

各種飛翔体の衝突時の 衝撃力に関する試験

(第1報)

平成22年4月16日

防衛大学校建設環境工学科
衝撃工学研究室
教授 大野友則

1 試験の目的

ある飛翔体が物体に衝突した際の衝撃は、衝撃エネルギー（運動エネルギー： $mv^2/2$ 、 m は飛翔体の質量、 v は飛翔体の衝突速度）で評価することが多い。しかしながら、衝突現象はエネルギーだけでなく、飛翔体先端の形状・硬度および被衝突体の剛性・硬度の相対関係で異なることがわかっている。例えば、質量・形状が同じ物体をコンクリート（硬い）ものとゴム板（柔い）ものに同じ速度で衝突させた場合、衝撃エネルギーは同じであるが生じる破壊は異なる。

そこで、本試験では物体の衝突による衝撃威力を表わす指標として衝撃力（荷重）を計測することにした。用いた飛翔体は、和弓および洋弓の矢、競技用エアライフルとスモールボアライフルの弾丸、9mm 拳銃弾の5種類である。これらの飛翔体の諸元を表1に示す。

表1 各飛翔体の諸元

飛翔体の種類・名称	先端の形状・材質
和弓の矢	半球・
洋弓の矢	先鋭・
エアライフル（AR）弾	平坦・鉛
スモールボア（SB）弾	半球・鉛
9mm 拳銃弾	半球・鉛＋銅合金被甲

2 試験の実施

（1）試験の概要

試験は、建設環境工学科衝撃工学研究室の耐弾実験室で行った。衝撃力（荷重）の計測は、10tf用ロードセル（荷重変換器：共和電業製）を用いた。ロードセルの受感部は直径5cm程度で標的としては小さいため、縦25cm×横25cmの大きさの鋼板（厚20mm）を受感部に固定した。衝撃荷重は、この範囲に当たれば計測できるようになっている。

このロードセルから約8m離れた位置から、各種飛翔体を発射して標的（荷重計測板）に当たるようにした。標的に衝突した際の現象（衝撃の力と波形）は、シグナルコンディショナーを介してPCに計測・記録される。試験の概要を図1、計測の状況を図2に示す。

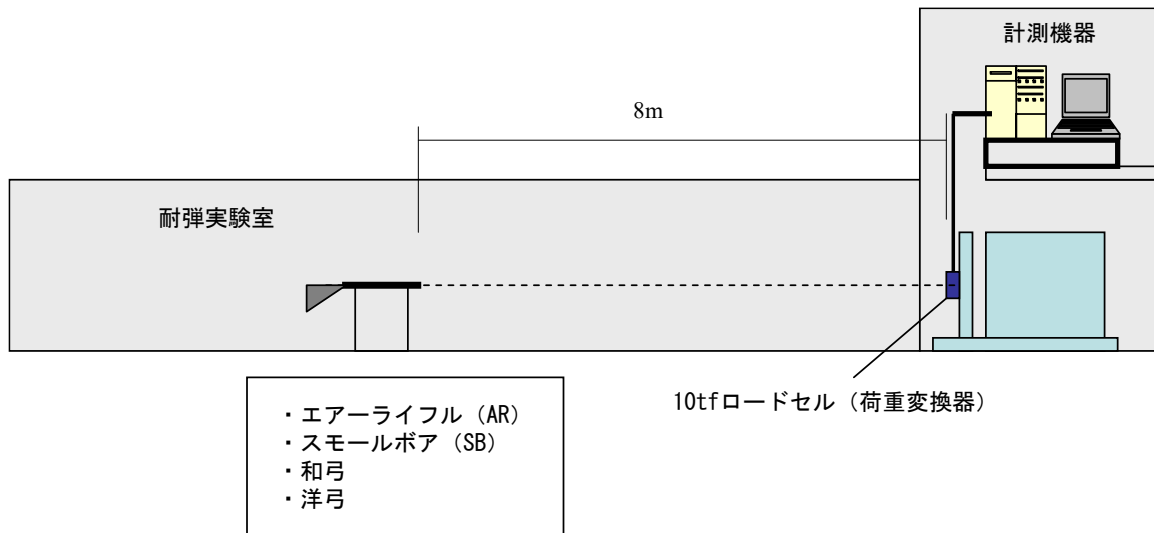


図 1 試験の概要

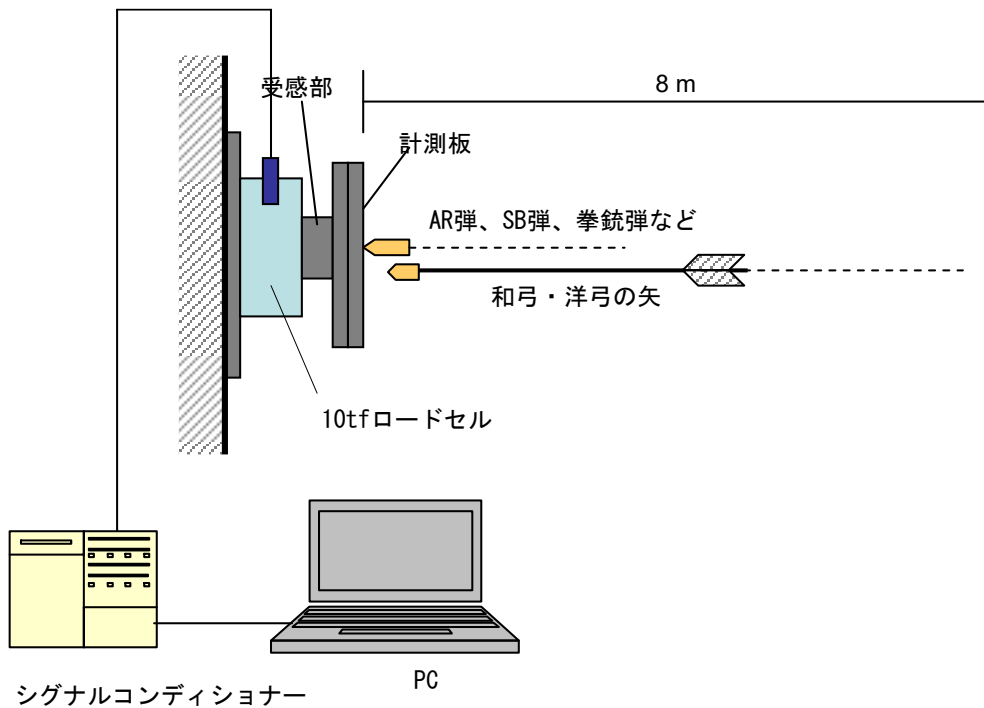


図 2 衝撃力計測の状況

(2) 試験の結果

1) 和弓の矢の衝撃

和弓本体は非常に長いことに対して、実験室の天井までの高さが低いため狙いが容易でなく、小さい標的（計測板）に命中することが困難であった。矢の数が限られていたため、数回の試行のうち 1 回だけ命中した。そのときの衝撃力と波形を、図 3 に示す。最大衝撃力は、約 218kgf であった。

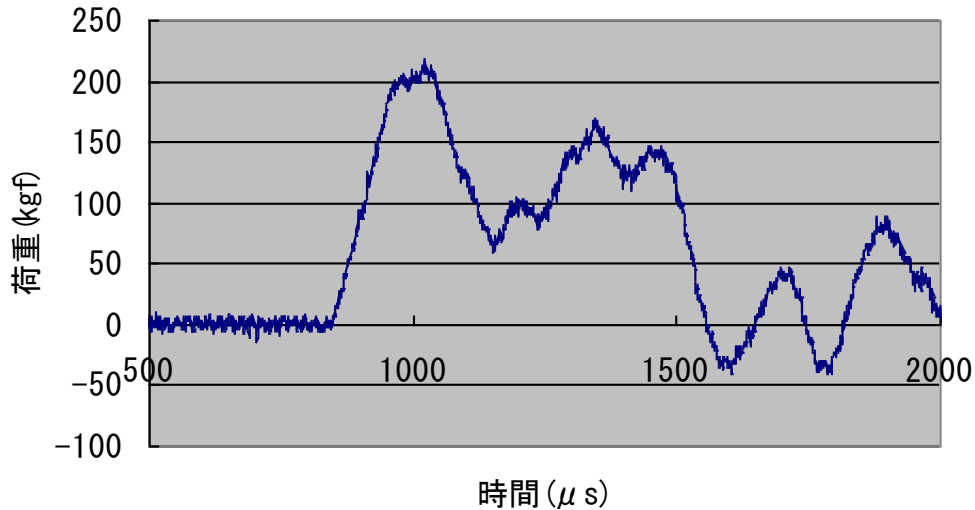


図3 和弓の矢の衝撃力波形

2) 洋弓の矢の衝撃

洋弓は、和弓に比べると全体の長さは短く、かつ狙いのバランス調整機構があるため命中率は高い。それでも、実験室内が狭いため不自由さで4回の試行の命中位置や矢の衝突姿勢が異なったため、衝撃荷重値にバラツキが生じた。そのときの衝撃力と波形を、図4に示す。4回のうち最大衝撃力は約403kgfであった。

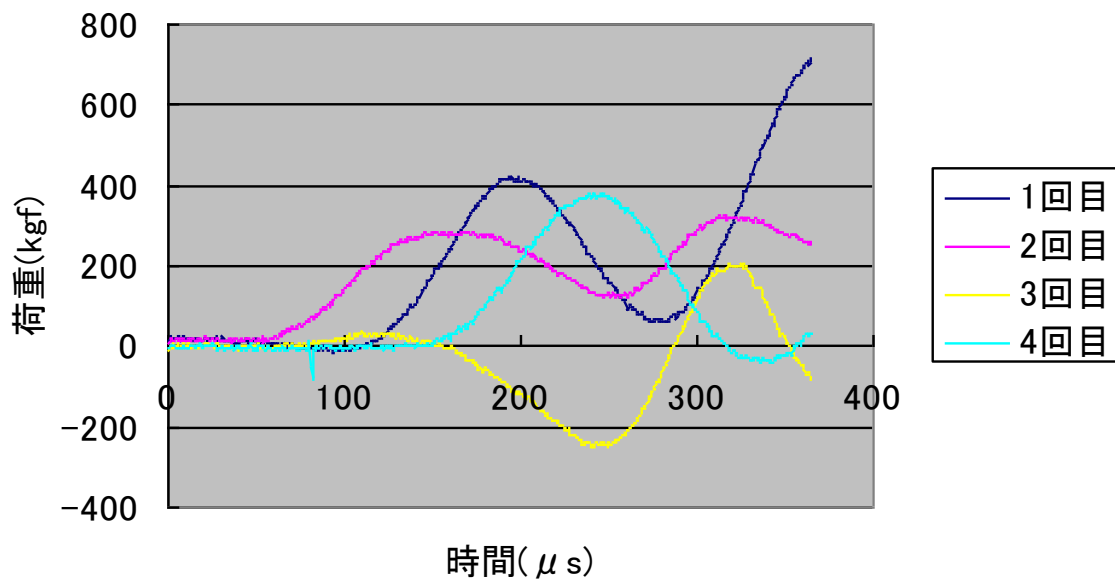


図4 洋弓の矢の衝撃力波形

3) エアーライフル弾の衝撃

エアーライフル弾は、質量が小さい鉛弾でかつ空洞形状である。3回の試行を行い、3発ともほぼ標的中央に衝突した。そのときの衝撃力波形を、図5に示す。3回の計測結果は、ほとんど同じであった。波形を見ると、2つの山が生じているが、最初の山は弾丸前面が計測板に衝突した際に生じ、弾丸全体がつぶれる状態になった時に最大衝撃力となっている。最初の衝撃力は約

50kgf で、2 番目の山（最大）は約 65kgf である。

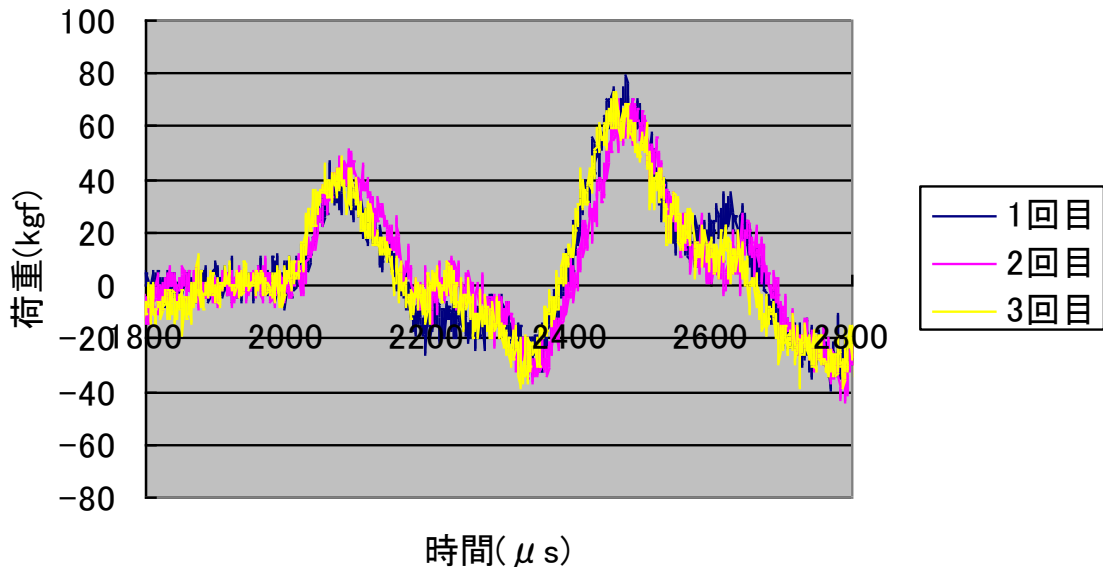


図5 エアーライフル弾による衝撃波形

4) スモールボア弾の衝撃

スモールボア弾は鉛弾で、質量はエアーライフル弾よりは大きいですが、これも比較的小さい。3回の試行を行い、3発ともほぼ標的中央に衝突した。そのときの衝撃力波形を、図6に示す。3回の計測結果は、ほとんど同じであった。波形を見ると、エアーライフル弾の場合とは異なり、山は1つだけ生じている。これは、エアーライフル弾と違って、鉛の弾丸が一つの塊になっていることによる。最大の衝撃力は平均で約402kgfであった。

5) 9mm 拳銃弾の衝撃

9mm 拳銃弾は、質量5g、鉛+銅合金被甲、衝突速度約300m/sである。衝撃波形を図7に示す。3回の試行において、2回はほぼ同じ位置、3回目はやや標的中心をはずれて衝突した。平均値は、約1,226kgfであった。

6) 衝撃力の評価

試験に用いた各種飛翔体は質量・形状・大きさが異なるので、計測された衝撃力値そのままでは比較・評価ができない。したがって、飛翔体の詳細を考慮した評価は別途行うことにする。ここでは得られた衝撃力を、飛翔体の衝撃威力の比較指標として評価する。1)～5)の試験結果における最大衝撃力を、表2に示す。

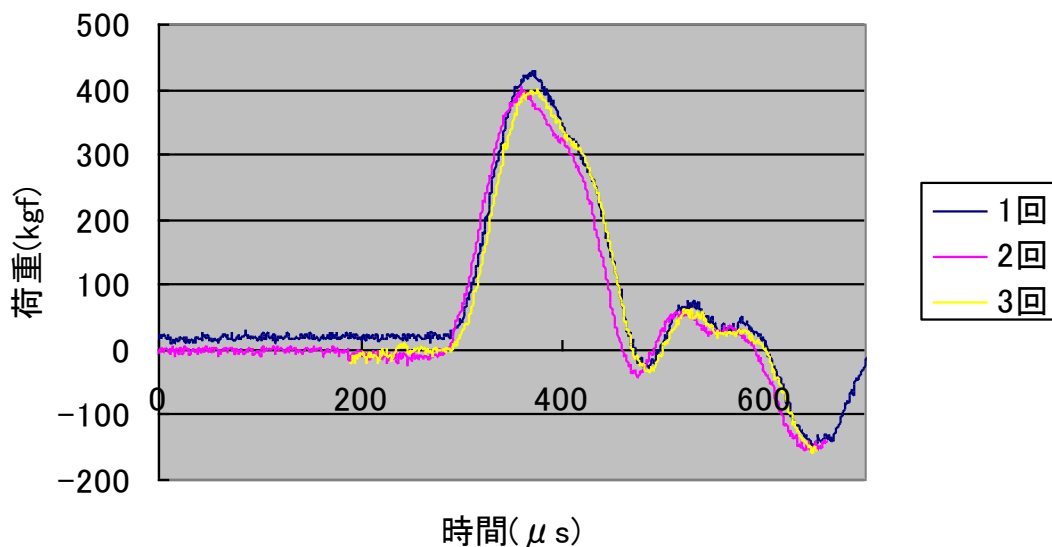


図 6 スモールボア弾の衝撃波形

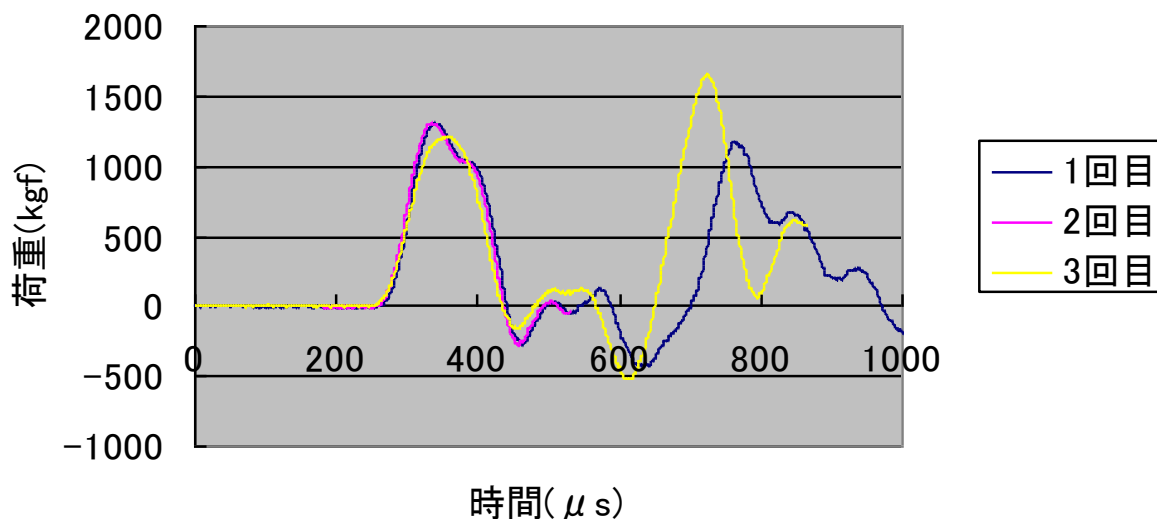


図 7 9mm 拳銃弾の衝撃波形

表 2 各種飛翔体の最大衝撃力および衝撃値

	衝撃荷重 (kgf)						威力比	
	1回目	2回目	3回目	4回目	平均値	最大値		
和弓の矢	218	—	—	—	218	218	0.53	4.11
洋弓の矢	403	307	205	371	321	403	0.98	7.75
エアライフル弾	48	52	49	—	49	52	0.13	1
スモールボア弾	411	405	394	—	403	411	1	7.90
9mm 拳銃弾	1300	1169	1209	—	1226	1300	3.16	25.0

各種物体の衝突による衝撃力として、参考値を表 3 に示す。これらの衝撃力は、高さ 16m の位置から自由落下させたとき（衝突速度は、約 18m/s=64km/h）の衝撃力である。また表 4 は、金

属バットや金鎚（ハンマー）で思い切り叩いたときの衝撃力である。

表 3 いろいろな物体の落下衝突による衝撃力（衝突速度：64km/h）

種類	質量 (g)	衝撃力 (kgf)
ゴルフボール	56	510
テニスボール	50	80
乾電池	137	280
PET ボトル (水)	550	520
	1,550	2,300
缶ビール	375	450

表 4 打撃による衝撃力

打撃物	質量 (g)	対象物	打撃速度 (km/h)	衝撃力 (kgf)
金槌	250	鋼板	41.7	5,010
		コンクリート板	52.2	1,920
金属バット	750	コンクリート板	92.6	1,490
		煉瓦	105.7	3,410
		鋼板	92.7	1,270

3 各飛翔体の衝撃威力の比較・評価

衝突体の質量・衝突速度・形状・材質等を考慮しないで、衝突による衝撃力だけを比較すると、表 2 に示したようになる。スモールボア弾を基準とした場合は、エアライフル弾による衝撃力はその約 1/8 で 0.13 倍である。また、和弓の矢は約 1/2 の 0.53 倍、洋弓の矢は 0.98 倍でほぼ同じである。次に、エアライフル弾を基準とすると、和弓の矢、洋弓の矢、スモールボア弾は、それぞれ 4.11、7.75 および 7.9 倍の威力を示すことがわかる。

参考にした表 3、4 の各種物体の衝撃力は、表 3 の物体に比べて質量がはるかに大きいため、衝撃力も大きな値となっている。ただし、質量が最も小さく、柔らかい材質でできたテニスボールの衝撃力（質量 50g、衝突速度 64km/h）は約 80kgf であり、エアライフル弾の衝撃力 52kgf に近い。すなわち、衝撃力で比較した場合は、エアライフル弾の衝撃力はテニスボールが当たったときの衝撃に近いということになる。

テニスボールによる衝撃エネルギー E は、 $E = mv^2/2 = 0.83 \text{ (kgf} \cdot \text{m)} = 8.1 \text{ (N} \cdot \text{m)} = 8.1 \text{ (J)}$ になる。人体が損傷を受けるエネルギー値は、約 80 (J) 以上であることが知られており、8.1 (J) の衝撃エネルギーでは人体（頭部、顔面、目などを除く）に損傷を及ぼすことはないと言える。