

靴のクレーム事例から品質を見直す（4）

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

これまでに靴底に関わるクレームとして、ISOの靴底材料の必要性能要件に定められている項目のうち耐屈曲性、耐摩耗性、層間剥離、耐滑性、接着剥離の事例を基に課題を述べてきた。ISOで取り上げているこれらの性能要件の多くは耐久性に関わる項目である。安全性（保護性）に関わる要件は、耐滑性や圧縮エネルギーとわずかである。このうち圧縮エネルギーは性能要件で付加的（アディショナル）項目として基準値が示されているが、いかに重要な項目であるかを理解しにくい。そこで関連するクレームを通じて今後の課題を考えた。

2. 靴底に関するクレーム（4）

2.1 靴底の圧縮エネルギーとは

工場で働く人は様々な危険に日々曝されており、常に労働災害の恐れがある。そこで安全を確保するためにヘルメットや安全靴の着用が義務付けられている。その安全靴には、足の爪先を落下物から守るための鋼鉄製の先芯、釘などの突起物から足を守る工夫、滑らない工夫などが施されている。それらの必要性能の一項目として圧縮エネルギー（圧迫時の有効仕事量）が定められている。その理由は以下のとおりである。

1970年頃のドイツでは、労働災害の20%が踵骨の骨折事故であったという。対策を講じるため、ドイツ労働安全研究所（BIA）

が調査をしたところ、原因は作業場での転落の衝撃で踵骨を負傷していたことを突き止めた。

そこでBIAでは踵部の衝撃吸収の性能を評価するために、試験方法の条件を実際に起きた事故から算出した。25cm高さからの落下でも負傷した事実を踏まえて、試験の負荷は安全度を見込んで計算から5,000Nと決定したという。

次に試験法としては、

- ①検査物体のヒールシート部に錘を自由落下させて、土台の床反力計に伝達された力を測定する動力的方法（写真1）
 - ②検査物体に徐々に荷重を加えていき、その変形からエネルギーを算出する静力的方法
- の2つを試した。



写真1 圧縮エネルギーの動力的測定法

その結果、両測定法には強い相関が確認されたことで、特別な試験装置を使用しな

いでも測定できる後者の静力的方法（荷重法）が採用されて試験法が確立された。

さらにBIAは1974年に149種類の安全靴をこの測定法によって調査して現状を把握した。その結果は10～45Jまでの大きなばらつきがあった。踵骨保護には前述した25cmからの落下でも負傷することから、30Jが必要であろうと考えたという。

図1に示すグラフはそのときの安全靴の代表的な靴の圧縮エネルギー値である。ゴムヒールでは8J程度であり、ゴムの積層ヒールでは16J、発泡ポリウレタンでは35J以上となっていた。

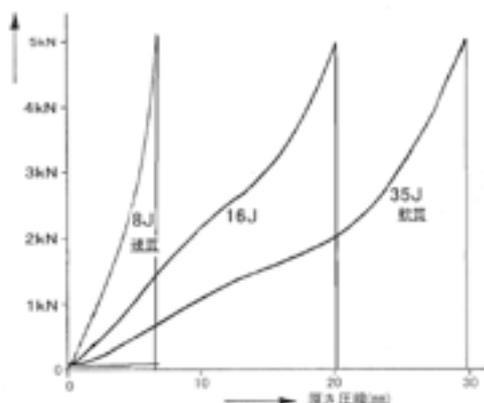


図1 安全靴の圧縮エネルギー

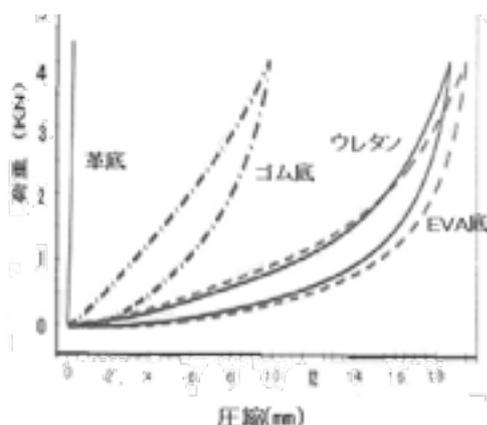


図2 日常靴の圧縮エネルギー

これらの研究から、ドイツの安全靴には踵骨保護の機能として、衝撃エネルギー値30J以上が必要と設けられた。

我国のJIS安全靴においても、この圧縮エネルギー値（踵部の圧縮エネルギー吸収性）が重要であるとして定めている。ドイツと同様の測定法で測定して、20N以上と定めている。

この圧縮エネルギーが日常靴においても重要であるとして、表底の性能要件（ISO/TR 20880）としても定められている。安全靴と同様に転落や飛び降りによる傷害の危険に備える必要があるかどうかを検証する必要があるが、まずこの性能に関連するクレームが存在するか否か探る必要がある。

因みにここで取り上げているISOの底材料の規格では、一般街歩き靴である男子カジュアルタイプは15N以上、女子カジュアルタイプでは10N以上と定められている。

図2のグラフは最近のカジュアルタイプの日常靴を測定した圧縮エネルギー値である。

以上のことから、靴の圧縮エネルギーとは靴底のシート部を徐々に（規定速度）押し縮めたとき、試料からの反発力が規定圧力（5 kN）まで徐々に耐えられるかである。したがって、柔らかいスポンジで厚みが少なければ圧縮エネルギー値は小さく、同じスポンジでも厚さを増やすことでエネルギー値が大とすることが出来ることで理解できよう。

2.2 衝撃時の圧縮変形に関わるクレーム

次に圧縮エネルギーと関連しているクレーム事例を示す。

写真2は発泡ポリウレタンで作られたクッションの効いたサンダルである。体重70kgの年配の人が着用した結果、ふらついて捻挫したという。この事例は発泡ポリウレタンが履物に利用され始めた1980年代のものである。開発当初は発泡率を上げて

軽量化を図っても、ポリウレタンは耐久性に優れていると好評であった。その上、クッション性が高まったことで「快適な靴になった」と持て囃されていた初期段階の製品である。そのことが足を支持する能力を失わせ、もはや危険レベルにまで達していることに気付かなかった結果である。当時は警鐘を鳴らすよりもトランポリン感覚を楽しむ風潮さえあった時代であった。



写真2 発泡ポリウレタン製サンダル

さらに発泡度は高められて軽量化は進み、厚底靴に発展していった経緯がある。まさに足を守るという実用品でなく装飾品、ファッション品である。安全靴と異なり、足を守る道具でなく、流行のアイテムである。チョピンやゾッコリが持て囃された時代のように、流行は極端な形状にエスカレートすることが常である。ISOの靴種の分類にファッション用シューズを設けている所以である。

写真3は着用時に転倒して捻挫したという最近の事例である。前例のサンダルはバックバンドで足を支持するタイプであったが、この靴は踵を固定支持が出来ないミュールタイプである。写真は圧縮試験機で50kgの荷重でプレスして、6mm凹んだ状態である。ヒールの形状はウェッジヒールであるために軽量化とスマートさを図るために接地幅が狭く作られている。

その為に歩行時のヒールコンタクト（接地時）の負荷を受け止める範囲が狭くなり、

変形が大きくなる。さらに両サイドから狭めて細長いウェッジヒール形にすれば、横方向に倒れやすくなる。足のランディング方向との相性で傾きが強くなる。

柔らかく変形が大きければ、一層ぐらつき、不安定になる。

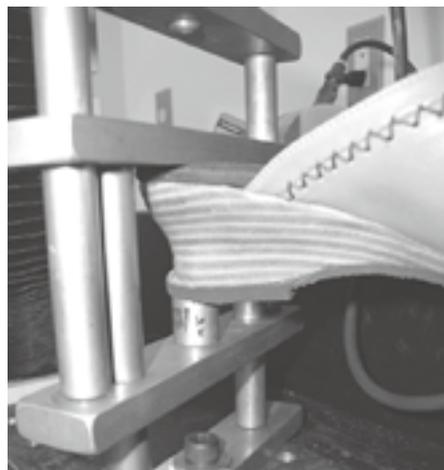


写真3 転倒による捻挫を起こしたサンダルの圧縮試験

この2例では圧縮エネルギーが30J程であった。踵骨を痛める心配がない代わりに、不安定で危険なことが問題となるレベルである。特に写真3の靴は写真2の靴に比べてヒール幅が狭く左右に倒れやすいことから、購入時には自分の歩様に適合しているか否かを確認できたはずである。的確なフィッティングとアドバイスが重要となる。また、圧縮変形のレベルを測定しておくべきである。

写真4と写真5はヒール後部に皺がよったという苦情である。いずれもウェッジヒールであり、着用してわずかな着用期間で皺が発生したとの事例である。これらのヒールは発泡プラスチック（主にポリウレタンやEVA）に革などのシート材を貼り付けた構造である。その接着が十分でなく、貼り付けた革などのシート材が浮き上がって皺になった現象である。

そもそも、ウェッジヒールは鋼材不足が戦時下で起きて、シャンクを使用しない靴として開発された形式である。開発者のサルヴァトーレ・フェラガモも苦慮していたことであるが、重量感が強調されやすい形のために、木やコルクを使用して軽量化を図ることや幅を狭めたりする工夫で繊細さをアピールして解決していた。



写真4 ヒール後部の皺



写真5 太いヒールの事例1

今では同じ材質（ポリマー）で発泡率を高めれば容易に軽量化できる。しかし、それでは変形しやすく強度不足になりやすい。品質を確保する上で注意しなければならない点である。ヒール自身が軟弱すぎても皺が発生することは明らかなので、それらの程度を調整することが重要である。

写真5と写真6は太いヒールの事例である。写真7では発泡ウレタン樹脂が変形していることがわかる。



写真6 太いヒールの事例2

写真7は引っ掻き（スカuffィング）強度が高いとして多用されているスタックド巻タイプのウェッジヒールである。トップピースがヒールに押し込まれて陥没で剥離している。原因はヒールの材料であるEVAが圧縮変形を起こしたことである。

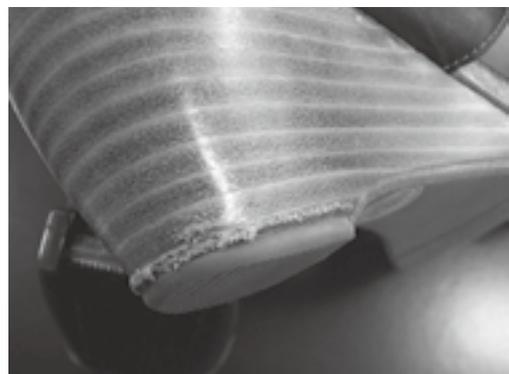


写真7 トップピースの陥没

また、同じタイプのウェッジヒールで、芯材に使われたポリウレタンが加水分解してボロボロ状態のスタックドヒールが陥没した事例もある。材質を確認して予め評価しておくことが重要である。

2.3 圧縮エネルギーと衝撃吸収性

スポーツ靴の衝撃吸収性に関わる研究を始めたのは競技場グラウンドの舗装剤メーカーであったという。激しく動き回る競技

では、硬い人工のグラウンドで足を痛めることが指摘されて、天然の芝生に近づける研究から始められた。

スポーツ靴業界もただちに衝撃吸収問題として取り上げて開発競争が始まった。当初の衝撃吸収性の考え方は、クッション材を厚くすればするほど路面からの衝撃が和らぐとして30mmを超す厚さの底も作られていた。まるで漫画に出てくる忍者のジャンピング下駄の考えのようであった。

しかし、ジョギングブームの最盛期には、その過剰なクッションの靴で多くの人が足を痛めているとしてマスコミを大いに賑わせた。

歩行・走行時の衝撃を吸収させるために使われた柔らかすぎる底材料が、着地時に体重を十分に支持できずに、足首が過剰な動き(オーバー・プロネーションやサビネーション、図3)を起こし、足首・膝・腰などを損傷した。

その対策として、靴底の内側と外側で硬さを変えるなどの工夫を施し、着地時の足変形を防ぐように改良された。今では個人差を考慮して靴種を選べることが求められている。また、靴の裏(内)側にインソックス(フットベット)を挿入し、それを調整して足を支持する工夫も施されている。

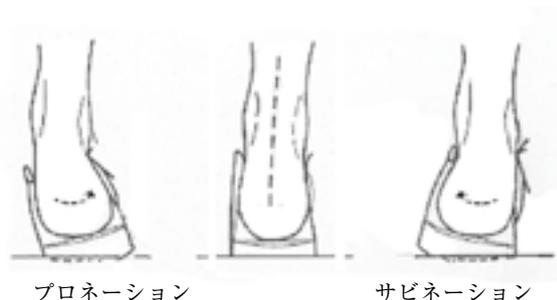


図3 右足首の動き

しかしながら、衝撃吸収性やクッション性等の評価方法や測定方法もまちまちで、

単位も様々であるのが現状である。柔らかい、硬い、あるいは弾力性が強い・弱い等の単純な評価だけで、圧縮性能が明確に示されていないので、性能差を判断することが難しい。

衝撃吸収性やクッション性測定方法としては主に

- ①安全靴で説明したように踵部(シート部)に錘を落下衝突させて床面に及ぼす衝撃力を測定
 - ②加速度センサーをつけた錘を同じようにシート部に落下衝突させて反発力を重力(G)で測定
 - ③圧縮していき、反発力と変形を測定
- の3つが提案されている。

このうち前述したヒールの皺クレーム事例や変形事故の原因を説明できる方法として、③の測定法が当てはまろう。圧縮変形(歪み)に関わる性能の測定である。この方法について、ドイツの靴材料研究所(PFI)の研究報告があるので紹介しよう。

図4は繰り返し圧縮疲労試験機の動作概略図である。30mm角の試料を毎分80回の速さで、720Nの力で圧縮し、厚さの変化を読み取る。図5に示すグラフはその装置でジョギングシューズ用底材料の柔らかい材質(実線)と硬い材質(点線)の結果である。

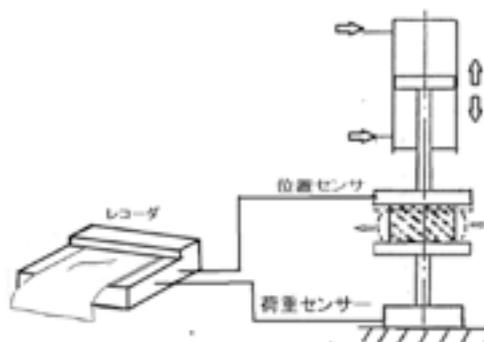


図4 繰り返し圧縮疲労試験機

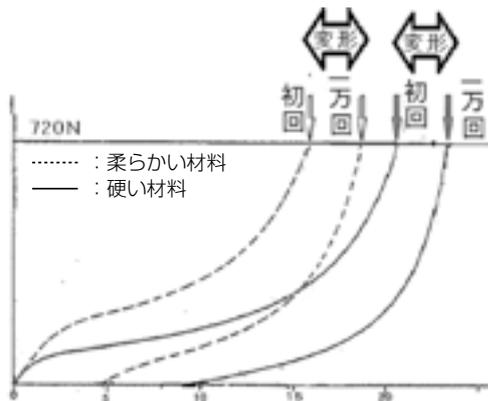


図5 圧縮変形曲線

図5でみると、5mm圧縮するために硬い材料は柔らかい材料に比べて倍近い荷重が必要である。いずれの材料が足への衝撃吸収に有利か、あるいは体重支持に適切かは今後の研究課題である。ここではヒール圧縮皺の原因である永久変形（矢印先）を注目しなければならない。1万回の圧縮後の変形（へたり）においては両材料の間の差はわずかであるが、変形量大きい軟質材料は皺が発生しやすいことを理解しなければならない。

また、フランスの皮革・靴研究所（CTC）ではジョギング靴の変形を、歩行では1Hzで700N、走行では2.6Hzで3,000Nの負荷をかける耐久試験を行い測定している。これは快適に使える耐久性の基準を試験機で探る研究であり、安全に使用できる限界を探ることが目的である。

我国においても、摩耗やへたりによる靴底の変形が歩行に影響して足に傷害を与えるとして、それに対応した研究がされている。評価は筋電図や底面圧力変化、アキレス腱角度、歩幅や歩調の変化の測定結果から判断している。足に負担がかからずに使用できる限界を探るためである。

また、スティレットヒールのトップピースの耐摩耗性を向上させるために硬いポリ

ウレタンを使うことが多いが、足への衝撃と甲高い足音で不快感を訴えられていることから、当所において実態を調査したこともある。

3. まとめ

写真8に示すような厚底靴を着用して負傷したとの苦情は、現在のところ当所には持ち込まれていない。たとえ負傷したとしても、自己責任と考えているためであろうか。

しかし、同じような材質（発泡材であり弾力性がある）で作られているウェッジヒールやプラットフォームタイプの靴でヒール高さが6cm程度の低いもので苦情が持ち込まれることがある。特に、しばらく着用してから（数日から数ヶ月）、履きにくくなり、危なくて歩けない、あるいは捻挫等で負傷をした、などの苦情がここ数年で増えている。これらの多くは靴が変形しているためである。多くの場合、靴の変形は徐々に進行すると共に履きなれているためにそれを気付かないことで起きている。



写真8 厚底靴

この不安定な原因は2通りある。一つは歩き癖によって偏って靴底が減ってしまう場合と、もう一方は靴の形に左右差（釣り込みや縫製位置等の製造上の問題）がある場合である。

両者ともクッション性のよい変形しやすい底材料で作られた靴で起きる現象であることから、PFIでは衝撃緩衝性測定装置等で物性を測定してその性能を把握しておく必要があるとしている。

また、ドイツの運動生理学者ペーター・ブリュッケマン教授が主張しているように、ジョギングシューズでさえクッション性はすでに不要であるとされる時代である。したがって、日常に着用する靴では正確なクッション性を把握して安全で快適な設計をすることが重要である。

ふわふわ感が販売促進につながってきたことは事実であるが、そのふわふわ感はブリュッケマン教授が主張するように歩行や走行の効率を低下させ、また関節の過可動を起こして傷害を招くことがある。クッションによって足が沈み込むことは疲労しやすくなることで、これを前提に目的別に靴を設計するべきと考える。

自ら起こす程度の衝撃は関節や骨格を強化するという。ブリュッケマン教授は宇宙空間に滞在すると骨格が弱まることを例として示している。したがって、安全靴に対する衝撃エネルギーの要求と日常靴に対する衝撃エネルギーの要求は分けて考えなければならない。

参考文献

- ・ Kurt Jung, Schuh-Technik, 1 /1983
- ・ Measuring compression of soles, *World Footwear*, No. 3, 2006
- ・ Peter, Schultheis, New test equipment, *World Footwear*, No. 3, 2005
- ・ Marc Folachier, CTC France UITIC Congress, 10/92
- ・ PFI Report 'Untersuchung der Stossdampfedeneigenschaften' Schuh-Technik, 3 /1988
- ・ Peter Bruggemann, Question over cushioning, *World Footwear*, No. 3, 2009
- ・ ISO 20865, Compression energy
- ・ 斎藤誠二, 靴底の摩耗が下肢に与える影響, 人間工学, 42, 2006
- ・ 永田久雄, 急加速刺激での姿勢安定性研究, 人間工学, 26, 1990
- ・ ISO/TR 20880, Performance requirement for outsoles, 2007