

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	セラミックタイルの表面粗さとすべりに関する研究
Title(English)	
著者(和文)	後藤和昌
Author(English)	
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第4350号, 授与年月日:2000年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野 英哲
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第4350号, Conferred date:2000/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

セラミックタイルの表面粗さとすべりに関する研究

2000 年 3 月

後藤 和昌

謝 辞

本研究を進めるにあたり、恩師、東京工業大学工学博士小野英哲教授には、研究の出発点から今日に至るまで常に懇切丁寧な御指導、御鞭撻を賜りました。記してここに心から感謝申し上げます。

(株) I N A X 技術統括部小栗健氏、景山弘一氏、山本章造氏には、多大なる御助力と御助言を頂きました。深く感謝申し上げます。

東京工業大学工学博士高橋宏樹助手、同大学技官石澤砂月氏には、多大なる御助力を頂きました。深く感謝申し上げます。

また、(株) I N A X 林弘専務取締役、藤沢寿郎取締役、空間デザイン研究所石田秀輝所長には、私の社会人ドクターコース入学に際し、ご尽力頂き、折に触れ御助言と励ましを頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

(株) I N A X の皆様、東京工業大学小野研究室の皆様に、検査員や被験者として実験に参加頂き、また励まして頂きました。心から感謝申し上げます。

最後になりましたが、研究の時間の融通に御助力を頂きました畑中政宏社長をはじめとする(株) I N A X エンジニアリングの皆様、橋田亮氏をはじめとする住彩館スタッフには心から感謝申し上げます。

目 次

第1章 序 論	1
§ 1. 1 研究の背景	2
§ 1. 2 研究の目的と範囲	2
§ 1. 3 既往の研究	4
§ 1. 4 研究方法の概要	6

第2章 靴履きでのすべりに対応する未使用セラミックタイルの表面粗さ特性値の抽出	7
§ 2. 1 本章の概要	8
2.1.1 本章の目的	8
2.1.2 本章の研究手法の概要	8
§ 2. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定	8
2.2.1 試料の設定	8
2.2.2 表面粗さの測定	8
(1) 測定条件	8
(2) すべり抵抗値との関係に用いる表面粗さの特性値の抽出	9
2.2.3 すべり抵抗値の測定	12
(1) すべり試験機の選定	12
(2) すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出	12
§ 2. 3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出	14
§ 2. 4 表面粗さの観点から所定の靴履きでのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示	25

第3章 素足でのすべりに対応する未使用セラミックタイルの表面粗さ特性値の抽出	26
§ 3. 1 本章の概要	27
3.1.1 本章の目的	27
3.1.2 本章の研究方法の概要	27
§ 3. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定	27
3.2.1 試料の設定	27
3.2.2 表面粗さの測定	27
3.2.3 すべり抵抗値の測定	28
(1) すべり試験機の選定	28
(2) すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出	28
§ 3. 3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出	28
§ 3. 4 表面粗さの観点から素足でのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示	34

第4章 実地摩耗によるセラミックタイルの表面粗さとすべりの変化の關係の把握	35
§ 4. 1 本章の概要	36
4.1.1 本章の目的	36
4.1.2 本章の研究方法の概要	36
§ 4. 2 歩行による実地摩耗試験	37
4.2.1 試料および試験床の設定	37
(1) 試料の選定	37
(2) 試験床の設置	37
4.2.2 歩行者、履き物、歩行動作および試験床の設置個所の設定	37
§ 4. 3 すべり抵抗値および表面粗さの測定	41
§ 4. 4 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出	60
§ 4. 5 表面粗さの観点から所定の靴履きでのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示	64

第5章 摩耗によるセラミックタイルのすべりの変化の推定方法の提示	69
§ 5. 1 本章の概要	70
5.1.1 本章の目的	70
5.1.2 本章の研究方法の概要	70
§ 5. 2 摩耗促進試験方法の骨子の設定	71
5.2.1 摩耗促進試験方法の基本機構の設定と簡易試験機の試作	71
5.2.2 研磨砥石の設定	71
(1) 研磨砥石の基本仕様の設定	71
(2) 研磨砥石の硬度の検討	73
(3) 研削粒子の粒度の検討	78
5.2.3 表面粗さ特性値 R_{pk} による摩耗促進試験方法の妥当性の検討	78
5.2.4 摩耗促進試験方法の骨子の設定	90
§ 5. 3 摩耗促進試験機の開発	90
§ 5. 4 摩耗によるセラミックタイルのすべりの変化の推定方法の提示	94
 第6章 結論	 98
 参考文献	 101
本研究に関連して発表した論文	104

第1章 序 論

§ 1. 1 研究の背景

§ 1. 2 研究の目的と範囲

§ 1. 3 既往の研究

§ 1. 4 研究方法の概要

§ 1. 1 研究の背景

床や路面（以降一括して床と呼ぶ）のすべりは、種々の動作を行う人の安全性・快適性にかかわる重要な性能で、これまで国内外において多くの貴重な研究がなされ、さまざまな測定方法およびすべりの限界値などが提案されている。我が国においては小野らにより、安全性・快適性の観点からすべりを定量的に評価する方法が提案され、すべりの妥当な評価は十分行えるようになっている^{1)~13)}。

しかしながら、すべりと床の表面特性の関係について明らかになっているとは言いがたいため、妥当なすべり抵抗を保持させるための床に用いる仕上材料（以降、単に仕上材料と呼ぶ）の開発に困難が山積しており、数多くの仕上材料が開発されているにもかかわらず、すべりの観点から見た場合、必ずしも満足できるものばかりではなく、すべりすぎに起因する転倒事故などがいまだに数多く発生している。

特に、一般にかたいセラミックタイルにおいては、転倒衝突時の衝撃吸収性を期待できないため、すべり具合の不都合により転倒などを誘発させないことが、安全性の観点から留意すべき最も重要な事柄となる。

しかし、セラミックタイルのすべりを左右すると考えられる諸要因に関する検討はなされてなく、特に主要な要因であると考えられる表面粗さとすべりの関係は未解決といえる。

§ 1. 2 研究の目的と範囲

本研究は、仕上材料の中からセラミックタイルに着目し、すべりに影響を及ぼすと考えられるセラミックタイル表面の諸要因（粗さ、粗大な凹凸、硬さ、粘着性など）のうち、最も重要な要因のひとつである表面粗さとすべりの関係を検討し、表面粗さの観点から所定のすべり抵抗を保持させる基本指針を提示し、妥当なすべりを持つセラミックタイルの合理的な開発の一助にすることを目的とする。

すべりについては、人が靴履きおよび素足で動作を行う時のすべりを研究の範囲とする。さらに、一般に試料の表面が清浄でかつ水、泥、石鹼水などのすべり

やすくなる介在物が存在しない場合はすべりすぎるなどの問題が発生しないことから、本研究では常にこれらの媒介物が介在することを条件とする。

セラミックタイルは同一材料を入手しやすい、様々な表面粗さを持つ試料を得ることができる、硬質堅牢なため表面粗さが研究期間中変化しないという条件を満足する。それ故、例えばやわらかいために表面粗さが押しつぶされるなどの変化はせず、表面粗さはつねに原形のまま存在することを基本とする。また、表面粗さと粗大な凹凸の区別を明確にすることは困難であるが、本研究ではノンスリップ性や意匠性の向上さらには盲人誘導および警告効果の向上などの観点から意図的に型付けされかつ高さ 1 mm 以上のエンボスを粗大な凹凸とみなして対象外とする。それ故、本研究で対象とする表面粗さは、セラミックタイルの表面全体に均等均質に付置されているものとし、かつ種々のセラミックタイルの調査結果から得られた表面粗さの最大高さである 1 mm を高さの限界値とする。

なお、表面粗さの観点から、妥当なすべりをもつ具体的なセラミックタイルの提示あるいは開発は、セラミックタイルのすべり抵抗値と表面粗さの関係が明らかになれば容易に行えると考えられるため、本研究の範囲外とする。さらに、すべりと粗大な凹凸、硬さ、粘着性などの関係については本研究の範囲外とする。

さらに、本研究においては、上述の表面粗さとすべりの関係に経時変化の観点を加え、人の歩行によるセラミックタイルの摩耗が、セラミックタイルのすべりおよび表面粗さに及ぼす影響を検討する。

他の床仕上材料と比較して相対的に硬質堅牢なセラミックタイルといえども、駅や繁華街など人の通行が非常に多い場所では、人の度重なる歩行により、初期のセラミックタイルのすべりが変化し、セラミックタイルの種類によっては滑りやすくなることもある。床仕上材料の耐摩耗性は、床仕上材料に要求される諸性能の中で、従来から注目されている代表的な性能であり、国内外において多くの研究が行われている。現状では、耐摩耗性の評価は主に摩耗促進試験方法によって行われているが、摩耗面の実際との近似性に関してはほとんど検討されてなく、かつ、比較的耐摩耗性に優れたセラミックタイルについては、摩耗量が他材料と比較して極端に少ないこともあり、いずれの試験方法による評価も、実際との相関が低いことが明らかになっている。以上の状況から、実際の摩耗を再現して、す

べりなどの他の性能の変化をすみやかに推定しようとする研究もなされていない。

以上から、本研究ではセラミックタイルを対象として、すべりの変化の観点から、人の歩行による実際の摩耗をすみやかに再現し、すべりの変化を推定する方法を確立することも目的とする。つまり、すべりの変化の観点から、実際との相関が高い摩耗促進試験機を設計・試作し、摩耗によるすべりの変化を推定する方法を提示することとする。さらに、いかなる理由によりすべり抵抗が変化するかを、セラミックタイルの表面粗さの変化を媒体として推定し、摩耗によるすべり抵抗の変化の少ないセラミックタイルの合理的な開発の一助とすることも目的とする。

なお、摩耗によるすべり抵抗の変化の少ない具体的なセラミックタイルの提示あるいは開発は、摩耗によるセラミックタイルのすべり抵抗値の変化と表面粗さの変化の関係が明らかになれば容易に行えると考えられるため、本研究の範囲外とする。さらに、摩耗による意匠性の変化、耐汚染性の変化などについては本研究の範囲外とする。

§ 1. 3 既往の研究

すべりについては、小野らにより、国内外に先がけ、人が種々の動作を行う時のすべりの程度を、実状と高い相関をもって測定できる方法、および、測定されたすべり抵抗値を用いて、安全性・快適性の観点からすべりを定量的に評価する方法が提案され、J I Sにも規定されるなど、すべりの妥当な評価は十分行えるようになっている^{1)~13)}。

次に、表面粗さについては、工業界の特に機械分野において、加工品の品質・機能の評価からその利用が始まり、紙、硝子、塗装材料など材料分野や電気・電子分野において、製品の品質・機能等の評価に関する研究へと広がっている。それらが対象とする表面粗さの凹凸は、mm単位の凹凸から、 μm 単位の微細な凹凸、nm や $\text{\AA}$ 単位の超微細な凹凸までという極めてオーダーの範囲が広く、各分野で目的に応じたオーダーの凹凸に着目し、それらの凹凸に適した測定機器を開発あるいは利用した研究が行われている。また、これらの研究において取り扱う表面粗さの特性値も、その目的に応じて種々の特性値が定義され利用されている

14)。なお、それらの特性値のうち、代表的な5種類が、J I S B 0 6 0 1に規定されている¹⁵⁾。

以上のように、すべりおよび表面粗さの研究は、それぞれ多くの貴重な研究が進められているが、本研究の主目的である表面粗さと人のすべりの関係については、国内外において、客観性のある結果が得られている研究報告は見当たらない。類似の研究例としては、すべり抵抗値と仕上材料の表面特性の関係を検討した達下らの研究¹⁶⁾が挙げられる。この研究では、英国式ポータブル・スキッド・レジスタンス・テスターによって測定されたBPN値と、砂式粗さ計によって測定された仕上材料表面の平均きめ深さ、ゴルフボール（GB）および鋼球（SB）による反発試験から求められたGB係数およびSB係数との関係を検討しているが、良好な関係が得られていない。さらにこの研究では、本研究で重要となる表面粗さを表示する方法を十分に検討していない点、すべり抵抗値を求める試験機の妥当性を検討していない点などにも大きな問題があり、示唆は認められるが本研究を行う上で参考になる点は少ないと言える。

次に、摩耗については、床仕上げ材料の耐摩耗性に関して、これまで多くの研究がなされており、摩耗量を推定する際に軸となるおもな摩耗試験機に関しては、以下のように言及できる。国内外においてよく用いられているテーバー式摩耗試験機 J I S K 7 2 0 4¹⁷⁾および落砂式摩耗試験機 J I S A 1 4 5 2¹⁸⁾による方法は、摩耗質量の減量で摩耗量を評価する試験法であるが、人の歩行による実際の摩耗とは合致しないとされている。吉岡丹博士によって研究開発され、J I S A 1 4 5 1¹⁹⁾にも規定されている摩耗試験機は、厚さの減少量を摩耗量とするもので、実際と合致するとされているが、セラミック系仕上材料については、実際との相関が不十分とされている²⁰⁾。さらに、これらの方法においては、摩耗面の実際との近似性、さらには摩耗と他性能の変化の関係をj検討は範囲外としていることから、これらの方法は、参考と位置づけることとする。

§ 1. 4 研究方法の概要

本研究では、大略以下の方法で研究を進めることとした。

- (1) 未使用のセラミックタイルを試料として、試料の表面粗さを表示することができると考えられる種々の特性値を測定するとともに、すべりを表示するすべり抵抗値を測定し、両者の関係を検討する。なお、すべり抵抗値としては、人が靴履きで動作を行う時のすべりを表示するすべり抵抗値と、人が素足で動作を行う時のすべりを表示するすべり抵抗値を測定する。
- (2) (1)の結果に基づき、すべりを左右するセラミックタイルの表面粗さの特性値を提示する。
- (3) セラミックタイルを試料として、人の歩行による実地摩耗試験を行い、摩耗前後におけるすべり抵抗値の変化、表面粗さの変化を把握する。また、(2)の結果を基礎的な知見として、摩耗したセラミックタイルにおけるすべり抵抗値と相関の高い表面粗さ特性値を究明する。
- (4) すべり抵抗値の変化および表面粗さ特性値の変化の観点から、実地摩耗試験結果をすみやかに再現する摩耗促進試験機を開発し、セラミックタイルの摩耗によるすべり抵抗の変化を短時間に推定する方法を提示する。

第2章 靴履きでのすべりに対応する未使用セラミックタイルの表面粗さ特性値の抽出

§ 2. 1 本章の概要

2.1.1 本章の目的

2.1.2 本章の研究方法の概要

§ 2. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定

2.2.1 試料の設定

2.2.2 表面粗さの測定

(1) 測定条件

(2) すべり抵抗値との関係に用いる表面粗さの特性値の抽出

2.2.3 すべり抵抗値の測定

(1) すべり試験機の選定

(2) すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出

§ 2. 3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

§ 2. 4 表面粗さの観点から靴履きでのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示

§ 2. 1 本章の概要

2.1.1 本章の目的

本章では、セラミックタイルの靴履きでのすべりと、セラミックタイルの表面粗さの関係を検討し、表面粗さの観点から所定のすべり抵抗値を保持させる基本指針を提示することを目的とする。なお、同一材料を入手しやすいという条件から、本章では未使用のセラミックタイルを対象とする。

2.1.2 本章の研究方法の概要

本章の研究方法の概要は以下の通りである。

- (1) 未使用のセラミックタイルを試料として、試料の表面粗さを表示することができると考えられる種々の特性値を測定するとともに、靴履きでのすべりを表示するすべり抵抗値を測定し、両者の関係を検討する。
- (2) (1)の結果に基づき、靴履きでのすべりを左右するセラミックタイルの表面粗さの特性値を提示する。

§ 2. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定

2.2.1 試料の設定

床の仕上材料として製造されたセラミックタイルのなかから、種々の表面粗さが含まれることを考慮し、44種類の未使用のセラミックタイルを試料として選定した。

2.2.2 表面粗さの測定

(1) 測定条件

表面粗さ計には、nmや μ m単位のマクロな粗さから、mm単位のマクロな粗さを測定対象とするものがあり、それらには2次元という平面を測定するものと3次元という立体面を測定するものがある。本研究で対象とする表面粗さは、セラミックタイルの表面粗さの最大高さである1 mmを高さの限界値としている

こと、かつセラミックタイルの表面全体に均等均質に粗さが付置されているものであることから、比較的短時間に $\mu\text{m}\sim\text{mm}$ の単位で2次元の表面粗さを測定できるデジタル型触針式表面粗さ計を使用することとした。

この表面粗さ計を使用して、表1および表2に示す測定条件で試料の2種類の断面曲線を測定した。断面曲線とは対象面の平均面に直角な平面で対象面を切断したとき、その切り口に現れる輪郭を示す曲線である。

ここで、P1曲線は試料表面の大きな凹凸の特性値を把握するための断面曲線であり、表1に示すように機器の測定限界に近い測定長さ80 mmとした。また、P2曲線は試料表面の小さな凹凸の特性値を把握するための断面曲線であり、表2に示すように測定長さを5 mmおよび触針送り速度を0.3 mm/sとして小さな凹凸のより詳細な情報が得られるよう設定した。

つぎに、P1曲線からすべり抵抗値と関連を持つと考えられる大きな凹凸成分（うねり）を抽出した表面粗さ特性値を算出するために、位相補償型デジタル低域フィルターを用いて、カットオフ値0.25 mmのうねり曲線（W1曲線）およびカットオフ値0.8 mmのうねり曲線（W2曲線）を求めた。

同様に、P2曲線からすべり抵抗値と関連を持つと考えられる微小な凹凸成分（粗さ）を抽出した表面粗さ特性値を算出するために、位相補償型デジタル高域フィルターを用いて、カットオフ値0.25 mmの粗さ曲線（R1曲線）およびカットオフ値0.8 mmの粗さ曲線（R2曲線）を求めた。ここで、上記4種類の曲線を、周期の小さい成分を多く含む順に並べると、R1, R2, W1, W2となる。

なお、カットオフ値は、1mm程度以下の凹凸を持つ表面粗さの凹凸成分を抽出および評価するときに現在工業界で一般的に用いられているカットオフ値の中から0.25 mmおよび0.8 mmを選定した。

(2)すべり抵抗値との関係に用いる表面粗さの特性値の抽出

本研究の目的を達成するためには、断面曲線、うねり曲線、粗さ曲線からなるべく多くの情報を抽出することが望ましいため、現在工業界で一般的に認知されているほぼ全ての表面粗さの特性値を測定した。測定した44種類のセラミックタイルにおける25の特性値の最大値、最小値をグループごとに表3に示す。

表1 断面(P1)曲線とうねり(W1, W2)曲線の測定条件

	断面曲線	うねり曲線	
	P1曲線	W1曲線	W2曲線
カットオフ	なし	0.25mm	0.8mm
測定長さ	80mm		
触針送り速度	3mm/s		
触針	5 μ mRダイヤモンド		

表2 断面(P2)曲線と粗さ(R1, R2)曲線の測定条件

	断面曲線	粗さ曲線	
	P2曲線	R1曲線	R2曲線
カットオフ	なし	0.25mm	0.8mm
測定長さ	5mm		
触針送り速度	0.3mm/s		
触針	5 μ mRダイヤモンド		

表3 表面粗さ特性値および各グループに共通する意味

グループ	表面粗さの特性値	単位	特性値の意味	最大値	最小値
1	中心線平均粗さ	μm	凹凸の高さ方向の性質を示す。	135.0	4.5
	自乗平均粗さ	μm		161.2	5.9
	最大高さ(JIS)	μm		684.2	44.3
	10点平均粗さ(DIN)	μm		505.2	15.7
	中心線山高さ	μm		375.0	11.2
	中心線谷深さ	μm		-29.6	-385.0
2	パイクスポットカウント	個	測定長さ方向における単位長さあたりの山や谷の数を示す。	204	1
	ピークカウント	個		228	2
	山ピークカウント	個		228	2
	谷ピークカウント	個		227	2
3	平均傾斜角	rad	微細形状の平均線に対する傾斜角の算術・自乗平均値。	0.179	0.002
	自乗平均傾斜角	rad		0.005	0.244
	表面長さ率	%		101.6	100.0
4	自乗平均波長	μm	振幅と周波数より求めた山と谷の平均間隔。	1407.3	30.8
5	ひずみ度	単位なし	高さ方向の確率密度分布曲線の対称性を示す。	2.67	-1.14
6	とがり度	単位なし	高さ方向の確率密度分布曲線のとがりかたを示す。	21.47	2.00
7	ベアリングレングス10%	%	山頂線からの確率密度分布曲線の累積値を示す(山頂付近)。	37.95	0.09
	ベアリングレングス20%	%		56.87	0.47
	ベアリングレングス30%	%		67.54	0.56
8	ベアリングレングス40%	%	山頂線からの確率密度分布曲線の累積値を示す(中間部分)。	74.52	0.68
	ベアリングレングス50%	%		81.84	0.85
	ベアリングレングス60%	%		95.26	1.77
9	ベアリングレングス70%	%	山頂線からの確率密度分布曲線の累積値を示す(谷底付近)。	99.02	8.61
	ベアリングレングス80%	%		99.65	29.03
	ベアリングレングス90%	%		99.90	66.43

※最大値、最小値は断面(P1)曲線における特性値である。

なお、各グループは、44試料のP1, R1, R2, W1, W2の各曲線から算出した全ての特性値の相関係数行列を用いて、各々の特性値間の相関を検討し、各特性値の間の相関係数が全て1%の危険率で有意で、かつ相関係数がほぼ0.7以上となるように分類したものであり、各グループに共通する意味の概要を表3に示した。

2.2.3 すべり抵抗値の測定

(1)すべり試験機の選定

人が種々の動作を行う場合の安全性や快適性の観点からのすべりを測定できる試験機として、現在、国内外で唯一妥当性の検証結果を公表している、小野らが開発したすべり試験機（O-Y・PSM）を用いることとした^{1)~13)}。

本試験機の概要は図1のとおりで、すべり片台座に所定のすべり片を貼付し、784N（80kgf）の鉛直荷重を載荷した状態で斜め上方（0.314rad）へ所定の荷重速度（784N/s）で引っ張った時の最大荷重を算出するもので、すべり抵抗値を表示するすべり抵抗係数（C.S.R）は、図2に示す荷重・時間曲線から、

$$C.S.R = P_{\max}(N) / 784(N)$$

として求めるものである。

(2)すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出

本研究では、試料表面に存在させる介在物およびすべり片を既往の研究^{2),9)}から、雨天時の屋外路面や水濡れの床などを靴履きで動作する場合に該当する条件として、次のように設定した。

媒介物：水（32g/m²）とJIS試験用ダスト7種（8g/m²）を散布

すべり片：硬質合成ゴム（ショア硬度76）靴底（C.S.R・Iの場合）

軟質ビニル（ショア硬度50，スポンジ状）靴底（C.S.R・IIの場合）

以上の条件で全ての試料のすべり抵抗係数（C.S.R・I，C.S.R・II）を測定した。

- | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|-------------|
| 1: メインスイッチ | 6: ストップスイッチ | 11: ユニバーサルジョイント | 16: 固定脚 |
| 2: 定速モーター | 7: 移動用車輪 | 12: 初期荷重調整器 | 17: ワイヤー |
| 3: 減速機 | 8: 重錘 | 13: 荷重変換器 | 18: 昇降器 |
| 4: ワイヤー巻取器 | 9: すべり片台座 | 14: ガイドレール | 19: 引張角度調整器 |
| 5: スタートスイッチ | 10: すべり片台座受 | 15: 引張荷重速度調整器 | 20: 滑車 |

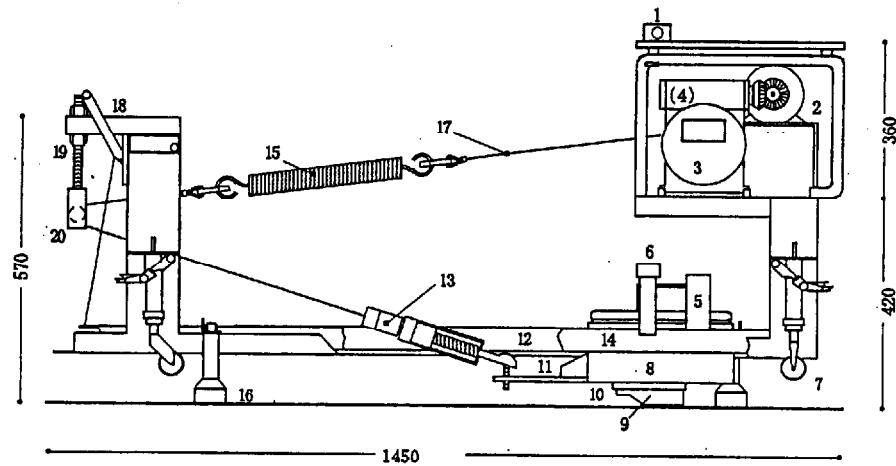


図1 すべり試験機O-Y・PSMの概要(立面図)

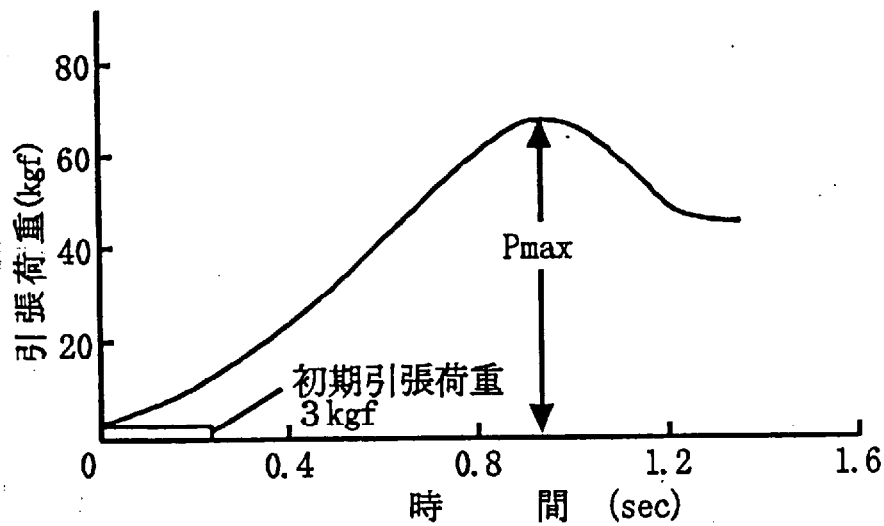


図2 引張荷重・時間曲線の例

§ 2.3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

2.2.2 に示した方法で求めた P 1, R 1, R 2, W 1, W 2 各曲線における表面粗さの諸特性値と、2.2.3 に示した方法で求めた 2 種類の靴履きでのすべり抵抗係数との単相関係数を求めた結果を表 4, 5 に示した。

表より、C.S.R・I と表面粗さの特性値との相関係数において、数多くの相関係数が 1 % あるいは 5 % の危険率で有意であるが、特に第 3 グループの P 1 曲線における特性値との相関係数が他の場合と比較して大きいことがわかる。さらにこれらの傾向は、C.S.R・II と表面粗さの特性値との相関係数においてもほぼ同様であることもわかる。

以上から、まず、第 3 グループのひとつの特性値とすべり抵抗係数との対応を検討することとし、第 3 グループに属する特性値の中から、妥当なセラミックタイルを開発するという観点から見て、最も物理的な意味が理解しやすい、P 1 曲線における平均傾斜角 ($P\theta a$) を説明変数、C.S.R・I および C.S.R・II を目的変数として単相関分析を行った。

導いた単回帰式を以下に示し、散布図を図 3, 4 に示す。

$$Y_1 = 1.314 X_1 + 0.473 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_2 = 1.200 X_1 + 0.306 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Y_1 : すべり抵抗係数 (C.S.R・I)

Y_2 : すべり抵抗係数 (C.S.R・II)

X_1 : P 1 曲線における平均傾斜角 ($P\theta a$)

なお、参考のために平均傾斜角の意味を図 5 に示す

図 3, 図 4 から、いずれの関係においてもすべり抵抗係数と特性値 (平均傾斜角 $P\theta a$) の関係は危険率 1 % で有意で対応があるといえる。しかしながら、他のいくつかの特性値を追加すればより対応が向上する可能性も見受けられるため、次の検討を行った。

すべり抵抗係数 C.S.R・I および C.S.R・II を目的変数、P 1 曲線における表面粗さのいくつかの特性値を説明変数として、変数増減法 ($F_{in} = F_{out} = 2.0$) による重回帰分析を行った。なお、類似した意味を持つ説明変数が 1 つの重回帰式に含まれないことおよび妥当なセラミックタイルの開発において特性

表4 表面粗さの特性値とすべり抵抗係数(C.S.R・I)の相関係数

グループ	表面粗さ特性値	C.S.R・I				
		P1曲線	R1曲線	R2曲線	W1曲線	W2曲線
1	中心線平均粗さ	0.541**	0.675**	0.530**	0.539**	0.537**
	自乗平均粗さ	0.560**	0.650**	0.529**	0.559**	0.555**
	最大高さ(JIS)	0.649**	0.564**	0.525**	0.643**	0.616**
	10点平均粗さ(DIN)	0.600**	0.683**	0.605**	0.593**	0.577**
	中心線山高さ	0.594**	0.570**	0.500**	0.588**	0.581**
	中心線谷深さ	-0.630**	-0.480**	-0.442**	-0.624**	-0.611**
2	パイスポットカウント	-0.007	-0.005	-0.098	0.024	-0.071
	ピークカウント	-0.025	-0.391**	-0.355*	0.004	-0.076
	山ピークカウント	-0.025	-0.391**	-0.355*	0.004	-0.076
	谷ピークカウント	-0.026	-0.396**	-0.360*	0.004	-0.076
3	平均傾斜角	0.783**	0.671**	0.693**	0.704**	0.552**
	自乗平均傾斜角	0.790**	0.705**	0.734**	0.713**	0.569**
	表面長さ率	0.751**	0.619**	0.651**	0.652**	0.552**
4	自乗平均波長	-0.195	0.300*	0.202	-0.250	-0.270
5	ひずみ度	0.058	0.266	0.054	0.048	0.069
6	とがり度	-0.107	-0.224	-0.337*	-0.102	-0.099
7	ヘアリングレングス10%	-0.383*	0.019	0.098	-0.393**	-0.388**
	ヘアリングレングス20%	-0.307*	-0.016	0.081	-0.325*	-0.318*
	ヘアリングレングス30%	-0.179	-0.092	-0.009	-0.194	-0.191
8	ヘアリングレングス40%	-0.080	-0.065	-0.049	-0.090	-0.104
	ヘアリングレングス50%	-0.015	-0.188	-0.188	-0.028	-0.045
	ヘアリングレングス60%	0.161	-0.218	-0.163	0.018	-0.014
9	ヘアリングレングス70%	0.081	-0.153	-0.106	0.074	0.032
	ヘアリングレングス80%	0.055	-0.125	-0.115	0.060	0.037
	ヘアリングレングス90%	-0.054	-0.054	-0.133	-0.047	-0.062

*: $r(42, 0.05) = 0.299$ **: $r(42, 0.01) = 0.384$

表5 表面粗さの特性値とすべり抵抗係数(C.S.R・Ⅱ)の相関係数

グループ	表面粗さ特性値	C.S.R・Ⅱ				
		P1曲線	R1曲線	R2曲線	W1曲線	W2曲線
1	中心線平均粗さ	0.644**	0.661**	0.661**	0.643**	0.640**
	自乗平均粗さ	0.658**	0.633**	0.645**	0.657**	0.653**
	最大高さ(JIS)	0.708**	0.588**	0.583**	0.700**	0.687**
	10点平均粗さ(DIN)	0.688**	0.632**	0.646**	0.680**	0.662**
	中心線山高さ	0.646**	0.577**	0.481**	0.640**	0.635**
	中心線谷深さ	-0.689**	-0.516**	-0.563**	-0.680**	-0.661**
2	パイスボットカウント	-0.144	-0.253	-0.294	-0.102	-0.169
	ピークカウント	-0.165	-0.328*	-0.310*	-0.133	-0.177
	山ピークカウント	-0.166	-0.328*	-0.310*	-0.133	-0.177
	谷ピークカウント	-0.166	-0.328*	-0.309*	-0.133	-0.178
3	平均傾斜角	0.783**	0.408**	0.438**	0.772**	0.599**
	自乗平均傾斜角	0.787**	0.435**	0.476**	0.760**	0.584**
	表面長さ率	0.812**	0.425**	0.468**	0.799**	0.685**
4	自乗平均波長	0.128	0.416**	0.410**	0.063	0.029
5	ひずみ度	-0.092	0.076	-0.042	-0.074	-0.069
6	とがり度	-0.255	-0.007	-0.088	-0.246	-0.244
7	ヘアリングレングス10%	-0.144	-0.078	0.299*	-0.158	-0.159
	ヘアリングレングス20%	-0.096	-0.013	0.286	-0.122	-0.119
	ヘアリングレングス30%	-0.021	-0.043	0.218	-0.044	-0.038
8	ヘアリングレングス40%	0.046	-0.022	0.114	0.032	0.020
	ヘアリングレングス50%	0.069	-0.166	-0.024	0.051	0.036
	ヘアリングレングス60%	0.143	-0.130	-0.025	0.035	0.012
9	ヘアリングレングス70%	0.124	-0.060	0.057	0.109	0.048
	ヘアリングレングス80%	0.128	-0.072	0.015	0.129	0.088
	ヘアリングレングス90%	0.044	-0.127	-0.013	0.048	0.014

*: $r(42, 0.05) = 0.299$ **: $r(42, 0.01) = 0.384$

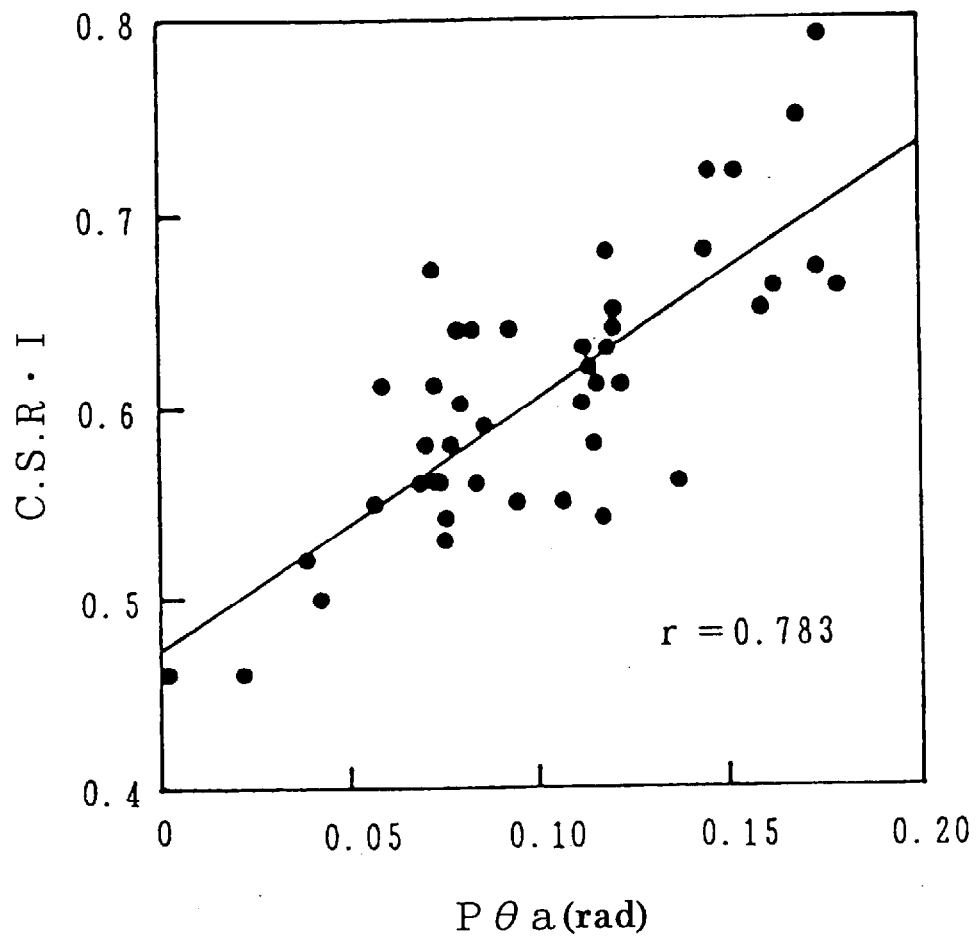


図3 C.S.R. · I と $P \theta a$ の関係

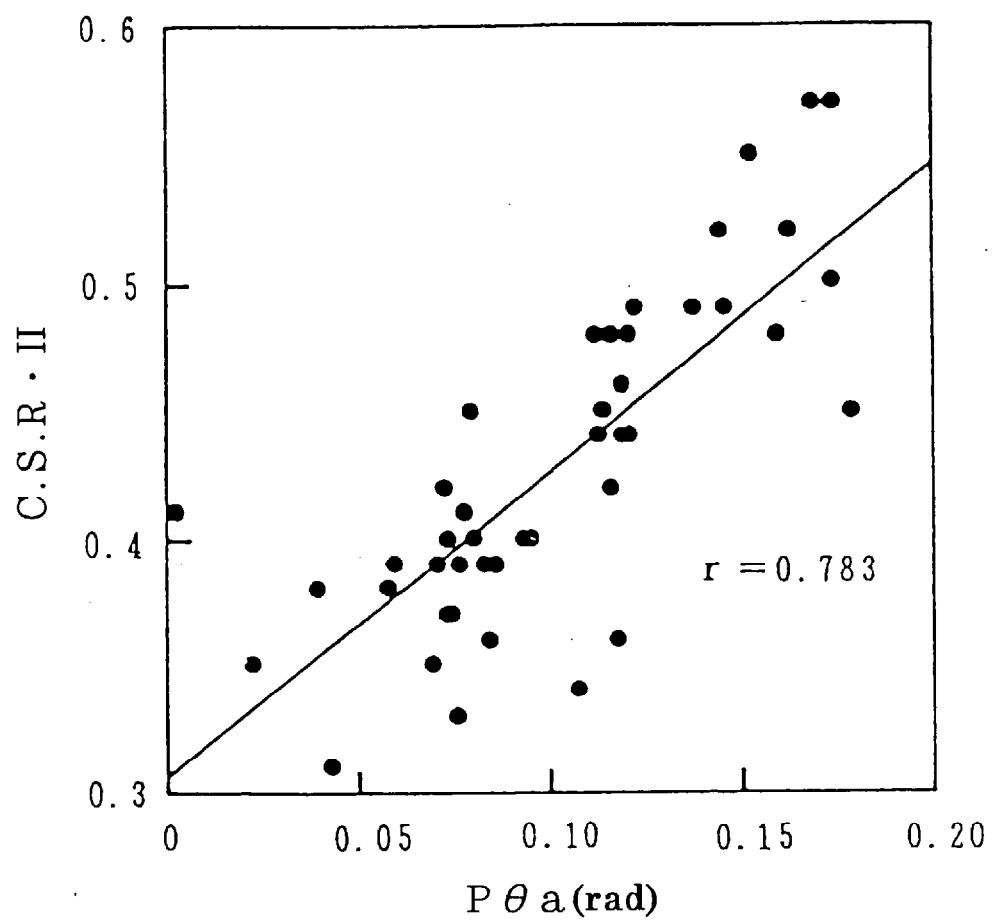


図4 C.S.R.・IIと $P \theta a$ の関係

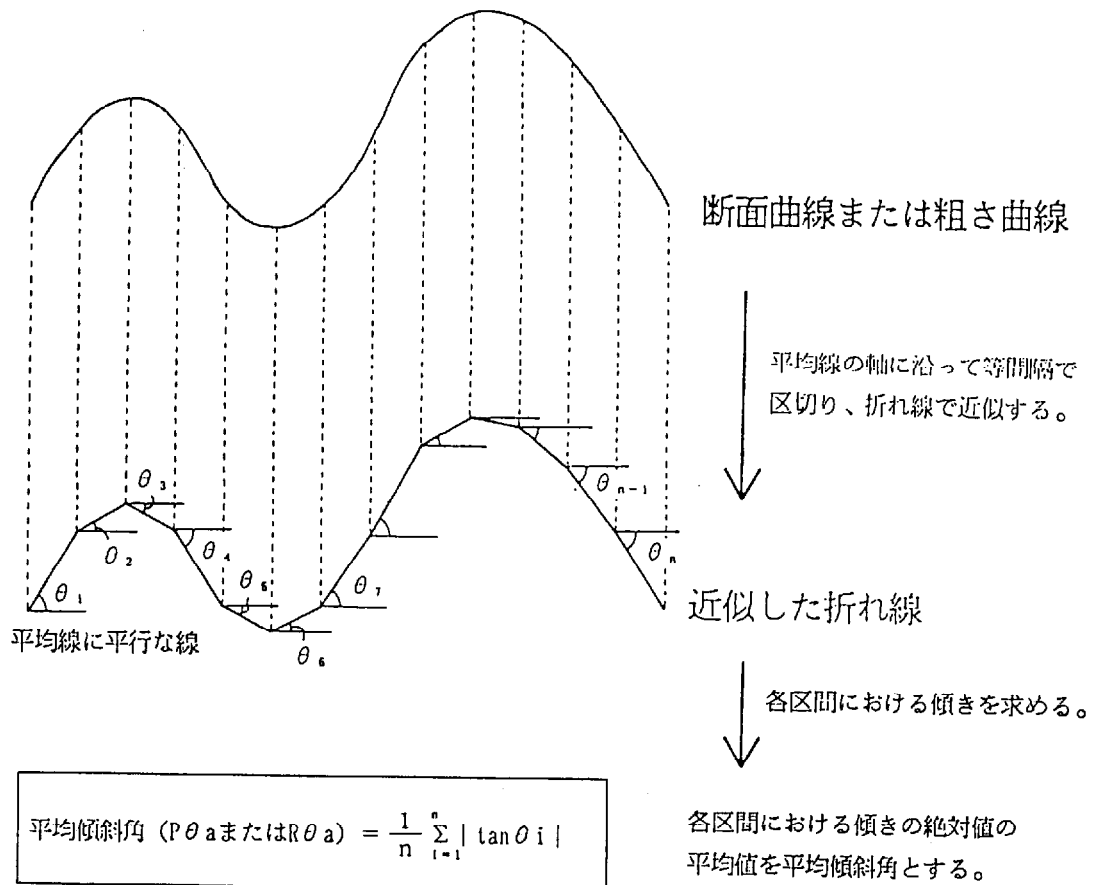


図5 平均傾斜角 (P θ a, R θ a) の意味

値の意味が理解しやすいことを考慮して、表3に示す9グループ各々から1個、計9個の特性値を説明変数として選定した。なお、これらの特性値は、第3グループの平均傾斜角のほか他のグループから抽出した8つの特性値、中心線平均粗さ、ハイスポットカウント、自乗平均波長、ひずみ度、とがり度、ベアリングレングス(20%)、ベアリングレングス(50%)、ベアリングレングス(80%)である。

得られた重回帰式を以下に、散布図を図6、図7に示す。

$$Y_1 = 1.263X_1 + 0.001X_2 + 0.489 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y_2 = 1.200X_1 + 0.306 \quad \dots\dots\dots (4)$$

Y_1 : すべり抵抗係数 (C.S.R・I)

Y_2 : すべり抵抗係数 (C.S.R・II)

X_1 : P1曲線における平均傾斜角 ($P\theta a$)

X_2 : P1曲線におけるベアリングレングス20% (Ptp_{20})

ここで、各単回帰式(1)、(2)と重回帰式(3)、(4)の各々の相関係数および説明変数を比較した結果が表6のとおりで、図3、図4と図6、図7の比較からも明らかなように、各単回帰式において採用された説明変数(平均傾斜角 $P\theta a$)が重回帰式においても採用されていること、重回帰式においては説明変数の数が増加する場合もあるが、相関はあまり改善されないことが明らかになった。なお、重回帰分析によって新たに採用された特性値ベアリングレングスの意味を図8に示す。

以上から、表面粗さによりセラミックタイルのすべり抵抗を変化させる場合、開発時に要求される条件の単純さ、さらには容易さを考慮すれば、式(1)、(2)から、断面曲線における平均傾斜角 $P\theta a$ を変化させれば、総じて十分であるといえることができる。

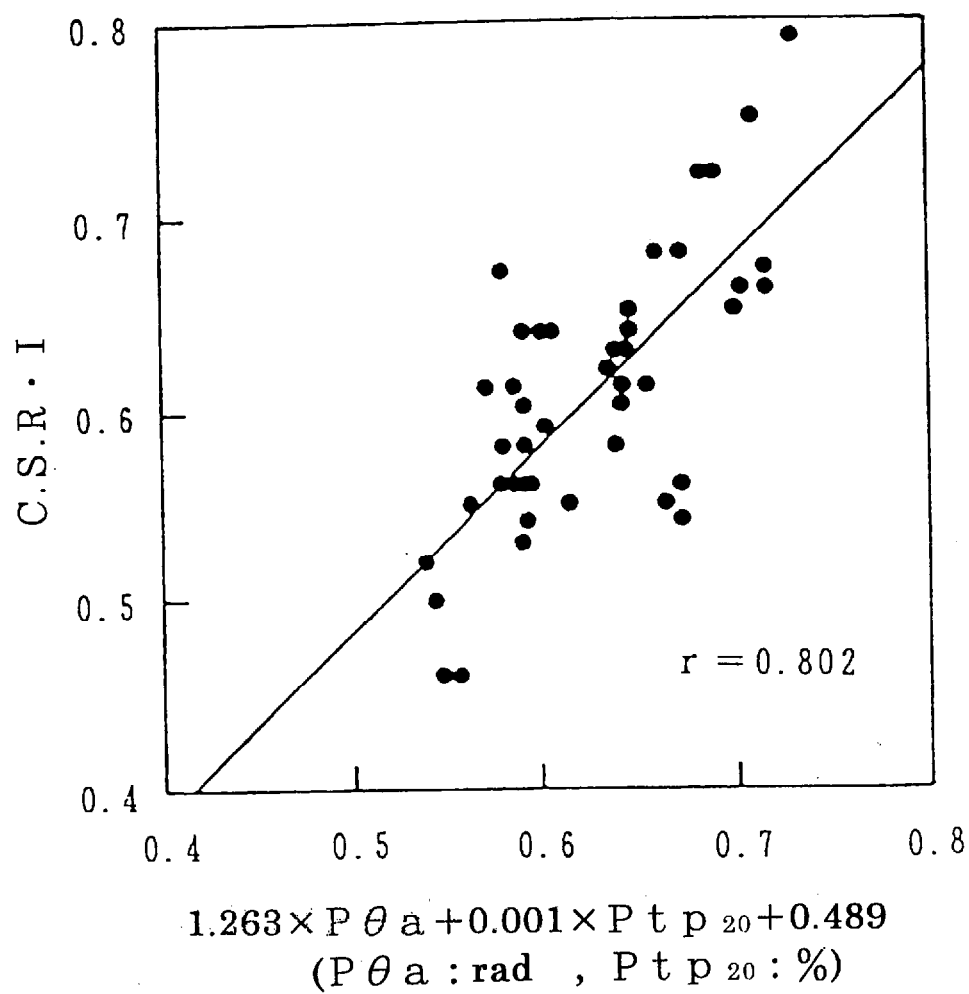


図6 式(3)における左辺と右辺の関係

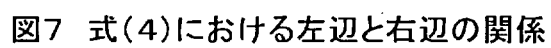
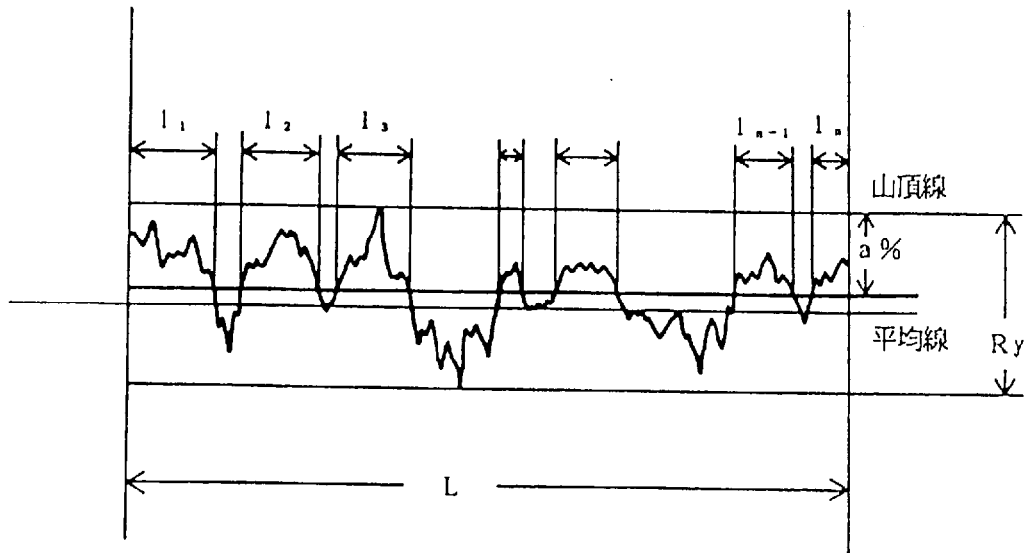


表6 単回帰式と重回帰式の相関係数および説明変数

	相関係数	説明変数
単回帰式 式(1)	0.783	P1曲線における平均傾斜角($P\theta_a$)
単回帰式 式(2)	0.783	P1曲線における平均傾斜角($P\theta_a$)
重回帰式 式(3)	0.802	P1曲線における平均傾斜角($P\theta_a$), P1曲線におけるヘアリングレングス20%(Ptp_{20})
重回帰式 式(4)	0.783	P1曲線における平均傾斜角($P\theta_a$)



$$t_p (\%) = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{L} \times 100 (\%)$$

t_p : 切断レベル a (山頂部から深さ a (単位: μm)
 または最大高さ R_y に対する比すなわち a/R_y (%))
 におけるベアリングレングス (%)。

図8 ベアリングレングス(P_{tp} , R_{tp})の意味

§ 2. 4 表面粗さの観点から靴履きでのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示

これまでに得られた成果から、所定のすべり抵抗係数を保持させるためのセラミックタイル表面の粗さの開発指針を次のように提示する。

人が靴などの履き物を着用して動作することが主となる床のセラミックタイルの表面の場合、断面曲線（P 1 曲線）における平均傾斜角($P \theta a$)が大きいこと、つまり微細な粗さ（例えば波長 0.25 mm 以下の小さい凹凸）から大きなうねり（例えば波長 0.8 mm 以上の大きな凹凸）まで全ての波長にわたる凹凸を数多く存在させることによってすべり抵抗係数を増大させることができる。

第3章 素足でのすべりと対応する未使用セラミックタイルの表面粗さ特性値の抽出

§ 3. 1 本章の概要

3.1.1 本章の目的

3.1.2 本章の研究方法の概要

§ 3. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定

3.2.1 試料の設定

3.2.2 表面粗さの測定

3.2.3 すべり抵抗値の測定

(1) すべり試験機の選定

(2) すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出

§ 3. 3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

§ 3. 4 表面粗さの観点から素足でのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示

§ 3. 1 本章の概要

3.1.1 本章の目的

本章では、セラミックタイルの素足でのすべりと、セラミックタイルの表面粗さの関係を検討し、表面粗さの観点から所定のすべり抵抗値を保持させる基本指針を提示することを目的とする。なお、第2章と同じ理由により、未使用のセラミックタイルを対象とする。

3.1.2 本章の研究方法の概要

本章の研究方法の概要は以下の通りである。

- (1) 未使用のセラミックタイルを試料として、試料の表面粗さを表示することができると考えられる種々の特性値を測定するとともに、素足でのすべりを表示するすべり抵抗値を測定し、両者の関係を検討する。
- (2) (1)の結果に基づき、素足でのすべりを左右するセラミックタイルの表面粗さの特性値を提示する。

§ 3. 2 表面粗さおよびすべり抵抗値の測定

3.2.1 試料の設定

第2章で試料として使用した44種類のセラミックタイルを、本章においても試料として設定した。

3.2.2 表面粗さの測定

第2章で測定した表面粗さおよび抽出した表面粗さの特性値を、本章における検討においても使用した。

3.2.3 すべり抵抗値の測定

(1)すべり試験機の選定

第2章で、人が種々の動作を行う場合の安全性や快適性の観点からすべりを測定できるすべり試験機として選定したO-Y・PSMを本章でも選定した。

素足でのすべり抵抗値を表示するすべり抵抗係数(C.S.R・B)は

$$C.S.R \cdot B = \{P_{\max}(N) + P_{\min}(N)\} / 784(N)$$

として求めるものである。

(2)すべり抵抗値の測定条件の設定およびすべり抵抗係数の算出

本研究では、試料表面に存在させる介在物およびすべり片を既往の研究^{2),3)}から、水濡れのプールサイド床や浴室床を素足で動作する場合に該当する条件として、次のように設定した。

媒介物：水 300 gにジョンソン社製ベビーパウダー1 gを混入した液体を
十分に散布

すべり片：ゴム製ノンスリップシート

以上の条件で全ての試料のすべり抵抗係数(C.S.R・B)を測定した。

§ 3. 3 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

3.2.2 に示した方法で求めたP 1, R 1, R 2, W 1, W 2各曲線における表面粗さの諸特性値と 3.2.3 に示した方法で求めたのすべり抵抗係数との単相関係数を求めた結果を表7に示した。

表より、C.S.R・Bと表面粗さの特性値との相関係数においても、数多くの相関係数が1%あるいは5%の危険率で有意であるが、有意となった特性値の中で特に第3グループに属するR 1曲線における特性値との相関係数が大きいことがわかる。

以上から、まず、第3グループのひとつの特性値とすべり抵抗係数との対応を検討することとし、第3グループに属する特性値の中から、妥当なセラミックタイルを開発するという観点から見て、最も物理的な意味が理解しやすい、R 1曲

表7 表面粗さの特性値とすべり抵抗係数(C.S.R・B)の相関係数

グループ	表面粗さの特性値	C.S.R・B				
		P1曲線	R1曲線	R2曲線	W1曲線	W2曲線
1	中心線平均粗さ	0.388**	0.510**	0.240	0.386**	0.384**
	自乗平均粗さ	0.397**	0.442**	0.216	0.396**	0.394**
	最大高さ(JIS)	0.374*	0.355*	0.233	0.365*	0.356*
	10点平均粗さ(DIN)	0.382*	0.555**	0.353*	0.370*	0.363*
	中心線山高さ	0.278	0.273	0.142	0.268	0.265
	中心線谷深さ	-0.425**	-0.380*	-0.273	-0.419**	-0.419**
2	パイスボットカウント	0.280	0.477**	0.384**	0.250	0.100
	ピークカウント	0.287	-0.181	-0.043	0.250	0.109
	山ピークカウント	0.286	-0.181	-0.043	0.250	0.109
	谷ピークカウント	0.285	-0.189	-0.054	0.249	0.108
3	平均傾斜角	0.747**	0.928**	0.909**	0.512**	0.349*
	自乗平均傾斜角	0.684**	0.929**	0.907**	0.444**	0.313*
	表面長さ率	0.685**	0.874**	0.863**	0.429**	0.324*
4	自乗平均波長	-0.271	-0.049	-0.180	-0.247	-0.235
5	ひずみ度	-0.134	-0.065	-0.217	-0.144	-0.129
6	とがり度	-0.188	-0.313*	-0.345*	-0.193	-0.186
7	ヘアリングレングス10%	-0.213	-0.035	0.029	-0.200	-0.173
	ヘアリングレングス20%	-0.089	0.138	0.102	-0.067	-0.042
	ヘアリングレングス30%	0.048	0.191	0.116	0.073	0.077
8	ヘアリングレングス40%	0.160	0.202	0.190	0.171	0.155
	ヘアリングレングス50%	0.200	0.137	0.135	0.206	0.177
	ヘアリングレングス60%	0.282	0.078	0.198	0.176	0.152
9	ヘアリングレングス70%	0.172	0.075	0.235	0.160	0.126
	ヘアリングレングス80%	0.122	0.085	0.231	0.119	0.097
	ヘアリングレングス90%	-0.001	0.068	0.161	-0.014	-0.042

* $r(42, 0.05) = 0.299$ ** $r(42, 0.01) = 0.384$

線における平均傾斜角 $R\theta a$ を説明変数、C.S.R・B を目的変数として導いた単回帰式を以下に示し、散布図を図9に示す。

$$Y_3 = 4.273X_3 + 0.223 \quad \dots\dots\dots (5)$$

Y_3 : すべり抵抗係数 (C.S.R・B)

X_3 : R1 曲線における平均傾斜角 ($R\theta a$)

図9から、すべり抵抗係数と特性値 (平均傾斜角 $R\theta a$) の関係は危険率1%で有意で対応があるといえる。しかしながら、他のいくつかの特性値を追加すればより対応が向上する可能性も見受けられるため、次の検討を行った。

すべり抵抗係数 C.S.R・B を目的変数、R1 曲線における表面粗さのいくつかの特性値を説明変数として変数増減法 ($F_{in} = F_{out} = 2.0$) による重回帰分析を行った。なお、類似した意味を持つ説明変数が1つの重回帰式に含まれないことおよび妥当なセラミックタイルの開発において特性値の意味が理解しやすいことを考慮して、第2章と同様に表3および表7に示す9グループ各々から1個計9個の特性値を説明変数として選定した。

得られた重回帰式を以下に、散布図を図10に示す。

$$Y_3 = 4.417X_3 - 0.011X_4 + 0.228 \quad \dots\dots\dots (6)$$

Y_3 : すべり抵抗係数 (C.S.R・B)

X_3 : R1 曲線における平均傾斜角 ($R\theta a$)

X_4 : R1 曲線におけるベアリングレングス20% (R_{tp20})

ここで、各単回帰式 (5) と重回帰式 (6) の相関係数および説明変数を比較した結果が表8のとおりで、図9と図10の比較からも明らかなように、各単回帰式において採用された説明変数 ($R\theta a$) が重回帰式においても採用されていること、重回帰式においては説明変数の数は増加するが、相関はあまり改善されないことが明らかになった。

以上から、表面粗さによりセラミックタイルのすべり抵抗を変化させる場合、開発時に要求される条件の単純さ、さらには容易さを考慮すれば、式 (5) から、粗さ曲線における平均傾斜角 ($R\theta a$) を変化させれば、総じて十分であるということができる。

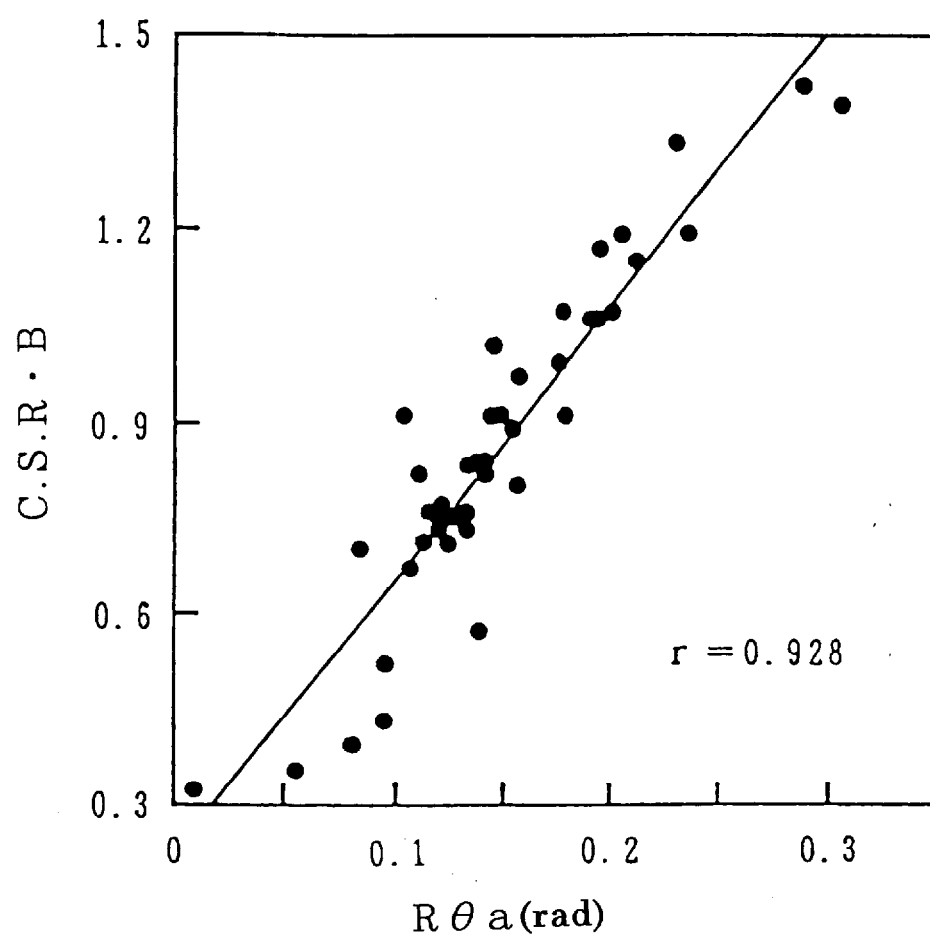


図9 C.S.R·Bと $R \theta a$ の関係

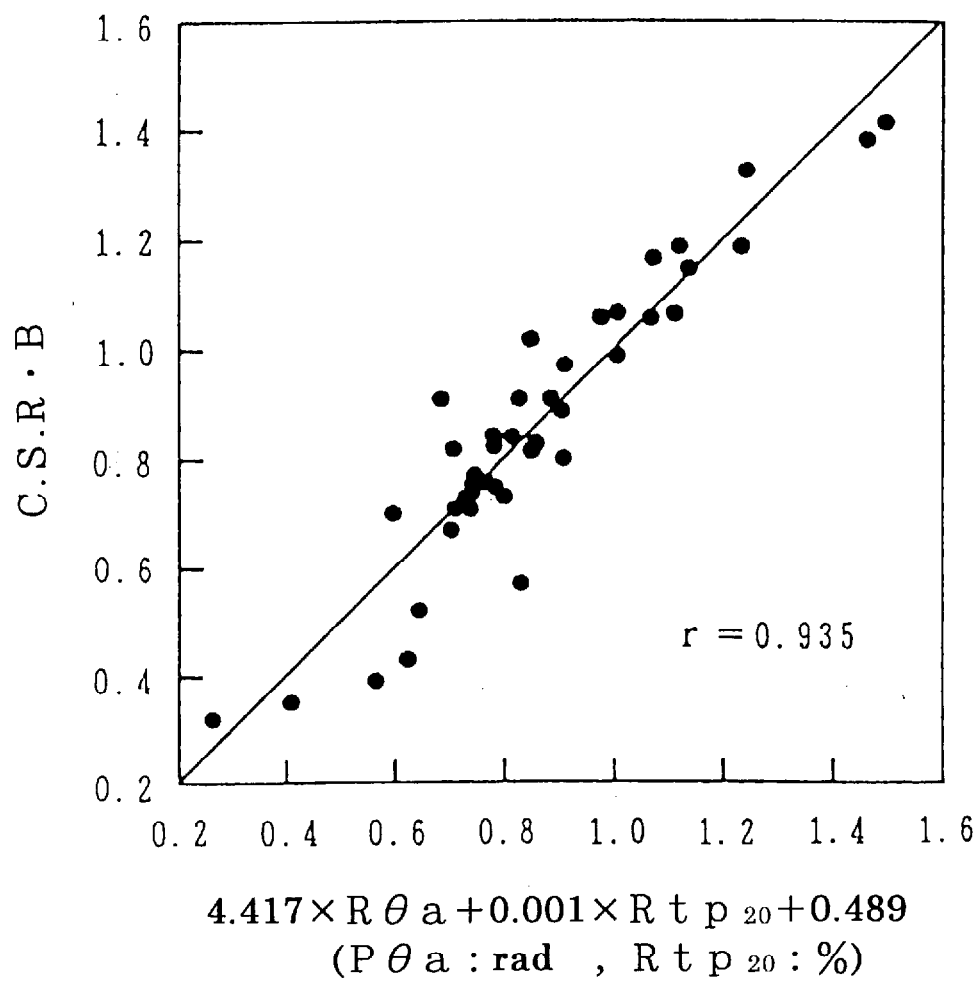


図10 式(6)における左辺と右辺の関係

表8 単回帰式と重回帰式の相関係数および説明変数

	相関係数	説明変数
単回帰式 式(5)	0.928	R1曲線における平均傾斜角($R\theta_a$)
重回帰式 式(6)	0.935	R1曲線における平均傾斜角($R\theta_a$), R1曲線におけるヘアリングレングス20%(Rtp_{20})

§ 3. 4 表面粗さの観点から素足でのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示

これまでに得られた成果から、所定のすべり抵抗係数を保持させるためのセラミックタイルの表面の粗さの開発指針を次のように提示する。

プールサイドや浴室のように人が素足で動作することが主となる床のセラミックタイルの表面は、粗さ曲線（R 2 曲線）における平均傾斜角（ $R \theta a$ ）が大きいこと、つまり微細な凹凸（例えば波長 0.25 mm 以下の小さい凹凸）を数多く存在させることによってすべり抵抗係数を増大させる事ができる。なお、大きいうねり（例えば波長 0.8 mm 以上の大きい凹凸）の存在がすべり抵抗係数を増大させるとは言えないことに留意する必要がある。

第4章 実地摩耗によるセラミックタイルの表面粗さとすべりの変化の 関係の把握

§ 4. 1 本章の概要

4.1.1 本章の目的

4.1.2 本章の研究方法の概要

§ 4. 2 歩行による実地摩耗試験

4.2.1 試料および試験床の設定

(1) 試料の選定

(2) 試験床の設置

4.2.2 歩行者、履き物、歩行動作および試験床の設置個所の設定

§ 4. 3 すべり抵抗値および表面粗さの測定

§ 4. 4 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

§ 4. 5 表面粗さの観点から靴履きでのすべり抵抗を保持させるための 表面粗さの基本指針の提示

§ 4. 1 本章の概要

4.1.1 本章の目的

第2章、第3章において、未使用のセラミックタイルを試料として、靴履きおよび素足でのすべりと表面粗さの関係を検討した。

セラミックタイルは、硬質堅牢な材料であり、プールサイドや浴室のように人が素足で動作することが主となる床に仕上材料として用いられる場合、通常の使用条件下では、初期のすべりが大きく変化するほどにその表面が摩耗してしまうことは極めて稀と考えられる。しかし、人が靴などの履き物を着用して動作することが主となる床のセラミックタイルとして用いられる場合には、実際の摩耗量はわずかであっても、初期のすべりが大きく変化するほどにその表面が摩耗してしまうことも多い。

以上の背景から、本章では、人の靴履きでの歩行による実地摩耗試験を行い、いかなる理由によりすべり抵抗が変化するかを、セラミックタイルの表面粗さの変化を媒体として推定し、摩耗によるすべり抵抗の変化の少ないセラミックタイルの合理的な開発の一助とすることを目的とする。

4.1.2 本章の研究手法の概要

本章の研究手法の概要は、以下の通りである。

- (1) セラミックタイルを試料として、人の靴履きでの歩行による実地摩耗試験を行う。
- (2) 摩耗前後におけるすべり抵抗値の変化および表面粗さの変化を把握する。
- (3) 摩耗したセラミックタイルにおけるすべり抵抗値と相関の高い表面粗さ特性値を究明する。
- (4) (3)の結果に基づき、摩耗によるすべりの変化の観点を含め、靴履きでのすべりを左右するセラミックタイルの表面粗さの特性値をあらためて提示する。

§ 4. 2 歩行による実地摩耗試験

4.2.1 試料および試験床の設定

(1)試料の選定

試料として、表 9 に示すセラミックタイル 7 種類および自然石 1 種類を選定した。なお、セラミックタイルの選定にあたっては、施釉の有無、表面の凹凸、研磨仕上げの有無および吸水率を考慮した。

各試料は目地がなく、かつ、歩行者が自然に着地、踏み出し動作を出来ること、表面粗さを無理なく測定できること、の観点から 1 辺が約 30 c m の正方形の試料とした。

なお、表面粗さを測定するための基準点を保護するため、歩行方向に平行する試料の両端に幅 5 c m の布製テープを貼付した。

(2)試験床の設置

試験中に試料が破損しないこと、歩行の際のがたつきがないことなどの観点から、木箱の中に下地材としてモルタルを充填し表面仕上材として上述の試料をはりつけ、約 1 ヶ月間養生したものを試験床とした。試験床の詳細をすべり及び表面粗さの測定箇所とともに図 1 1 に示す。これらの試験床を、表面粗さの測定や試料の設置箇所の変更のため、取り外しが容易に出来るように床基盤に取り付けた固定枠にはめこみ、試験に供した。

試料の表面に存在させる介在物として、J I S R 5 2 0 1 ²¹⁾に規定する豊浦標準砂を選定し、標準砂を入れた箱を歩行者が歩行することにより、履き物の裏面に付着した砂が試料の上に自然に導入されるようにした。試料上に持ち込まれた砂は 1 0 0 0 歩毎に除去し、過剰な介在物による影響が無いよう注意した。なお、介在物は、実際の場面において摩耗負荷が大きい場合を想定して選定したものである。試験床などの配置を図 1 2 に示す。

4.2.2 歩行者、履き物、歩行動作および試験床の設置個所の設定

成人男女 20 名が交代で、試験床を往復歩行することとした。靴は、各々が通常はいている一般的な紳士靴、スニーカー、ローヒール靴などとし、作業靴、登

表9 実地摩耗試験に使用した試料

試料	面状	吸水率(%)
1. セラミックタイル	無釉のこたたき面	0.28
2. セラミックタイル	無釉の平滑面	1.43
3. セラミックタイル	少量の施釉の平滑面	0.69
4. セラミックタイル	無釉の研磨面	0.70
5. セラミックタイル	無釉のこたたき面	3.46
6. セラミックタイル	防滑粒子を含んだ施釉面	0.20
7. セラミックタイル	防滑粒子を含んだ施釉面	0.49
8. 自然石(大理石)	本磨き面	0.15

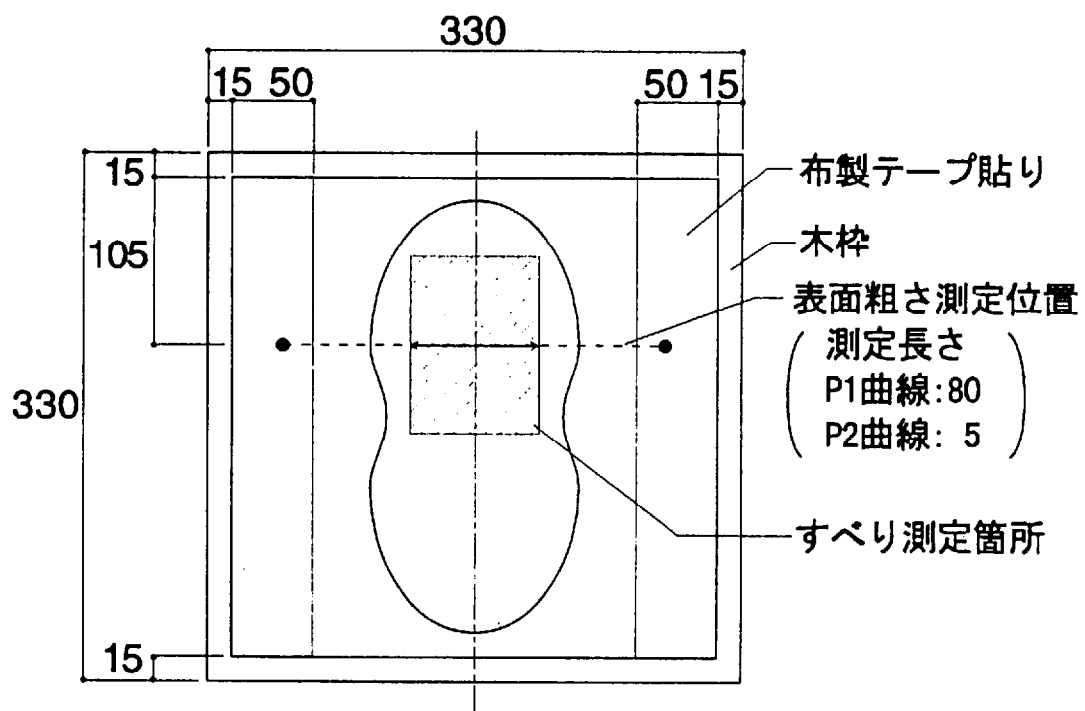


図11 試験床および表面粗さの測定箇所(単位:mm)

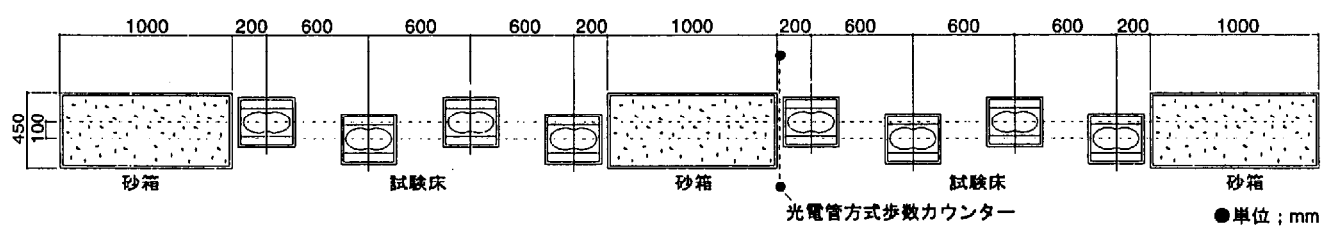


図12 実地摩耗試験での試験床などの配置(単位:mm)

山靴、ハイヒールなどの非日常的な靴の使用は禁止した。歩行は、自然な歩行とし、駆け足、ダッシュ、急停止などの動作は行わないこと、設置した試料のほぼ中心に着地するように指示した。

なお、試験床を1人の被験者が1回歩行することを1歩と数え、1つの試験床につき合計12万歩まで歩行を行った。また、試料床を設置した場所の影響を排除するため、1万歩ごとに試料床の設置個所を変更した。

実地摩耗試験風景を写真1に示す。

§ 4. 3 すべり抵抗値および表面粗さの測定

実地摩耗試験前および実地摩耗試験後に、すべり抵抗値および表面粗さを測定した。なお、参考のため1万歩ごとの測定も行った。

すべり抵抗値は、第2章および第3章と同様に $O-Y \cdot PSM^{1) \sim 13)}$ を使用し、図11に示した個所で測定した。測定は同一箇所で3回行い、平均値を用いて以降の検討を行うこととした。なお、本章でのすべり抵抗値は、2.2.3で設定した2種のすべり抵抗係数のうち、両者の相関が高いこと、さらにC.S.R・IIの方がC.S.R・Iより相対的にすべりやすい条件であることから、C.S.R・IIを選定した。

表面粗さの測定には、デジタル型触針式表面粗さ計を使用し、表1および表2に示した第2章と同様な測定条件にて、2つの断面曲線P1曲線およびP2曲線を測定した。なお、測定個所は図11に示した直線上で歩行時に大きな荷重が作用する「つま先」部と「かかと」部が接する部分である。P1曲線の測定は図11に示した直線上で1回、P2曲線の測定は直線の中央部の5個所で行い、その平均値を用いて以降の検討を行うこととした。

実地摩耗試験前後の試料のC.S.R・IIを表10に示す。これより、実地摩耗試験により、C.S.R・II値が減少している試料、ほとんど変化しない試料、増加している試料が存在することが認められる。

実地摩耗試験前後の試料の断面曲線(P1曲線)を図13-1)~8)に示す。参考として、実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真を写真2-1)~8)に示す。



写真1 実地摩耗試験風景

表10 実地摩耗試験前後のC.S.R・Ⅱ

試料		A:実地摩耗試験 前のC.S.R・Ⅱ	B:実地摩耗試験 後のC.S.R・Ⅱ	B-A
1	セラミックタイル1	0.50	0.48	-0.02
2	セラミックタイル2	0.40	0.40	0.00
3	セラミックタイル3	0.46	0.41	-0.05
4	セラミックタイル4	0.38	0.41	0.03
5	セラミックタイル5	0.45	0.48	0.03
6	セラミックタイル6	0.49	0.43	-0.06
7	セラミックタイル7	0.58	0.46	-0.12
8	自然石(大理石)	0.35	0.40	0.05

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後

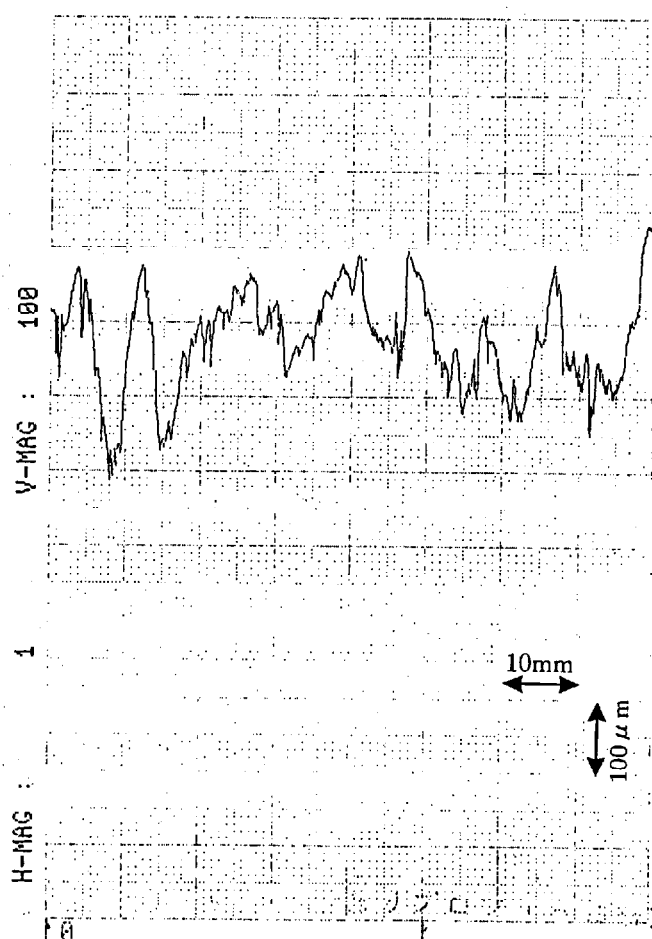
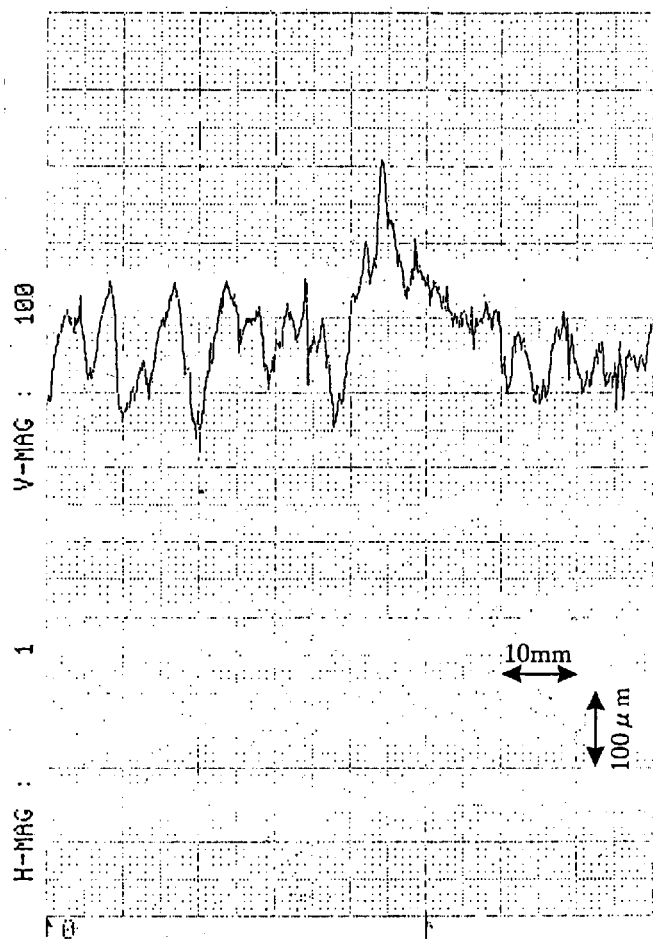


図13-1) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

＜セラミックタイル1＞

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後

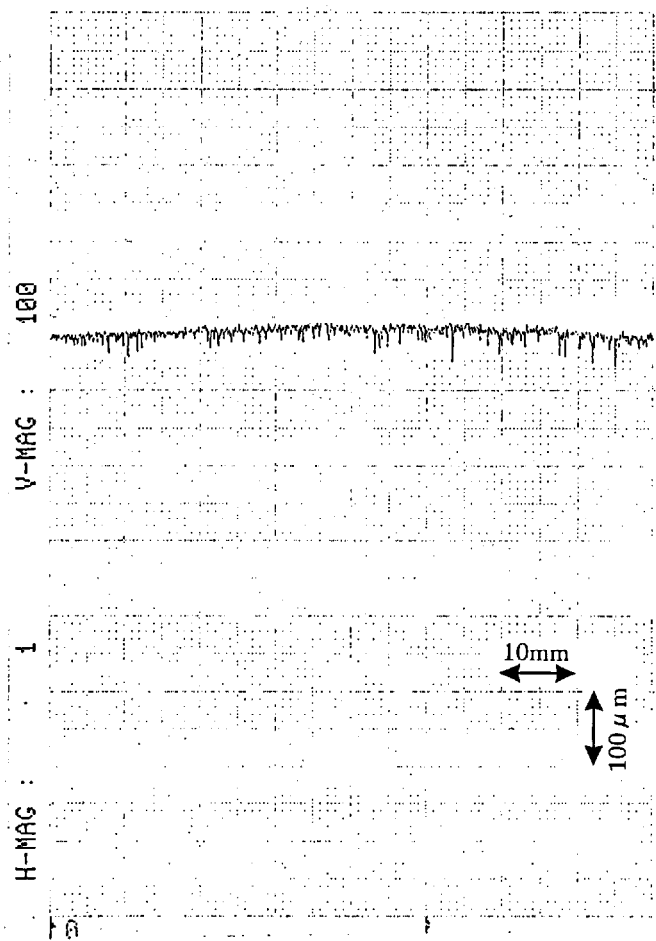
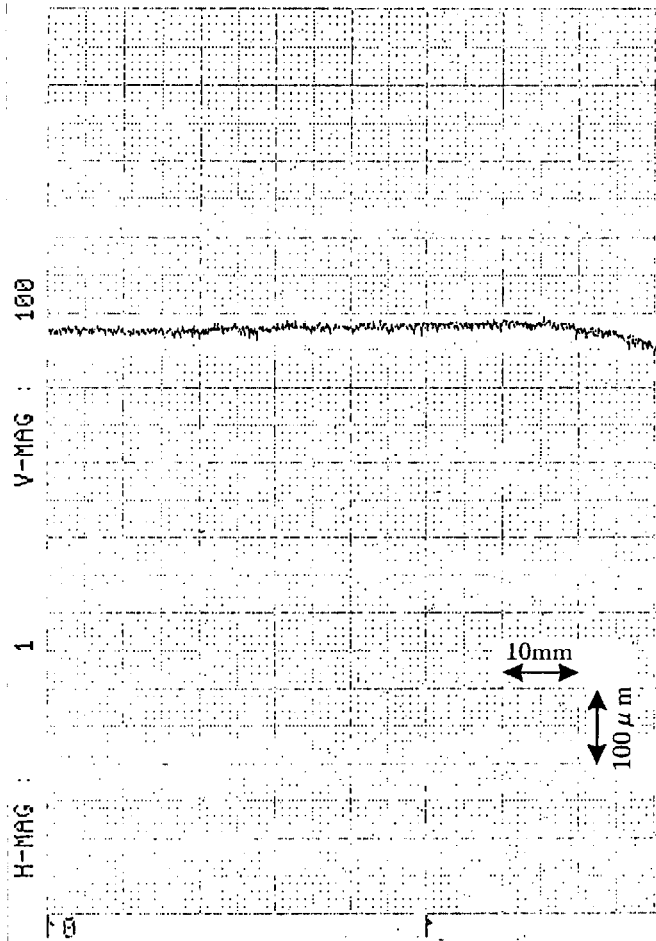


図13-2) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<セラミックタイル2>

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後

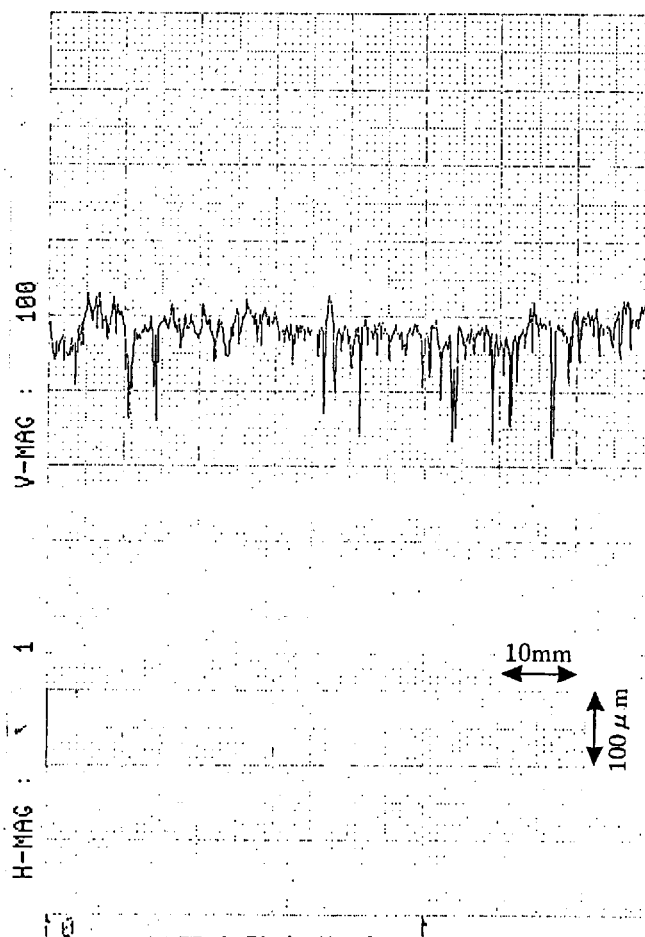
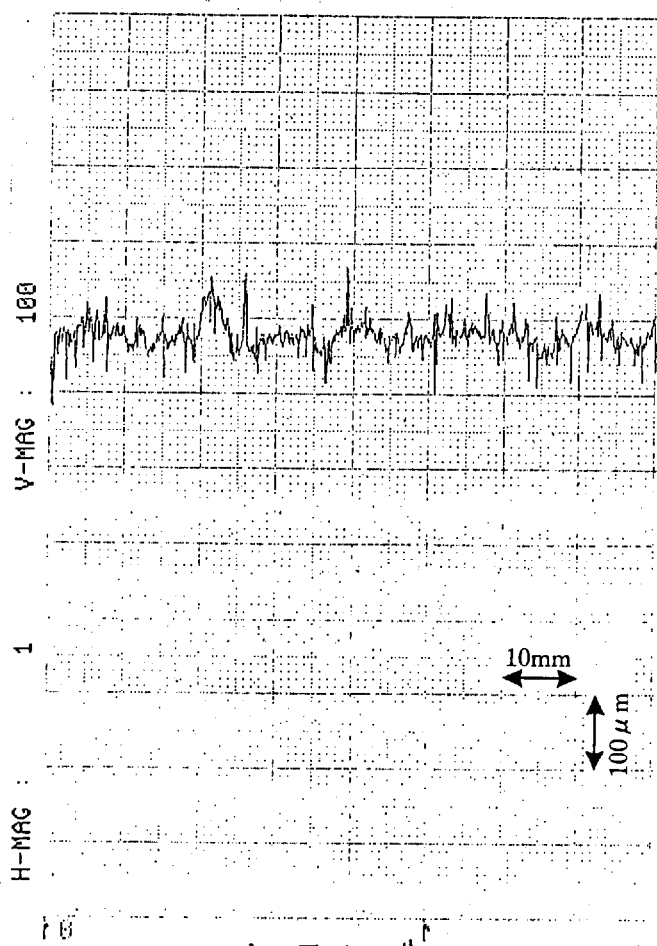
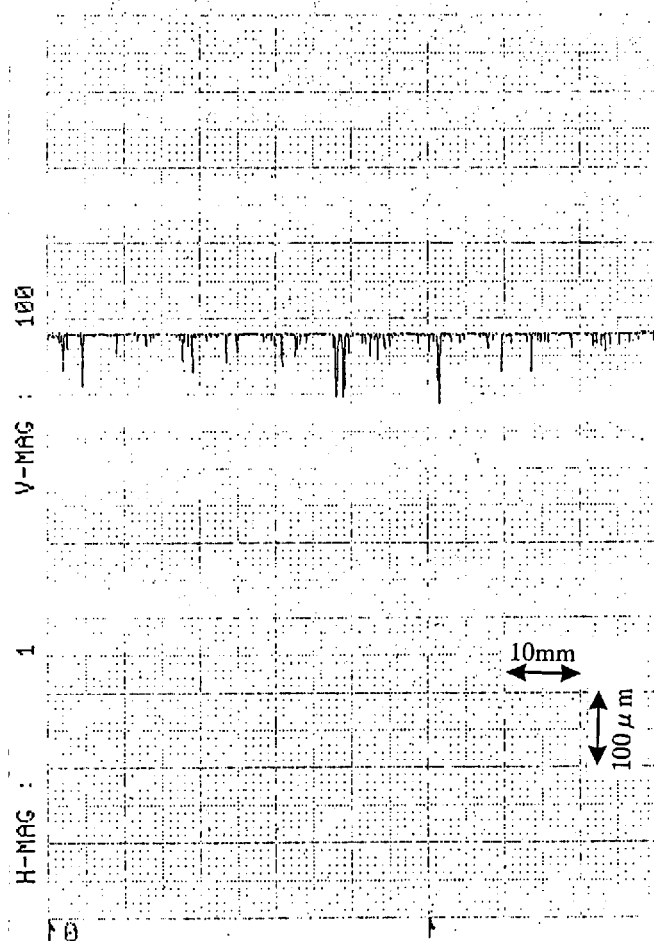


図13-3) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<セラミックタイル3>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

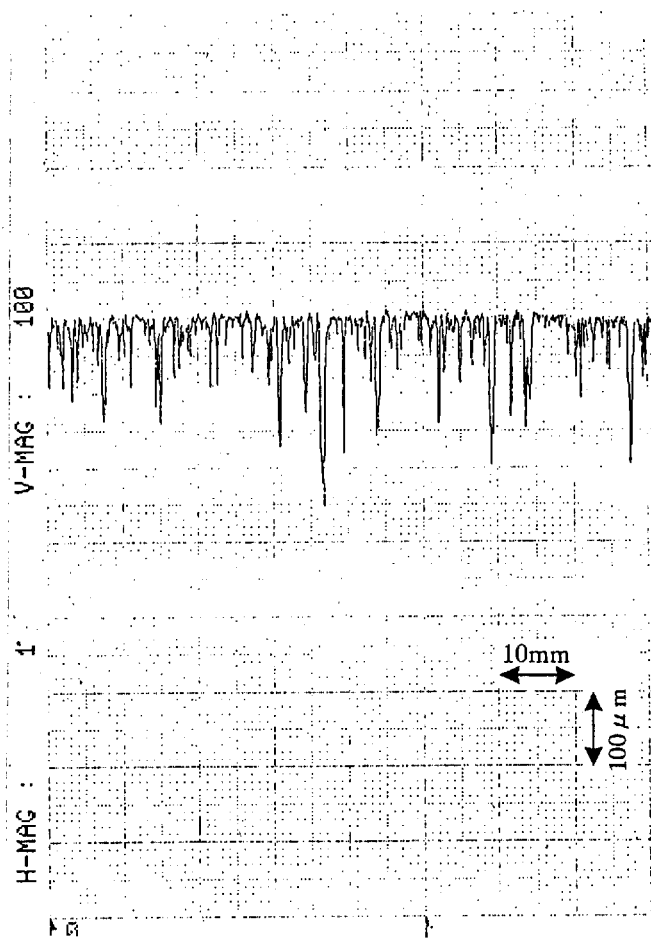
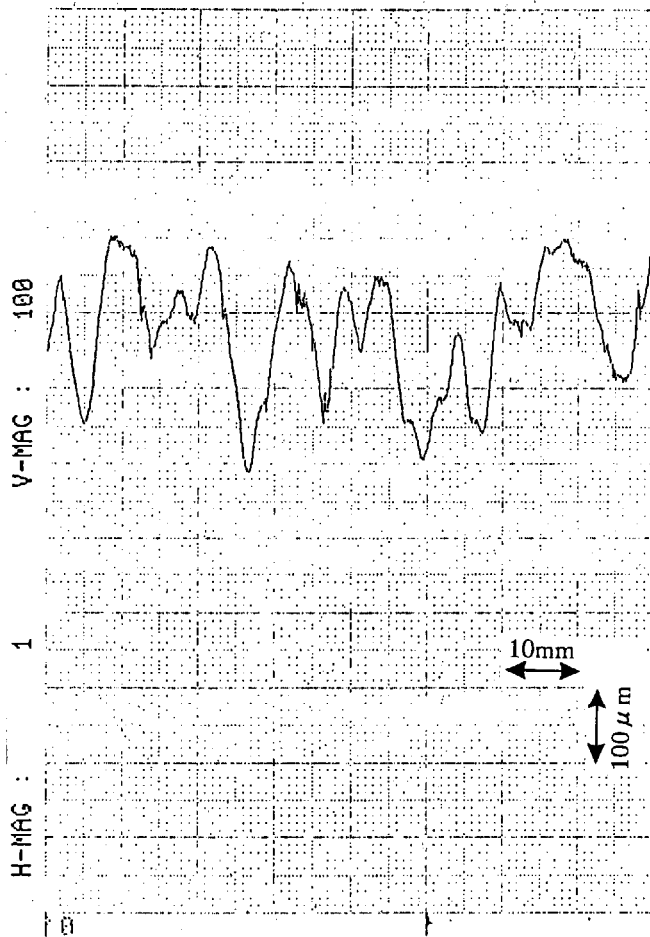


図13-4) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<セラミックタイル4>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

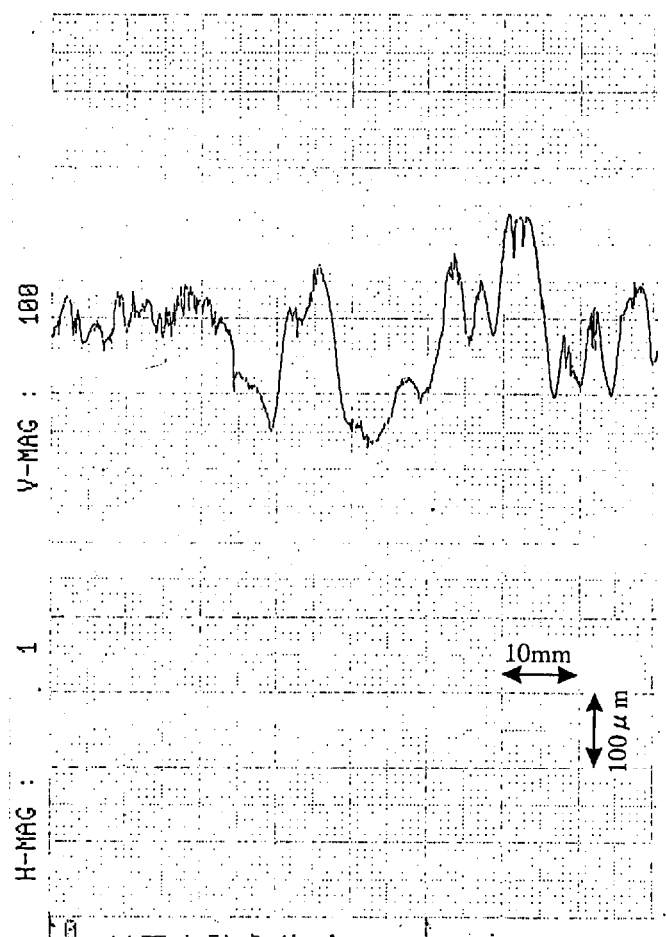
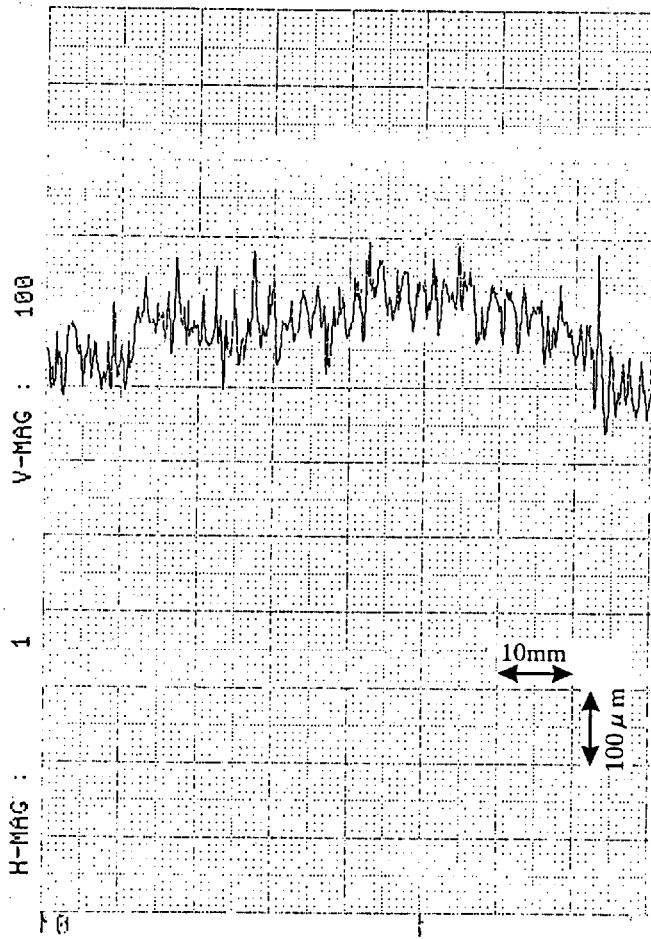


図13-5) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<セラミックタイル5>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

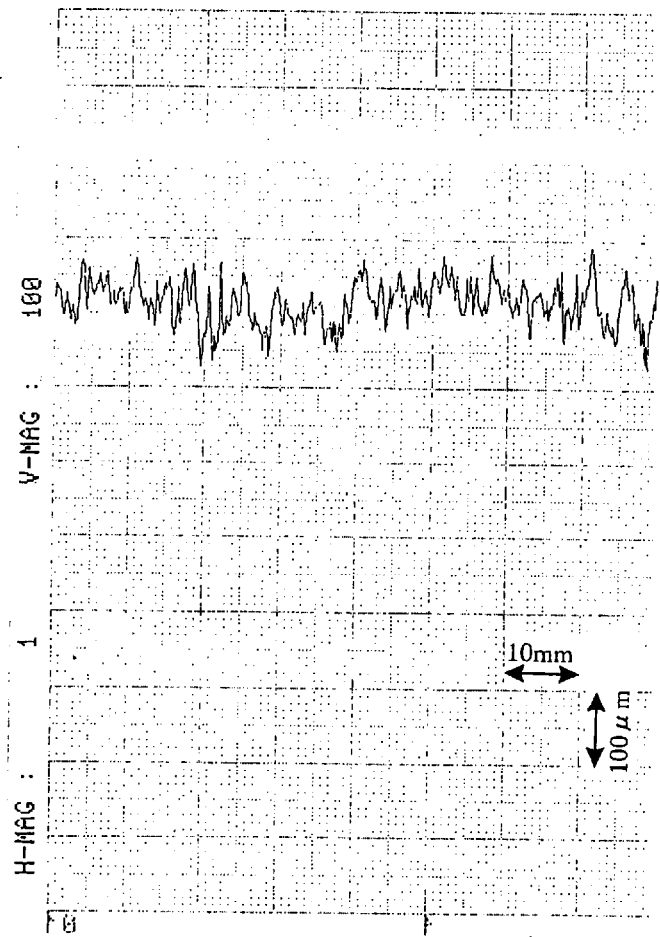
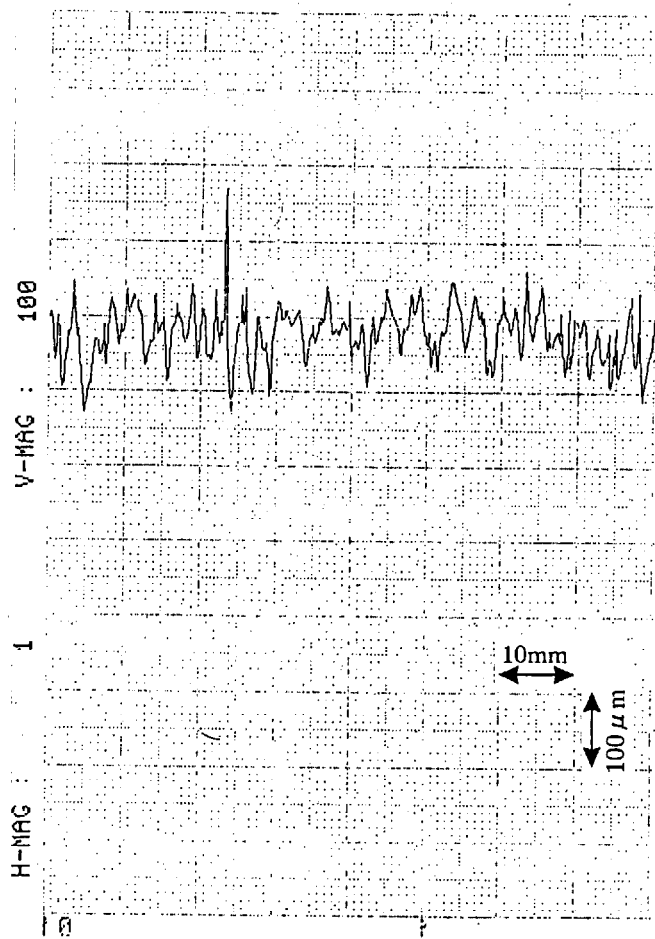


図13-6) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線
＜セラミックタイル6＞

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

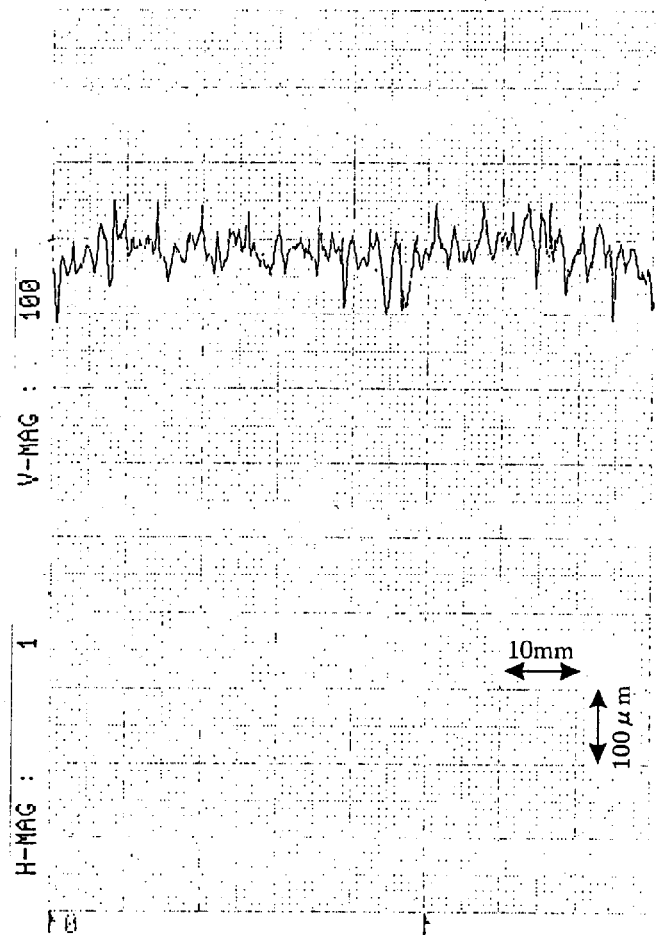
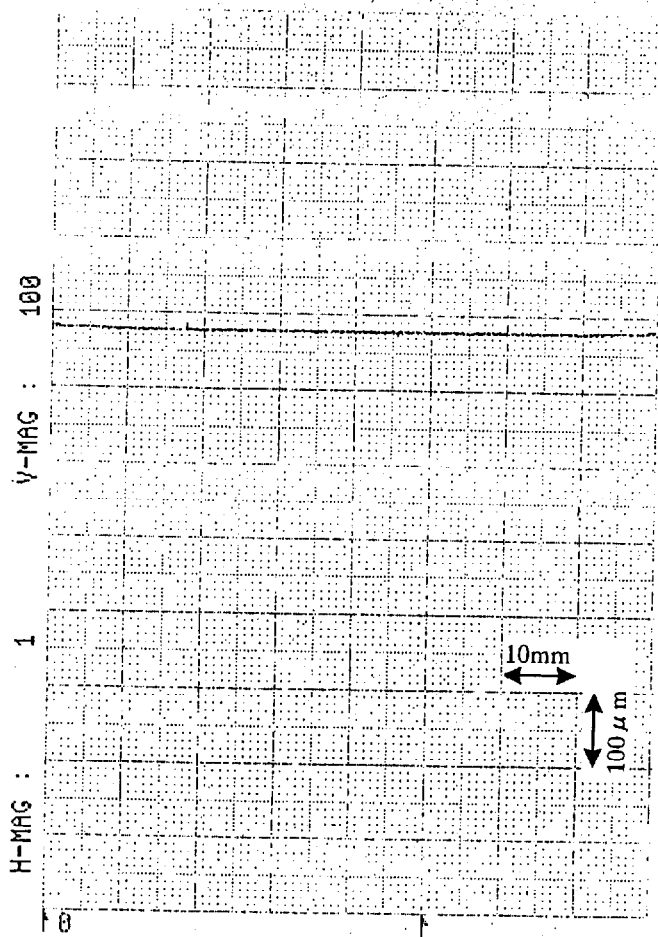


図13-7) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<セラミックタイル7>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

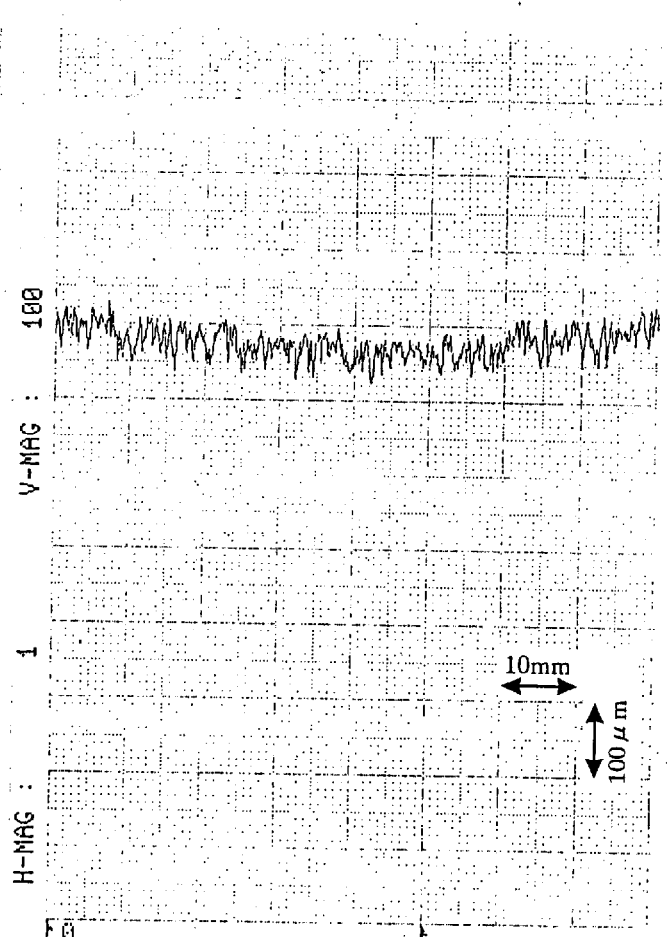


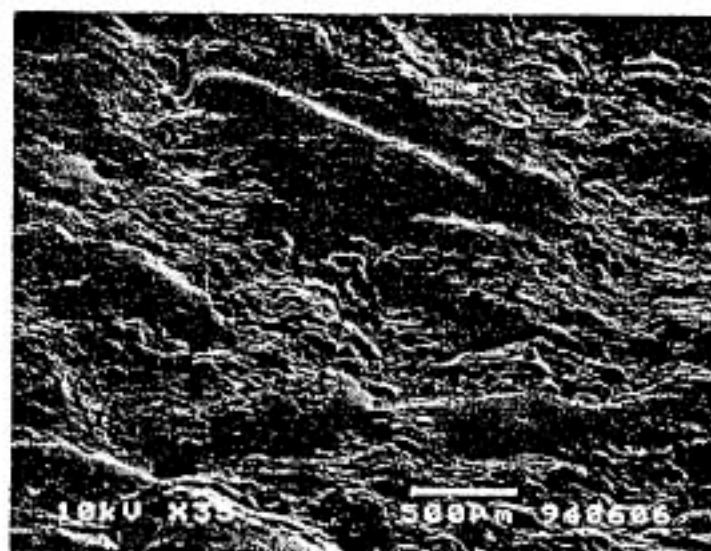
図13-8) 実地摩耗試験前後の試料の断面(P1)曲線

<自然石>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後



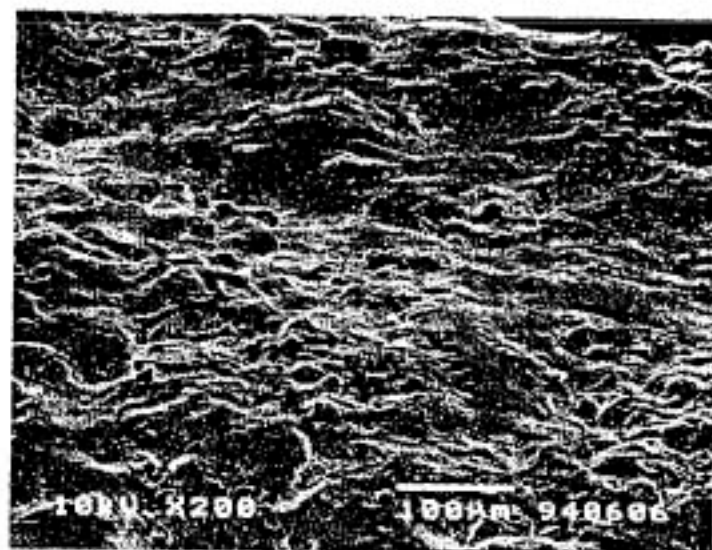
× 35

500 μm

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後



× 200

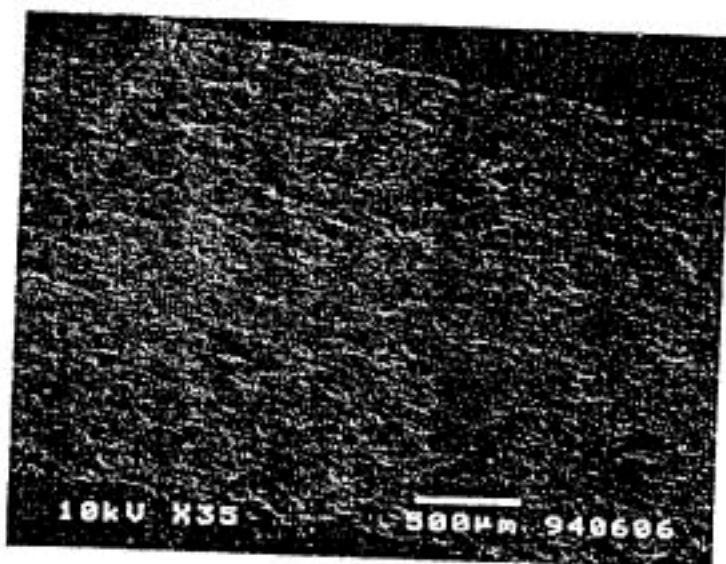
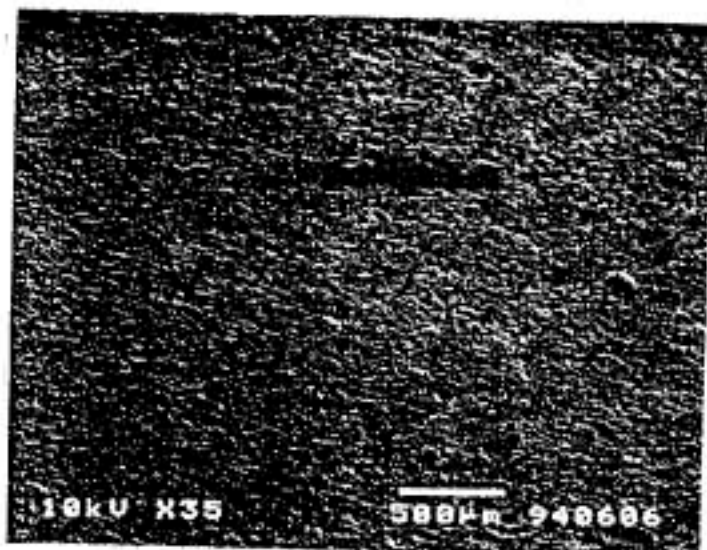
100 μm

写真2-1) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真

＜セラミックタイル1＞

実地摩耗試験前

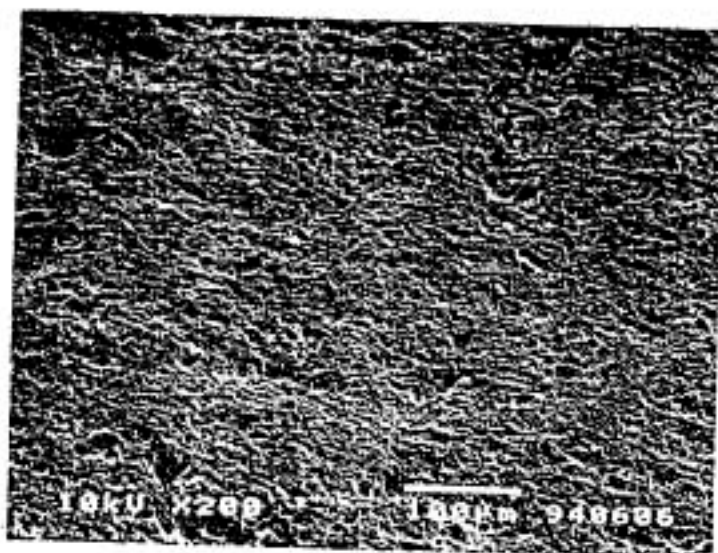
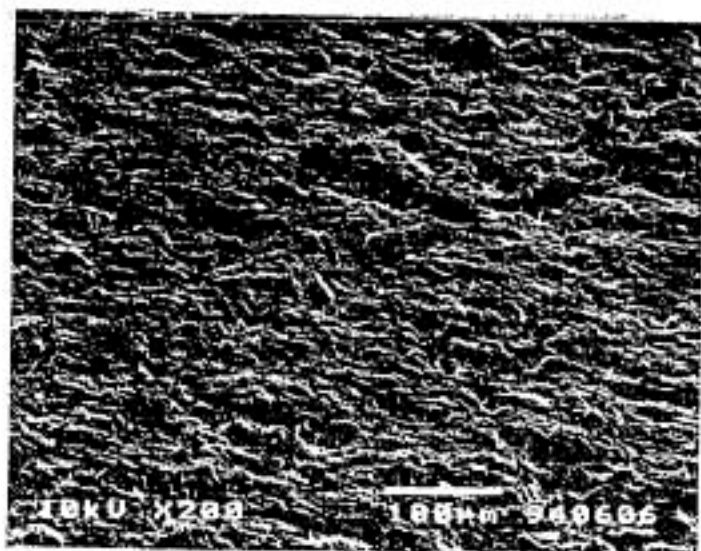
実地摩耗試験後



X 35 500 μm

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後



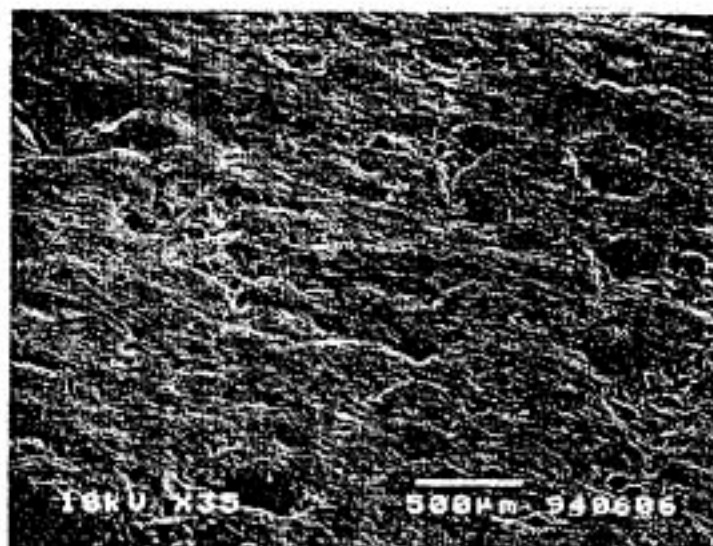
X 200 100 μm

写真2-2) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真
 <セラミックタイル2>

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

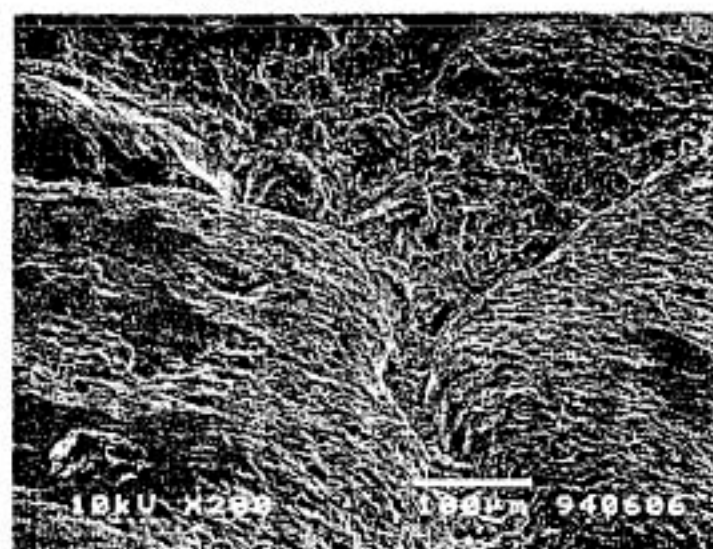


× 3 5 500 μ m

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

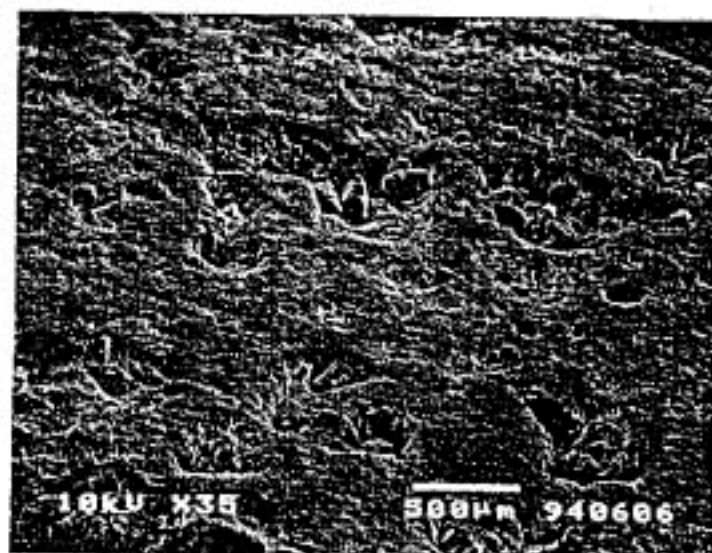


× 200 100 μ m

写真2-3) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真
 <セラミックタイル3>

実地摩耗試験前

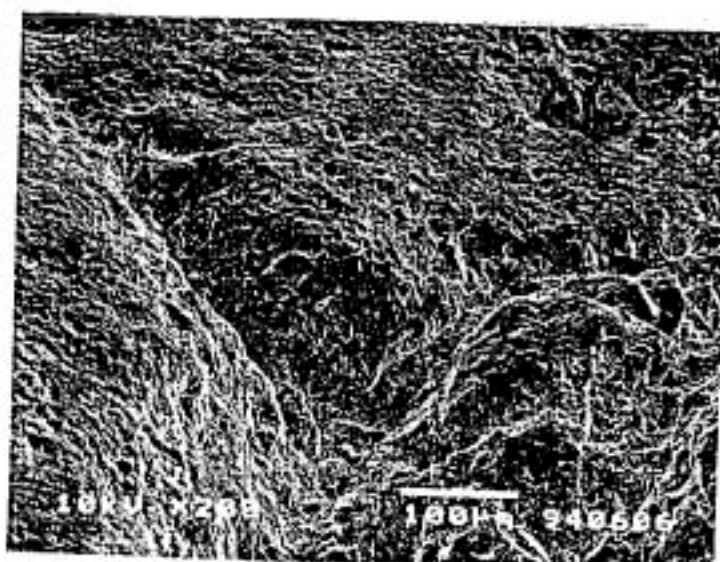
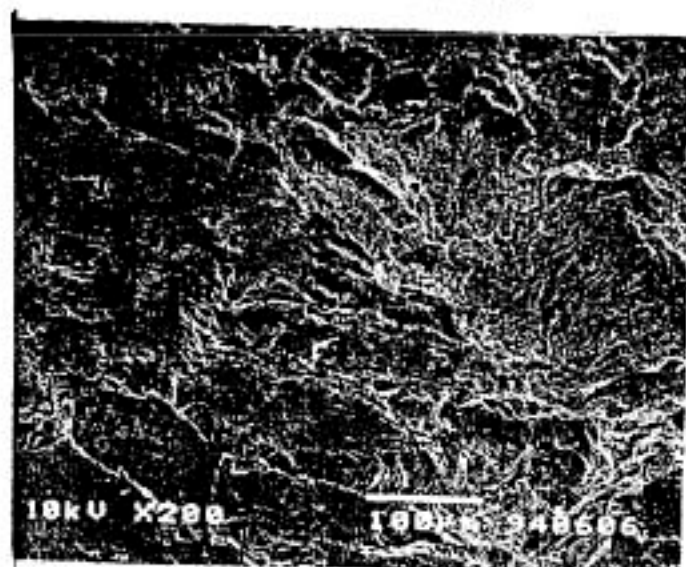
実地摩耗試験後



X 35 500 μm

実地摩耗試験前

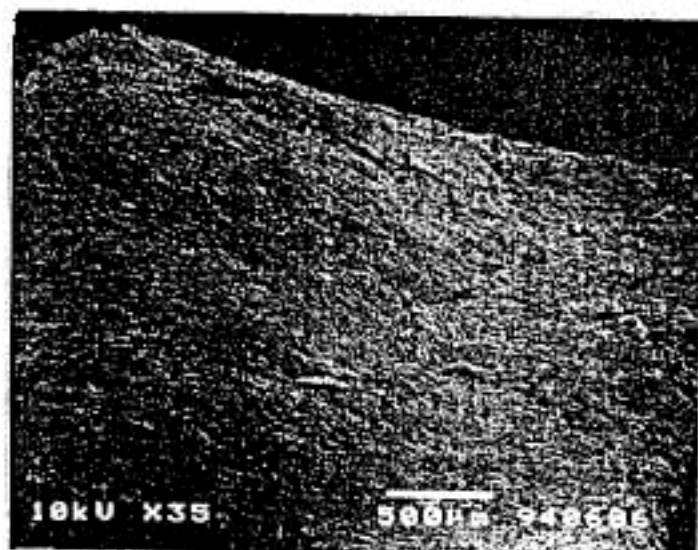
実地摩耗試験後



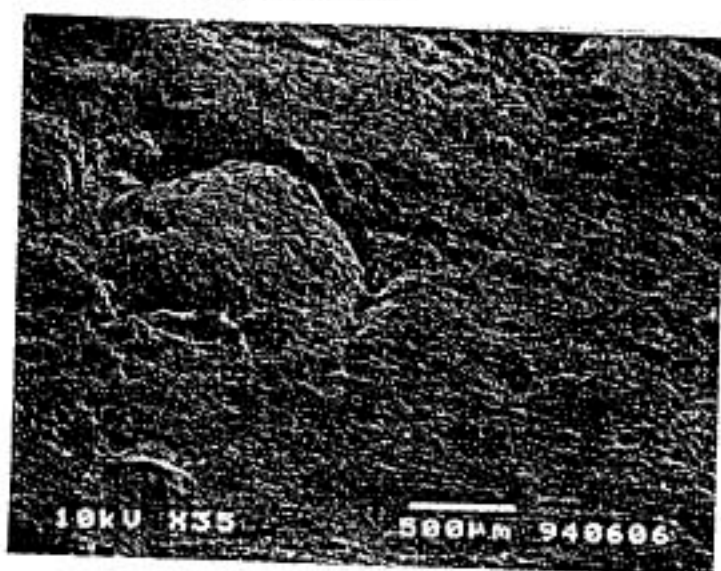
X 200 100 μm

写真2-4) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真
 <セラミックタイル4>

実地摩耗試験前

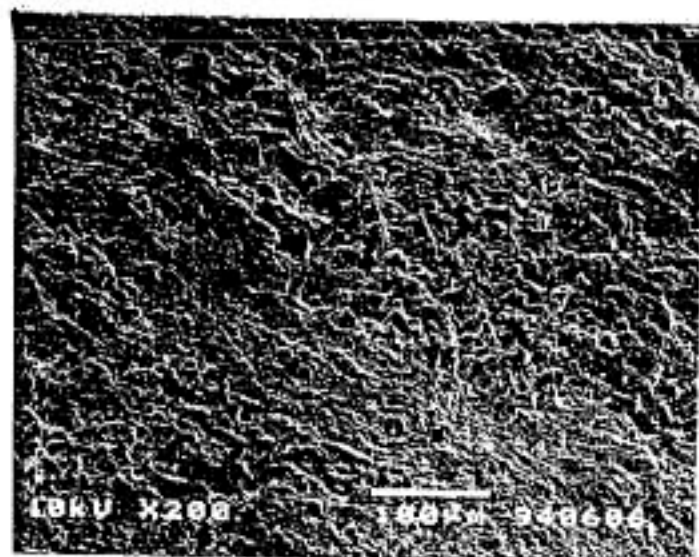


実地摩耗試験後

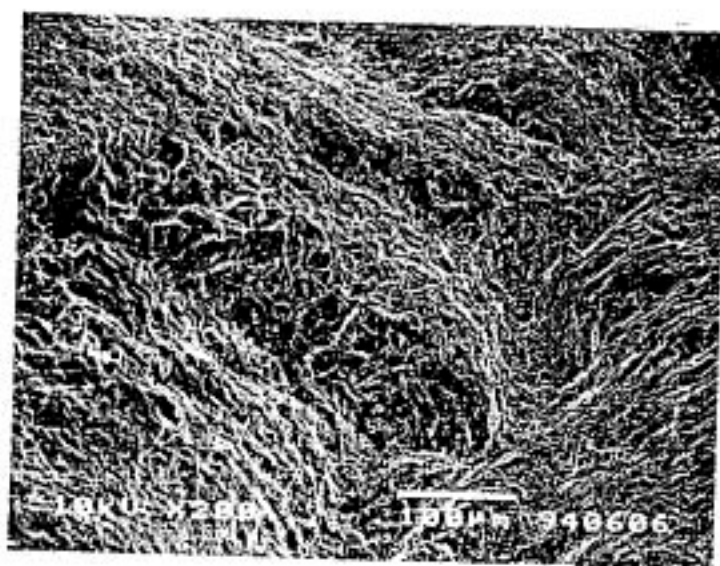


X 35 500 μm

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後

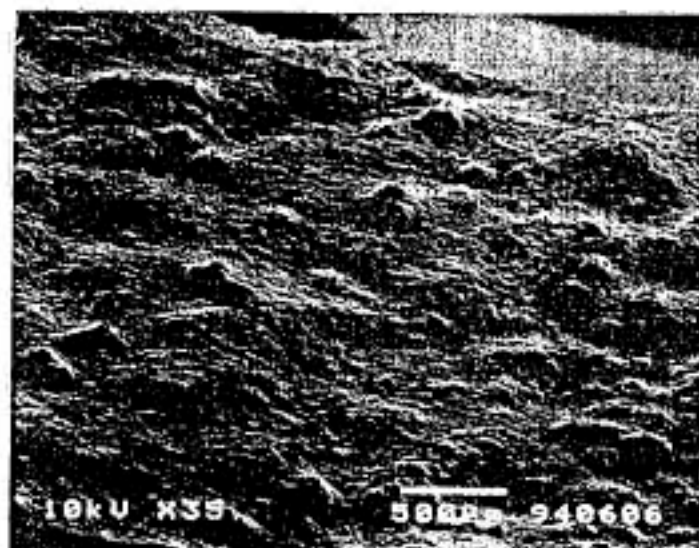


X 200 100 μm

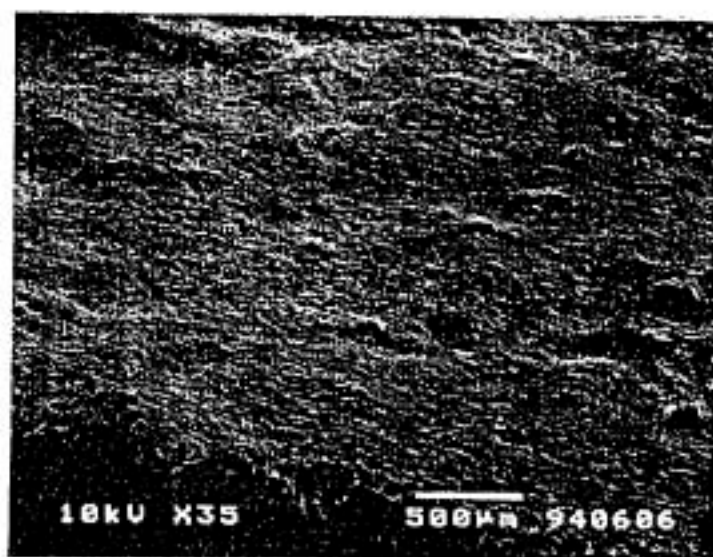
写真2-5) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真

<セラミックタイル5>

実地摩耗試験前

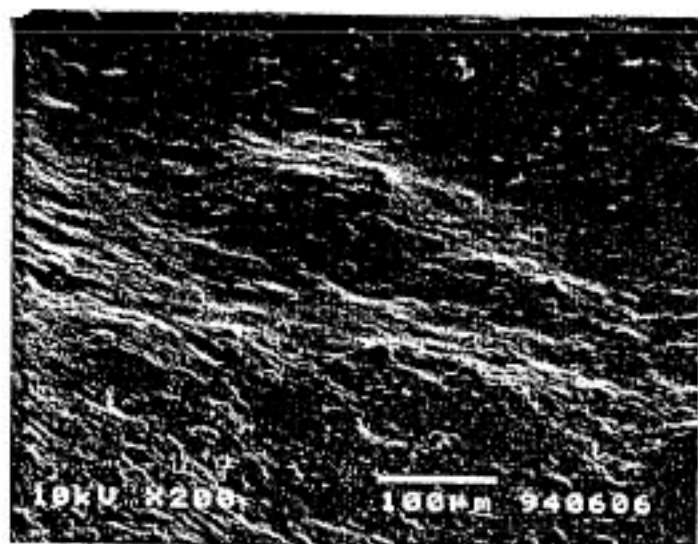


実地摩耗試験後

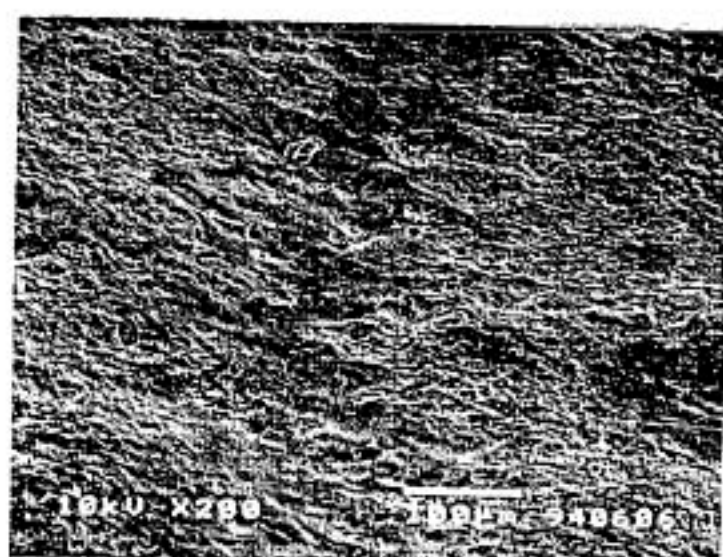


× 3 5 500 μ m

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後



× 200 100 μ m

写真2-6) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真

＜セラミックタイル6＞

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後

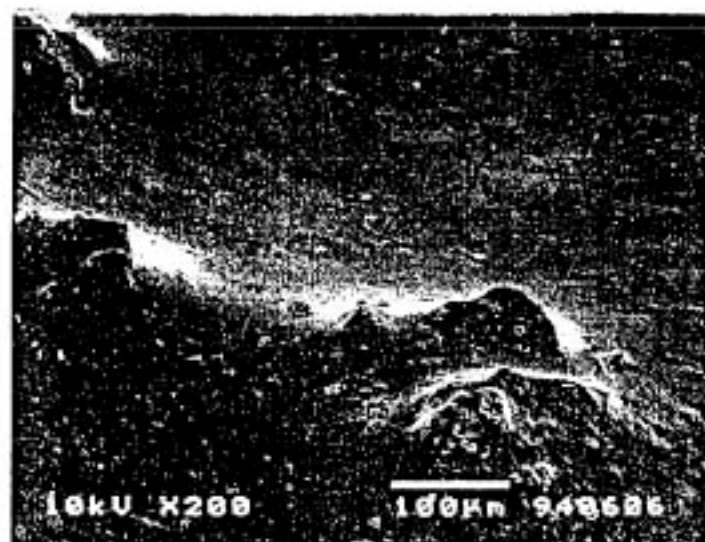


X 35

500 μm

実地摩耗試験前

実地摩耗試験後



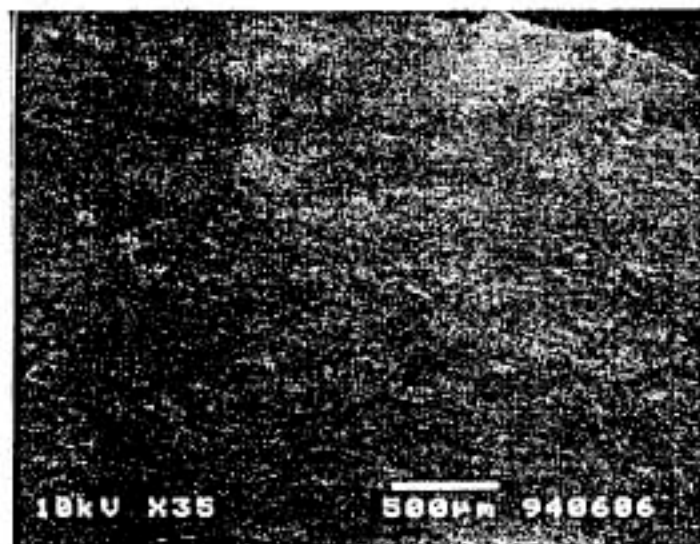
X 200

100 μm

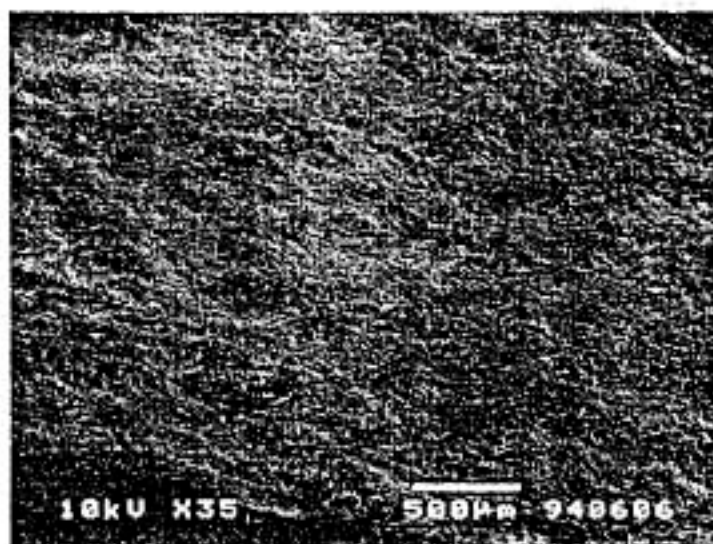
写真2-7) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真

<セラミックタイル 7>

実地摩耗試験前



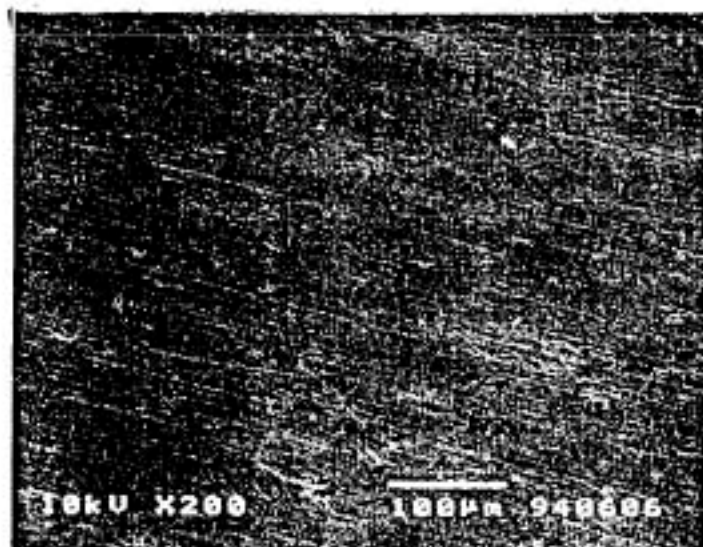
実地摩耗試験後



× 3 5

500 μ m

実地摩耗試験前



実地摩耗試験後



× 200

100 μ m

写真2-8) 実地摩耗試験前後の試料の電子顕微鏡写真

<自然石>

これより、実地摩耗試験により、表面の凹凸が増加している試料、ほとんど変化しない試料、減少している試料が存在することが認められる。

§ 4. 4 すべり抵抗値と相関する表面粗さ特性値の抽出

第2章において、セラミックタイルの靴履きでのすべりと、セラミックタイルの表面粗さの関係を検討し、C.S.R・I, C.S.R・IIとの相関の高い表面粗さ特性値として、P1曲線から求まる平均傾斜角($P\theta a$)を抽出した。以上の知見の本章への適用性を検討するため、実地摩耗試験前後の試料の $P\theta a$ を抽出した。

図14に $P\theta a$ とC.S.R・IIの関係を示すが、 $P\theta a$ とC.S.R・IIとの相関は低いことが判明した。特に、実地摩耗試験後の一部の試料(No. 3, 4)のように、凹凸の谷が深い試料の場合(図13-3, 4)参照)は、第2章の結論に基づき $P\theta a$ から推測されるC.S.R・IIよりも、実際のC.S.R・IIの方が小さくなる傾向が見られ、また、実地摩耗試験前の試料(No. 7)のように、深い谷が少ない平坦な面に鋭い突起が散在する場合(写真2-7)参照)は、 $P\theta a$ から推測されるC.S.R・IIよりも、実際のC.S.R・IIの方が大きくなる傾向が見られることなどが、両者の相関が悪くなっている理由としてあげられた。

第2章では、実地摩耗試験後のNo. 3, No. 4および実地摩耗試験前のNo. 7のような試料を取り入れていなかったことが反省点として挙げられる。

以上から、更なる相関関係を究明するため様々な検討を加えた結果、第2章では検討しなかった表面粗さの特性値として、特に、すべりに大きく寄与すると考えられる試料の表面の詳細な凹凸の情報を示し、谷部でなく山部の鋭さ・多さを意味しているP2曲線から求まる減衰山高さ R_{pk} を抽出し、C.S.R・IIとの相関を検討することとした。参考として R_{pk} の意味を図15に示す。

ここで、まず、どの程度の波長の凹凸がC.S.R・IIと相関しているかを究明するため、表11に示すように断面(P2)曲線から位相補償型デジタル高域フィルターを用いてカットオフ値0.8 mmの粗さ(R_2)曲線、カットオフ値2.5 mmの粗さ(R_3)曲線およびカットオフ値8.0 mmの粗さ(R_4)曲線を

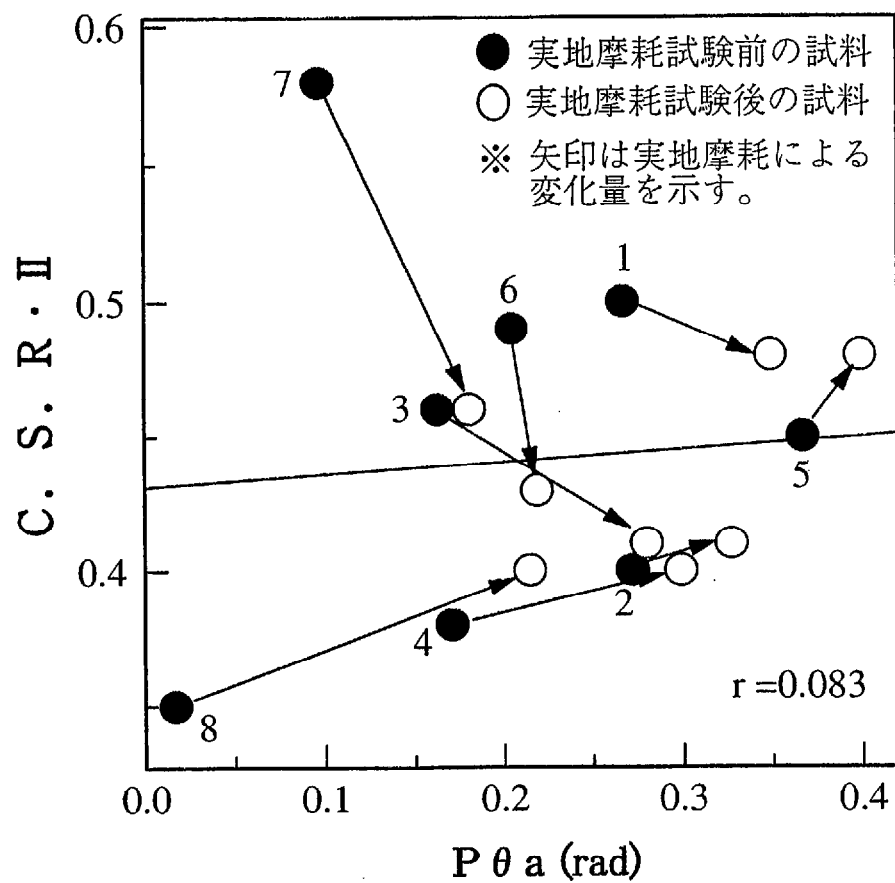
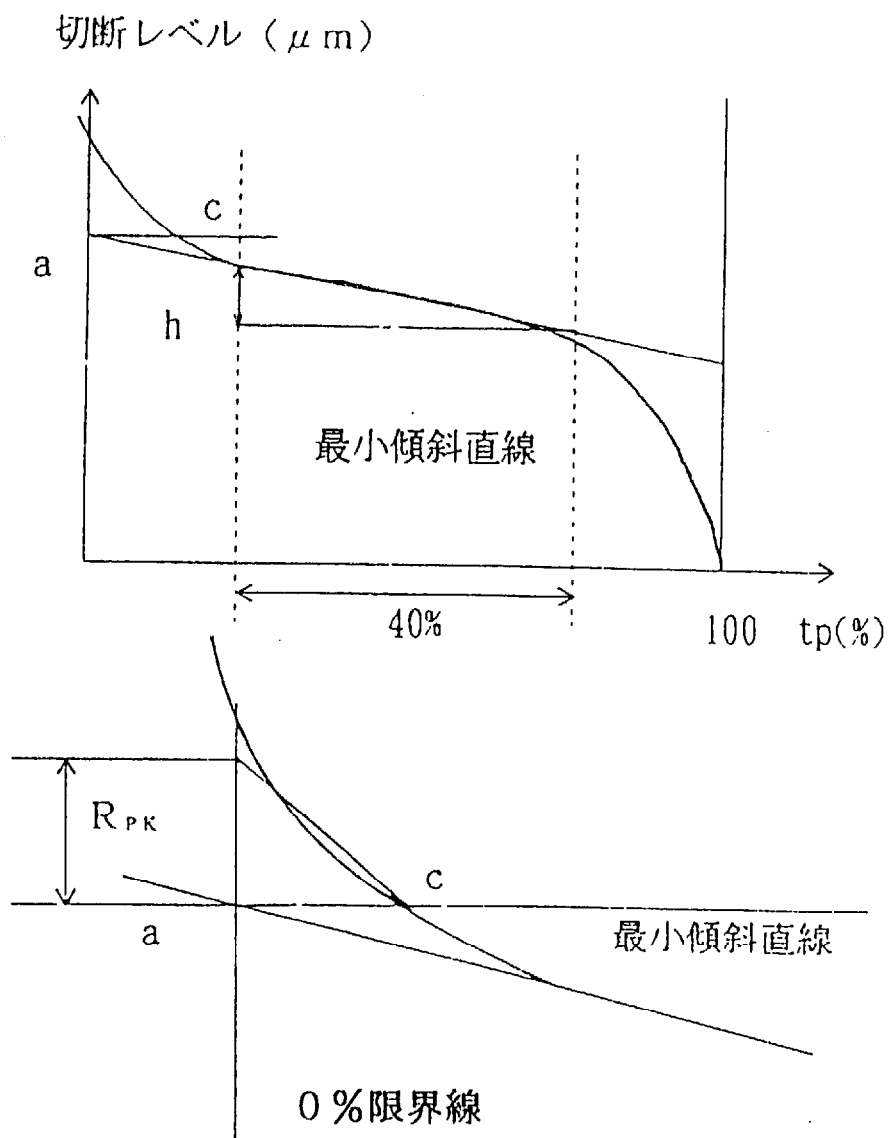


図14 C.S.R・IIと $P\theta a$ の関係



【 R_{PK} の意味】

上図に示す負荷曲線上でtp値の方向に40%の幅を取り、この両端の高さの差(h)が最小となる位置を探す。その最小傾斜直線と0%限界線との交点aを求め、次にこの交点aからの水平線と負荷曲線との交点cを求める。0%限界線と辺acと負荷曲線とで囲まれる部分の面積と等しい辺acを一辺とする直角三角形を求め、その0%限界線上の高さを R_{PK} とする。

図15 減衰山高さ(R_{pk})の意味

表 11 断面(2)曲線と断面(R2, R3, R4)曲線の測定条件

	断面曲線	断面曲線		
	P2曲線	R2曲線	R3曲線	R4曲線
カットオフ	なし	0.8mm	2.5mm	8.0mm
測定長さ	5mm			
触針送り速度	0.3mm/s			
触針	5 μ mRダイヤモンド			

求めた。なお、これらのカットオフ値は、セラミックタイルの意匠性と防滑性の向上のために利用されている骨材の粒径（0.1 mm～数 mm）を参考に設定した。ここで、上記3種類の曲線を、周期の小さい成分を多く含む順に並べると、R 2，R 3，R 4となる。

つぎに、実地摩耗試験前後の試料の断面（P 2）曲線および粗さ曲線（R 2，3，4）からそれぞれのR pk を抽出した。C.S.R・IIと各種R pk との相関係数を表1 2に示すが、C.S.R・IIと カットオフ値2.5mmの粗さ（R 3）曲線から抽出したR pk との相関が高い（相関係数0.89）ことが判明した。従って、以降のR pk はカットオフ値2.5mmの粗さ（R 3）曲線から抽出した値を用いることとした。

C.S.R・IIとR pk の関係を図1 6に示す。また、参考として第2章で用いた試料を加えたR pk とC.S.R・IIの関係を図1 7に示す。両者はいずれも図4に示した第2章におけるP θ aとの相関関係と比較し、相関がより高くなっており、P θ aよりもR pk を用いた方がよりよくC.S.R・IIを推定できること、さらに、人の歩行による摩耗前後のセラミックタイルのC.S.R・IIの変化を、R pk を用いてより厳密に推定できることを究明できたといえる。

これらの知見は、所定の靴履きでのすべり抵抗を保持するセラミックタイルの開発指針を、R pk を用いて提示できること、さらには、以降で開発する促進摩耗試験機の妥当性をR pk を用いて検証できること、の2点において第2章の研究成果をさらに発展させた有益な知見といえる。

§ 4. 4 表面粗さの観点から靴履きでのすべり抵抗を保持させるための表面粗さの基本指針の提示

セラミックタイルの開発においてすべり抵抗の大きい材料の開発、さらには摩耗によるすべり抵抗の変化の少ない材料の開発を行う際、減衰山高さ（R pk）の大小、さらにはR pk の変化量の大小は工業的見地から非常に有効な指針になるといえ、所定のすべり抵抗を保持させるためのセラミックタイルの表面粗さの開発指針を、第2章の結論を踏まえさらに発展させ、次のように提示する。

表12 断面(P2)曲線および各種粗さ(R2, 3, 4)曲線における
減衰山高さ(R_{pk})とすべり抵抗値(C.S.R・Ⅱ)との相関係数

		カットオフ	R _{pk} とC.S.R・Ⅱ との相関係数
断面曲線	P2曲線	なし	0.66
粗さ曲線	R2曲線	0.8mm	0.75
	R3曲線	2.5mm	0.89
	R4曲線	8.0mm	0.75

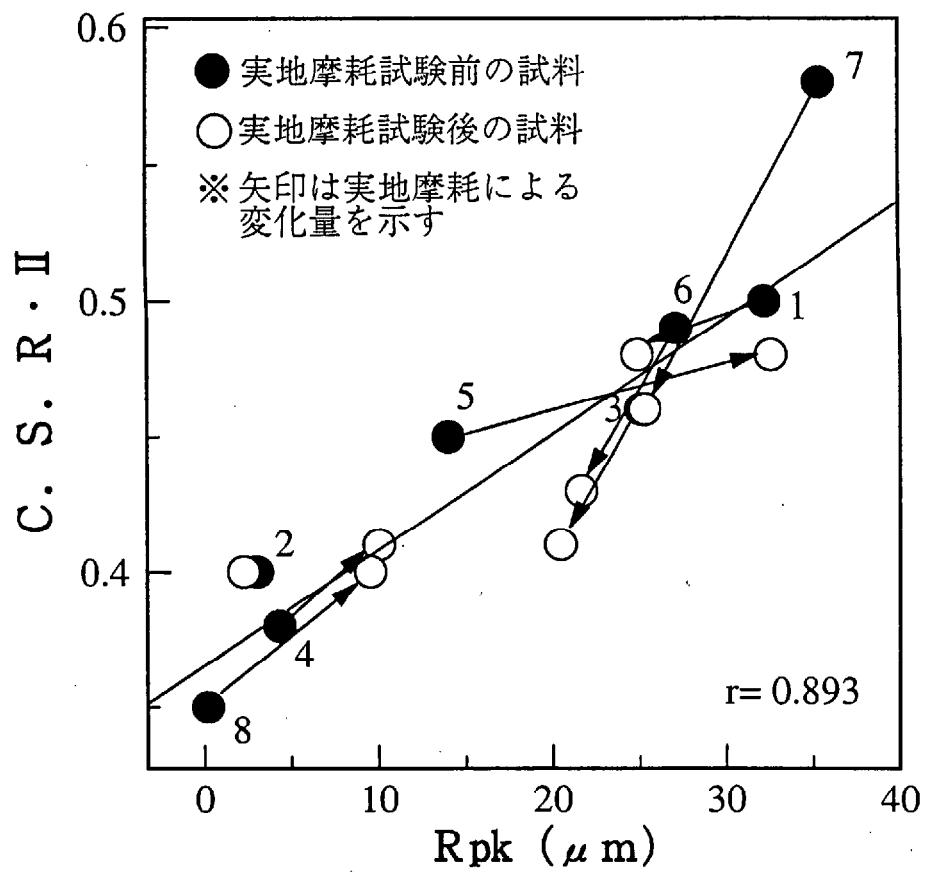


図16 C.S.R・IIと R_{pk} の関係

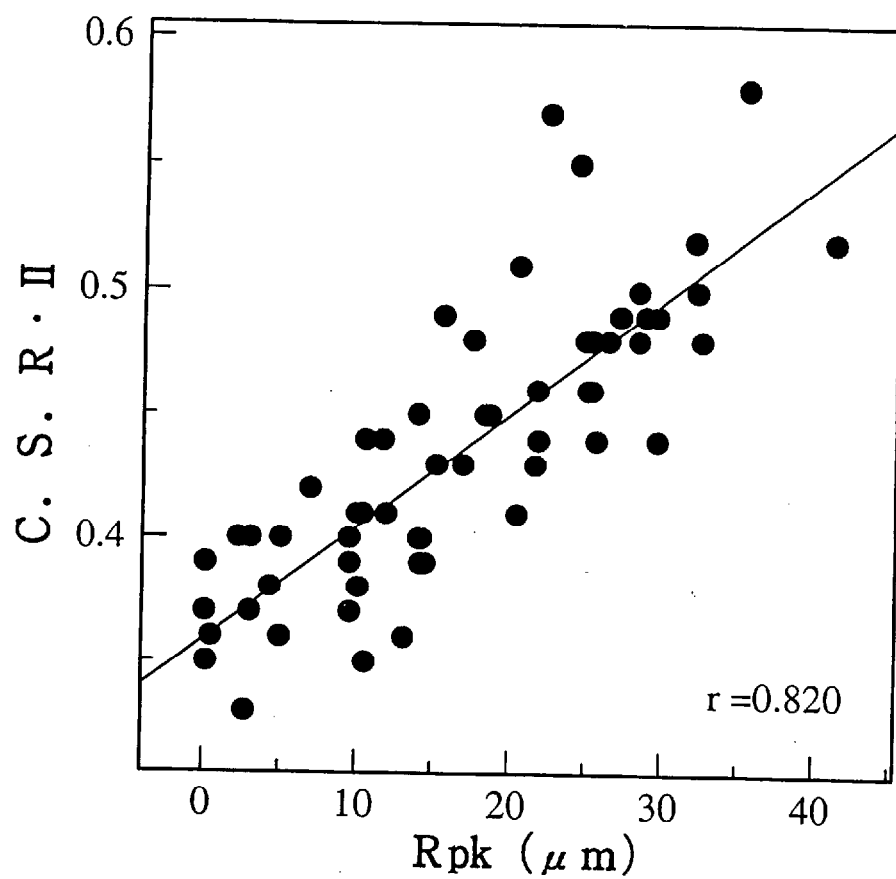


図17 C.S.R・IIと R_{pk} の関係
(第2章で用いた試料を対象として加えた場合)

人が靴などの履き物を着用して動作することが主となる床のセラミックタイルの表面の場合、小さな突起（例えば、波長 2.5 mm 以下の凸部）を数多く存在させることにより、すべり抵抗値を増大させることができる。なお、小さな谷間（例えば、波長 2.5 mm 以下の凹部）の存在が、すべり抵抗値を増大させるとは言えないことに留意する必要がある。さらに、開発時には、小野らが評価方法を提示している接触時の痛さやすり傷発生等²²⁾の観点からもセラミックタイルの表面粗さに検討を加えるべきことを付記する。

第5章 摩耗によるセラミックタイルのすべりの変化の推定方法の提示

§ 5. 1 本章の概要

5.1.1 本章の目的

5.1.2 本章の研究方法の概要

§ 5. 2 摩耗促進試験方法の骨子の設定

5.2.1 摩耗促進試験方法の基本機構の設定と簡易試験機の試作

5.2.2 研磨砥石の設定

(1) 研磨砥石の基本仕様の設定

(2) 研磨砥石の硬度の検討

(3) 研削粒子の粒度の検討

5.2.3 表面粗さ特性値 R_{pk} による摩耗促進試験方法の妥当性の検討

5.2.4 摩耗促進試験方法の骨子の設定

§ 5. 3 摩耗促進試験機の開発

§ 5. 4 摩耗によるセラミックタイルのすべりの変化の推定方法の提示

§ 5. 1 本章の概要

5.1.1 本章の目的

本章ではセラミックタイルを対象として、人の靴履きでのすべりの変化の観点から、人の靴履きでの歩行による実際の摩耗をすみやかに再現し、すべりの変化を推定する方法を確立することを目的とする。つまり、4章における実地摩耗試験でのセラミックタイルのすべりおよび表面粗さの変化を再現できる摩耗促進試験機を設計・試作し、摩耗によるすべりの変化を推定する方法を提示することを目的とする。

なお、本研究で開発する試験機は、摩耗量そのものを再現するのではなく、摩耗によるすべりの変化を再現するための試験機であることに特徴があり、従来の試験機とはその本質を異にするものである。また、現状におけるセラミックタイルの摩耗による主な問題は、摩耗量そのものではなく、本研究で課題としているすべりの他、意匠性の低下、耐汚染性の低下など摩耗による他の性能の低下であることを付記する。

5.1.2 本章の研究方法の概要

- (1) 当初からすべり抵抗値 (C.S.R・II) を測定できる程度の大きさの摩耗面 (最小で 8 cm×11 cm) を再現するのは困難なことから、§ 4. 3 で究明した R_{pk} を媒体として、人の歩行による実地摩耗面と近似した摩耗面を、小面積ではあるがすみやかに再現できる摩耗促進試験方法の骨子を設定する。
- (2) 設定した骨子を基礎的知見として、すべり抵抗値が測定できる程度の面積を摩耗できる機構を持った摩耗促進試験機を開発し、すべり及び表面粗さの観点から、試験機の妥当性を検討する。
- (3) 以上から、摩耗によるすべり抵抗の変化を短時間に推定する方法を提示する。

§ 5. 2 摩耗促進試験方法の骨子の設定

5.2.1 摩耗促進試験機の基本機構の設定と簡易試験機の試作

§ 4. 2で用いた試料の実地摩耗面と同様の摩耗面をすみやかに得る方法を設定することを目的として、セラミック材料の研削技術を参考にし、試行錯誤的に実験を繰り返しながら摩耗促進試験機の基本機構を以下のように設定した。なお、基本機構の概要を図18に示す。

- ・ 試料に対して摩耗負荷を与える研磨砥石（ $\phi 3\text{ cm}$ ）を媒体として、鉛直荷重と回転力を負荷する。
- ・ 研磨砥石に油圧で制御しながら負荷する荷重は、応力として平均的体重の人が歩行時に床に与える最大鉛直応力に近似する 1.5 kg/cm^2 とする。
- ・ 下面（試料を取り付けた面）および上面（研磨砥石を取り付けた面）を反対方向に回転させ、下面の回転数を 30 rpm 、上面の回転数を 200 rpm とする。
- ・ 5秒間の研削と約3秒間の休止を1サイクルとする。
- ・ 摩耗促進時に、試料面に常時、 1 ㍓/min の水を吐水口より散布して、摩耗粉とともに排水口から排水する。

以上の基本機構を備えた簡易試験機をまず試作し、以降で簡易試験機を使用し実地摩耗面と同様の摩耗面をすみやかに得られる研磨砥石を設定することとした。

5.2.2 研磨砥石の設定

(1) 研磨砥石の基本仕様の設定

実地摩耗試験では、試料の表面に介在物として豊浦標準砂を存在させ、弾性のある靴底を持つ一般的な紳士靴、スニーカー、ローヒール靴などを履いて歩行したことから、摩耗促進試験における摩耗負荷を与える研磨砥石は、弾性を持つゴムの中に研削粒子を混合した固型体とした。また、研削粒子については、試験の促進性を考慮して、セラミック材料の研削に一般的に使用されているアルミナ結晶（中京研磨社製）とした。

なお、試行錯誤の過程では、実地摩耗試験の摩耗負荷をできるだけ再現する基本仕様として、乾燥した状態で摩耗促進させる方法や試料の表面に標準砂を介在させ靴底の実物を用いて鉛直荷重と回転力を負荷させる方法も実施したが、これ

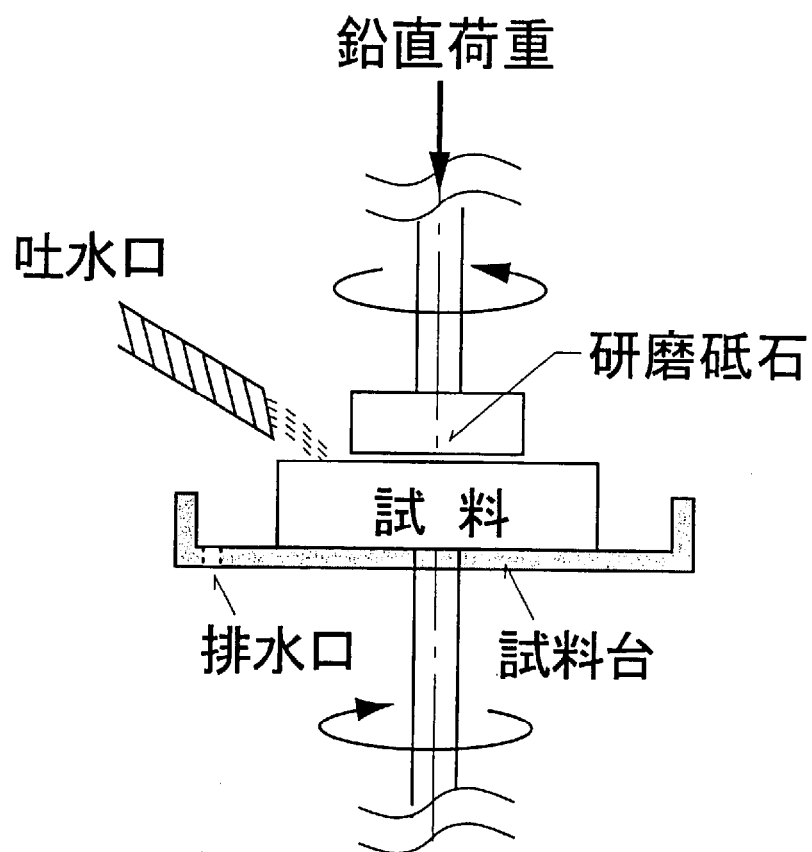


図18 摩耗促進試験の基本機構

らの度重なる試験では、実地摩耗面と同等の摩耗面が得にくいこと、促進性が悪いこと、さらに繰り返しの再現性が悪いことから、ゴムの中に研削粒子を混合した固型体を採用するに至ったことを付記する。

(2) 研磨砥石の硬度の検討

研磨砥石の硬度が、摩耗促進時の凸面および凹面の摩耗具合に大きく影響すると考えられるため、研磨砥石の硬度の検討を行った。

実地摩耗試験においては、一般的な紳士靴、スニーカー、ローヒール靴を使用しているため、これらの靴底のデュロメータ硬さ²³⁾の測定を行い、それらに基づき表13に示すような4種類(FW, F, FH, H)の硬度の研磨砥石(中京研磨社製)を選定した。なお、実地摩耗試験に用いた各種の靴底のデュロメータ硬さは、A70~90、D50~70の範囲であった。

これらの4種類の研磨砥石について、5.2.1で試作した簡易試験機を用いて、摩耗促進試験を行った。表14に試験条件を示す。また、研磨砥石に混合する研削粒子については、実地摩耗試験において試料の表面に存在する介在物として使用した標準砂の粒径が100~300 μ mであることから、今回の検討では標準砂と同等の粒度である#80(粒径210~250 μ m)の1種類とし、試料については、実地摩耗試験においてセラミックタイルのすべりの変化およびセラミックタイル表面の凹部・凸部共に粗さの変化が認められたセラミックタイル3を用いることとした。なお、研削粒子に関する詳細の検討は以降(3)で実施することとし、その際実地摩耗試験で用いた8種類の試料について検討を行うこととした。

5秒間の研削と約3秒間の休止を1サイクルとして30サイクル(所要時間は正味4分)の摩耗促進試験で得られた摩耗促進面の断面曲線を図19に示す。摩耗促進面の断面曲線の特徴から判断すると、硬度Fでは凸部および凹部共に摩耗促進面と実地摩耗面が比較的近似している。一方、硬度Fよりやわらかい硬度FWでは実地摩耗面に比べ摩耗促進面の凸部および凹部共に摩耗による減りが小さい。また、硬度Fよりかたい硬度FHおよびHでは実地摩耗面に比べ摩耗促進面の凸部の摩耗による減りが大きく、凹部共に減りが小さい。これらの判定結果のまとめを表15に示す。表から、4種類の硬度の研磨砥石のうち、硬度F(デュロメータ硬さA80~90)が最も優れているといえる。

表13 研磨砥石の硬度

種類	デュロメータ硬さ	備考
1. FW	A70～80	やわらかい  かたい
2. F	A80～90	
3. FH	D50～60	
4. H	D60～70	

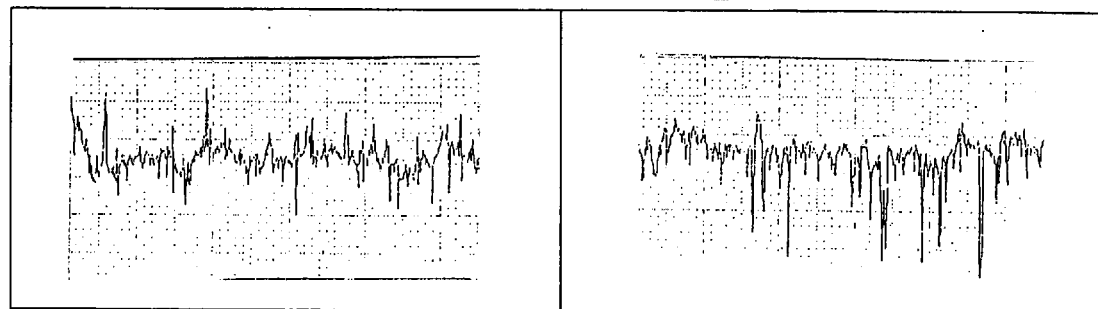
※一般的な紳士靴は、デュロメータ硬さA90程度

表 14 簡易試験機による摩耗促進試験の試験条件

荷重		1.5 kg/cm ²
回転数	研磨砥石	200 ppm
	試料台	30 ppm
研磨砥石の種類		ゴムの中に研削粒子を混合した固型体
研削粒子の種類		アルミナ結晶
研磨砥石の大きさ		φ 3 cm
給水方法		散水法 常時 1ℓ/min の水を吐水口より散布
研削時間		5 sec
休止時間		3 sec
摩耗促進面の大きさ・形		φ 3 cm の円

実地摩耗前

実地摩耗後



10mm
100 μ m

摩耗促進後(粒子: #80, サイクル数: 30)

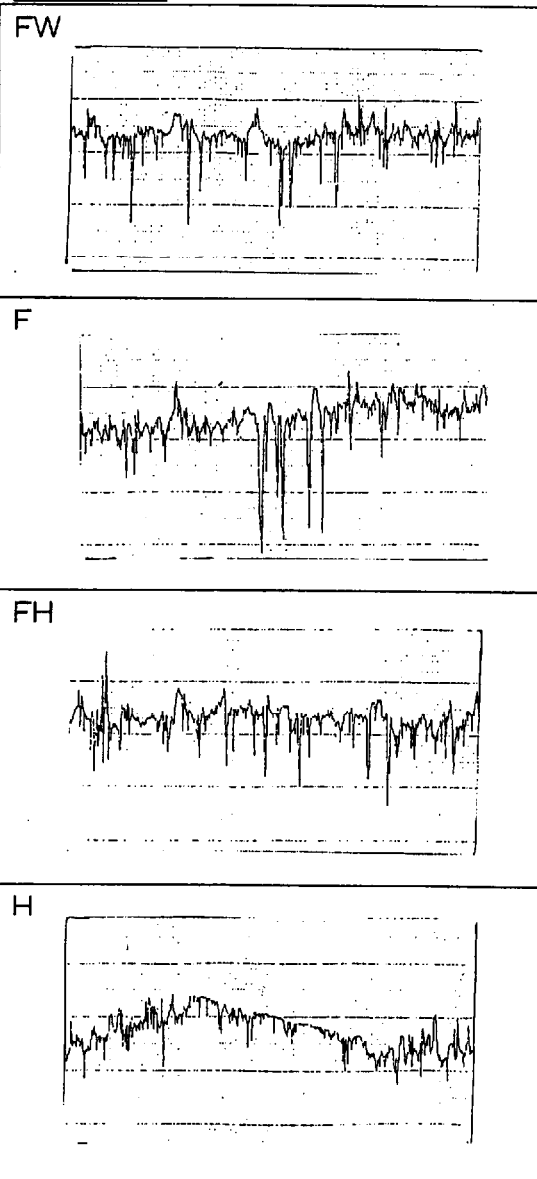


図19 研磨砥石の硬度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル3>

表 15 研磨砥石の硬度による摩耗促進結果

種類	実地摩耗面との比較		判定
FW	凸部	減りが小さい	×
	凹部	減りが小さい	
F	凸部	ほぼ同等	○
	凹部	ほぼ同等	
FH	凸部	減りが大きい	×
	凹部	減りが小さい	
H	凸部	減りが非常に大きい(鏡面に近い)	×
	凹部	減りが小さい	

※研磨砥石の粒度: #80

※サンプル: セラミックタイル3

(3) 研削粒子の粒度の検討

次に、研磨砥石に混入する研削粒子の粒度の検討を行った。

実地摩耗試験において試料の表面に存在する介在物として使用した標準砂の粒径が100～300 μm であることから、表16に示すような4種類（#80，#100，#150，#220）の粒度の研削粒子（中京研磨社製）を選定した。

これら4種類の研削粒子について、(2)と同様な方法で摩耗促進試験を行った。なお、研削粒子を混合する研磨砥石の硬度は、(2)の成果から、硬度Fの1種類とし、試料は実地摩耗試験に使用した表7に示した8種類とした。

(2)と同様に30サイクルの摩耗促進試験で得られた摩耗促進面の断面曲線を図20～27に示す。実地摩耗面と各種研削粒子による摩耗促進面の断面曲線を比較すると、どの粒子も概ね近似した摩耗面が得られている。しかしながら、細部の検討では、以下のようなことが認められる。

- ・セラミックタイル3，4において、粒度#100，150，220では実地摩耗面に比べ摩耗促進面の凹部の減りがやや小さい。
- ・セラミックタイル5において、粒度#100では実地摩耗面に比べ摩耗促進面の凸部の減りがやや大きく、#150，220では実地摩耗面に比べ摩耗促進面の凹部の減りが小さく光沢を増している。
- ・セラミックタイル7において、防滑効果に寄与する鋭い突起の減りがやや小さい。

これらの判定結果のまとめを表17に示す。表から、4種類の研削粒子のうち、粒度#80（粒径210～250 μm ）が最も優れているといえる。

5.2.3 表面粗さ特性値 R_{pk} による摩耗促進試験方法の妥当性の検討

5.2.2(3)における研磨砥石の硬度Fおよび研削粒子#80による摩耗促進方法の妥当性を、§4.3で究明したすべり抵抗値と相関の高い表面粗さ特性値 R_{pk} の観点から検討した。

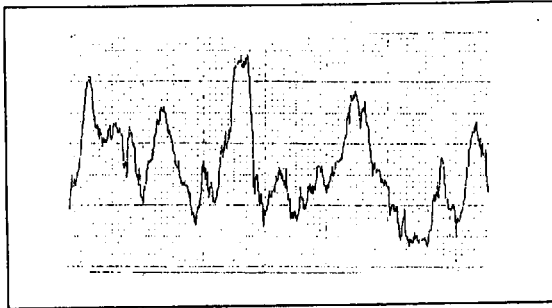
表7に示す8種類の試料について、§4.2における実地摩耗試験前後の R_{pk} の変化量と、摩耗促進試験前後の R_{pk} の変化量の関係を図28に示す。なお、摩耗促進試験前後の表面粗さ特性値 R_{pk} は、表11に示す測定条件でのカットオフ

表16 研磨砥石の研削粒子の粒度

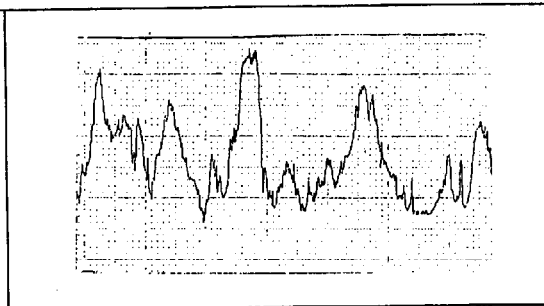
種類	粒径(μm)	備考
1. # 80	210~250	粗 い ↑ ↓ 細 かい
2. #100	170~210	
3. #150	120~160	
4. #220	80~100	

※実地摩耗試験に用いた標準砂の粒径は、100~300(μm)

実地摩耗前



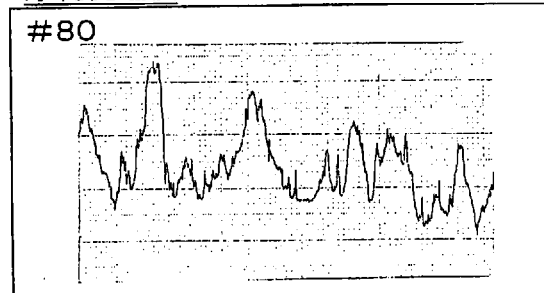
実地摩耗後



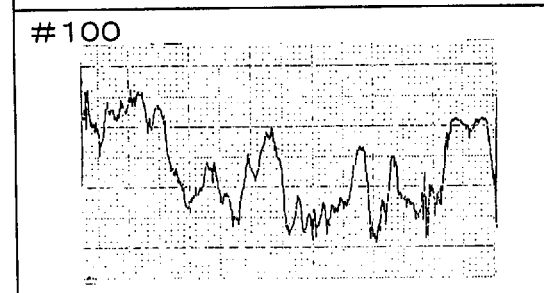
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

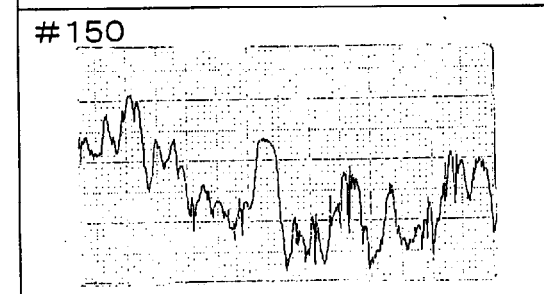
#80



#100



#150



#220

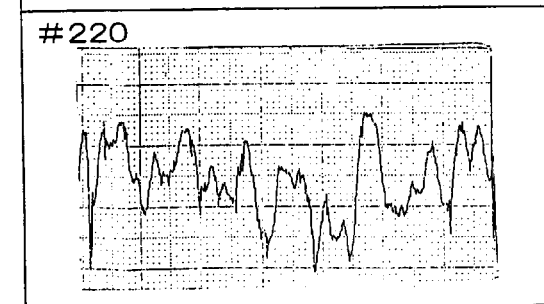
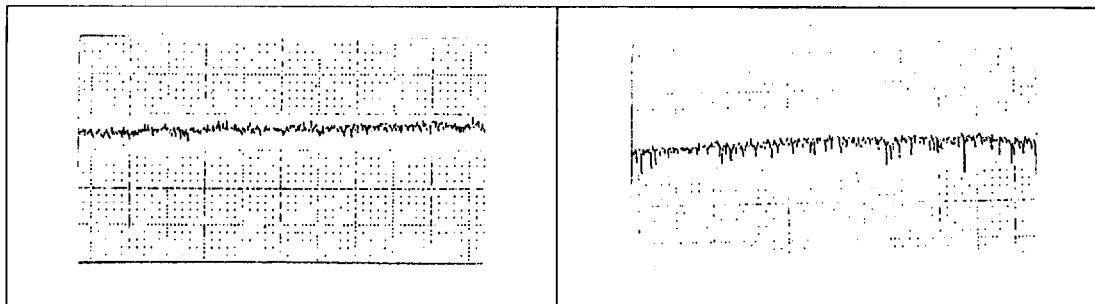


図20 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル1>

実地摩耗前

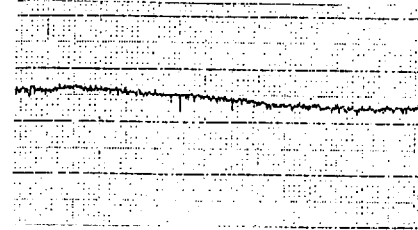
実地摩耗後



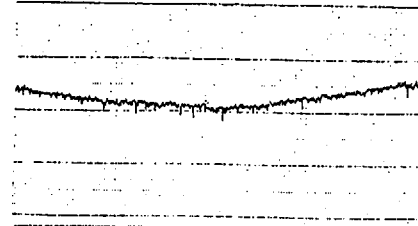
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

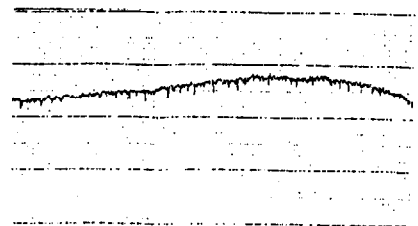
#80



#100



#150



#220

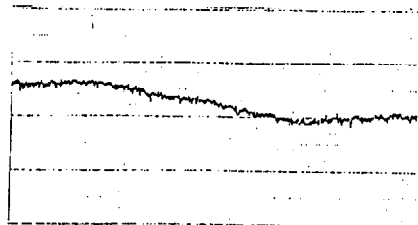
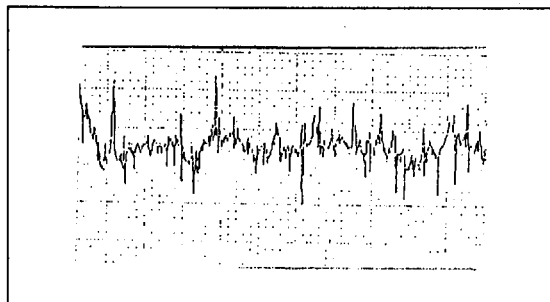


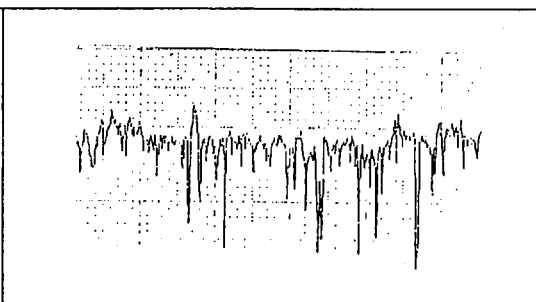
図21 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル2>

実地摩耗前



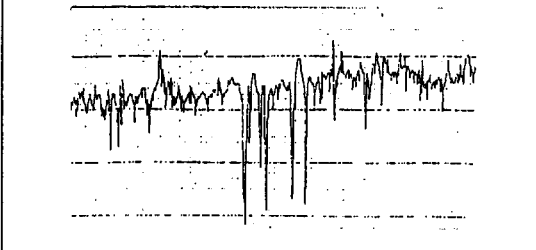
実地摩耗後



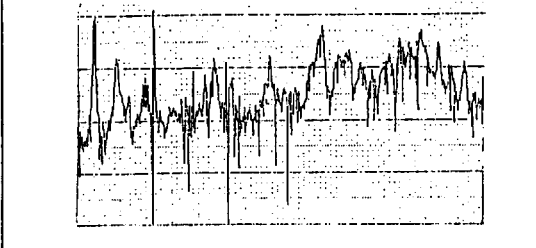
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

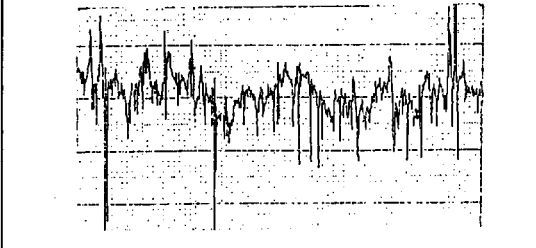
#80



#100



#150



#220

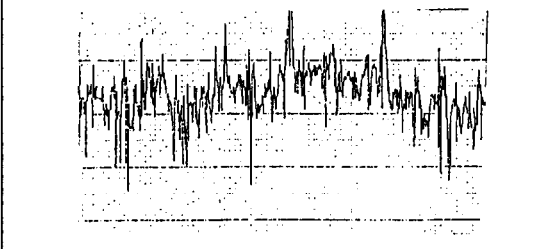
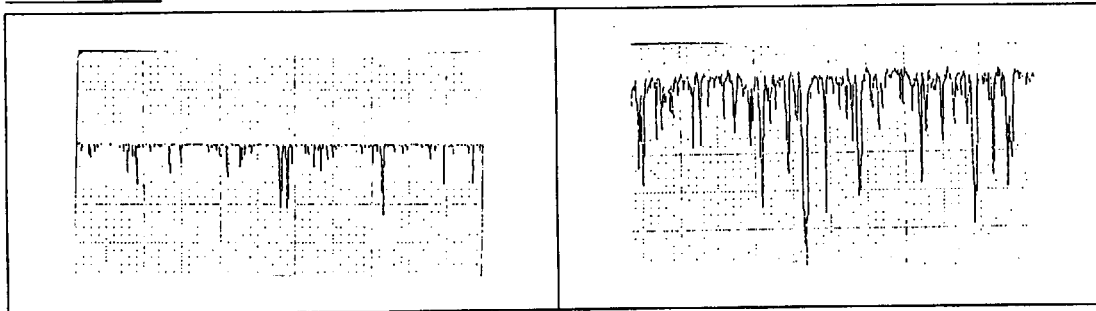


図22 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル3>

実地摩耗前

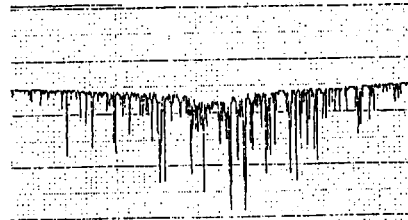
実地摩耗後



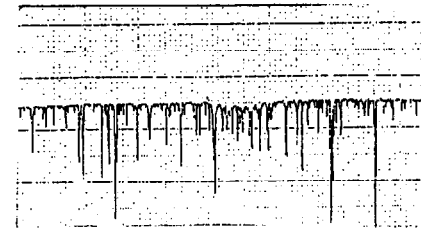
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

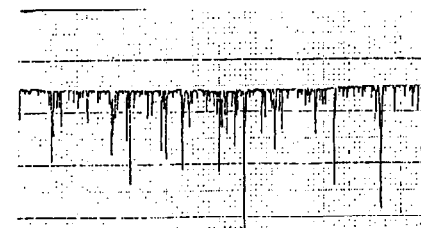
#80



#100



#150



#220

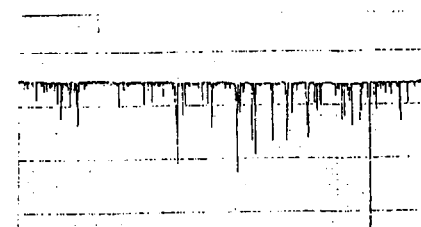
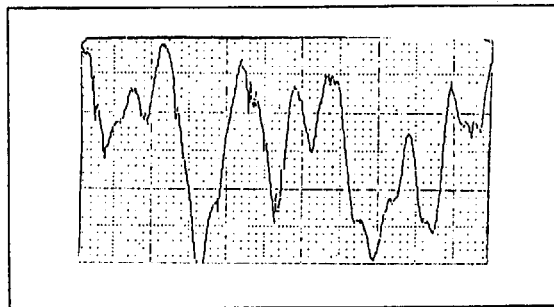


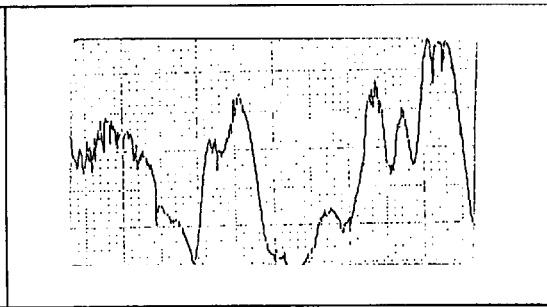
図23 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル4>

実地摩耗前



実地摩耗後



10mm
↔
100 μ m
↑↓

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

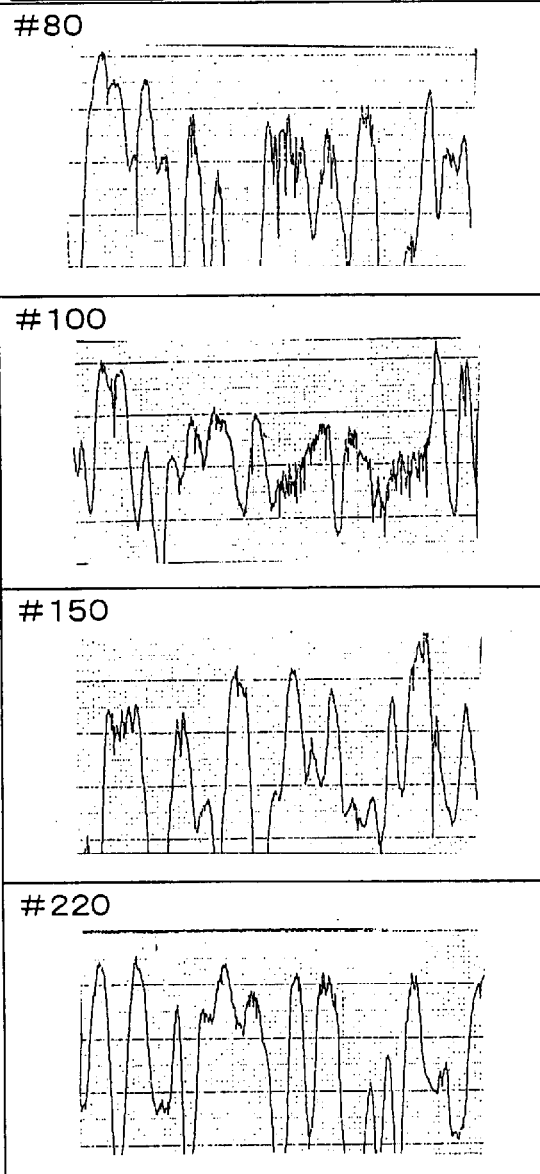
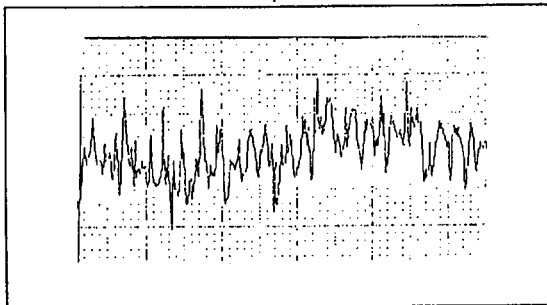
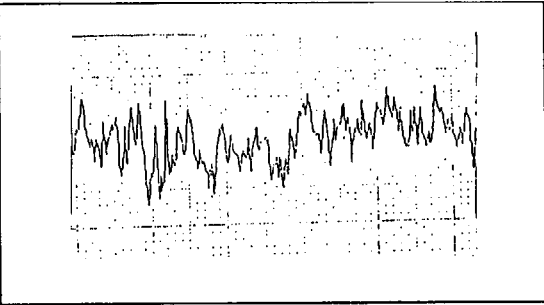


図24 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線
＜セラミックタイル5＞

実地摩耗前



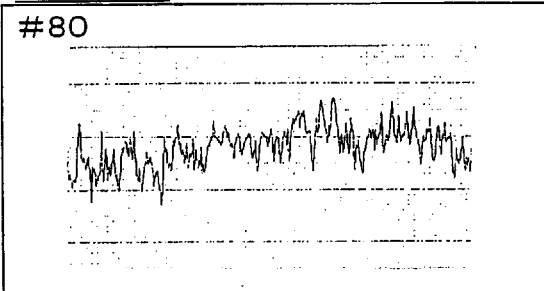
実地摩耗後



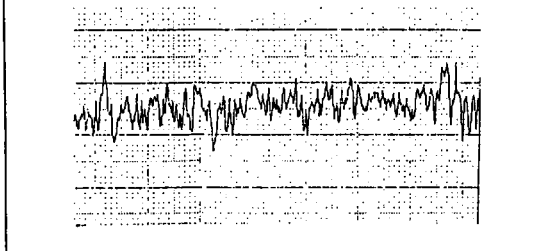
10mm
100μm

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

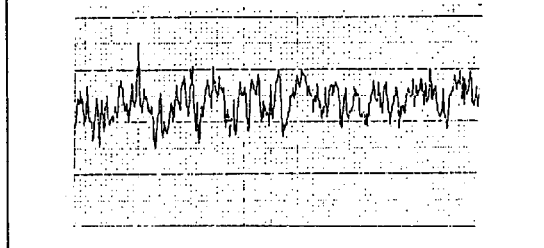
#80



#100



#150



#220

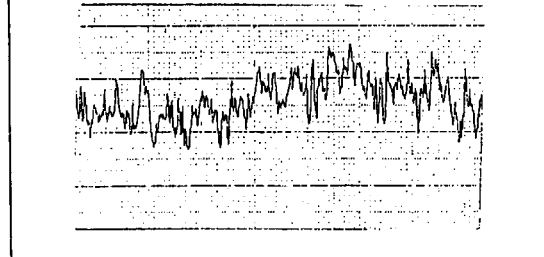
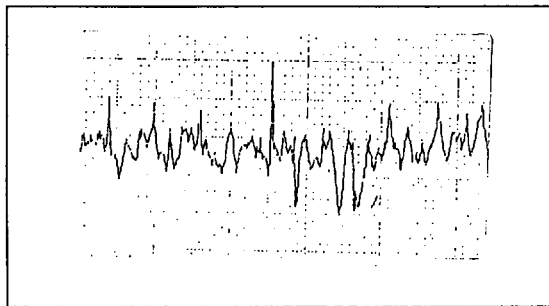


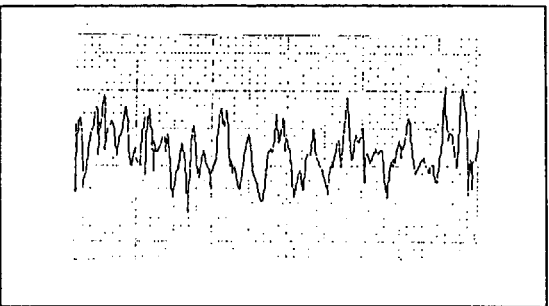
図25 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル6>

実地摩耗前



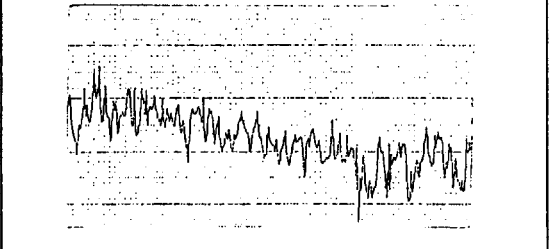
実地摩耗後



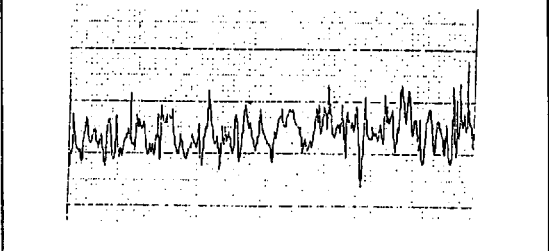
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

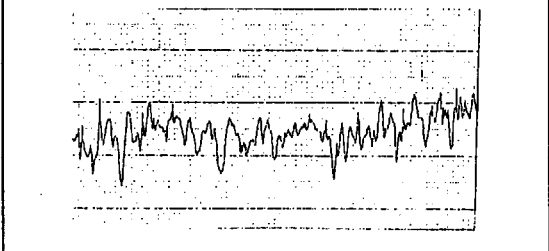
#80



#100



#150



#220

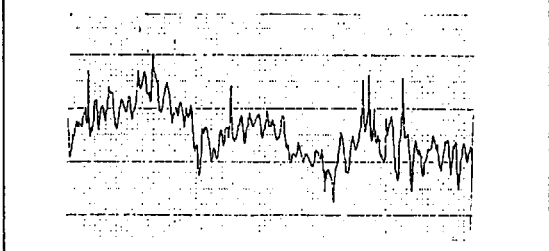
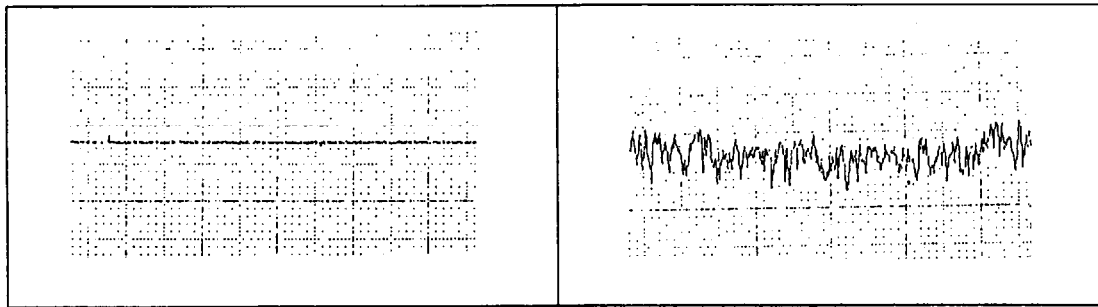


図26 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線

<セラミックタイル7>

実地摩耗前

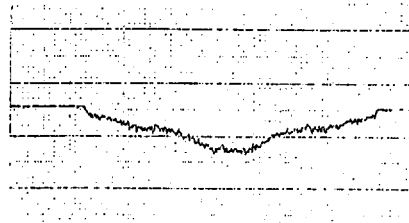
実地摩耗後



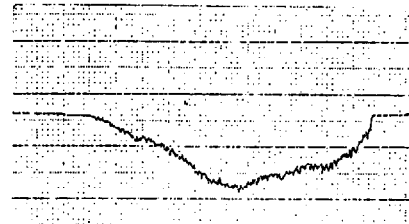
10mm
100 μ m

摩耗促進後(砥石硬度:F, サイクル数:30)

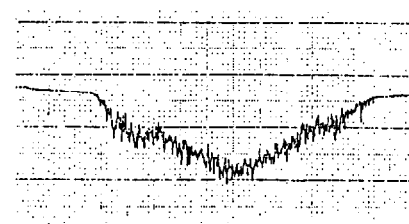
#80



#100



#150



#220

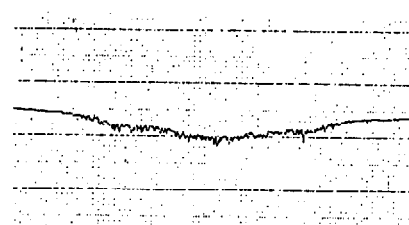


図27 研削粒子の粒度の違いによる摩耗促進試験前後の断面(P1)曲線
<自然石>

表17 研磨砥石の粒度による摩耗促進結果

	実地摩耗面との比較			
	#80	#100	#150	#220
セラミックタイル 1	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等
セラミックタイル 2	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等
セラミックタイル 3	ほぼ同等	凹部の減りが やや小さい	凹部の減りが やや小さい	凹部の減りが やや小さい
セラミックタイル 4	ほぼ同等	凹部の減りが やや小さい	凹部の減りが やや小さい	凹部の減りが やや小さい
セラミックタイル 5	ほぼ同等	凸部の減りが やや大きい	凸部の減りが 小さい(光沢増)	凸部の減りが 小さい(光沢増)
セラミックタイル 6	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等
セラミックタイル 7	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等	鋭い突起の減り がやや小さい
自然石	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等	ほぼ同等
判定	○	△	×	×

※研磨砥石の硬度:F

※試験条件:表14に示す条件

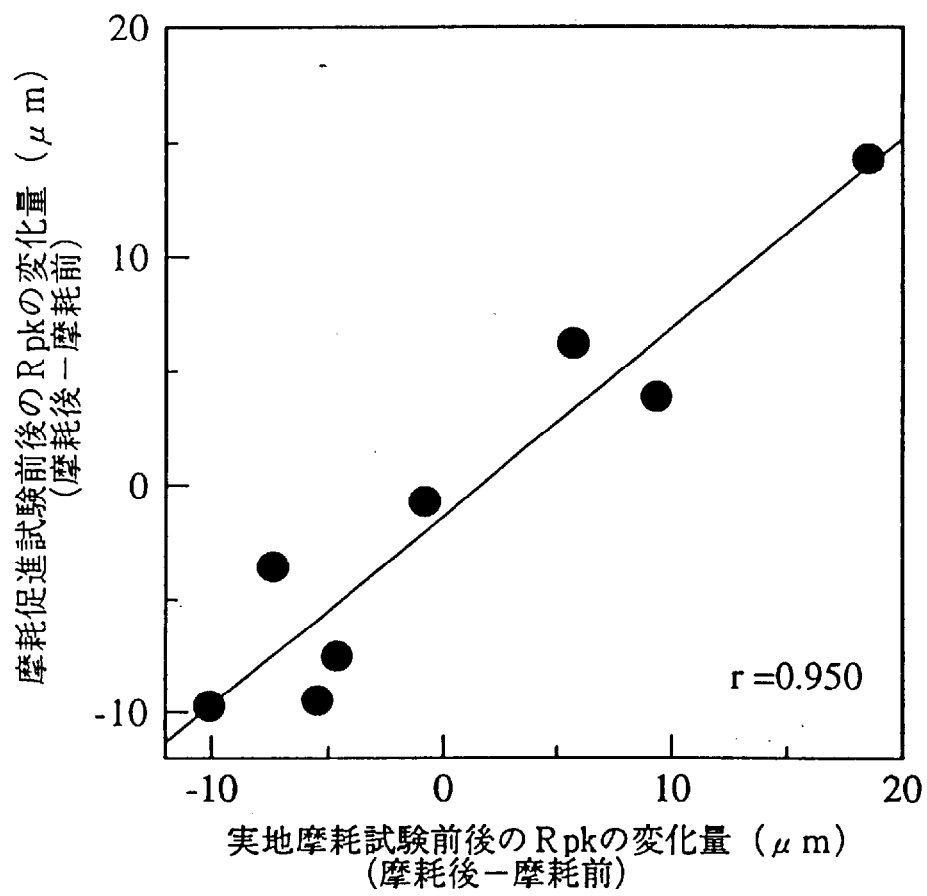


図28 実地摩耗試験前後と摩耗促進試験前後のR_{pk}の変化量の関係

値 2.5mm の粗さ (R 2) 曲線から抽出した値であり、摩耗面中央部 5 個所での粗さ曲線から抽出した値の平均値である。図より、両者の相関は高く、設定した摩耗促進方法による摩耗面の変化が、表面粗さの観点から、実地摩耗試験による摩耗面の変化と高い相関を示すといえる。

5.2.4 摩耗促進試験方法の骨子の設定

5.2.1～5.2.3 の検討結果から、摩耗促進試験方法の骨子を図 18 および表 18 のように設定した。なお、摩耗促進試験のサイクル数についても、試行錯誤の繰り返しを行ったが、5.2.2 にて得られた摩耗促進面の断面曲線と、5.2.3 の表面粗さ特性値 R_{pk} の観点からの妥当性の検討結果から判断し、30 サイクルが良好であるといえる。また、本章での目的のひとつである試験の促進性の点においても、30 サイクルが正味 4 分であり、十分に促進性があると判断できる。

以上から、以降のすべり抵抗値が測定できる程度の面積を摩耗できる機構を持った摩耗促進試験機を開発する上で有効な知見が得られたと考える。

§ 5. 3 摩耗促進試験機の開発

§ 5. 2 で設定した骨子を基礎的知見として、表 7 に示した試料の実地摩耗面と近似し、かつ、O-Y・PSM によるすべり測定が可能な面積 (9 cm×12 cm 程度) の摩耗面をすみやかに得られる摩耗促進試験機を、§ 5. 2 で試作した簡易試験機を基に試行錯誤的に実験を繰り返しながら開発した。開発した摩耗促進試験機を図 29、写真 3 に示す。

摩耗負荷を与える研磨砥石は直径 3 cm で、 1.5 kg/cm^2 の鉛直応力を試料に負荷しながら、200 rpm で回転し、かつ、試料中心から端部の間を往復する。往復する間隔は 7.5 cm で所要時間は往復で 2 分間である。研磨砥石は 5.2.4 で設定した仕様と同様である。

一方、水中に試料が固定されている試料台は、インバーター制御により 20 rpm (研磨砥石が中央部にある場合) ～ 30 rpm (研磨砥石が端部にある場合) で研磨砥石と反対に回転する。ここで、回転数に幅を持たせたのは、試料の中央部と

表 18 摩耗促進試験の骨子となる試験条件

荷重		1.5 kg/cm ²
回転数	研磨砥石	200 ppm
	試料台	30 ppm
研磨砥石の種類		ゴムの中に研削粒子を混合した固型体
研磨砥石の硬度		F(デュロメータ硬さ A80~90)
研削粒子の種類		アルミナ結晶
研削粒子の粒度		#80(粒径: 210~250 μm)
研磨砥石の大きさ		φ 3 cm
給水方法		散水法 常時 1 2ℓ / min の水を吐水口より散布
研削時間		5 sec
休止時間		3 sec
繰り返しサイクル数		30回
所要時間		4分
摩耗促進面の大きさ・形		φ 3 cm の円

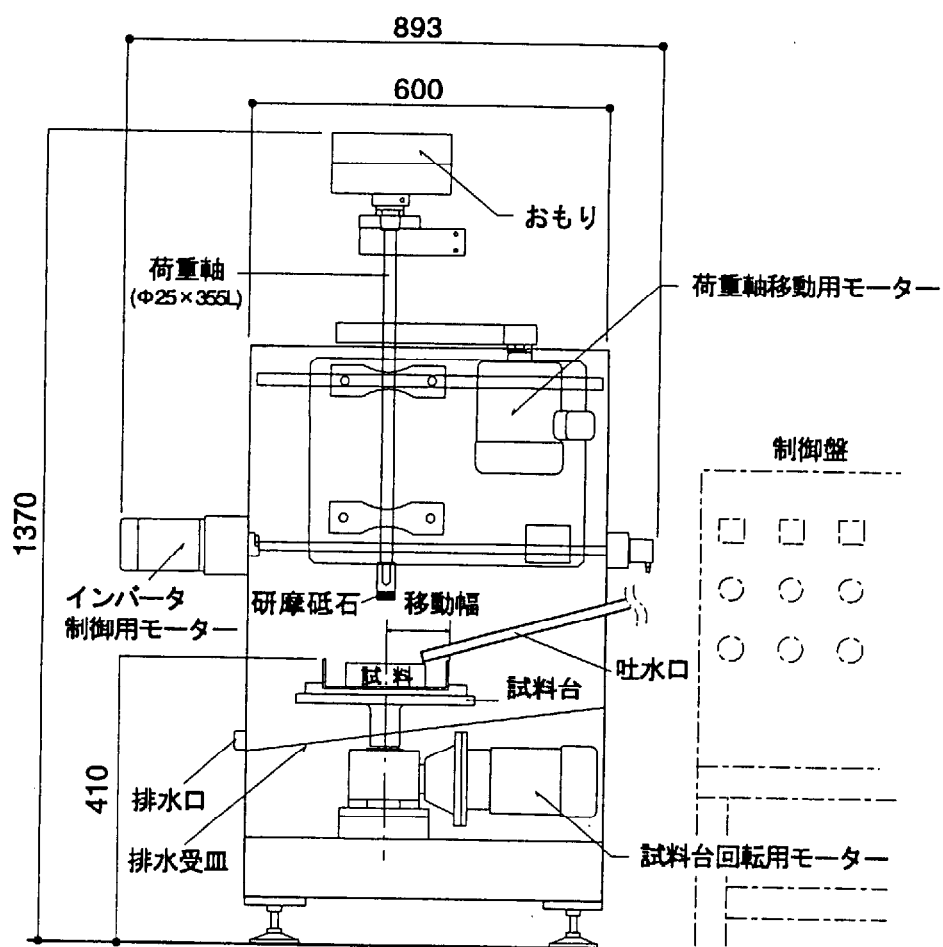


図29 摩耗促進試験機の概要(単位:mm)

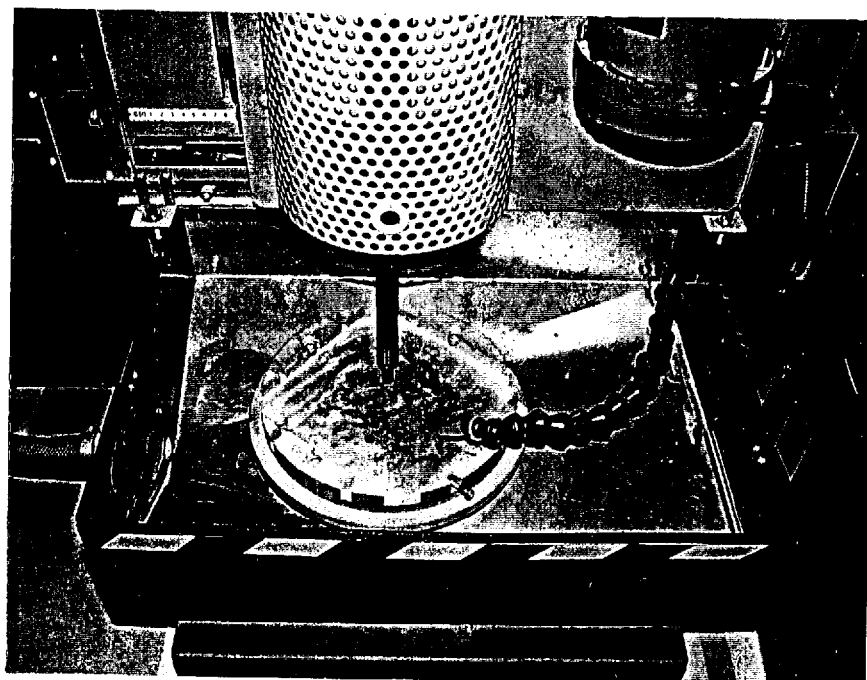
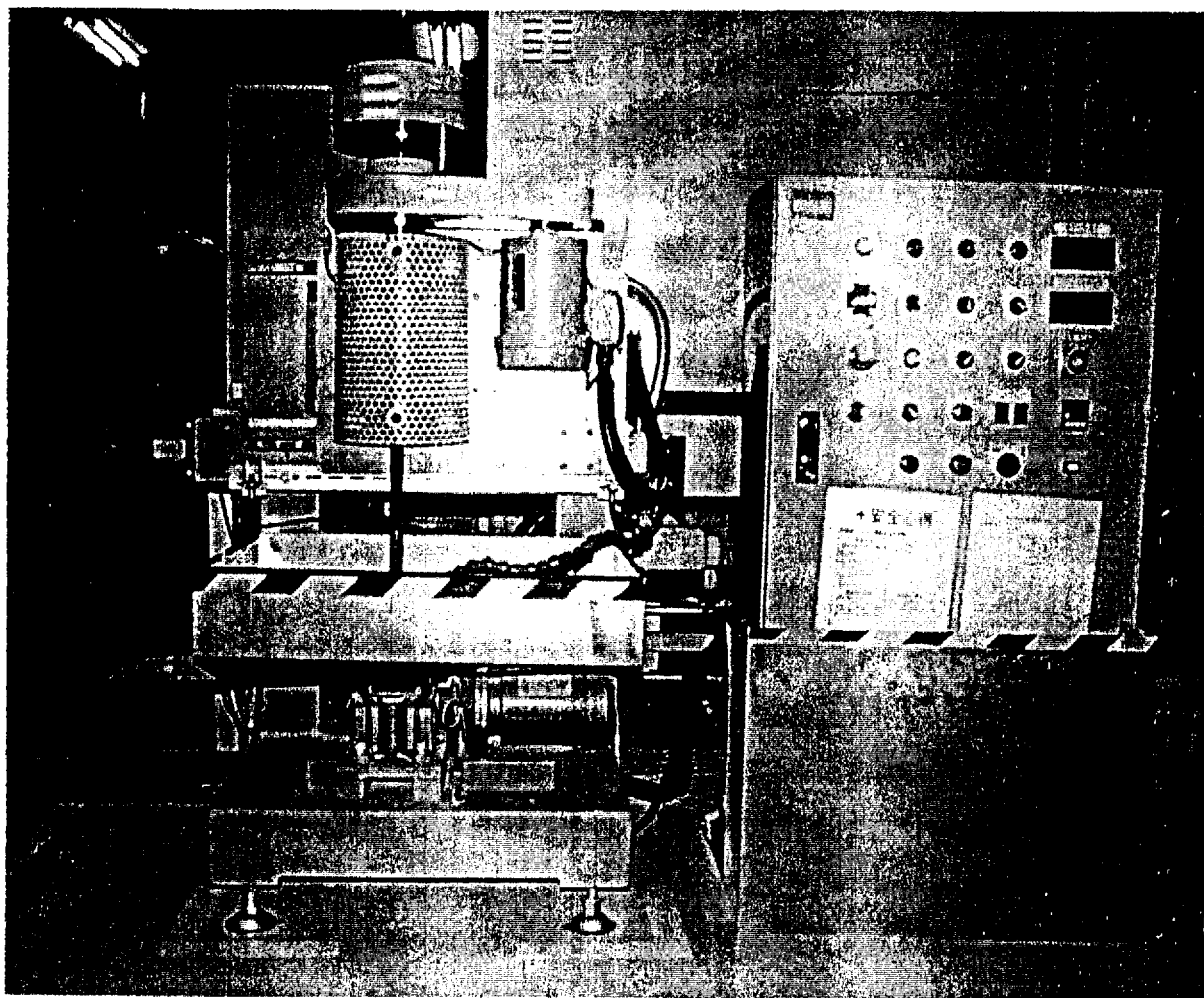


写真3 摩耗促進試験機

端部で同一の摩耗負荷が与えられるように工夫したことによる。

また、試料はつねに水中に固定されているため、摩耗粉は回転運動と共に試料と試料台の間にある溝に逸散するが、十分に逸散させるため研磨砥石が端部に位置したとき、研磨砥石を30秒間試料から持ち上げ、1ℓ/minの水を吐水口から補給する。なお、試料台よりあふれ出た水は排水口より排出される。

以上の条件で研磨砥石を2往復させ、直径15cmの円形の摩耗面を得る。試験に要する時間は正味5分（2分/往復×2往復+0.5分/1回の水補給×2回の水補給）である。なお、主な試験条件を表19に示す。

以上の条件で行った表7に示した試料の摩耗促進試験結果と§4.2で行った実地摩耗試験結果から以下の考察ができる。

実地摩耗試験前後と摩耗促進試験前後のR_{pk}の変化量の関係を図30に、C.S.R・IIの変化量の関係を図31に示す。なお、摩耗促進試験前後のR_{pk}は摩耗面中央部5個所における粗さ曲線から抽出した値の平均値、C.S.R・IIは同様に中央部の同一個所で3回測定した値の平均値である。

いずれにおいても、両者の相関は高く、開発した摩耗促進試験機による摩耗面が、すべり抵抗値およびすべり抵抗値と対応する表面粗さの観点から、実地摩耗試験による摩耗面と良い対応を示すといえる。

以上から、開発した摩耗促進試験機は、すべりの変化の観点から妥当な摩耗を促進させる試験機といえる。

§5.4 摩耗によるセラミックタイルのすべりの変化の推定方法の提示

§5.3に述べた摩耗促進試験機により試料を摩耗させ、O-Y・PSMによりすべり抵抗値の変化を測定する方法を、摩耗によるセラミック系床仕上げ材料のすべりの変化の推定方法として提示する。

また、すべり抵抗値の変化の代わりにR_{pk}を測定し、図17に示す関係を用いてすべり抵抗値（C.S.R・II）の変化量を推測することも可能といえる。

表19 摩耗促進試験の試験条件

荷重		1.5 kg/cm ²
回転数	研磨砥石	200 ppm
	試料台	20～30 ppm (インバータ制御) 研磨砥石が中央部にある場合：20 ppm 研磨砥石が端部にある場合：30 ppm
研磨砥石の種類		ゴムの中に研削粒子を混合した固型体
研磨砥石の硬度		F (ショア硬度：A80～90)
研削粒子の種類		アルミナ結晶
研削粒子の粒度		#80 (210～250 μm)
研磨砥石の大きさ		φ3 cm
給水方法		水中法 端部にて1ℓ/minの水を吐水口から補給
往復距離(中央部～端部)		7.5 cm
研削時間(中央部～端部)		往復2 min
休止時間(端部)		0.5 min
繰り返しサイクル数		2回
所要時間		5分
摩耗促進面の大きさ・形		φ1.5 cmの円

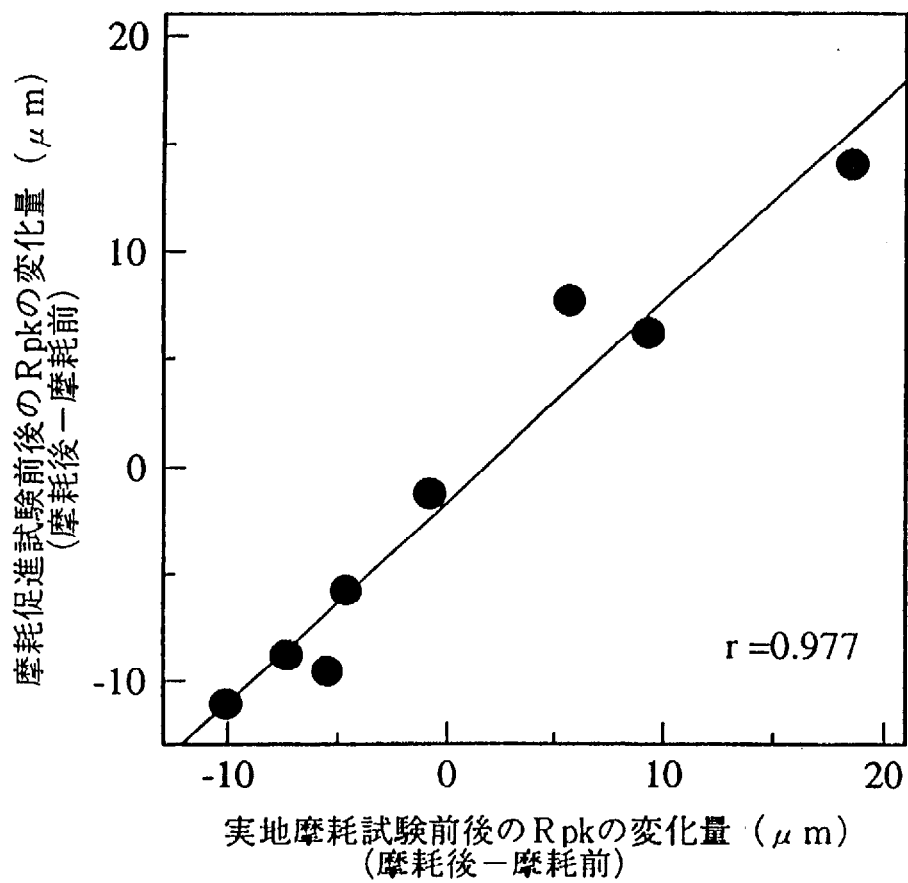


図30 実地摩耗試験前後と摩耗促進試験前後の R_{pk} の変化量の関係

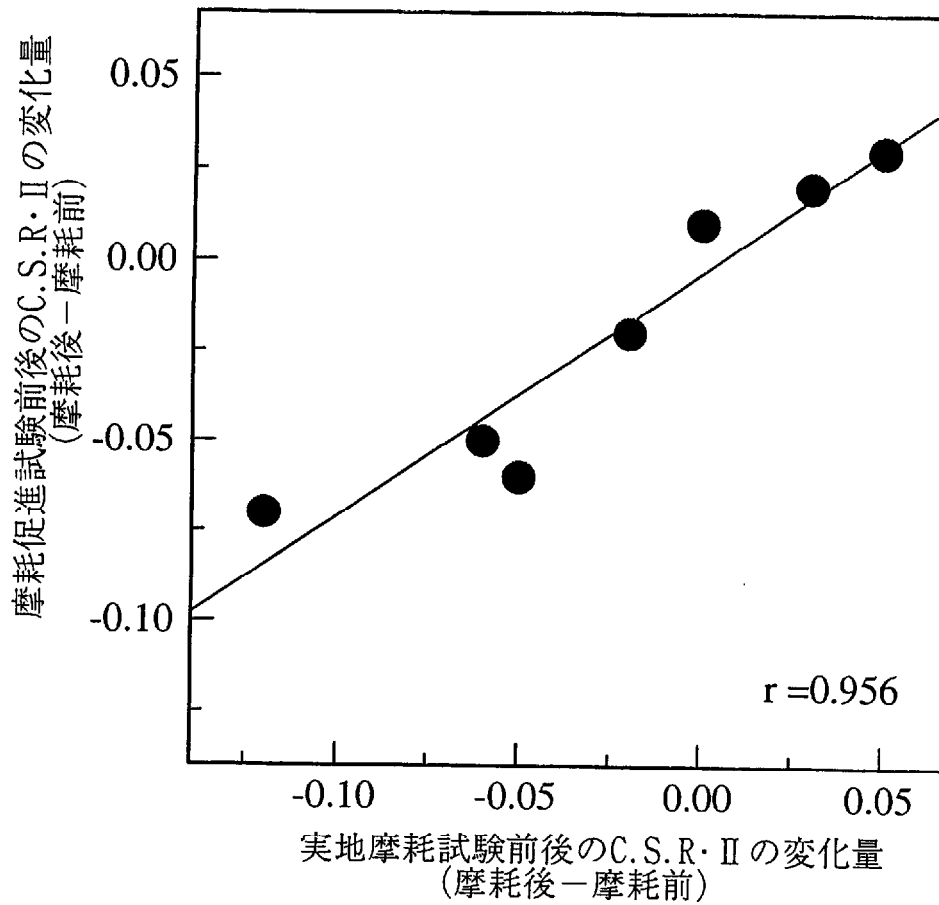


図31 実地摩耗試験前後と摩耗促進試験前後のC.S.R. II の変化量の関係

第6章 結 論

本研究では、床の仕上材料の中からセラミックタイルを選定し、人の靴履きおよび素足でのすべりと、セラミックタイルの表面粗さの関係を検討し、表面粗さの観点から所定のすべり抵抗を保持させる基本指針を提示し、妥当なすべりを持つセラミックタイルの合理的な開発の一助にすることを目的とした。

また、人の靴履きでの歩行が行われる床の場合には、使用に伴う摩耗により、初期のすべりが大きく変化することがあるため、いかなる理由によりすべり抵抗が変化するかをセラミックタイルの表面粗さの変化を媒体として推定し、摩耗によるすべり抵抗の変化の少ないセラミックタイルの合理的な開発の一助とすることも目的にした。

さらに、摩耗によるすべりの変化の観点から、人の靴履きでの歩行による実際の摩耗をすみやかに再現し、すべりの変化を推定する方法を確立すること、つまり、すべりの変化の観点から、実際と相関の高い摩耗促進試験機を設計・試作し、摩耗によるすべりの変化を推定する方法を提示することを目的とした。

以下に、研究結果をまとめる。

第2章では、未使用のセラミックタイルを試料として、セラミックタイルの靴履きでのすべりと表面粗さの関係を検討し、靴履きでのすべりを左右するセラミックタイルの表面粗さ特性値として、断面曲線における平均傾斜角 $P\theta a$ を抽出した。この結果から、人が靴などの履き物を着用して動作することが主となる床のセラミックタイルについて、所定のすべり抵抗値を保持させるためのセラミックタイルの表面粗さの開発指針を提示した。

第3章では、未使用のセラミックタイルを試料として、セラミックタイルの素足でのすべりと表面粗さの関係を検討し、素足でのすべりを左右するセラミックタイルの表面粗さ特性値として、粗さ曲線における平均傾斜角 $R\theta a$ を抽出した。この結果から、人が素足で動作することが主となる床のセラミックタイルについて、所定のすべり抵抗値を保持させるためのセラミックタイルの表面粗さの開発指針を提示した。

第4章では、人の靴履きでの歩行による実地摩耗試験を行い、摩耗前後におけるすべり抵抗値（第2章で設定したC.S.R・II）の変化、表面粗さの変化を把握した。未使用のセラミックタイルを試料として研究を行った第2章で提示した表面粗さ特性値の断面曲線における平均傾斜角 $P\theta_a$ は、第4章で使用したセラミックタイル（8種類の未使用試料と実地摩耗試験を行った試料、計16種）の範囲では相関が低いことが判明したため、様々な検討を加え、未使用のセラミックタイルのみならず、実地摩耗試験を行ったセラミックタイルにおいても、すべり抵抗値との相関が高い表面粗さ特性値として減衰山高さ R_{pk} を抽出した。この結果から、第2章の結論を踏まえさらに発展させ、人が靴など履き物を着用して動作することが主となる床のセラミックタイルについて、所定のすべり抵抗値を保持させるためのセラミックタイルの表面粗さの開発指針をあらためて提示した。

第5章では、第4章で抽出した表面粗さ特性値 R_{pk} の変化の観点から、人の靴履きでの歩行による実際の摩耗面を小面積ではあるがすみやかに再現することができる摩耗促進試験方法の骨子を開発した。この骨子に従い、O-Y・PSMによるすべり抵抗値が測定できる程度に大面積を摩耗できるメカニズムを持った摩耗促進試験機を開発し、実地摩耗試験前後のすべり抵抗値の変化量および表面粗さ特性値 R_{pk} の変化量の観点から、試験機の妥当性を検証した。この結果から、摩耗促進試験機により試料を摩耗させ、O-Y・PSMによりすべり抵抗値の変化を測定する方法を、摩耗によるセラミック系床仕上げ材料のすべりの変化の推定方法として提示した。

参 考 文 献

- 1)小野英哲，宮木宗和，河田秋澄，吉岡丹：床のすべりおよびその評価方法に関する研究（その１）研究方法およびすべり感覚の尺度化，日本建築学会論文報告集 第 321 号，pp1-7，1982.11
- 2)小野英哲：床のすべりおよびその評価方法に関する研究（その２）すべり試験機設計・試作のための基礎的試料の集積およびすべり試験機の基本構想，日本建築学会論文報告集 第 333 号，pp1-7，1983.11
- 3)小野英哲，河田秋澄，宮木宗和，川村清志，小西敏正，三上貴正，橋田浩，吉岡丹：床のすべりおよびその評価方法に関する研究（その３）すべり試験機の設計・試作，日本建築学会論文報告集 第 346 号，pp1-8，1984.12
- 4)小野英哲，須藤択，武田清：床のすべりおよびその評価方法に関する研究（その４）床のすべりおよびその評価方法に関する研究，日本建築学会論文報告集 第 356 号，pp1-8，1985.10
- 5)小野英哲，橋田浩，横山裕：スポーツサーフェイスのすべりの評価方法に関する研究，日本建築学会論文報告集 第 359 号，pp1-9，1986.1
- 6)小野英哲，須藤拓，三上貴正：安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する基礎的考究－安全性からみた階段の評価方法に関する研究（その１），日本建築学会論文報告集 第 362 号，pp1-10，1986.4
- 7)小野英哲，武田清，永田久雄：階段各部分のすべり抵抗の測定方法－安全性からみた階段のすべりの評価方法に関する研究（その２），日本建築学会論文報告集 第 373 号，pp19-26，1987.3
- 8)小野英哲，武田清，三上貴正，大野隆造：安全性からみた階段のすべりの評価方法の提示－安全性からみた階段のすべりの評価に関する研究（その３），日本建築学会論文報告集 第 383 号，pp1-7，1988.1
- 9)小野英哲，上野静二，横山裕，大野隆造，三上貴正：安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究－（その１）すべり抵抗の測定方法の設定および浴槽縁断面寸法の設定，日本建築学会論文報告集 第 384 号，pp26-33，1988.2
- 10)小野英哲，三上貴正，岩崎淑子，横山裕：エアロビックダンスフロアのかたさ，すべりの評価方法に関する研究，日本建築学会論文報告集 第 385 号，pp1-7，1988.3

- 11)小野英哲，三上貴正，大野隆造，横山裕，上野静二，高木直：安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究－（その2）すべりの評価方法および評価方法の提示，日本建築学会論文報告集 第 385 号，pp1-7，1988.5
- 12)小野英哲，三上貴正，高木直，横山裕，北山大，高橋宏樹：床のすべりの評価における床表面介在物の標準化に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集 第 450 号，pp7-14，1993.8
- 13)J I S A 1 4 5 4：「高分子系張り床材試験方法」
- 14)(株)東京精密：表面粗さ形状測定機 サーフコム 5 9 0 Aおよび7 9 0 A／1 7 9 0 Aシリーズ パラメータ解説書，1994.12
- 15)J I S B 0 6 0 1：「表面粗さ－定義及び表示」
- 16)達下文一，笹岡弘治，田中輝栄：一歩行者系道路舗装の総合的評価－，都土木技研年報，1986
- 17)J I S K 7 2 0 4：「摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法」
- 18)J I S A 1 4 5 2：「建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（落砂法）」
- 19)J I S A 1 4 5 1：「建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（回転円盤の摩耗及び打撃による床材料の摩耗試験方法）」
- 20)工業標準原案「床材料の摩耗試験方法（回転円盤による摩耗および打撃法）」
作成委員会：床材料の摩耗試験方法に関する研究報告、財団法人 建材試験センター，1968.7
- 21)J I S R 5 2 0 1：「セメントの物理試験方法」
- 22)小野英哲，三上貴正，永田まゆみ：－身体接触時のすり傷の生じやすさおよび痛さの観点からみた舗装面凹凸の評価方法に関する研究－日本建築学会構造系論文報告集 第 392 号，pp10-17，1988.10
- 23)J I S K 7 2 1 5：「プラスチックのデュロメータ硬さ試験方法」

本研究に関連して発表した論文リスト

●審査論文

1. 本研究に関連する審査論文

- 1) 後藤和昌, 山本章造, 永田まゆみ, 景山弘一, 石田秀輝, 小野英哲: 床材料の表面粗さとすべりの関係についての基礎的研究, 日本建築学会構造系論文報告集 第 459 号, pp21-29, 1994.5
- 2) 後藤和昌, 小栗健, 小野英哲: 摩耗によるセラミック系仕上材料のすべりの変化の推定方法, 日本建築学会構造系論文報告集, 投稿中

2. その他の審査論文

- 1) 後藤和昌, 永田まゆみ, 小松原仁, 石田秀輝, 小野英哲: セラミックタイルで舗装された屋外路面の汚れの評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集 第 440 号, pp9-17, 1992.10
- 2) 小野英哲, 松本雄樹, 後藤和昌, 景山弘一: 自転車制動時のすべりからみた床および舗装路の相対的評価方法に関する基礎的検討 自転車走行時のすべりからみた床および舗装路の相対的評価方法に関する研究 (その 1), 日本建築学会構造系論文報告集 第 479 号, pp13-21, 1996.1
- 3) 後藤和昌, 景山弘一, 石田秀輝, 小松原仁, 坂田勝亮, 小野英哲: セラミックタイルの視覚的観点からの印象に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集 第 482 号, pp9-15, 1996.4
- 4) 小野英哲, 松本雄樹, 後藤和昌, 景山弘一: すべり試験機の設計・試作および評価方法の簡易化 自転車走行時のすべりからみた床および舗装路の相対的評価方法に関する研究 (その 2), 日本建築学会構造系論文報告集 第 488 号, pp13-21, 1996.10
- 5) 小野英哲, 塚本和一, 高橋宏樹, 後藤和昌, 杵島健, 高井智代: 自転車走行時のすべりからみた床および舗装路の相対的評価方法に関する研究 自転車走行時のすべりからみた床および舗装路の相対的評価方法に関する研究 (その 3), 日本建築学会構造系論文報告集 第 516 号, pp15-19, 1999.2