

災害時靴補強用中敷の研究開発

— 消防長靴用中敷からの発展 —

藤田 栄一郎*、稲村 武敏*、野村 敏幸**

概 要

火災現場では釘やガラスなどの鋭利な物体が足に刺さる危険があり、震災時には路面が不安定な中を歩かなければならない。受傷事例の中で足部の受傷は多数見られ、災害現場では足を守る靴は極めて重要な装備である。消防職員や団員にとっては靴は重要な個人装備で、また災害時の都民の自助にとっても靴の安全性が必要となる。本研究では、前年度消防長靴用として開発した中敷を発展させ、災害時用の靴補強中敷について研究を行なった。開発に際しては、必要な安全性を確保した上で、消防隊員の種々の靴や団員の長靴だけでなく、一般都民が用いる場合も視野に入れ、どんな靴でも使用できる汎用性を目指した。開発品は普通サイズの靴のほとんどに適合し、踏み抜き等を起こしにくくする働きがあり、各種試験や実地での調査により使用が快適であることが実証された。また、コストも比較的安価であった。

1 はじめに

火災や救助作業などの災害現場では、消防職員や団員の転倒・つまずきによるねんざや鋭利な物体の踏み抜きなどによる事故が多発している。消防職員や団員の受傷のうち、足部の受傷は40%前後をしめており、他の部位の受傷に比べても極めて高率である。³⁾

消防職員や団員の靴はこうした事故を避けるための安全基準を設計時に盛り込んでいるが、災害現場における職員等の事故は後をたたない。これは、現場における緊急性や、特殊な状況が安全基準を上回って危険が生じていると考えられる。

また、震災予防条例の改正によって都民の震災時の自助がうながされているところであるが、こうした特殊な靴をもたない都民にとって、一旦震災が起こった場合や、初期消火などにおける受傷危険は極めて大きくなる。

昨年度、災害現場での受傷の防止又は軽減を図るため、現用長靴に必要な性能向上について研究を行い、消防用長靴に装着できる中敷及び足甲プロテクターを開発し、実地試験を行った。¹⁾今年度は、この結果を勘案し、消防隊員・団員用の靴のみでなく、スニーカー等に使用することもできる受傷危険防止用の靴補強装具を開発したので、その結果について報告する。

2 受傷事例の調査

(1) 受傷事例の概要

前年度、一部の事例について行った¹⁾災害現場における足部の受傷事例について、当庁職員と全国消防団員(150万人)についてさらに詳細な調査を行った。³⁾その結果、当庁においては、足全体として重大な受傷を起こす事例は年に数十件程度あり、全国の消防団においては年間数百件以上にのぼっていることがわかった。

これらの事例を分析してみると、中でも、

- ① くじき、ひねり等による捻挫・脱臼等
- ② 長靴の破壊等、外的要因による外傷

が特に多い点で共通していた。

(2) 年齢による受傷の差

高齢になるに従って、身体能力は低下するといわれている。このため、上記の受傷原因のうち、長靴の破壊等による外傷と、ねんざ・脱臼等の身体能力によってある程度避け得る受傷の間では、年齢による差が出ていると考えた。

このため、全国の消防団員についての公表された受傷データから、まず転倒についての分析を試みた。転倒のうち、腰や胸などの他の部位に物がひっかかるなどの要因で受傷したものを除いて数値化した。これを年代別の人員差を考慮して割合として算出し、年度別に分類してグラフ化した

* 第一研究室 ** 施設課

のが図1である。

グラフを作成するにあたっては、「転倒」の定義を人間がほぼ同一の平面上で行動していて転んだ場合としてこれを抽出し、つまずいたが転ばなかった場合や、墜落・転落などで受傷した場合を除いたものとした。

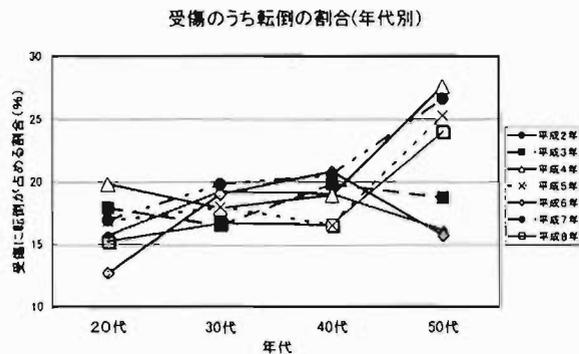


図1 受傷のうち転倒のグラフ

グラフから見ると、年度によって若干の差はあるが転倒による受傷のリスクは年齢に従って上昇し、運動能力の低下する高齢の隊員の方が高い傾向にあると考えられる。

転倒による受傷の部位については、年齢によっての差は有意にはみられなかった。しかし、年齢が若いほど、ねんざをして帰署した後等、時間が経ってから受傷を自覚する例が多く、逆に経験が長い隊員はその場で受傷に気づく傾向にあった。

具体的な「転倒」の事例は、以下の通りであり、災害現場だけでなく訓練・演習による受傷も多かった。

- (例1) 水に濡れたタイルですべり、足首をねんざした。
- (例2) 道路から落ち込んでがけになっている境目で、足元を見誤って足を骨折した。
- (例3) スレート製の屋根の上を移動中、足を踏み外して足の指を骨折した。

これに対して、長靴の破壊によって起こる「踏み抜き」を年代別の統計にしたのが図2である。

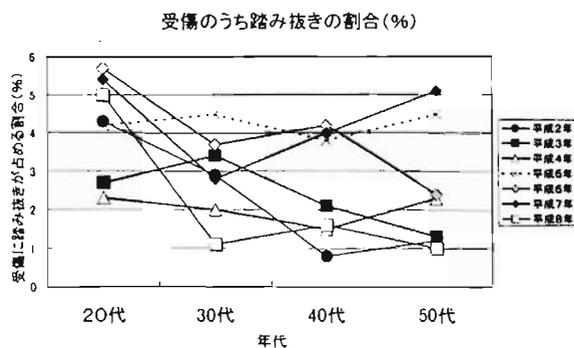


図2 受傷のうち踏み抜きの割合グラフ

この結果では、年度によらず20代か30代が最も受傷が多くなっている。年代の若いほど踏み抜きがやや多い、と

いう傾向がでているが、転倒ほどはっきりしていない。実際の事例は以下のようなもので、圧倒的に災害現場が多く、訓練・演習によるものはほとんどなかった。

- (例1) 煙でまわりのよく見えない火災現場で、釘のつきでた燃えさしを踏んでけがをした。(写真1参照)
- (例2) 林野火災で、斜面を走り降りるときに笹竹の斜めに切った部分が足の裏に刺さってけがをした。
- (例3) 出火建物の軒下を歩いているときに、炎で焼けて割れたガラスが地面にささっており、これを踏みつけてけがをした。



写真1 踏み抜きをおこした長靴 (図の白い矢印部分)

(3) 現用長靴の受傷危険の検討

消防隊員・団員の使用している長靴は、安全靴等の基準にそって作成されており、高い安全性を備えている。しかし、構造上の問題がいくつかあり、このために前述のような受傷危険があると考えられる。

ア 消防用の長靴は、足首付近では足に密着しているものもあるが、足底部分では余裕をもった構造になっている。また、かかとや足首などで足に接する部分は比較的摩擦が少なくなっていることが多く、足の密着性が普通の運動用の靴などに比べると少ない。こうした靴を履いていると、はげしい活動中に足が靴の中で動き、バランスをくずしてねんざなどの原因になる可能性がある。

こうした構造であっても、足首付近で密着しているために活動していると脱ぐのが非常に難しくなる。長時間の現場活動で汗や消火水が中に入るとこの傾向は強くなり、長靴が脱げないために同僚に引っ張ってもらったところ足の腱に受傷した事例などもある。

イ 前年度の「消防用長靴の補強装具に関する研究開発」¹⁾において報告したとおり、長靴の底はほぼ全体について鋼板が入っており、測定によれば場所によらず踏み抜きに対して一様な耐力を備えているという結果を得ている。それにもかかわらず土踏まずに特に踏み抜きが多い理由としては次のような理由が推測される。

第一に、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である。

この時足元が見えない状態だと、釘等を踏み抜くまで気づかないおそれがあり、暗闇や濃煙の中など足元が見えない状態で活動することもある火災現場に特に多いと推測できる。第二に、図3を例にして片足の荷重移動を見ると、²⁾ 体重の移動は、足の土踏まずから見て反対側の部分を通る

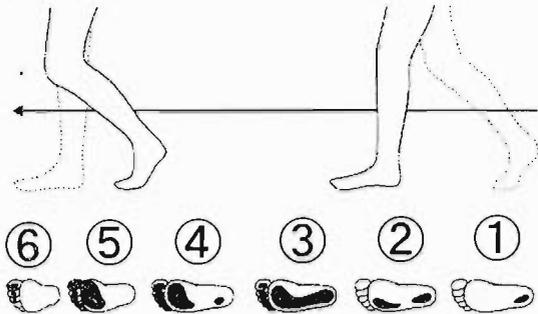


図3 左足底の荷重移動(①から⑥の順)

ことが分かる。③のようにちょうど右足が浮いた状態では体重のかかる部分の中心は、足の中央部になる。この二つの事態が同時に起こると、突起物を踏みつけたとき、全体重が片足にかかっていて、しかもバランスがとれた形になるため、荷重の逃げようがなくなって踏みぬきが起こることがありうる。

ウ 消防用の長靴は、靴の底が全体に平坦になっている。しかし、実際には足の裏に体重がかかるのは一様ではなく、図4のように足裏の中でへこんだ土踏まずを避ける形で荷重の中心が移動していく。²⁾



図4 足裏の荷重中心の移動

足裏の負担を平均化し、足の負担を小さくすれば、転倒等の事故をある程度防ぐことができる。そのためには、登山靴がそうであるように、普通は靴底と足の裏が接していない土踏まずの部分に「アーチ・クッション」と呼ばれる盛り上がり設けることが望ましいが、消防用の長靴は鋼板を入れるなど特殊な加工を施しているためにこうした付加的な加工は難しい。

エ 消防用長靴の靴底は、一般に下に向けてすぼまった作りになっている。土踏まずの内側(写真2参照)においてこの傾向は特に強く、職員・団員の踏みぬき事故でもこの部分で受傷しているものが散見される。

例えば、窓ガラスを破壊して内部進入する際などに、窓枠に足の内側をかけるためガラスを踏んでケガをする例がある。これは、足をごく自然に動かすと、高いところを乗

り越えるときには足の内側が接するように歩くためであると考えられる。本来土踏まず部分の形状は、足の運動性を損なわないためのものであるが、踏みぬきに対しては防護性能を持たない部分になっている。

逆に、現用品よりも大きい範囲で鋼板等の入った靴底をつけることも構造上は可能であり、事実海外において市販されている消防用長靴の中にはそうしたものもあるが、登梯するときの横さんの感覚などが足に全くつたわらない固い底になり、安全性において問題となる。

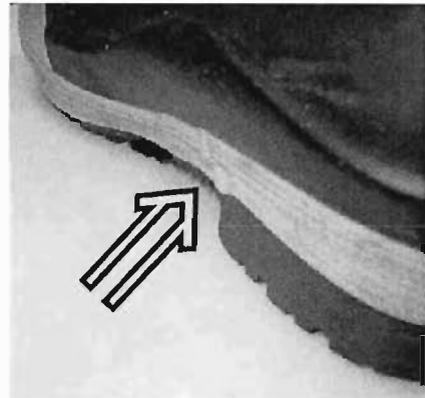


写真2 長靴の土踏まず内側部分
(矢印が内側へ切れ込んでいる部分)

3 消防長靴用中敷の試作

こうしたリスクを検証の上、昨年度「消防用長靴の補強装置に関する研究開発」において中敷を開発した。その概略は以下の通りである。¹⁾

(1) 特に踏みぬきの多い土踏まず部分に保護板を付加することによって、長靴の踏みぬき耐力を向上させた。この部分は作業姿勢等で集中荷重がかかるため、これを分散し、衝撃力を緩和することも目指した。

(2) このための材料としては、薄くても弾性があり、繰り返しかかる荷重に対しても耐久性が高いステンレス鋼のSUS304を使用することとした。

(3) この「土踏まず保護板」は、厚みを2.5mmとした。これは十二分な強度をもたせることを目標としたものである。



写真3 中敷と土踏まず保護板(右)

この厚さでは、体重 200 kg の人間が体重をかけても、1 mm 程度しか屈曲しない。

(4) また、かかと部分には厚さ 5 mm の衝撃吸収材を入れた。これにより足への衝撃を緩和し、足を安定させて転倒等の受傷を防止することを目的とした。

(5) 試作品

完成した中敷と、中敷に内蔵する土踏まず保護板が写真 3 のものである。中敷は消防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。

4 試作消防用長靴中敷への課題

前年度の試作とその後消防隊員へ試用を依頼した実地調査の結果、災害現場での中敷の使用が足の負担の軽減等に効果があることがわかった。¹⁾しかし、試作と、その後の実地調査の結果により、いくつかの問題点が抽出された。このため今年度、汎用性の高い中敷を試作するにあたって検討された課題は以下の通りである。

(1) 素材

前年度試作においては天然皮革を用いていたが、靴の種類ごと、サイズごとに作成しなければならなかった。災害現場で消防隊員が履く靴でも少なくとも 3 種類あることや、コスト面等を考えると、使用者が一部を切り取って自分の靴に合わせられるものがよく、汗などの水分や汚れに対して強いものが望ましい。

(2) 土踏まず保護板

この部分に関して非常にコストが高く、また柔軟性に欠けるために他の部分との接合がよくない。

たしかに釘等で抜かれることはないが、活動時に必ずしも土踏まずの中心で梯子の横さん等を踏むとは限らない。設計上は土踏まずと保護板の中心が一致するようにしてあるが、事実、実地試験の際に「保護板のバランスがとれないことで苦痛になる」との意見があった。

(3) その他

土踏まずの内側部分について、保護が必要である。また、天然皮革を用いることで靴の中で足は安定するようになったが、素材加工等によってこれを強化し、できれば立体成形等によって足をささえることがのぞましい。

5 災害時靴補強装具の試作

消防隊員向けの試作の結果を基礎として、今年度新たな試作を試みた。既存の消防用長靴に対する補強方を前述の課題から再検討し、また、新しい性能として、大震災時等に都民が着用するごく普通の靴等に受傷防止機能を付加できるようにした。機能の概略については次のようなものである。

(1) フィットングの強化

足を楽に動かすことができ、かつ、不整地を歩くときなどに力のだしやすい形状を検討し、表面浮き出し加工を施した。また、側部・かかるとにカップ状ガードを備え、足を

ささえる仕組みを追加した。

これにより足は靴にいれやすく、かつ出しやすくなり、足にあるていど密着することで不整地等で靴の中で足がずれて起きると言われている²⁾ひねりやくじきを防止することができると考えられる。また、構造に空気の入るすきまを多くしてあるために比較的脱ぎやすい。

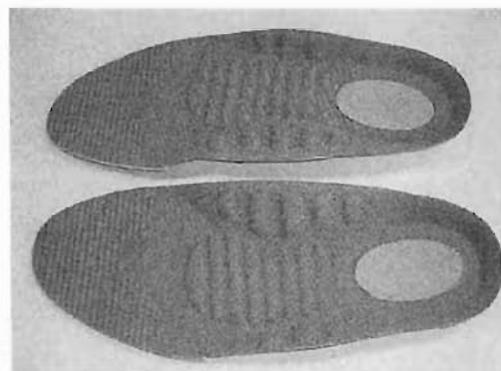


写真4 今年度試作品

この構造は、かかとの部分の衝撃吸収や靴の中での安定のために整形外科やスポーツ医学で用いられている「ヒールカップ」のアイデアを応用したものである。

また、全体に抗菌防臭加工を施し、靴全体としての衛生や快適性に配慮した。

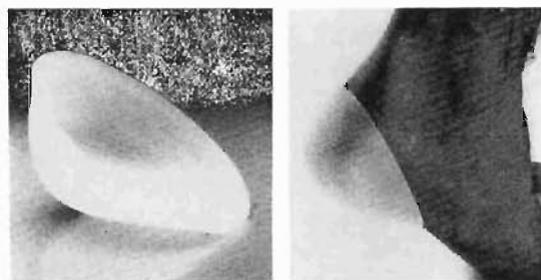


写真5 ヒールカップ (例)

また、立体成形にしたことにより、足の接する面積が増え、単位面積あたりの荷重が減少することで長距離の歩行等に有利になる。

立体成形にした裏面には2種類の保護板を入れることとした。アーチガードと土踏まず保護板である。また、かかるとには衝撃吸収部を設けた。



写真6 裏面全体図

(2) 防護の強化

足の内側部は、足底だけの強化では防護することができず、長靴の構造上鉄板を入れることも難しい場所であった。そこで、鉄板を土踏まずの持ちあがり方向にあわせて入れ、こうした土踏まずの上部のケガを防ぐ「アーチガード」を備えた。

この機構は靴本体の補強を行うよりも、独立した部品のほうが全体の構造に影響を及ぼしにくく、また本体では対応できない部分の補強が可能になることから、中敷による靴の補強というアイデアを生かしていると言える。



写真7 アーチガード (拡大写真)

アーチガードは、足の動きによって土踏まずに当たらない高さとするとともに、靴の内部に摩擦による破損などの影響を与えないように被覆を施した。

また、長靴自体にこういった垂直方向の鉄板を一体化し入れると、足の動きによって長靴が壊れる原因になる可能性があるが、中敷では靴の底と分離しているの、その可能性はない。

(3) 土踏まず保護板の厚さの変更

土踏まず保護板は、前年度の中敷の開発では、五寸釘の上に飛び降りた場合など、極度に負荷の大きい場合を想定したものであった。しかし、もともと土踏まず保護板が「踏み抜きの局所的な強化」だけを考えたのであれば薄くすることは可能であり、強度的にも問題は少ない。また、板ばねのような緩衝作用としてはある程度薄くても十分であると考えられる。このことから、土踏まず保護板は0.3mmの厚さとした。

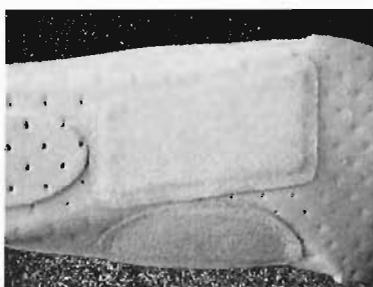


写真8 土踏まず保護板

材質は消防隊員用の試作と同じステンレス鋼とし、足の荷重移動に合わせて足の外側部をおおうように平行四辺形

の形状とし、靴に鉄板が直接触れないように被覆をほどこした。

また、アーチガードと土踏まず保護板だけでも、足の中でも踏みぬきの多い部分については被覆を施すことができ、踏みぬき防止板のないスニーカー等にいてもある程度の防護性能を確保することができる。

(4) その他

かかとの衝撃吸収部は、中敷全体の作りと一体化した仕組みとした。

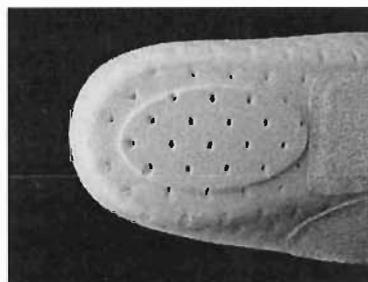


写真9 衝撃吸収部

また、試作靴補強中敷はフリーサイズとし、先端の切断により24センチから27センチまでの足のサイズに対応できる形状とした。安全靴だけでなく、各種の靴に対応も可能である。

6 検証

(1) 中敷を装着した状態で、引張圧縮試験機を用いて当今の現用長靴の踏みぬき試験を行った。土踏まずの中央部分で一般的な建材で最も用いられる三寸釘による踏みぬき試験を行ったところ、1200N (122.5kgf)付近で釘が座屈し、耐力を測定することはできなかった。



写真10 試験中の引張圧縮試験機
(島津製作所 AG-1 5kN)

このため長靴のみで測定したところ、5回平均で踏みぬき応力は925N (94.4kgf)、中敷のみの場合は400N (41kgf)であった。

従って踏みぬぎが起こる場合でも応力は少なくとも5割程度上昇し、一般的な三寸釘については上から飛び降りるような、極端に応力のかかる場合以外安全であると考えられる

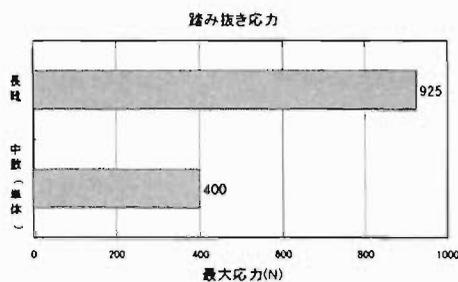


図5 踏み抜き応力のグラフ(長靴と中敷単体)

また、踏みぬぎにかかるエネルギーを測定したところ、長靴が2.88J(ジュール)で、中敷は3.4Jであった。これは材質が違うため弾性が強く、踏みぬぎに対する抵抗が大きいためだと考えられる。



図6 踏み抜きエネルギーのグラフ

これらのデータから、消防用長靴について有意な強化が可能であると考えられる。また、もともと踏みぬぎ防止能力を持たないスニーカー等の靴に取り付けた場合でもある程度災害時の使用に耐えると思われる。

(2) 一般に靴には、インソール(中敷)の有るものと無いものがあり、有るものはさらにインソールが靴底と一体化しているものと取り外せるものがある。中敷を使用するには、使用する靴にインソール(アーチクッションなどの支え)が無いが、取り外せることが望ましい。このため、一般の都民が用いる「動きやすい靴」としてスニーカーを想定し、市場において大手と言われるA社とN社のスニーカーを調査したところ、精査可能であった115種類の製品中、インソールの取外しが可能であったのは80種類(70%)であり、残りはインソールを備えていない底の平らなものが多かった。スニーカーにはインソールを靴底と一体化しているものは見出せなかった。

従って、通常市販されているスニーカー等に本中敷を使用しても十分実用性があると考えられる。

7 おわりに

足の部分の受傷事故は比較的軽傷で、命にかかわるダメ

ージを受けることはまずない。しかし、実際の危険性に対してどう保護するか、災害の現場で必要な安全性を高めるためのさらなる検討が必要であると考えられた。

試作した中敷により、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比較的安く、実用化が可能であると考えている。

この研究では、受傷事例の調査、原因の分析などを通じて、災害活動に求められる靴の補強等について検討してきた。そこで、当面着用している靴への使用を前提として、コスト面の実用性、靴の種類に対応できる汎用性も考慮し、受傷防止の改善策の一つとして靴に取り付ける補強方法として中敷を試作した。この試作品は長靴・スニーカーなど多くの種類の靴に取り付けられる汎用性があり、消防用の長靴については普段から取り付けが可能で、防災袋などにしまっておけるコンパクトさもある。

今回試作した補強装具に関しては、現在実地において最終試験中であり、隊員の負担の減少等に効果的であるとの肯定的な評価を受けている。

[参考文献]

- 1) 野村敏幸、稲村武敏、藤田栄一郎「消防用長靴の補強装具に関する研究開発」消防科学研究所報 第37号 pp50～57 (平成10年)
- 2) 石塚 忠雄「新しい靴と足の科学」金原出版株式会社(1998年)
- 3) 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9年度
- 4) 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)
- 5) 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
- 6) 日本規格協会編・刊JISハンドブック 安全 1998
- 7) National Fire Protection Association NFPA1971/97 "Standard on Protective Ensemble for Structural Fire Fighting 1997 Edition"(USA, 1997)

DEVELOPMENT OF REINFORCE INSOLE
FOR SHOES IN DISASTER
- DEVELOPMENT FROM REINFORCE ATTACHMENT FOR FIRE
PROTECTIVE FOOT GARMENTS -

Eiichirou FUJITA*, Taketoshi INAMURA*, Toshiyuki NOMURA**

Abstract

In fire, there are always risks of shoe punctures with sharp things such as spikes or broken glasses. We must walk on cracks in the ground after earthquake. There are many cases of injury in foots, and shoes come quite important in disaster for protecting our foots. For firefighters and volunteer firefighters, foot garments are important equipment. And citizens need safe shoes for self-activities.

In this study, we developed reinforce attachment (manufactured in 2000) to multi-purpose reinforce insole for shoes in disaster. The attachments were made as insole not only for firefighters' foot's garments but also for shoes used in general. We considered about needed safeness like puncture or slips.

As a result, test manufactured model fitted to foot garments and various kinds of general sized available shoes, and had abilities to avoid puncture and other injury. Practice tests and tests on duty proved comfort of the model. And the model was cost-effective.

* First Laboratory **Installation section