

JIS 安全靴における耐滑性の検証と上位基準の検討 — 滑りやすい床面での歩行実験による評価 —

大西明宏*1, 菅間敦*1, 清水尚憲*2

安全靴の滑りにくさの基準として JIS で規定された耐滑性（たいかつせい）が存在するが、実際の歩行において滑りを抑制するのに妥当なのかは報告されていない。更に現行の耐滑性基準が策定されて 10 年以上が経過し、当時よりも耐滑性能が向上していることから上位基準の検討が必要と考えられる。本研究はこれら耐滑性の 2 つの課題を検証するため、動摩擦係数が 0.12 から 0.64 までの 5 種類の靴を用い、滑りやすい傾斜面での歩行時の滑り発生角度、急速な前後移動を伴うステッピング課題における主観評定値等の分析を行った。その結果、現行の耐滑基準である動摩擦係数 0.20 は前後移動の滑りを抑制する基準として妥当であることが確認された。また、動摩擦係数が 0.1 向上すると傾斜面において滑り発生角度が有意に約 2 度増加することが分かったが、主観的な滑りにくさの差異を感知できるレベルまでを考慮するなら動摩擦係数 0.6 程度が必要と示唆された。これら結果は JIS T 8101 原案作成委員会に報告し、動摩擦係数 0.30 が耐滑性の上位基準として新たに採用された。

キーワード: JIS, 安全靴, 耐滑性, 主観評定, 滑り距離

1 はじめに

安全靴は日本工業規格の JIS T 8101¹⁾ (以下, JIS) で規定された履物であり、靴底滑り試験 (以下, JIS 耐滑性試験) の結果が規定を満たせば、付加的性能として耐滑性 (たいかつせい) の F 表示 (Friction (摩擦) の頭文字) が与えられる。JIS 耐滑性試験では、グリセリンを塗布した表面粗さ 0.16 μm 以下のステンレス板上に試験靴を置き、500 N の鉛直力で押下させたまま靴底を水平方向に 0.22 m/s で移動させ、測定開始後 0.4~0.8 秒の水平荷重を鉛直荷重で除して動摩擦係数を求める。このとき動摩擦係数 0.20 以上が耐滑性の基準である。

一方、人が歩行する際に必要な動摩擦係数に関して、Hanson ら²⁾は水平なカーペット床の歩行に必要な動摩擦係数は 0.190 だが、20 度傾斜した場合は 0.444 になると報告している。また、床面に石けん水を塗布した場合は靴底との間に生じる実際の動摩擦係数は低下するため、前述の必要な動摩擦係数との差が広がり、滑りや転倒の確率が高くなることを指摘した²⁾。このように靴底の滑りにくさの評価には、床の材質や床面の濡れ具合等と動摩擦係数の関係といった物理特性の評価だけでなく、人の歩行影響 (靴底の接地状態、歩行速度など) を反映させることが重要と考えられる。

そこで本研究は、現行の安全靴の JIS による F 表示の妥当性を検証するために、JIS 耐滑性試験で得られた動摩擦係数と人が傾斜面で歩行した際の滑り発生角度の関係を検討すると共に、滑りやすい状況下で前後移動を行うステッピング課題における主観評定値の関係を検討す

ることにした。また、現行よりも上位の耐滑性基準を設定する場合にどの程度の動摩擦係数が必要になるのかについても検討し、JIS 改訂時に参考資料として提供することを目的とした。

2 実験の手続きおよび分析方法

1) 実験参加者

過去 1 年間に整形外科的既往歴がない男性 19 名 (年齢 29.5 ± 8.1 歳, 身長 170.4 ± 4.5 cm, 体重 62.9 ± 9.1 kg, 靴サイズ 25.6 ± 0.9 cm (それぞれの値は平均値 \pm 標準偏差)) であった。

インフォームド Consent は実験開始前に口頭および書面で実施した上で同意を得た。本研究は独立行政法人労働安全衛生総合研究所研究倫理委員会の承認を得た。

2) ランプテスト (傾斜面での滑り発生角度)

ドイツ工業規格 (DIN) のランプテスト法³⁾に準拠した方法にて実験を実施した (図 1)。実験用靴は JIS 耐滑性試験が規定する 5 回の測定平均値の動摩擦係数が 0.12 から 0.64 (左右の平均値) までの 5 種類の紐なし白色の靴を用いた (表 1)。これは実験参加者が靴の違いを判別できないようにするための統制である。ちなみにランプテストは靴や床材、床面状態など、滑りにくさ評価の主体が選択できる手法であるが、本研究では JIS 耐滑性と同一条件での比較が目的であるため、JIS と同じステンレス板上に重量比 90%濃度のグリセリンを塗布した。実験参加者には斜面の角度が徐々に増加する状況下で歩幅よりも若干短い範囲での前後移動を繰り返させ、実験者が目視で滑りが発生したと判断した際の斜面の角度を記録した。測定は斜面の上りと下りを分けて実施し、靴ごとに 3 回ずつの合計 30 回とした。靴による滑り発生角度の比較は上り下り別に関数分散分析を実施し、多重比較には Bonferroni 法を用いた。また、同一靴での上り下り比較は対応のある t 検定を実施した。

*1 労働安全衛生総合研究所リスク管理研究センター

*2 労働安全衛生総合研究所機械システム安全研究グループ

連絡先: 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 リスク管理研究センター 大西明宏*1

E-mail: aohnish@s.jniosh.go.jp

表 1 実験用靴の左右動摩擦係数

	A	B	C	D	E
左	0.12 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.66 ± 0.05
右	0.12 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.29 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.62 ± 0.07

平均値±標準偏差

3) ステッピング課題による評価

ランプテストと同じ5種類の実験用靴を用い、ステンレス板に90%濃度のグリセリンを塗布した条件で、前向きのまま両足の前後移動（以下、ステッピング課題）を各実験参加者の靴底長の2.5倍の歩幅にて行わせた（図2）。また、滑りの抑制戦略などによる不適当なステッピング動作をできる限り行わせないために、ステッピング課題は3回連続で1試行とすると共に、ステッピング課題遂行に注意が集中しやすく、滑り挙動の回避が困難な動作テンポとして140 bpmを採用し、メトロノームにて統制した。また、順序効果を排するため試行順序は無作為にて実施した。試行数は各靴3回の合計15回とした。



図1 ランプテスト例（下り）



図2 ステッピング課題例

実験実施上の安全対策として、実験参加者には天井吊り下げレールに固定したロープを装着したハーネス型安全帯を着用させ、滑った場合でも転倒には至らないようにすると共に、ヘルメットや肘および膝プロテクターを着用させた。

(a) 主観評定

主観評定は、各実験参加者の評定開始前にグリセリンを塗布しないステンレス板の上で上記のステッピング課題を1回実施し、本課題が滑らない基準（VASの100）になることを伝え、この基準に対して滑りやすいほど点数が低くなるVisual Analog Scale（VAS）を用い、ステッピング課題の終了直後に直感で評定させた。また、ステッピング課題に対する恐怖感が実際の滑り挙動の大きさに関連すると考え、ステッピングに対する恐怖感についても恐怖感が高いほど点数が高くなるように評定させた。得られた結果は、ランプテストと同様に一元配置分散分析を実施した。

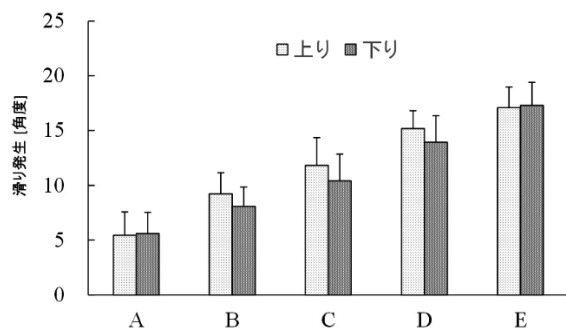
(b) ステッピング課題の成否および滑り距離の定量化

ステッピング課題時の滑り現象および滑り距離を定量化するため、先導脚が前方向に足を動かしている3回を対象に、接地している間に生じた滑りによる転倒回数ならびに滑りによるステッピング失敗回数を実験者の目視により測定した。また、実験参加者の左右の実験用靴の第1中足骨骨頭部上、第5中足骨骨頭部上、踵部に直径10mmの赤外線反射マーカを貼付し、モーションキャプチャー（ARENA, NaturalPoint）により3次元座標を取得した。その後、得られたデータは分析ソフト（VENUS3D, ノビテック）にて後処理し、ステッピング課題ごとに先導脚が前方向に滑った距離を求め、1試行につき前方へ移動した3回の平均値を算出した。

3 結果

1) ランプテスト

上り・下り共に靴の違いにより、有意に滑り発生角度が異なっており、JIS耐滑性試験による動摩擦係数の約0.1の違いは1.9~3.8度の傾斜角度に相当していた（図3）。一方、上りと下りの比較では、靴B、C、Dにおいて下りの角度が2度程度有意に小さかった。



*p < 0.05, **p < 0.01

平均値±標準偏差

図3 ランプテストによる滑り発生角度

上り：靴D-Eに5%未満で有意差あり。靴A-B, C, D, E, 靴B-C, D, E, 靴C-D, Eにそれぞれ1%未満で有意差あり。
下り：靴A-B, 靴B-Cに5%未満で有意差あり。靴A-C, D, E, 靴B-D, E, 靴D-Eにそれぞれ1%未満で有意差あり。

2) ステッピング課題での滑りにくさと恐怖感の評定値

滑りにくさの VAS 評定値は動摩擦係数が高いほど滑りにくいと判断した結果となった(図4)。F 表示のない靴 A は極端に低い 10 ポイント程度であったが、F 表示の現行基準を満たす靴 B では約 50 ポイントにまで急激に増加し、靴 E までの 4 種類の増加は緩やかであった。一元配置分散分析の結果、動摩擦係数が最も低い靴 A と B, C, D, E にそれぞれ、さらに靴 B と E に有意な差が認められた。

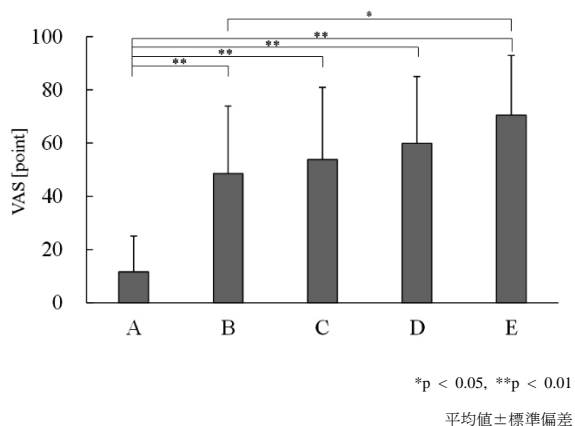


図4 ステッピング課題における滑りにくさ評定値 (VAS)

また、ステッピングに対する恐怖感の VAS に関しても全体的な傾向は滑りにくさと同様に靴 A の VAS 値が突出しており、靴 B から D までの 3 種類は違いがほとんどなく、靴 E で再び僅かに低下していた(図5)。一元配置分散分析の結果、動摩擦係数が最も低い靴 A の恐怖感が最も高く、靴 B, C, D, E にそれぞれ有意な差が認められたが、滑りにくさのように靴 B と E の違いは認められなかった。

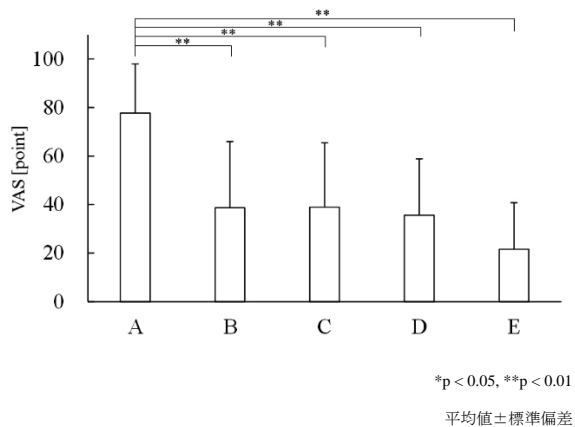


図5 ステッピング課題における恐怖感評定値 (VAS)

3) ステッピング課題の成否および滑り距離

表2は靴ごとのステッピング課題時の転倒、失敗・成立回数を19名の合計値として示したものである。通常の測定合計値は、1試行あたり3回の前方移動×3試行×19名の171であるが、靴Dのみ測定に欠損値が生じたため165となっている。ステッピング課題時の転倒と、滑りによるステッピングの失敗を目視で判断できたのは靴Aの試行のみであり、F表示の現行基準を満たす靴Bよりも動摩擦係数が高くなると課題が成立しない試行はなかった(表2)。

表2 ステッピング課題時の転倒、失敗・成立回数^{注)}

	A	B	C	D	E
滑りにより転倒	5	-	-	-	-
滑りによりステッピング失敗	78	-	-	-	-
ステッピング成立	88	171	171	165	171

注) 靴ごとの合計回数は、3回の前方移動×3試行×19名の171回である。

また、靴Aの滑りにより転倒およびステッピング失敗を除いた各靴のステッピング課題時の滑り距離を示したものが図6である。靴Aに関してのみ表2に示した滑りによる転倒およびステッピング失敗の試行を除外した88試行(表2)を対象とした。靴Aは滑り距離の長短に幅があったために標準偏差が大きかったものの、平均値においても25mm程度と最も長く、靴BからEは概ね6~14mmの範囲にあり、靴Eが最も短かった。このように滑り距離は、滑りにくさや恐怖感のVAS評定値と類似した傾向にあった。一元配置分散分析の結果、靴AとB, C, D, Eにそれぞれ有意な差が認められた。

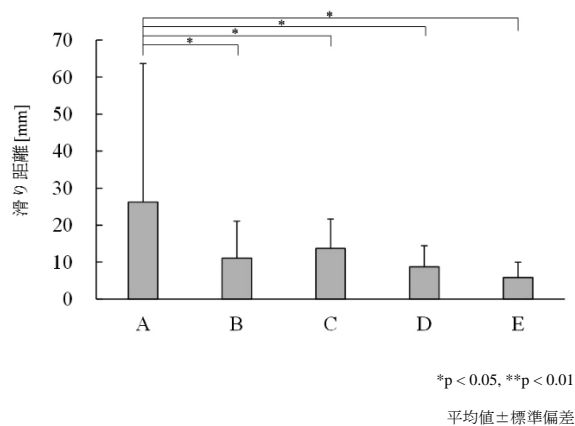


図6 ステッピング課題時の滑り距離

4 考察

1) ランプテストによる評価

上りと下りを比較すると3種類で下りの角度が小さかったことから分かるように、上りでは前足部で床面を蹴ることで推進力を得る局面(推進期)、下りでは遊脚側の踵が床面に接地する局面(踵接地期)というように、

両者は異なる歩行局面での滑りが結果に反映されていた。しかし、上り下り共に靴の動摩擦係数の増加に比例して滑り発生角度も増加していたことから、例えば約 10 度の傾斜で滑らない靴であれば耐滑性有りと判定するなど、JIS 耐滑性試験の動摩擦係数を傾斜面歩行時の滑り発生角度に置換して評価できる可能性が考えられる。ただし、DIN によるランプテストは下りのみが対象であり、主として滑りが生じやすい踵接地期の床面への鉛直力減少を評価している。本研究でも下りの方が滑りを発生しやすい状況が反映されており、下りの評価を優先させることが重要と考えられた。

2) ステッピング課題を用いた評価

滑りにくさの主観評定に関して、靴 A (動摩擦係数 0.12) では 10 ポイント程度だったのが靴 B (同 0.21) では 50 ポイント程度まで急激に増加しており、靴 B の使用では滑りが大幅に抑制されていたと考えられた。これはステッピング課題時の転倒や失敗があったのは靴 A のみであったこと、靴 A の滑り距離がその他の靴に比べて有意に長く、主観評定の結果と同様の傾向であった。Hanson ら²⁾はロジスティック関数による滑り発生の近似式を示しているが、本研究で得られた主観評定値でもこの近似式と類似した傾向が確認されたことから、現行の JIS の耐滑性基準は滑り現象だけでなく滑る感覚を反映した適切な水準であると示唆された。

次に、耐滑性の現行基準を満たす靴 B と、これよりも高い動摩擦係数を有する靴 C, D, E の滑りにくさ評定値を比較したところ、靴 B (0.21) と靴 E (0.64) の間にのみ有意な差が認められた。ランプテストの結果とは異なり、靴 B と C, 靴 B と D には有意な差は認められなかった。そのため、動摩擦係数 0.6 程度の靴であれば現行の耐滑性基準よりも滑りにくさの差異を主観的に感知できる基準になり得るものと考えられた。また、恐怖感に関する評定値は滑りにくさ評定値と同様の傾向であった。靴 B と E の間に違いはなかったものの、靴 E は 5 種類の中で最も恐怖感がないと評定された。

全体的にこれら 2 つの VAS 評定値は、ステッピング課題時の滑り距離とも対応した結果となっており、靴 E が最も優れた値を示したことから、上位の耐滑性基準を総合的に考慮すると動摩擦係数 0.6 程度が理想的であると示唆された。

5 改訂版の安全靴 JIS への反映

本研究の結果、現行の安全靴 JIS の耐滑性基準 (動摩擦係数 0.20) に関する妥当性は確認された。また、現行基準よりも動摩擦係数が高い靴の場合、人間が滑りにくさを感じることができるレベルを求めると 0.6 程度が理想的であるが、傾斜面での滑りにくさから見ると動摩擦係数にして 0.1 の向上で滑り発生角度が約 2 度増加する効果があると確認された。この内容は平成 27 年度に開催された JIS T 8101 原案作成委員会にて報告し、現行よりも上位

の基準を検討する等の参考資料として活用された。その結果、現行の耐滑性基準に加え、改訂原案では新たな上位基準が設定されることになった (表 3)。

表 3 改訂 JIS 原案の動摩擦係数ごとの耐滑性区分

動摩擦係数	動摩擦 (耐滑性) 区分
0.20~0.29	1
0.30以上	2

新たな上位区分である動摩擦係数 0.30 は現行基準である動摩擦係数 0.20 と比較して主観的な滑りにくさに違いはないが、上り傾斜面で 2.6 度、下り傾斜面で 2.3 度の滑り発生角度が向上したことが明らかとなっており、雨天時の屋外スロープなどの作業現場における滑り防止には重要な役割を果たすものと考えられた。

また、今回の安全靴 JIS 改訂原案において、現行では甲被が天然皮革製で先芯と呼ばれるつま先を保護する部材を備えた安全靴のみが対象であったのに対し、甲被の材質の拡充および先芯を有さない作業靴までが対象に含まれることになった。現行および改訂版の JIS T 8101 の耐滑性に関連する概要を表 4 に示す。

表 4 現行・改訂版 JIS における耐滑性の位置付け

	規格番号	規格名	耐滑性
現行	JIS T 8101	安全靴	付加的性能
改訂 (新規)	JIS T 8101-1	安全靴・作業靴の試験方法	-
	JIS T 8101-2	安全靴	付加的性能
	JIS T 8101-3	作業靴	基本性能

この JIS 改訂および新規追加が意味することは、従来は十分な耐滑性能を持ちながら安全靴の要件を備えていなかった作業靴 (コックシューズ等) が耐滑性の認証を得られる仕組みとなることである。とりわけ作業靴の場合、安全靴とは異なり、耐滑性が基本性能に含まれたことに大きな意義があると考えられる。

つまり小売店や飲食店などの濡れや油による床面の滑りやすさが問題となっている現場においても、靴メーカーがカタログ等で自主的に謳う“ノンスリップ”や“滑りにくい”等のあいまいな判断基準でなく、JIS 認証の作業靴を購入すると自動的に耐滑性を有する作業靴を選定したことになる仕組みとなっている。

改訂版 JIS の施行時期は未定であるが、これまでよりも耐滑性が身近になり、耐滑性自体にも上位区分が設定されることから、多くの労働現場で滑りによる転倒災害防止への貢献が期待されるものと考えられた。

6 まとめ

JIS T 8101 (安全靴) において、靴底の滑りにくさの指標として耐滑性と呼ばれる基準が存在する。現行の

JIS における耐滑性の妥当性と現行よりも上位の基準を設定する場合の水準について、ドイツ工業規格 (DIN) に準拠したランプテスト法における滑り発生角度、急速な前後移動を伴うステッピング課題における主観評定値および滑り距離などをもとに検討した。その結果、現行の JIS 耐滑性試験の基準値である動摩擦係数 0.20 は歩行時の前後方向に作用する滑りを抑制する基準として妥当であることが確認された。また、耐滑性の新たな上位区分として採用される動摩擦係数 0.30 は、現行基準である動摩擦係数 0.20 と比較して主観的な滑りにくさに違いは認められなかったが、上り・下り共に 2 度以上の滑り発生角度の向上がランプテストの結果から確認されており、雨天時の屋外スロープなど、滑りによる転倒が危惧される作業環境において一定の効果が期待されると言えよう。

しかしながら今回の安全靴 JIS T 8101 改訂原案において、従来は対象外であったコックシューズ等の作業靴が耐滑性の認証対象に含まれることになったのは、これまでよりも多くの現場で耐滑性を有する作業靴の普及が期待できることから意義深いものになると考えられた。

なお、本報告は北欧人間工学会 (Nordic Ergonomics and Human Factors Society) の年次大会 (NES2016: Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference 2016) における発表⁴⁾の一部が含まれている。

参 考 文 献

- 1) 一般財団法人日本規格協会. JIS T 8101 (安全靴). 2006.
- 2) Hanson J. P., Redfern M. S., Mazmdar M.. Predicting slips and falls considering required and available friction. *Ergonomics*. 1999; Vol.42, No.12: 1619–1633
- 3) Deutsche Industrie Normen. DIN 51130, 2014-02 (Testing floor coverings– Determination of the anti-slip property– Workrooms and fields of activities with slip danger – Walking method – Ramp test). 2014.
- 4) Ohnishi A., Sugama A.. Relation between dynamic coefficient of friction and subjective slipperiness in footwear soles. NES2016, Proceedings of 48th Annual Conference of Nordic Ergonomics and Human Factors Society. 2016; 268-272.