

安全マットの経年変化に関する研究

吉村 延雄*, 山崎 保志*, 加藤 俊之**

概要

現在、各所属及び訓練場に配置されている安全マットは、配置時には当庁仕様に定める衝撃吸収性能を満たしているところであるが、配置後の使用状況、保管状況等による性能変化の実態は明確ではない。

このことから、警防部の要請に基づき、安全マットの経年変化に関する各種試験等を実施し、次のような結果を得た。

- 1 安全マットの緩衝材であるポリウレタンフォームは、経年や使用による劣化は少なく、安全マットに求められる衝撃吸収性能を有していた。
- 2 安全マットは、経年に伴ない表地の塩ビ樹脂加工帆布の引裂き強度及び耐水度の低下が見られたことから、表地は引裂けやすく、水が浸透しやすくなるといえる。
- 3 安全マットは、緩衝材であるポリウレタンフォームが水を含むことによって、衝撃吸収性能が低下する。また、含水量が多いほど衝撃吸収性能も低下する。

1 はじめに

消防活動や高所の訓練時に使用する安全マットは、転落及び落下による衝撃を和らげることを目的として使用する緩衝用のマットであり、配置時には当庁仕様に定める衝撃吸収性能試験によって、落下時の加速度が20G以下となる性能を有しているところである。しかし、配置時には安全性が確保されたものであっても、繰返し使用、保管状況の違いによる性能変化が考えられる。

このことから、本研究は安全マットの経年に伴う性能変化及び劣化要因を把握することを目的として研究を行ったので、その結果について報告する。

2 諸元等

当庁で使用している安全マットの諸元等は次のとおりである。

(1) 形状及び構成 (図1参照)

安全マットの形状は平成9年度まで折り畳み式の構造であったが、平成10年度からはセパレート式となっている。セパレート式マットの形状・寸法は次のとおりである。

形状・寸法：縦2,300×横900×厚さ500 (mm)

構成：表地—塩ビ樹脂加工帆布

内容物 (緩衝材) —ポリウレタンフォーム
ポリエチレンフォーム

[凡例]

A：塩ビ樹脂加工帆布

B：ポリウレタンフォーム

C：ポリエチレンフォーム

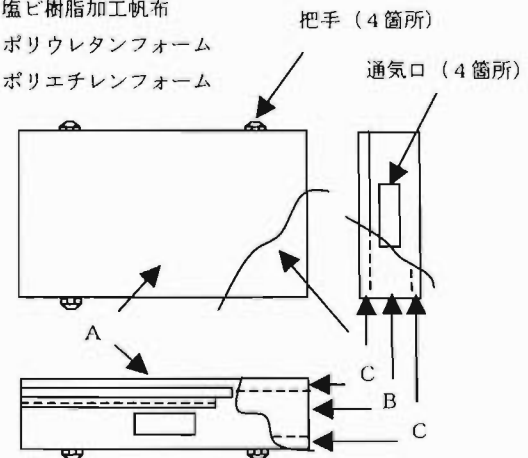


図1 形状・構成

(2) 構成素材及び特徴

ア 表地

表地は、ポリエステル帆布に塩化ビニール樹脂のコーティング加工を施したものであり、塩化ビニールのコーティング布は、テント材などに幅広く使用されているものである。

塩化ビニール樹脂は、化学的変化を起こしにくく、配合によっては非常に軟らかいものから硬いものまで作れる特徴がある。

その他の主な特徴は、次のとおりである。

- ・ 吸水率、透水率が非常に小さく、耐水性は極めてよい。
- ・ 耐候性に優れている。
- ・ 難燃性である。
などが挙げられる。

イ 内容物

厚さ 480mm のポリウレタンフォームの上面及び下面に厚さ 10mm のポリエチレンフォームを貼り合わせたものである。

(7) ポリウレタンフォーム

ポリウレタンフォームは、エステル系ポリウレタンフォームとエーテル系ポリウレタンフォームに分類され、エステル系ポリウレタンフォームは、引張強さなどの機械的強度に優れ、エーテル系ポリウレタンフォームは、弾性が高く、クッション性に優れている。

安全マットに使用しているのはエーテル系ポリウレタンフォームであり、エステル系ポリウレタンフォームに比べ耐湿熱性（高温、高湿度条件下での耐久性）が優れている。

発泡倍率は、約 60 倍の連続気泡構造の発泡体である。
主な特徴は、次のとおりである。

- ・ 耐水性、耐湿、耐薬品性に優れている。
- ・ 断熱性、電気絶縁性が高い。
- ・ 紫外線により黄変する。（黄変までの時間は、概ね夏の直射日光で数時間、日の当たらない倉庫でも数週間から数ヶ月と言われている。）
- ・ 光、熱などによる酸化劣化（エーテル結合部が酸化によって切断される。）が生じる。
- ・ 燃えると大量の熱、煙、有毒ガスを発生する。
などが挙げられる。

(i) ポリエチレンフォーム

安全マットのポリウレタンフォームの上面及び下面に貼り合わされているポリエチレンフォームは、半硬質の独立気泡構造の発泡体であり、発泡倍率は約 30 倍である。

主な特徴は、次のとおりである。

- ・ 衝撃吸収性が非常に良く、繰返し衝撃に対する吸収性が特に大きい。
- ・ 耐水性がきわめて優れている。
- ・ 耐薬品性、耐候性が良い。
などが挙げられる。

3 研究方法

安全マットの経年に伴う性能変化を把握するため、マット本体の緩衝性能変化とマット表地の機械的性能変化から安全マットの性能劣化を評価することとした。

マット本体は、衝撃吸収性、反発弾性及び硬度の性能変化から緩衝性能の劣化を評価することとし、マット表地の引張強度、引裂強度及び耐水度の変化から機械的強度の劣化を評価することとした。

試験は、安全マットの基本性能を確認するとともに、安全マットが配置されている全所属に対し、使用状況、保管状況等の使用実態調査を行うこととした。その結果から、使用状況、保管状況の異なるマットを抽出し、配置後の経年に伴うマットの性能変化を把握することとした。また、反発弾性及び硬度の変化と衝撃吸収性能の相関について求めることとした。

さらに、安全マットの性能劣化の要因を把握するため、疲労試験及び耐候性試験を行い、安全マットの性能変化を促進させ、経年に伴う性能劣化を予測することで経年変化の要因分析・評価を行うこととした。

4 実験概要

種別	内容	備考
① 衝撃吸収試験	安全マットの上方 3m の高さから、加速度計を内蔵した鋼製おもり (79kg) を落下させて減速度を測定した。 (図 2 及び写真 1)	当庁仕様で定める試験方法であり、測定値 20G 以下と定めている。
② 反発弾性試験	鋼球 (径 5/8 インチ) を 460mm 上方から落下させ、跳ね返り高さを測定した。 (写真 2)	JIS K 6400 軟質ウレタンフォーム試験方法に準拠した方法で行った。
③ 硬度試験	硬度測定器 (デュロメータ) を使用して硬さを測定した。 (写真 3)	
④ 疲労試験	安全マットの上方 3m の高さから鋼製おもり (79kg) を同一位置に繰返し落下させた。	
耐候性試験	⑤ 屋外暴露試験	JIS Z 2381 直接暴露試験に準拠した方法で行った。 安全マット本体は、1ヶ月毎に衝撃吸収試験、反発弾性試験及び硬度試験を行い、表地は2ヶ月後と6ヶ月後に機械的強度試験及び耐水度試験を行った。
	⑥ 促進暴露試験	促進暴露した表地は、500時間毎に機械的強度試験及び耐水度試験を行った。 暴露時間は、延べ 2000 時間とした。

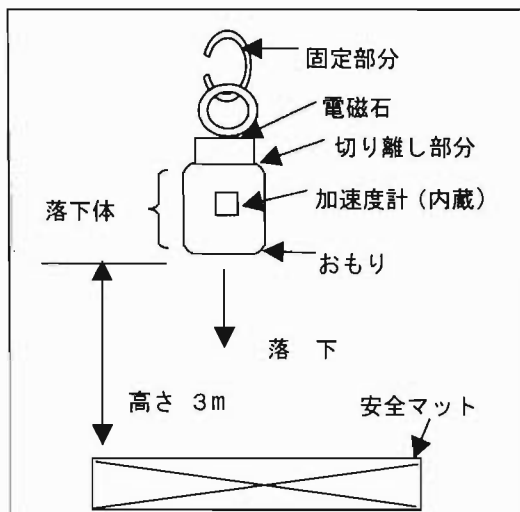


図2 衝撃吸収試験装置概要図



写真1 衝撃吸収試験

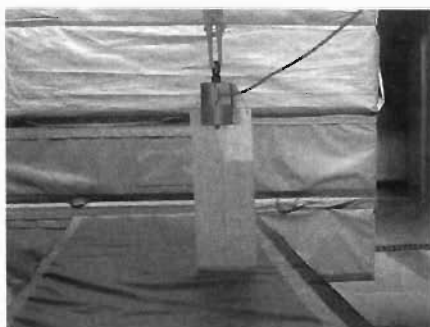


写真2 反発弾性試験

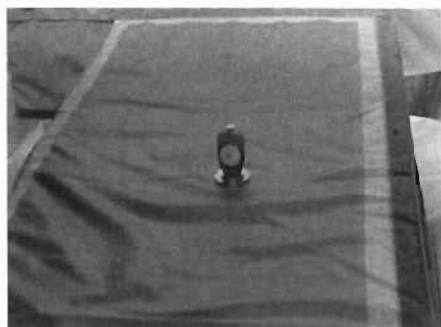


写真3 硬度試験

5 使用実態調査

(1) 目的

各所属に配置されている安全マットの経年に伴う性能変化を把握するため、実態調査を行った。

(2) 調査対象所属等

安全マットが配置されている方面本部及び各消防署

(3) 調査事項

保管場所、保管状況、使用頻度及び損傷状況等

(4) 損傷状況

調査の結果、何らかの損傷があるマットは20組あり、その半数以上のマットについて、表地の引裂きが生じていた。

(5) 性能試験を行うマットの抽出

調査の結果、配置年度及び使用頻度別に試験対象を抽出し配置後の性能試験を実施した。

6 配置後の性能試験

(1) 性能試験の内容

前4 実験概要に掲げる①衝撃吸収試験、②反発弾性試験、③硬度試験を実施した。

(2) 配置後の性能試験結果

ア 衝撃吸収試験 (図3、図4 参照)

性能試験を行った安全マットは、配置年度の違いによって製造メーカー及び内容物の構成等が異なるものもあったが、すべて当庁仕様に定める基準値である20G以下の加速度であり、配置年度の違いによる差はあまり見られなかった。また、1ヵ月の使用回数を少ない(1~10回)、中(11~30回)、多い(31回以上)に区分し、比較した結果、使用頻度の違いによる大きな差は見られなかった。

イ 反発弾性試験 (図5 参照)

反発弾性試験の結果、配置年度の違いによる差はあまり見られなかった。

ウ 硬度試験 (図6 参照)

硬度試験の結果、配置年度の違いによる差は見られなかった。

(3) 考察

ア 衝撃吸収試験の結果から、製造メーカー及び内容物の構成等の違いによる衝撃吸収性能の違いは考えられるが、配置年度の最も古いものでも基準値である20G以下の加速度であった。

イ 反発弾性試験及び硬度試験の結果から、試験を行ったマットは、配置年度の違いによる差はみられず、経年による性能低下の有無は明らかでない。また、衝撃吸収性能との相関はみられず、反発弾性及び硬度から衝撃吸収性を評価することは難しいことがわかった。

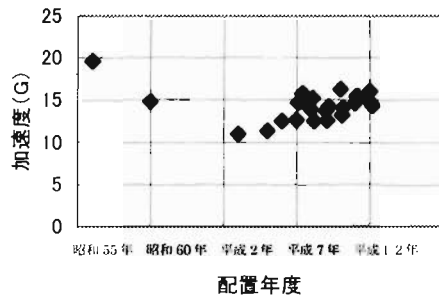


図3 衝撃吸収試験

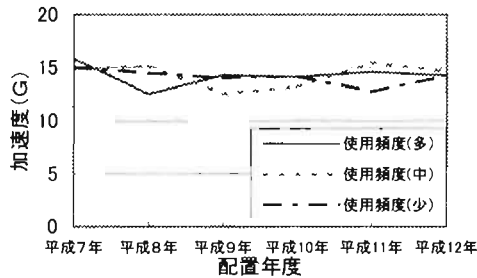


図4 使用頻度別衝撃吸収試験

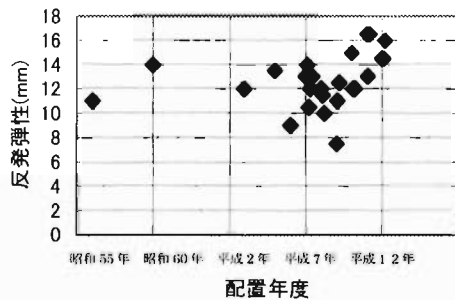


図5 反発弾性試験

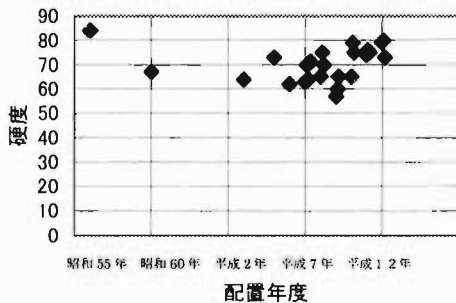


図6 硬度試験

7 疲労試験

安全マットが、繰返し衝撃を受けた場合の緩衝性能変化を把握するため、次のとおり疲労試験を行なった。

(1) 疲労試験の内容

安全マットの上方3mの高さから鋼製おもり（79 kg）を繰返し落下させた。

(2) 疲労試験結果（図7参照）

100回落下までに加速度の大きな変化は見られず、基準値である20Gにも達していない。

(3) 考察

疲労試験の結果からは、本条件における繰返し衝撃に対する劣化は認められない。

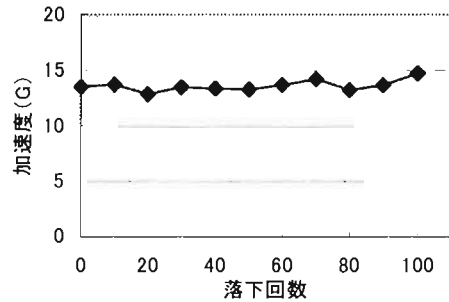


図7 疲労試験結果

8 耐候性試験

安全マットの天候による性能変化を把握するため、屋外暴露及び促進暴露後の性能変化から、屋外暴露と促進暴露の相関性を求め、短期間の屋外暴露の結果から長期的な性能変化を推定することとした。

(1) 屋外暴露試験

JIS Z 2381 直接暴露試験に準拠し、当研究所屋上において次の条件で暴露した。（写真4参照）

- ・ 位置：南向き、角度30度
- ・ 期間：6ヶ月（2ヶ月及び6ヶ月経過後にサンプリング）

- ・ 試験体：安全マット本体及び表皮

(2) 促進暴露試験

JIS B 7754 に準拠し、促進暴露試験を行なった。

ア 試験機

アトラス社製（Ci-35A）放射照度制御式ウェザーメーター（写真5参照）

イ 条件

- ・ キセノンランプの定格電力：0.35kW/m²
- ・ 紫外線波長域：340nm
- ・ ブラックパネル温度：63±3℃
- ・ 相対湿度：50±5%
- ・ スプレー噴霧：光照射120分中18分間
- ・ 照射時間：2000時間（500時間ごとにサンプリング）



写真4 屋外暴露試験



写真5 耐候性試験機

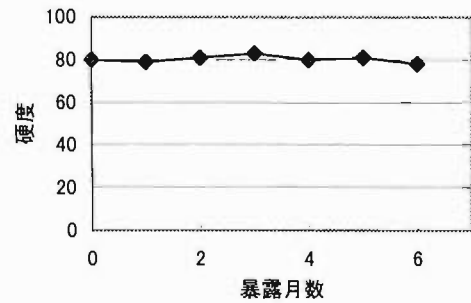


図10 屋外暴露後の硬度

(3) 屋外暴露試験実施後の性能試験

ア 安全マット本体

屋外暴露試験実施後、前4実験概要に掲げる①衝撃吸収性能試験、②反発弾性試験、③硬度試験を実施した。

(7) 衝撃吸収試験結果 (図8参照)

屋外暴露後の衝撃吸収試験の結果、暴露前の初期値に比べ加速度の大きな変化はなく、基準値である20Gも超えることはなかった。

このことから、6ヶ月間の屋外暴露では衝撃吸収性能への影響はみられない。

(イ) 反発弾性試験結果 (図9参照)

反発弾性についても大きな変化はなく、6ヶ月間の屋外暴露の影響はみられない。

(ウ) 硬度試験結果 (図10参照)

硬度についても大きな変化はなく、6ヶ月間の屋外暴露の影響はみられない。

イ 表地

屋外暴露試験実施後、引張強度、引裂強度及び耐水度の各試験を次のとおり実施した。

(7) 引張強度試験 (写真6参照)

JIS L 1096 一般織物試験方法に基づき、万能試験機を使用し、引張強度試験を行なった。

(イ) 引裂強度試験 (写真7参照)

JIS L 1096 一般織物試験方法に基づき、万能試験機を使用し、引裂強度試験を行った。

(ウ) 耐水度試験 (写真8参照)

JIS L 1092 繊維製品の防水性能試験方法に基づき、高水圧型耐水度試験機を使用し、耐水度(高水圧法)試験を行った。

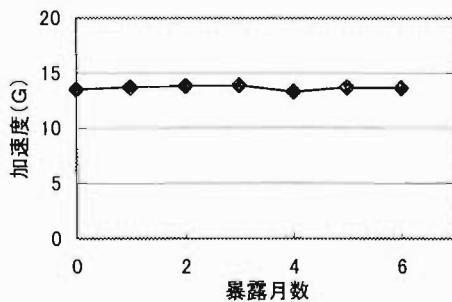


図8 屋外暴露後の加速度

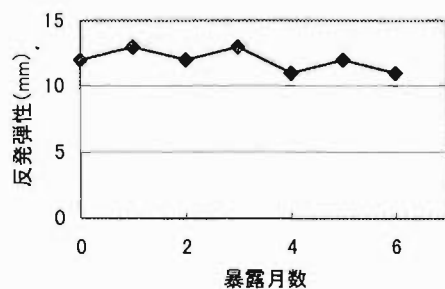


図9 屋外暴露後の反発弾性



写真6 引張強度試験 (試験後の状況)

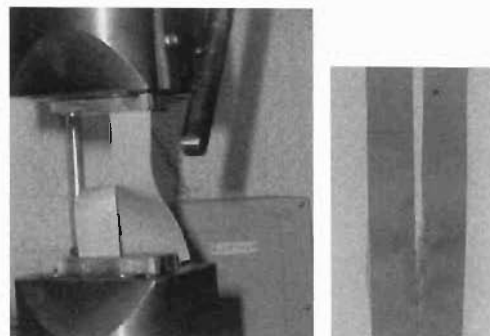


写真7 引裂強度試験 (試験後の状況)



写真8 耐水度試験（試験後の状況）

この結果、屋外暴露後（6ヶ月間）の表地の機械的強度等について暴露前の初期値と比べると、引張強度の低下はほとんど見られない。しかし、引裂強度は若干の低下が見られ、耐水度については大きく低下している。（図11～13参照）

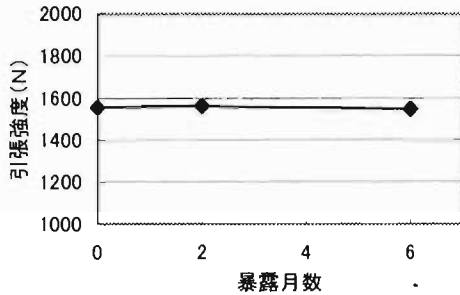


図11 屋外暴露後の引張強度（表地）

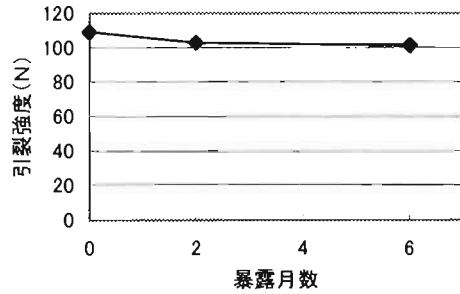


図12 屋外暴露後の引裂強度（表地）

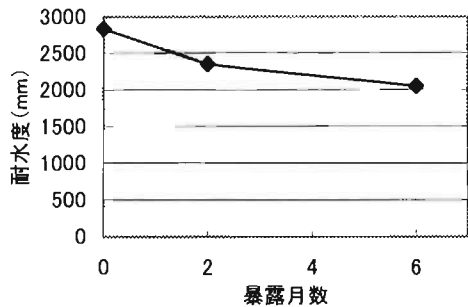


図13 屋外暴露後の耐水度（表地）

(4) 促進暴露試験実施後の性能試験

ア 表地

促進暴露試験実施後（2000時間）の表地について、引張強度、引裂強度及び耐水度の各試験を実施した。この結果、暴露前の初期値に比べ引張強度の変化は僅かであるが、引裂強度及び耐水度の保持率は大きな低下が見られる。（図14～16参照）

イ 把手

促進暴露試験実施後の把手について、引張強度試験を実施した。この結果、把手縫い付け部分の外観上の損傷等は視認できないが、1500時間暴露で引張強度の低下が見られるが、2000時間暴露では初期値より高い値を示している。これは、把手の縫い付け方のバラツキによるものと考えられ、促進暴露の影響を確認することはできなかった。（図17参照）

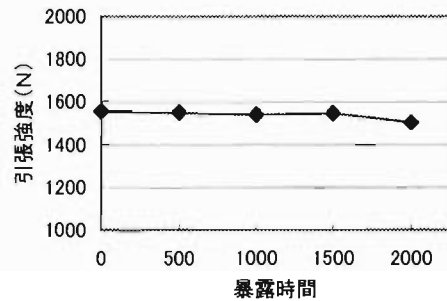


図14 促進暴露後の引張強度（表地）

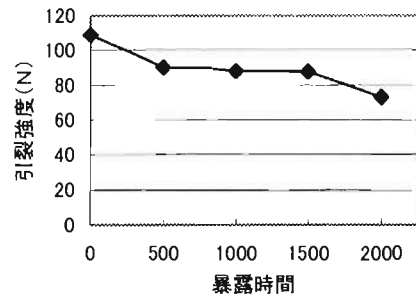


図15 促進暴露後の引裂強度（表地）

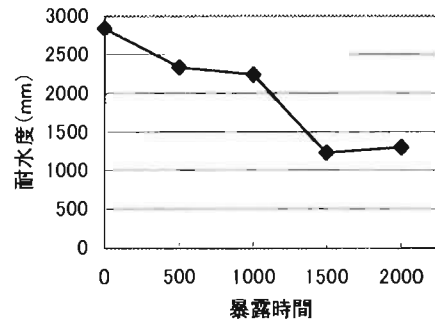


図16 促進暴露後の耐水度（表地）

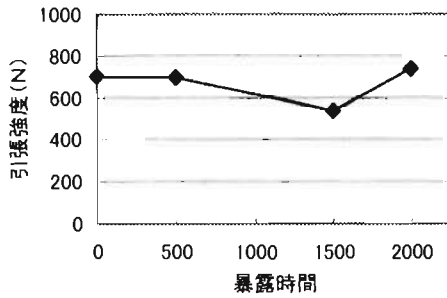


図 17 促進暴露後の引張強度 (把手)

9 劣化要因と劣化予測

安全マットの劣化要因としては、使用頻度や繰返し使用に伴う疲労の影響、さらに、自然の作用（日光、風雨など）の影響が考えられる。

(1) 劣化要因

前7疲労試験の結果では、衝撃落下100回までの加速度変化が認められなかったことから考えると、繰返し衝撃荷重は性能劣化の要因にはならないと言える。

(2) 劣化予測

前8耐候性試験結果から、屋外暴露後及び促進暴露後の引張強度、引裂強度及び耐水度の保持率は、表1のとおりである。

表 1 耐候性試験後の保持率

	初期値	屋外暴露 6 ヶ月		促進暴露 2000 時間	
		保持率 (%)	保持率 (%)	保持率 (%)	保持率 (%)
引張強度 (N)	1557	1549	99.5	1506	96.7
引裂強度 (N)	109.1	101.4	92.9	73.2	67.1
耐水度 (mm)	2840	2050	72.2	1300	45.8

この結果から、引張強度、引裂強度及び耐水度について、屋外暴露、促進暴露ともに相関係数の高かった指数回帰式を用いて劣化予測を行なった。また、屋外暴露と促進暴露の関係式についても求めた。

$$\text{指数回帰式} \begin{cases} Y_1 = 100e^{ax_1} & \dots \textcircled{1} \text{ 促進暴露} \\ Y_2 = 100e^{bx_2} & \dots \textcircled{2} \text{ 屋外暴露} \end{cases}$$

$$\textcircled{1} = \textcircled{2}$$

$$100e^{ax_1} = 100e^{bx_2}$$

$$X_1 = b/a X_2 \implies Y = b/a X \dots \textcircled{3}$$

但し、

- X_1 : 促進暴露時間 (時間)
- X_2 : 屋外暴露期間 (月)
- Y_1 : 促進暴露後の保持率
- Y_2 : 屋外暴露後の保持率

で表される。

ア 引張強度試験

耐候性試験の保持率の変化から a、b をそれぞれ求めると、 $a = -0.00001$ 、 $b = -0.0006$ であり

式③より

$$Y = -0.0006 / -0.00001 X = 60X$$

となり、促進暴露時間 60 時間は、屋外暴露期間 1 ヶ月に相当している。

イ 引裂強度試験

同様に求めると、 $a = -0.0002$ 、 $b = -0.0139$ であり式③より

$$Y = -0.0139 / -0.0002 X = 69.5X$$

となり、促進暴露時間 69.5 時間は、屋外暴露期間 1 ヶ月に相当している。

ウ 耐水度試験

同等に求めると、 $a = -0.0004$ 、 $b = -0.0583$ であり式③より

$$Y = -0.0583 / -0.0004 X = 146X$$

となり、促進暴露時間 146 時間は、屋外暴露期間 1 ヶ月に相当している。

この結果から、引裂き強度及び耐水度がそれぞれ 50% に半減する時期 (半減期) を予測すると、表 2 のとおりである。ここで引張強度については、本実験の期間及び時間では明確な劣化が見られなかったため、半減期としての予測は行なわなかった。

表 2 半減期の予測結果

	促進暴露時間	屋外暴露期間
引裂強度	3465 時間	約 4 年 2 ヶ月
耐水度	1733 時間	約 1 年

本試験結果では、耐水度の保持率の低下が最も大きいですが、この程度の耐水度では実用上影響は少ないと言われていること⁴⁾、また、使用実態調査の結果でも表地が引裂ける損傷が多くみられたことから、引裂き強度の保持率の変化から表地の劣化時期を予測すると、促進暴露で約 3465 時間、屋外暴露に換算すると、約 50 ヶ月 (4 年 2 ヶ月) であるといえる。(図 18、19 参照)

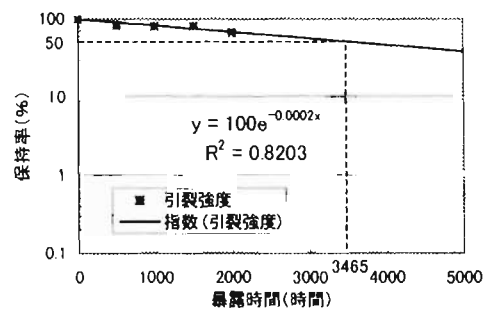


図 18 促進暴露後の引裂強度保持率

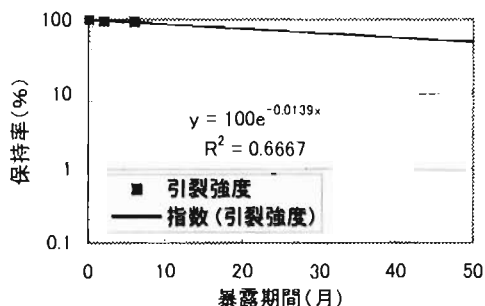


図 19 屋外暴露後の引裂強度保持率

10 安全マットの衝撃吸収性能に影響する要因

安全マットの厚さや落下高さが異なる場合、又は水を含んだ場合など衝撃吸収性能への影響について試験を行った。

(1) マットの種類と落下高さ (図 20 参照)

79kg のおもりをマット上に落下させた時の加速度は、落下高さにほぼ比例して上昇する。現在、当庁で使用している厚さ 500mm の安全マットでは、安全限界である 20G を超えない最大落下高さは 4.0m であった。また、厚さ 300mm のマットでは 2.3m、厚さ 55mm の体育用マットでは 25cm の高さから、それぞれ落下させた時に 20G を越える結果となった。

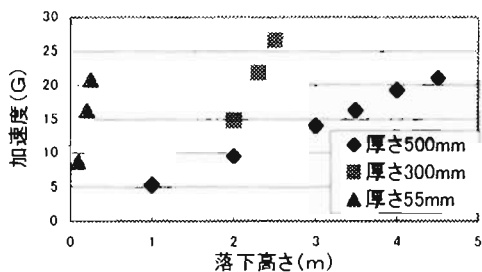


図 20 落下高さと加速度

(2) 含水の影響 (図 21、図 22 参照)

安全マットの緩衝材であるポリウレタンフォームが水を含んだ場合の衝撃吸収性能への影響について試験を行った結果、マットの含水量が多いほど加速度が増加する傾向が見られ、最大含水量時の加速度は、水を含まない時の約 6.6% 増を示した。また、図 22 のように、厚さ 500mm の安全マットについて、最大含水量時と水を含まないときを 20G の加速度となる落下高さで比較すると、最大含水量時には約 30cm 低い位置から落下した場合に相当すると言える。

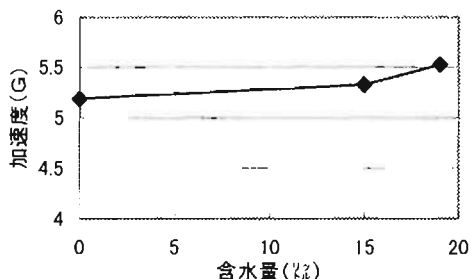


図 21 含水時の加速度 (厚さ 500mm)

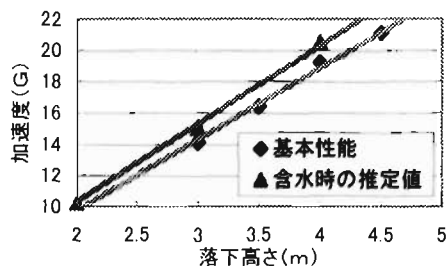


図 22 含水時の推定加速度 (厚さ 500mm)

11 まとめ

- (1) 配置後の性能試験、疲労試験及び耐候性試験の結果から、衝撃吸収性能の低下は認められなかった。このことから、安全マットの緩衝材であるポリウレタンフォームは、経年や使用による劣化は少ないと考えられる。
 - (2) 安全マット表地の 6 ヶ月の屋外暴露及び 2000 時間の促進暴露による耐候性試験の結果から、引張強度の低下は僅かであったが、引裂強度及び耐水度の低下が認められる。耐水度の低下は、繊維の強度劣化にも影響を与えると思われることから、経年や使用に伴い表地が引裂け易く、水が浸透し易くなるといえる。
 - (3) 安全マット表地が引裂ける事例は、実態調査の結果でも多く見受けられ、経年や使用によって表地が最も損傷し易い部分と考えられる。また、把手部分の引張強度は、把手の縫い付け方が均一でなく、同一のマットでも把手によって残存強度にばらつきがあることから、経年や使用に伴う強度低下は、それぞれ異なると考えられる。
 - (4) 内容物のポリウレタンフォームは、経年や使用による衝撃吸収性能の低下は認められなかったが、水を含むことによって安全マットの衝撃吸収性能が低下することが確認できた。また、含水量が多いほど加速度も大きくなるといえる。このことから、経年に伴ない表地の引裂き強度及び耐水度が低下しているので、安全マットを保管、使用する時には、安全マット内部への水の浸透を防ぐ必要がある。
- 以上、本研究結果から、通常の使用状態においては、経年や使用による安全マット本体の緩衝性能の低下は少なく、安全マットの内容物である緩衝材に比べ、表地の方が劣化し易いことが明らかとなった。

[参考文献]

- 1) 脇 賢 ほか 3 名: 安全マットの緩衝性能等の実験結果について、消防科学研究所報第 25 号 1988 年
- 2) プラスチック読本 大阪市立工業研究所他、共編 1992 年
- 3) 航空医学実験隊 万木良平他: エアーマットによる落下衝撃防護装置の研究 (航空医学実験隊報告 15 (4) 1975)
- 4) 豊田宏: 巨大ドーム膜材料の耐候性 (ウェザリング技術研究成果発表会 p41)
- 5) 人間の許容限界ハンドブック: 朝倉書店 1998 年
- 6) 日本規格協会編・刊 JIS ハンドブック

STUDY OF THE CHANGE IN THE SHOCK-ABSORBING ABILITY OF A SAFETY MAT WITH TIME LAPSE

Nobuo YOSHIMURA*, Yasushi YAMAZAKI*, Toshiyuki KATO**

Abstract

At present, the safety mats placed in fire stations and training facilities are supposed to maintain the shock-absorbing ability in accordance with the specifications of the Tokyo Fire Department. But, the mat's quality may have had some changes, which depend on how often they are used, and in what condition they are stored. There has so far been no fact-finding regarding this issue.

For this reason, at the request of the Fire Suppression Division, various tests were conducted to clarify the changes in the shock-absorbing ability of the safety mats with the lapse of time. The results were as follows:

- 1 The polyurethane foam as a mat shock absorbent little declines, and maintains requested shock-absorbing ability despite time lapse and daily use.
- 2 There was a fall in the mat's waterproof ability and tearing endurance with time lapse. This means the outside texture is easily torn and it causes water infiltration.
- 3 The mat's shock-absorbing ability falls when the polyurethane foam contains water. The shock absorbency decreases in proportion to a rise in the amount of the foams' water.