

安全ネットの性能実験結果について

Results of performance tests of the safety net

脇 賢・
菊 池 定 男・
神 田 淳・

We examined for performance of shock absorbing and movement of dummy when a dummy was fallen on the safety net. Consequently;

1. Negative acceleration that the dummy was fallen on the net was 14G in 3m high, 17G in 5m high.
2. When the dummy was fallen on the safety net, the behavior of that was shown by photo No4~8.

1. はじめに

近年、都市の近代化に伴い、高層建物からの火災が多くなってきたため、人命救助技術も高度のものが要求されている。特に高所の訓練には、隊員の安全管理の問題が重要であり、訓練用資器材として安全ネットが多く使われている。また、災害現場では、高所から飛び降りる人を救助するために、ネットの活用方法なども検討されている。

このような状況の中で、安全ネットに関し強度、展張方法、緩衝性能など基本的なことを把握しておく必要があるため実験を行ったので、その概要を報告する。

2. 供試ネットの構造、寸法、材質等

実験に使用したネットは、図1に示すとおり、大きさが4m角で菱目の有結節と無結節の2種類である。なお、各部の寸法、材質等については、表1のとおりである。

3. 落下体の構造、材質、寸法等

(1) 砂 袋

図2に示すとおり円筒形の布製バック内に砂を入れ、その底部に鉄板を敷き、その中央部に50G用の加速度変換器を取り付けたものである。総重量は64kgとした。

(2) ダミー

このダミーは、救助マット等の実験用あるいは救助訓練用として作られたもので、図3に示

すとおりの身長は160cm、体重は32kgである。胴体

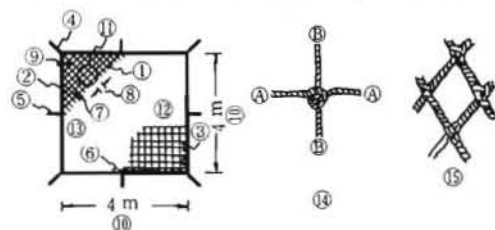


図1 ネット各部の名称

表1 ネットの寸法、材質

名称	寸法		材質
	供試ネット	既配置ネット	
網 糸	4mm	4.2mm	ナイロン
吊 網	12mm	12mm	
緑 網	12mm	12mm	
仕 立 寸 法	縦4m, 横4m	縦5m, 横8m	
網目の大きさ	100mm	90mm	

部、腕部、脚部の身幹中心には人体骨格に相当する直径4mmの鋼線を配し、身体部はポリエステル樹脂をガラス繊維で補強したFRPで作られている。各部の重量配分は、表2のとおり人間とほぼ同じに作られている。

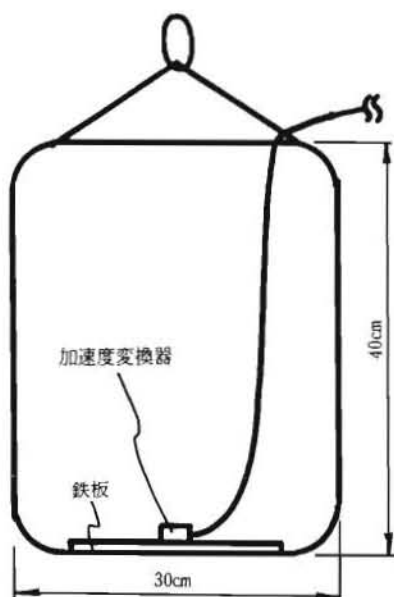


図2 砂袋の構造

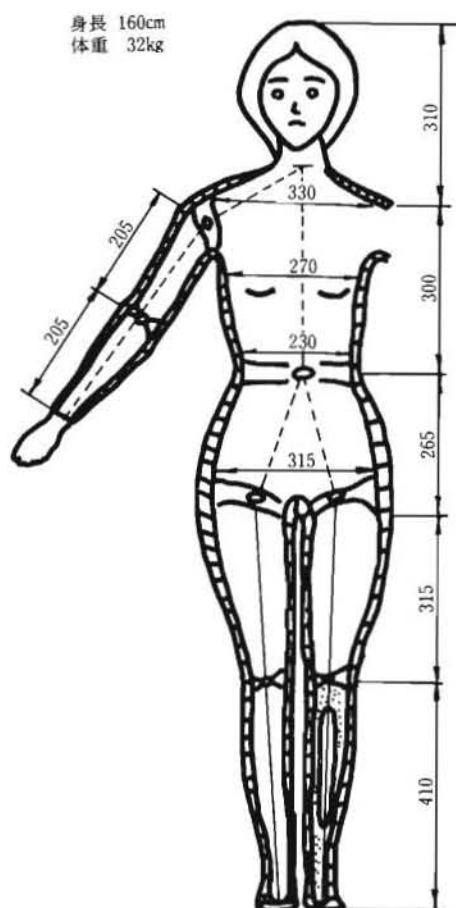


図3 ダミーの概略図(単位mm)

4. 実験項目

- (1) ネットの緩衝性能(減速度)の測定
- (2) ネットの変位測定
- (3) ネットの支持点反力の測定
- (4) ネット上に落下したダミーの挙動観察

5. 実験設備及び実験方法

図4、写真1～3に示すとおり鉄製のパイプで、組み立てた架台(5m角で高さ4.5m)にネットを8点及び12点で結着支持し、その隅部と辺部中央のそれぞれ1ヵ所に荷重変換器を取り付けた。また、架台の裏側にネットの変位を測定するための目盛板を設置した。加速度変換器を内蔵した砂袋は、ウインチによりネット底部より3m及び5mの高さに吊り上げ、落下装置により自由落下させた。

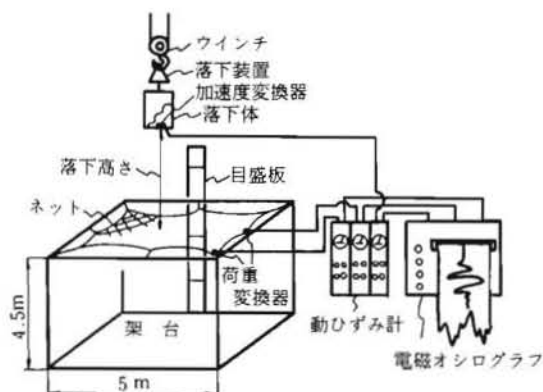


図4 実験装置概略図

表2 ダミー各部の重量配分

身体部位名	重量配分	
	Braun, Fisher の配分比(%) [*]	試作ダミーの 配分比(%)
頭部および 頸部	7.06	6.0
身幹部	42.7	40.0
上膊部	7.2	8.0
前膊部 および手部	6.24	5.0
大腿部	23.1	25.0
下腿部 および足部	14.1	16

※ 文献値⁽¹⁾による

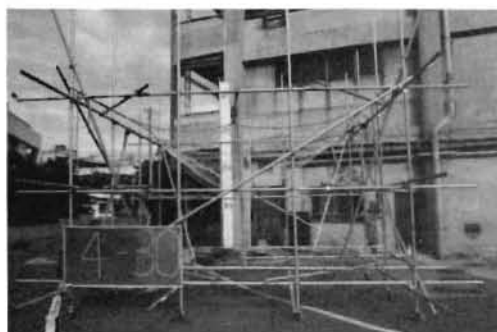


写真1 ネット設定状況

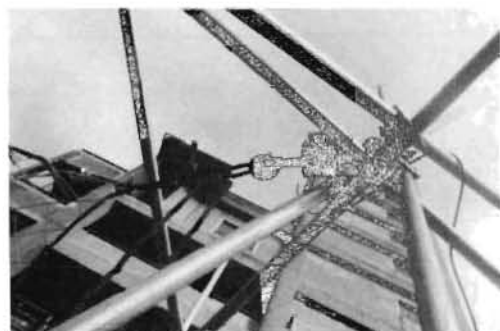


写真2 ネット隅角部に荷重変換器を取り付けた状況



写真3 ネット辺部中央に荷重変換器を取り付けた状況

砂袋の減速度とネット支持点反力の測定は、加速度変換器及び荷重変換器の出力を動ひずみ計で増幅し、電磁オシログラフに記録させる方法で行った。ネットの変位については、高速カメラにより毎秒50コマで撮影し、目盛板の読みから求めた。

ダミーの落下実験及びダミーの挙動観察は、ネットを8点で結着支持し、ウインチによりダミーを7 mの高さに吊し、背、胸、腰、足、頭方向からそれぞれ落下させた時の挙動を高速カメラにより毎秒100コマで撮影すると同時に35mmカメラで連写した。

ネットの破断実験については、砂袋をくり返し落下させ、ネットが破れるまで行った。

6. 使用用語の定義

(1) 減速度 (G)

Gとは、加速度を表す単位であり、自由落下による加速度 9.8 m/s^2 を1 Gとする。また、一般に速度が増加する場合を加速度といい、速度が減少する場合を減加速度(減速度)という。

(2) 衝撃力 ($F = ma$)

速度が急激に変化する場合の力を持ち衝撃力という。

(3) 支持点反力

ネットの支持点に加わる力という。

(4) ネット変位

落下体が落下した時、ネット底部の沈み量という。

7. 実験結果及び考察

(1) 減速度について

図5は、ネットを8点及び12点で結着支持し、落下体を落下させた時の減速度の測定結果である。両者の緩衝性を比較してみると8点支持の方が若干緩衝性がよいことがわかった。ネット展張時の支持点のとり方は、ネットの大きさや支持ロープの強度などを考慮し適正な支持点数にする必要があると思われる。今回の供試ネットについては、4隅及び4辺中央の合計8点を結着支持し一連の実験を行った。

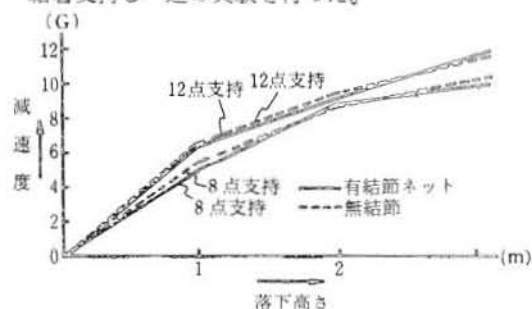


図5 支持点数と減速度

図6、図7は、8点結着支持で砂袋を3 m及び5 mの高さから落下させたものである。有結節、無結節ともに同様の傾向を示し、3 mの高さから1回目の落下では、有結節で9 G、無結節で8 Gと小さく緩衝性がよいことがわかる。しかし、1回目の落下により急激に緩衝力が弱

まり4～5回落下すると14～15Gでほぼ一定となる。落下高さ5mの時も同様の傾向で、1回目の時13～14G程度、4～5回落下すると17Gでほぼ一定となる。

また、図8、図9に緩衝性のないコンクリート舗装道路に落下した場合の減速度を示したが、地上50cmの高さからの落下で20G、3mでは56Gとなる。

加速度が人体に及ぼす傷害についての文献資料によると、航空機の脱出座席の場合、加速度の上限を20Gにとって設計している。これは、人体実験のデータに基づくもので20G以下が安全域、20Gを超え40G以下を中等度受傷域、40Gを超えると重傷域としている。また、加速度の作用時間によっても安全な領域といわれるGの値が異なっている。(表3参照)

これらのデータを基に安全ネットの実験結果及びコンクリート舗装道路面上への落下時のGの値を考察すると、安全ネットの場合は作業高さをネット底面より5m以下に設定する必要がある。また、直接道路面に落下した場合には、高さ50cmの落下でも20Gとなり、安全域を超えてしまうことになる。

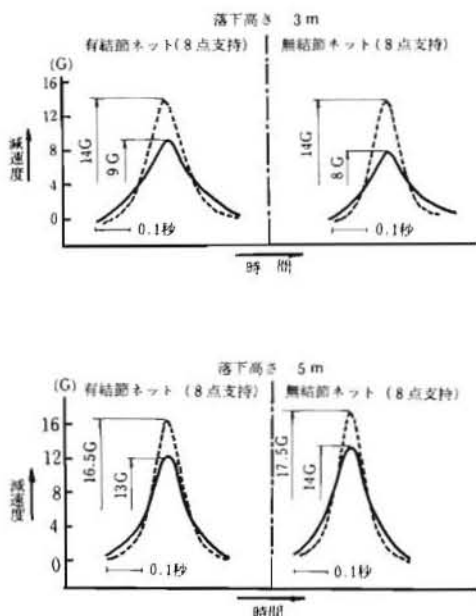


図6 64kgの砂ダミーをネット上に落下させた時の減速度

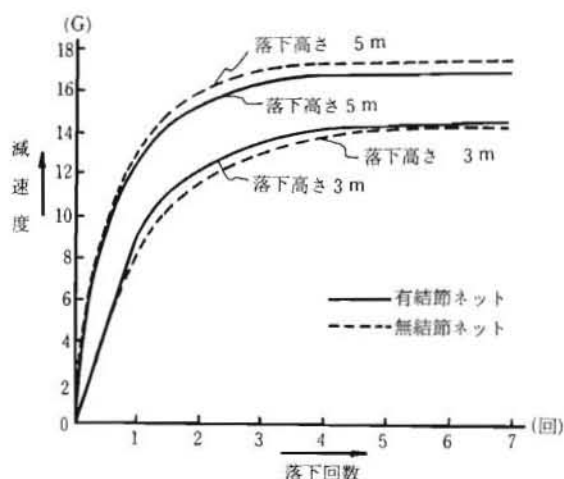


図7 落下回数と減速度

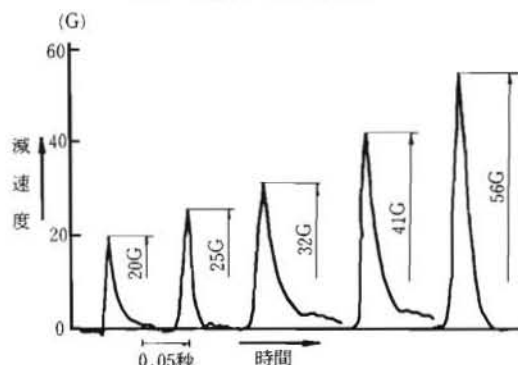


図8 64kgの砂袋をコンクリート舗装道路面上に落下させた時の減速度

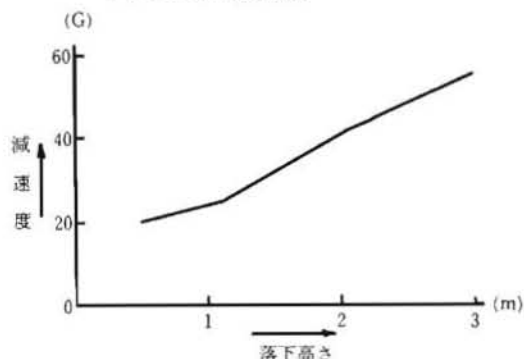


図9 コンクリート上へ落下させた時の減速度

表3 加速度の作用時間と安全なGの値

加速度の作用時間	安全なGの値
0.2秒	5G 以下
0.1秒	10G 以下
0.05秒	16G 以下
0.04秒以下	18G 以下

(2) ネットの変位について

ネットの変位は、図10に示したとおり減速度とほぼ正反対の傾向を示し、1回目の落下では2 m程度と変位が大きく、それ以降急激に減少し1 m程度でほぼ一定となる。このことから1回目の落下が最も緩衝性がよいことがわかる。

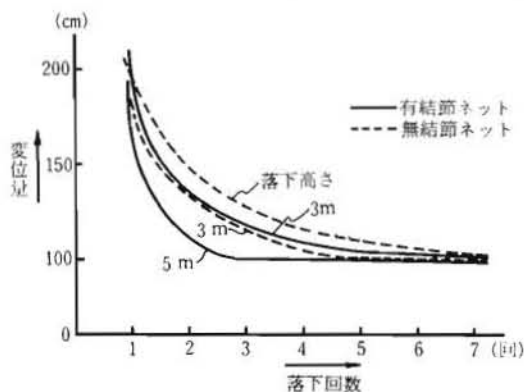


図10 落下回数と変位量

ネットを設定する際に支持部の高さを決める目安として次の式がある。

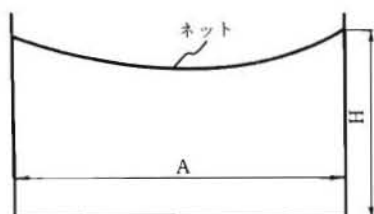
$$\begin{aligned} \text{ネットの支持点高さ } H \text{ (m) は、} \\ H \geq 0.85 \times (L + 3A) / 4 \cdots \cdots (10\text{cm網目}) \\ H \geq 0.95 \times (L + 3A) / 4 \cdots \cdots (5\text{cm網目}) \end{aligned}$$

ここで

L: ネットの短辺長 (m)

A: ネット周辺の支持間隔 (m)

ただし、 $A \geq L$ の範囲では、 $A = L$ とする。



(3) 支持点反力について

ネットを展張する場合、十分な強度がある所に結着しなければならないが、この強度については落下高さ、支持点数などで異なるため一概にはいえない。今回の実験では、5 mの高さからの1回目の落下で隅部の反力は350kg程度、辺部中央の反力は150kg程度であった。隅部の反力が辺部中央の反力より大きいのは辺部に作用した力の合力が加わるためである。

(4) ダミーの挙動について

写真4～8は、ダミーを7 mの高さから落下させた時の挙動である。写真4は背中からのもので、落下後ネットが最も沈んだ状態のとき、ダミーの腹部がかなり圧迫されている。しかし、人体の構造から推察しても最も安全な体位であると思われる。

写真5は、胸からのもので、ネットによってダミーが逆えびの形になり、内臓及び背骨等かなり負担がかかり、非常に危険である。

写真6は、腰からのもので、背中からの落下とよく似ているが、落下後人体が多少不安定である。

写真7は、足からのもので、生理的には足から飛び降りたくなるが、ネットに接触後体のバランスをくずし外へ飛び出す可能性もある。また、足を骨折する危険性が非常に高く、今回の実験ではダミーの膝の関節部分が折損した。

写真8は、頭からのもので、この方向はいくまでもなく非常に危険であり、首や背骨にかなり負担がかかるため骨折等は必至である。今回の実験では、写真9及び10のように腰部及び頭部が損壊した。

(5) ネットの破壊について

ネットに砂袋を3～7 mの高所から合計36回落下させた結果、ネット中央が破れ砂袋が貫通した。

8. ま と め

落下実験における砂袋の挙動を観察した結果、特にネットの張り方が強いと砂袋がネット上でバウンドし、ネットの外へ飛び出してしまうことがある。従って、安全ネットによって人体を受け止めるには、ネットの展張方法、性能及び人体落下時の挙動等を十分に熟知しておく必要がある。

ネットの緩衝特性については、落下高さが5 m程度でもダミーが受ける減速度Gはかなり大きく、また、落下時の人体の姿勢によっても二次的の傷害が発生するおそれもあるので訓練等においても十分に注意する必要がある。

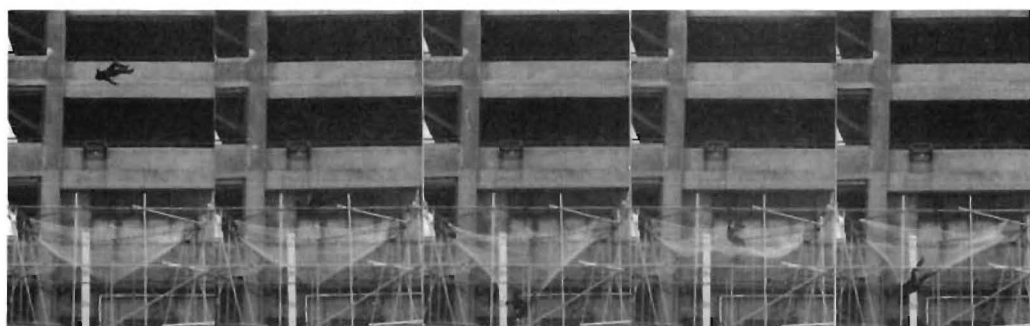


写真4 背中からの落下によるダミーの挙動

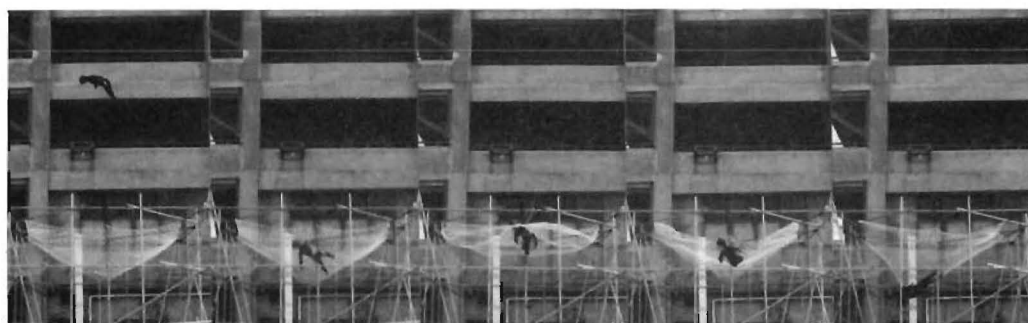


写真5 胸からの落下によるダミーの挙動

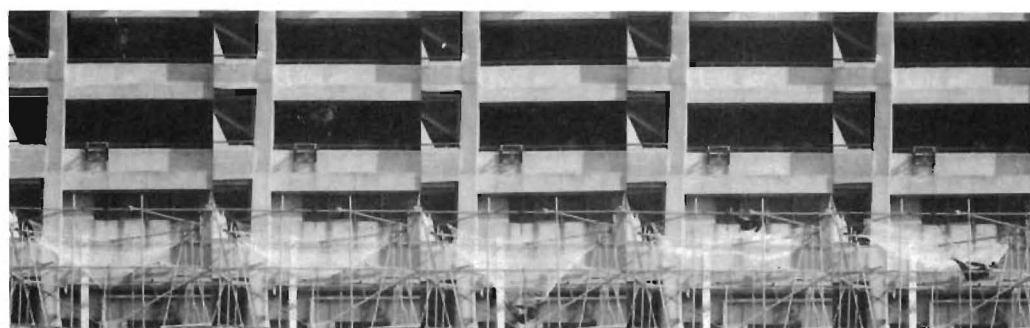


写真6 腰からの落下によるダミーの挙動

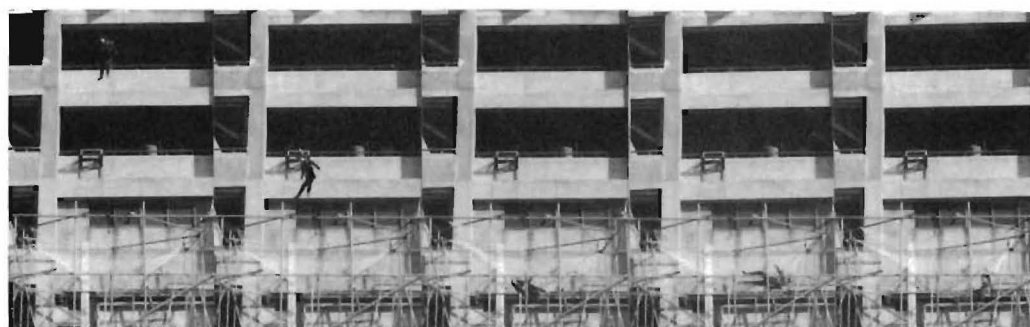


写真7 足からの落下によるダミーの挙動

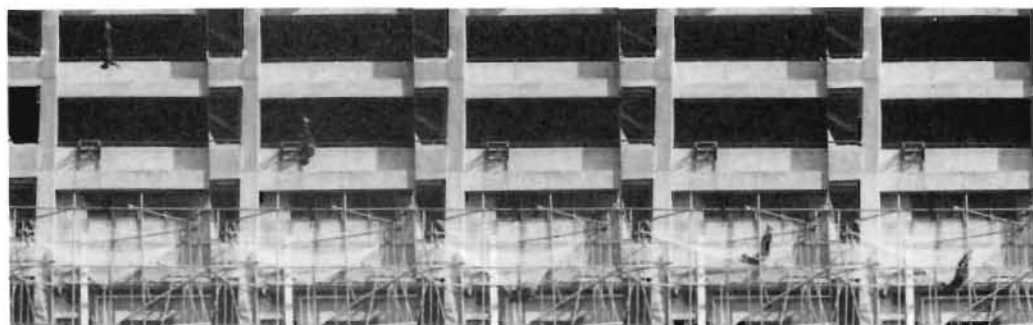


写真8 頭からの落下によるダミーの挙動



写真9 腰部の損傷状況



写真10 頭部の損傷状況

9. 参考文献

- (1) 木村鈞一他, 産業安全研究報告 (1971)
- (2) 社団法人仮設工業会, 安全ネット認定基準草案 (1979)
- (3) 科学技術庁, 人間機能データブック, 人間—環境系 (上巻)