# ゴム系材料による小径高速飛翔体の運動エネルギー減衰効果に関する研究

田中 信行 防衛大学校 学生会員 日高健太朗 学生会員 正会員 大野 友則 正会員 別府万寿博

#### 1.緒言

物体が RC 構造物に高速で衝突すると , コンクリート部材には貫入 , 裏面剥離 , 貫通などの局部破壊が生じる . その結果、人の生命や構造物の機能の維持が損なわれる可能性がある、このような物体の高速度衝突に対するコ ンクリート部材の破壊を防止するための防護対策としては,被衝突側を防護・補強する手段が考えられる.これ に対して、衝突物体の衝突速度や運動エネルギーを構造部材に衝突する以前に低減させることも有効と考える、 本研究は,直径8mm程度の小径高速飛翔体の運動エネルギーを,ゴム系材料によってどの程度減衰させることが できるかを衝突実験により調べたものである.

### 2.実験の概要

本実験は図-1 に示すように,火薬式発射装置を用いて全長約30mm,直径約8mm,質量約10gの金属製小径高 速飛翔体(以下,飛翔体と呼ぶ)を約700m/sの初速度で発射し,ゴム系材料供試体に衝突・貫入させた.発射装 置とゴム供試体先端との距離は約7mである.ゴム供試体は未加硫でゲル状の性質をもつ一辺 $250mm \times 250mm$ の 直方体である、厚みはパラメータとして表-1 に示すように変化させた、各ケースの厚みは、5cm 厚のゴム板を重 ねることで調整している.ゴム供試体内を通過する際の飛翔体の挙動は,ゴムの厚み 5cm 毎の飛翔体貫通痕を調 べることにより求めた.また,ゴム供試体の前方と後方に2枚の検速紙を設置し,供試体に対する貫通前後の飛 翔体の速度を計測した.

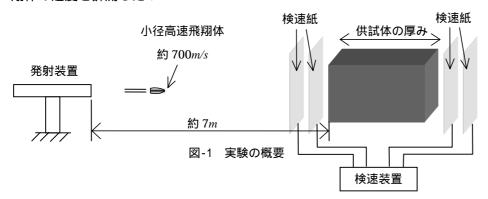


表-1 実験パラメータと試験数

Case	供試体の	試験数
Name	厚み(cm)	<b>百</b> 以 尚央 女义
w10	10	4
w20	22	3
w30	33	5
w35	35	5
w40	39	5

### 3.1 貫通後の速度と飛翔体の挙動

供試体に対する貫入前の速度は,全てのケースにおいて700±20m/sであ り,平均は701m/sである.供試体の厚みと飛翔体の貫通後の速度の関係を 図-2 に示す.これより,供試体の厚みが増加するにしたがって貫通後の速 度が小さくなっていくこと、また貫通後速度のばらつきが大きくなることが わかる.また,厚みが40~50cmになると貫通後速度は0に近づいている. ここで,実験ケース w20 と w40 の飛翔体の貫通経路を図-3 に示す.これよ リ, w20, w40 のいずれも,衝突面から10~15cmまで飛翔体はほぼ直進し

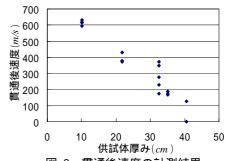
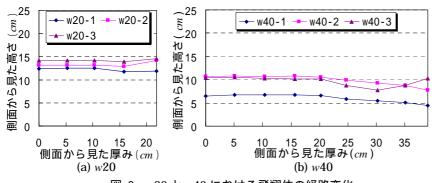


図-2 貫通後速度の計測結果

ているが,15cm 以降ではやや上下に蛇行している.これは,供試体内において飛翔体の運動エネルギーが減衰 し,速度がある程度小さくなると,飛翔体自体の形状特性や運動に対するゴム系材料の抵抗のために経路が変化 するものと考えられる.また,供試体の厚みが大きい w40 の方が経路変化が大きいことから,図-2 における貫

キーワード:高速飛翔体,エネルギー減衰効果,ゴム系材料

連 絡 先:〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel046-841-3811 Fax046-844-5913





貫入前(検速紙 ) 貫通後(検速紙 ) 写真-1 貫通前後の飛翔体の痕

図-3 w20とw40における飛翔体の経路変化

通後の速度のばらつきは,この経路変化に関係していると考えられる.写真-1は,検速紙に残った貫通前後の飛翔体の形跡を示している.これより,貫入前に垂直に入射する飛翔体は,貫通後には横向きの状態で通過していることがわかる.すなわち,飛翔体は供試体内で回転していることが推測される.

## 3.2 エネルギー減衰効果

各ケースにおける貫入前,貫通後の速度から,それぞれの運動エネルギーを求め、その差からゴム供試体を貫通する際の飛翔体のエネルギー減衰量を求めた.ここで,貫入前の運動エネルギーに対するエネルギー減衰量の比をエネルギー減衰比とする.図-4に供試体の厚みに対するエネルギー減衰比の関係を示す.これより,供試体の厚みの増加とともにエネルギー減衰比も増加し,厚み 40cm で運動エネルギーの 9 割以上が減衰されている.

次に ,経路変化や回転がほとんどなく ,一定のエネルギー減衰効果が見られたケース w10 に基づいて ,貫通後速度の評価式を誘導する .ケース w10 において ,供試体貫入前 ,貫通後の飛翔体の平均速度はそれぞれ 700m/s , 610m/s であった . ここで ,前後の速度をそれぞれ  $v_i$  ,  $v_f$  ,飛翔体の質量を m とすると , w10 を貫通することによって飛翔体が失う運動エネルギー損失  $\Delta E$  は次のようになる .

$$\Delta E = E_i - E_f = \frac{1}{2} m \times (700^2 - 610^2) = \frac{1}{2} m \times (117900)$$

従って供試体 1cm を通過する際に失われる単位エネルギー損失  $\Delta E_0$  は

$$\Delta E_0 = \frac{1}{2} m \times (\frac{117900}{10}) = \frac{1}{2} m \times (11790)$$

で表される. 貫通後のエネルギー $E_f$ は B を供試体の厚み(cm)とすると,

$$E_f = \frac{1}{2} m v_f^2 = \frac{1}{2} m v_i^2 - \Delta E_0 \times B$$
 (1)

と表せる.式(1)を変形すると,貫通後速度 $v_t$ が次のように表される.

$$v_f = \sqrt{v_i^2 - 11800 \times B} \tag{2}$$

 $v_i$ =700m/s として式(2)を用いた結果と実験結果と重ねて図-5に示す. 実験結果と評価式による結果は概ね一致していることがわかる. すなわち,誘導した評価式によって,本試験で用いたゴム系材料の厚みに対する貫通後速度を比較的精度よく評価できると言える.

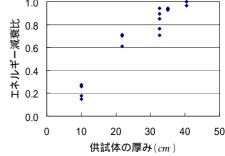
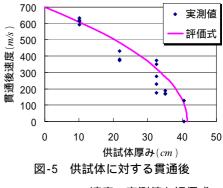


図-4 供試体の厚みに対するエネルギー減衰比



速度の実測値と評価式

### 4. 結言

- (1) ゴム系材料を用いることにより、小径高速飛翔体の運動エネルギーを減衰させることが可能である。本試験で用いたゴム系材料では、供試体の厚み  $40 \sim 50 cm$  で貫通後速度が 0 となる。
- (2)ケース w10 の結果に基づいて,ゴムの厚みに対する飛翔体の貫通後速度の評価式を誘導した.
- (3) 材料が異なるゴムを用いた場合は,式(2)中の係数を修正する必要がある.