

安全性と快適性を両立した頭部保護帽の開発

Development of Safe and Comfortable Protective Headwear

○ 穴田賢二 (日本自動車研究所) 鴻巣敦宏 (日本自動車研究所) 一色孝廣 (日本自動車研究所)

森久見子 (㈱特殊衣料) 森田敏昭 (東京造形大) 吉成哲 (北海道総合研究機構)

Kenji ANATA, Japan Automobile Research Institute
Atsuhiko KONOSU, Japan Automobile Research Institute
Takahiro ISSHIKI, Japan Automobile Research Institute
Kumiko MORI, Tokusyu Iryo Co., Ltd.
Toshiaki MORITA, Tokyo Zokei University
Satoshi YOSHINARI, Hokkaido Research Organization

Abstract: The purpose of this study is to develop protective headwear which offers a high level of protection and is also comfortable. At first, we evaluated currently available protective headwear for protection performance. From the evaluation test results, it was found that most of the available protective headwear used for the evaluation test don't effectively protect against serious head trauma in falling accidents. Second, evaluation tests on protection performance using Head Injury Criterion (HIC) was carried out for several varieties of buffers, whose properties were also evaluated (e.g. passing water and air property, flexibility, and so on). As a result, we selected a buffer which combines safety and comfort. Finally, protective headwear with a built in buffer was made. It was confirmed that it has higher protection performance than currently available protective headwear.

Key Words: Protective Headwear, Falling Accident, Evaluation Test of Head Protection Performance, Comfortable

1. 緒論

日常生活において、転倒・転落事故での死者数(2010年)は年間約7500人⁽¹⁾にも達しており、交通事故死者数(2011年)の4612人⁽²⁾を上回っている。転倒・転落事故の発生原因として、スリップやつまづきが6割を超えており、発生場所は公的建築空間、家庭、街路等さまざまである。転倒・転落事故における死者数は近年増加傾向であり、今後もその傾向は持続すると推測されている⁽³⁾。このことから、転倒事故における死者数削減は重要な課題であると考えられる。

これら事故の安全対策として、転倒の予防などいくつかの対策が提案されている。本研究では、それら対策の中で、コストや普及の早さの点から、「日常的な頭部保護帽の着用」に着目することとした。

現在、多種多様な頭部保護帽が販売されている。その中でも、本研究で着目する現状の日常的な使用を目的とした頭部保護帽は、単に何らかの緩衝材を内蔵した帽子であるものが多い。さらに、統一された保護性能評価試験が存在しないため、その保護性能は不明確なものが多い。一方で、自動車乗員に対する衝突安全対策は多くの研究が行われてきており、現在さまざまな基準が設けられている。著者が所属する研究所においても、長年にわたり衝突安全に関する研究を行っており、多くの知見を有する。

そこで、本研究では、自動車の衝突安全に関する知見を活用して、より安全な頭部保護帽を開発することを目的とした。具体的には、まず、自動車乗員の頭部保護基準で用いられている頭部傷害基準(Head Injury Criterion: HIC)により、市販されている頭部保護帽の保護性能評価を行う。次に、いくつかの緩衝材に対して、安全性および快適性についての評価を実施し、選定を行う。最後に、その緩衝材を用いて、安全性と快適性を両立した頭部保護帽の開発を目指した。

2. 市販頭部保護帽の保護性能評価試験

市販されている頭部保護帽の保護性能を把握するため、同一条件で保護性能評価試験を実施する。なお、本研究では、「歩行者の日常的な頭部保護帽の着用」に着目しているため、外観がカジュアルな頭部保護帽8種類を対象として、試験を実施した。

2.1 試験方法

本研究で使用する試験装置を図1に示す。頭頸部は人体ダミー(HybridIII 50%ile Male)、胴体部はH形鋼で構成されている。回転中心から頭頂までの距離は約1500mm、質量は約48kgである。各試験での再現性を高めるため、一軸周りの回転のみ可能となっている。

試験は、胴体部の吊り上げ角度を約15°(ダミーから衝突面までの高さは約900mm)になるように設定し、頭部を剛体衝突面に落下させる。これは無帽状態で衝突面に衝突した際に生じるHIC値がおよそ2000となる条件である。なお、HIC=2000は、図2に示す頭部傷害リスクカーブ⁽⁴⁾より、AIS3+(重傷相当以上)の傷害発生確率がおよそ100%であることがわかる。

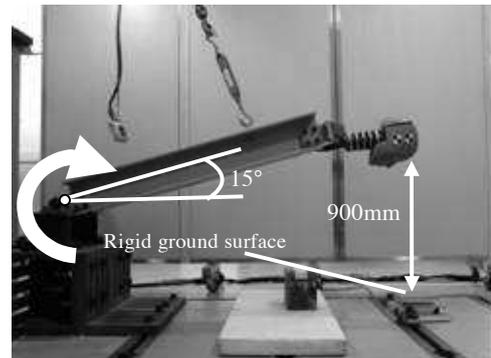


Fig.1 Experimental apparatus

ここで、HIC とは、自動車などの安全性評価試験において乗員頭部の傷害基準として用いられている指標である。一般に HIC は以下の式で求められる。

$$HIC = \left[\left\{ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right\}^{2.5} (t_2 - t_1) \right]_{\max} \quad (1)$$

ここで、 $a(t)$ は頭部重心の 3 軸並進合成加速度、 t_1 と t_2 は積分を行う開始時間と終了時間である。ただし、 t_1 と t_2 は HIC 値が最大になるように選択しなければならない。

また、各製品において前頭部、側頭部および後頭部といった代表的な衝突位置を選択し、試験を実施した。

2.2 結果および考察

図 3 に各製品における HIC 値の平均値および最大、最小値を示した。同図より、試験を実施した 8 種類の頭部保護帽において、HIC の平均値が 1000 を下回ったのは 1 種類のみであった。ここで、HIC=1000 は、図 2 に示した頭部傷害リスクカーブにおいて、AIS3+ の発生確率が 50% 程度の値である。つまり、試験を実施した頭部保護帽の多くは、今回の試験条件である高さ約 900mm からの落下時に生じる衝撃力を十分に吸収できないと言える。

さらに、No.3, No.4, No.5 および No.6 といった製品は衝突位置により、HIC 値に大きくバラツキが生じた。これは、衝突位置での緩衝材の有無または厚さが異なっているためである。一方で、例えば転倒などにおいては、頭部は決まった位置で路面と衝突することはないため、頭部全周囲を保護する必要がある。

以上より、大半の市販の頭部保護帽では、頭部傷害発生

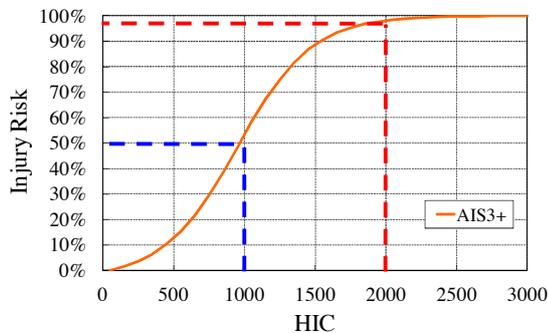


Fig.2 Head injury risk curve⁽⁴⁾

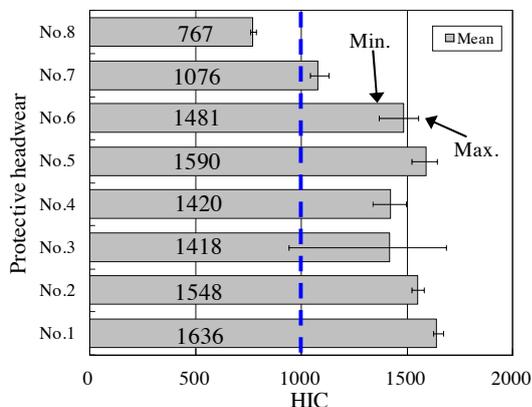


Fig.3 Mean, maximum and minimum of HIC value for each protective headwear

リスクを十分に低減することは困難であると考えられる。

唯一 HIC 値が 1000 を下回った頭部保護帽は、緩衝材に硬質素材の樹脂が用いられていた。そのため、緩衝材にポリウレタンなどの軟質素材を用いた頭部保護帽と比較して柔軟性が低く、装着性は良くないと考えられる。つまり、快適性が十分では無いため、日常的な着用を推奨することは困難であると考えられる。

3. 安全性と快適性を両立した頭部保護帽の開発

3.1 頭部保護帽の開発方針

前章において、市販されている頭部保護帽の保護性能評価試験を実施した。その結果、8 種類のうち 1 種類のみが HIC 値 1000 を下回ることがわかった。また、多くの頭部保護帽は、衝突位置により保護性能に差が生じることがわかった。つまり、市販されている頭部保護帽は、頭部傷害発生リスクを十分に低減することは困難であると考えられた。

また、保護性能の高い頭部保護帽は、緩衝材に硬質素材を用いているため、柔軟性が低く、装着性は良くないことが考えられた。

頭部保護帽により、転倒などで発生する頭部傷害発生リスクを低減するためには、保護性能を向上させることに加え、日常的な着用が求められる。そのためには、外観のデザインや着用時の快適性にも着目し、頭部保護帽の着用欲を向上させる必要がある。

そこで本研究では、(1)一般的な帽子と変わらない自然な外観、(2)従来の頭部保護帽よりも高い通気性、装着性および軽量性、(3)前章で実施した頭部保護性能評価試験において HIC 値が 1000 以下となる保護性能を有する頭部保護帽の開発を目指すことにした。

3.2 緩衝材の選定

前節で決定した開発方針を満たす頭部保護帽を開発するためには、緩衝材の選定が重要となる。そこで、表 1 に示すようにいくつかの緩衝材を候補に挙げ、同一条件下で安全性および快適性を検討するための試験を実施した。なお、ポリエチレンビーズについては、ビーズをナイロン紐で結合し、試験を行った。次項に試験方法について述べる。

Table 1 List of buffers

No.	Name
1	Filter sheet (Urethane foam)
2	Pad sheet (Urethane foam)
3	Polystyrene foam
4	Rubber sheet
5	Polyurethane foam
6	Polyethylene beads
7	Expanded polyethylene sheet

3.2.1 試験方法

(a) 衝撃吸収性能試験

試験は図 1 に示す試験装置を用いて、前章で実施した保護性能評価試験と同一方法および条件の下、緩衝材を剛体衝突面に取り付け、実施する。最後に、HIC 値を基に、表 2 に示すように点数付けを行い、衝撃吸収性能を評価する。

(b) 通水性能試験

緩衝材の通気性を調べるため、簡易的に図 4 に示す方法により、通水性能試験を行う。

図に示すように上下のカップ間に試験片を取り付け、200ccの水が上下カップの移動に要する時間の計測を行う。最後に、移動時間を基に、表2に示すように点数付けを行い、通水性を評価する。

(c) 環境温度維持性能試験

頭部で生じる熱を頭部保護帽の外へ放出することは、快適性において重要である。そこで、図5に示す方法により、環境温度維持性能試験を行う。環境温度維持性とは、温度の高いものを環境温度(室温)に近づけるための特性である。保温カップに入れた沸騰水を試験片で覆い、20分後の温度測定を行う。最後に、試験前後の温度低下量を基に、表2に示すように点数付けを行い、環境温度維持性を評価する。なお、本研究では気温が高い時期での着用を想定し、より多くの熱を逃がす性能を求めた。そのため、温度低下が大きいほうが高い得点となる。

(d) 柔軟性能試験

図6に示す方法により、柔軟性能試験を行う。

試験片はすべて同一形状(縦 50mm×横 80mm×厚さ 10mm)として、図に示すように緩衝材の一端を固定し、もう一端には錘を吊り下げ、緩衝材の変形量計測を行う。最後に、変形量を基に、表2に示すように点数付けを行い、柔軟性を評価する。なお、頭部保護帽において、装着性の点からより高い柔軟性が求められるため、変形量が大きいほうが高い得点となる。

(e) 軽量性能試験

緩衝材は同一形状(縦 90mm×横 90mm×厚さ 10mm)として、質量の測定を行い、密度を算出する。最後に密度を基に、表2に示すように点数付けを行い、軽量性を評価する。

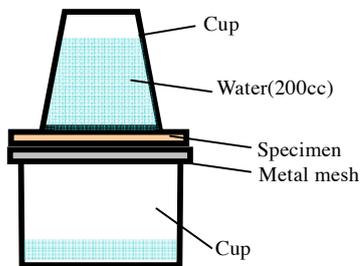


Fig.4 Overview of passing water property test

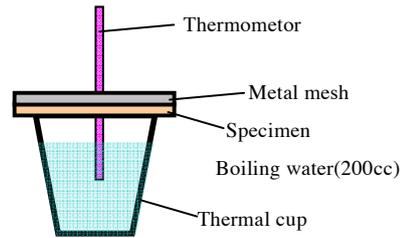


Fig.5 Overview of heat radiation property test

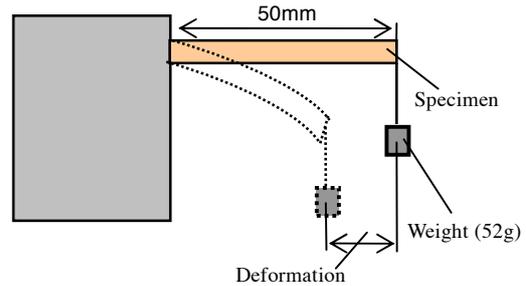


Fig.6 Overview of flexibility test

3.2.2 試験結果

各緩衝材の試験結果を図7に示す。図より、ポリエチレンビーズが最も要件を満たす緩衝材であることがわかる。これは、ポリエチレンビーズは中空穴あき構造をしているため、高い通気性がある一方で、比較的硬質な素材であり、高い衝撃吸収性能が発揮されたと考えられる。

以上より、ポリエチレンビーズを緩衝材に採用した頭部保護帽の製作を行うこととした。

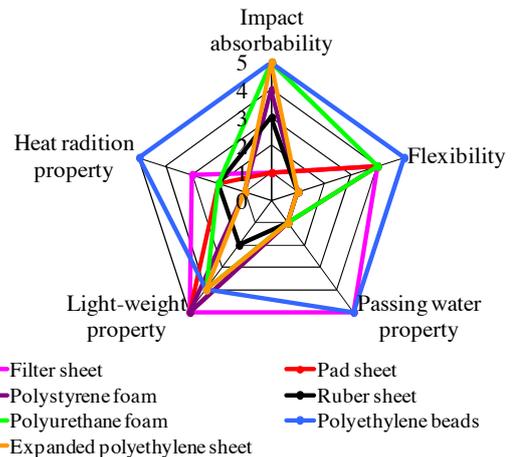


Fig.7 Results of evaluation test

Table 2 Score sheet

Score	Impact absorbability HIC	Passing water property Time [sec]	Heat radiation property Temperature [deg.]	Flexibility Deformation [mm]	Light-weight property Density [kg/m ³]
5	<1000	<5	30<	40<	<50
4	1000 ≤, <1200	5 ≤, <10	25 ≤, <30	30 ≤, <40	50 ≤, <100
3	1200 ≤, <1400	10 ≤, <15	20 ≤, <25	20 ≤, <30	100 ≤, <150
2	1400 ≤, <1600	15 ≤, <20	15 ≤, <20	10 ≤, <20	150 ≤, <200
1	1600 ≤	20 ≤	≤15	≤10	200 ≤

3.3 頭部保護帽の製作

頭部保護帽の製作にあたり、以下に示す頭部保護帽のデザインコンセプトを決定した。

- ・外観は自然であり、普通の帽子と変わらない
- ・帽子全周囲(前後左右、頭頂)に緩衝材を配置
- ・緩衝材の出し入れが可能(一部)
- ・日常生活で使用するため軽量

次に、デザインコンセプトに基づいて縫製や緩衝材の組み込みについての検討を行い、図8に示す頭部保護帽の製作を行った。開発した頭部保護帽は、周囲の緩衝材は縫付けられているが、頭頂部は出し入れが可能である。頭頂部の緩衝材は、図9に示すように薄い布にポリエチレンビーズを内包してあり、頭部保護帽内部に存在するポケットに挿入する。

図10に開発した頭部保護帽、市販されている一般的な頭部保護帽および自転車や工業用などのヘルメットの質量を示す。なお、開発した頭部保護帽はフリーサイズの値、一般的な頭部保護帽およびヘルメットは代表的な製品を選定し、それらの平均値および最大値、最小値を示している。図より、開発した頭部保護帽は、一般的な頭部保護帽の中でも軽量の分類に入り、ヘルメットよりも十分に軽いことがわかる。



Fig.8 Developed protective headwear

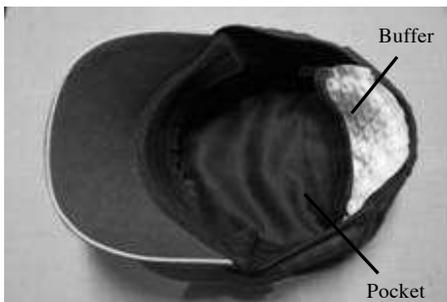


Fig.9 How to insert a buffer into protective headwear

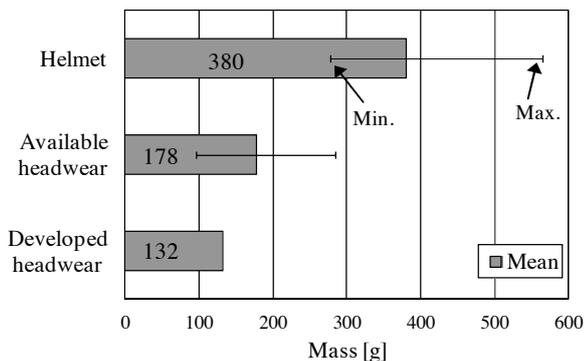


Fig.10 Comparison of mass

4. 開発した頭部保護帽の保護性能評価試験

4.1 試験方法

試験は図1に示す試験装置を用いて、第2章で実施した保護性能評価試験と同一方法および条件の下、本研究で開発した頭部保護帽を装着して実施した。なお、前頭部、側頭部および後頭部といった代表的な衝突位置を選択し、試験を行った。

4.2 試験結果

図11にHIC値の平均値および最大、最小値を示した。同図より、開発した頭部保護帽はHICの平均値が1000を下回っていることがわかる。また、同図には第2章で実施した、市販の頭部保護帽のHIC値の平均値も示しているが、それと比較しても十分に低いことがわかる。加えて、衝突位置によるHIC値のバラつきは小さく、全ての衝突位置において1000を下回っている。

以上より、当初の開発方針を満たす衝撃吸収性能を有する頭部保護帽の開発を行うことができたといえる。

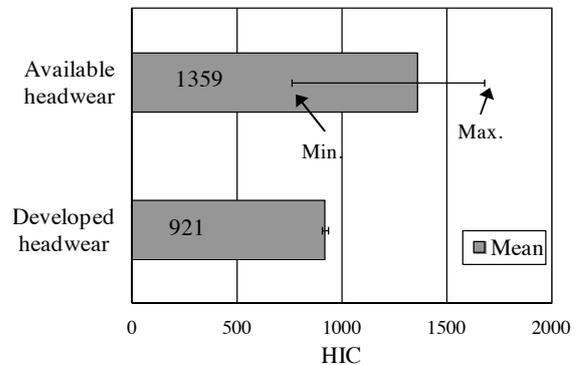


Fig.11 Results of evaluation of head protection performance

5. 結論

本研究では、自動車の衝突安全に関する知見を活用して、従来以上に安全で快適な頭部保護帽の開発を行った。まず、頭部傷害基準であるHICを用いて市販の頭部保護帽の保護性能評価を行った。次に、数種類の緩衝材に対して安全性と快適性の評価を行い、緩衝材の選定を行った。その後、選定した緩衝材を用いて、頭部保護帽の製作を行った。

その結果、当初の開発方針を満たす、頭部保護帽の開発を行うことができた。本研究で開発した頭部保護帽を着用することで、転倒事故による被害軽減が期待される。

参考文献

- (1) 厚生労働省：平成22年人口動態統計，2011.
- (2) 警察庁交通企画課：交通事故統計2011，2011.
- (3) 河野：公共的建築空間における転倒・転落事故死者数の経年変化と将来予測，国土技術政策総合研究所：http://www.tatemonojikoyobo.nilim.go.jp/kjkb/pdf/report/01_1.pdf (2012.3.7確認)
- (4) NHTSA：FMVSS No.208 Advanced Air Bags, 2000.