

救助用エア・マットの研究 (第2報)

加 藤 勝 文*
 島 光 男*
 安 達 佳 男*
 小 西 光 雄*

1. は し が き

ビル火災などで、中・高層階から緊急に避難する用具として、空気などのガス体の弾性を応用した救助用エア・マットの使用について現在研究を進めている。

エア・マットを救助用具として使用する場合は必須条件として、衝撃力が人体の許容値以下であること、エア・マットなどの緩衝体が破壊しないこと、あるいは底つきなど二次危害の危険性がないことなどがあげられる。その観点に立って、各種エア・マットの耐衝撃緩衝性能、受けた衝撃が人体に及ぼす影響、マットの形状、構造、使用限界などの基礎研究を行ない、結果を昨年第一報として消防科学研究所報第12号(59頁参照)に報告したが、そこでは袋体に常時送風し、一定量の送・排気で釣合っている方式のエア・マットが最もすぐれているとの結論を得た。すなわちエア・マットに人体が落下した場合、適量の排気がなされれば、瞬間的な“へこみ”が生じて人体には大きな緩衝力として作用する。したがってエア・マットを二段重ねにし、上段マットの沈みで衝撃力を吸収し、下段マットで底つきを防止する方法が最も信頼性が高いといえる。

その結果に基づいて、新たに二段重ね式エア・マットを2基試作し、緩衝効果など、エア・マットとしての諸性能について実験を行なったので報告する。

2. 供試エア・マットの構造

1. 1号エア・マット

試作し実験に供したエア・マットの構造概略を第1図及び写真1に示す。

素材はビニロン・ターポリンを主体に、上段側面のみナイロンシートを使用した。サイズは巾7m、奥行5m、厚さ2.7m(上段2.0m、下段0.7m)、内容積94.5m³、

第1図 1号エア・マット概略図

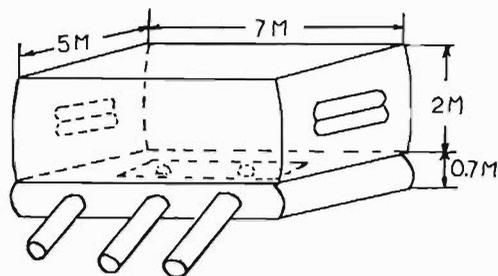
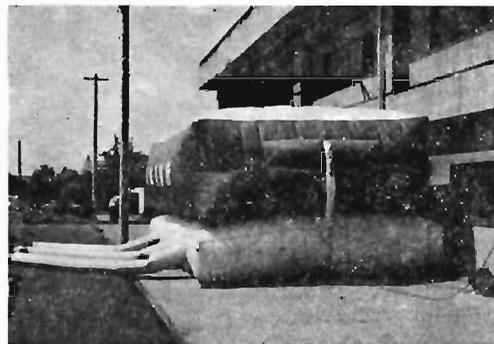


写真1 1号エア・マット



重量100kgの上下2段の空気室からなる構造である。

エア・マットの展張は、正面に設けた3本のダクトから、送風機でそれぞれマット上段、下段、及び上下段貫通部隔壁用閉止弁へ連続送気し、上段両側面に設けた排気弁から過剰空気を排出し、給・排気のバランスを保ってエア・マットを形成する。上、下段マットは、中央部に設けた400mmφ×2の貫通部の穴で接続されている。又空気圧でマットが円筒状に変形しないよう、上下方向に数カ所吊り索が取り付けられている。

一定量の送・排気で釣合っているエア・マットは、高所から人体が降下してマットが圧縮されると、上段両側面に設けた排気弁から瞬間的に空気を排出し、マットの沈みによる緩衝効果によって人体に対する衝撃

を吸収し、又急激な内圧上昇によるはね返りを防止する。又下段は排気口がないため緩衝効果は少ないが、底つき防止の作用をする。

エア・マットに使用する送風機は500W、口径280mmφ、静圧15mmAq、風量60 m^3/min のプロペラファン3台で、上段及び下段マットに各1台、上下段貫通部の閉止弁に1台を使用する。

2. 2号エア・マット

1号エア・マットにおける実験結果を検討し、安全性・実用性を考慮して改良したのが2号エア・マットである。

1号マットと基本構造は同じ給・排気式であるが、最大の相異点は上下2段のマットが完全に独立した空気室になっている点で、それぞれ単独に送気して下段の内圧を高く、上段は低くコントロールしている。又上段は給・排気のバランスを取るが、下段は完全密閉で送気のみである。

高所から人体が落下すると、上段の空気室の沈みで上段両側面の排気弁から空気を排出して緩衝効果を生じ、人体に対する衝撃を吸収する。一方下段マットは空気袋体として底つきを防止するためのものである。

構造概略は第2図及び写真2に示す。

第2図 2号エア・マット概略図

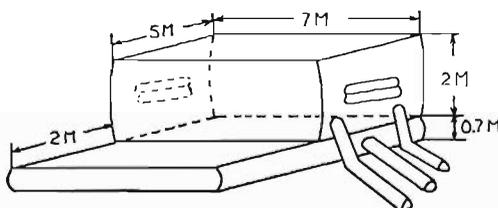


写真2 2号エア・マット



素材はビニロン・ターポリンを主体に、天井落下面のみに、ビニロン、ナイロンシートを重ね張りとした。

サイズは上段巾7m、奥行5m、厚さ2m、下段は巾7m、奥行7m、厚さ0.7m、全容積104.3 m^3 、重量約150kgである。又変形防止用の内部吊索を一号機のポイント吊でなく、数ヶ所の吊壁式とした。下段マットが前面に2m張出したのは、降下者がマット上から地

面に直接滑べり落ちるのを防止するためである。

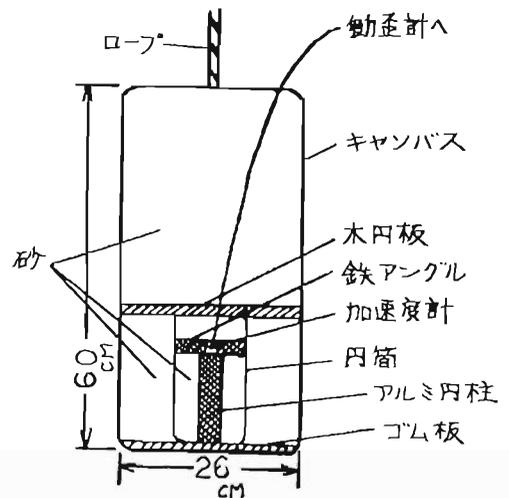
送風機は1号マットと同じものを使用しているが、上段マットには2本のダクトに各1台で送風し、下段マットには1本のダクトに送風機2台を直列にして送風する。

3. 計 測

1. 供試ダミーと減加速度の測定

実験には±100Gの加速度センサを内部に装着した、第3図に示す構造の砂ダミー(直径260mm、高さ600mm)を使用した。ダミーの重量は大人の平均体重に擬する

第3図 実験用ダミー



第4図 ダミー及びマットのセット状況

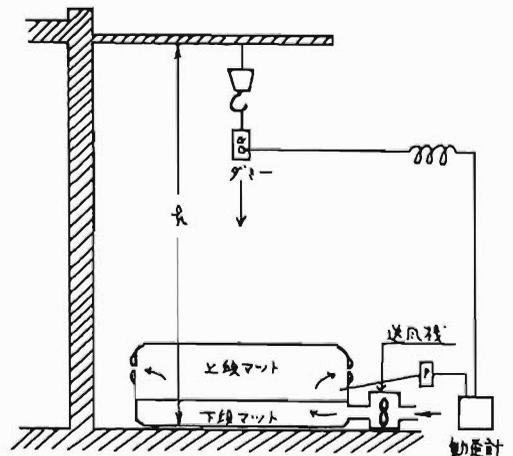


写真3 実験セット状況



ため62kgとした。

実験方法はダミーをクレーンで吊り上げてダミー底部と地表面の距離を所定の高さに設定する。吊り下げロープを切断するとダミーはそのままの姿勢でエア・マット中央部に自由落下し、マット上で生じたダミーの垂直方向の減加速度を動ひずみ計、電磁オンログラフで測定する。これらのセット状況を第4図及び写真3に示す。

第1表 1号エア・マット実験データ集

落下高さ (m)	加 速 度 (G)	20G以上 の時間 (秒)	全緩衝時 間 (秒)	上段内圧 (mmAq)	上段静圧 (mmAq)	下段内圧 (mmAq)	下段静圧 (mmAq)	沈み深さ (m)	底づきの 有 無
5	6	0	0.48	45	1	80	32.5	1.2	なし
	5.5	0	0.48	40	1	90	32.5	2.0	なし
	5.5	0	0.64	50	1	90	32.5	0.75	なし
7	11	0	0.39	95	1	140	32.5	1.6	なし
	10	0	0.39	75	1	130	32.5	1.2	なし
	9.5	0	0.48	65	1	110	32.5	1.3	なし
10	11	0	0.34	95	1	145	32.5	1.3	なし ダミー斜めに落 下
	12	0	0.34	90	1	165	32.5	1.0	なし ダミーころがり 落ちる
	11.5	0	0.34	100	1	175	32.5	1.25	なし ダミーころがり 落ちる

ダミーの落下高さは、1号エア・マット、2号エア・マットの実験共、各地上高5m、7m、10m、14m、17m、19mの計6段階でおこなった。

2. エア・マット内圧の測定

エア・マット上にダミーが落下すると、一定の送風、排気で釣合っているマットに瞬間的なへこみが発生し、内圧が上昇する。このマットの静圧、動圧の変化を上、下段各マットで測定した。

方法は上・下段マット各々に内径15mm、肉厚2mmのゴム管を挿入し、圧力変化をマット外に取り出し、これに圧力変換器を取り付け、動ひずみ計、電磁オンログラフで測定する。

3. エア・マットの沈み深さの測定

物体が落下した際のエア・マットの瞬間的なへこみが、落下物体の衝撃を吸収するのであるから、その沈み深さが緩衝性を左右し、G値に大きく影響する。又底づき等の危険を予測する上からも沈み深さを知ることには非常に重要である。

測定は原始的な方法であるが、エア・マット中央上面に取り付けた伸縮の少ないワイヤーの変位を読み取る方法で、ダミー落下時のエア・マットの沈み深さを測定した。

4. 実験結果及び考察

1. 減加速度とその持続時間

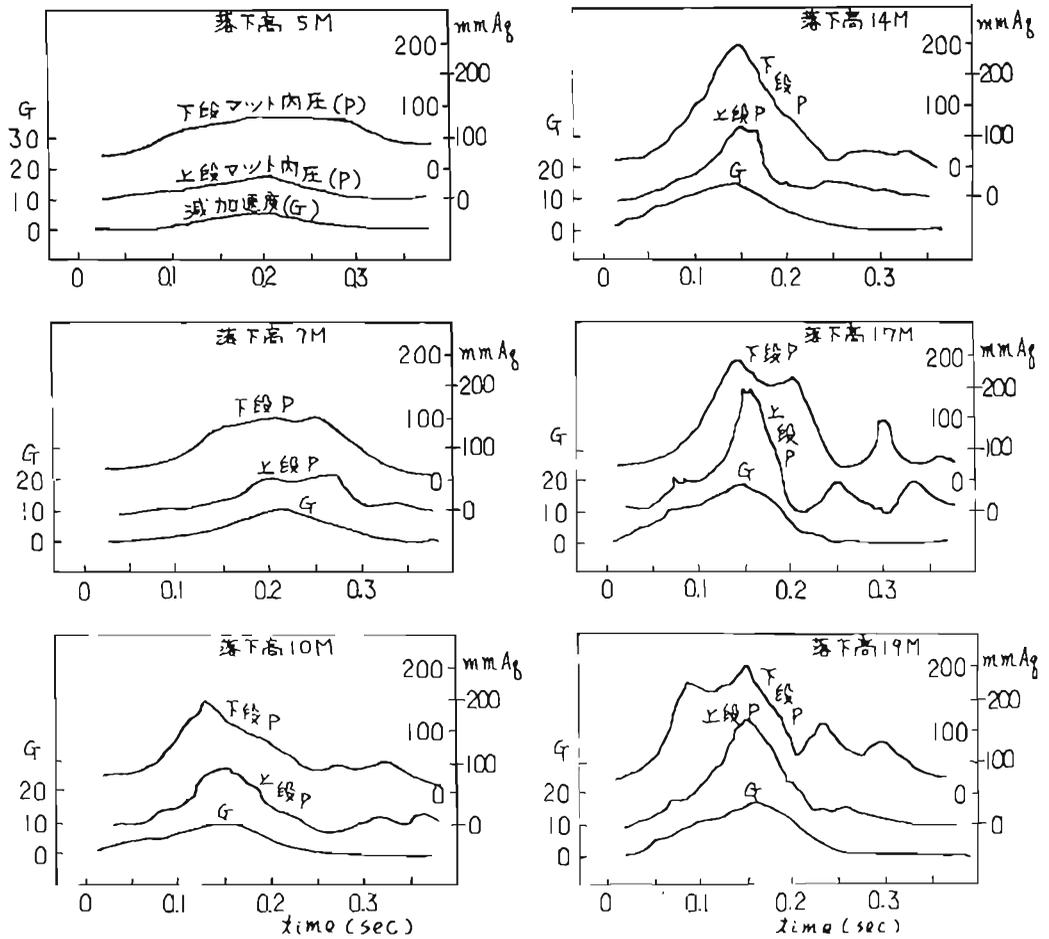
(1) 1号エア・マット

地上高5m、7m、10m、14m、17m、19mから砂ダミーを1号エア・マット上に落下させた。

ダミーが受けた減加速度の最大値と、加速度の全持続時間を第1表に、各落下高さ毎の減加速度の記録チャートの一例を第5図に示す。

落下高さ (m)	加速度 (G)	20G以上の時間 (秒)	全緩衝時間 (秒)	上段内圧 (mmAq)	上段静圧 (mmAq)	下段内圧 (mmAq)	下段静圧 (mmAq)	沈み深さ (m)	底づきの有無
14	15	0	0.34	130	1	205	32.5	1.7	なし
	14.5	0	0.23	135	1	160	32.5	1.55	ダミーころがり落ちる
	15	0	0.34	150	1	185	32.5	1.8	なし
17	14	0	0.29	185	1	210	32.5	1.75	なし
	19	0	0.26	140	1	180	32.5	—	なし
	19	0	0.25	150	1	160	32.5	2.61	なし
19	14	0	0.19	170	1	220	32.5	2.7	なし
	16	0	0.21	160	1	200	32.5	—	なし
	15	0	0.17	150	1	160	32.5	—	なし

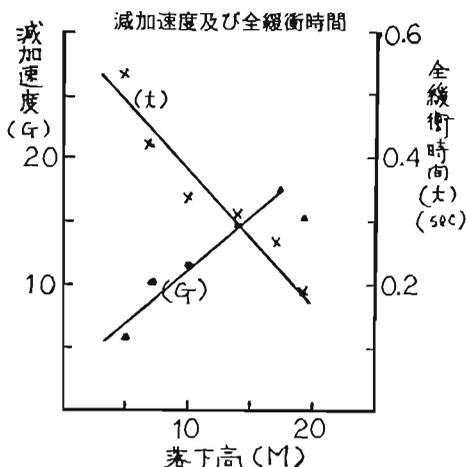
第5図 1号エア・マット ダミー落下時の減加速度及びマット内圧曲線



ダミー落下時の肉眼観察では、各落下高さ共ダミーははじき返し、底つきはなく、マット上に着地後沈みこんでほとんどそのままの姿勢で静止した。

ダミーがマット上で受けた減加速度と全緩衝時間の各落下高さ毎の平均値をグラフ化すると第6図になる。減加速度は5mから17mの間は落下高さに比例して増加するが、高さ19mで逆に減少する傾向がみられた。

第6図 1号エア・マットの落下高さ別



一方減加速度の全緩衝時間は高さに反比例して短か

くなり落下高さが高いほど急激なショックとして作用していることがわかる。

減加速度G値が人体に及ぼす影響については、G値とその緩衝時間、加速度の作用する方向、立ち上りの割合、体の位置、方向など様々な因子が加わり、G値のみで判断するのは危険である。しかし一応の目安として自衛隊航空医学実験隊で示されている、人間の耐衝撃性に関する資料から抜粋して消防科学研究所報第12号に記載したが、これには20G以下では安全限界、20G以上25~30Gで安全域と、中等度被害域、それ以上で中等度被害域といわれている。

上記を参考にして測定G値から人体に対する影響を推察すると、今回実験を行なった落下高さ19m以下はすべて20G以下におさまっており、いずれもほぼ安全域にあるといえる。

なを2~3の例でダミーがエア・マットに落下後、マット上から滑り落ちることがあった。

(2) 2号エア・マット

1号マット同様地上高5m、7m、10m、14m、17m、19mから砂ダミーを2号マット上に落下させた。

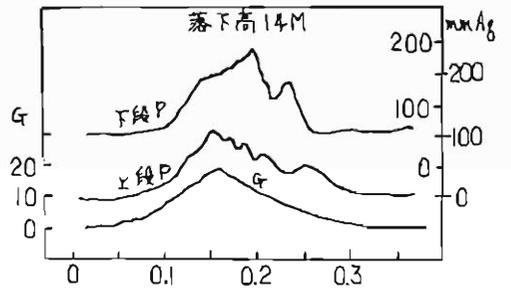
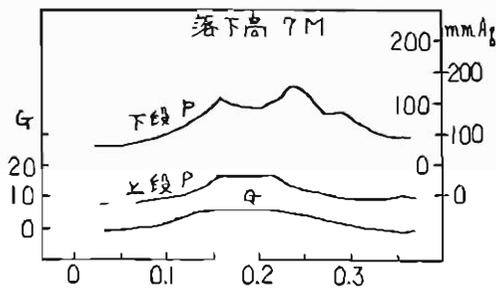
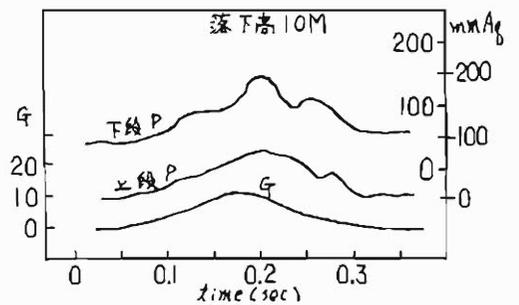
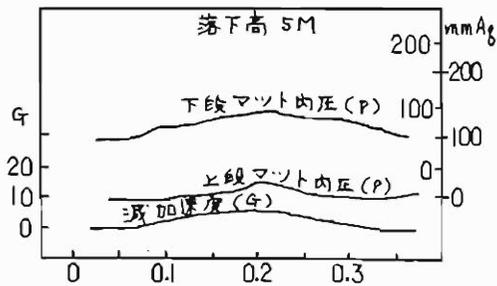
ダミーが受けた減加速度の最大値と加速度全持続時間を第2表に、各落下高さ毎の減加速度の記録チャートの一例を第7図に示す。

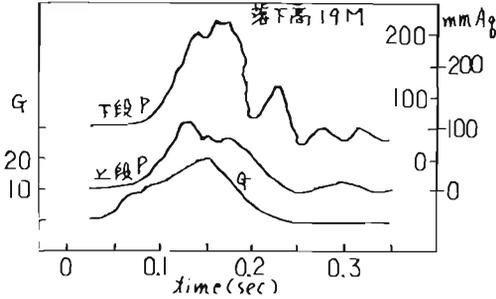
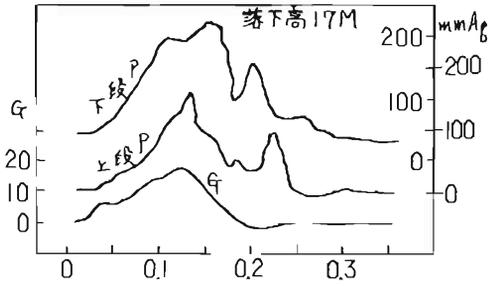
第2表 2号エア・マット実験データ表

落下高さ (m)	加速度 (G)	20G以上の時間 (秒)	全緩衝時間 (秒)	上段内圧 (mmAq)	上段静圧 (mmAq)	下段内圧 (mmAq)	下段静圧 (mmAq)	沈み深さ (m)	底つきの有無	備考
5	6	0	0.50	50	5	90	50	—	なし	上面シートナシ
	6	0	0.48	60	5	100	50	0.85	・	
	6	0	0.50	60	5	100	50	0.9	・	
	6	0	0.44	60	2	110	50	1.0	・	上段送風機1台停止
7	7.5	0	0.34	60	5	140	50	—	・	上面シートナシ
	8	0	0.43	70	5	130	50	1.2	・	
	8	0	0.43	70	5	130	50	1.2	・	
	7.5	0	0.40	50	2	110	50	1.2	・	上段送風機1台停止
10	13	0	0.32	100	5	180	50	—	・	上面シートナシ
	12	0	0.35	100	5	170	50	1.4	・	
	—	—	—	100	5	150	50	1.4	・	
	12	0	0.33	100	5	140	50	1.2	・	
	12	0	0.40	100	2	175	50	1.3	・	上段送風機1台停止

落下高さ (m)	加速度 (G)	20G以上の時間 (秒)	全緩衝時間 (秒)	上段内圧 (mmAq)	上段静圧 (mmAq)	下段内圧 (mmAq)	下段静圧 (mmAq)	沈み深さ (m)	底づきの有無	備考
14	16	0	0.27	100	5	160	50	1.4	・	
	11.5	0	0.35	100	2	160	50	1.6	・	上段送風機1台停止
	15	0	0.30	100	2	180	50	1.7	・	上段送風機1台停止
	16.5	0	0.30	105	2	170	50	1.8	・	
	16	0	0.25	110	2	170	50	1.7	・	
	14	0	0.25	110	2	160	50	1.6	・	
17	14	0	0.23	120	5	230	50	—	・	ダミー斜めに落下
	14	0	0.25	140	5	250	50	—	・	ダミー45°に傾斜して落下
	12	0	0.25	140	5	250	50	—	・	ダミー斜めに落下
	18	0	0.25	170	5	250	50	—	・	
	18	0	0.30	147	5	240	50	—	・	
19	16	0	0.23	150	5	250	50	—	・	
	20	0	0.23	140	5	240	50	—	・	
	20	0	0.23	140	5	240	50	—	・	
	20	0	0.23	140	5	240	50	—	・	
	12.0	0	0.14	150	5	220	50	2.2	・	

第7図 2号エア・マット ダミー落下時の減加速度及びマット内圧曲線

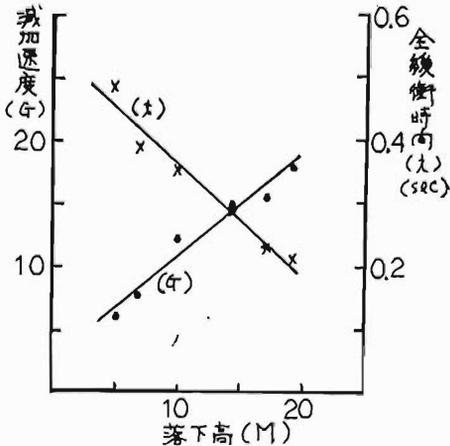




ダミー落下時の肉眼観察では、各落下高さ共、ダミーはマット上に比較的安定して着地し、底つきなど大きな異常はみられなかった。しかし高さ17mと19mで若干のはじき返しの現象がみられた。

ダミーがマット上で受けた減加速度G値と全緩衝時間の各落下高さ毎の平均値をグラフ化すると第8図のようになり、2号マットでは落下高さに対して減加速度は増加、全緩衝時間は減少する傾向にあり、その関係はほぼ直線的であった。

第8図 2号エア・マットの落下高さ別減加速度及び全緩衝時間



この減加速度G値の人体への影響は、落下高さ19mで最大20Gが計測されているが、これは安全域一杯にはいると判断される。加速度の作用時間は一般に、0.2秒以内では生体に衝撃力として作用するが、これ

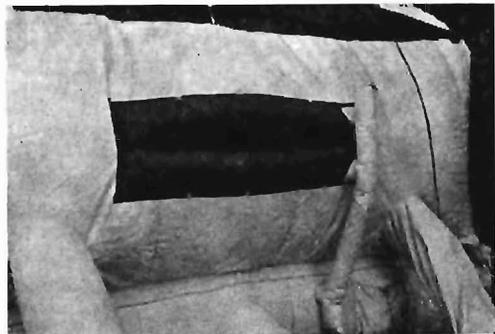
以上の時間では水力学的な働きとして影響してくるといわれているが、今回の測定ではいずれも、0.2秒を少し越える範囲にあり、衝撃力と水力学的力と両者の作用の重複時間域であった。

以上の結果から砂ダミーを使用した実験では、2号エア・マットは20m程度までの使用ではほぼ安全域にあるといえる。しかしこれは一つの鋼体が落下したものとしたが、人体では足、腰など人体全体の緩衝効果が期待出来る反面、生身であるというマイナス要素も考慮しなければならないので、この実験を人体が降下した場合に、そのまま置き換えることは危険であるといわねばならない。

その他2号エア・マットの実験結果で記録されるべき事項としては、

- ① 上段マットの送風機を1台のみ運転した場合の実験計測もおこなったが、2台並列で運転した場合と比較して、当然エア・マットの静圧は異なるが(1台の場合上段2mmAq、2台では5mmAq)、減加速度G値、すなわち耐衝撃緩衝性能においてはほとんど差はみられない。しかしダミー降下後のエア・マットの復元性に若干の時間を要する。
- ② 下段マットは送風機2台の直列送風でないで静圧が不足し、エア・マットの形状を保てない。
- ③ 底つきの可能性は、落下高さ20mの範囲までは、肉眼あるいはG値の測定結果から、エア・マットの送風が充分なされていればその危険性は考えられない。
- ④ 落下高さ19mの場合、2号マットは1号マットより大きな減加速度値を示したが、その原因は、2号マットの排気弁の開口面積が小さいため、瞬間的なマットの沈みに対して十分な排気を得られず、衝撃力が高く出たものと思われる。高さ17m、19mでダミーに若干のはじき反し現象がみられたのもそのためである。

写真4 2号エア・マット排気弁



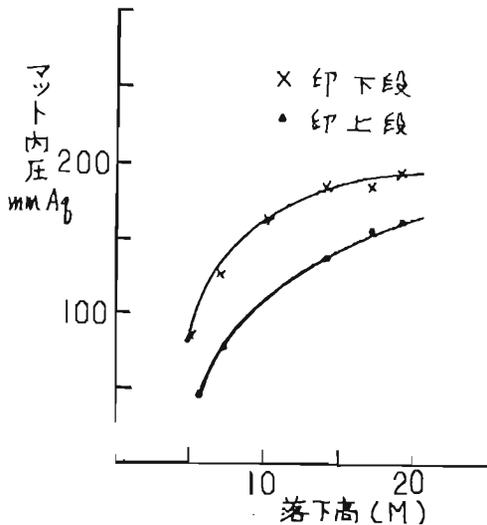
2. マット内圧

(1) 1号エア・マット

マットの静圧を上段1mmAq、下段32.5mmAqでダミーを落下し、マット上段、下段各々の内圧変化を測定した。その記録チャートを第5図に、各落下高さ毎の最大内圧値を第1表に示した。

又、第9図は各落下高さ毎の内圧測定値の平均値をグラフ化したもので、上段マットは高さ5mの45mmAqから17mの158mmAqまで、落下高さに比例してほぼ直線で増加するが、高さ19mで飽和する傾向がみられた。

第9図 1号エア・マット落下高さ別内圧



下段マットは高さ5mで87mmAq、10mで161mmAqまで上昇するが、14m以上からは飽和する傾向がみられた。

(2) 2号エア・マット

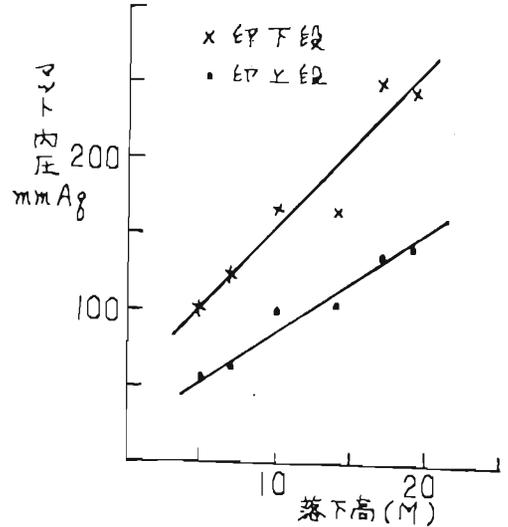
マットの静圧は上段で送風機2台使用の場合5mmAq、1台の場合2mmAq、下段は50mmAqとし、それぞれダミー落下時の内圧変化を測定した。各落下高さ毎の記録チャートは第7図に、各落下高さ毎の最大内圧の測定値を第2表に示した。

又第10図は各落下高さ毎の内圧の平均値をグラフ化したものである。

落下高さに対する内圧の上昇は、上段では高さ5mで60mmAqから高さ19mの140mmAqまではほぼ直線で上昇している。

又上段の送風機を1台あるいは2台使用して静圧を変えても、ダミー衝突時の内圧はほとんど差が生じなかった。すなわち衝突時の内圧増加率を低くするには、静圧を小さくするより、排気弁の大きさでコントロールの方が効果的であると考えられる。

第10図 2号エア・マット落下高さ別内圧



下段マットもダミー衝突時の内圧は、落下高さ5mの100mmAqから、高さ17mの250mmAqまで、ほぼ直線的に上昇するが、19mではやはり飽和する傾向がある。

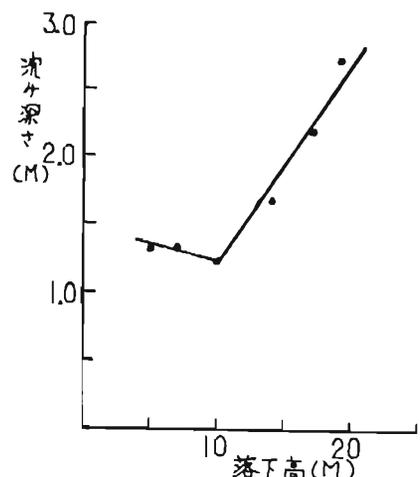
又2号機の下段は送風のみで排気口のない密閉型であるため、ダミー衝突時の内圧は相対的に高く計測されている。しかし内圧とマット速度の関係については、この程度の内圧上昇は膜体の強度に対して問題になる値ではないと考える。

3. 沈み深さ

(1) 1号エア・マット

沈み深さの測定は、沈み量に対応する糸の変位を読み取るという比較的原始的方法によったため、この実験ではデータのバラツキが大きかった。

第11図 1号エア・マット落下高さ別沈み深さ



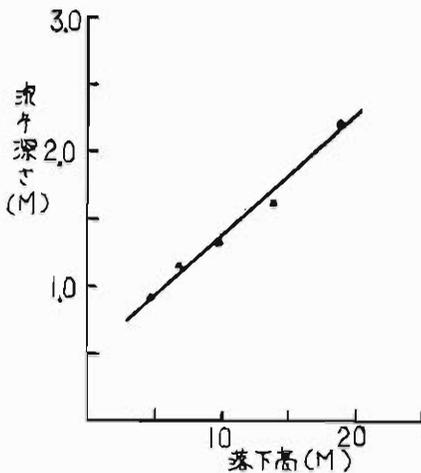
測定結果は第1表に示す。又このデータを元に一応各落下高さ毎の実測値を平均してみると第11図のようになり、地上高5mからの落下では沈み深さ1.35m、7mで1.37m、10mで1.18mと、落下高さ10mまでは沈み深さに大差はないが、14mからは、1.68m、17mで2.18m、19mで2.70mと14m以上では増加してくる。

落下高さ10mでやや沈み深さが浅く計測されたのは、ダミーの着地位置がエアマットの中心から若干ずれたためではないかと思われる。そのためにダミーもマットからころがり落ちている。

(2) 2号エア・マット

1号マットの場合と異なり比較的データのまとまりがよかった。測定結果は第2表に示す。又各落下高さ毎の実測の平均値をグラフ化して第12図に示したが、沈み深さは落下高さ5mの場合の0.9mから、19mの2.2mまではほぼ直線で増加している。

第12図 2号エア・マット落下高さ別沈み深さ



又上段マットの送風機を1台のみ使用した、上段マットの静圧2mmAqの場合と、2台使用した静圧5mmAqの場合でも、マットの沈み深さには差は生じなかった。

底つきの危険性については、1号マット、2号マット共、Gメータ上からは記録されなかったが、1号マットの落下高さ19mの場合に、一回の測定結果であったが、2.7mというマット一杯の沈み深さが計測された。

一方2号マットでは落下高さ19mで最大2.2mの沈み深さであるから、下段マットには接触しても底つきまでには未だ予備がある。

ある速度と質量を持って落下する物体をソフトランディングさせる場合、緩衝距離が長いほど衝撃力は小さくなる訳であるから、物体の落下を何回の緩衝距離で受け止めるかということは、その物体の受ける衝撃力に最も影響する。したがってエア・マットもマットの全高に対して何回の緩衝距離を持たせるかということ、緩衝力が平均にかかるようにすることは、安全性、信頼性の上から非常に重要な課題である。したがって沈み深さ、及び平均した減加速度が加わるようにする構造などの問題については、今後時間をかけてさらに解析していく必要がある。

5. あとがき

今回の実験は実用型に近いエア・マットの実験という意味で貴重なデータが得られたと考える。

現在までの結果からみて既存の救助マットに比べ約3倍の、地上高20m位からの使用も可能と思われるが、人命を扱うものであるから、実用化には慎重でなければならない。又救助機材のもつ宿命として万一ということも必ず想定されるわけであるから、これらについても十分なコンセンサスが必要であろう。

なを完全なエア・マットとして実用に供するため、今後さらに検討すべき事項としては、

- ① 送排気量と減加速度、沈み深さとの関係については、排気弁の構造、大きさの実験的検討などにより、今後、より一そう明らかにする必要がある。
- ② ダミーと人体の相関性を可能な限り明確にする。などが残されている。これらを検討し、より信頼性、安全性の高いエア・マットにしたいと考えている。