

異なる温度状態下にある粘弾性体中を通過する小径高速飛翔体のエネルギー減衰効果

防衛大学校 学生会員 ○田中信行 正会員 大野友則 正会員 別府万寿博

1. はじめに

コンクリート構造物が物体の高速衝突を受けると、貫入、表面破壊、裏面剥離、貫通などの局部破壊が生じ、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対策として、防護・補強するなどの手段が考えられる。一方、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前に低減させることも有効と考えられる。本研究は、直径約 8mm の小径高速飛翔体の運動エネルギーを低減する材料として、粘弾性体に着目した。一般的に粘弾性材料は温度が高くなると柔らかくなり、温度が低くなると硬くなるなどの材料特性が変化するという、温度依存性を有することが知られている。そこで、粘弾性体の温度および物性を変化させて衝突実験を行い、小径高速飛翔体の運動エネルギー減衰効果に及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験の概要

図-1 に示すような、高速飛翔体発射装置より約 7m 離れた地点に粘弾性供試体を設置した。本実験で用い

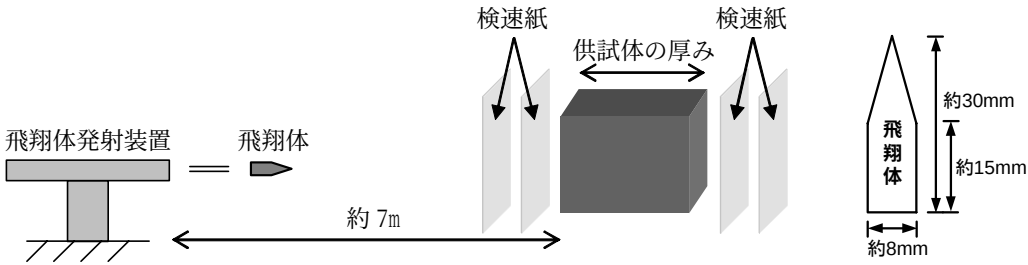


図-1 実験の概要

図-2 飛翔体の寸法

た粘弾性体はゴムゲルである。ゴムゲルとは、固体状でありながら、熱条件の変化により、流動化を起こすような液体の性質を有するゴムを示している。供試体の寸法は 250mm×250mm×50mm である。本実験で使用した飛翔体は鉛製であり、直径約 8mm、全長約 30mm、質量約 10g で先端形状が図-2 に示すように、非常に尖ったものを用いている。飛翔体を高速飛翔体発射装置により約 700m/s の速度で衝突させた。供試体前面、および背面に検速紙を設置し、飛翔体の供試体衝突前後の速度を計測した。供試体内部には一定の間隔でゴムシートを設置し、供試体内部における飛翔体の貫通経路を調べた。実験パラメータは表-1 に示すように、供試体の厚み（10～43cm）、温度（常温 11～22℃、低温-20℃、高温 40℃）、物性（物性 A：ムーニー粘度 70～75、物性 B：ムーニー粘度 40～50、物性 C：A に添加剤を加え、ムーニー粘度 80～85）である。

表-1 実験パラメータ

	物性 A			物性 B	物性 C
	22℃	40℃	-20℃	18℃	11℃
厚み (cm)	10	10	10	10	10
	22	22	15	31	13
	24	33	18	37	15
	28	39	20		21
	33		23		26
	35				27
	39				29
	43				30

3. 実験結果および考察

図-3 に、各物性における飛翔体の衝突前後のエネルギー比と供試体厚みの関係を示す。ここで、衝突前後のエネルギー比とは、各ケースにおける、衝突後の並進運動エネルギー/衝突前の並進運動エネルギーである。これより、供試体厚みが 0～0.1m 程度までは、供試体の物性によるエネルギー減衰効果の差はほとんど見られない。しかし、供試体厚みが増大すると、粘度による減衰効果の差異が現れてくることがわかる。粘度が大きいほど供試体は硬くなることより、供試体が硬いほどエネルギー減衰効果が大きくなることがわかる。また、供試体の厚みが増加すると、実験結果のばらつきが大きくなっている。図-4 は、物性 A における飛翔体の貫通経路を示し

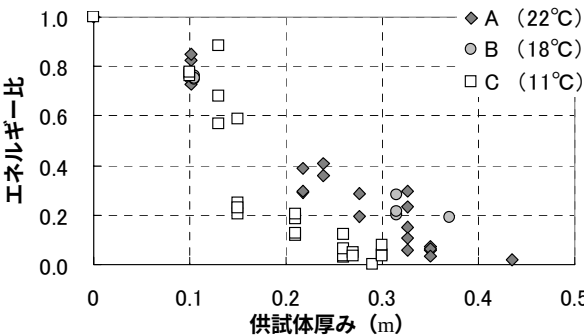


図-3 エネルギー比～供試体厚み関係

キーワード：小径飛翔体、高速衝突、粘弾性体、エネルギー減衰効果

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 Tel 046-841-3810 Fax 046-844-5913

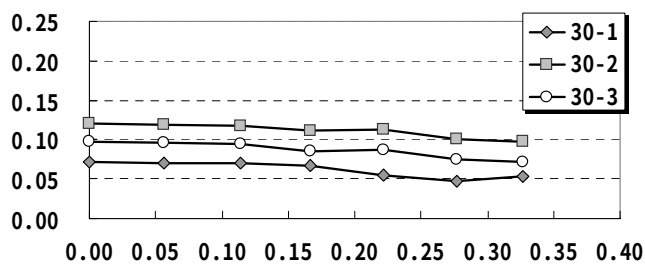


図-4 飛翔体の貫通経路

ている。これより、飛翔体が供試体を0.1m程度貫通した後から経路変化が生じていることがわかる。写真-1は、物性Cでの飛翔体貫通直後の様子を、撮影速度1/30000秒の高速ビデオカメラを用いて撮影した画像を示している。これより、飛翔体は発射時とは逆の姿勢で貫通し、貫通後も回転が生じていることがわかる。すなわち、供試体に貫入した飛翔体は、0.1m程度貫入した後、供試体内部で回転を生じるなど複雑な挙動を示していると考えられる。また、飛翔体の回転により経路変化が生じ、エネルギー減衰効果にばらつきが生じるものと考えられる。

図-5に、物性Aの各温度におけるエネルギー比と供試体厚みとの関係を示す。また線形近似式も併せて示す。これより、温度が高いほど飛翔体のエネルギー減衰効果が減少することがわかる。また、供試体厚みが増大するのに比例してエネルギーが減少していくことがわかる。粘弾性体は温度が低くなれば粘度が大きくなり、硬くなるが、粘度に対する実験結果と同じように、供試体が硬いほどエネルギー減衰効果が大きくなることわかる。また図-3、図-5より、エネルギー減衰効果には粘度の影響よりも温度の影響が大きいことがわかる。以下に、温度の影響を考慮したエネルギー減衰効果の評価式を誘導する。本実験では、飛翔体が破壊することはなかったため、飛翔体の質量に変化がないと仮定すると、図-5に示す線形近似式は、以下のように表すことができる。

$$E_f/E_i = aB + 1 = V_f^2/V_i^2 \quad \dots(1)$$

ここで E_f : 飛翔体の衝突後エネルギー, E_i : 飛翔体の衝突前エネルギー, a : 係数, B : 供試体厚み, V_f : 飛翔体の衝突後速度, V_i : 飛翔体の衝突前速度である。

温度が40°C, 22°C, -20°Cのときの傾きを最小自乗法で求めると、-2.62, -2.17, -4.92であり、これらの傾き～温度の関係グラフを示すと、図-6のように次式のような一次近似式で表すことができる。

$$a = 0.047T - 3.9 \quad T: \text{温度} (^\circ\text{C}) \quad \dots(2)$$

式(1), 式(2)より、衝突後の速度 V_f を衝突前の速度 V_i , 温度 T , 厚み B で以下のように表すことができる。

$$V_f = V_i \sqrt{1 + (0.047T - 3.9)B} \quad \dots(3)$$

式(3)に衝突前の速度 $V_i = 700 \text{ m/s}$ を用いた結果を、実験結果と比較して図-7に示す。実験結果と式(3)による結果は概ね一致しているといえる。すなわちこの評価式を用いることにより、粘度Aの供試体の厚みに対するエネルギーの減衰を比較的精度よく評価できることがわかった。

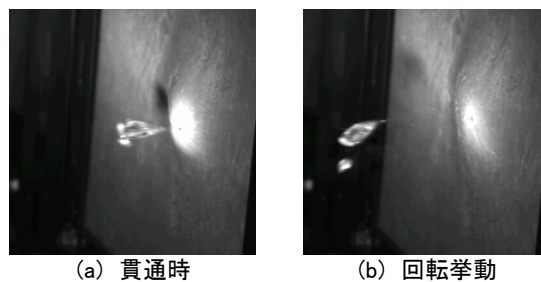


写真-1 貫通後の飛翔体の挙動

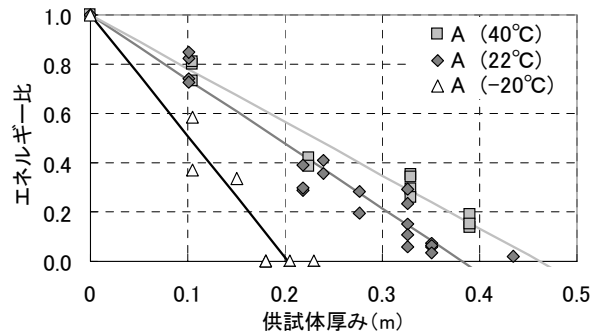


図-5 エネルギー比～供試体の厚み関係

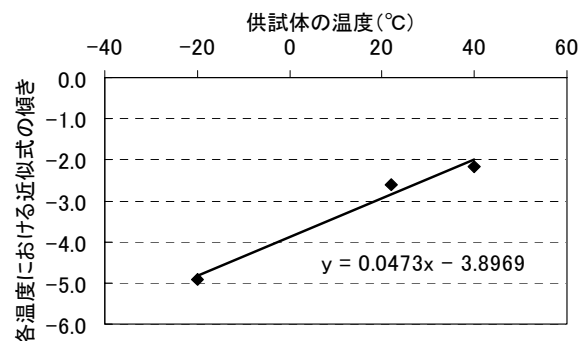


図-6 線形近似式の傾き～供試体の温度関係

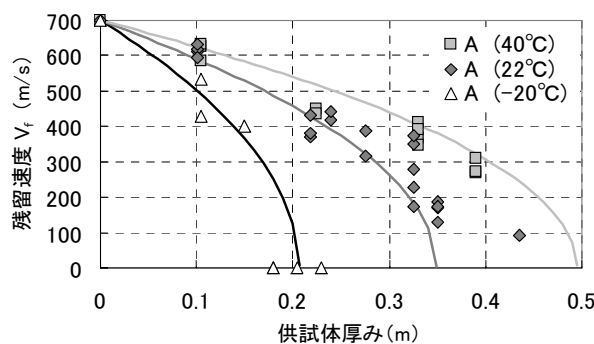


図-7 実験値と評価式結果の比較