

靴のクレーム事例から品質を見直す（2）

都立皮革技術センター台東支所 中島 健・砂原正明

1. はじめに

はきものを履く目的は、足の裏の保護であり、危険な地面（床面）から足の裏を隔離することである。はきものにはそのための性能があり、その性能を維持する必要条件がある。靴底材の重要な試験項目として、耐屈曲性、耐摩耗性、層間剥離、そして耐滑性が考えられている（ISO/TR 20880）。今回は耐屈曲性と耐摩耗性に関わるクレームについて解説した。引き続き層間剥離と耐滑性に関わるクレームを取り上げる。

2. 靴底に関するクレーム（2）

2.1 層間剥離

靴底に厚みを付けるために底の中間にミッドソール（スローソール）といわれるスペーサーを差し込むことがある。このスペーサーの極端な軽量化を図り、低品質の材料を選ぶと、着用中のつまずきや引っかかりにより引きちぎられたり、剥離を起こすことがある。

写真1は発泡したEVA材をミッドソー

ルに使用した靴で、爪先を何かにぶつけて、さらに擦りつけた結果、剥離した事故である。このミッドソールには底に厚みを持たせることや衝撃吸収の目的で、革や発泡材料、コルク、レザーボード等が挿入される。ステッチダウン製法やグッドイヤー製法などにも使用され、アウトドア用などのハードな使用目的の靴に見られる加工である。近年ではカジュアルタイプやファッションタイプにも多く見られる。

この剥離の原因は、接着不良の他に、歩行時の蹴り出しで路面や段差に爪先をぶつけたことが考えられる。これらを確認するには、まず、剥がれていない箇所やもう片方の靴の接着強度を測定し、接着処理の良否を判断する。ISO/TR 20880では層間剥離または割り裂き強さの性能要件を、比重が $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 以上の材料は $3.0\text{N}/\text{mm}$ 以上、 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 未満の材料は $1.7\text{N}/\text{mm}$ 以上としている。靴あるいは靴材料より試料を図1のように切り出して上下に引き裂いて荷重



写真1 ミッドソールの剥離

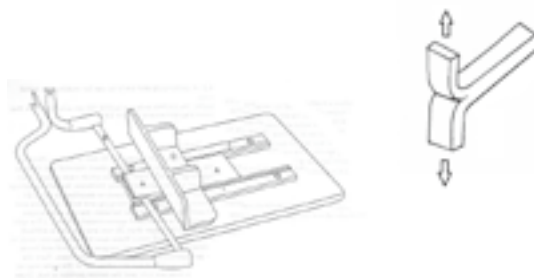


図1 層間剥離試験

を測定する。

このクレームの原因を追究するには、材料の強度の問題だけでなく、靴の取り扱い方も考慮しなければならない。ボール蹴りやボール投げ等、通常の着用の目的以外の使用がなかったかを確認する。しかし、靴にできた擦り傷等からそのような使い方が想像できても、顧客に過酷な使用を諫めることはできない場合が多い。とは言え、想定外の負荷が靴にかかったことが確実な場合や、過剰品質を要求する作為的クレームの場合には、拒否すべきである。

実際に、爪先部分のこのようなクレームの場合、歩行に問題があることが多い。特にコバの出っ張った靴やロングノーズタイプで起きやすい。

写真2は踵側のミッドソールが繰り返しの圧迫によりひび割れを起こした事例である。コルクを細かく砕いて接着剤で固めた再生材料でできており、割り裂き試験を行うと1 N/mm以下の場合が多い。それでもミッドソールに利用している靴がある。革屑で再生したレザーボードも同様レベルである。両材料とも強度面で安心した品質が得られないが、見映え、着用時のクッション感覚、そして、履き心地のよさにより長い間使われてきた。過酷に使われない靴種に使用を限定しなければならない材料である。



写真2 ミッドソールのひび

2.2 滑り転倒（耐滑性）

スリップによる転倒で怪我をする事故は工場内で多く起きるので、労働安全の立場から多くの研究が進められており、JISにも安全靴が規定されている。また、日常用靴にも2007年のISO/TR 20880に耐滑性が重要性能要件として取り上げられている。写真3～6は滑って転倒し怪我をした靴底の意匠（トレッドパターン）である。中には重症になった事例もある。この4例は今後の耐滑性の研究のために試料として提供を受けたものである。これらの摩擦係数を



写真3 靴A



写真4 靴B



写真5 靴C



写真6 靴D

ISO方式に準じて測定した結果を表1に示す。

ISO/TR 20880ではセラミックタイル上に水を散布して測定した摩擦係数を、踵部で0.28以上、フラットで0.30以上としている（荷重400 N、牽引速度10 cm/s）。靴Bの踵部の摩擦係数はセラミックタイル上では0.26と低いですが、ステンレススチール上では0.76と滑りにくいレベルになっている。床材によって滑りやすさが異なることがわかる。因みに、安全靴のJIS規格では0.20以上（荷重500 N、牽引速度20 cm/s）の摩擦係数であることとしていることから、靴A～Dは工場での安全は担保できるレベルであると考えられる。靴A、靴B、靴Dの表底材料は加硫ゴム（SBR）で、アメゴムであることが燃焼鑑定やフーリエ変換赤外分光光度計（FTIR）で確認できた。参考品（ジョギング靴）の表底は加硫天然ゴムがブレンドされた成形底であった。

表1 事故品（靴A～D）の摩擦係数

試料	セラミックタイル (湿潤)		ステンレススチール (湿潤)	
	爪先部	踵部	爪先部	踵部
靴A	0.41	0.34	0.94	0.92
靴B	0.24	0.26	0.72	0.76
靴C	0.41	0.36	0.37	0.33
靴D	0.39	0.35	-	-
参考品	0.62	0.68	-	0.73

では、なぜ滑って転倒事故が発生したか

を様々な滑りの研究結果と照らし合わせて解説する。

2.3 事故例の検証

工場内の転倒事故は深刻な怪我につながることから、多くの国で安全（保護）靴の性能の研究と対策が講じられている。転倒の原因は滑りがきっかけになっていて、床と靴底との関係が研究されている。

その滑りやすさ（滑りにくさ）の摩擦係数測定は、初期には傾斜面を滑らせる方法で評価していた。今では電子技術が発達したことでスピードや荷重を様々に変化させて厳密に測定できるようになり、機械的に牽引する方法が主流である。しかしながら、厳密に測れば測れるほど摩擦には多くの条件が影響していることがわかり、様々な条件が提案されるようになった。特にゴムのような弾力ある材料を路面や床面の材料に擦りつけると、以前に考えられていた摩擦の法則が当てはまらなくなることが多い。すなわち「接触面積に関係なく摩擦力は荷重に比例する」が成り立たないことである。摩擦の際にキュキュッという音が鳴り、振動が起こることから一定の均一な滑りではないことが推測される。そこで底面の意匠の微妙な差が摩擦係数に与える影響を、実用試験により判定し、様々な開発や改良がされてきた。その実用試験の一つは、歩行面を傾斜にして角度を変え、どこまでの昇り降りが可能か「滑りにくさ」(耐滑性)を評価する試験である。もう一つは、異なった床材の走路を正三角形に並べて、その上をいかに速く歩けるかで、耐滑性を評価する方法である。靴底の滑りの研究ではこの両方式を合せて評価をすることが多い。その結果は試験者の能力差が大きく関与することから、相対的な比較法としては優れているが、絶対的評価はできない。しかし

ながら、今でも新しい測定方法でのデータの正当性を評価するための裏付けとしてこれらの実用試験が参考にされている。それらの研究を参考に事故例の原因に迫りたい。

表1からISO性能要件を満たしているのに、なぜ滑って転倒事故が起きたかを考える。まず、滑りが起きたときの大まかな状況は以下のとおりであった。

- ①滑ったときの床の材料は、靴Cと靴Dの場合はビニタイルであった。靴Aと靴Bについては不明である。共通していることは水で濡れていた床であったことである。
- ②写真3～6から靴底の摩耗程度を見ると、数週間着用がされていたと考えられる。靴Aと靴Bは踵接地部分が丸められて滑りを防ぐ構造である。
- ③接地面には床面の液体（潤滑液）を排除すべき凹凸の意匠が施されている。
- ④靴A、靴B、靴Dの底の材質は一般的に使われている加硫ゴム（SBR）で、靴Cに関してはアメゴムと称する軟質ゴムである。滑りやすいと評価されるEVAやPVC（ポリ塩化ビニル）は使用されていない。

滑り事故は靴底と床面との2面だけの材料の滑り関係（摩擦係数）だけでなく、2面の汚れや水等の液体の挟まりの問題（潤滑剤）と取り扱いなどを含めて様々な条件を検討して原因を探る必要がある。

さらには、滑って転倒する原因には人間の能力の影響（ヒューマンファクター）が大きいとの研究報告がある。それは、滑り始めを回避する能力や滑り始めてからの転倒を回避する能力の差までを言及している。また、着地する方向、角度（ヒールの接地角度）、歩幅等の歩様の個人差が挙げ

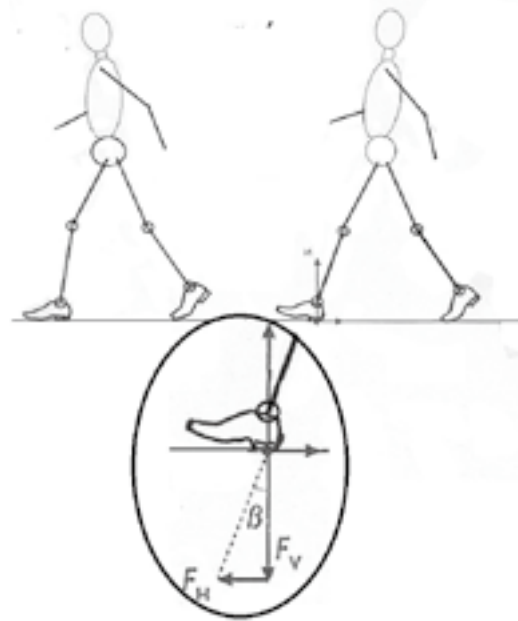


図2 滑りを回避する歩行

られている。これによると、ヒール・コンタクトの接地角度が大きいと滑りやすくなるという。歩幅を狭めると接地角度は小さくなる。このことは、氷結面を歩くときは「前傾姿勢で歩幅を小さくすると滑りにくい」という常識と一致する。また、滑りやすい床面ではフォアフット（ボール部着地）歩行がヒールストライク（踵接地）歩行より安全であることを示す。

歩行時の着地では体重は斜め下（F）に加えられる。これは垂直方向（FV）と前方方向（FH）に分けられる。このことで前方に多く力がかかる「そっくり返り」歩きは滑りやすくなることがわかる。ヒールストライク歩行（図右）である。逆に垂直方向に力を多く加えるフォアフット歩行（図左）前傾姿勢では滑りにくいといえる。

長年にわたり訓練されてきた歩様は、筋肉が反射運動で動いており、それを意識的に変えることは至難である。危険レベルの床面を感じたら安全歩行を心がけることが大切である。しかし、危険レベルの氷結面

を歩くときでさえ、連続してバランスをとって長距離を歩行することは至難な技である。日常の歩行では突然のアクシデントに対応できないことが多いので、乾燥面と湿潤面に対する摩擦係数の差が小さい材質および意匠の表底を選択することが重要となる。

潤滑剤の影響

水や砂等による路面の突然の変化は、筋肉の反射運動でも対応できずますます水平方向の力（FH）が増して（図2）、靴底と床面に潤滑剤（水）が入り込んで両面を離してしまう。潤滑剤によって滑りやすくなる。

多くの研究では潤滑剤（液体）の影響を指摘していて、工場においてはオイルが主に対象とされている。タウンシューズ類では潤滑剤の主成分は水である。生活場面における潤滑剤の水は泥や油を含んでいて粘度が高くなっていることが多いので、雨天のときは床面の清掃が欠かせない管理である。

底の形状（意匠・トレッドパターン）

潤滑剤を撥ね退けて靴底面が床面に接触できれば、乾燥時状態のようにブレーキがよく掛かることになる。この液体の排除時間は底意匠の突起部分の面積が2倍になると4倍になる。すなわち、ビジネスタイプやパンプスのように底面が平らならば排除時間が最大となり潤滑剤の影響で滑りやすくなる。これらは雨天での着用を想定していない靴種であると言えよう。このとき、突起部分の大きさや溝の大きさは弾性体（エラスチック）の柔らかさで決まるが、およそ図3のようになる。

突起部分が狭すぎると（図3のA）、曲がり倒れて液を排除できない。

溝が深すぎても同じ効果になり潤滑剤を

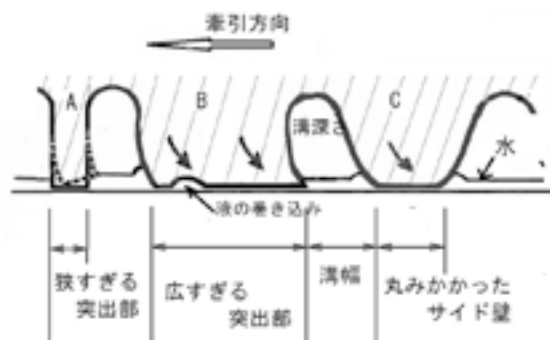


図3 トレッドパターンの変形と潤滑剤

排除できなくなる。また、突起部分の立ち上がり（壁）が直角だと潤滑剤をよく排除する。図3のBのような幅広な形状では潤滑剤を波のごとく後方に押し込んでいく現象が起り、摩擦が減じることが多い。スリップステックやハイドロプレーンとは異なりシャルマック波といわれる現象が起きる。また同じような現象として「吸盤が滑る現象」も注意しなければならないと指摘する報告もある。

図3のCのように丸みをおびた意匠は潤滑剤を巻き込みやすく、滑りを起こしやすい。例示した4種類の靴はこの形状が当てはまる。

材質の影響

材質の影響を調べる目的でニトリルゴム（NR）とスチレンゴム（SBR）、2液反応型ポリウレタン（PU）の3種の底材料を同じ意匠に成形して着用によって耐滑性がいかに変化していくかの研究がフィンランドで行われた。これによると摩擦係数は、ステンレススチール、湿潤の条件で、NRが0.15、SBRが0.15を超え、PUが0.20と若干の差が見られた。また、この研究では、新品のときから工場で27人が着用して、履き慣らした段階や廃棄すべき段階の靴を滑り試験機で測定した。これによると新品のときの摩擦係数が最も小さく滑りやすかった。最も履きよくなった段階では最も摩擦

係数が高くなり滑りにくくなったと言う。そして、凹凸がなくなって廃棄すべき状態では新品時以下に摩擦係数が減少した。適切な廃棄時期を見極めることが重要である。

革底は滑りやすいと評価されているが、履き慣らした段階では濡れたステンレススチールに対しても0.36から0.52の摩擦係数の測定値を得ていることから、安定した材料であると言える。EVAはISO法による測定では濡れたステンレススチールに対しても0.46～0.56が得られたが、PVC（塩化ビニル）とともに推薦できないという文献もある。

これらのことから靴A～Dの滑りに関してまとめると、4点ともトレッドパターンの突出部の壁に丸みがかかっていて、潤滑液を乗り越えやすい形状であったことが指摘できる。靴Cの形状は乾燥時にはつまずくほどの摩擦係数をもつが、水を簡単に乗り越えて摩擦係数が極端に低下することで滑りやすくなる形状であると言える。靴Dは表底の摩耗が激しい点からすでに使用限度を超えていると考えられる。靴Bは吸盤効果を否定できない形状である。

これら4点はカジュアルタイプであるために通常歩行より過酷な使われ方をされたり、路面が整備されていない場所でも使われよう。しかし、滑りの研究は主に街中のビジネスやショッピングなどの穏やかな使用状況を想定している場合が多い。これからは、街中でちょっと急いだときなどの特別な場合の安全性も十分に研究していかなければならないだろう。

参考文献

- Mike P. Wilson 'Development of SATRA Slip Test and Tread Pattern Design Guidelines.' Slip, Stumbles, and Falls p113～123
- Raoul Gronqvist 'Slipping, Tripping, and

Falling Accidents Special Issue' Ergonomics,1995, vol.38, 224-241.

- Robert O. Andres and Don B. Chaffin, 'Ergonomic analysis of slip-resistance measurement devices' Ergonomics, 1985 vol.28, 1065-1079.
- Raoul Gronqvist, Wen-Ruey Chang, 'Measurement of slipperiness: fundamental concept' Ergonomics, 2001, vol. 44, 1102-1117
- Stephen Abbott, Mike George, 'Investigating slip resistance' World Footwear, 2002, vol.16
- 野口 勉 かわとはきもの 120号
- 吉村圭司 かわとはきもの 125号
- Harvey, A, J, Footwear materials and process technology, A Lasra 1999
- R. Gronqvist, R. Roin, Ergonomics, 32. 1989
- 新田高洋 摩擦の科学, 2009年12月号