

小学校グラウンドの硬度に関する研究

——長野県北部地区において——

丸田 巖*・山田良樹*・富田幸博**

(昭和 62 年 11 月 9 日受付, 昭和 62 年 12 月 23 日受理)

A Study on the Hardness of Elementary School Grounds

—In the North of Nagano Prefecture—

Iwao MARUTA, Yoshiki YAMADA and Yukihiro TOMITA

The surface soil of playgrounds was influenced by natural environment such as rain, wind, dryness and so on. It should keep moderate hardness, elastic, and moisture content.

The purpose of this study was to make clear the hardness of the surface soil mechanics on the school grounds.

We selected 10 elementary schools in NAGANO. Items of hardness test were

- 1) Penetration test by proctor's needle.
- 2) Shearing test by pulling down a spike.
- 3) Elastic test by percussion soil pressure.

Items of physical test were

- 1) Mechanical analysis of the surface soil.
- 2) Moisture test.
- 3) Permeability test.

The following results were obtained;

- 1) The significant correlation between penetration resistance ($\phi 6.5$ mm) and shearing resistance marked ($p < 0.001$).
- 2) The significant correlation between penetration resistance ($\phi 6.5$ mm) and moisture ratio was marked ($p < 0.05$).
- 3) The significant correlation between shearing resistance and moisture ratio was marked ($p < 0.01$).
- 4) The hardness of the badly drained increased more than that of the well drained.

I. はじめに

グラウンドの破壊現象には、人為的破壊と自然的破壊とがある。人為的破壊には、多人数押圧による硬度化、ラインに用いる石灰、スパイクシューズなどによる表面の破壊があり自然的破壊には降雨、風、乾燥が考えられる。特に自然的破壊による影響が大きく、その整備の善し悪しは学校の場合、教育効果にも影響するものと考えられ、その整備には十分注意を払う必要がある。我が国は雨の多い国で、グラウンドの使用できない日数が年間 $1/3 \sim 1/2$ ある¹⁾ と言われる。さらに、長野県においては気温の年較差が他県に比べ大きく、その舗装材の研究が

必要である。

柏木²⁾によると「ハードコートは、脚特に脚筋の伸筋が非常に疲れる。また、この場所で走ったり、跳んだりすることにより関節軟骨に強い衝撃外力が加わり、疼痛の原因となる」としている。また、アスファルト・コンクリート舗装は傷害発生が多く、舗装材の影響³⁾が考えられる。したがって、小学校グラウンドの場合においても例外ではなく、適度な硬度と弾力性をもった舗装材でなければならない。

グラウンドの舗装材についての最初の実験報告として、大正 13 年 10 月明治神宮造営局が実施したものがあ

* 体育学 8, ** 体育科 1

る⁴⁾。これは、舗装材の混合割合について研究が行なわれた。さらには、東京オリンピックに際し栗本ら⁵⁾が実施したアンツーカー舗装材の研究があげられる。これは、陸上競技場走路の骨材及び結合材の研究が行なわれた。最近では、高分子化学合成材による全天候舗装材⁶⁾の開発により、陸上競技場やテニスコートをはじめ、様々な所にとどのような自然的環境でも使用できるようになってきている。このように、競技者中心の競技場についての研究が多数報告されている^{7)~10)}。しかし、学校における多目的グラウンドについての研究は、ほとんどみられない^{11),12)}。競技者についての研究を一度学校に適用した場合、使用できる種目が限定されたり、学校の校地面積を考えると経済性など、さらには安全性といった面からも考えると様々な問題が生じてくる。このため、学校における多目的グラウンドに目を向けてみる必要がある。

そこで本研究では、長野県北部地区における小学校グラウンドを対象にその舗装材の現場試験及び各種土質試験を行ない、相互に比較検討することにより、土質力学的構造を明らかにし、適当な硬度を維持する方法を探し出すことを目的とした。

II. 研究の方法

グラウンドの硬度を測定するために、現場試験として、貫入抵抗試験（縦の抵抗）、剪断抵抗試験（横の抵抗）、さらに弾力性試験の3試験を実施した。また、室内試験として、含水量試験、粒度試験、透水試験の3試験を実施した。

1. 現場試験について

(1) 貫入抵抗試験

グラウンドの貫入抵抗を測定するために、プロクターニードルを使用した。貫入針 $\phi 6.5 \text{ mm}$ を使用し測定したが、 $\phi 6.5 \text{ mm}$ で測定できない時に限り貫入針 $\phi 4.5 \text{ mm}$ を使用した。方法は、貫入針を毎秒 1/2 インチの速度で押し込み、その深さを1インチとした。測定ポイントは図1に示す通りである。1ポイントあたり5回測定をした。

(2) 剪断抵抗試験

グラウンドの剪断抵抗を測定するために、スパイクテスターを使用した。方法は、スパイクピンを地表面に垂直に20 mm 打ち込み、スパイクピン頭部（地表面から40 mm）をスプリングバランスで地表面に対し、水平に引き倒す時の抵抗を測定した。測定ポイントは図1に示す通りである。1ポイントあたり5回測定をした。

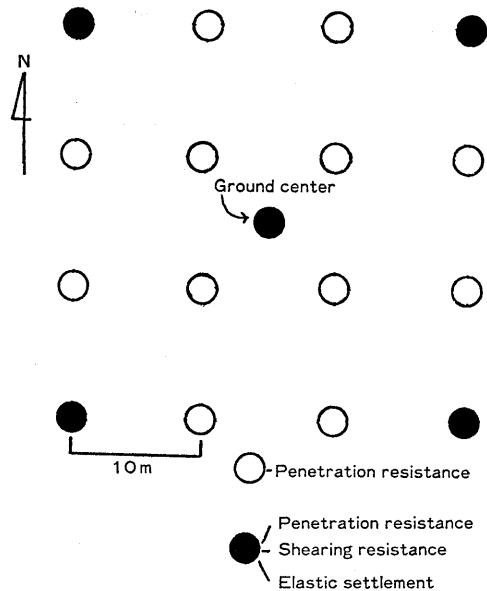


Fig. 1. Test point

(3) 弾力性試験

グラウンドの弾力性を測定するために、衝撃式地耐力測定器 TS-196 を使用した。方法は重量 10 kg の錘を衝撃受板 ($\phi 20 \text{ cm}$) 上 30 cm の高さよりその衝撃受板に落下させ、その衝撃による地表面の変形を求めた。測定ポイントは図1に示す通りである。1ポイントあたり10回測定をした。

2. 室内試験について

(1) 含水量試験

方法は、グラウンド中央部から採取してきた表層土（1インチ深まで）150 g を、 110°C の恒温乾燥炉で1時間乾燥した。外気温と同温 (24°C) になるまで冷まし、上皿天秤で秤量した。土の含水量は、含水比で表わした。含水比の計算式は次の通りである。

W : 土の全重量

W_s : 土の乾燥重量

M : 含水比

$$M = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100 (\%)$$

(2) 粒度試験

乾燥させたグラウンド表層土 150 g を粒度試験機にかけ8種類（最大粒径 4.8 mm, 2.0, 0.85, 0.4, 0.25, 0.11, 0.075, 0.075 mm 未満）の粒子に分類した。さらに、その粒子の分布状態より均等係数^{注2)}を求めた。

注1) 粒子分析による 60% 径と 10% 径の比

$$U = D_{60}/D_{10}$$

(3) 透水試験

器具として、φ 30 mm、長さ 200 mm で底に φ 1.5 mm の穴の空いた特別試験管を使用した。グラウンド中央部より採取してきた表層土（乾燥土）を、この特別試験管に入れ転圧棒で 100 回棒押し、仕上げの厚さを 50 mm とした。20 mm の水を注入し、同時にストップウォッチで時間を計測した。計測時間は次の通りである。

- ①水がグラウンド舗装材を浸透し、最初の一滴がメスシリンダーに落下した時間。
- ②舗装材の表面に水留りがなくなった時間。
- ③最後の一滴がメスシリンダーに落下した時間。

III. 結 果

1. 各硬度試験について

図 2 は各学校ごとに 17 ポイント測定した貫入抵抗値の平均値±標準偏差を示したものである。A-7, A-8, A-10 の 3 校は測定できないポイントがあり、A-7 から 13, 16, 7 ポイントの平均値±標準偏差を示した。

貫入針 φ6.5 mm を使用した学校では A-1 が 85.2±9.8 Lbs で最も高い値を示し、以下 A-3, A-4 と続き A-2 が 42.0±8.8 Lbs で最も低い値を示した。7 校の平均値は 72.1±19.9 Lbs であった。貫入針 φ 4.5 mm を使用した学校では A-8 が 106.8±12.7 Lbs で最も高い値を示した。3 校の平均値は 96.4±10.0 Lbs であった。

図 3 は各学校ごとに 5 ポイント測定した剪断抵抗値の平均値±標準偏差を示したものである。A-10 が 5.34±1.98 kg で最も高い値を示し、以下 A-8, A-7 と続き、貫入抵抗値と同様 A-2 が 1.08±0.44 kg と最も低い値を示した。全体の平均値は 2.61±1.45 kg であった。

図 4 は各学校ごとに 5 ポイント測定した弾性沈下量の平均値±標準偏差を示したものである。A-3 が 10.74±

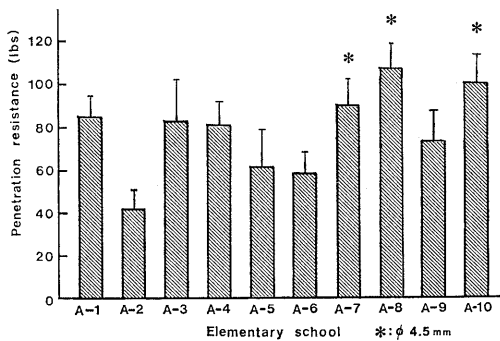


Fig. 2. The results of penetration resistance in elementary school grounds.

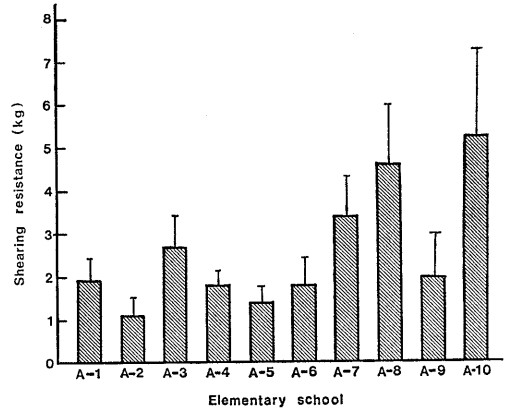


Fig. 3. The results of shearing resistance in elementary school grounds.

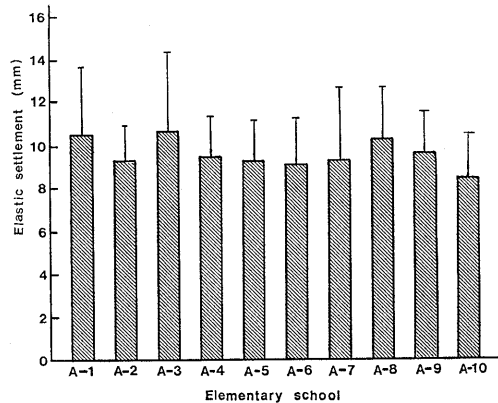


Fig. 4. The results of elastic settlement in elementary school grounds.

3.18 mm と最も高い値を示し、以下 A-1, A-8 と続き A-10 は 8.44±2.11 mm で最も低い値を示した。全体の平均値は、9.60±1.88 mm であった。

2. 各硬度試験の関係について

図 5 は貫入抵抗値と剪断抵抗値の関係を示したものである。貫入針 φ 6.5 mm を使用した場合相関係数は、 $r=0.687$ ($P<0.001$) であり、正の有意な相関関係が認められた。貫入針 φ 4.5 mm では有意な相関関係は認められなかった ($r=0.450$, $n=10$)。

貫入抵抗値と弾性沈下量との間には、貫入針 φ 6.5 mm 及び 4.5 mm 共に有意な相関関係は認められなかった。

剪断抵抗値と弾性沈下量との間には、有意な相関関係は認められなかった ($r=-0.115$, $n=50$)。

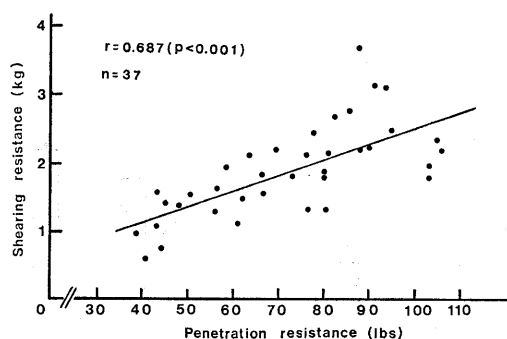


Fig. 5. The relationship between penetration resistance and shearing resistance in elementary school grounds.

3. 各室内試験について

表1は各学校グラウンドの含水量を含水比で表わしたものである。A-2が含水比11.2%で最高値を示し、A-8は2.2%で最低値を示した。全体の平均値は6.64%であった。

表2は粒子分析の結果を表わしたものである。日本統一土質分類法¹³⁾によると砂粒土は砂分(粒径0.074~2.0mm)が50%以上をさし、分析を行なった学校全てがこの分類にあった。また、全て均等粒度^{注3)}の範囲にあった。

表3は、透水時間を表わしたものである。表面排水完

Table 1. Moisture ratio

Elementary school	Moisture ratio (%)
A-1	6.1
A-2	11.2
A-3	6.5
A-4	7.4
A-5	9.4
A-6	7.8
A-7	7.4
A-8	2.2
A-9	4.7
A-10	3.7

Table 2. Mechanical analysis of the surface soil

Elementary school	Grain size								Uniformity coefficient
	4.8 mm	2.0	0.85	0.4	0.25	0.11	0.075	under 0.075 mm	
A-1	0.4	18.1	48.3	72.4	85.6	95.9	96.9	100	5.50
A-2	0.1	9.6	44.2	69.1	81.1	96.6	97.5	100	5.41
A-3	0.7	7.8	25.1	45.4	61.2	89.8	92.3	100	4.55
A-4	0.2	16.6	46.9	67.0	78.0	93.8	95.7	100	6.13
A-5	0.0	10.8	41.5	62.8	76.0	94.7	96.0	100	5.87
A-6	0.6	12.4	43.8	68.0	81.4	94.9	96.3	100	5.83
A-7	0.3	3.8	33.5	58.2	71.5	95.4	97.3	100	5.07
A-8	0.3	16.6	46.6	62.3	71.3	91.2	94.7	100	9.17
A-9	0.0	15.4	40.0	64.5	79.8	95.7	96.9	100	4.94
A-10	0.0	5.4	26.6	48.4	65.1	94.2	96.8	100	4.14

Table 3. The results of permeability test in elementary school

Elementary school	1st drop	Surface drainage	Last drop
A-1	2'13"	3'16"	11'07"
A-2	9'52"	14'06"	29'00"
A-3	12'33"	23'02"	30'30"
A-4	8'45"	12'41"	18'06"
A-5	6'36"	11'50"	18'00"
A-6	4'37"	7'35"	9'30"
A-7	15'37"	16'40"	25'18"
A-8	15'20"	39'48"	59'50"
A-9	1'39"	4'06"	8'51"
A-10	15'34"	25'00"	39'10"

了時間をみると、最も早いA-1が3分16秒で、1分間あたり366mmであった。最も遅いA-8は39分48秒で1分間あたり30mmであった。

4. 各硬度試験と含水比の関係について

図6は各グラウンドセンターにおける硬度試験と含水比の関係を示したものである。貫入抵抗試験で貫入針φ6.5mmを使用した場合相関係数は、 $r = -0.818$ ($P < 0.05$, $n = 8$)で負の有意な相関関係が認められた。

剪断抵抗値と含水比の間には、 $r = -0.869$ ($P < 0.01$,

注2) 土質工学会による工学的土質分類法(日本統一土質分類法)では均等係数 < 10 の場合を均等粒度という。

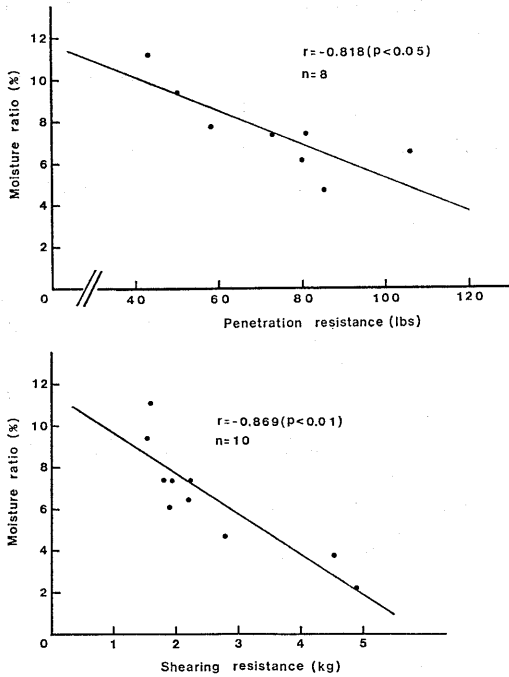


Fig. 6. The relationship between hardness and moisture ratio in elementary school grounds

$n=10$) で負の有意な相関関係が認められた。

弾性沈下量と含水比の間には有意な相関関係は認められなかった ($r=0.093$, $n=10$)。

5. 現場試験における気象条件について

気温は、 $30.2 \pm 3.7^\circ\text{C}$ 、湿温は、 $23.4 \pm 1.8^\circ\text{C}$ 、地表温は、 $36.9 \pm 6.8^\circ\text{C}$ 、一インチ地中温は、 $35.0 \pm 6.5^\circ\text{C}$ であった。

IV. 考 察

グラウンドの舗装上の条件として、適度な硬度と弾力性が必要とされる。グラウンドが硬すぎると、足、膝などを痛める恐れがでてくる。一般に学校グラウンドは、貫入抵抗値(貫入針 $\phi 6.5$ mm 使用の場合) 35~80 Lbs が適当な値¹⁴⁾とされている。今回測定を行なった学校において、この値に該当したのは 5 校で、全体の半数であった。また、 $\phi 6.5$ mm を使用できず、 $\phi 4.5$ mm を使用した学校が 3 校であった。新田⁷⁾によれば、陸上競技場では 90~110 Lbs ($\phi 6.5$ mm) が適当であると報告している。したがって、硬度が要求される陸上競技場よりも硬い学校が 3 校あり、この学校は、学校グラウンドの基準値にある学校と比較して、膝関節に強い衝撃外力が加わ

ることによりオスグッドシュラッター病等の傷害が多く発生するものと考えられる。

貫入抵抗値 ($\phi 6.5$ mm) と剪断抵抗値との間に、正の有意な相関関係が認められた (図 5)。したがって、土の締めり方は縦横相互に関係しているものと考えられ、このことがグラウンド舗装材の特性になっているものと推察される。貫入抵抗値と剪断抵抗値の相関関係から貫入抵抗値の基準値を 35~80 Lbs とすると、剪断抵抗値は 1.0~2.0 kg ということになる。

貫入抵抗値と弾性沈下量、剪断抵抗値と弾性沈下量との間には有意な相関関係が認められなかった。このことは、貫入抵抗値及び剪断抵抗値はグラウンド表層の影響であって、弾性沈下量においては、グラウンド中層及び基盤の影響を受けている⁵⁾ものと考えられる。

貫入抵抗値 ($\phi 6.5$ mm) と含水比の間には負の有意な相関関係が認められた (図 6)。このことは、貫入抵抗値が高くなると含水比は低くなることになる。したがって、貫入抵抗値は土に含まれる水分量に影響される。貫入針 $\phi 4.5$ mm については有意な相関は認められなかったが、両者には負の傾向がみられ、貫入針 $\phi 6.5$ mm の場合と同様になるものと推察される。この相関関係より、貫入抵抗基準値から含水比は 10.1~6.9% の範囲ということになる。

剪断抵抗値と含水比との間に負の有意な相関関係が認められた (図 6)。このことは、剪断抵抗値が高くなると含水比は低くなることになり、剪断抵抗値は舗装材に含まれる水分量に影響を受けることが明らかになった。

弾性沈下量と含水比との間に正の有意な相関関係が認められた (図 6)。このことから、舗装材の弾力性は、貫入抵抗値及び剪断抵抗値と同様、舗装材に含まれる水分量に影響されることが明らかになった。

これらの結果は、栗本ら³⁾の試験結果報告と一致した。

すなわち、含水比が高値を示すと、

- ①貫入抵抗値及び剪断抵抗値は低値を示す。
- ②弾性沈下量は高値を示す。

これらのことから、望ましいある一定の硬度を保つには、保水性のある土質にすることが望まれる。

均等係数 < 10 の場合、均等粒度と言われている。均等係数が最大なのは、A-8 の 9.17 である (表 2)。このことから、分析を行なった学校グラウンドの土粒子は全て均等粒度の範囲にあった。均等係数と各硬度試験の関係について、今回分析を行なった学校では明らかにできなかった。今後粒子と硬度の関係について明らかにして

いく必要がある。

久松ら¹⁴⁾は、学校グラウンドの粒子配合は粘土含有量は15～25% あるのが適当であると報告している。本研究で分析した学校グラウンドの粒子は、全てこの値よりも低値を示した(表2)。すなわち、久松らの研究結果と比較すると、粗粒土が多い。透水排水を考えた場合、粗粒土の方が元の状態に回復する時間が早く、適するのではないかと考えられる。粒子配合と硬度の関係について明らかにできなかったのは、舗装材の硬度は主に含有水分量に大きく影響されたためと考えられる。

一般に透水時間が早い方が適するか、遅い方が適するかは、表面排水にするか、透水排水にするかでとらえ方がちがう。表面排水を考えると、透水時間は遅い方が適する。しかし、学校グラウンドにおいては、その維持・管理などから表面排水は問題となろう。したがって透水排水を考えると、使用面から透水時間は早い方がグラウンドの回復が早い。仮に、透水最後の一滴が落ちた時間が30分以上かかる学校グラウンドは透水性が悪いとするならば、該当する学校はA-3、A-8、A-10である。A-3以外の学校は、貫入抵抗試験において貫入針φ6.5mmが使用できず、φ4.5mmを使用した学校である。このことは、貫入抵抗値が高値を示すと、透水時間は遅くなることわかる。剪断抵抗においても同様の傾向であった。弾性沈下量においては、その値が低値を示すと、透水時間は遅くなる傾向にあった。したがって、透水性の悪い学校グラウンドほど貫入抵抗値及び剪断抵抗値は高値を示し、弾性沈下量は低値を示すと推察される。

V. ま と め

本研究では、小学校グラウンドを対象にその表層土の現場試験及び各種土質試験を行なった。その結果以下のことが明らかになった。

1. 貫入抵抗値(貫入針φ6.5mm)と剪断抵抗値との間には、正の有意な相関関係が認められた($r=0.687$, $n=37$, $P<0.001$)。
2. 貫入抵抗値(貫入針φ6.5mm)と含水比との間に

は、負の有意な相関関係が認められた($r=-0.818$, $n=8$, $P<0.05$)。

3. 剪断抵抗値と含水比の間には、負の有意な相関関係が認められた($r=-0.869$, $n=10$, $P<0.01$)。
4. 透水時間の遅い学校において、貫入抵抗値及び剪断抵抗値は高値を示し、弾性沈下量は低値を示した。

文 献

- 1) 日本体育施設協会：学校体育施設，24-25，第一法規，1971。
- 2) 柏木大治：テニス，臨床スポーツ医学，1，No. 5，475-476，1984。
- 3) 日野一男：責任問われる施設用具の安全性，体育施設，No. 189，14-20，1986。
- 4) 明治神宮奉賛会：明治神宮外苑誌，153-161，1937。
- 5) 栗本義彦：オリンピック東京大会陸上競技場試験走路報告書，1962。
- 6) 日本体育施設協会：体育・スポーツ施設要覧，体育施設出版，1986。
- 7) 新田伸三：運動場走路の構造に関する研究，京都大学農学部付属演習林報告，32，98-168，1961。
- 8) 小濱正典：全天候型プラスチック表層のトラックおよびフィールド～素材の物理的特性と施工されたトラックの弾性について～，鹿児島経大論集，51-70，1973。
- 9) 小林一敏，菅原秀二：身体に与える合成樹脂系舗装材の力学的特性，順天堂大学保健体育紀要，No. 18，24-35，1975。
- 10) 小林ら：全天候型テニスコートの力学的特性に関する一考察，筑波大学体育科学系紀要，5，95-103，1982。
- 11) 久松貫海，水谷四郎：運動場管理の一考察～降雨との関係～，三重大学研究紀要，23集，1961。
- 12) 久松貫海：グラウンドの凍害に関する研究～異なる土壌を利用して～，三重大学研究紀要，29集，1963。
- 13) 土木学会：土木工学ハンドブック，技報堂，263-279，1975。
- 14) 日本体育施設協会：学校屋外運動場の整備指針，プレスゴムナスタカ，74，1982。