of shock attenuation evaluation method for sports surfaces by using two-dimensional impact test involving the human movement characteristics

研究代表者

湯川 治敏 (Yukawa, Harutoshi)

愛知大学・地域政策学部・教授

研究者番号：40278221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はスポーツサーフェスの緩衝性能評価法として、従来の鉛直方向における作用時間の短い衝撃に対する緩衝性だけでなく、水平方向を加味した2次元衝撃、さらには作用時間の長い衝撃についても考慮した緩衝性能評価法を開発することであった。結果的として鉛直・水平の2次元衝撃試験法によって得られたデータを用い、衝撃角度をパラメータとして持つ2次元サーフェルモデルを開発した。このモデルによれば鉛直・水平方向それぞれのパラメータセットと衝撃角度が与えられれば様々な角度および衝撃力の推定が可能となった。しかしながら水平方向の同定精度に比べ鉛直方向の同定精度がやや低いことが今後の課題としてあげられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to propose a two-dimensional mathematical model of sports surfaces for evaluating the shock attenuation and deformation properties in both the vertical and horizontal direction, especially in competitive track and field materials. We develop a two-dimensional impact test device that can control the initial impact angle and intensity with parallelogram linkage. Using this device, various intensity impacts with angles ranging from 5 degrees to 25 degrees were performed on test specimen. A two-dimensional mathematical model for sports surfaces and parameter identification method is also proposed for evaluating such surfaces, especially for polyurethane competitive track and field materials. The model is constructed from vertical and horizontal elements, and the parameters for each element are identified separately. Finally, vertical and horizontal forces with various angles and intensities can be estimated with an identified parameter set.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スポーツサーフェス 2次元衝撃試験 2次元サーフェスモデル 緩衝性能評価

1. 研究開始当初の背景

スポーツサーフェスには大きく二つの役割があると考えられる。そのひとつはプレーヤーが高いパフォーマンスを発揮出来るようにすることであり、他方は怪我や障害から可能な限りプレーヤーを守ることにある。一般に、硬いサーフェスほどパフォーマンスの発揮をするためには都合が良いが硬すぎるサーフェスは身体への衝撃が大きくなり怪我や障害の原因となる可能性が高くなると考えられる。つまり、パフォーマンスの発揮と安全性の確保は相反する性質のものであり、これ故サーフェスの緩衝性を規定する様々なテストが考案され、各競技団体が使用するプレーイング・サーフェスにおいて特定の試験における基準値の範囲内に収めるよう定められている。

これらの試験は再現性が高く、また測定された数値による評価も容易であることが利点である。しかし、斜め方向を含む様々な衝撃に対する緩衝性を検討する為に実際に様々な種類の衝撃試験を実施するのは非常にコストが掛かるため、スポーツサーフェスのモデル化とシミュレーションによる緩衝性の評価が必要である。研究開始当初も鉛直方向のみでは非常に高い精度のサーフェスモデルが開発されていたが、水平方向を含む2次元モデルは開発されていなかった。

2. 研究の目的

本研究はスポーツサーフェスの緩衝性能評価法として、従来の鉛直方向における作用時間の短い衝撃に対する緩衝性だけでなく、水平方向を加味した2次元衝撃、さらには作用時間の長い衝撃についても考慮した緩衝性能評価法の検討を行う。従来の衝撃試験による緩衝性能評価法では鉛直方向における作用時間の短い衝撃の減衰率によって評価していたが、この方法では人間の動作特性である斜め方向の衝撃やサーフェスとの接触期間全般にわたるような比較的長い作用時間を持つ衝撃力の緩衝性を評価していない。そこで、これまでに開発した2次元衝撃試験と新たに開発する作用時間の長い衝撃発生装置を用いて鉛直方向だけでなく水平方向も含めたモデル化を行い、様々な衝撃様式に対する緩衝性能を検討する方法を提案することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 2方向衝撃試験器の改良について

2方向衝撃試験器の概要を図1に示す。試験器はレーザー変位センサ、ソレノイド、落下重錘(6.5 kg)、平行四辺形リンク、センサユニット、リニアガイド、鋼材フレームによって構成されており、センサユニット下部にスポーツサーフェス等を置いて実験を行う。更に本研究では滑りによる影響をなくすため、センサ下部のコンタクトプレートとサーフェスの間に緩衝性のほとんど無い両面テ

ープを用いてずれが生じないように接着した。2方向衝撃試験器では重錘、平行四辺形リンクは別々のリニアガイド上をスライドし、重錘が平行四辺形リンクに衝突することによって衝撃力を発生させる。つまり、平行四辺形リンクを使用することによって落下重錘からの衝撃力 F を鉛直方向 f_y 、水平方向 f_x の2方向に分解する。その衝突によって生ずる衝撃力が平行四辺形リンク下部に接続されたスライドユニットのスリダ部を通してセンサユニットに装着された鉛直方向荷重センサ2個(図1内 C1, C2)および水平方向荷重センサ(図1内 B)に衝撃を伝え、加速度センサ(図1内 D)によってセンサユニットの加速度が測定される。また、鉛直衝撃力 f_y 、水平衝撃力 f_x の最大値は重錘落下高さ H に、衝撃力の割合は初期角度 θ に依存する。また、それぞれ重錘落下高はレーザー変位センサによって測定し、初期角度はセンサ側方から撮影したビデオ映像から算出した。重錘の落下に際しては一定の落下条件となるようソレノイドの電磁力にて重錘を保持した後、徐々に印加電圧を下げることによって重錘を解放した。

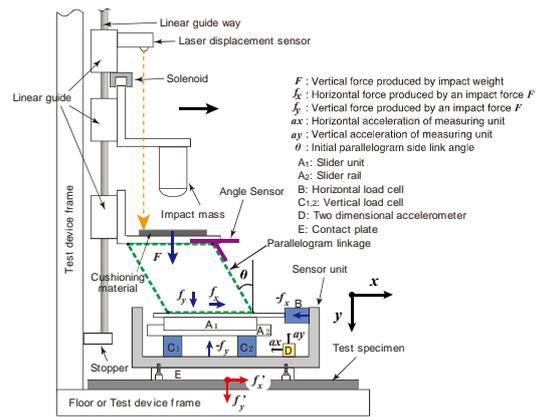


図1 2方向衝撃試験器

(2) 試験材料と試験条件について

試験材料としては国際陸上連盟が公認しているウレタン系のサーフェスを用い、試験条件としては初期角度5度から25度までの5段階、衝撃力の大きさは重錘落下高30mmから20mmごとに150mmまで7段階とした。

(3) 2方向サーフェスモデルについて

スポーツサーフェス等を含むゴム粘弾性体の力学モデルに関しては接触面積をパラメータとして持つ指数関数型非線形Voigtモデルが提案され、多段階衝撃試験法によるパラメータ同定法によって高い精度での同定が可能であることが示されている(①Yukawa et al., 2011)。このモデルでは8段階の衝撃面積を用いてそれぞれ20段階の多段階衝撃試験を行い、衝撃面積の増大に従ってその反力が大きくなることを想定し、衝撃面積をパラメータとして取り入れることに成功している。同様に初期角度が鉛直方向から徐々に角度が大きくなるにつれ、鉛直方向の衝撃力は

小さくなり、逆に水平方向の衝撃力は大きくなるのが想定される。従って、接触面積を考慮した指数関数型非線形 Voigt モデルの面積パラメータを角度パラメータとして置き換えることでモデル化を試みた。また、水平方向についても同様の特性が考えられる為、鉛直・水平方向のそれぞれ独立したパラメータ同定を行った。図2に示すように、サーフェスに対して初期角度 θ で衝撃力 F が与えられたとき、サーフェスの水平方向、鉛直方向とも独立した粘弾性要素が作用すると仮定する。

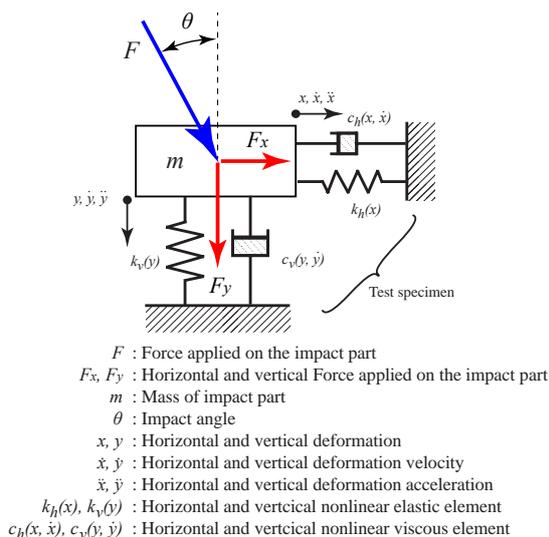


図2 2次元非線形粘弾性モデル

それぞれの方向で弾性要素と粘性要素が並列した Voigt モデルとすると水平方向は衝撃力 F_x が衝撃伝達部を経て外力 f_x として試験材料水平方向に加えられたとき、水平方向非線形弾性要素による反力と水平方向非線形粘性要素による反力が指数関数として表されるとする。また、鉛直方向についても同様に指数関数として表されるとする。

(4) パラメータ同定法について

パラメータは水平方向、鉛直方向の2組のパラメータセットを求める必要があるが、両方向とも扱うデータが異なるのみで算出方法は全く同じ為、水平方向のパラメータ同定について説明する。

5種類の初期角度 θ において、落下重錘の落下高が多段階にわたる強度のそれぞれの衝撃ごとに得られる、衝撃力、衝突速度、変位量の時系列データ対が実験により得られる。次に、多段階にわたるそれぞれの時系列データをひとつにまとめ、その中から変形速度がゼロとなる時の、衝撃力、変位量のデータを取り出す。その時衝撃力 f_x は f_{hk} と θ と x のみの式で表すことができるので、速度=ゼロのときのデータを用いて最小二乗法によりパラメータ同定を行う。ただし、各パラメータを同定する際には、 α, β を適当に与え、時系列データより得られる f_{hk} と α, β を適当に与えて得られるパラメータにより得られ

る推定の f_{hk} との誤差が最も小さくなるときのパラメータを採用する。次に、求められた f_{hk} の値を用いて、粘性要素項を求め、最小二乗法によりパラメータ同定を行う。同定精度の検証には推定の相対標準誤差を用いる。外力に対応して測定された時系列データを同定したモデルに代入して得られる外力の推定値と外力の時間平均からそれぞれの試技に於ける相対標準誤差を求め、更に多段階全体の平均相対標準誤差によって多段階モデルの総合的同定精度として評価した。

4. 研究成果

(1) 弾性要素における同定精度の検証

図3はそれぞれの試技での水平方向において変形速度がゼロとなる時点に於ける変位およびその時の水平反力を示している。また、同様の鉛直方向におけるデータを図4に示す。各点の色は初期角度の違いを示しており、それらのデータを推定した曲線を同色で示している。水平方向、鉛直方向とも推定曲線からの多少のずれはあるが、各データをほぼ推定できていることが判る。この推定曲線は、水平・鉛直のそれぞれで初期角度を変数としてパラメータ同定を行った結果でありそれぞれ1セットのパラメータで曲線が描かれている。つまり、本研究で提案したモデルにより弾性要素を推定するには妥当であると考えられる。

(a) Horizontal f_{hk} and estimated curves

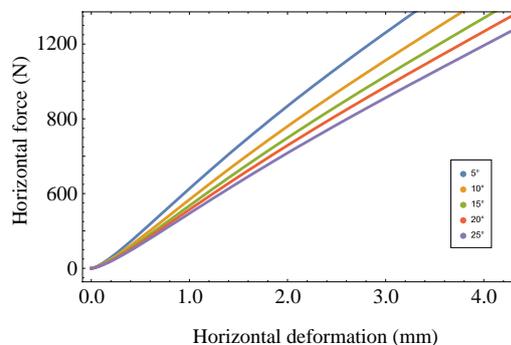


図3 水平方向における弾性要素の測定値および推定曲線

(b) Vertical f_{vk} and estimated curves

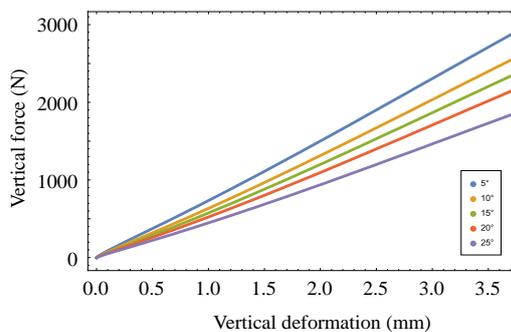


図4 鉛直方向における弾性要素の測定値および推定曲線

(2) 衝撃力の同定精度の検証

図 5, 6 には初期角度 5°, 重錘落下高 150mm における鉛直・水平方向の実験値および同定されたパラメータを用いて推定された衝撃力を示す. 同様に図 7, 8 には初期角度 25°, 重錘落下高 150mm におけるデータを示す. さらに, 各グラフ内にはそれぞれの試技に於ける相対標準誤差 (RSE) を示す. 水平方向の相対標準誤差は 5°, 25° の試技とも 9% 程度であり波形の特徴や最大値などもほぼ再現できていると言える. ただ, 鉛直方向に関してはピークのタイミングや波形の特徴は捉えられてはいるものの, 5° の場合には推定値の方が約 12% 大きく RSE は 14.6%, 25° の場合には推定値の方が約 17% 小さく RSE は 25% と推定精度が良いとはいえない. さらに, 水平・垂直および初期角度に応じた RSE の比較を表 1 に示す. 図 5, 7 で示したように水平方向に関しては平均で 7.77% であり, どの角度においても比較的安定した推定が可能であると考えられる. これに対し, 鉛直方向の場合は 5°, 10° では比較的精度が高いものの 20° の試技においてかなり精度が落ちていることが判る. 図 4 中の赤点が 20° の試技を示しているが推定曲線から離れていることが確認出来る.

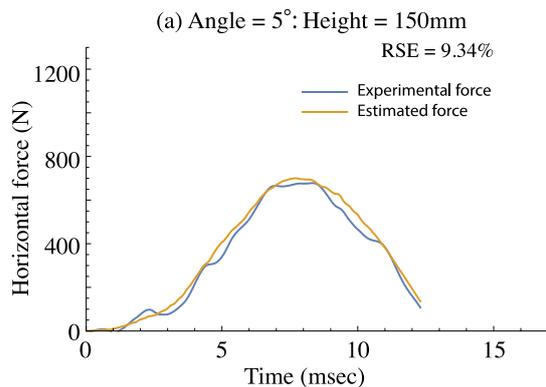


図 5 初期角度 5°, 落下項 150mm における水平方向の衝撃力および推定値の比較

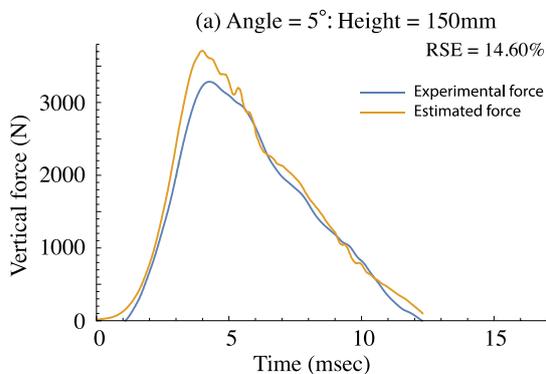


図 6 初期角度 5°, 落下項 150mm における鉛直方向の衝撃力および推定値の比較

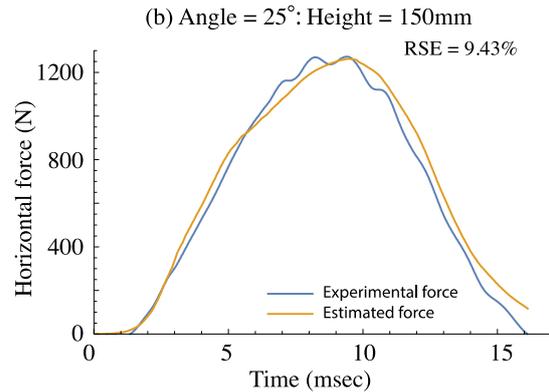


図 7 初期角度 25°, 落下項 150mm における水平方向の衝撃力および推定値の比較

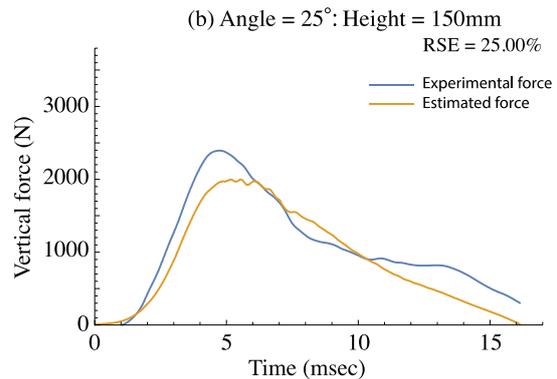


図 8 初期角度 25°, 落下項 150mm における鉛直方向の衝撃力および推定値の比較

表 1 初期角度に応じた RSE の比較

Initial angle	5°	10°	15°	20°	25°	Average
Horizontal MRSE	7.25	7.71	8.87	6.64	8.39	7.77
Vertical MRSE	12.03	9.07	13.81	33.82	20.72	17.89

(%)

本研究では 2 方向衝撃試験器を用い, 初期角度を 5° から 25° まで変化させ, 更に同一初期角度内で 7 段階強度の衝撃力を試験材料に加えた際の衝撃力, 加速度波形を計測することにより, 速度, 変位の測定データから衝撃力の推定が出来るモデルの提案を行った. 提案したモデルによって水平方向の衝撃力は比較的高い精度で推定できた. 鉛直方向衝撃力の推定については最大値等の推定にはやや精度が落ちるが波形の特徴等については再現できていると考えられる為, 今後モデルの確認, 修正等によりシミュレーションによる緩衝性評価に利用出来る可能性が示唆された

<引用文献>

① Yukawa, H., Murai, T., Nishimura, H., Kawamura, S. and Kobayashi, K., "Parameter identification of nonlinear viscoelastic model with impact area parameter for sport surface by using multi-intensity multi-area impact test",

The impact of technology of on sports IV,
APCST2011, Vol. 13 (2011), pp. 395-401.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

① Harutoshi Yukawa, Noriyuki Gyokusen,
Shozo Kawamura, Two-Dimensional
Mathematical Model of Sports Surfaces with
Angled Multi-Intensity Impact Tests, MDPI
Proceedings 2018, 2, 281.
DOI:10.3390/proceedings2060281. 査読有

〔学会発表〕(計3件)

① 湯川 治敏, 植田 剛志, 玉泉 範行, 河村 庄
造, スポーツサーフェスの鉛直・水平2方向
モデルによる緩衝性評価, 日本機械学会シン
ポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・
ダイナミクス講演論文集, 2017 巻 (2017)
D-20.

DOI:<https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2017.D-20>

② 湯川 治敏, 玉泉 範行, 河村 庄造, 2方向
衝撃試験によるスポーツサーフェスの緩衝
特性に関する実験的評価, 日本機械学会シン
ポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・
ダイナミクス講演論文集, 2016 巻 (2016)
B-35.

DOI:<https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2016.B-35>

③ 湯川 治敏, 植田 剛志, 玉泉 範行, 河村 庄
造, 2方向衝撃試験によるスポーツサーフェ
スの変形および緩衝特性, 日本機械学会シン
ポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・
ダイナミクス講演論文集
2015 巻 (2015) B-8.

DOI:https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2015._B-8-1_

6. 研究組織

(1) 研究代表者

湯川治敏 (YUKAWA, Harutoshi)
愛知大学・地域政策学部・教授
研究者番号: 40278221