

消防用長靴の補強装具に関する研究開発

野村 敏幸*, 稲村 武敏*, 藤田 栄一郎*

概 要

受傷危険のある鋭利な物体の接触や、重量物の落下があり、路面が不安定な火災等の災害現場で活動する消防隊員の長靴は重要な個人装備であり、安全性、機能性の十分にある長靴が必要となる。本研究では消防隊員や団員の足部受傷事例についての検討、消防用長靴の海外基準の調査等に基づき、求められる性能について検討し、現用長靴の安全性向上策の一つとして、消防用長靴に装着する補強装具である中敷及び足甲プロテクタに関する研究開発を行った。試作した補強装具については各種試験及び実地調査を実施し、次のような結果を得た。

- 1 中敷と足甲プロテクタの装着により、踏み抜き防止性能及び衝撃緩和性能が向上した。
- 2 消防隊員を対象とした実地調査では、中敷について活動性・使用感への悪影響がほとんどないという肯定的な評価が得られた。

1 はじめに

消防隊員や団員の用いている長靴は、危険な状況における安全性を考慮して設計されているが、消防活動中の足部受傷事故については、釘やガラス片の踏み抜き、足甲への落下による事故、捻挫等が、数多く発生している。これらの事故で破壊された長靴を検分した結果、強度以上の力が長靴に加わること等により足部を受傷していることが分かった。消防用長靴の性能はJIS規格「安全靴」の設計基準を満たしているが、災害現場の活動環境は一般の作業現場等に比して極めて危険で特殊であり、このため受傷事故が隊員の注意力の間隙をぬって、また予測外の状況により発生すると考えた。

そこで、このような受傷の防止又は軽減を図るため、足部の受傷事例の検討、長靴の性能試験、消防用長靴に関する外国の基準の調査を行い、現用長靴に必要な性能向上について研究を行った。改良方策としては、消防隊員用のみではなく、消防団員や一般の安全靴等にも活用できるよう、汎用性を考慮し、消防用長靴に装着できる中敷及び足甲プロテクタを開発し実地試験を行ったものである。

2 受傷事例の調査

(1) 受傷事例の概要

足部の外傷について、当庁職員と全国消防団員(150万人)について調査を行った。当庁においては、足部に重大な

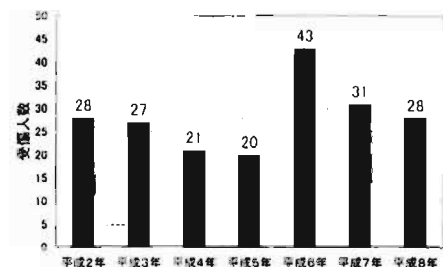
受傷を起こす事例が年に十件程度有り、全国の消防団においては年間百件以上にのぼっている。

これらの事例を分析してみると、中でも、

- ① 長靴の足底部分の踏みぬきによる受傷
- ② 足背部分への圧挫傷
- ③ くじき、ひねり等による捻挫・脱臼等

の3例が特に多かった。

参考として、消防団員の受傷事例中、件数の特に多い「靴底の踏み抜きによる受傷(刺傷、挫傷等)」をグラフ1に示す。



グラフ1 消防団員の踏み抜きによる受傷件数

このグラフに示した「踏み抜き」の事例は件数が多いため、これについて「千人率(1,000人の人間が1年間従業した場合の受傷割合)」を算出したところ0.033であり、当庁の職員についての算出結果が0.035でほぼ一致したため、統計的に同程度の受傷件数があると考えて差し支えないと判断した。足背部への受傷及び捻挫等については受傷原因

* 第一研究室

及び部位の差異のため消防隊員と消防団員の間で有意な比較を行うことが出来なかった。

(2) 受傷部位・原因の分析

それぞれの事例について可能な限り受傷原因や部位について調査を行った。長靴の足底部分の踏みぬきによる受傷は、原因については釘・ガラス片・竹や木の切り株の鋭利な部分を踏みぬいて刺傷や挫傷をこうむる点でほぼ一致しており、受傷部位はほぼ土踏まずの近辺に集中していた。

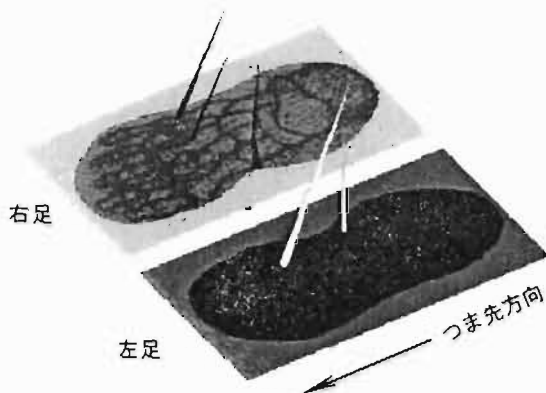


図1 足裏の踏みぬき受傷部位分布
(受傷方向・場所等が判明したもの、貫通物の長さは約2倍に拡大、太さは実際の受傷による)

これに対して、足背部への受傷は、ホースカーの支持脚、あるいははしご車のアウトリガーなどの様々な重量物による圧挫、あるいは動力ポンプ等による踏まれなどの形での受傷に分かれ、受傷部位は足首からつま先までほぼ均等に分布していた。

また、捻挫等については、水ののったホースを踏んで足をひねったり、濡れたタイルの上ですべるなど、原因においても部位においても一定の傾向は見出せなかった。

(3) 性能の検証

東京消防庁の消防隊員に配置されている長靴の性能は、JIS規格 T 8101「安全靴」(以下「JIS規格」という)に定める安全性を確保している。JIS規格には耐踏み抜き・つま先保護のための先芯・かかとの衝撃吸収性・足甲保護等の性能が定義されている。

消防隊員の長靴は、最も危険の高い、火災現場での鋭利な物体の踏みぬき等を主眼とした構造になっている。例えば当庁の消防隊員は平成8年までは踏みぬき防止性能のみを備えた旧型の銀色ゴム長靴を使用しており、その後順次現用の先芯入り編み上げ型長靴に更新されている。(写真1参照)消防団員用の長靴は、各市町村の制服によって異なるが、旧型の銀色ゴム長靴とほぼ同一の作りとなっている。同じく受傷事例の多い足甲(足背部で先芯のない部分)については、保護機能をもった消防用の靴はこれまで存在していなかった。

これは、足甲保護機能をもった安全靴が、鉄筋等の重量物を扱う労働環境用のものであり、従来は短靴についての

み保護機能を定めていたが、長靴については平成9年11月にJIS規格が統合されてはじめて基準に含まれたためもあると考えられる。



写真1 現用長靴

3 耐踏み抜き試験

現用の長靴について靴底の強度を、一般の安全靴と比較して検証することから開始した。

(1) 試験方法

ア JIS規格に定める踏みぬきに関する試験方法に準拠し、写真2のような「ジグ」と呼ばれる器具に靴の裏の部分をはさみ、試験用の釘を用いて準静圧で踏みぬきの際にかかる最大耐力を測定した。

イ 試験に用いた釘は、図2に示す形状の、JIS規格に定める試験釘(以下「規格釘」という。)のほか、より実態危険を考慮した測定とするため、建材用の一般的な三寸釘(以下「三寸釘」という。)も使用した。

ウ 測定箇所は、靴底のうちつま先の溝部分、山部分、土踏まず、かかとの溝部分、山部分の五箇所とした。

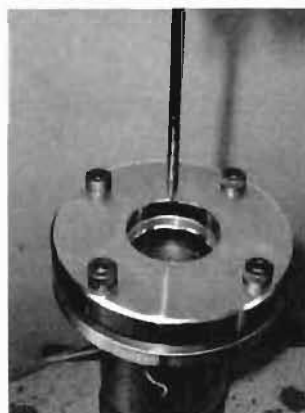


写真2 踏み抜き試験装置

(2) 試験対象

ア 現在東京消防庁で使用している長靴(以下、「現用長靴」という。)

イ 以前東京消防庁で使用していた消防用長靴(通称「銀

長」、以下「旧型長靴」という。)
 ウ 一般の安全靴（国内メーカー製）



図2 JIS規格で踏みぬき試験に用いる釘
 (先端部の拡大図)

(3) 試験結果及び考察

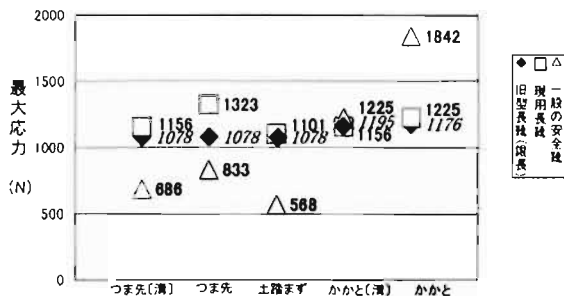
現在のJIS規格では、耐踏みぬき性能の基準については1100N（ニュートン、112kgf）としている。これは普通の釘・鋭利な鉄片等の一般的な労働条件において踏みぬきの危険がある物体に全体重がのったときの力に相当する。ただし、この場合の耐力はつま先やかかとなどのうち通常の踏みぬき危険のある場所に限定して定めており、例えば土踏まずや靴の溝部分などは前提としていない。

また、平成9年に規格が改正となる以前については、建材用の三寸釘を用いた試験で490.3N（50kgf）を基準としていた。

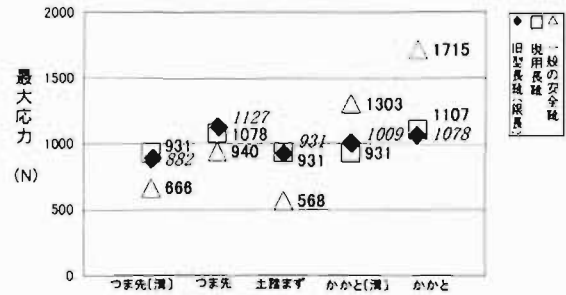
ア 規格釘を用いた試験では、現用長靴が1101N～1323Nで各箇所について耐踏みぬき性能の基準値の1100Nを越えており、旧型長靴が1078N～1195N、一般の安全靴が568N～1842Nで一般安全靴については耐力のばらつきが広く、土踏まず部分で特に耐力が小さかった。

イ 三寸釘を使用した試験では、規格釘より先端が鋭利で細いため、現用長靴が931N～1107N、旧型長靴で882N～1127N、一般安全靴で568N～1715Nと低い値を示した。一般安全靴が他の試験対象に比べて測定箇所による耐力の差が大きいのは、一般安全靴に踏みぬき鋼板が無く、靴底に硬いゴムを用いて、靴底に物体が貫入する時の摩擦によって踏みぬきを防いでいるため、釘の太さや鋭さの影響を受けない耐力を示すのだと考えられ、これは構造上薄くなっている土踏まずの耐力が規格釘と三寸釘の両方で他より小さいことと一致する。

現用長靴、銀長について測定した結果では、土踏まず部分等の靴の薄い部分であっても踏み抜き耐力は変化がなか



グラフ2 JIS規格用釘による踏みぬき試験



グラフ3 三寸釘による踏みぬき試験

った。これは一般の安全靴では靴底のウレタン等で確保している耐力を、図3のように薄手の鋼板でできた「踏みぬき防止板」が代替し、保持性能が要求される側面についてはさらにケブラーフエルトで補強しているため、一般的な耐力を備えているのだと考えられる。



図3 現用長靴の横断面図

土踏まずに特に踏み抜きが多い理由としては、人間が歩くときに、ちょうど土踏まずが地面にあたった状態で片足を浮かせるため、その部分に荷重がもっともかかること、また角材等に足を乗せるときに無意識のうちに土踏まず部分だけで乗ろうとすることが考えられ、消防活動に特に多い危険によるものと推測できる。

4 補強方法の検討

(1) 改良点の抽出

これらの事前検討から、現用の長靴は安全靴の基準の中では非常に優れているが、消防用の長靴としては改良すべき点があると考え、新たな基準となる改良を以下の点について検討することとした。

ア 足底部分

- ① 踏み抜きの多い土踏まずの保護
- ② 足底に加わる集中荷重の分散と衝撃力の緩和

イ 足甲部分

現在の長靴が保護していない足甲部分の保護

(2) 現用長靴等に関する対策

補強部材の一体成形により補強する方法も考えられるが、既存の長靴、消防団員や災害時支援ボランティアにも活用できるよう、汎用性を考慮すると、長靴に装具を後付けの付属部品として取り付ける方法が最適と判断した。

(3) 足底部分の保護

ア 特に踏みぬぎの多い土踏まず部分に保護板を付加することによって、長靴の踏みぬぎ耐力を向上させ、それとともに同部分に加わる集中荷重を分散し、衝撃力を緩和することも可能となる。衝撃の緩和については、NFPA（米国防火協会）の消防用長靴に関する規格の中に、ラダー・シャンクの規格がある。

この部品は登山靴などの足裏全体に入れて負担を軽減させる「シャンクピース」の形を変えたもので、木の板や金属でできており、足と梯子等の間で衝撃の緩和と足の過負荷による受傷防止のために働く仕組みになっており、同時に土踏まず部分の受傷事故を特に防ぐための仕組みとなっている。

同規定では、図4のような試験装置を用いて、T字型の試験用ロッドに 200kgf (1.96kN) の荷重をかけたとき、試験片の沈み込みが 0.25in (インチ、6.4mm) 以下であることが条件とされている。この許容値は、装備をつけた隊員の体重を約 100kg として、重力の 2 倍の加速度をかけてはしごの横さん等にあたった状態を想定している。

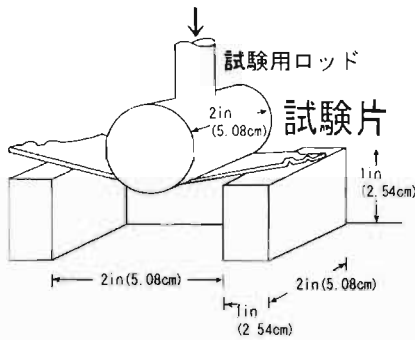


図4 ラダー・シャンク試験図

この規定に基づいて、図5の方式で各種の材料ごとに保護板の所要の厚さを求めると表1のようになる。

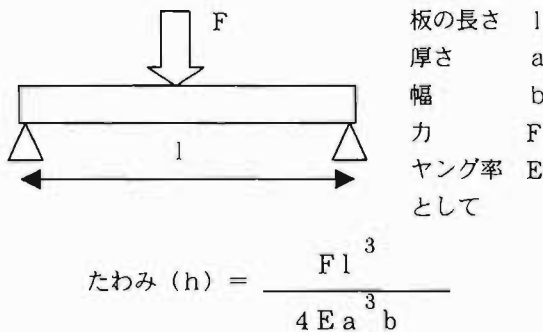


図5 沈み込み計算

イ また、独自の基準として、消防活動において想定する衝撃に耐久しうよう、アの規格で厚さを小さくできる発条用特殊鋼の場合で計算した。条件は、

- ① 装備を着装した総重量 100 kgの隊員が、
- ② 高さ 1mの場所から、足底を水平に固定して(つまり、一番踏みぬぎを起こしやすい姿勢で) 片足に全体重をか

表1 各種材料における保護板の必要厚さ(mm)

材料	必要厚さ
チタニウム	2.7
低炭素鋼	2.2
発条用特殊鋼	1.2
アルミニウム	6.5
ポリカーボネート	29.6

けて落下し

- ③ 靴にまったく踏みぬぎ防止性能が無く、中敷の保護板に一点で先端径 0.1 mmの釘が、直接、座屈せずに 0.2 秒で衝突したとして

土踏まず保護板が破壊しない値(降伏限界値)である。(参考式1 参照)

$$\begin{aligned} \text{衝撃 } S &= mgh/t = 100 \times 9.8 \times 1.0 \div 0.2 \\ &= 4900 \text{ J/s} = 4.9 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

参考式1 衝撃計算

この場合、鋼板の厚さは(十分な広さがあるとして)発条用特殊鋼で 1.6 mm以上が必要となるため、これを基準とした。

イ 同時に、かかと部分に衝撃吸収材を内装することによって、かかと部分に荷重が集中することで生じると考えられるすべりやひねり等の一部を防ぐことができると考えられる。これに関しては現在の JIS 規格の中に、激しい衝撃が足に加わる環境のための付加機能として「かかとの衝撃吸収性能」について定めた部分があるため、これを足底に加えることとした。

JIS 規格では、図6のような形状の圧迫子で靴(この場合、現用長靴に衝撃吸収材を入れたもの)のかかと部分を圧迫し、力を 50N から 5 kN まで変化させたときに吸収するエネルギーが 20J 以上であるよう定めている。

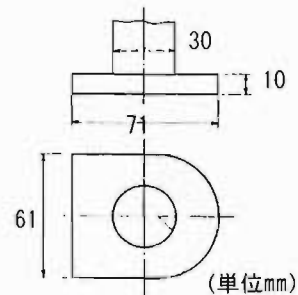


図6 圧迫子(先端部分)

(4) 足甲部分の保護

足甲部分(足背部のうち先芯に保護されない部分)については、前述の JIS 規格で定める「足甲プロテクタ」をとりつけることとした。現在の JIS 規格では、ゴム長靴型の安全靴であっても、紐しめで先芯入りのものであれば規格内で取り付けられるように規定している。

JIS 規格では、足甲プロテクタの耐衝撃性能については、

図7のように質量 $20 \pm 0.2\text{kg}$ のストライカを 100J (ジュール) の衝撃エネルギーとなる高さから落下させ、靴の中に置かれた油粘土部分の(靴底を含めた)残厚が 25 mm 以下でなければならない。

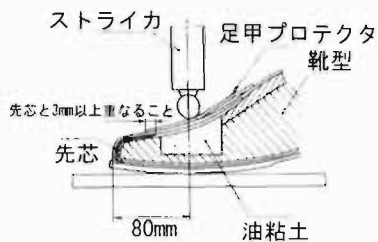


図7 足甲プロテクタの試験

5 試作

(1) 中敷

材料としては最も適した発条用特殊鋼を選定し、土踏まず部分を足幅のほぼ全体にわたってカバーする板を作成した。また、中敷によって歩行時等の足の負担を減らし、かつ土踏まず保護板を内蔵したことによる形状の変化を抑えるためにかかと部分に厚めの衝撃吸収材を内蔵することとした。重量は一对 185 グラム、外装は天然皮革である。



図8 中敷断面概念図

全体の形状としては、図8に示すようにつま先方向に向かって下がる形状とし、かかとの衝撃吸収材が体重である程度沈み込んでも、土踏まず保護板が足に負担をかけることのないようにした。

完成した中敷と、中敷に内蔵する土踏まず保護板を写真3に示す。中敷は現用長靴の靴底の形に合わせて作成しており、そのまま敷きこむことができる。

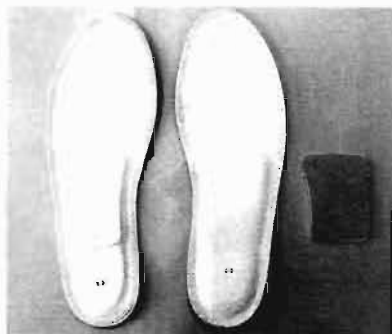


写真3 中敷と土踏まず保護板

土踏まず保護板の形状は足の形に合わせた台形に近いものとした。材質等は表2の通りである。

表2 土踏まず保護板諸元

材質	ステンレス鋼(SUS304)	
厚さ	2.5mm	
最大幅	左右	54mm
	前後	75mm
重量	52.5g	

(2) 足甲プロテクタ

JIS 規格を踏まえて、当庁の現用長靴に合致する形状の足甲プロテクタを試作し、取り付けた。(写真4)

この足甲プロテクタは、長靴の靴紐を用いて靴紐と同時にしめつけるようになっており、つま先側は足甲に乗りかかる形で自由に動くようになっている。

このため、重量物の落下等によって力が足甲部分に加わると、先芯と靴紐に支えられる形で分散され、足甲部分にかかる負荷を軽減することが出来る。

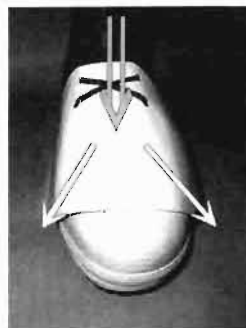


写真4 足甲プロテクタと衝撃の分散
(概念図)

試作品は、耐食アルミニウム製で一对が 132 グラムで、現用長靴の反射テープと同系色の黄色に塗装した。

6 性能試験

(1) 中敷

ア 耐踏みぬき性能

土踏まず保護板は余裕をもって 2.5 mm の厚みとしたため、図6のラダー・シャンクに関する試験による沈み込みは 1.2 mm であった。規格上の限界までは計算値で 10kN(1 トン)まで耐久する。一点で力を加えて踏みぬき防止板を壊そうとすれば、それに要する力は 60 kN 以上である。

実際には、試験用釘が 3kN (330kgf) 前後で座屈するため踏みぬき耐力は測定できなかった。(写真5参照)



写真5 座屈した釘

イ 衝撃吸収性能(かかと)

かかと衝撃吸収材は着装状態でJIS規格で定められている「かかとの衝撃吸収性」の性能試験を行い、適合していることを確認した。



写真6 かかと衝撃吸収試験

ウ 衝撃吸収性能(圧力分散度)

着装した状態で、「感圧フィルム」と呼ばれる圧力を加えると圧力に比例して変色するフィルムを長靴と足底の間にはさみ、中敷の有無に分けて梯子の昇り降り等の同じ動作を繰り返した。圧力分布調査の結果が図9と図10である。

保護板の効果により、足の土踏まず部分等のごく一部に集中していた荷重が分散し、装着による足の負荷の軽減が可能となり、また踏み抜きの原因となる荷重の集中を防ぐことが可能と思われる。



図9 圧力分布
(中敷あり)



図10 圧力分布
(中敷なし)

(2) 足甲プロテクタ

JIS規格に定める足甲プロテクタの安全性に関する試験方法に従って、ストライカを現用長靴に取り付けた状態で落下させた結果は、残圧が30mm以上あり、規格(25mm以上)を満たしていた。



写真7 足甲プロテクタ試験図

7 実地調査

(1) 目的

長靴に補強装具を装着することによる活動性、使用感、足の負担等への影響、受傷の防止及び軽減への効果等を実地に検証する。

(2) 実施場所及び実施対象者

新宿消防署 警防隊員 40名

(内訳 ポンプ隊 22名、梯子隊 8名、特別救助隊 10名)

(3) 実施期間

平成12年2月15日～3月20日(10当番)



写真8 新宿消防署での実地調査

(4) 実施方法

消防活動及び訓練において、補強装具を装着した長靴を使用し、実施期間終了後、次の項目について調査を行った。ア～エは五者択一式(良くなった、少し良くなった、変わらない、少し悪くなった、悪くなった)、他は記述式で詳細に回答を得た。

ア 中敷をいれた長靴の履き心地

イ 中敷をいれたことによる土踏まずの負担

ウ 中敷をいれたことによるかかとの負担

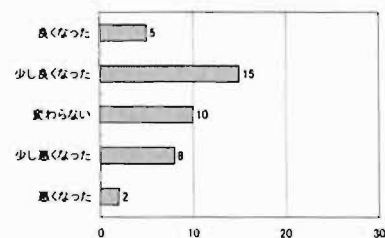
エ 足甲をつけた長靴の動きやすさ

オ 奏効事例及び不具合事例

(5) 実施結果及び考察

各項目別に、奏効事例及び不具合、改良すべき点としてあげられた意見を示す。

ア 中敷をいれた長靴の履き心地

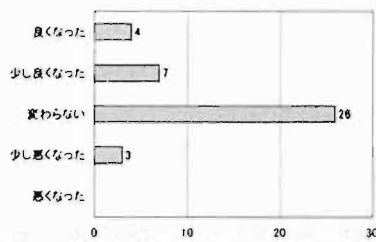


グラフ4 中敷をいれた長靴の履き心地

肯定的な意見が多く、特に梯子での作業姿勢の際や長時間の作業時に足の負担が軽いという意見が多かった。また、試験品ではあるが、このまま受領して使いつづけたという意見も何件か寄せられた。否定的な意見としては、足の形に合わせて、長靴のサイズを普段履いている靴と違えているため、土踏まずの位置と合わず多少苦痛を感じるという意見や、土踏まず保護板を薄くしてほしいとの要望があ

った。これらについては、今回強度に余裕を持たせるため計算値より分厚い材料を使ったためもあると考えられ、改良により対処可能であると思われる。

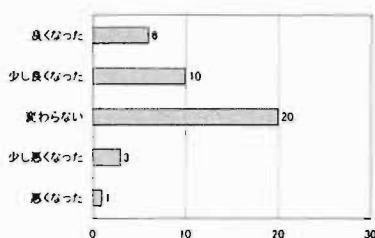
ウ 中敷を入れたことによる土踏まずの負担



グラフ5 中敷を入れたことによる土踏まずの負担

特に梯子の昇り降り等について負担が軽くなったとの意見が多くあった。少数の否定的な意見の理由としては、イの履き心地と共通で足の形に合わないという意見があった。

エ 中敷を入れたことによるかかとの負担

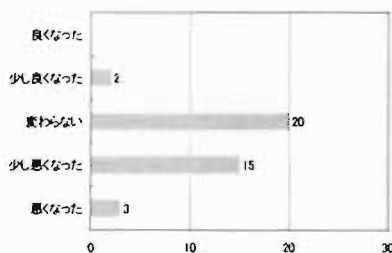


グラフ6 中敷を入れたことによるかかとの負担

特に否定的な意見は少なかったが、一部にかかと部分がふわふわして感覚が悪くなるという意見があった。

また、不具合については、二つの付属品をつけた状態での長靴の重量増は一对 300g 強であり、一对 2000g の現用長靴に取り付けた際の負担増は少ないとの感想であり、現場活動等には支障が無いとの意見であった。

エ 足甲をつけた長靴の動きやすさ



グラフ7 足甲をつけた長靴の動きやすさ

足甲を付けていることで落下物等への安心感があるという意見も多かったが、歩行中等に先芯とぶつかって音が発生することや、折りひざ姿勢をとった時、梯子に足をかけるときなどにじまになることがあることの指摘があったが、靴自体の柔軟性等には支障が生じないとのことであった。

オ その他

調査期間中、踏みぬき事象等は無く、奏効事例としての収集はできなかった。

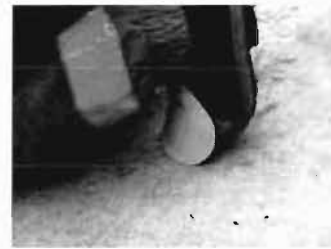


写真9 折りひざ時の足甲の様子

8 おわりに

試作した中敷及び足甲プロテクタを現用長靴に装着することにより、消防隊員が遭遇する危険要因に対して足部を防護する効果が十分あることが確認された。既存の長靴等に装着して使用するものであることからコストも極めて低く、実用化が可能であるとの結論を得た。

また、今回開発した装具で、現在の消防隊員・団員の装備を補完することにより、受傷や隊員の負荷の減少が可能である。土踏まず保護板や足甲プロテクタは、当庁のみならず一般に消防用長靴に新たな性能として付与されるべきであると考えている。

今後は、実用調査等の結果を踏まえ、さらに改良を加えるとともに、災害時支援ボランティア等が使用できるよう汎用性についても検討していく予定である。最後に、実地調査にご協力いただいた新宿消防署の皆様には厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 石塚 忠雄
「新しい靴と足の科学」
金原出版株式会社(1998年)
- 2) 消防団員公務災害防止対策協議会
「消防団員の公務災害発生状況」
平成2年～平成8年度
- 3) 生命工学工業技術研究所 編
「設計のための人体寸法データ集」
(1998年)
- 4) 労働省安全衛生部編
労働安全衛生法便覧(平成10年度版)
労働基準調査会刊
- 5) 日本規格協会編・刊
JISハンドブック 安全 1998
- 6) National Fire Protection Association
NFPA1971/97 "Standard on Protective Ensemble for Structural Fire Fighting 1997 Edition"(USA, 1997)

DEVELOPMENT OF REINFORCE ATTACHMENT FOR FIRE PROTECTIVE FOOT GARMENTS

Toshiyuki NOMURA*, Taketoshi INAMURA*. Eiichirou FUJITA*

Abstract

Firefighters always have risks of foot injuries on duty at disaster, such as punctures of foot garments with sharp things, fall down of heavy materials on the foots, and sprains of foots. Foot garments are quite important ensembles, and needs enough safety and functions.

In this study, we had investigated about foot injury accidents of firefighters and volunteer firefighters to details of reasons and particular points of injury. We also had studied about foreign standards of firefighters' protective foot garments. Finally, we considered about needed performance of protective footwear, and manufactured reinforce attachments, vamp covers and garment insertion in trial. The attachments passed some severe tests, and were served to firefighters on duty, as practice test.

As results,

- 1 Vamp cover and inner sole made puncture resistance and impact compression much higher.
- 2 Questionnaires to firefighters affirmatively proved that there were no demerits to use the insertion. on duty.

* First Laboratory