

靴および靴材料の試験法

6. 表底材料（天然皮革以外の素材）の耐摩耗性

都立皮革技術センター台東支所

はじめに

靴が地面と接する部分は表底 (Outsole) とトップピース (Top piece) である。本報では表底とトップピースに使用される素材を「表底材料」と総称し、そのうちの天然皮革以外の素材の耐摩耗性試験について解説する。

前号でも述べたように、かつては植物タンニン鞣し牛革が表底材料の主流であった。今でも高級靴の表底には植物タンニン鞣し牛革が使われている。その独特の履き心地のよさと高級感の愛用者は減らない。しかし、靴製法の変化とコスト面の問題などから、現在では表底材料の主流は合成ゴム、合成樹脂などの合成素材である。

靴を履いて歩行するとき、表底・トップピースと地面の間には常に摩擦が生じ、それにより徐々に摩耗する。着用者の経験からその摩耗程度が劣ると判断されたならば不満やクレームにつながる (図1、図2参照)。それを回避するには、表底材料の耐



図1 エチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) 製表底の著しい摩耗



図2 ポリウレタン製トップピースの著しい摩耗

摩耗性を予め検査し、その品質を知っておく必要がある。

1. 表底材料の耐摩耗性試験の趣旨

台東支所ではISO 20871「履物-表底の試験法-耐摩耗性」に基づき、天然皮革以外の表底材料の耐摩耗性試験を行っている。歩行時における地面と表底・トップピースの摩擦を想定して、それに対する表底材料の摩耗程度を測定することが趣旨である。対象となる表底材料は、合成ゴム、合成樹脂などの合成素材である。

本試験は元々ドイツ工業規格 (DIN, Deutsche Industrie Normen) であるDIN 53516で定められたものである。ゴム等の耐摩耗性を測定する試験法には他にアクロン法やウィリアムス法などがあるが、DIN法が実際の着用試験で得られるデータと最も相関性が高いと判断されISO法に採用されたようである。

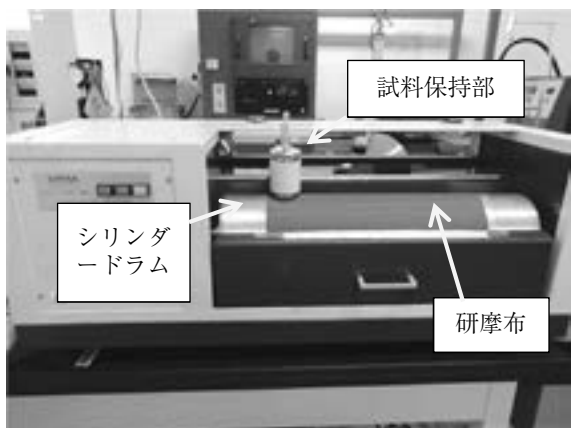


図3 表底材料の耐摩耗試験機 (ISO法)

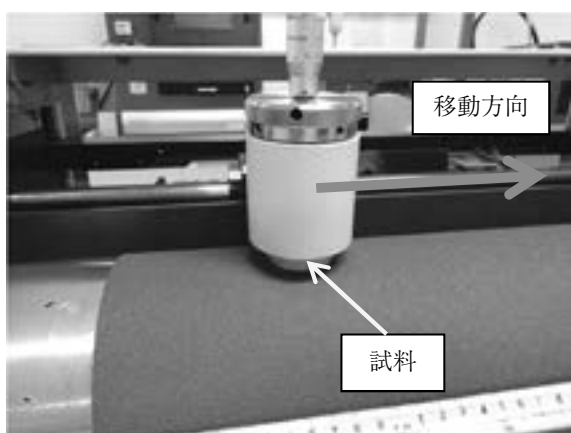


図4 同試験機の試料保持部

2. 表底材料の耐摩耗性試験機

ISO法の表底材料の耐摩耗試験機を図3に示す。この試験機は水平方向に移動する試料保持部と、研磨布が巻かれたシリンダードラムで構成されている。仕様は以下のとおりである。

- (1) シリンダードラムの直径は150mm、長さは500mm、回転速度は毎分40回である。
- (2) 試料保持部には直径16mmの試料を取り付ける円形の開口部があり、試料を2mm突き出して保持し、水平方向に移動させる。水平方向への移動距離はシリンダードラムの1回転毎に4.2mmである(図4)。
- (3) 研磨布 (Abrasive cloth) は粒度60の酸化アルミニウムを研磨材としてフェノール樹脂で布に貼り付けたもので、幅400mm、長さ473mm、平均厚さ1mmで

ある。その仕様はISO 4649「加硫ゴムあるいは熱可塑性ゴムの耐摩耗性試験法-回転シリンダードラム法」で規定されている。

3. 試験手順

- (1) 直径16mmの円柱形の試料を摩耗量測定のための3個と密度測定用の2個の計5個作成する。試料の一例を図5に示す。試料の厚さが6mmに満たない場合は、硬質台ゴムに試料を接着剤で貼り付けて試験する。



図5 標準ゴム (左) と試料 (右)

- (2) この試料と標準ゴムを用意し、それぞれ試験前の重量を天秤で測定しておく。なお、標準ゴム (Standard rubbers) とは、研磨布の研磨能力を評価するためのゴムで、その製法と加硫条件がISO 4649のB.1で厳しく規定されている。その成分と配合比率を表1に示す。加硫条件は、温度：150℃、反応時間：30分間である。

表1 標準ゴムの成分と配合比率

成分	配合比率
天然ゴム SMR- 5	100
酸化亜鉛 (加硫促進剤)	50
カーボンブラック (オイルファーネス法) N-330	36
ジベンゾチアジルスルフィド (加硫促進剤)	1.2
硫黄	2.5
酸化防止剤 IPPD	1.0
計	190.7

(3) 標準ゴムを試料保持部に装着して開口部から2mm突き出るようにする(図6)。試料は垂直方向に10Nの力でシリンダードラムに押し付けられ摩擦される。試験機を作動させ、1分間に40回転の速度で回転するシリンダードラムを84回回転させる。その上を標準ゴムはシリンダードラム1回転ごとに水平方向に4.2mm移動する。シリンダードラムの直径は150mm、研磨布の厚さは約1mmであるから、シリンダードラムを84回回転させたときに標準ゴムが摩擦される距離は、 $(150 + 1) \times 3.14 \times 84 \div 1000 \div 40 = 40\text{m}$ となる。40mの距離を摩擦させた後の標準ゴムの重量を測定し、試験前後の重量差から重量損失を求める。この重量損失量が180~220mgの基準内であれば、続いて試料を同様の手順で試験する。標準ゴム→試料→標準ゴム→試料→標準ゴム→試料という順序で試験を繰り返し、それぞれの重量損失を求める。



図6 試料装着状態

本試験に用いる研磨布の表面は、標準ゴムを40m摩擦したときの重量損失が180~220mgの範囲に収まる状態でなければならない。そのため標準ゴムおよび試料を摩擦した後は電気掃除機やブラシで研磨布表面をクリーニングする。試料の摩耗試験の合間に標準ゴムの摩耗試験を挟む理由は、研磨布の表面の状態が正常か否かを判断する

ためである。もし標準ゴムの重量損失がこの範囲から逸脱した場合には、クリーニングを繰り返すか、それでも適正な範囲に入らなければ研磨布を交換しなければならない。

(4) 密度測定用試料の大気中および水中での重量を測定し、その差から密度を算出する(2個の試料の平均値を求める)。例えば、大気中での重量が1.234g、水中での重量が0.217gの場合、その試料の密度は、 $1.234 \div (1.234 - 0.217) = 1.21\text{mg}/\text{mm}^3$ となる。発泡ポリウレタン等の素材は水に浮かぶため水中での重量はマイナスの値を示す。例えば、大気中での重量が0.548g、水中での重量が-0.582gの場合、密度は $0.548 \div (0.548 + 0.582) = 0.48\text{mg}/\text{mm}^3$ と算出される。

4. 結果の表示

重量損失はmg単位で以下の式から得られる。

$$M = (m \times S_0) / S$$

M: 重量損失 (mg)

m: 試料の平均摩耗値 (mg)

S₀: 標準ゴムの正常摩耗値 (200mg)

S: 標準ゴムの平均摩耗値 (mg)

体積損失はmm³単位で以下の式から得られる。

$$V = (m \times S_0) / (\rho \times S)$$

V: 体積損失 (mm³)

m: 試料の平均摩耗値 (mg)

S₀: 標準ゴムの正常摩耗値 (200mg)

S: 標準ゴムの平均摩耗値 (mg)

ρ: 密度 (mg/mm³)

重量損失と体積損失は3個の試料の平均値で表す。結果の表示例を2つ以下に示す。上は密度が1 mg/mm³より高い硬質な素材、下は密度が1 mg/mm³より低い発泡性

素材の例である。なお、当然ながら、重量損失を体積損失で除した数値は密度と等しい。

重量損失	174 mg
体積損失	155 mm ³
密度	1.12 mg/mm ³
重量損失	271 mg
体積損失	903 mm ³
密度	0.30 mg/mm ³

5. 表底材料の耐摩耗性の性能要件

ISO/TR 20880「履物-靴材料の性能要件-表底」に定められた表底材料の耐摩耗性の性能要件（いわゆる基準値）の一部を表2に示す。重要な性能であるため基本的性能要件に指定されている。

表2 表底材料の耐摩耗性の性能要件

紳士タウンシューズ	婦人タウンシューズ
密度が0.9mg/mm ³ 以上ならば、体積損失350mm ³ 以下	密度が0.9mg/mm ³ 以上ならば、体積損失400mm ³ 以下
密度が0.9mg/mm ³ 未満ならば、重量損失200mg以下	密度が0.9mg/mm ³ 未満ならば、重量損失250mg以下

表底材料が摩耗したとき、その程度を重量で見るといいのか、あるいは体積（かさ）で見るといいのか、という問題がある。表2に示したように、表底材料の耐摩耗性の性能要件は密度が0.9mg/mm³より上か下かで分かれている。密度が0.9mg/mm³以上ならば体積損失で耐摩耗性を判断する。逆に0.9mg/mm³未満ならば重量損失で耐摩耗性を判断するということである。発泡ポリウレタンのような密度が1 mg/mm³未満で水に浮かぶ素材は後者に当てはまる。

依頼試験として持ち込まれる表底材料を見ていると、密度が高い表底材料は密度が1.0~1.2mg/mm³の範囲に入るものが多い。密度が低いものは0.3~0.6mg/mm³のもの

が多い。密度が0.9mg/mm³前後の表底材料は現実には少ない。表2に示した紳士タウンシューズの性能要件である「体積損失350mm³以下」と「重量損失200mg以下」を比べると絶対値が大きくかけ離れていてその整合性に疑問をもつ人もいるだろう。しかし、仮にある表底材料の密度が0.5mg/mm³で、重量損失が200mgであったとして、このときの体積損失を計算すると200÷0.5=400mm³となり、350mm³に近い値になる。前述のように発泡性素材では密度が0.3~0.6mg/mm³のもの、すなわち密度が0.5mg/mm³前後のものが多い。したがって「体積損失350mm³以下」と「重量損失200mg以下」は現実に市場に出ている表底材料の密度をよく考慮して設定された性能要件であるといえよう。

また、密度が低い発泡性素材、例えば密度が0.5mg/mm³の試料の場合、性能要件「重量損失200mg以下」を厳しいと感じる人もいるだろう。しかし、先に示したようにこれを体積損失に換算すれば400mm³という大きな数値になる。すなわち「重量損失200mg以下」はけっして厳しくはなく、むしろ甘い性能要件と考えることもできる。本性能要件は、発泡の程度が大きい表底材料は摩耗が激しくてもやむを得ないという考えを前提にしている。表底材料を軽量化し、クッション性を求め、歩行時の快適感を味わうには、摩耗が早いことを受け入れなければならないということである。

6. 表底材料の耐摩耗性試験を依頼するときの注意点

(1) 本法は試料が均質な素材であることを前提としている。複数の材料が貼り合わされた試料は、それを分離し、実際に摩耗される側の試料を試験することになる。その際、試料の厚さが足りないと試験できな

い場合がある。

(2) 厚さが6mm未満の試料や、耐摩耗性が著しく低い試料は、ISO法で定められた摩擦距離(40m)に達する前に摩耗し切ってしまう場合がある。その場合は到達した距離から比例計算で40m摩擦したときの重量損失を算出する。

(3) 直径16mmの試料が得られない小さな試料の場合(トップピースも含む)、摩耗面の面積が小さいため試料にかかる圧力が変わってしまうのでISO法に定められた試験は行えない。このため原則的には依頼を断っている。しかし、依頼者が上記の点を了解した上で本試験を依頼することもある。この場合は「ISO 20871に準じて」という一文を成績書に入れ、結果は試料表面積、重量損失、厚み損失で表している。表面積を表記するのは、この試料の表面積が正式な試料のそれ(8×8×3.14÷200mm²)より小さいことを示すためである。結果の表示例を下に示す。

試料表面積	175mm ²
重量損失	62mg
厚み損失	0.3mm

なお、この場合、ISO性能要件も参考にすることはできないので、試料の耐摩耗性は他の試料との比較から相対的に判断するしかない。小さな試料やトップピースを試験するときは、正式なISO法から逸脱していることを知っておく必要がある。

(4) 先に「試料の厚さが6mmに満たない場合は台ゴムに試料を接着剤で貼り付けて試験する」と記したが、厚さが1～2mm程度の極端に薄い試料では試験が行えないと判断し、依頼をお断りする場合がある。

(5) 天然ゴムを主原料としたクレープのような弾力性に富んだ試料の中には研磨布

の上で跳ねてしまうものもある。また発泡性の試料中には斜めに擦り切れてしまうものもある。ともに正常な摩擦が行えない場合があるので、依頼をお断りすることや、「測定不能」という結果表示になることがある。

(6) 天然皮革製の表底材料は本試験の対象外である。天然皮革製表底材料の耐摩耗性試験については前号で解説したので、参考にしてほしい。

おわりに

靴および靴材料の試験法の究極の目的は、実際の着用試験により得られるデータと高い相関性をもつデータを短時間・低コストで得ることである。前述のように、靴の表底材料の耐摩耗性を測定する試験法は今回解説したISO 20871の他にもいくつか存在する。その中で、今のところ本法が現実の歩行の際に起こる摩耗を最もよく再現するものと考えられている。しかし、現在でも、より再現性の高い耐摩耗性試験機の開発は行われている。そのような試験機の一つとして「SATRA STM528 Pedatron」を最後に紹介する。図7に示すようにこの試験機は靴の状態での表底の耐摩耗性を測定する。試料となる靴は現実の歩行に近い動きでコンクリート板に擦り付けられる。着用試験と実験室内での試験の両方の長所を合わせた試験法とSATRAは謳っている。今後はこのような試験法も表底材料の耐摩耗性を知る上で活用されるようになるかもしれない。

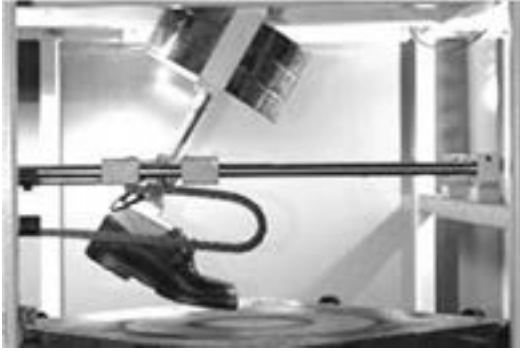


図7 SATRA STM528 Pedatron

参考文献

本原稿を執筆するに当たり、下記の文献を参考にした。

- ・ ISO 20871 Footwear - Test methods for outsoles - Abrasion resistance (2001)
- ・ ISO/TR 20880 Footwear - Performance requirements for components for footwear - Outsoles (2007)
- ・ ISO 4649 Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device (2010)
- ・ SATRA Test method PM174 - Abrasion resistance - Rotating drum method (1994)
- ・ DIN 53516 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung des Abriebs (1987)
- ・ JIS K 6264- 1 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-耐摩耗性の求め方-第1部：ガイド (2009)
- ・ JIS K 6264- 2 加硫ゴム及び熱可塑性ゴム-耐摩耗性の求め方-第2部：試験方法 (2009)
- ・ JIS S 5050 「革靴」 (1995)
- ・ ゴム技術ガイドブック, 古谷正之・国澤新太郎編, 日刊工業新聞社, 第6版 (1975)
- ・ 砂原正明, 中島健：靴のクレーム事例から品質を見直す (1), かわとはきもの, No. 163, 8 (2013)
- ・ 皮革ハンドブック, 日本皮革技術協会編, 第1刷 (2005)
- ・ 百靴事典, シューフィロC&Cネットワーク編 (2004)
- ・ Biomechanical abrasion resistance tester, *World Footwear*, 21, No. 3, 26 (2007)