

産業安全研究所安全資料

SAFETY DOCUMENT
OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RIIS-SD-91-1, 1991

安全帽の耐候性

深谷 潔

安全資料

目次

1.	はじめに	2
2.	安全帽に使用される高分子材料の耐候性	2
3.	当研究所における安全帽の耐候性に関する研究	3
3.1	安全帽帽体の暴露試験 (昭和 40 年)	
3.1.1	暴露試験に用いた試料および暴露方法	
3.1.2	評価試験の方法および試験結果	
3.2	安全帽帽体の暴露試験 (昭和 41 年)	
3.2.1	試験方法の変更点	
3.2.2	各材質ごとの試験結果	
3.3	安全帽帽体の暴露試験 (昭和 43 年)	
3.4	3 回の暴露試験のまとめ	
3.5	現場において使用した安全帽の性能劣化	
3.5.1	FRP	
3.5.2	フェノール (ベークライト)	
3.5.3	ポリカーボネート	
4.	研究方法	10
4.1	暴露試験	
4.2	試験装置	
4.2.1	落下衝撃試験装置	
4.2.2	ISO 式貫通試験装置	
4.3	試験項目と試験方法	
4.3.1	完成品の衝撃吸収試験	
4.3.2	着装体の衝撃吸収試験	
4.3.3	完成品の貫通試験	
4.3.4	帽体の貫通試験	
4.3.5	帽体の静的貫通試験	
4.3.6	着装体の引張強度試験	
4.3.7	帽体および着装体の D 硬度の変化	
4.3.8	帽体の変色の測定	
5.	試験結果	16
5.1	暴露試験結果	
5.2	衝撃吸収試験結果	
5.3	貫通試験結果	
5.3.1	完成品の貫通試験	
5.3.2	帽体の貫通試験	
5.4	その他の試験の結果	
5.4.1	帽体の静的貫通試験結果	

5.4.2	着装体の引張強度試験結果	
5.4.3	D 硬度の測定結果	
5.4.4	色の測定結果	
6.	考 察	25
6.1	規格による試験結果のまとめ	
6.2	資料 ABS の劣化について	
6.3	耐候性に関する規格について	
7.	ま と め	27

安全帽の耐候性

深谷 潔

The Weatherability of Safety Helmets

by Kiyoshi FUKAYA*

Abstract; Weathering test of various safety helmets were conducted in order to obtain data to decide the helmets' working life, because plastics, from which safety helmets are made, deteriorate through weathering. In addition the properties of plastics do not necessarily indicate the performance of the helmet, and there is little data concerning this subject.

Three types of safety helmets, called ABS, PE1 and PE2, were tested. ABS's shell is made from acrylonitrile-butadiene-styrene and shells of PE1 and PE2 were made from polyethylene. They were exposed to the sun and rain from 12 to 30 months, and were tested in several manner.

First they were inspected visually. The changes in appearance were small for PE1 and PE2, but the appearance of ABS that were exposed longer than 12 months had deteriorated noticeably.

Then they were tested in accordance with the regulations for shock absorption and penetration. Because a change of the regulations were expected, both old and new test methods were used. In addition to the regulation tests, tests in more severe conditions were also conducted. These were shock absorption test in very low temperature, penetration test with a higher falling height, and so on.

In a shock absorption test using a hemispherical striker, test pieces of ABS that were exposed longer than 15 months failed, that is, due to contact between the helmet and the dummies' head impact load exceeded the permissible limit. Test pieces of PE1 and PE2 that were exposed for 15 or 24 months showed symptom of deterioration in a low temperature shock absorption test. The connection point between the shell and hammock of PE1 broke, and the hammock of PE2 broke in the test.

In a penetration test of a whole helmet, ABS helmets that were exposed longer than 12 months failed and showed manifest symptoms of deterioration, that is, the striker touched the dummies' head or it broke part of the shell and made a hole.

In a penetration test of shell, 21 and 27 months exposed PE2 failed, that is, penetration depths were over the limit (10 mm). 18 and 21 months exposed ABS also failed.

In conclusion, all type of helmet showed some symptoms of deterioration. With respect to the regulations ABS deteriorated clearly, whilst PE2 showed signs of deterioration and PE1 showed no deterioration.

Keywords; safety helmet, weathering, shock absorption test, penetration test.

1. はじめに

安全帽、安全帯等の保護具は、事故の際に作業を守る最後の砦である。この保護具が十分な性能を有せずに容易に破損するようでは、事故時に使用者を防護することができず使用する意味がなくなる。そのため、労働省では、保護具の構造規格を定めて、保護具が有すべき性能を規定している。特に安全帽については検定制度があり、検定に合格していない、すなわち、必要な性能を有することが確認されていない安全帽は販売や使用を禁じられている。

構造規格で定められている性能試験は、新品の安全帽に対して行なうが、安全帽に限らず、一般に物は、使用するうちに段々劣化していくのが普通である。本来ならば、ときどき試験をして要求される性能を有していることを確認することが望ましいが、構造規格で定めている試験は破壊試験であるため、この試験によって使用中の安全帽が必要性能を保持しているかどうかを試すことができない。そのため、劣化して必要な性能を持たなくなった安全帽を使用している可能性がある。従って、耐用年数ないし廃棄基準を定める必要あるが、使用状態や取扱い方でその寿命が著しく異なるために未だに定めることができない。廃棄基準を決めるためには、劣化の要因を解明し、既知の条件における劣化特性を明らかにする必要がある。

一般に、安全帽を劣化させる作用としては、熱・光・水分などによる化学的作用と、衝撃や摩擦等による機械的作用が考えられる。例えば、前者は、太陽光中

の紫外線による劣化や、炎天下の熱による劣化、亜硫酸ガス等の大気汚染ガスを溶かした雨滴による劣化などであり、後者は、低い天井と頭部の衝突や摩擦、あるいは建築現場等での安全帽の椅子代りの使用等である。さらに、これらの複合した作用も考えられる。すなわち、機械的に傷ついた箇所の化学的劣化である。

安全帽の使用状況によってこれらの作用の受け方が異なる。例えば、屋外で使用する場合と屋内で使用する場合は、太陽光の受光量が大きく異なるし、使用頻度が異なればぶつける等の力学的作用を受ける頻度も異なる。そのため、寿命が異なって来る。

今回に研究では、耐用年数・廃棄基準を設定するための基礎資料として、太陽光に含まれる紫外線による劣化の状態を評価するために、文献調査及び暴露試験を行った。

2. 安全帽に使用される高分子材料の耐候性

最近の2年間の安全帽の帽体に使用される高分子材料の材質は、労働省の構造規格に基づく検定を行っている産業安全技術協会の調べによると、ガラス繊維強化ポリエステル (FRP)、ABS (アクリルニトリル、ブタジエンおよびスチレンの共重合体)、ポリカーボネート (PC)、ポリエチレン (PE) 等であり、着身体 (ハンモック) の材質はPEが大部分である。これらの素材の機械的性質/特徴を Table 1^{1,2)} に示す。

従来から、これらの高分子材料そのものの耐候性についてはプラスチックのメーカーのみならず、工業技術院傘下の各研究機関、日本ウェザリングセンター

Table 1 Mechanical characteristics and features of plastic used in safety helmets
安全帽に用いる高分子材料の機械的特性と特徴¹⁾

Mechanical characteristics/Feature 機械的特性/特徴	PE	ABS	PC	FRP (MMD法)	FRP (BAG法)
Glass content rate ガラス含有率 %	—	—	—	30-50	45-55
Specific gravity 比重	0.94-0.97	1.02-1.04	1.2	1.5-1.7	1.6-1.8
Tensile strength 引張強さ kg/mm ²	2.2-3.9	3.5-4.5	6-7	7-17	21-35
Extension 伸び ²⁾ %	15-100	50-60	60-100	—	—
Compression str. 圧縮強さ kg/mm ²	2.2	5-9	7-8	13-21	21-39
Bending strength 曲げ強さ kg/mm ²	0.7	5.5-7	7-9	18-32	32-53
Modulus 引張弾性モジュラス kg/mm ²	40-110	200	230-300	900-1300	1400-2800
Impact strength 衝撃強さ kg-cm/cm ²	86	25-40	60-80	50-150	100-200
Specific heat 比熱 Kcal/mH ^o C	0.33	0.3-0.4	0.3	0.33	0.31
Hardness 硬度 ²⁾	D60-70	R75-115	R118	60-70 (バーコル)	
Feature 特徴 ²⁾	耐熱性に乏しい	耐衝撃強度優秀	熱・光に安定、強靱	ガラス繊維のものは強靱	

安全帽の耐候性

Table 2 Major plastics used for safety helmets and its weatherability
安全帽帽体に使用される主なプラスチックの種類の耐候性

		PE	ABS	PC	FRP	Ref
Effect of sun shine 太陽光線の影響		ブラック 必要	微かに黄変 多少脆化	微かに焼ける	なし	2)
Estimated outdoor life 推定寿命		1 year	1.5 ~ 2 year	7 ~ 8 year		3)
Evaluation of weatherability 耐候性の5段階評価		2 4	3 2 3	5 4	5 4	4) 5) 6)
50%性能低下 までの暴露時間 Exposure period in which 50% performance kept	引張強さ tensile strength	> 6 month < 9 month < 1 year	> 6 month < 3 month > 5 year	> 6 month < 18 month		7) 8) 9)
	衝撃力 impact strength	> 6 month < 9 month	> 2 month < 12 month	> 4 month < 9 month		7) 8)
	Exposure p.: 80% tensile strength	6.4 year	8.3 year	(keep 90%)	(強度増加)	10)
	Tensile strength after 5 year expo.				(-9 ~ +15%)	11)

等で研究されてきた。それらを Table 2²⁻¹¹⁾に示す。高分子材料には、熱硬化性のものと熱可塑性のものがあるが、一般に熱硬化性のものは分子構造上耐候性がよい。この表においても、熱硬化性のFRPの寿命はその他の熱可塑性の樹脂に比べて長いことが示されている。また、熱可塑性の樹脂のうちでは、Table 2の第2,3欄を見ると、PCが相対的に寿命が長く、耐候性の5段階評価が5(優秀)という評価がされている。ABSとPEについては、資料によって、ABSは3(普通)で、PEは2(多少劣化しやすい)というものと、ABSは2(悪い)、PEは4(良い)というものがあり食い違いがあるが、いずれにしてもFRPやPCのものより耐候性が劣ると思われる。強度50%を保持する期間が、資料によりかなり差があるが、新しいデータの方が長くなる傾向にある。これは、プラスチック素材の改善を反映したものと思われる。

以上示したように、素材としての耐候性については種々のデータが存在する。しかしながら、素材の寿命と製品の寿命は必ずしも一致しない。その理由の一つに形状の違いがある。暴露試験には、板状の試験片を用いることが多いが、例えばフィルム状の試験片の厚みによって劣化の影響は異なる。それは、薄い試験片では紫外線が透過しやすいので劣化が著しいが、ある程度の厚みのあるものについては、表面のみ劣化して内部の劣化は進みにくいという現象があるからである。表の第4欄の物性値の保持期間には、一部に相矛盾するような結果もあるが、これ

は試験片の形状等の試験条件の差によるものと思われる。

また、高分子材料を用いて製品とする場合には、素材をそのまま使用するのではなく、紫外線劣化を防止するための紫外線吸収剤の添加を行う等の対策も行っている。例えば、カーボンブラック等を添加することで、紫外線の内部への侵入を防げる。この意味で、着色する顔料によっても、寿命はかわる。

また、製品にする場合には成型を行うが、成型技術の善し悪しによっては、成型品にウェルドラインや残留応力等が発生し、成型の容易な単純形状の試験試料と比べると寿命が短くなることもある。

さらに、素材の試験は、引張強度や衝撃強度等の材料的試験であり、これらの数値と安全帽の安全性との関係が必ずしも明らかではない。

これらのことを考慮すると、安全帽のような成型品の耐用年数は、単に素材の強度変化だけからは一概にはいえない。そのため、安全帽の形態の試料についての耐候性の試験を必要とする。

3. 当研究所における安全帽の耐候性に関する研究

昔から安全帽の耐久性、特に太陽光に含まれる紫外線による劣化が問題であり、また、前章で述べたように、安全帽の耐候性を知るためには製品の試験が必要であるので、当研究所においても既に昭和40年代に耐候性に関する研究を行っている^{12,13)}。すなわち、3回にわたって安全帽の暴露試験を行い、その強

Table A-1 Test methods of Related regulations
関連する規格における試験方法

		JIS M7608-1961	構造規格 (1975)	ISO
衝撃試験	要求仕様	総変形量が 40mm 以下	衝撃荷重が 1000kgf 以下 荷重値 750kgf が 3ms 以下 荷重値 500kgf が 4.5ms 以下	500kg 以下
	試験試料	10kg 負荷時に頂部すき間が 45mm となるよう調整した安全帽	前処理 (高温, 低温, および水中に一定時間保っておく) した安全帽	同左
	試験方法	3.6kg の鋼球を 1.5m の高さから試料上に落下させ内装と帽体の変形量を油粘土で測定する	5kg の平板ストライカを 1m の高さから試料上に落下させ人頭模型頸部の荷重計で衝撃波形を測定する	5kg の半球ストライカを 1m の高さから試料上に落下させ人頭模型頸部の荷重計で衝撃波形を測定する または加速度計で衝撃加速度を測定する
貫通試験	要求仕様	帽体のへこみが 15mm 以下	同左	帽体内面が人頭模型に接触しない
	試験試料	帽体のみ	同左	安全帽全体
	試験方法	1.8kg の先端が 60° の円錐形ストライカを 0.6m 落下させ、帽体内面または重り先端が人頭模型に接触したかどうかを調べる	同左	3kg の円錐形重りを 1m の高さから安全帽上人頭模型とストライカが接触しないことを調べる

度低下等を調べたり、何年か現場で使用した安全帽の強度試験等を行っている。それらについて、以下に概要を紹介する。

3.1 安全帽帽体の暴露試験 (昭和 40 年)

3.1.1 暴露試験に用いた試料および暴露方法

当時一般に安全帽の帽体で使用されていたプラスチックは、熱硬化性のフェノール、ポリエステル (FRP)、熱可塑性のポリエチレン (PE)、ABS (アクリル、ニトリル、ブタジエンおよびスチレンの重合体)、ポリカーボネート (PC) である。

このうち、フェノール樹脂はキャンバスを補強材として用いたベークライトとして用いられていたが、現在では安全帽には用いられていない。また、ABS と PC は新品では、ベークライトや FRP となら変わらない強さを有していたが、長期間使用するとこれら熱可塑性の帽体は突然衝撃で破碎したり、ひどい場合はテーブル上から床に落とすだけで大きく割れるなどの事例もあった。この原因としては太陽光線中の紫外線が帽体に作用して劣化するためと考えられていた。

これらの素材を用いた帽体の暴露試験を行った。試

料は各材質の MP 型帽体をあらかじめ頂部より 125 mm の所で水平に切断し、わん状にしたものを、1965 年 5 月より 1 年間、埼玉県にある重松製作所・岩槻工場の屋根上で天日に暴露し、1.5 ~ 3 カ月ごとにつきつぎと取り降ろして次に示す試験を実施した。

3.1.2 評価試験の方法および試験結果

衝撃試験が最も端的に強度を表わすと考えられるので衝撃試験 (落球式) により強度を評価した。試験は、試料上端より 1.3m の高さから鉄ボールを自由落下させ、帽体頂部の下方への変形量を測定する方法によった。そのための試験装置として、直径 300 mm、厚さ 15 mm の鉄板を固定して、その中心に 6 mmφ の穴をあけて、中心の穴を通して測定棒が自由に降下できるようにしたものを用いた。この定盤上に試料をすえ、測定棒を試料の頭頂部の内部に接触させる。この測定棒を油粘土で支え、その降下量を通して、衝撃時の帽体の変形を測定した。

また、試験時の温度が結果に影響することを見越して試料はあらかじめ恒温そう 30°C に 2 時間入れておき取り出して直ちに試験した。

鉄ボールの重さは 3.6 kg または 2.3 kg であり、同径のものを用いた。このうち、3.6 kg のものを落下

安全帽の耐候性

Table 3 Deformation by impact test (1965)
衝撃試験による屋外暴露帽体の変形量 (mm) (昭和 40 年)

Exposure	0 month	3 month	4.5 month	6 month	7.5 month	9 month	10.5 month	12 month
Phenol 1	26 ~ 27	27 ~ 29	27	28	23	26	30	27
FRP 1	20 ~ 22	18 ~ 20	18	22	22	21.5	22	22
PC 1	20	24.5 ~ 25	25	24	24	26	24	破 碎
ABS 1	20 ~ 21	23 ~ 25 ワレあり	20	19 中心に線伏 28 長さのワレ	破 碎	破 碎	27 コに 破 碎	25 コに 破 碎
PE 1	31 ~ 33	30 ~ 31 キレツ発生	38 キレツ発生	陥没して 80φの穴があく	陥没して 85φの穴があく	破 碎	破 碎	破 碎

Table 4 Deformation by impact test (1966)
衝撃試験による屋外暴露帽体の変形量 (mm) (昭和 41 年)

Exposure peri.	0 month	2 month	4 month	6 month	8 month	10 month	12 month
Phenol 2	29	32	32	28	30	30	31
FRP 2	18	18	20	19	17	18	18.5
PC S2	23	-	-	24.5	25	25	破 碎
PC P2	21	-	21	21	21	22	破 碎
ABS T2	17	20	19, ヘアクラック	18, ヘアクラック	18, ヘアクラック	20, ヘアクラック	破 碎
ABS K2	24.5	25	25	26	25	25	破 碎
PE 2	30	28	破 碎	破 碎	破 碎	破 碎	破 碎

Table 5 Deformation by impact test (1968)
衝撃試験による屋外暴露帽体の変形量 (mm) (昭和 43 年)

Exposure period	0 month	4 month	6 month	8 month	10 month	12 month	14 month
PC S3	19	19.5	19	19	18	破 碎	破 碎
PC P3	21.5	22	24	21	20	21	20
ABS T3	18.5	破 碎	破 碎	破 碎	破 碎	破 碎	破 碎
ABS K3	25	22	-	-	-	21.5	25

させた場合の結果を Table 3 に示す。

なお、JIS M7608-1961 保安帽 (Table A-1 参照) の衝撃試験方法によれば、安全帽全体を人頭模型にかぶせて、その上に、3.6 kg の鉄ボールを 1.5m の高さから落下させたときの着装体の伸びと帽体の変形量の合計を測定し、それが 40 mm 以下であることを要求している。これに比較して、落下高さが 1.3m と多少低くなっているといえども、着装体なしで衝撃を加えているため、本衝撃試験はかなり過酷であると思われる。

以上の衝撃試験のほか、静的な圧縮試験を行った。静荷重による圧縮試験では、試料は衝撃試験に使用したものと同一形状に加工し、JIS M 7608-1961 による衝撃試験に使用する鋼球 48 mmR, 3.6 kg を帽体頂部に静かに当て、400 kg アムスラ型試験機により 10 ~ 250 kg の荷重における変形量を測定し、クラック等の発生状況を観察した。加圧力 50 kgf ごとの変位を Table 6 に示す。

また、デュロメータによる帽体の硬度の測定等を行った。この結果を Table 9 に示す。

Table 6 Deformation in compression test (1965)
圧縮試験における変形量 (%) の変化 (昭和 40 年)

Sample	Load [kgf]	0 month	3 month	6 month	7.5 month	9 month	10.5 month	12 month
Phenol 1	50	2.4		1.2	1.6	0.8	1.3	2
	100	10.4		8.9	9.5	4		8.9
	150	18.3		14.4	21	13.5	15	20
	200	26.4		21.6	31	21.6	29	27
	250			30				
FRP 1	50	0.8			0.8	0.8	0.8	
	100	1.6		0.8	1.6	1.6	1.2	0.8
	150	2		1.6	2.4	3.2	1.6	1.5
	200	4		4	3	4.8	2.2	2.8
	250				5			4
PC 1	50	2	2	0.8	1.3	2	1.3	1.2
	100	4	3.5	3.5	3	4	3	2
	150	9	6	6	7	7	7	3.6
	200	14	12	11	12	13	13	9.2
	250	19 (240kgf)	22	22	22	21 (240kgf)	22 (240kgf)	15 (222kgf)
ABS 1	50	3	1.5	0.8	1.5	1.5	0.8	0.8
	100	4	4	1.6	2.5	3	1.5	2.4
	150	6	6	3	4	5.5	3.5	4.8
	200	14	12	6	crack (140kgf)	9.5	10	crack (160kgf)
	250	23	22	16				
PE 1	50	11.2	6.4	3.6	3.2	2.4	3.2	4.8
	100	22.5	17.5	17.5	16.7	22	16.7	19.2
	150	51	33	32	31			
	200	60	46	42 (180kgf)	35 (160kgf)			

3.2 安全帽帽体の暴露試験 (昭和 41 年)

3.2.1 試験方法の変更点

前年の暴露試験で、ABS、PE、PC の材質を用いた帽体はある期間を経過すれば老化することが明らかになった。しかし、この試験結果が直ちに着用時の老化の時期を示すわけではなく、また塗装等により劣化を防げるかどうかも研究する必要があり、新しい試料について暴露試験による耐候性の研究を継続した。

第 2 回目の試験では、125 個の安全帽帽体を 1966 年 7 月 5 日から 1 年間 1 回目と同じ場所で自然暴露した。この回より屋上の暴露台に近接して紫外線の積算照度計を設置し、受光量の測定を行った。暴露した試料は 2 ヶ月経過ごとにつきつぎと取り降ろして試験に供した。

第 2 回目からの衝撃試験は JIS に規定されている帽体に装着体をつけて衝撃試験を行った場合の変形と

同程度のものとなるよう、2.3 kg の鉄ボールを 1.3m 落下させる方法のみを行なうこととし、補助的に圧縮試験と硬さ試験を行なった。

また、第 1 回目の試験においてはショアデュロメータにより硬さ測定したものを、第 2 回目よりバーコル硬さ試験に変更し、硬さの正確な測定を期した。

3.2.2 各材質ごとの試験結果

衝撃試験の結果を Table 4 に、圧縮試験の結果を Table 7 に、硬さ試験の結果を Table 10 に示す。

FRP の試料については、衝撃試験と圧縮試験のいずれにおいても強度の変化は認められないが、試料の表面は暴露の経過とともに著しく退色し、ガラス繊維が表面に露出してきた。

フェノール (ペークライト) の試料についても、FRP と同じく衝撃試験の結果から暴露による影響は確認できない。硬さは、FRP と同じく次第に硬化した。

PC の試料は 6 ~ 10 ヶ月暴露したものは試験により明確な変化が認められず、キズ、ワレ等の概観上

安全帽の耐候性

Table 7 Deformation in compression test (1966)
圧縮試験における変形量 (%) の変化 (昭和 41 年)

Sample	Load [kgf]	0 month	2 month	4 month	6 month	8 month	10 month	12 month
Phenol 2	50	4	1.6	2.4	1.6	2.2	2	2.3
	100	12.8	9.6	10.8	10.4	11.2	10	10.5
	150	22.4	19.2	19.2	21.4	21	21.2	21
	200		28 (180kgf)	20 (170kgf)	29 (155kgf)	33 (180kgf)	28.8 (170kgf)	29 (170kgf)
FRP 2	50	0.8	0.8	0.4	0.6	1.4	0.6	0.6
	100	1.6	2	1.6	1.4	2.1	1.4	1.4
	150	3.6	3.2	2.8	3.2	3.5	2.6	2.8
	200	7.2	8.8	5.7	7.4	8	6.2	6.0
	250	12.8		12.8 (240kgf)	14.4 (240kgf)	11.8 (210kgf)	14.8	14
PC S2	50	0.8			1.4	0.8	0.9	1.2
	100	1.6			2.6	2.2	2	2
	150	3.2			4	4	4	3.6
	200	5.6			7.5	7.6	6.5	9.2
	250	12.8			15.6	16.8	15	15
PC P2	50	0.8		1.3	1	1	1.6	1.3
	100	2.4		3.2	3.6	3.7	3.2	3.5
	150	8.4		6.7	7.2	7.2	7.6	7
	200	14		12.2	13.3	13.3	12.6	12
	250	23.6		28.6	19	23	22.9	24.5
ABS T2	50	0.4	0.8	0.8	0.8	1.35	1.6	0.8
	100	0.8	2	2.3	1.35	2	2.4	2.3
	150	1.6	2.4	3	2.6	2.7	3.6	3
	200	2.4	3.2	4	2.9	3.5	4.8	3.5
	250	7	6.4	6.8 (230kgf)	5.2 (243kgf)	5.4 (230kgf)	7.6 (225kgf)	5.6 (222kgf)
ABS K2	50	1.6	2.4	1.75	2			
	100	6.4	6.4	4.6	4.8			
	150	15	17	13.6	14			
	200	20	20	18	17.5			
	250	25	24	23.5	22.4			
PE 2	50	3.2	4.8	2.4	2.4	3.6	4	4.8
	100	12.8	15.2	11.2	14.4	14.7	15.2	17.2
	150	23.2	24	20.8	24.8	24.8	21.5	(90kgf)
	200	37	39	27.2			(110kgf)	
	250							

の異状もなく退色も認められないが、12ヵ月暴露の試料は衝撃試験で破砕した。

ABS の試料については、比較的機械的強度の高い試料 T と、やや軟い材質の試料 K の 2 種類について試験を実施した。

2ヵ月暴露の試料 T について電気恒温乾燥炉により 30°C で 2 時間処理した後の衝撃試験では、変形量が未暴露の試料より 3 mm の増加を示したにすぎないが、温度処理しないものは室温 18°C による衝撃試

験で完全に破砕した。4ヵ月以降 10ヵ月暴露の試料について温度処理したものは衝撃試験で破砕しないが、衝撃点の周囲に細いクラックが生じ、帽体内面に達する 1 ~ 2 条の不規則なクラックが認められた。

ABS の K 種については衝撃試験の結果は未暴露の試料に比較して 2ヵ月の試料が 0.5 ~ 1.5 mm 程度の変形量の増加をみただけで亀裂などの異常は認められない。逆に硬さは暴露の経過とともに増加する傾向にある。

Table 8 Deformation in compression test (1968)
圧縮試験における変形量 (%) の変化 (昭和 43 年)

Sample	Load [kgf]	0 month	4 month	6 month	8 month	10 month	12 month	14 month
PC S3	50	0.5	1	1	1.5	1	1	0.5
	100	1.5	3	2	2	2.5	2	1
	150	2.5	6	3.5	3	3	3	2.5
	200	4.5	10	5.5	4	6	5	3.5
	250	10.5	19	13	11	12	11	9.5
PC P3	50	1	1	1	1	1.5	1	1
	100	2	3	3	3	4	3	3
	150	6.5	6	6	6.5	7	6	5
	200	11	10	10	11	12	10.5	9
	250	19	18.5	15	19	21	20	16
ABS T3	50	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5	1	
	100	1	0.5	0.5	0.5	1.5	2	
	150	1.5	1	1	1.3	2.0	3	
	200	2	2	2	1.8	2.5	4	
	250	5.5	5.5	5	5	5	6.5	
ABS K3	50	1.5	1.5				1	
	100	5	6				5.5	
	150	12	12				10	
	200	16	16				16	
	250	20	19				20	

PE は、第 1 回目の暴露試料は衝撃試験において、6 ヶ月経過のものから破砕したり、陥没したりしたが、第 2 回目の実験では 4 ヶ月のもので破砕している。特別な変化は 4 ヶ月までで著しい退色を示したことで、4 ヶ月を過ぎてもそれ異常退色しないことである。

3.3 安全帽帽体の暴露試験 (昭和 43 年)

1968 年 12 月から約 1 年間にわたって、PC の安全帽を 2 種類、ABS のものを 2 種類について暴露試験を行った。ここで、前 2 回の試験結果から熱硬化性樹脂の安全帽については強度の低下が見られなかったため、今回の実験では除外した。また、熱可塑性樹脂のうち、PE については、第 1 回目では 7.5 ヶ月、2 回目では 4 ヶ月で劣化が確認され、また機械的強度にも問題があったので、除外した。暴露した試料を 2 ヶ月ごとに取り降ろし、第 2 回目のときと同じく衝撃試験、圧縮試験、硬度測定、退色の測定を行った。

衝撃試験結果を Table 5 に、圧縮試験の結果を Table 8 に、硬度測定の結果を Table 10 に示す。

ABS のうちで試料 ABS-T は、前回の試験ではヘアクラックが発生したものの破砕はしなかったが、今回の試験では暴露期間が 4 ヶ月以上になると衝撃試験

で破砕が見られた。試料 ABS-S では暴露により細かいクラックが発生したが、1 年暴露したのもでも変形量は減少したが割れは生じなかった。

PC のうちで試料 PC-S のものでは前回同様、暴露 1 年目で衝撃試験の結果割れを生じた。しかし、試料 PC-P のものは前回は試験によってくもり模様を生じたが、今回は 1 年たっても割れを生じなかった。

3.4 3 回の暴露試験のまとめ

使用した試料は普通の市販されているものを用いたため、各回で試料の性質が違うものもあるが、熱可塑性樹脂の PE, ABS, PC は暴露により劣化することが明らかとなった。特に、PE のものは、1 回目では 6 ヶ月、2 回目では 4 ヶ月で劣化の影響が現れた。

PE の帽体は絶縁性良好であるため、当時電気用安全帽としてかなり広範囲に使用されていたが、機械的性能や耐候性等の観点から逐次使用量も減少の傾向にあった。また、ABS 樹脂によるものも耐候性の観点から徐々に PC のものに置き換えられつつあった。PC は PE, ABS のものに比べると少ないが、1 年以上経過した場合には劣化の影響が避けられないことが確認された。

安全帽の耐候性

Table 9 Durometer hardness of shell (1965)
屋外暴露帽体のデュロメータ硬さ (昭和 40 年)

Exposure	0 month	3 month	4.5 month	6 month	7.5 month	9 month	10.5 month	12 month
Phenol 1	73	72	72	72	72	74	70	77
FRP 1	86	89	87	87.5	86	85	83	87
PC 1	70.5	78	71	78	79	74	70	73
ABS 1	71	70	70	73	75	76.5	74	74
PE 1	51	53	54	54	54	57	55.5	55

Table 10 Barcol hardness of shell (1986, 1988)
暴露した帽体のバーコル硬さ (昭和 41 年, 43 年)

Exposure pr.	0 month	2 month	4 month	6 month	8 month	10 month	12 month	14 month
Phenol 2	83	83.4	87	92.4	93.6	95.4	95	
FRP 2	88	88	90	92.4	93.6	95.4	95	
PC S2	71			71.6	76	76.8	76.8	
PC P2	71.8		75.6	72.2	75.8	77	77	
PC S3	71.5		76.5	76.6	75.4	76	79	79
PC P3	71.8		77	77	76	76.6	77	78
ABS T2	61.4	67.8	70.6	71.4	71.2	70.4	71.4	
ABS K2	52	63.4	65	65.5	65.8	64.7		
ABS T3	61.4		69.8	71.6	71.2		73.1	
ABS K3	52		63				67	
PE 2	34	36.4	39.6	35.8	38.8	41	38.5	

3.5 現場において使用した安全帽の性能劣化

FRP, フェノール, PC の安全帽について, 金属鉱山, 化学工場, 電気工事業, 湾岸荷役業などで使用したものを合計 171 個集めて性能試験を行った。JIS M 7608-1961 による衝撃試験, 強さ試験の他に圧縮試験, バーコル硬さ試験等を行った。ただし, 衝撃試験においては装着体は新品のものと交換して行った。

3.5.1 FRP

金属鉱山で使用した帽体は, 坑内の天盤が低いいためか, 帽体表面にかなりの引きかき傷が, 認められたが, 5 ~ 8 年 11 ヶ月も使用した帽体であっても, 衝撃試験と帽体の強さ試験による異状は認められなかった。

化学工場, とくに酸類を取り扱う職種で使用した帽体は, 表面の樹脂が侵され, ガラス繊維が帽体の表面に露出しており, また帽体のふち割れが認めら

れた。2 ~ 5 年間使用した帽体では, 衝撃試験の結果, 帽体の下端に生じたふち割れが装着体を取り付ける孔まで達している場合は, 帽体の強度低下が認められる。

湾岸荷役業で使用した帽体については, 沿岸荷役のかなり過酷な条件で 3 ~ 5 年使用したもので, かつ帽体側面に, 近接 (間隔 45 mm) した 2 個の通気孔, 径 9 mm があけられており, 孔の間隔は狭すぎるし, 径も大き過ぎたが, 帽体の全般的破損が著しくても, 帽体頂部が割れているか, 帽体のふち割れが装着体の取付け孔まで達していないものは, 帽体の強度低下はそれほど認められない。

3.5.2 フェノール (ペークライト)

金属鉱山, 湾岸荷役業, 火力発電所の保守に使われた帽体は, フェノール樹脂を浸透させたカンバスの補強材の効果により, 長期間の使用による材質的欠陥は確認するにいたっていないが, この種の帽体は

Table 11 Characteristics of test pieces and results of official test
試験に使用した安全帽の特性と構造規格の試験成績

Sample	Shape	Clear- ance	Weight [g]	Shell color	Shell material	Hammock material	Impact load [kgf]			Penetration depth [mm]
							hot	cold	wet	
ABS	MP 型	41	350	White	ABS	PE	260	460	300	4.5
PE 1	MP 型	44	365	White	PE	PE	260	470	320	5
PE 2	野球帽型	35	365	Yellow	PE	PE	720	500	370	6.5

すべて成型加工の後に塗装によって着色されており、長期間の使用のうちに、どうしても塗装のはく落はさけられず、塗料のはく落した帽体表面を打ったり、こすったりした場合に、補強材のキャンバスの織目がすり切れて、その部分から水分を吸湿しやすくなり、性能低下の結果となると思われる。

しかしフェノール帽体はFRPと異なり、帽体のふち割れ、切り欠きなどの概観上の損傷は少ないが、新品当初から衝撃試験による変形量の大きいことは見逃せない。しかし7年使用した帽体で、塗装のはげていないものは、性能に異状を認められない帽体もあった。

3.5.3 ポリカーボネート

1年6ヵ月～3年間、電気工事に使用した帽体について述べたが、3年近く使用した帽体の外表面には、著しく多くの傷を生じており、屋外作業をもっぱら行なう職場での使用の結果であり、傷の発生の状態は、帽体の頂部を中心とし、半径30～60mmの範囲に、こまかい無数の凹凸があり、コンクリートまたは小石などを食い込ませたような粒状の傷が確認された。

ポリカーボネートなどの熱可塑性樹脂は、従来から太陽光線中の紫外線による耐候性劣化、または成型条件の不均一、あるいは耐薬品性の良くないことが問題ではあるが、耐電性が良いので、電気安全帽に使用されている。これらの問題のうち耐候性については帽体を屋外自然暴露により1～1年4ヵ月で劣化することを確認している。

しかし屋外作業で使用しても、帽体が紫外線により劣化するまでには、自然暴露の倍以上の期間、すなわち2～3年かかるものと考えられる。その間の自然損耗なしに無傷に保つことは不可能であるので、帽体の経時劣化の要因は主として使用中の傷と紫外線劣化との複合した強度低下、さらに成型時の残留歪による材質的欠陥によると思われる。

現場での使用条件と着用者個人の日常の取り扱いにも大いに関係があるが、3年使用した40個について、調べた結果では、その70%程度が衝撃試験により、新品当初に推定される性能を保持していなかったことを確認した。

石油化学工場で1年6ヵ月～5年8ヵ月使用した試料については、主として屋内作業であり、紫外線による劣化の影響は無視できるが、有機溶剤を取り扱う現場で使用しており、溶剤の飛まつを受けた帽体は衝撃試験の結果、1年6ヵ月と1年8ヵ月使用したものに早くも異状が認められ、3～4年を経過した試料の多くは、衝撃試験による帽体の変形量の減少が認められ、装着体を取り付けるブラケットの破損も増加する傾向が見られた。

4. 研究方法

4.1 暴露試験

既に当研究所において安全帽の暴露試験を行っているが、プラスチック素材の性能向上、成形技術の進歩によって安全帽の耐候性が向上していることや、安全帽の試験方法が落球・変形測定式から平板・荷重計測式へ変更されたことなどにより、これらのデータがそのまま使用できるわけではない。そのため、改めて自然暴露による耐候性試験を行った。

暴露試験に用いた安全帽の材質等はTable 11に示す。表に示すように、帽体の材質はABSのものとPEのものを用いた。これらの耐候性は、前述したように相対的に低い。一方、FRPやPCは、耐候性が優れているため、ABSやPEが劣化してもこれらは劣化しないと考えられる。研究期間が限られているため、今回は、2～3年で劣化が見られると思われるABSやPEの安全帽を対象にした。

暴露は、産業安全研究所清瀬実験場（東京都清瀬

安全帽の耐候性

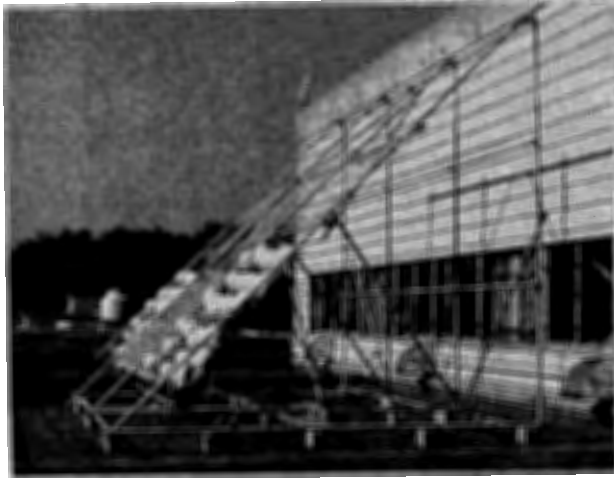


Photo 1 Weathering of safety helmets
暴露試験の状況

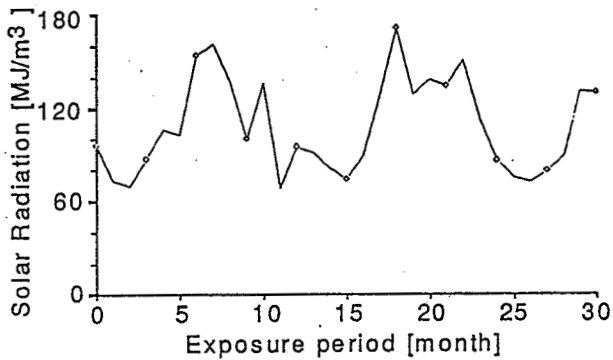


Fig. 1 Mean of global solar radiation in Tokyo
暴露期間中の東京の日射量 (気象庁調べ)

市) のシステム実験棟の屋上で、1987年10月より、1990年4月までの2年6ヵ月間行った。暴露の状況を Photo 1 に示す。写真に見られるように、南向きのフレームにネットを張り、あごひも、ヘッドバンドでネットに安全帽を固定した。JIS の規定による標準的な暴露期間は0,2,4,6,9,12,18,24ヵ月であるが、今回の研究では、これとは異なり0,12,15,18,21,24,27,30ヵ月とした。これは、1年程度では劣化しないものと想定し、劣化の現れることが期待される期間を、細かく試験するためである。

暴露試験において、日射量が劣化に大きな影響を持つが、この期間の東京における日射の状況を Fig. 1 に示す。

1種類の安全帽については、次節に示す8種類の試験を行った。そのために、5個の安全帽を使用した。従って、1種類当り40個の安全帽を使用した。その

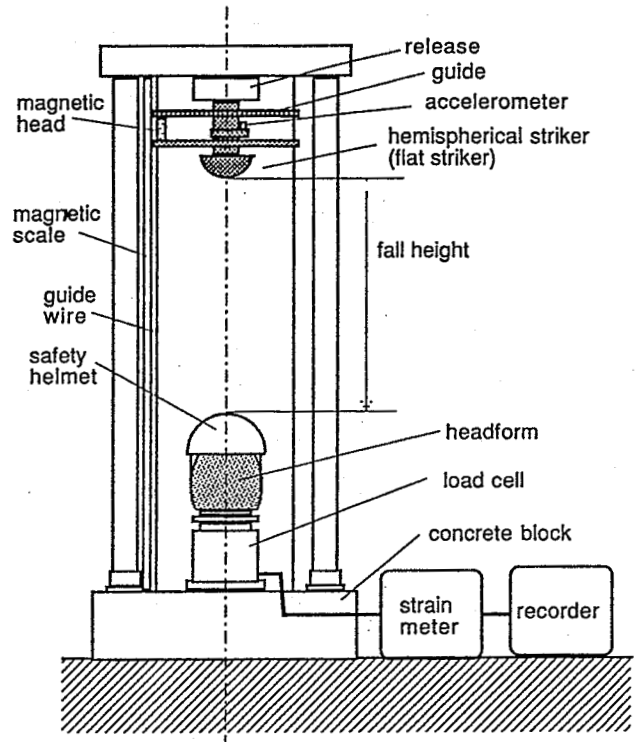


Fig. 2 Shock absorption test apparatus
落下試験装置

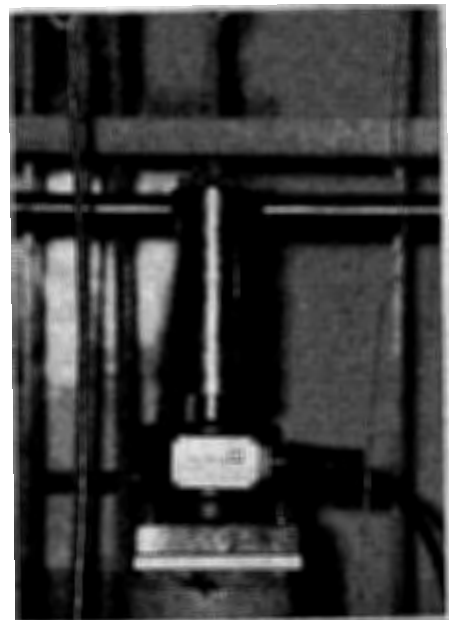


Photo 2 Penetration test assembly
貫通試験用治具

うち新品状態で試験した5個を除く35個の安全帽を暴露した。

Table 12 Test items and comment on test methods
試験項目及び試験方法の概要

abbr	Test 試験名	Samples	Measure items/Test method 測定項目/試験方法	Ref.
flat hemi low ham	Shock absorption test 1. test of helmet (1) flat striker	whole 1	impact load, acceleration, striker position /flat striker, normal temperature	4.3.1
	(2) hemispherical s.	whole 1	/hemispherical striker, normal temperature	
	(3) low temperature	whole 2	/flat striker, low temperature	
	2. test of hammock	hammock 4	/flat striker, hammock with iron shell	4.3.2
pis f06 f03 f12 pip	Penetration test 3. test of helmet	whole 3	penetration /3.0kg cone striker, fall 1m	4.3.3
	4. test of shell	shell 4	penetration, impact load, acceleration, position	4.3.4
	(1) fall height 0.6m		/1.8kg cone striker, fall 0.6m	
	(2) fall height 0.3m		/1.8kg cone striker, fall 0.3m	
	(3) fall height 1.2m		/1.8kg cone striker, fall 1.2m	
	(4) pipe striker		/1.8kg pipe striker fall 0.6m	
ps htn	Material test 5. Static penetration	shell 5	load, deformation	4.3.5
	6. Tensile test	hammock 5	load, deformation	4.3.6
shd hmd col	7. D hardness test			4.3.7
	(1) test of shell	shell 4	D hardness	
	(2) test of hammock	hammock 5	D hardness	
	8. Shell color test	shell 4	color, reflection right intensity	

4.2 試験装置

4.2.1 落下衝撃試験装置

試験は、規格に定められている試験方法に準じた方法で行った。この研究を始めた時点では、労働省の構造規格¹⁴⁾と ISO の試験基準¹⁵⁾は異なっていたが、構造規格を ISO 規格に整合させようという動きがあったため、両者の方法で行った（現在では、ISO の試験基準に準拠するように改正された構造規格が施行されている。以下では、それぞれ旧規格、新規格と呼ぶ。この両者の主要な違いは、Table A-1 を参照されたい。なお、墜落防護用安全帽については、ISO 規格に規定がないため、従来通りの試験方法と試験基準を用いている。）

これらの規格で、安全帽の性能試験として主要なものは、衝撃吸収試験と貫通試験である。これらの試験を行うために通常は別の試験機を使用している。しかし、いずれの試験も、一定の人頭模型ないし人頭に相当する試験治具に安全帽をかぶせ、その上に一定の形状・重量のストライカを自由落下させるという点で共通する部分も多い。そのため、衝撃試験装置で研究用にストライカと人頭模型が交換可能な構造のものを汎用の落下衝撃試験機として用い、旧規格および新規格の衝撃吸収試験のほか、貫通試験

用試験治具とストライカを取り付けることで旧規格の貫通試験も行った。この落下衝撃試験機の新規格の衝撃吸収試験時の構成を Fig. 2 に示す。また、新たに製作した貫通試験用治具を Photo 2 に示す。

構造規格あるいは ISO 規格等の規格の試験では、人頭模型の下に設置した荷重計で、荷重値を計測する、あるいは、貫通深さを測定すれば良いのであるが、その他に研究用に加速度およびストライカ位置の測定を行う設備を付加してある。試験機を共通化した目的は、これらの付帯的測定項目の測定システム開発の手間を省くためである。

加速度の測定は、ストライカに取り付けたピエゾ式加速度計を用いて行った。センサとアンプの接続は有線で行っているが、落下衝撃時にケーブルが揺れるためノイズが混入する場合があった。

ストライカ位置の測定は、磁気スケールによった。すなわち、ストライカの落下ガイドに磁気スケールの読取りヘッドを取付け、また支柱に磁気スケールを取付けて測定した。

測定装置がストライカの自由落下の妨げにならないように非接触で位置計測できること、試験装置のガイド機構は摩擦を避けるためガタがあり落下ガイドと支柱間距離が変動するが、それに対応できるように位置決め条件が緩いこと、また、1m 落下時に

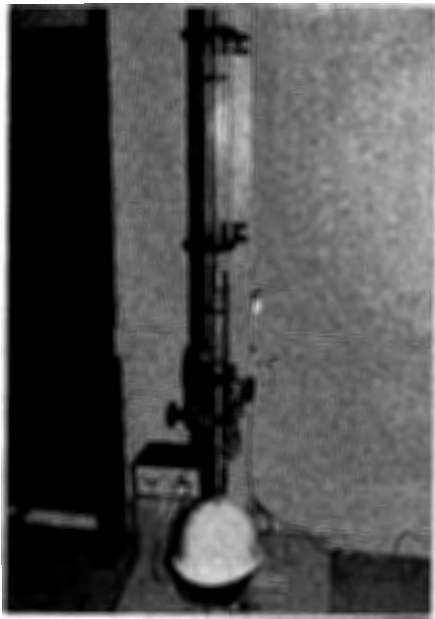


Photo 3 Penetration test machine of ISO type
ISO 式貫通試験機

衝突時速度が 4.4m/sec と速い移動速度になるが、これに対応できること、等の条件を満たすものとしてこれを選んだ。今回用いた磁気スケールの仕様は、クリアランスが 7 ± 2 mm, 応答速度が 50m/sec, 分解能が 0.5 mm である。

ストライカ位置測定の目的は、衝撃時の帽体の沈み量の測定と、ストライカの跳ね返りの測定である。しかし、跳ね返り時には、ガイドとの接触があり、必ずしも一定姿勢で動かないため、ミスカウントを生じ、測定はうまくいかなかった。

4.2.2 ISO 式貫通試験装置

ISO 方式の貫通試験は、帽体貫通によるストライカと人頭模型頭頂部の接触を電氣的導通により検出する方式であるが、試験装置を共用する場合には、ストライカを電氣的に接続する手段が既存の測定システムと干渉すると思われたので、試験装置の共用は行わなかった。そのため、Photo 3 に示す専用の試験装置を使用した。

4.3 試験項目と試験方法

試験は、新旧の構造規格による衝撃吸収試験、貫通試験に準じる試験、および落下高さ等の条件を変えた試験を行った。また、規格に定める試験だけでなく、材料試験的な試験も行った。

Table 12 に行った試験の項目と使用した試料およ

び試験の概要を示す。また以下に、行った試験の具体的内容を示す。

4.3.1 完成品の衝撃吸収試験

旧規格または新規格に準拠した試験であり、それぞれ、質量 5 kg の平面ストライカまたは半球形ストライカ（半径 48 mm）を用いて、安全帽に落下衝撃を加えて緩衝性を評価する。試験の手順は、荷重計の上に取り付けた人頭模型に安全帽をかぶせ、ストライカを 1m の高さから落下させる。その際の衝撃荷重と荷重持続時間を測定し、一定値以下であるかどうかで合否を判定する。基準値は、旧規格では 1000 kgf, 新規格では 5 kN (500 kgf) である。

構造規格では、高温処理、低温処理または浸水処理のいずれかの前処理を行ったものについて衝撃吸収試験を行う。しかし、本研究では、種々の試験を少ない試料で行うために、前処理を省略した。すなわち、常温で一つの試料について平面ストライカによる衝撃吸収試験を行い、次に半球ストライカによる衝撃吸収試験を行った。

試験基準に定められている衝撃吸収荷重の他に、加速度とストライカの位置の測定を行った。

なお、新規格の半球形ストライカを用いる場合、帽体の変形量が大きくなるが、試料 PE2 は、野球帽型であり頭頂部すきまが小さいため、新品であっても、衝撃時帽体内面がグミーヘッド頭頂部に接触し緩衝性を示さない。そのため、暴露したものの半球形ストライカによる衝撃吸収試験は行わなかった。

構造規格による試験の外に、劣化の影響をより明確に見るために、多少試験条件を厳しくした試験も行った。すなわち、劣化によって帽体は脆化すると考えられるが、低温においては脆化が現れ易いので、 -20 度の状態に 2 時間以上静置するという前処理の後に、平面ストライカによる衝撃吸収試験を行った。この -20 度という温度は、ISO 規格による耐寒性を持つ安全帽に対する前処理におけるものであり、一般の安全帽の低温処理における -10 度より厳しくなっている。

4.3.2 着装体の衝撃吸収試験

衝撃吸収は、主に装着体によって行なっていると考えられるが、この装着体の劣化を調べるために装着体の衝撃吸収試験を行った。すなわち、元の帽体の替りに、鉄製の帽体に装着体を取り付け、前述の試験と同様の試験を行った。鉄製帽体は、軍用ヘルメットを加工したものをを用いた。帽体への装着体の取付

け方法は、試料 ABS、試料 PE1 では断面形状が T 字型のピンであり、試料 PE2 では断面が「 Γ 」型のアーチである。試料 ABS と PE1 では、ハンモックの本数は同一であり、その取付け位置が多少異なるのみであるので、鉄製帽体のピン位置を両者の中間とし、両方に兼用した。試料 PE2 は取付け方法が異なるので同一の帽体を使用できず、ピン用とアーチ用の 2 つの帽体を用意した。なお、帽体質量は、各 1.18 kg、1.1 kg であり、プラスチック帽体の 4～5 倍である。

4.3.3 完成品の貫通試験

新規格（ISO 準拠）に規定されている試験であり、円錐型の先端を持つ質量 3 kg のストライカを 1m の高さより落下したとき、安全帽を貫通するか否かの判定を行う。頭頂部に電極を設けた人頭模型に、安全帽をかぶせ、ストライカを落下させ、ストライカと人頭模型が接触するかどうかを電氣的導通により測定する。

なお、試料 PE2 は、野球帽型であり頭頂部すきまが小さいため、新品の試料においても帽体内面がダミーヘッド頭頂部に接触するため、暴露したものの試験は行わなかった。

4.3.4 帽体の貫通試験

旧規格に規定されている試験であり、円錐型の先端を持つ質量 1.8 kg のストライカを落下したとき、安全帽を貫通するか否かの判定を行う。円錐状の頂部リングを持つ耐貫通試験用治具に、安全帽帽体をかぶせ、ストライカを 0.6m の高さより落下させ、ストライカ先端または帽体の内側が頂部リング上端より 10 mm 以上下がることを以て貫通と定義する。貫通したか否かは、試験治具頭部においた油粘土についての痕跡で判定する。

本研究では、落下試験装置と耐貫通試験用治具の上部と同一の形状を持つ治具（Photo 2 参照）、および貫通試験用のストライカを用いてこの試験を行った。これにより、単に貫通の有無のみではなく、衝撃吸収試験と同様に、衝撃荷重値、衝撃加速度、衝撃時の変位の測定も併せて行った。なお、貫通の有無（降下量）は、規格通りに油粘土を用いて調べた。

また、規格による試験の外に、ストライカの落下高さを規格の半分および倍にした試験も行った。

さらに、ストライカとして、円錐形のもののみではなく、パイプ形（直径 25 mm、肉厚 2.5 mm）のものについても同様の試験を行った。これは、以前



Photo 4 Change of appearance by exposure: ABS
暴露による外観の変化（試料 ABS）

飛来事故の被災者が使用していたものと同種の安全帽について試験を行ったとき、パイプ形の落下物によって帽体が貫通したことがあったため、劣化によって同様の現象が見られるのではないかと期待したためである。

これらの付加的試験は同一の試料を用いて行った。その際に、打撃箇所が同一にならないように、安全帽を傾けて人頭模型に取り付けた。

4.3.5 帽体の静的貫通試験

安全帽帽体を耐貫通試験用治具にかぶせ、帽体の貫通試験で用いたストライカの先端部（円錐形、パイプ形）を用いて、圧縮試験機（テンシロン）で加圧して荷重と変位を測定した。円錐形ストライカを用いた場合には、20 mm 貫通するまで加圧し、パイプ形ストライカの場合には、円を打ち抜くまで加圧した。なお、加圧速度は 50 mm/min とした。この試験においても、試料は 1 つであるので、安全帽を傾け加圧位置が同一にならないようにした。

4.3.6 着装体の引張強度試験

着装体の後部より、ハンモックの一本を切り出し、引張試験機（テンシロン）で引張強度試験を行った。引張速度は、最大速度の 500 mm/min とした。これは材料的な強度低下をみるためのものである。

4.3.7 帽体および着装体の D 硬度の変化

ゴム硬度計（デュロメータ）で帽体表面の硬度を測定した。標準的な測定では、試料は平行平板の形状のものを用いるのであるが、ここでは、帽体をそのまま用いた。測定手順は、鋼製の半球（半径 48 mm）

安全帽の耐候性

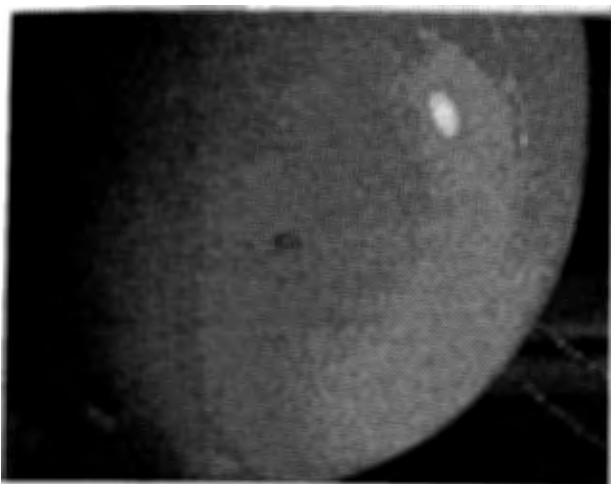


Photo 5 Minor crack by exposure: PE2
暴露によって発生した小亀裂 (試料 PE2)



Photo 7 A case of pin and shell failure by shock absorption test (-20°C)
衝撃吸収試験 (-20°C) で帽体のピンが欠けた例

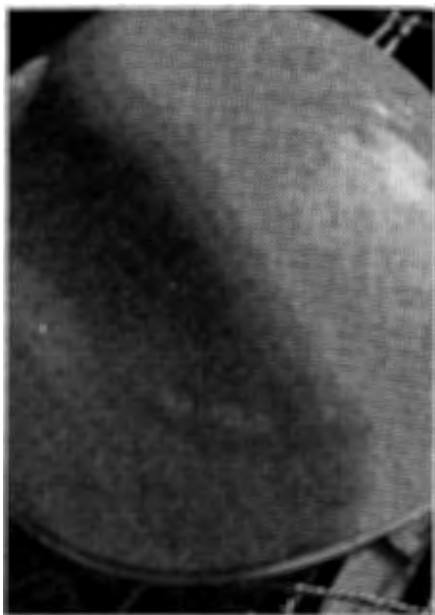


Photo 6 Line by exposure: PE2
暴露によって現れた筋 (試料 PE2)



Photo 8 A case of hammock failure by shock absorption test (-20°C)
衝撃吸収試験 (-20°C) で着装体が破断した例

の上に帽体をかぶせ、ガイドに沿って硬度計と錘を降下させ、錘の加圧力で押針を帽体に押しつけ硬度を読み取った。これを5回繰り返し平均をとった。

また、同様にゴム硬度計でハンモック表面の硬度を測定した。鋼製の平板上にハンモックを置き、ハンモックの頭頂部周辺を加圧し、ハンモックのD硬度を測定した。この場合も5回測定し平均をとった。

また、同様にゴム硬度計でハンモック表面の硬度を測定した。鋼製の平板上にハンモックを置き、ハ

ンモックの頭頂部周辺を加圧し、ハンモックのD硬度を測定した。この場合も5回測定し平均をとった。

4.3.8 帽体の変色の測定

後述するように暴露によって帽体がかすんで白色から灰色に変化し、また一部黄変も見られたのでこれを評価するため、色の測定を行った。測定は、3原色に対応する3つの光センサを持つ色彩輝度計(トプコンBM-7)を用いた。これによって、色度座標 x, y と輝度 L を測定した。輝度 L は、照明光の反射光量であり、照明によって替わるため、測定は、外部の光を遮断した部屋で一定の照明(蛍光灯+白熱燈)下で帽体も同じ配置になるようにして行った。

Table 13 Damages by shock absorption tests and judgements
衝撃吸収試験による試料の損傷状態と判定

Exposure period [month] 暴露期間 [月]	Sample ABS				Sample PE 1				Sample PE 2			
	flat 平面 ストライカ	hemi 半球 ストライカ	low 低温	ham 着 装 体	flat 平面 ストライカ	hemi 半球 ストライカ	low 低温	ham 着 装 体	flat 平面 ストライカ	hemi 半球 ストライカ	low 低温	ham 着 装 体
0												
12												
15												
18	P'											
21		×								×		
24		×										
27	P	×										
30		×										

P: Break of shell, 帽体のピン結合部が破断, P': Break of pin, ピンが欠ける
N: Break of hammock, 着装体破断, ×: failure, 不合格, -: No test, 試験を行わなかった

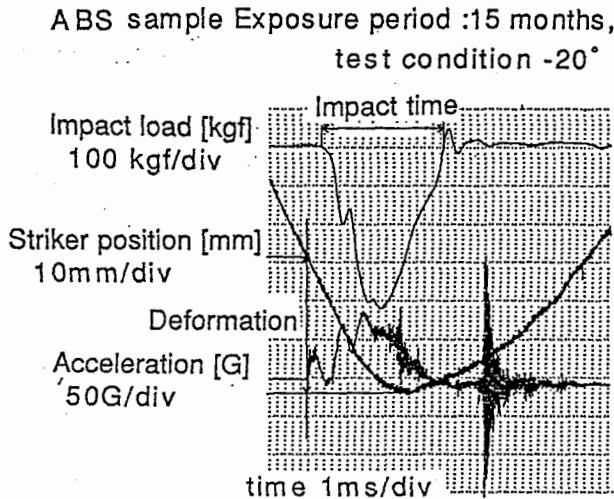


Fig. 3 Shock absorption test data and characteristic values
衝撃吸収試験データと特性値の定義

5. 試験結果

5.1 暴露試験結果

暴露によって外観上の変化が見られた。

試料 ABS は、暴露 1 年目から光沢がなくなり、また、汚れの沈着状態の差により、帽体の縁と平行にくっきりした線が見られた。それを Photo 4 に示す。頭頂部と辺縁部の物性ないし暴露条件の差の存在を感じさせる。光沢の低下は、暴露期間が長くなるほど著しくなった。それによって、白色の帽体が灰色に

変色し、また一部かすかに黄変も見られた。

試料 PE1 は、暴露を終え清掃（雑巾でよく拭う）することで、おおむね良好な概観を回復した。ただし、部分的に拭いてもとれない汚れが定着した。汚れの定着状況は、暴露期間にはよらなかった。

試料 PE2 では、試料 PE1 と同様に、清掃により光沢を回復するが、一部分汚れの定着が見られた。ただし、暴露 1 年を経過した後にある試料の頭頂部にひびが発生した。また、別の試料には、帽体表面に筋が出現した。これらを Photo 5,6 に示す。

5.2 衝撃吸収試験結果

衝撃吸収試験の結果、明らかな外観上の変化はほとんど見られないが、一部の試料についてはピン部の破断やハンモックの破断等の破損が見られた。これらの一例を Photo 7,8 に示す。破損の有無と衝撃荷重値による規格への適合（半球ストライカのもので、5 kN、平面ストライカのものでは 1000 kgf 以下）を暴露期間に対してまとめたものを Table 13 に示す。

Fig. 3 に、衝撃吸収試験の測定データの一例を示す。このデータより、ピーク値等を読み取って解析を行った。衝撃荷重および加速度は、ピーク値を読み取る。

また、変位については、加速度波形が立ち上がってからピークまでを読み取る。これは、ストライカが帽体に接触してから最も降下するところまでのハンモックの伸びによる帽体の沈み量（以下単に変位と呼ぶ）を示す。

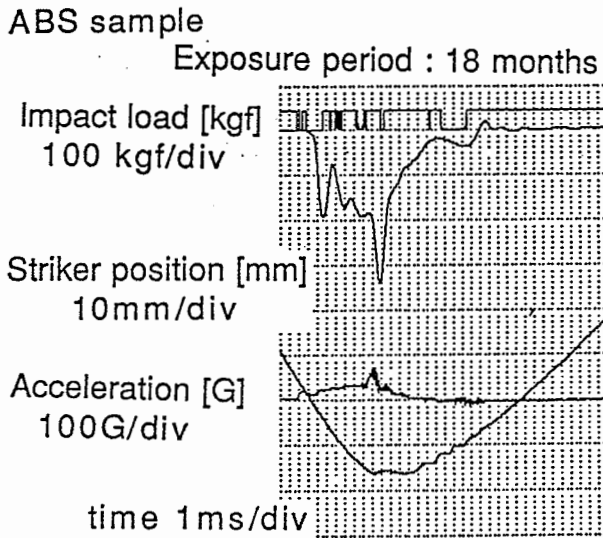


Fig. 4 Shock absorption test data (hemispherical striker)
安全帽の衝撃吸収試験データ (半球ストライカ)

また、衝撃持続時間も読み取った。

Fig. 4 に、試料 ABS の半球ストライカによる衝撃吸収試験の結果の一例を示す。衝撃荷重が高原状に

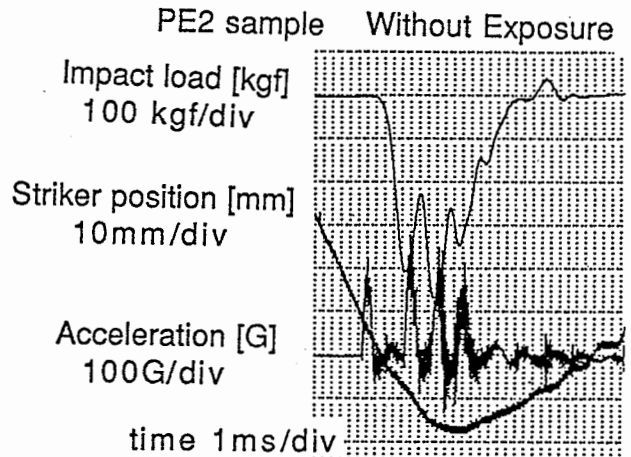


Fig. 5 Shock absorption test data of hammock with iron shell
着装体 (鉄帽使用) の衝撃吸収試験

なるが、ある点で急に大きくなることを見てとれる。これは、ハンモックが伸びきって帽体内部と人頭模型が直接接触したと思われる。試料 ABS においては、暴露期間が長くなると、このような人頭模型との接触が見られる。試料 PE2 においては、暴露し

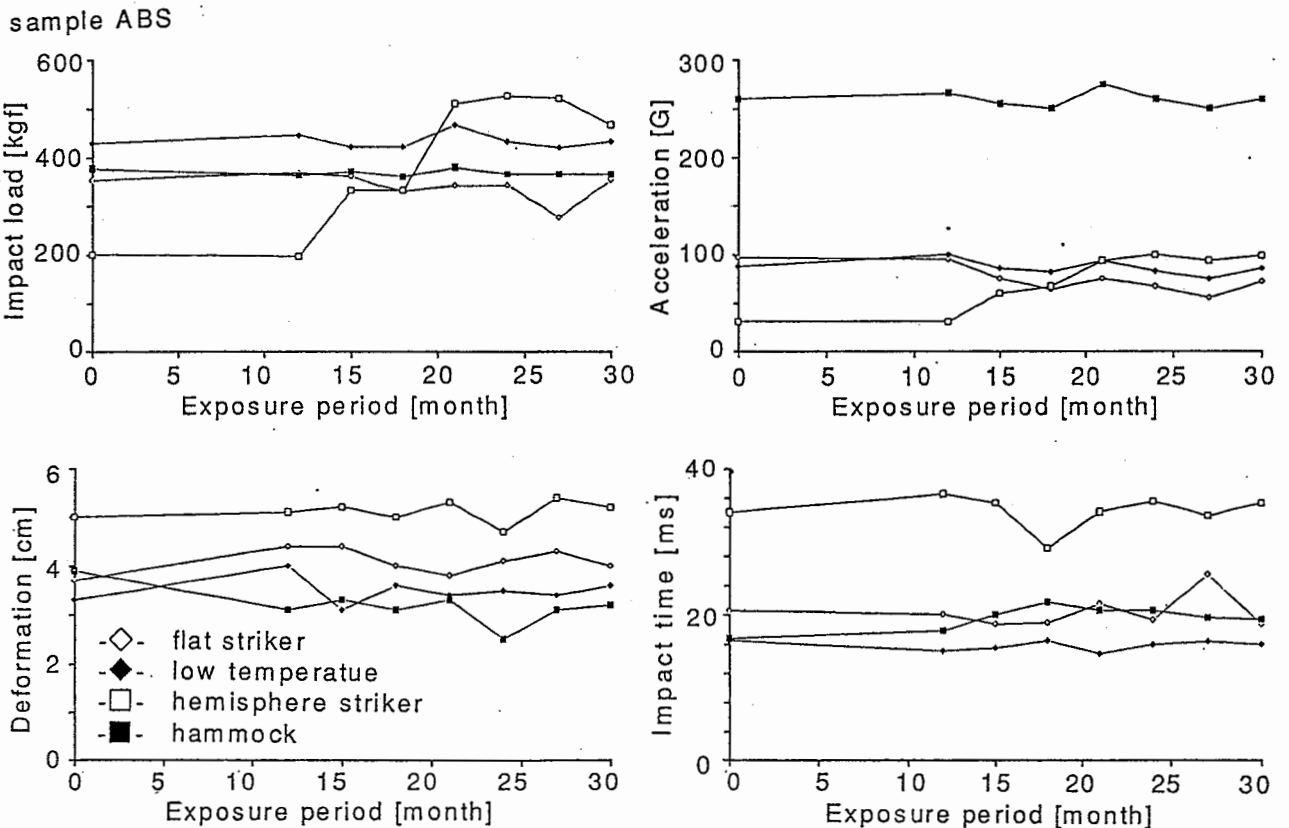


Fig. 6 Characteristic values of Shock absorption test in exposure: ABS
暴露による衝撃吸収試験の特性値の変化 (試料 ABS)

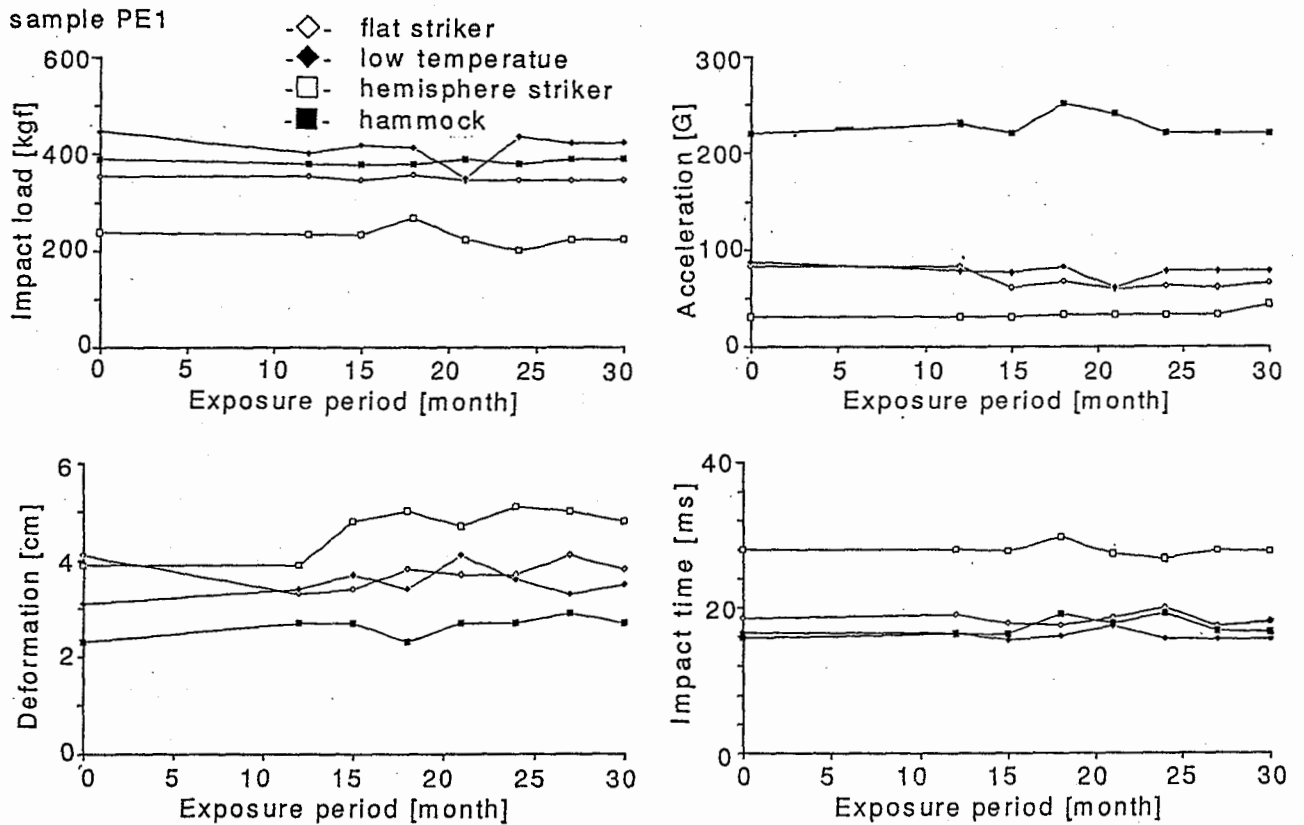


Fig. 7 Characteristic values of Shock absorption test in exposure: PE1
暴露による衝撃吸収試験の特性値の変化 (試料 PE1)

ないものもこのような波形を示す。試料 PE1 においては、このような波形は見られず、Fig. 3 の波形に近い波形を示す。

Fig. 5 に着装体の衝撃吸収試験の測定データの一例を示す。この試験では、加速度および衝撃荷重の山が複数個出てくることが特徴的である。帽体が非常に硬く重いためハンモックに衝撃を伝達する以前に何度かストライカとの衝突している状況が読みとれる。

これらの読み取ったデータを整理して、各試料ごとの各衝撃吸収試験の衝撃荷重や衝撃加速度等を、暴露期間に対してプロットしたものを Fig. 6～8 に示す。このデータのうち、ある暴露期間の試料のみが他の試料と異なる値を示すものがあるが、これは偶然的なばらつきによる可能性がある。ある暴露期間を過ぎたもののいずれもが同様の結果を示す場合には、ばらつきによる偶然的結果とは考えられない。このような観点からは、半球ストライカの場合の試料 ABS の衝撃荷重と衝撃加速度を除き明確な劣化の傾向は見られない。

一般に、安全帽の衝撃試験結果のばらつきは、高々 10%～20%程度といわれている。そのうち、相対的の安価な型を使用する FRP の帽体や、人手作業を要する縫製テープの着装体を使用するものは、ばらつきが大きく、相対的に高価な型と高価な射出成形機を使用する熱可塑性の帽体や着装体を使用したものはばらつきが小さい。現実のばらつきを 1, 2 のメーカーの抜き取り検査結果で見ると、熱可塑性のものも熱硬化性のものもあまり差はなく、前処理が高温および低温処理したものでは 2σ が 2～7%であり、浸せき処理をしたものでは 2σ が 14～20%である。

今回の実験に用いた試料は、帽体も着装体も成形品であり、ばらつきは小さいと思われる。試料 ABS において、衝撃荷重が未暴露時の 200 kgf から 500 kgf を越えるのは、ばらつきの範囲では有り得ない。

5.3 貫通試験結果

5.3.1 完成品の貫通試験

新規格 (ISO 準拠) 貫通試験結果を Table 14 に示す。ただし、試料 PE2 については、新品を除き試

安全帽の耐候性

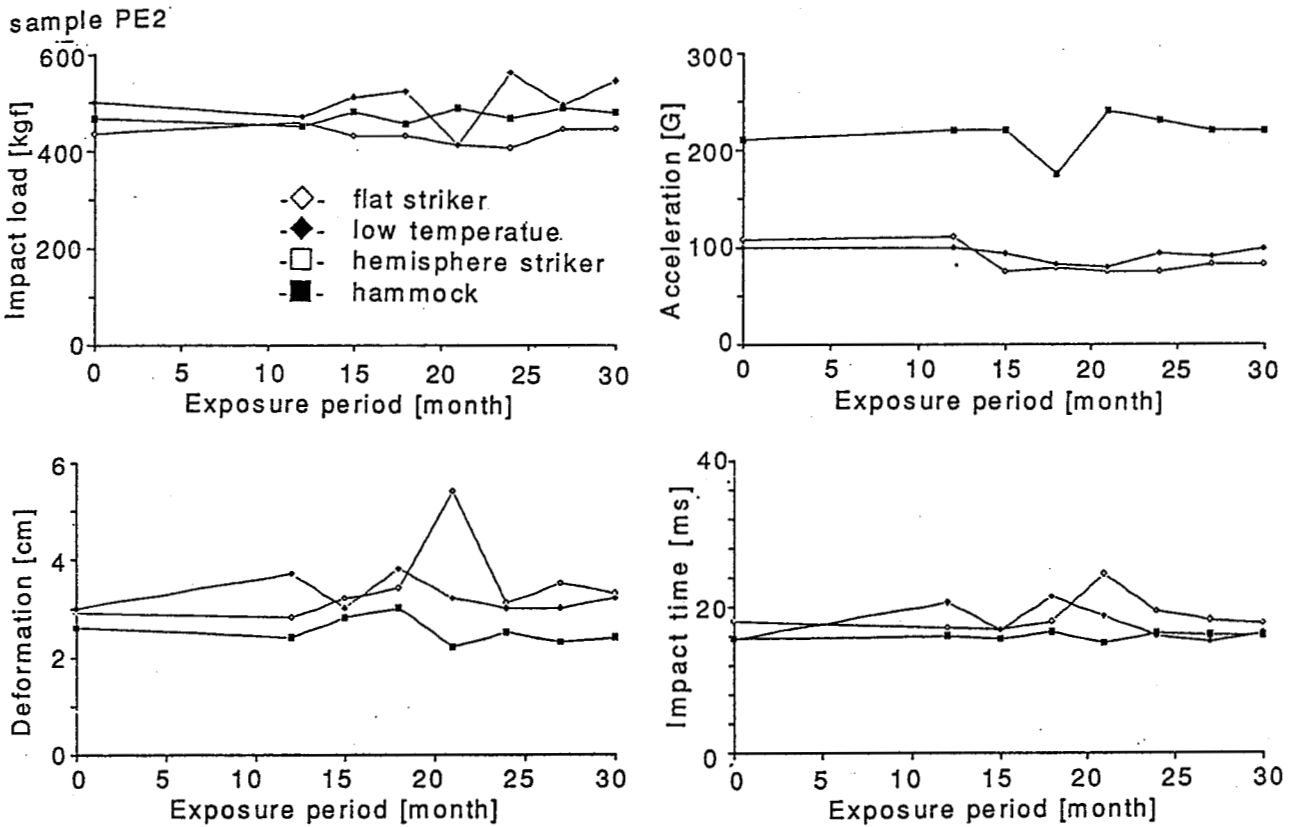


Fig. 8 Characteristic values of Shock absorption test in exposure: PE2
 暴露による衝撃吸収試験の特性値の変化 (試料 PE2)

Table 14 Results of whole helmet penetration test
 完成品の貫通試験結果

Exposure period [month]	Sample ABS		Sample PE 1	
	判定	参考	判定	参考
0		C22,23		φ8
12		H30		φ8
15	×	H20		φ10
18		H22		φ9
21		C25,25		φ11
24	×	H27		φ9
27		C35,20		φ17,21
30	×	C28,21,24		φ10

× : Failure 不合格

Cnn: Crack and its length [mm] 亀裂の発生と衝撃点からのおおよその亀裂長さ (mm) を示す。

Hnn: Hole and its radius [mm] 帽体の円弧状の貫通穴の発生と、円弧のおおよその半径 (mm) を示す。

φnn: Dent and its diameter [mm] 帽体のへこみの発生とその直径を示す。

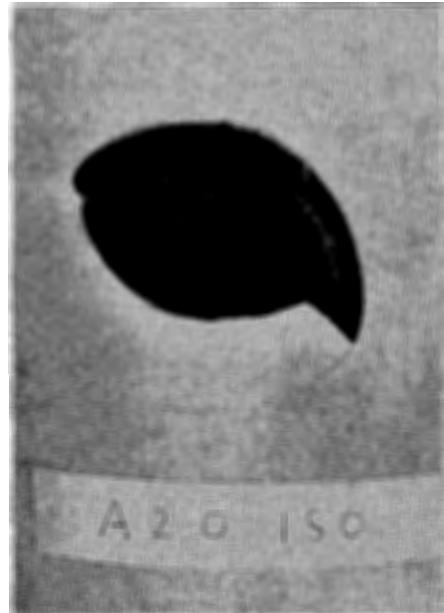


Photo 9 Damages by ISO penetration test (ABS: Exposure period 2 years)
 安全帽貫通試験による試料の損傷例

験そのものを行わなかったので、表から除いた。この試料は頂部すきまが狭い形状であり、試験に不合格となることが予想されたが、実際に、新品のもでもストライカが人頭模型頂部に接触し不合格であり、打撃箇所から両側にそれぞれ 36,42 mm 程度の長さの亀裂を生じた。

試料 ABS において、暴露による劣化の効果が見られた。すなわち、不合格（円錐形ストライカと人頭模型頂部が接触する）や、規格上は不合格というわけではないが帽体に扇状の大きな穴があく等の現象が見られた。これを Photo 9,10 に示す。また、打撃部の表面が細かく剝離する現象も見られた。ただし、不合格の発生という点に限れば、必ずしも暴露期間が長い程劣化の程度が高いというわけではない。

試料 PE1 においては、試験を行ってもへこみがで

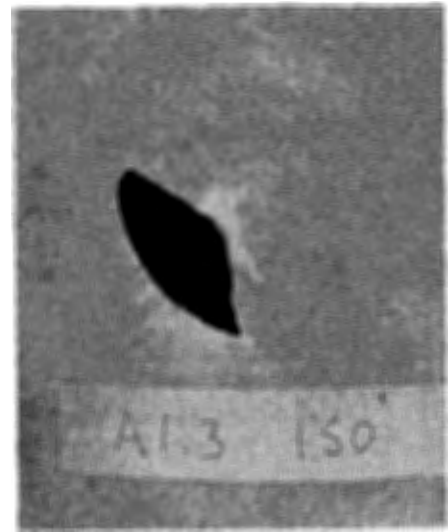


Photo 10 Damages by ISO penetration test (ABS: Exposure period 1 year 3 months)
安全帽貫通試験による試料の損傷例

Table 15 Results of shell penetration test
帽体の貫通試験結果

Exposure period [month] 暴露期間 [月]		旧規格 : Fall: 0.6m			Fall: 0.3m		Fall: 1.2m	
		判定	深さ	参考	深さ	参考	深さ	参考
Sample ABS	0		6	φ4	1	φ2	10	φ5
	12		6	C10	1	φ3	13	C13
	15		8	C6,9	1	φ3	13	C17,12
	18	×	11	c5,7,7	1	φ2	12	C17,12
	21	×	> 20	H	0	φ3	16	C13,21
	24		< 10	H	1	φ3	18	C23,26
	27		9	C10	1	φ3	16	C15,21
30		8	C8,13	1	φ3	11	φ4	
PE 1	0		1	φ6	0	φ4	13	φ29
	12		3	φ6	0	φ4	13	φ27
	15		3	φ8	0	φ4	13	φ26
	18		1	φ6	0	φ4	7	φ27
	21		2	φ6	0	φ4	7	φ25
	24		< 10	φ6	0	φ4	15	φ26
	27		3	φ7	0	φ4	14	φ26
30		5	φ8	0	φ4	15	φ26	
PE 2	0		9	C13,13	3	C6,6	16	C22
	12		9	C14,14	2	φ6	13	C17
	15		9	C14,16	0	C5,6	14	φ25
	18		7	C13,13	1	φ6	12	φ25
	21	×	14	C13,17	1	φ3	> 13	C12
	24		< 10	C18,25	3	C6	19	C18,28
	27	×	10	C15,11	1	φ5	15	C17,21
30		9	C20,13	1	φ4	18	C17,25	

×: Failure 不合格 H: Hole (part of shell break loose) 帽体一部の脱落による貫通穴の発生
Cnn: Crack and its length [mm] 亀裂の発生と衝撃点からのおおよその亀裂長さ (mm) を示す。
φnn: Dent and its diameter [mm] 帽体のへこみの発生とその直径を示す。
< : 頂部リングより 10 mm 低い油粘土との接触がないことのみチェックした。
> : ストライカ先端が油粘土より外れたため、ストライカ側面の痕跡を記載した。

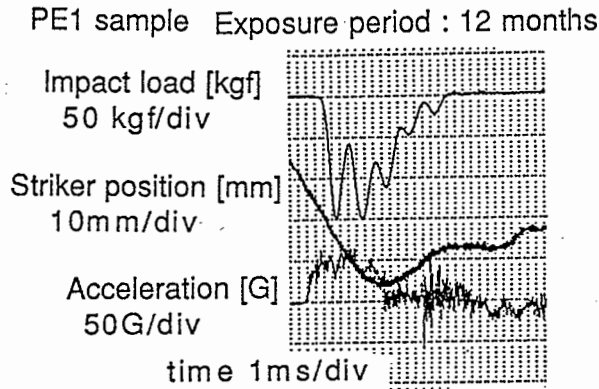


Fig. 9 Penetration test data of shell
帽体の貫通試験データ

きるだけで、暴露によってほとんど損傷状態は変わらない。ただし、2年3ヵ月暴露したものは、亀裂が発生する等 PE1 としては大きな損傷が見られた。これは、劣化の兆候と思われる。

5.3.2 帽体の貫通試験

帽体の貫通試験の結果（貫通の有無等）を Table 15 に示す。この試験によって、帽体に亀裂が発生し

たりする等何らかの痕跡を残したので、その状況もあわせて示した。ただし、パイプ形ストライカにおいては、いずれの試料も貫通せず、また、円形の打痕を残すのみで、試料によって差が現れないので省いた。

同時に測定した衝撃荷重や衝撃加速度等の測定波形の一例を Fig. 9 に示す。貫通試験の場合には、衝撃荷重に多くの山ができることが特徴である。

また、これから読み取った荷重値や衝撃加速度等の特性値を暴露期間に対してプロットしたものを Fig. 10 ~ 12 に示す。

貫通試験では、構造規格上は貫通の有無のみ調べれば良いが、実際には油粘土に残された貫通深さを測定することが行われている。そのばらつきは、1, 2 のメーカーの社内試験のデータでは、 2σ が平均値の12 ~ 20%程度である。衝撃値等については、このような測定を行っているところはないので、ばらつきは不明であるが、貫通深さと同程度と考えると、Fig. 10 ~ 12 のデータからは、パイプ形ストライカの衝撃加速度において暴露による低下が見られることを除いて、明確な劣化の傾向は見られない。

劣化とは別になるが、特徴的な点をあげる。衝撃

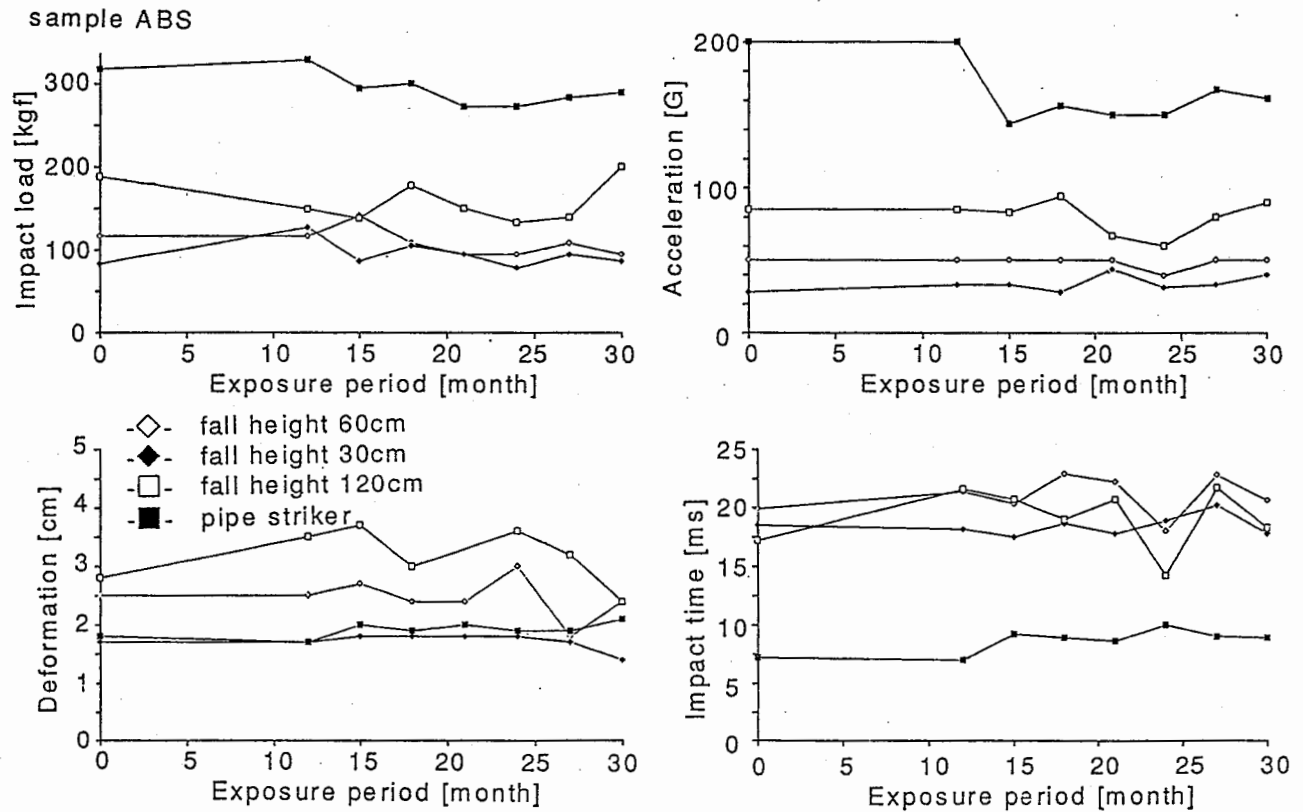


Fig. 10 Characteristic values of penetration test in exposure: ABS
暴露による貫通試験の特性値の変化 (試料 ABS)

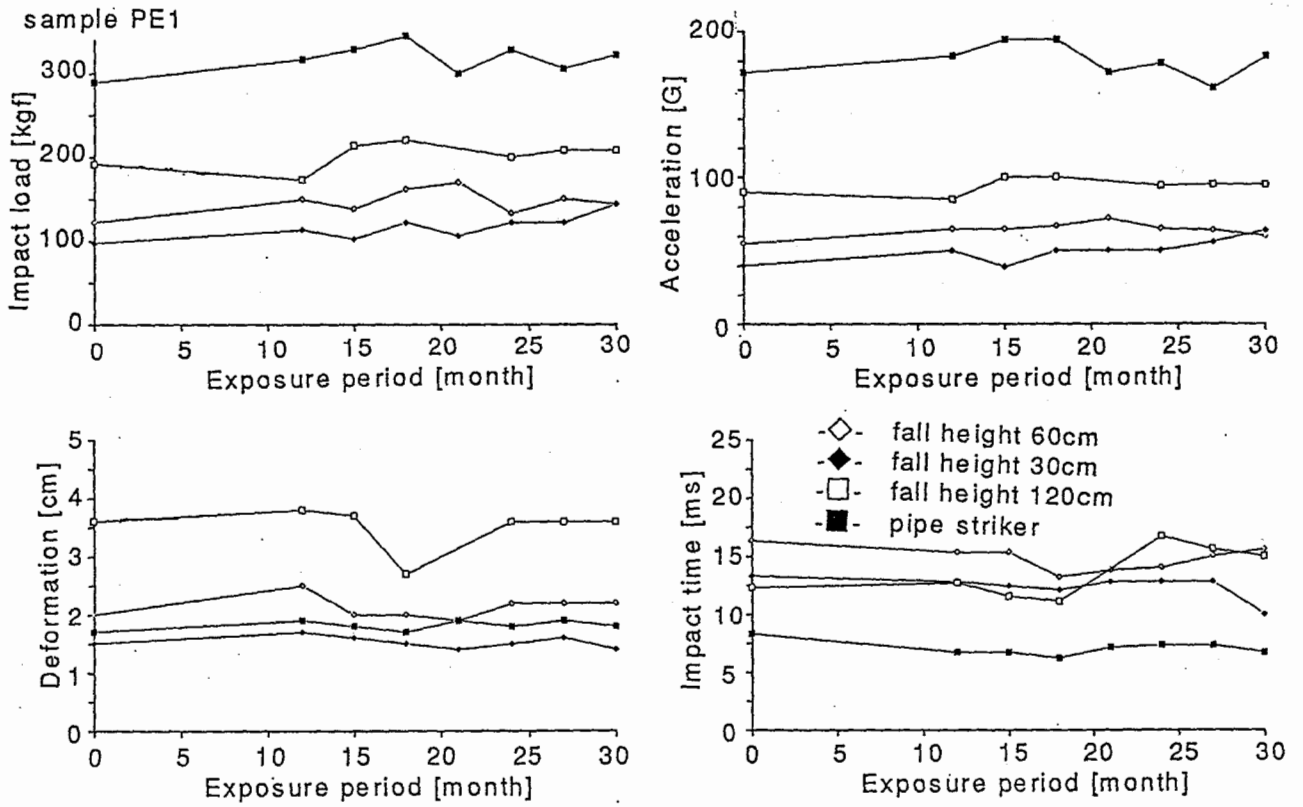


Fig. 11 Characteristic values of penetration test in exposure: PE1
暴露による貫通試験の特性値の変化 (試料 PE1)

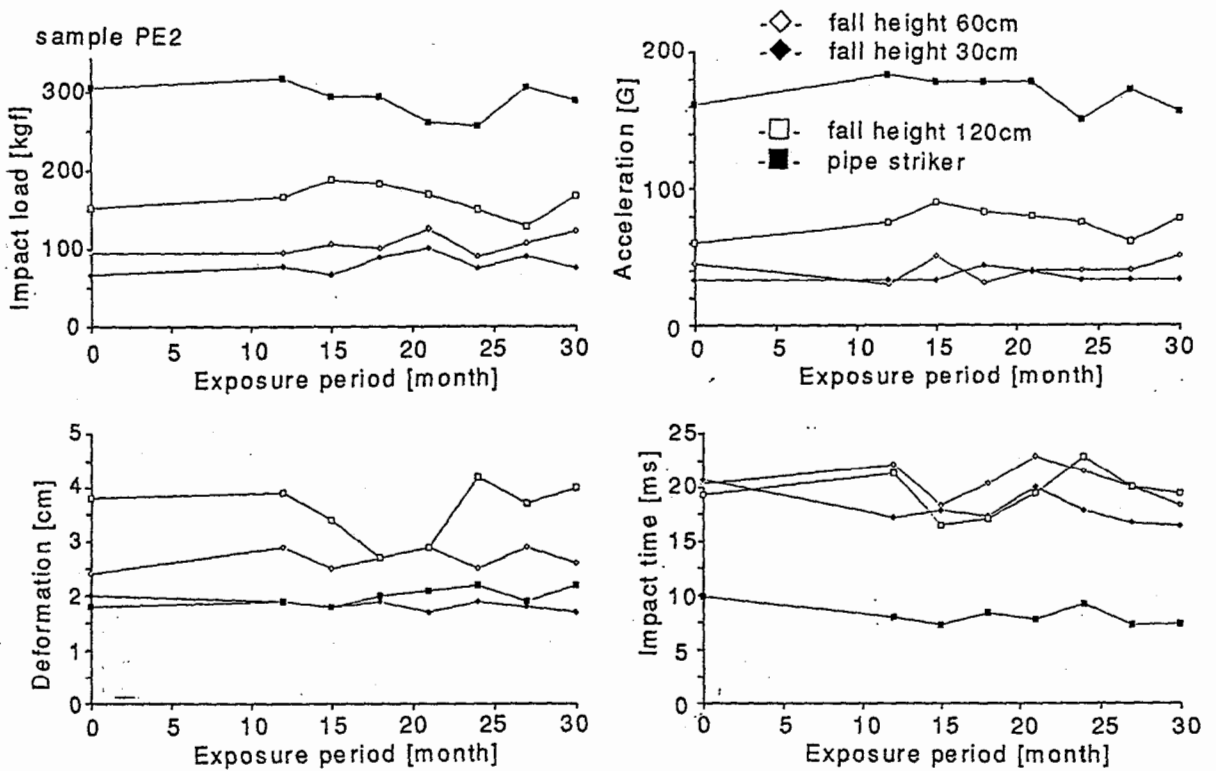


Fig. 12 Characteristic values of penetration test in exposure: PE2
暴露による貫通試験の特性値の変化 (試料 PE2)

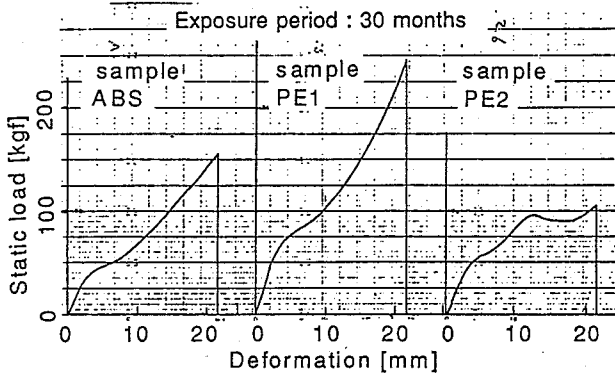


Fig. 13 Static penetration of shell (cone striker)
帽体の静的貫通試験 (円錐形ストライカ)

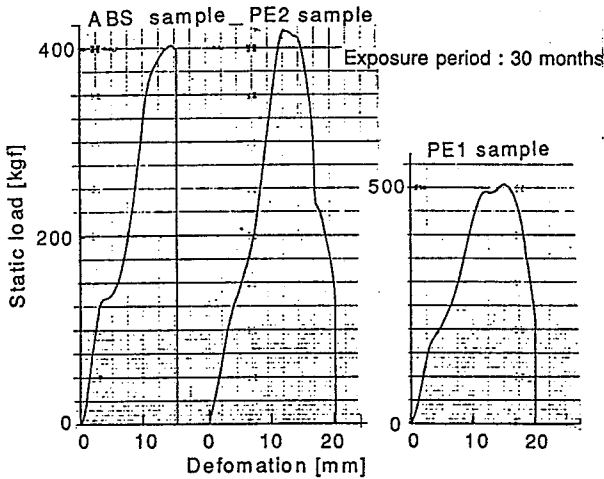


Fig. 14 Static penetration test of shell (pipe striker)
帽体の静的貫通試験 (パイプ型ストライカ)

荷重においては、パイプ形ストライカの場合の値がその他の場合の2倍以上になる。衝撃加速度においても、パイプ形ストライカの場合が他の場合の2倍以上になる。衝撃時間に関しては、逆にパイプ形ストライカの場合の値が他の場合の半分以下になる。

5.4 その他の試験の結果

5.4.1 帽体の静的貫通試験結果

帽体の静的貫通試験の測定データの一部を Fig. 13 に示す。円錐形ストライカを用いる場合には、試料 ABS、試料 PE1 についてはほぼ変位と比例して荷重が増加する状況が見られた。試料 PE2 については、荷重値は一旦極大値を取り、それからまた増大する様子を示した。

パイプ形ストライカを用いた場合の測定データの

Table 16 Static penetration test
静的貫通試験：一定変位量に対する荷重値

	Exposure mon	Cone striker			Pipe striker			ピーク変位 [mm]
		Load [kgf] at 10	Load [kgf] at 15	Load [kgf] at 20	Load [kgf] at 10	Load [kgf] at 15	Load [kgf] at max	
A	0	54	85	132	400	413	-	-
	12	59	94	144	360	395	-	-
	15	63	100	143	370	-	429	14
	18	66	100	144	330	405	405	15
	21	68	103	138	332	396	397	14.5
	24	67	103	142	340	390	403	14.5
	27	68	107	147	340	-	400	14
B	30	66	103	142	310	402	403	14.5
	0	98	146	-	438	465	475	12
	12	92	134	197	365	410	415	15.5
	15	103	145	215	400	430	438	14
	18	98	141	203	460	519	520	15
	21	102	147	204	450	505	506	14.8
	24	99	144	212	480	504	512	14
C	27	98	140	197	460	500	505	14
	30	103	148	218	460	463	502	14
	0	73	87	78	412	300	420	10.5
	12	68	77	-	450	200	460	9.5
	15	82	85	92	407	422	427	11
	18	74	79	90	325	415	415	12.5
	21	75	77	91	365	401	414	11.5
D	24	82	84	95	370	402	410	11
	27	69	76	87	350	405	416	12
	30	83	93	97	340	400	418	12

一例を Fig. 14 に示す。帽体から円板状部分を押し抜くまでは、荷重が増加するが、一旦抜けるとせん断部分を引き伸ばす力だけになり急激に荷重が低下する。

これらの結果の特性値として、10 mm 変位時の荷重、15 mm 変位時の荷重、ピーク荷重等を Table 16 に示す。

また、試料 ABS の暴露期間が1年6ヵ月以上のものにおいては、試験によって、加重点の周辺の表面が微細に剝離し、粉をふいたようになった。

5.4.2 着装体の引張強度試験結果

着装体の引張強度試験を測定データの一部を Fig. 15 に示す。試料 ABS、PE2 については、急速に荷重が上昇し、ある荷重で破断した。試料 PE1 については、ネッキング現象が見られ試料が薄く引き伸ばされた。その結果、破断する以前にチャックから外れることが予想されたので、一定以上伸びたところで引張を中断した。

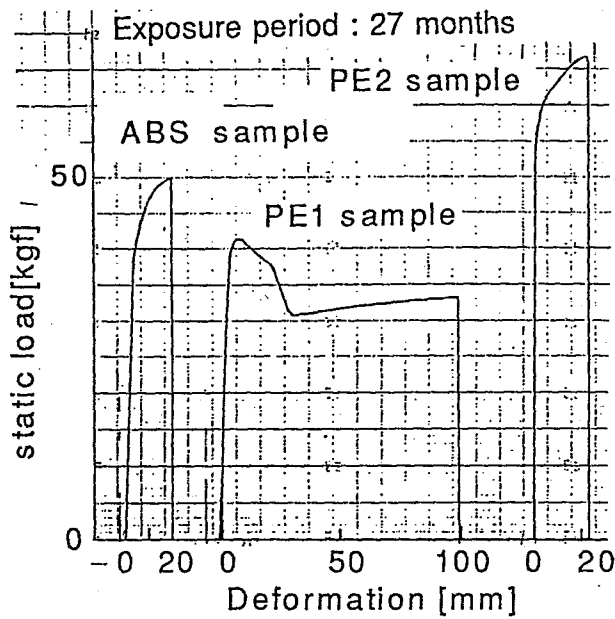


Fig. 15 Tensile test data of hammock
着装体の引張強度試験データ

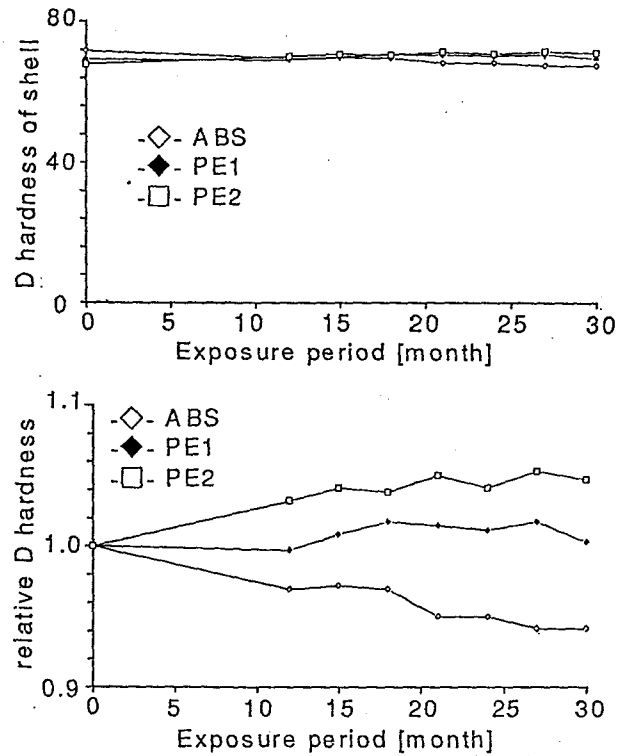


Fig. 17 Durometer hardness of shell
帽体の D 硬度の変化

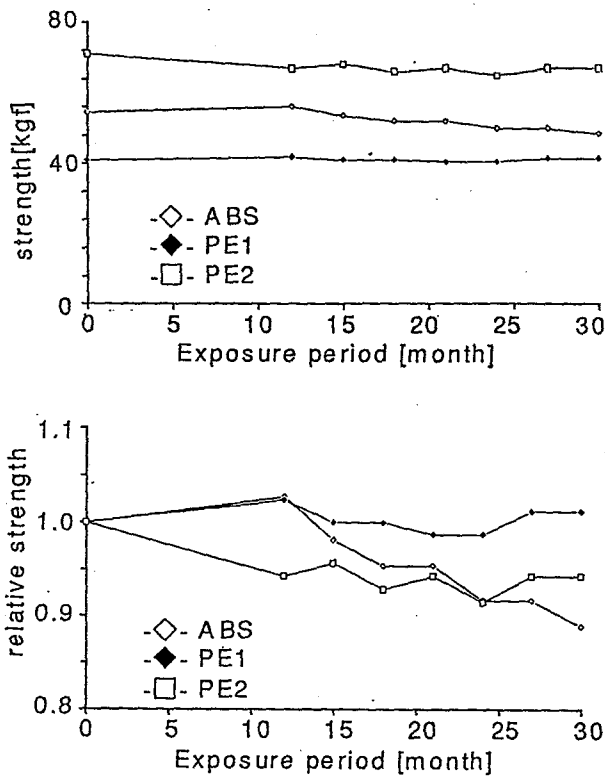


Fig. 16 Tensile strength of hammock
着装体の引張強度の変化

試料 ABS, 試料 PE2 については破断強度について、また、試料 PE1 については降伏強度についてま

とめたものを Fig. 16 に示す。引張強度については、各試料ごとに試験片のサイズが異なるため、絶対値にはあまり意味がない。そのため、未暴露のもの引張強度で正規化した相対的な強度変化を併せて示した。試料 ABS, 試料 PE2 に強度の低下の傾向が見られる。

5.4.3 D 硬度の測定結果

帽体の D 硬度試験の結果 (D 硬度と未暴露のものを基準とした相対値) を Fig. 17 に示す。

試料 ABS は帽体に劣化の様子が見られ、衝撃吸収試験等を行うと打撃部が白く粉をふいたようになるが、この試験では、若干の硬度の低下の傾向は見られるが劣化の影響はそれほど顕著ではない。

試料 PE2 では、逆に硬度の増加の傾向が見られる。また、試料 PE1 は、いずれの傾向も見られない。

着装体の硬度試験の結果 (D 硬度と未暴露のものを基準とした相対値) を Fig. 18 に示す。いずれの試料も若干の増加傾向が見られる。

5.4.4 色の測定結果

色の測定結果を Fig. 19 に示す。ほとんど色相は変化していないことがわかる。また、後頭部と側頭部を

安全帽の耐候性

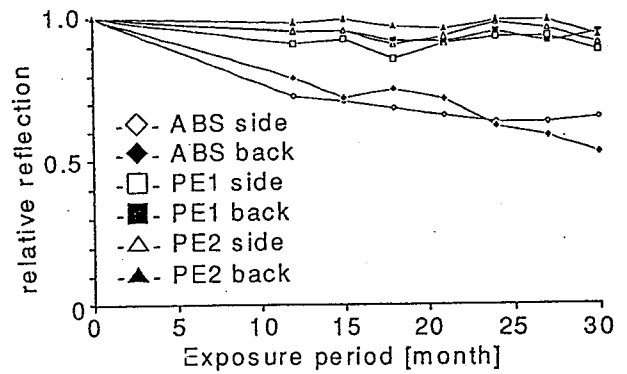
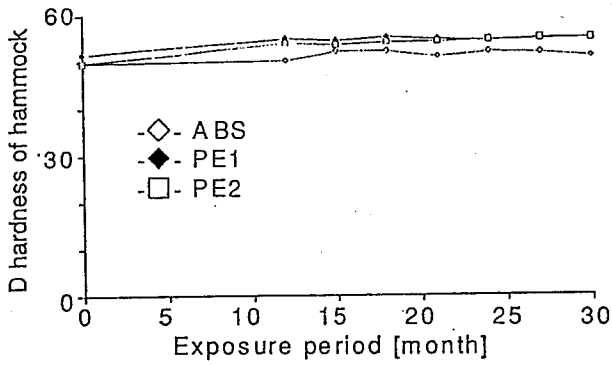


Fig. 20 Decrease of reflection
暴露による反射能(光量)の減少

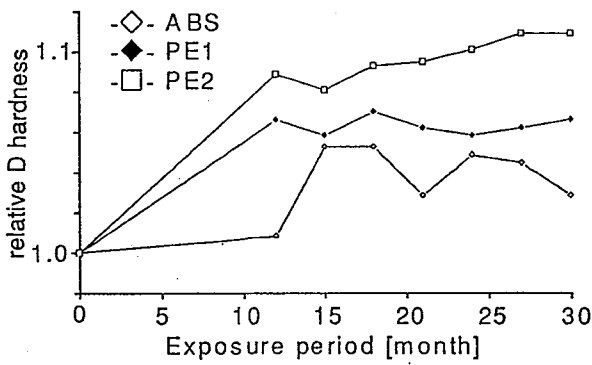


Fig. 18 Durometer hardness of hammock
着装体のD硬度の変化

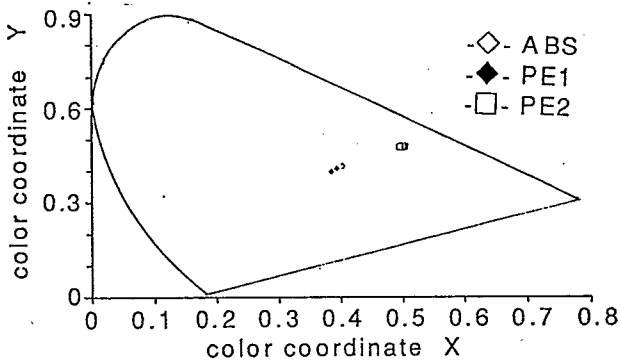


Fig. 19 Result of color measurement
帽体色の測定結果

比較しても測定位置によってもほとんど色は変わらない。また、色の暴露による変化は、ほとんどない。

反射光量の暴露期間に対する変化を、Fig. 20に示す。光量の絶対値は、照明によって変化するため意味を持たないので、暴露しない帽体の測定値を基準にした相対値で示してある。

試料 ABS は、外観が白色だったものが灰色になっ

Table 17 Judgements of tests based on old and new regulations
新旧規格に基づく試験の判定結果

Exposure period month	ABS			PE 1			PE 2		
	旧 old	新 new	参	旧 old	旧 new	参	旧 old	新 new	参
0								×	
12							○	—	○
15		×						—	
18	×		○					—	
21	×	×				○	×	—	○
24		×						—	
27		×	○				×	—	
30		×						—	

ているが、これが、明るさの変化として現れている。試料 PE1, PE2 については外観上の変化が少なかったが、反射光量の上でもほとんど変化は見られない。

6. 考 察

6.1 規格による試験結果のまとめ

旧規格および新規格による試験の判定結果および付加的試験において、装着体取り付け部の破損など、劣化の影響と見られる現象の発生を Table 17 に示す。試料 ABS については、劣化の影響が明確に現れていて、1年3ヵ月以上暴露したものは不合格となっている。試料 PE1, 試料 PE2 についても、試験で不合格のものが現れているものの、試料 ABS ほど性能劣化は明確ではない。このことは外観についても言える。すなわち、試料 ABS は暴露期間1年を経過した

ものから光沢を失っているが、試料 PE1, 試料 PE2 については、顕著な外観の劣化は見られない。この結果は、帽体材料の差と思われる。すなわち、ABS のものは、紫外線劣化の影響が顕著に現れたものと思われる。

6.2 試料 ABS の劣化について

試料 ABS の新規格の衝撃吸収試験（半球ストライカの落下衝撃）において、顕著な性能劣化が見られる。これについて、以下に検討する。

1 年半以上暴露した ABS の衝撃荷重波形は、Fig. 4 に見られるように鋭いピークを持つが、暴露期間が短い場合にはこのピークを除いたような衝撃波形となる。このピークは、衝撃時の変形量が大きくなって、装着体のクリアランスを越え、帽体内部と人頭模型が直接接触することによるものであると思われる。すなわち、衝撃による変形量の増大が衝撃荷重値が著しく増加した原因である。

衝撃吸収性能は、装着体と帽体の総合性能であり、性能低下は帽体の劣化と装着体の劣化の両方の可能性がある。すなわち、帽体の変形量が増加したか、装着体の変形量が増加したかのいずれによっても衝撃値の増加は起こり得る。

衝撃に対する帽体のみ挙動を推定するために参考とできる試験として、パイプ型ストライカを用いた貫通試験がある。この試験においては、帽体の一部のみであるが、帽体のみ落下衝撃を加えていて、かつ帽体が破壊されない。この試験の結果は、暴露によって、衝撃加速度が明確に低下し、また、衝撃時間が長くなり変位が増加する傾向にある。このことは、帽体の弾性率の低下の結果と思われるが、そうであるとすると、衝撃時に帽体の変形量が増加するといえる。

また、昭和 40 年代に行った暴露試験において、帽体の圧縮試験や衝撃試験において ABS-K には変化がないが、ABS-T には変形量の増加の傾向が見られる。このことも、帽体の劣化の影響であることを推定させる。

装着体の劣化については、装着体のみ（鉄帽に取り付けて）使用した衝撃吸収試験が参考になる。この試験においては衝撃荷重値の変化が見られないことから、装着体の伸びがあったとしても鉄帽のクリアランスの範囲に収まっていることが分かる。すなわち、劣化の効果は小さいと思われる。そもそも、装着

体は帽体の下にあり、直接太陽にさらされないので、帽体より劣化が少ないと思われる。ただし、低温の衝撃吸収試験で装着体が破断するものが現れたことで明らかであるが、破壊強度の面では劣化していると思われる。

なお、通常的安全帽と比較して鉄帽を使用した場合にも、衝撃荷重はほとんどかわらないという結果が得られたが、これは、安全帽の衝撃吸収性を担うのは装着体であり、帽体はあまり寄与しないということを実験的に示すものといえる。帽体の役目は、荷重を分散して装着体に伝達することであり、また、クリアランスを保つためには帽体の変形は少ない方がよい。この点では、剛性が高い、FRP や PC が有利である。

安全帽の衝撃吸収試験においては、一部の試料を除き破壊にまで到ったものは少ない。それにもかかわらず、劣化して不合格のものが現れている。これは、安全帽の衝撃吸収試験には、材料が破壊するところまでの負荷はかかっていないということを意味する。むしろ、着用する人間の安全のためには、そこまでの負荷がかからないことが重要で、安全帽に要求される緩衝性能を評価するためには、破壊強度ではなく、粘弾性特性の方が重要であると思われる。しかしながら、従来の暴露試験ではこれら特性の測定は行われておらず、劣化のデータは得られていない。今後、素材の暴露試験においても、これらのデータの測定が行われることが望まれる。

6.3 耐候性に関する規格について

現在のところ規格で安全帽の寿命を決めているものはないが、耐候性の評価を規格に導入しようという動きがある。ヨーロッパの統一規格案として CEN の安全帽の規格¹⁶⁾があるが、これには、衝撃吸収試験及び貫通試験の前処理として、450W のキセノンランプの紫外線による 400 時間の人工暴露を行うべきことを規定している。これによって、一定期間内の性能を保証しようというものである。試験に著しく時間と手間がかかるという点を除けば、耐候性を保証できるので人工促進暴露を行うことは有益である。現在は無理であるとしても、将来的には日本でも何らかのかたちで、規格に取り入れるべきであろう。

この 400 時間という人工暴露はどの程度の寿命に相当するかを検討してみる。

自然暴露と人工促進暴露の対応づけるのに、単純

に紫外線のエネルギー強度で換算する事が考えられる。JIS に規定される 4.5KW のキセノンウェザーメータ¹⁷⁾では、太陽光の 4.5 から 4.8 倍の紫外線強度を持つ。これは、試料とランプの距離が約 250mm の場合の数値である。CEN 規格では、距離 150mm のところから、450W のランプで照射することを規定しているが、紫外線強度がランプ出力に比例し距離の自乗に反比例するものとして換算すると、これは太陽光の約 1.6 倍の紫外線強度となる。年間日射時間が 1800 ~ 2000 時間 (東京) であるので、400 時間の人工暴露は約 2.4 ヶ月の自然暴露に相当する。

しかしながら、現実には人工促進暴露と自然暴露の対応はそう単純ではない。まず第一には、暴露する場所により紫外線の光量が異なり、従って劣化の程度も異なる。例えば、塩化ビニールの建築材料を西ドイツでの 1 年間の自然暴露と同等の劣化を引き起こすカーボンアークによる紫外線の暴露時間は 500 時間であるが、東京での自然暴露は 1000 時間、シンガポールでの自然暴露は 1500 時間の促進暴露に対応するという研究例¹⁸⁾がある。このように暴露場所によって結果が異なることは、規格の試験としては不適当であり、人工促進暴露による方が条件が安定しているし、試験時間も短くてすむので適当である。

また、人工暴露試験を行う紫外線源には、キセノンランプのほかに紫外線カーボン、サンシャインカーボンがあるが、これらは紫外線の波長分布が異なる。キセノンやサンシャインカーボンの場合は太陽光と類似の波長分布を持つが、紫外線カーボンは紫外線領域に分布がピークを持つ。一方、プラスチックの材質により吸収しやすい紫外線の波長が異なるので、劣化の波長依存性があり、どのランプを用いるかによって促進係数 (1 年自然暴露に相当する人工暴露時間) が異なってくる。退色を評価基準として 1.5kW キセノンランプによる促進係数を見ると、試料によって 100 時間から 900 時間まで分布している¹⁸⁾。別の資料では、銚子での 1 年間の自然暴露に相当するキセノンフェードメータにおける人工暴露期間は、ABS で 500 時間、PE で 2000 時間である¹⁹⁾。

これらの数値を基にすると、400 時間の人工促進暴露は、自然暴露に換算すると高々数ヶ月であると思われる。これが、寿命であれば十分とは言えないがヨーロッパが高緯度であり相対的に日射量が少ないことや、実際の寿命は自然暴露する場合より長いと仮定すれば、1 年程度の寿命は期待してもよいであ

ろう。

7. まとめ

昭和 40 年から 43 年にかけて、本研究所で安全帽の暴露試験を行った。この試験において、熱硬化性樹脂の FRP やベークライトのものは、耐候性の問題は見られなかったが、熱可塑性樹脂のものでは、耐候性に問題があった。そのうち PC (ポリカーボネート) のものは比較的耐候性がよく、1 年間以上の暴露によって劣化が現れた。ABS のものは、1 年以内に劣化が見られ、PE (ポリエチレン) のものは、2 ~ 3 ヶ月で劣化が現れるものもあった。

プラスチック素材の改良によって耐候性の向上が期待される一方、安全帽の試験基準が厳しくなったので、改ためて安全帽の暴露試験を行った。今回は、耐候性に特に問題が多かった ABS と PE の安全帽を対象とした。

ABS の安全帽 (試料 ABS) と PE の安全帽 2 種類 (試料 PE1, PE2) について、1 年から 2 年半までの暴露試験を行った。これらの試料について、労働省の構造規格 (新規格および旧規格) の試験、その他の試験を行った。その結果、ABS のもので 1 年 3 ヶ月以上のものは、新旧いずれかの構造規格を満たさなくなった。また、PE のものについても、構造規格を満たさないもの (試料 PE2 の 1 年 9 ヶ月, 2 年 3 ヶ月)、規格は満たすが試験によって破壊されるもの (試料 PE1, PE2 とも 1 年, 1 年 9 ヶ月) が見られた。この結果は昭和 40 年代のときと逆で、ABS のものの方が PE より耐候性が悪い。これから判断すると、PE のものはかなり耐候性が改善され、一方、ABS のものの耐候性の改善は少ないように思われる。

この暴露期間が直ちに耐用年数を意味するわけではないが、帽体材料による相対評価にはなる。また、寿命の見当をつける上での参考にすることもできる。この場合、暴露試験は常時屋外に設置してあり、試料は紫外線、雨水等の影響を最大限に受けているので、その意味では、実用上の条件より厳しいということを考える必要がある。一方、実使用においては、物にぶつける等の取扱いによる機械的劣化の可能性のあることを考慮しなくてはならない。そのような点を考慮すると、年月で寿命を決定するよりむしろ外観上の劣化を性能低下の指標にする方が適切とも考えられる。ABS のものについては、外観上の劣化が明確に現れたが、このようなものについては、

外観の劣化は強度の低下を示していた。

本研究においては、暴露場所等の制約で、限られた種類の安全帽しか試験できなかったが、今後、多くの者の共同作業でこのようなデータが蓄積されて、廃棄基準が作成できることを期待する。

昭和40年代の暴露試験においては、熱可塑性の樹脂の帽体は、1年以内に衝撃で破砕する結果が得られた。今回の試験においても、ABSの1年以上暴露したものでは、完成品の貫通試験において衝撃部分が脱落し貫通穴があく等の同様な破砕が見られた。このような安全帽は使用すべきではないが、現実には、劣化した安全帽が使用されている場合がある。

今回の調査・試験データから判断すると、ABSやPEの帽体の安全帽は、少なくとも製造後1年経過したら、適宜、帽体や着装体の破損・傷・変色等をチェックして、傷んでいないことを確認する必要があると思われる。チェックの結果疑わしい場合には、新しいものに交換することが望ましい。少なくとも、同様な条件の安全帽のうちの一部を用い、性能検査をする等の対応が必要である。FRPやPCのものでも、2～3年経過したら、適宜同様のチェックを行うことが望ましい。

最後に、試験試料・技術情報を提供いただいた安全帽工業会と、安全帽の試験に協力いただいた産業安全技術協会に感謝の意を表す。

(平成4年1月31日受理)

参考文献

- 1) 狩野三郎；ヘルメット用新素材，セーフティダイジェスト，32,2，(1986)，p. 16.
- 2) 桜内雄二郎；プラスチックポケットブック，(1987)，pp. 26-45，工業調査会.
- 3) 小太刀；プラスチックマテリアル，14，8，(1973)，p. 28.
- 4) 桜内雄二郎；プラスチックポケットブック，(1987)，p. 98，工業調査会.
- 5) プラスチック研究会；プラスチック年鑑，(1970)，p. 70.
- 6) 松谷守康；プラスチック技術マニュアル，(1989)，p. 2-3，理工社.
- 7) 鈴木健一；日本ゴム協会誌，42，2，(1969)，p. 80.

- 8) 小原実；セキスイ技報，2，3，(1965)，p. 15.
- 9) 鈴木智，他；屋外暴露をした熱可塑性樹脂の力学的特性，高分子材料の耐久性，(1979)，p. 136，日本技術振興協会.
- 10) 山口富三雄；プラスチック材料の16年間の暴露試験結果，JWTC ニュース (1989)，No. 203～206.
- 11) 黒田寿紀他；プラスチック材料の屋外暴露試験，大阪工業試験場報告，(1970)，p. 12.
- 12) 三田村正智，他；安全帽の耐候性について (第1報)，産業安全研究所報告 (1967)，15，1，pp. 25-34.
- 13) 末吉昭一；安全帽の使用上の問題点，産業安全研究所技術資料 (1971)，TN-70-4，pp. 1-12.
- 14) 労働省；保護帽の構造規格，昭和50.9.8，告示第66号.
- 15) ISO 3873-1977: Industrial Safety Helmets.
- 16) CEN peEN 397 (1990) Industrial safety helmet.
- 17) JIS B 7754 キセノンアーク灯式耐光性及び耐候性試験機.
- 18) 沖慶雄；高分子可能性講座，講演要旨集 (1981).
- 19) 西村興男ら；工技院研究報告，No. 2 (1981).

[抄録]

安全帽に使用されているプラスチックは、昔から耐候性が問題となっている。素材としては、FRP、PC (ポリカーボネート) は、相体的に耐候性がよく、ABS (アクリルニトリルブタジエンスチレン)、PE (ポリエチレン) は相対的に耐候性が劣る。また、昭和40年代に行った安全帽の耐候性試験においても、FRPのものを除けば、1年以内の暴露で劣化した。

近年のプラスチックの性能向上と、安全帽の試験方法の変更に応じるため、再度ABSのもの1種類とPEのもの2種類の2年半にわたる暴露試験を行った。その結果、ABSについては、1年3ヵ月以上暴露したものは、要求される基準を満たさなくなった。また、PEの1種類では、1年9ヵ月暴露したのから基準を満たさないものが出るようになった。また、PEの2種類とも、規格より厳しい条件の試験で、1年暴露したものが、着装体取り付け部の破断等が発生したが、基準そのものは満たしていた。

(表17, 図20, 写真10)

産業安全研究所安全資料

RIIS-SD-91-1

発行日 平成 4 年 3 月 2 日

発行 労働省産業安全研究所

〒 108 東京都港区芝 5 丁目 35 番 1 号

電話 東京 (03)3453-8441 (代)

印刷所 株式会社春恒社

SAFETY DOCUMENT
OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RIIS-SD-91-1, 1991

The Weatherability of Safety Helmets

THE RESEACH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY
MINISTRY OF LABOUR
5-35-1 Shiba Minato-ku Tokyo 108 JAPAN