

## 第5世代人工芝グラウンドにおける野球ボールの動態検証

田原 亮二<sup>1)</sup> 渡邊 正和<sup>1)</sup> 田口 正公<sup>1)</sup> 乾 真寛<sup>1)</sup>

### Verification of Dynamical Characteristics of Baseball in the Fifth Generation Artificial Turf

Ryoji TAHARA<sup>1)</sup> Masakazu WATANABE<sup>1)</sup> Masahiro TAGUCHI<sup>1)</sup> Masahiro INUI<sup>1)</sup>

#### Abstract

The purpose of this study was to verify the dynamical characteristics of baseball by comparison test between the fifth generation artificial turf, second generation artificial turf, natural turf, and soil. The subjects of surface were fifth generation artificial turf (MONDTURF, MONDO Corp., Italy), second generation artificial turf (NewGTB-16, Otsuka Turftech Co., Ltd., Japan), natural turf (Viktor, Nichino Ryokka Corp., Japan) and soil. The experiments of second generation artificial turf, natural turf, soil were conducted in baseball stadiums. Hard ball (the official ball of College baseball), softball (the official ball of rubber-ball baseball), and semi-hard ball (the official ball of semi-hard baseball) were used in the experiments. The three kinds of experiments were conducted using four types of surface and three types of ball. The movement of ball was recorded by a high speed video camera (250Hz), the two-dimension analysis method was used for calculating the kinematic variables in all experiments.

The following results were obtained;

- 1) The rebound heights were  $0.33\pm 0.04$ (m) at fifth generation artificial turf,  $0.46\pm 0.04$ (m) at second generation artificial turf, and  $0.19\pm 0.06$ (m) at natural turf on the hard ball. There was significant difference between fifth generation artificial turf and second generation artificial turf ( $p<0.01$ ).
- 2) The coefficient of repulsions were  $0.25\pm 0.02$  at fifth generation artificial turf,  $0.29\pm 0.02$  at second generation artificial turf, and  $0.13\pm 0.01$  at natural turf on the hard ball. There was significant difference between fifth generation artificial turf and natural turf ( $p<0.01$ ).

These results suggested that the characteristics of fifth generation artificial turf were middle of natural turf and second generation artificial turf.

## 1 緒言

近年、天然芝と比較して維持管理が容易であることを理由に、サッカー場やラグビー場、野球場のサーフェスとして人工芝が多く施工されている。サッカー場やラグビー場では2000年頃から、

芝長の長いロングパイル人工芝の導入が目立つようになってきており、この普及に伴い、サッカーやラグビーにおいては各協会が安全面、プレーへの影響といった観点からロングパイル人工芝のガイドラインを設定している。サッカー協会<sup>1), 2)</sup>は耐久性、耐候性、選手に対する特性、ボールに

---

1) 福岡大学スポーツ科学部  
Fukuoka University, Faculty of Sports and Health Science

表 1 試験条件

サーフェス種類	表面構造	芝長	下部構造	気候条件
第5世代人工芝	モンドターフ (MONDO)	45mm	特殊加工土 (トース工法)	表面温度32.6℃ 湿度58%
第2世代人工芝	グランドターフ (大塚ターフテック株式会社)	26mm	コンクリート	表面温度29.0℃ 湿度63%
天然芝	ビクトール天然芝 (九州グラウンド)	32mm	黒土	表面温度26.9℃ 湿度64%
土	黒土	—	—	表面温度26.1℃ 湿度57%

対する特性、下部構造特性などの基準値を設定している。また、日本ラグビーフットボール協会<sup>3)</sup>は衝撃吸収性、衝撃時の垂直変位、トラクション、足のグリップ、垂直方向のバウンド、斜め方向のバウンドの標準値を設定している。これに呼応する形で、企業を中心として、人工芝のヒトへの影響、ボールのバウンドへの影響、環境への影響などの研究が行われ、その結果により新たな技術を導入した人工芝サーフェスの開発がなされている。近年、(株)シーマコンサルタントによって、透水性保水型工法が開発された。透水性保水型工法は現地発生土の粒子を改良する方法で舗装を行い、その舗装は、団粒構造になり、連続した空隙ができ、透水性が向上し、降雨時でも水溜まりができにくい。この透水性保水型舗装は、アスファルトやコンクリートに替わる人工芝の下部構造としても注目されており、すでに国内でも数ヶ所の人工芝グラウンドの下部構造として用いられている。福岡大学のサッカーグラウンドもこの透水性保水型舗装を下部構造とした人工芝を採用しており、保水効果による地域の洪水氾濫抑制やヒートアイランド現象の緩和効果があることが手計ら<sup>4)</sup>によって報告されている。

一方、野球場ではコンクリート舗装を下部構造とした短い芝長の第2世代人工芝が今なお主流であり、野球場の人工芝に関してサッカーやラグビーのグラウンドと同様なガイドラインは存在しない。ガイドラインの作成に当たっては、競技者に対する安全性の確保が重要であるが、同時に野球の競技性が損なわれないこと、特にボールの反発性や速度に影響を及ぼさないことが大きな留意点であると考えられる。

本研究では、第5世代人工芝グラウンドと現在野球の公式戦が行われている第2世代人工芝およ

び天然芝グラウンドにおいて、各種野球ボールを用いたボール動態の検証を実施することによって、第5世代人工芝グラウンドの野球グラウンドとしての利用可能性を検討することを目的とした。

## 2 方法

### 2-1 実験サーフェス

本研究では、下部構造も含めたグラウンドサーフェスの違いによる野球ボールの反発特性を比較、検討するために、以下の4種類のサーフェスを対象とした。人工芝および天然芝の特性、実験実施日の環境条件について表1に示す。

- i) 第5世代人工芝 (福岡大学人工芝サッカー場)
- ii) 第2世代人工芝 (福岡屋内Y野球場)
- iii) 天然芝 (福岡市屋外H野球場)
- iv) 黒土 (福岡市屋外H野球場)

### 2-2 使用ボール

福岡大学人工芝サッカー場を除く野球場では、硬式、準硬式、軟式野球の公式試合が行われる。したがって、実験では、以下に示す硬式、準硬式、軟式の公認球を使用した。

- i) 学生使用公認硬式野球ボール (ミズノ、JUBF)
- ii) 学生使用公認準硬式野球ボール (KENKO BALL、JSBB H)
- iii) 公認軟式野球ボール (DAIWAS、JSBB A)

### 2-3 実験設定

本研究では、異なるサーフェス、ボールの違い

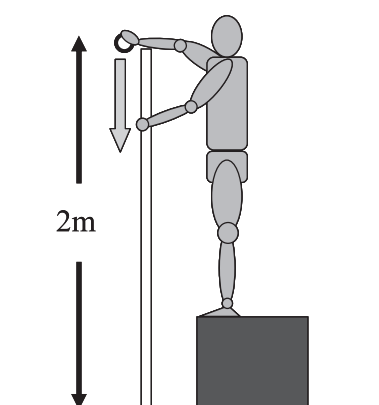


図1 自由落下計測設定

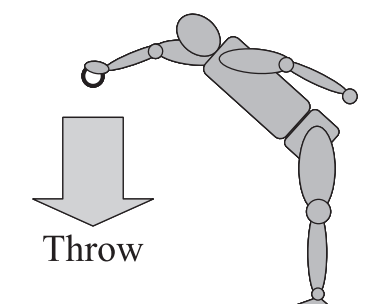


図2 鉛直方向投射計測設定

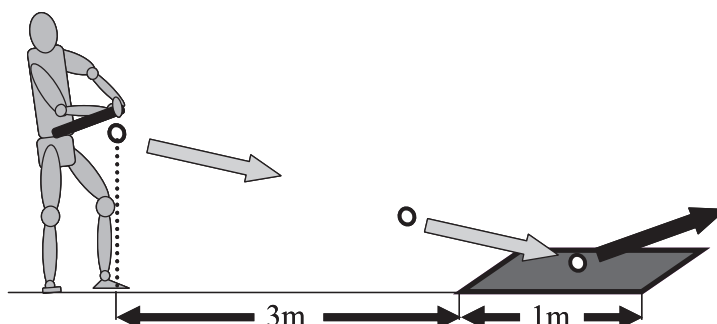


図3 斜方投射計測設定

による動態特性について比較、検討するために、以下に示す3種類の実験を実施した。全ての実験は高速ビデオカメラ1台(HSV-500C3、nac)を用いて試技を側方から撮影し(250fps)、得られた画像データから実座標を構築し、ボールの運動学的変量を算出した。サーフェスごとの運動学的変量の比較は、Tukey-Kramer法を用いて検定を行った。有意水準は5%未満とした。なお、図では第5世代人工芝とその他のサーフェスとの有意差のみ図示しており、その他のサーフェス間の有意差は省略した。

#### A) 自由落下計測 (実験1)

図1に示すように、2mの高さからボールを自由落下させ、実座標データからサーフェス接触後の最高点を求めた。計測は各サーフェス、ボールで30回ずつ実施した。

#### B) 鉛直方向投射計測 (実験2)

図2に示すように、ボールを鉛直方向に全力で投射し、実座標データからサーフェスに接触する前後の速度を算出し、反発係数を求めた。計測は各サーフェス、ボールで30回ずつ実施した。

#### C) 斜方投射計測 (実験3)

図3に示すように、3m離れた位置から1mのターゲットに向かって、全力でティバッティングした。実座標データからサーフェスに接触する前後の水平方向速度を算出し、ボールの減速率を求めた。計測は各サーフェス、ボールで20回ずつ実施した。

## 3 結果

### 3-1 ボール反発高比較

自由落下計測から各種ボールの反発高を計測し

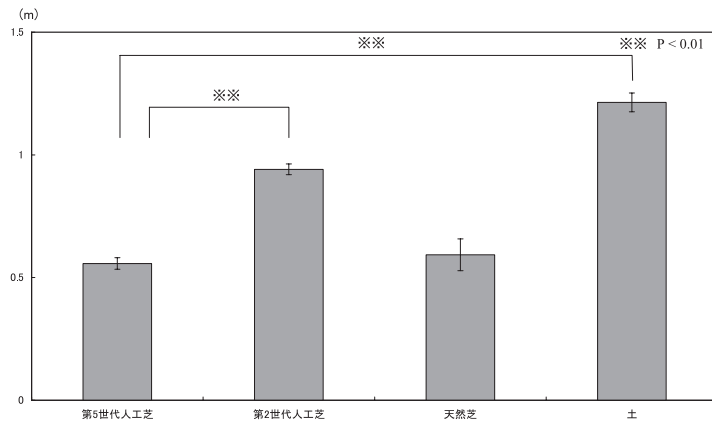


図4 反発高（軟式）

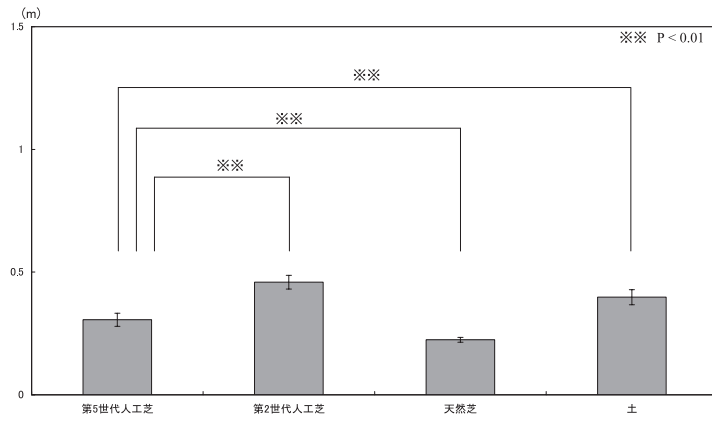


図5 反発高（準硬式）

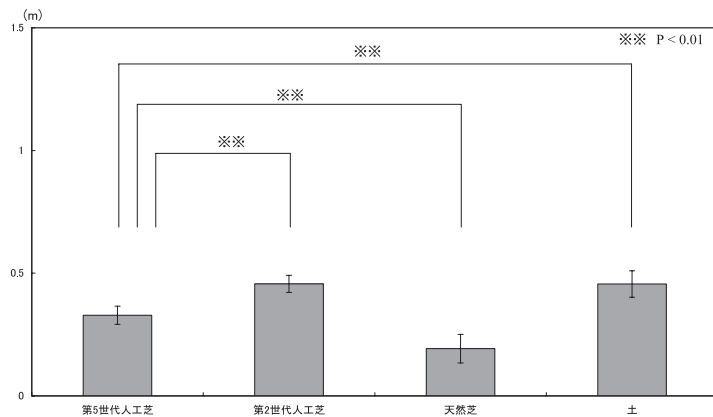


図6 反発高（硬式）

た結果、第5世代人工芝は、軟式ボールでの反発高が $0.56 \pm 0.02$  (m) であり、第2世代人工芝 ( $0.94 \pm 0.02$  (m)) および土 ( $1.21 \pm 0.04$  (m)) より有意に低く、天然芝 ( $0.59 \pm 0.06$  (m)) とは有意な差がなかった (図4)。準硬式ボールにおいて

て、第5世代人工芝の反発高は $0.31 \pm 0.03$  (m) であり、第2世代人工芝 ( $0.46 \pm 0.03$  (m)) および土 ( $0.40 \pm 0.03$  (m)) より有意に低く、天然芝 ( $0.22 \pm 0.01$  (m)) より有意に高い値であった (図5)。硬式ボールでは第5世代人工芝は反発高が

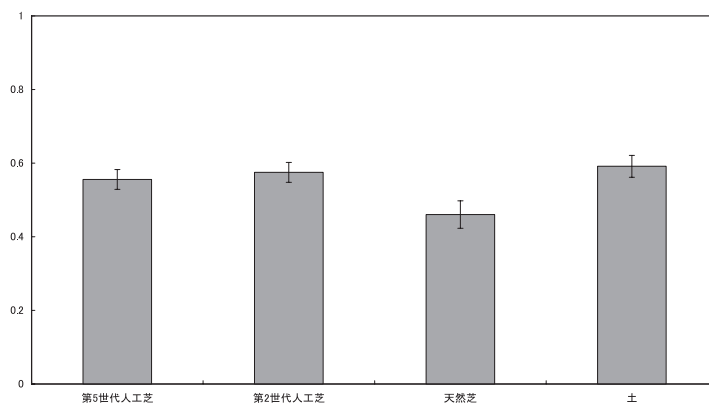


図7 鉛直方向反発係数 (軟式)

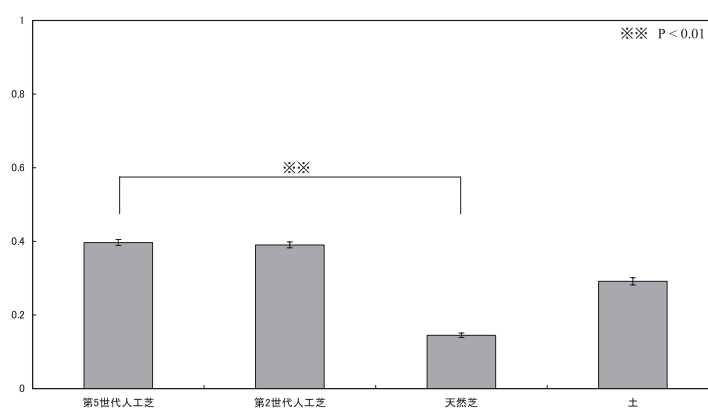


図8 鉛直方向反発係数 (準硬式)

0.33 ± 0.04 (m) であり、準硬式ボール同様第2世代人工芝 (0.46 ± 0.04 (m)) および土 (0.46 ± 0.05 (m)) より有意に低く、天然芝 (0.19 ± 0.06 (m)) より有意に高い値であった (図6)。

### 3-2 鉛直方向の反発係数比較

鉛直方向投射計測から各種ボールの反発係数を算出した結果、軟式ボールの鉛直方向の反発係数は第5世代人工芝 (0.56 ± 0.03) と第2世代人工芝 (0.58 ± 0.03)、天然芝 (0.46 ± 0.04) および土 (0.59 ± 0.03) との間で有意な差は認められなかった (図7)。準硬式ボールでは第5世代人工芝の反発係数は0.40 ± 0.01で天然芝 (0.14 ± 0.01) より有意に大きい値であったが、第2世代人工芝 (0.39 ± 0.01) および土 (0.29 ± 0.01) との差は認められなかった (図8)。硬式ボールでは第5世

代人工芝の反発係数は0.25 ± 0.01であり、準硬式ボール同様、天然芝 (0.13 ± 0.03) より有意に大きい値であったが、第2世代人工芝 (0.29 ± 0.02) および土 (0.31 ± 0.03) との間では有意な差が認められなかった (図9)。

### 3-3 水平方向の減速率比較

斜方投射計測から水平方向の減速率を算出した結果、本研究におけるボールの動態は、二次元実長換算法を用いて実座標化した。実験3において理想的な打球は、計測エリアの中心点を通る打球であり、それ以外の場合は速度に誤差が生じることが想定された。そこで、図10より誤差の範囲を算出した。今回の実験条件にて角度  $\theta$  が最大となるのは打球が手前のマーカー上を通過するときであり、その時の  $\theta$  は9.46 (deg) となる。cos9.46

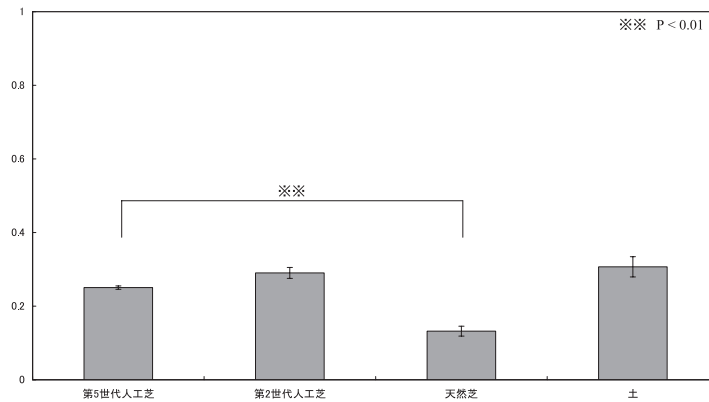


図9 鉛直方向反発係数（硬式）

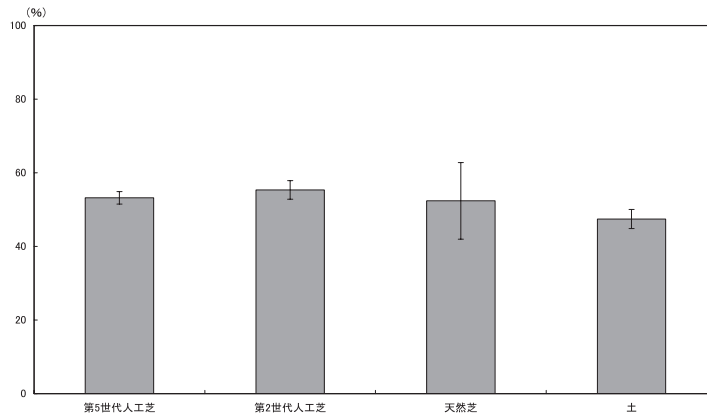


図11 水平方向減速率（軟式）

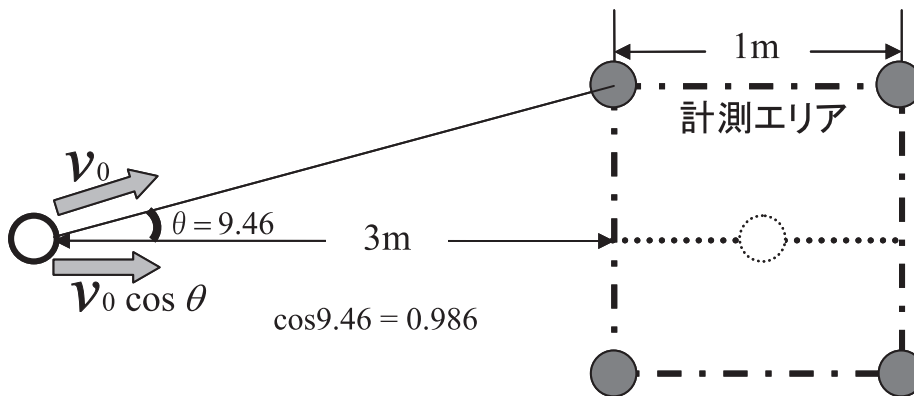


図10 斜方投射計測における計測誤差

=0.986から、今回の実験条件下における速度の最大誤差は±2%未満であった。

第5世代人工芝において、バットで打ち出した時の軟式ボールの減速率は $53.2 \pm 1.7$  (%)であり、第2世代人工芝 ( $55.3 \pm 2.5$  (%))、天然芝 ( $52.4$

$\pm 10.4$  (%)) および土 ( $47.4 \pm 2.6$  (%)) との有意な差は認められなかった (図11)。準硬式ボールでは、第5世代人工芝における減速率は $59.3 \pm 1.5$  (%)であり、軟式ボール同様、他のサーフェス (第2世代人工芝： $60.8 \pm 6.8$  (%))、天然芝：

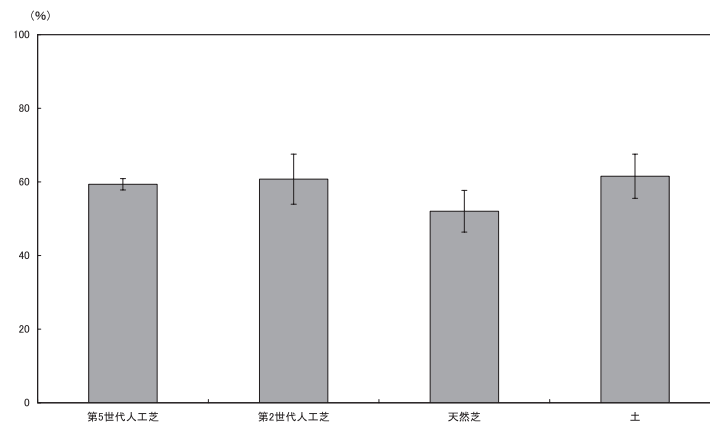


図12 水平方向減速率 (準硬式)

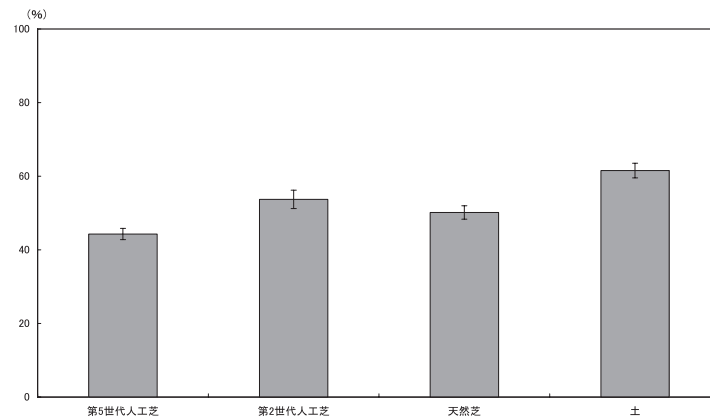


図13 水平方向減速率 (硬式)

52.0±5.7 (%）、土：61.5±6.0 (%))との差は認められなかった(図12)。硬式ボールでも、第5世代人工芝における減速率は44.3±1.5 (%)であり、他のサーフェス(第2世代人工芝：53.7±2.5 (%）、天然芝：50.2±1.8 (%）、土：61.5±2.0 (%))との差は認められなかった(図13)。

#### 4 考察

準硬式ボール、硬式ボールの自由落下時反発高において第5世代人工芝は第2世代人工芝、土より有意に小さく、これらと天然芝の中間値を示した。硬式ボールにおいて最も高い反発高を示したのは、第2世代人工芝の0.46±0.04 (m)であった。また、第2世代人工芝と土は同程度の反発高を示し、これらの結果は、大塚ターフテック株式

会社が示したデータ(図14)と合致する結果であった。第5世代人工芝の反発高は、第2世代人工芝および土と天然芝の反発高の間に位置し、統計的には有意差があるが、順位尺度として考えると第5世代人工芝の反発特性は、第2世代人工芝および土と天然芝の特性の中間に位置づけられると考えられる。反発係数においても同様の傾向が見られ、反発高、反発係数に関しては、第5世代人工芝は本実験に使用した他のサーフェスと天然芝の中間的な特性を持つことが明らかとなった。これらの要因として、第2世代人工芝はパイル長(芝長)が26mmで、基礎部が特殊形状PVCフォームのアンダーパットであり、下部構造はコンクリートであった。一方、天然芝として使用したビクトール芝は芝長が32mmであり、下部構造は黒土であった。また、第5世代人工芝はパイル長が

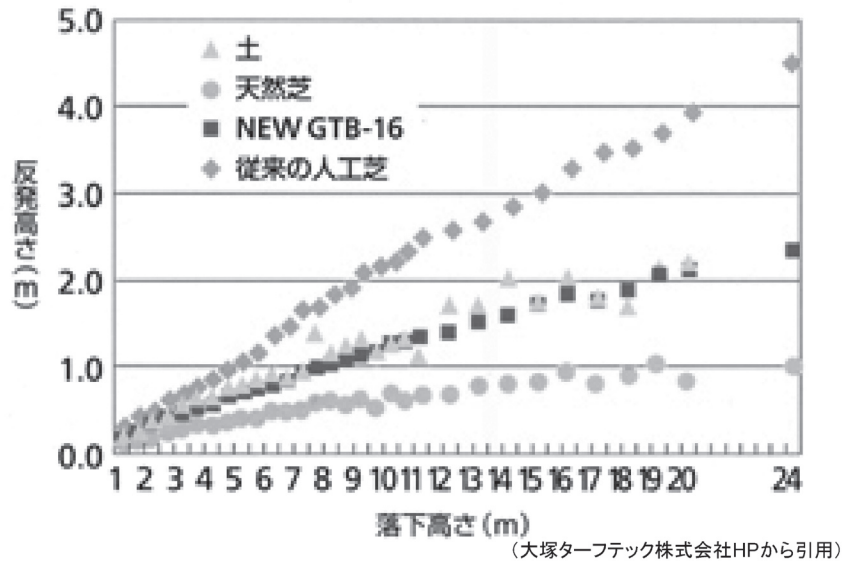


図14 NEW GTB-16のボール反発特性

45mmで下部構造は特殊加工をした土であった。菅原<sup>5)</sup>は「土系の舗装材は塑性変形であり、衝撃が加わった場合、塑性変形によってエネルギーが吸収される。それに対して、コンクリート等の舗装材は、舗装材の弾性エネルギーを一時蓄え、蓄えられたエネルギーが跳ね返ってくる。」と述べている。また、下永田ら<sup>6)</sup>は本研究で使用している特殊加工土がアスファルトよりも低い反発係数を持つことを報告している。下部構造が反発高および反発係数の結果にどの程度影響を与えたかについては本研究の制約から計り知ることはできないが、この構造の違いによってボール反発高と反発係数に差異が生じたものと考えられる。

ボールバウンド後の水平方向減速率は、いずれのサーフェスともボールの違いによる差異は認められなかった。しかしながら、硬式ボールにおいては、第5世代人工芝は天然芝よりもバウンド後のボール速度が低下する傾向にあった。ボールに対して外力が働かなければ、バウンド後のボール速度は反発係数によって決定されるため、天然芝よりも反発係数の高い第5世代人工芝において、バウンド後のボール速度が低いことは、ボール速度に影響を及ぼす外力の働きが示唆される。ここ

で、ボールに働く外力として考えられるのは、バウンド時のボールとサーフェス間の摩擦抵抗である。第3世代以降の人工芝では衝撃吸収性を高めるために、パイル間に目砂やゴムチップ等を充填している。したがって、第5世代人工芝で使用されている充填材と、硬式ボールの表面素材である皮革間に生じる摩擦抵抗が、ボール速度を下げる要因として考えられる。また、第5世代人工芝は天然芝と比較するとパイル幅が広くかつ長いいため、ボールとの接触面積が増え、摩擦抵抗が増し、ボール速度を下げていることが推察される。水平方向のボール速度は野球において、プレーに影響を及ぼす重要な要素であるため、野球場としての使用を考える場合、パイルの長さ、幅および充填材の材質、量などの構成は検討しなければならない重要事項であることが示唆される。

以上の結果より、第5世代人工芝における各種野球ボールの動態は第2世代人工芝と天然芝の中間的な特性を示すことが明らかとなった。野球において至適なボール反発高やボール速度のガイドラインは見当たらない。しかし、従来は土や天然芝で公式試合が開催されており、その後、人工芝に移行し、経験的に土や天然芝を基準としてグラ



ウンドが整備されてきた。このような変遷を考えると、本研究の結果から、パイルの構造や充填材の調整は必要であるが、第5世代人工芝は野球場への利用が充分可能であると考えられる。

加えて、人工芝と天然芝の比較において、障害の発生率に差がないことは数多く報告されているが、ボールの反発高と反発係数に差異を与える要因は、人体にも影響を及ぼすことが予想される。吉岡ら<sup>7)</sup>(1987)の報告では、人工芝サーフェスが十分に衝撃を吸収することを示しているが、実際にプレーをする選手からは、従来のコンクリートを下部構造とした人工芝グラウンドの堅さを指摘する意見が多い。下永田らは第5世代人工芝の下部構造である透水性保水型舗装はアスファルトよりも衝撃緩衝能が高いことを報告しており、土系舗装を下部構造とする第5世代人工芝は、安全面においても野球場グラウンドのサーフェスとして有用であると考えられる。

## 5 まとめ

本研究では、第5世代人工芝における各種野球ボールの動態特性を、現在野球の公式戦が行われている第2世代人工芝、天然芝、土との比較により検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 第5世代人工芝は硬式野球ボールの反発高、反発係数が他のサーフェスと天然芝の中間的な値を示した。
- 2) バウンド後の水平方向ボール速度は、有意な差はないものの、天然芝よりも低下する傾向が見られた。

第5世代人工芝のボール動態特性は、第2世代

人工芝と天然芝の中間的な特性を示し、パイルおよび基礎部の調整が必要であるものの、野球場の人工芝として使用可能であることが示唆された。

付記

本研究は、クリヤマ株式会社からの受託研究として助成を受け行われた。

## 参考文献

- 1) 財団法人日本サッカー協会：人工芝ピッチ公認に関するガイドブック、2003.
- 2) 財団法人日本サッカー協会：JFAロングパイル人工芝－検査実施マニュアル（第4版）、2008.
- 3) (財)日本ラグビーフットボール協会：ロングパイル人工芝導入に関するガイドライン、2005.
- 4) 手計太一、渡辺亮一、山崎惟義、乾真寛：新型人工芝グラウンドの水文気象環境に関する基礎的研究、水工学論文集、第52巻、pp.265-270、2008.
- 5) 菅原秀二：陸上競技場用サーフェイス・靴の衝撃緩和、Japanese Journal of Sports Science、Vol.6 (9)、pp.548-555、1987.
- 6) 下永田修二、小宮山伴与志、宮内寿ほか：人工芝グラウンドの下地に用いる透水性保水型舗装の衝撃緩衝能について、ジョイント・シンポジウム講演論文集、pp.325-329、2006.
- 7) 吉岡伸彦、広部巖：人工芝の特性と身体活動のパフォーマンス、Japanese Journal of Sports Science、Vol.6 (9)、pp.562-567、1987.

(平成22年1月7日受理)

