

高速飛翔体の斜め衝突に対する鋼板の損傷

防衛大学校 学生会員 ○田中信行 正会員 大野友則

1. はじめに

飛翔体が鋼構造物に衝突するときの衝撃問題に関して、従来から多数の実験および解析がなされている。とくに飛翔体の高速衝突に対する鋼板の局部破壊に関する評価式が提案されている。これらの評価式の代表的なものとして、Jacob de Marre 式¹⁾、BRL 式²⁾などがある。ただし、従来の研究の多くは、貫通（鋼板に穴があく現象）限界に関するものが多く、侵徹深さに注目した研究は少ない。重要構造物や気密性を必要とする構造物に、飛翔体が高速で衝突した場合は、構造物が貫通しないことはもちろん、破損しないことが要求される。したがって、このような衝突現象に対する鋼板の破損を予測することが必要である。また、既往の研究は衝突後、破壊・変形のない剛い飛翔体を用いて、高い強度を持つ高張力鋼に対する実験がほとんどであり、一般的な鋼材に対する研究はあまりなされていない。そこで本研究では、一般構造用圧延鋼材 SS400 に対して衝突実験を行い、軟鋼板の耐衝撃性について検討を行った。

2. 実験概要

実験は、火薬式高速飛翔体発射装置を用い、約 7m 離れた地点に鋼板を設置して飛翔体を高速（700, 920m/s）で衝突させた。鋼板の固定方法は鋼製の反力フレーム内に上下 2 辺を L 型鋼で支え、クランプを用いて固定した。

実験パラメータは、飛翔体の衝突角度および飛翔体の種類とした。衝突角度は、図-1 に示すように、試験体表面から射線のなす角 θ として定義し、 $15^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で実験を行った。飛翔体は 2 種類：飛翔体 A（全長約 28mm、直径約 8mm、重量約 10g、鉛製）および飛翔体 B（全長約 23mm、直径約 6mm、重量 4g、鉛製）を使用した。飛翔体の主要寸法を図-2 に示す。これらの飛翔体をそれぞれ、衝突速度約 700m/s および約 920m/s で鋼板に衝突させた。鋼板は一般構造用圧延鋼材 SS400 を使用した。鋼板の寸法は縦 300×横 200×厚 12mm である。実験ケースを表-1 に示す。

計測項目は、飛翔体の衝突速度および鋼板の侵徹深さである。衝突速度の測定は、鋼板の前面に 50cm の間隔で設置した 2 枚の速度検知紙を飛翔体が通過する時間から求まる平均速度を衝突速度とした。鋼板の侵徹深さはノギスを使用して測定した。

表-1 実験ケース

	衝突角度(°)
飛翔体A	15, 45, 60, 90
飛翔体B	15, 30, 45, 60, 90

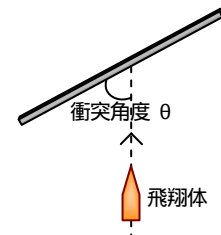


図-1 衝突角度

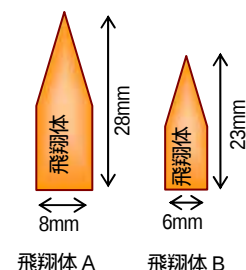


図-2 飛翔体タイプ

3. 実験結果と既往の破壊評価式

表-2 に実験結果を示す。また、写真-1 に飛翔体 A の衝突による鋼板の損傷状況を示す。実験では、両飛翔体とも衝突角度 90° では 12mm 厚の鋼板をすべて貫通した。飛翔体の損傷については、飛翔体 A、B 共にすべて破壊・変形した。図-3 に、鋼板の侵徹深さと衝突角度の関係を示す。写真-1 および図-3 より衝突角度が小さくなるにしたがい、鋼板の損傷が小さくなることがわかる。また、同じ衝突角度では、飛翔体 A より衝突速度の速い飛翔体 B の方が侵徹深さが大きいことがわかる。表-2 より、飛翔体 B で衝突角度 60° の場合、侵徹深さが 12mm となっているが、これは写真-2 に示すように、鋼板裏面が飛翔体の衝突により膨らんだためである。飛翔体が鋼板に対して衝突する場合、従来から知られている評価式に、Jacob de Marre 式や BRL 式などがある。しかし、これらの実験の条件や式の適用性が明らかになっていない。それぞれの式には実験定数がパラメータとして与えられているが、飛翔体の種類（材質、直径、質量等）や鋼板の種類により変化すると考えられる。そこで本研究では Jacob de Marre 式に着目し、まず本実験条件を用いて鋼板の侵徹深さを予測し、

表-2 実験結果

衝突角度(°)	侵徹深さ(cm)	
	飛翔体A	飛翔体B
90	貫通	貫通
60	0.57	1.2
45	0.37	0.68
30	—	0.29
15	0.01	0.05

キーワード：高速飛翔体、鋼板、破壊評価式

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(ex3521) E-mail：g42053@cc.nda.ac.jp

実験結果と比較検討することにより実験定数を定めることとした。以下に Jacob de Marre 式を示す。

$$S=K(1/d^{1.15})(mV^2)^{0.769}(\sin^{1/0.7}\theta) \quad (1)$$

ここで m : 飛翔体質量 (kg), V : 衝突速度 (m/s), K : 実験定数 (0.00145), d : 飛翔体直径 (cm), θ : 衝突角度 ($^{\circ}$), S : 侵徹深さ (cm) である。式 (1) に本実験の飛翔体条件を代入すると侵徹深さ算定値は飛翔体 A に対して $S_A=1.32\text{cm}$, 飛翔体 B に対して $S_B=1.47\text{cm}$ となる。図-4 に, 実験結果および衝突速度 V を変化させた場合の飛翔体 A, B の評価式算定値を実線で示す。また, 以下に示す実験結果の回帰曲線を破線で示している。

$$S=2.5 \times 10^{-6} V^{*2} - 5 \times 10^{-4} V^{*} \quad (2)$$

なお, 実験結果の衝突速度 V^{*} は, 図-5 に示すように, 実際の衝突速度 V と衝突角度 θ を用いて, 法線方向速度成分 $V^{*}=V\sin\theta$ を衝突速度として表している。これより, 飛翔体 A, B とともに衝突速度が大きくなれば, 侵徹深さが大きくなることがわかる。また, 飛翔体 A および B は, 質量, 直径, 速度が異なるが, 両飛翔体の実験結果にはほとんど差がなく, 一つの回帰曲線で表せることができた。一般に, 侵徹深さが衝突エネルギーに依存すると考えると, 同じ衝突速度では質量が 2.5 倍大きい飛翔体 A の方が飛翔体 B よりもエネルギーが 2.5 倍大きくなるので, 飛翔体 A の方が侵徹深さが大きくなると考えられ, 評価式算定値もそのような結果をなっている。しかしながら, 実験結果がこのように, 一つの回帰式で表すことができたのは, 本実験で用いた飛翔体 A, B は衝突時に飛翔体自身が変形・破壊をしてしまう柔飛翔体であるためと考えられる。柔飛翔体は飛翔体自身の変形・破壊に衝突エネルギーを費やすので, 衝突時に破壊・変形しない剛飛翔体と比較して侵徹深さが小さくなる。本実験で用いた飛翔体では特に飛翔体 A の方が破壊・変形が大きくなり, 侵徹深さが小さくなったため, 両飛翔体の侵徹深さに差が生じなかったと考えられる。よって, 評価式の実験条件は明らかになっていないが, おそらく剛飛翔体 vs 高張力鋼の衝突問題であり, この場合, 飛翔体の質量, 直径, 速度の相違が侵徹深さに大きく影響を及ぼす。しかしながら, 柔飛翔体 vs 軟鋼の衝突問題では, 飛翔体の質量や直径の影響はなく, 衝突速度が侵徹深さに対して支配的な要因となると考えられる。つまり, 式(1)のように飛翔体, 被衝突体の種類によって実験定数 K を求める必要はなく, 衝突速度の関数である式(2)を用いることにより, 柔飛翔体が軟鋼に衝突する場合の侵徹深さが予測できることがわかった。

4. まとめ

鉛製の柔飛翔体の高速衝突に対する軟鋼板の侵徹深さを予測する場合, 飛翔体の質量や直径によらず, 飛翔体の衝突速度だけで侵徹深さを予測することができる。

参考文献

- 1) 林 磐男: タンクテクノロジー, 山海堂, pp.83-84, 1992.7.
- 2) Gwaltne: R.C., ORNL-NSIC-22, Oak Ridge National Laboratory, pp.32-35, 1968.9.



写真-1 鋼板の損傷状況(飛翔体 A)

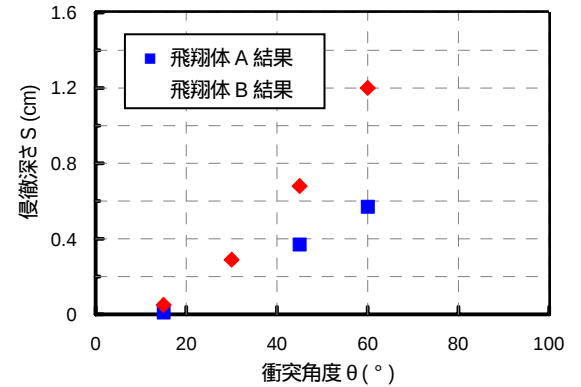


図-3 侵徹深さと衝突角度の関係



写真-2 鋼板裏面の膨らみ(飛翔体 B 60°)

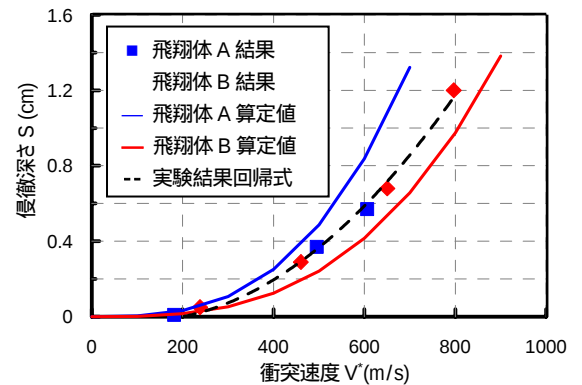


図-4 侵徹深さと衝突速度の関係

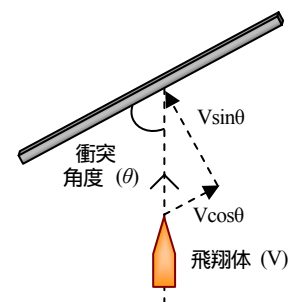


図-5 速度成分