

各種サッカーボールの物理的特性

A Physical Characteristic of Various Soccer Balls

菊池 武道 秋田 信也* 中沢 克江*

Takemichi KIKUCHI, Shinya AKITA, Katsue NAKAZAWA

1. 目 的

スポーツで行われているボールゲームは、そのボールの特徴から二種類に分けることができる。一つはサッカーやバレーボールなどのように空気を注入した中空なボールを使用する種目、それに対して野球やゴルフなどのように芯のある堅いボールを使用する種目である。空気を注入した中空なボールは、空気内圧によって、ボールの堅さや弾みを調節でき、これらの要素はそれぞれのスポーツにおいて、そのプレーに大きく影響するものである。モリス⁴⁾によればサッカーの国際試合が行われ始めた頃は、まだ国によってボールに好みのタイプがあり、どちらの国のボールを使用するかが問題になり、それが紛争を招いたことも少なくないと述べている。

今から十年前に発刊された「スポーツルール87年」³⁾によれば、中空なボールを使用するスポーツはボールの大きさを表す周囲および重さが定められており、また、その他空気内圧を付加しているのがサッカーやラグビー、あるいはある高さから自然落下させその跳ね返り高さを定めているのがバスケットボールと、それぞれの種目でボールの規則に特色がみられる。また、これらのスポーツは、たとえばサッカーでは小学生は4号ボールなどとプレーする対象に合わせてボールの大きさと重さを変え、指導の手助けを図っているのも特色の一つであり、多種類のボールが使用されている。

最近、バレーボールは、このリードアップゲームとしてソフトバレーボールを開発し、子供達への興味付けならびにバレーボールプレイヤーの養成、さらには高齢者の健康維持増進とバレーボール人口の拡大を図るべき方策を取っている。ソフトバレーボールは、競技形態そのものも簡略化されているが、一番の特色はやや大きめで、かつ柔らかい材質を使用したボールにある。サッカーでは、先進国ブラジルで盛んに行われているサロンフットボールを代表として、その他数種類のリードアップゲームがある。その中でもサロンフットボールは、リードアップゲームににとどまらず、世界選手権大会が行われている。最近ではフットサルという名称で世界選手権大会が行われているほど、独自の発展をしている。

日本では、サロンフットボール普及会がミニサッカールール集²⁾を発行し、その中に主に室内で行うサロンフットボールと室外で行うガーデンフットボールの二種目を奨励している。このミニサッカーは「いつでも」「どこでも」「誰でも」が楽しく「簡単に」行えることをモットーにサッカーを基礎として、コートを縮小し、少人数で行うサッカーのリードアップゲームのことである。このミニサッカーで使用されるボールは、ボールの大きさもさることながらボールの中空部分にスポンジやウレタンを充填し、ボールの弾みを押さえたボールを使用していることである。最近ではガーデン及びサロンフットボールに次いでフットサルと称されるサッカーのリードアップゲームが主流になってきている。

サッカーの基礎技術の中でボールコントロールは、習熟するのに時間のかかる技術の一つである。この点弾みを押さえたボールの使用は、難しいボールコントロールを易しくするばかりではなく、サッカーに必要なプレーの正確さやプレーのスピード、状況判断の速さなどサッカーの大切な要素を磨くために、最も適したリードアップゲームとなるものである。このようにサッカーのリードアップゲームでは、いろいろなボールが考案使用されているが、ボールの規格としてボールの形と大きさ及び重さ以外に、堅さと弾みを規定するために2メートルの高さからの自然落下から跳ね返る跳ね返り高さで規定されている。^{2) 6)}

* 東邦大学

本研究は、これら各種ボールを同一条件の実験設定で測定を行い、ボールの性質について比較検討し、各種ボールの物理的特色を明らかにするものである。

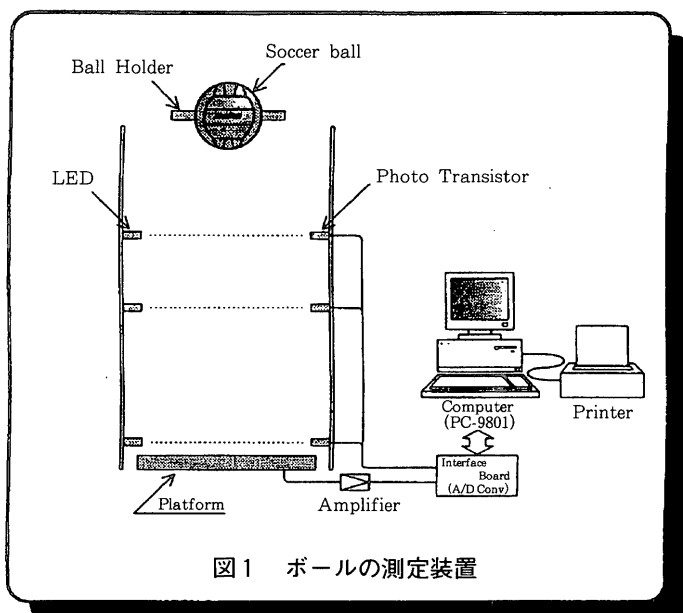
2. 研究方法

1. ボールの種類

サッカーのボールは5号と4号ボールがある。それぞれ公認球として規格が規定されている。¹⁾ 測定対象としたボールは外皮が手縫いで製作されているボール（以後縫いボールと呼称：5号ボールが国産MO社製、4号ボールがブラジルTO社製）と外皮を張り合わせたシームレス状（以後張りボールと呼称：5号ボールが国産MO社製、4号ボールが国産TA社製）の二種類と4号縫いボール以外国産のボールで、合計四種類のサッカーボールを測定した。その他フットサル（国産MI社製）、サロンフットボール（国産MO社製）及びガーデンフットボール（国産MI社製）は、外皮がシームレス状のボールで、総合計七個のボールについて測定を行った。

2. 測定条件

ボールの落下場所にキスラー社の圧力板を設置し、ボールの底面が1メートルの高さに固定された位置から自然落下する図1のような装置を使用し、ボールの態様を測定した。ボールの弾みは、注入した空気圧に影響されることからボールの空気内圧を0.3kgw/cm²から1kgw/cm²まで0.1kgw/cm²ごと8段階にわたって空気内圧を変えて測定を行った。また、空気内圧によりボールの重量が変化するかTANITA社の秤でボールの重量をも測定した。このときの測定項目は、ボールが自然落下したときの衝撃力と接地時間、またボールが衝突する前の落下速度及び衝突後の跳ね返り速度、さらに反発係数及び跳ね返り高さの6項目について測定を行った。これらの測定値は、



衝撃力と接地時間が圧力板を介して、また落下速度と跳ね返り速度及び跳ね返り高さと反発係数は支柱の三カ所に取り付けた光電管をボールが横切る時間間隔から求められる。これらは増幅器及びインターフェースボードを介してコンピューターに接続され、演算解析するものである。各ボールの試技は5回で、その測定値の最大値と最小値を除いた3回の平均値を測定値とした。測定は平成9年3月で、そのときの実験室の室温が20℃、また湿度が45%であった。

3. 結果と考察

本研究はサッカー及び三種類のリードアップゲームで使用される、それぞれのボールの特色を知ることで、ボールの空気内圧の違いによって、ボールの態様がどのような差異を示すかを比較検討するものである。サッカー、フットサル、ガーデンフットボール及びサロンフットボールで使用されるボールは、それぞれの競技規則により形と材質、大きさと重さが規定されている。さらにはボールの弾みや堅さを規定するため、サッカーではボールの空気内圧を、またフットサル以下他の二競技ではボールの跳ね返り高を規則の中で定められている。また、小学生が行う全日本少年サッカー大会決勝大会で使用される4号縫いボールは大きさと重さ以外、正規のボールに準じて定められている。^{1) 2) 6)}

測定を行っている間、四種類のサッカーおよびリードアップゲームで使用されるボールの大きさは、ボールの

空気内圧の変化が外周の大きさにほとんど影響を与えなかった。また、ボールの重さはサッカーの5・4号ボールがボールの空気内圧を高くするにつれ、5グラムとほんの少しの重量変化が認められたが、フットサル、ガーデンおよびサロンフットボールのボールでは、重量の変化がほとんど認められなかった。豊田⁵⁾らはサッカーの公認ボールでも個体間で大きさや重さに若干の違いがあると述べているが、本研究は四種類それぞれ1個のボールを使用していることから、そのボールの空気内圧が変化しても、重さにはほとんど影響しなかったものと思われる。このことはボールの空気内圧が変わっても大きさや重さに変化がなく、各種ボールは同一条件の下にあったと云える。

表I 各種ボールの空気内圧変化による衝撃力

空気圧 kgw/cm ²	5号縫い kg	5号張り kg	4号縫い kg	4号張り kg	フットサル kg	ガーデン kg	サロン kg
0.3	55.7	65.2	45.6	52.5	48.9	55.8	50.7
0.4	59.9	69.2	50.7	57.9	53.4	57.7	54.6
0.5	62.6	75.4	53.4	62.2	57.2	60.6	57.8
0.6	67.2	77.3	56.3	64.5	59.0	63.8	62.4
0.7	69.6	80.2	57.7	70.2	61.5	66.5	63.8
0.8	74.0	80.3	59.7	71.6	64.9	70.0	66.2
0.9	74.7	80.3	64.5	74.7	66.0	71.3	64.9
1.0	77.4	80.3	67.0	78.3	69.4	75.3	68.0
5号縫い		*** -7.4663	*** 18.6576	2.0562	*** 17.3125	*** 5.5494	*** 8.9642
5号張り			*** 17.1276	*** 6.829	*** 17.7646	*** 9.7164	*** 26.8493
4号縫い				*** -12.7608	*** -7.9896	*** -16.7471	** -5.1091
4号張り					*** 8.6671	1.6947	** 4.7938
フットサル						*** -13.761	-1.8026
ガーデン							*** 5.7724

***: P<0.001 **: P<0.01

1. ボールの衝撃力と接地時間

1 mの高さから自然落下させ、キスラー社の圧力板から検出された各種ボールの衝撃力を表Iに示す。各ボールとも空気内圧が少ないときに衝撃力は小さい値を示している。それがボールの空気内圧が高くなるにつれ衝撃力も徐々に大きくなる傾向を示した。衝撃力が最も小さい値を示したのは、空気内圧が0.3kgw/cm²の時の4号縫いボールで45.6kg、また最大値は空気内圧が0.8から1.0kgw/cm²の時の5号張りボールの80.3kgであった。空気内圧の差異で衝撃力に違いを見せたこれら各種ボールの中で、最も衝撃力に幅があったのは4号張りボールの25.8kgで、また最も差が小さかったのは5号の張りボールであった。材質、形状および製作行程が同一の同じ張りボールで、ボールの大きさの違いだけで衝撃力の態様に異なった傾向を示した。

各種ボールの衝撃力の間で、有意差検定を行った結果、ほとんどのボールの間に0.1%レベルで有意な差が認められた。また、この中でブラジルT O社製の4号縫いボールは、他のボールに比較して明らかに衝撃力が小さい値を示している。このことはボール一個で即断することはできないが、ブラジル産のボールは国産に比較してソフトタッチに製作されていることを想像させられる。ブラジルのサッカーは個人技に優れ、特にボールコントロールは卓越したものがある。その理由にこのソフトタッチなボールが影響しているとするならば、サッカープレイヤーの技術向上にボールの開発を図ることも意義のあることと考えられる。

サッカーでは、5・4号ボールの縫いボール、張りボールとも公認球として認定されている。しかし、公式試合で使用されるのは、ほとんどが縫いボールに限られている。また、プレイヤーは、感覚的な意見として張りボールは縫いボールに比べコントロールが難しく、また、身体に当たった時に痛く感じるなどの感触を述べている。サッカーの縫いボールと張りボールの衝撃力を図2で比較してみると、空気内圧が高くなるにつれ衝撃力も徐々に大きくなるとともに、空気内圧の変化に関係なく衝撃力は縫いボールよりも張りボールが大きい値を示しているのが認められる。この差は $t = -13.3772$ で、これは0.1%で有意な差を示すものである。このことはボールの大きさや重さといった形状によるものでなく、ボールの材質と製作方法の違いによるものと考えられ、これはまたプレイヤーの言葉を裏付けるものでもであると云える。

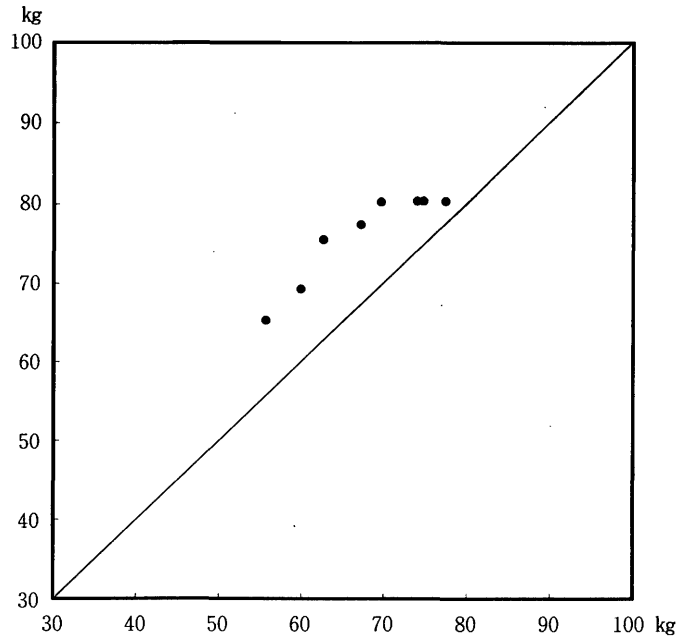


図2 サッカーの縫いと張りボールにおける衝撃力の比較

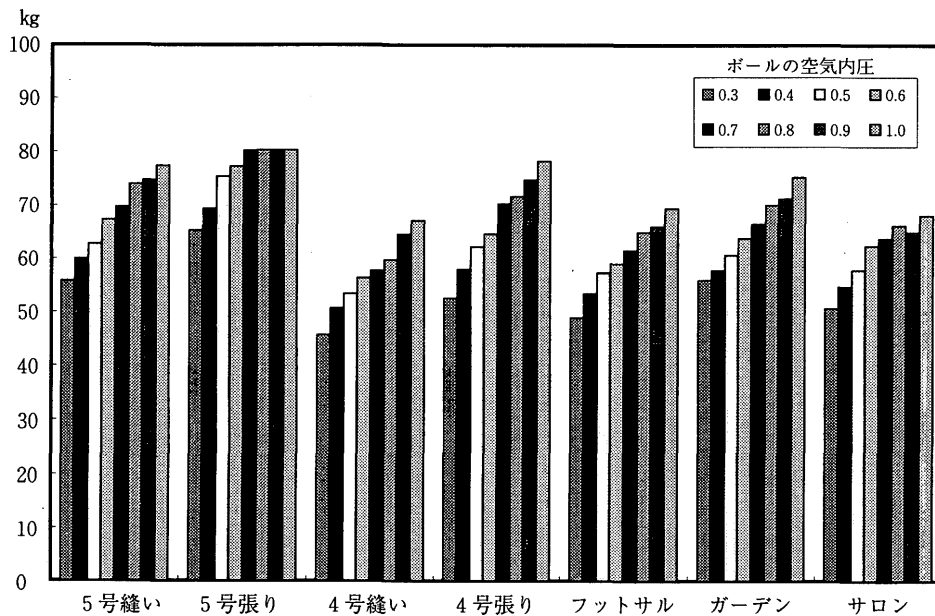


図3 各種ボールの衝撃力の比較

フットサル、ガーデンおよびサロンフットボールのボールは、図3に見られるようにサッカーのボールの衝撃力と同じように空気内圧が高くなるにつれ、徐々に大きくなる傾向にあった。この中でサロンフットボールのボールは、衝撃力が最低50.7kgから最大68.1kgで、その差が17.4kgと各ボールの中でも空気内圧による影響が少なかった。

各種ボールの空気内圧の変化による圧力板に接触している接地時間を表IIに示すと、最も長い接地時間はフットサルの0.3kgw/cm²で11.1msec、最も短いのが4号張りボールの1kgw/cm²で4.9msecであった。それぞれのボールはこの範囲にあり、しかも空気内圧の少ない時に接地時間が長く、空気内圧が大きくなるにつれ接地時間が短くなるという同様な傾向がみられた。

各種ボールの衝撃力と接地時間の関係は、図4にみられるように衝撃力が大きくなるにつれ接地時間が短くなる傾向にあった。この関係は相関係数 $r = -0.68947$ を示し、これは0.01%レベルで密接な関係を示すものである。

各種サッカーボールの物理的特性

このことは空気内圧の低いボールは衝撃を吸収しやすいことを示唆しているものであり、衝撃を嫌う女性や青少年の指導においてボールに注入する空気圧を低くするのも大切な点であることを示すものである。

表Ⅱ 各種ボールの空気内圧変化による接地時間

空気圧 kgw/cm ²	5号縫い msec	5号張り msec	4号縫い msec	4号張り msec	フットサル msec	ガーデン msec	サロン msec
0.3	10.3	9.3	9.4	9.0	11.1	7.7	8.6
0.4	8.8	9.7	9.5	7.8	10.1	7.9	8.8
0.5	8.4	8.4	8.4	7.5	9.5	7.9	8.7
0.6	8.3	8.1	7.5	6.7	9.7	7.9	8.3
0.7	7.7	7.5	7.5	6.7	9.0	6.7	8.1
0.8	7.3	7.1	7.7	6.1	6.5	7.2	7.2
0.9	7.0	5.9	7.5	5.9	8.3	6.5	6.4
1.0	6.1	6.7	7.3	4.9	7.5	5.8	6.3

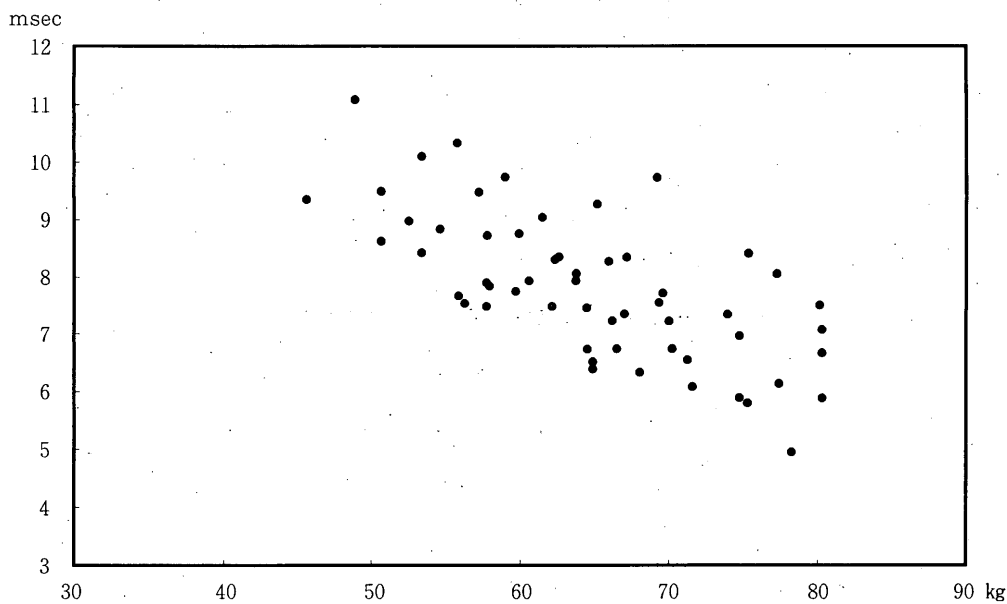


図4 衝撃力と接地時間の関係

2. ボールの落下速度と跳ね返り速度

七種類のボールは5・4・3号と大きさに若干の違いがあり、また構造上空気内圧だけのボールと中にスポンジを充填してあるボールとそれぞれボールに特色がある。表Ⅲに各種ボールの空気内圧の変化における自然落下速度と圧力板からの跳ね返り速度を示すが、自然落下速度は空気内圧の差異による違いがほとんどみられず5号ボールの平均4.6m/secからサロンの4.8m/secとほぼ同じ速度で落下し、各ボールに違いが認められなかった。

これに対して跳ね返り速度は空気内圧のみのサッカーボールと詰め物をしたフットサル以下その他のボールとの間に大きな違いが認められた。前者は4号張りボールの空気内圧が0.3kgw/cm²の時跳ね返り速度が3.3m/secから空気内圧が高くなるにつれ徐々に速度が速くなり、1kgw/cm²では4.3m/secと1m/secの違いを示し、これは他のサッカーボールもほぼ同じ値で同様な傾向を示している。

一方フットサル以下詰め物をしたボールは空気内圧が変わっても跳ね返り速度に変化がなく、表Ⅲに見られるように、フットサルでは0.3kgw/cm²の時に3.1m/secであったものが1kgw/cm²で3.5m/secとボールの空気内圧による変化が見られず、これはガーデン及びサロンフットボールのボールでも同じ傾向を示した。この時の跳ね返り速度はフットサルが平均3.3m/sec、ガーデンフットボールが平均2.6m/secおよびサロンフットボールが平均1.8m/secとフットサル、ガーデンついでサロンフットボールの順と跳ね返り速度が遅くなっているのが認められる。

表Ⅲ 各種ボールの空気内圧変化による落下速度と跳ね返り速度

空気圧 kgw/cm ²	5号縫いm/s		5号張りm/s		4号縫いm/s		4号張りm/s		フットサルm/s		ガーデンm/s		サロンm/s	
	落下	跳返	落下	跳返	落下	跳返	落下	跳返	落下	跳返	落下	跳返	落下	跳返
0.3	4.7	3.8	4.8	3.8	5.0	3.5	4.8	3.3	4.9	3.1	4.8	2.5	4.8	1.8
0.4	4.4	3.6	4.8	4.0	4.8	4.1	4.8	3.5	4.9	3.2	4.9	2.3	4.7	1.8
0.5	4.7	3.9	4.8	4.3	4.7	4.1	4.9	3.7	4.9	3.2	4.8	2.5	4.8	1.8
0.6	4.7	4.1	4.8	4.3	4.6	4.0	4.7	3.8	4.9	3.2	4.9	2.6	4.9	1.8
0.7	4.8	4.3	4.8	4.5	4.5	4.1	4.8	4.0	4.9	3.3	4.8	2.5	5.0	1.8
0.8	4.7	4.3	4.8	4.6	4.6	4.2	4.6	4.0	4.9	3.3	4.9	2.6	4.9	1.8
0.9	4.5	4.4	4.6	4.7	4.7	4.5	4.7	4.2	4.9	3.5	4.8	2.8	4.7	1.9
1.0	4.3	4.4	4.7	4.7	4.7	4.5	4.4	4.3	4.7	3.4	4.6	3.1	4.6	1.9

3、ボールの跳ね返り高さや反発係数

ボールの弾みはサッカーの基礎技術、特にボールをコントロールするためのトラッピングの習得やゲームを組み立てる上でのボールコントロールに重要な要素となる。ボールの弾みに大きく影響する要因としての空気内圧を変化させ、ボールの弾みを表す反発係数を表Ⅳと図5に示す。

反発係数は七種類のボールとも空気内圧が高くなるにしたがい、反発係数も大きくなる傾向を示している。その中でも5・4号の縫い及び張りボールは、空気内圧の最も低い0.3kgw/cm²や最も高い1 kgw/cm²と測定条件の上下限の領域で、若干の乱れがみられたもの、4号張りボールの0.3kgw/cm²が係数0.6850と最も低く、ついで空気内圧の上昇に伴い徐々に大きくなり5号縫いボールの1 kgw/cm²で係数1.0385と他の詰め物をしたボールと比較し、高いレベルで空気内圧の上昇につれ反発係数も同様な傾向で増加するのが認められた。

表Ⅳ 各種ボールの空気内圧変化による反発係数

空気圧 kgw/cm ²	5号縫い	5号張り	4号縫い	4号張り	フットサル	ガーデン	サロン
0.3	0.7964	0.8010	0.7139	0.6850	0.6441	0.4905	0.3729
0.4	0.8234	0.8286	0.8370	0.7301	0.6625	0.4712	0.3745
0.5	0.8323	0.8840	0.8674	0.7663	0.6546	0.5231	0.3617
0.6	0.8723	0.8878	0.8867	0.8319	0.6492	0.5300	0.3654
0.7	0.8851	0.9407	0.8947	0.8375	0.6683	0.5265	0.3706
0.8	0.9139	0.9503	0.8995	0.8639	0.7005	0.5329	0.3776
0.9	0.9792	1.0364	0.9308	0.8902	0.7637	0.5838	0.4059
1.0	1.0385	0.9946	0.9343	0.9894	0.7352	0.6247	0.4054

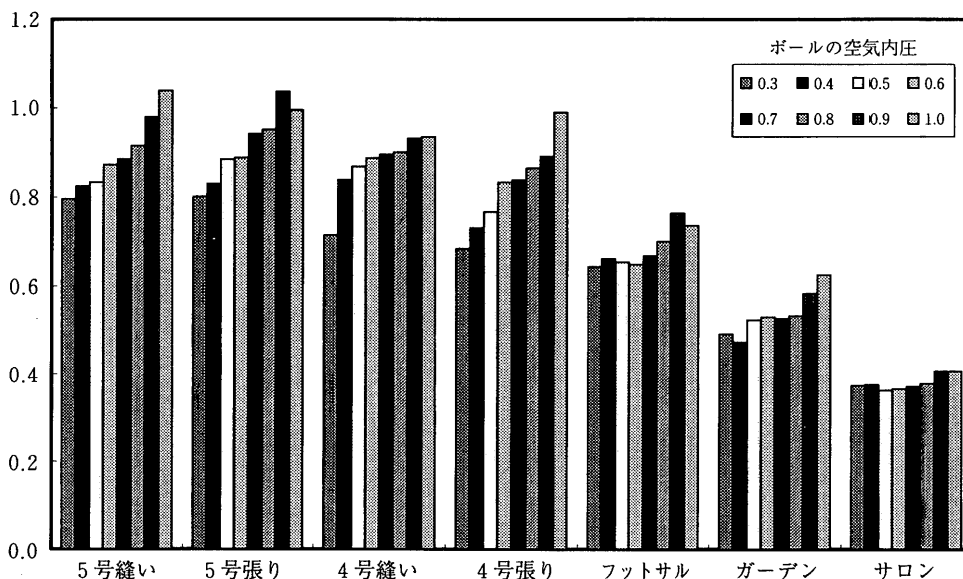


図5 各種ボールの反発係数の比較

各種サッカーボールの物理的特性

一方フットサル、ガーデン、サロンの各ボールは空気内圧の変化につれ反発係数の増加がみられるものの、空気内圧の低い0.3kgw/cm²から1kgw/cm²までの間で、それぞれフットサルが係数0.6441から係数0.7352、ガーデンが係数0.4905から係数0.6247及びサロンが係数0.3729から係数0.4054と、それぞれ各ボール固有の反発係数を示していた。これらの中でもサロンフットボールのボールは、反発係数の大小の差が係数0.0325と最低で、これは空気内圧の上昇につれ反発係数が若干の増加を示すものの空気内圧の影響は微々たるもので、他のボールに比較してボールの構造上の要素が大きく影響しているようにみうけられる。

各種ボールの弾む特色を表す反発係数がこのような傾向を示した各種ボールの跳ね返り高さは、表Vと図6にみられるとおりである。5・4号ボールの縫い及び張りボールの四種類のボールは4号張りボールの0.3kgw/cm²で跳ね返り高さが47.5cmであった以外空気内圧が高くなるにつれ、全て50cm以上で0.9や1kgw/cm²では5号の縫い及び張りボールで1m以上の跳ね返り高さを示していた。また、この四種類のボールは0.5kgw/cm²から0.9kgw/cm²までは同様な傾向で跳ね返り高さも高くなり、特に4号の張りボールを除く三種類は跳ね返る高さもほぼ同じで、ボール間に差がみられなかった。

表V 各種ボールの空気内圧変化による跳ね返り高さ

空気圧 kgw/cm ²	5号縫い cm	5号張り cm	4号縫い cm	4号張り cm	フットサル cm	ガーデン cm	サロン cm
0.3	75.8	64.5	51.5	47.5	42.1	25.5	14.8
0.4	68.1	69.1	70.4	53.8	44.5	23.0	14.9
0.5	69.7	78.4	77.5	59.2	43.5	28.1	14.0
0.6	76.3	79.1	78.8	67.2	42.7	28.4	14.2
0.7	78.6	88.6	80.3	70.5	45.3	28.5	14.6
0.8	83.8	90.4	81.1	76.1	48.8	29.1	15.1
0.9	96.4	107.4	86.8	79.5	50.9	34.8	17.4
1.0	108.1	99.2	86.9	98.3	54.8	39.9	17.3
5号縫い		0.8252	1.3039	5.3679**	10.3748***	16.8556***	15.0636***
5号張り			2.9598	5.793***	9.7033***	14.7977***	14.3671***
4号縫い				2.3374	9.4678***	15.2185***	15.9215***
4号張り					5.24358***	9.7957***	10.0253***
フットサル						19.3748***	26.329***
ガーデン							9.4394***

*** : P<0.001 ** : P<0.01

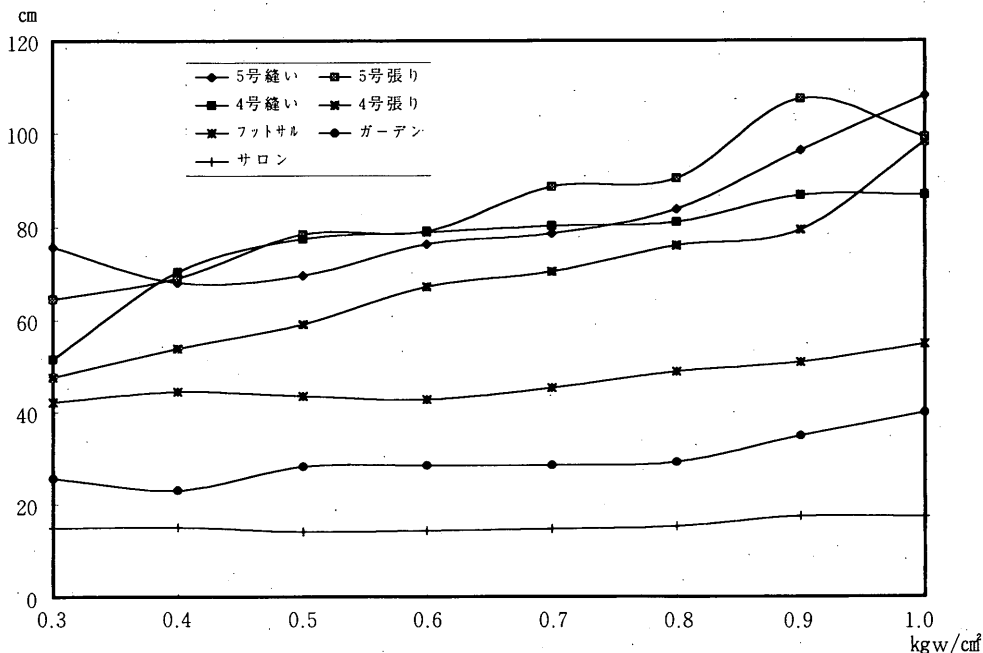


図6 各種ボールの跳ね返り高さの比較

これに対してフットサル、ガーデン、サロンの各ボールは、それぞれが固有の跳ね返り高さを示した。フットサルとガーデンは、空気内圧の変化による跳ね返り高さがフットサルで最小42.1cmから最大54.8cmとその差が12.7cm、ガーデンが最小23.0cmから最大39.9cmとその差が16.9cmと跳ね返る高さに違いがあったものの、それぞれのボールにおける跳ね返る高さの差がともに10cm台と同じ傾向を示していた。また、最も跳ね返り高さが小さかったサロンフットボールのボールは最小が14.0cmから最大が17.4cm、その差が3.3cmと空気内圧が高くなったからと云ってボールの弾みに効果を示さず、他のボールと異なる弾み方を示していた。

各種サッカーボールの弾み方の特色における有意差検定の結果、四種類のサッカーボールの間で、4号張りボールが他の三種類とやや異なる傾向を示しているものの、ほぼ同じような跳ね返り高さであるのが伺われる。一方フットサル以下ガーデン及びサロンフットボールのボールは、跳ね返り高さが0.01%レベルで四種類のサッカーボールと有意な差を示し、またそれぞれの間で跳ね返り高さはフットサル、ついでガーデンフットボール、最も弾みが少なかったのがサロンフットボールの順と、これら三種類のボールの間でも跳ね返り高さに有意差が認められた。

4. 結 論

サッカー及びリードアップゲームとしてのフットサル、ガーデンならびにサロンフットボールで使用されるボールの物理的特性について測定を行い、各種ボールの特色を明らかにした。

1. 各種ボールの衝撃力は、ボールの空気内圧が高くなるにつれ、衝撃力も大きくなる傾向を示した。この中で同じサッカーボールであるが製作工程の違う縫いボールと張りボールでは、張りボールが強い衝撃力を示しているのが認められた。

2. 各種ボールが圧力板から跳ね返るときの接地時間は、ボールの空気内圧が高くなるにつれ、接地時間が短くなる傾向にあった。

3. 四種類のサッカーボールの跳ね返り高さ及び反発係数は、ほぼ同じ傾向を示した。サッカーボールの空気内圧の違いによる反発係数は、最小が4号張りボールの係数0.6850から最大が5号縫いボールの係数1.0385の間の範囲にあり、ほぼ同じ傾向を示した。

これに対してフットサルのボールの反発係数は係数0.6441から係数0.7352、ガーデンフットボールのボールが係数0.4905から係数0.6247、ついでサロンフットボールのボールが係数0.3729から係数0.4054と、サッカーボールよりも低い値となり、それぞれのボールは固有の跳ね返り方を示していた。

以上のように、サッカーボールとリードアップゲームで使用されるボールの間では、ボールの弾み方などに違いが認められた。リードアップゲームで使用されるボールの中でもフットサルのボールが最もサッカーボールに近くサッカーの技術・戦術などの習得練習に大いに貢献するものと思われる。

参考文献

- 1) 浅見俊夫：詳解サッカーのルールと審判法，大修館書店，1995年10月
- 2) サロンフットボール普及会編：ミニサッカールール集，サロンフットボール普及会，昭和52年11月
- 3) 大修館書店編集部編：最新スポーツ'80，大修館書店，昭和61年4月
- 4) デズモンド，モリス：サッカー人間学，小学館，昭和58年2月
- 5) 豊田 博：スポーツに使用される各種ボールの規格と品質に関する研究，デサントスポーツ科学，vol.3，pp146-152，1981年
- 6) 日本フットサル連盟：Futsal Official Hand book，(財)日本サッカー協会，1996年