

半球および平坦の先端を有する飛翔体衝突を受ける鋼板の貫通破壊に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○濱田 匠李 正会員 別府 万寿博 正会員 市野 宏嘉

1. 緒言

近年、国内における竜巻や火山噴火が増加傾向にあり、竜巻飛来物や火山噴石が重要施設に衝突して被害が生じることが懸念されている。竜巻飛来物および火山噴石の最大衝突速度はそれぞれ 60m/s および 100m/s 程度であると想定されている¹⁾³⁾が、これらの飛来物衝突を受ける鋼板の貫通破壊に関する研究は少ない。また、鋼板の貫通破壊には先端形状が影響すると考えられるが、飛翔体の先端形状が鋼板の貫通破壊に及ぼす影響は未解明な点が多い。本研究は、半球状および平坦状の先端部を有する飛翔体を衝突速度 40～100m/s で SS400 鋼板に衝突させる実験を行い、鋼板の貫通破壊に及ぼす先端形状の影響について検討を行ったものである。

2. 実験の概要

衝突実験は、図-1 に示す高圧空気式飛翔体発射装置を用いて行った。本装置は、空気圧縮器、エアチャンバーおよび発射管で構成されており、空気圧を利用して飛翔体を発射するものである。飛翔体は、図-2 に示すように長さ 280mm の後部の先端に、長さ 73mm の半球状および 50mm の平坦状の先端部を取り付けた。いずれも、先端部の直径は 50mm であり、質量は 6.0kg、材質は S45C である。図-3 に、鋼板の外観および設置状況を示す。鋼板の寸法は 1150mm×1150mm であり、板厚は 6mm および 9mm である。鋼板の材質は SS400 であり、裏面支持具にボルトを用いて四辺を固定した。なお、板厚 6mm 鋼板および板厚 9mm 鋼板の降伏応力はそれぞれ 323N/mm² および 292N/mm² であり、引張強度はそれぞれ 452N/mm² および 428N/mm² である。表-1 に、実験ケースを示す。板厚 6mm および 9mm の鋼板に対し、半球および平坦状の飛翔体について、それぞれ衝突速度を 4 段階に変化させて実験を行い、合計 16 ケース実施した。

3. 実験結果

図-4 に、破壊モード（貫通、亀裂、非貫通）を板厚～衝突速度関係中に示す。図-4(a)に示す半球状飛翔体の結果と図-4(b)に示す平坦状飛翔体の結果を比較すると、平坦状の飛翔体を用いた場合の方が、より低い速度で貫通が生じていることがわかる。板厚 6mm のケースで貫通が生じた速度をみると、半球状の場合で衝突速度 70.9m/s、平坦状の場合では衝突速度 58.5m/s であり、平坦状の方が約 17%低

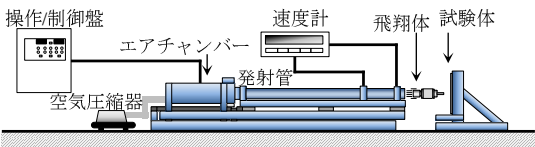
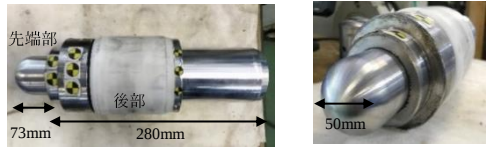
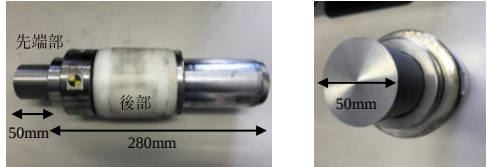


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置



(a) 半球状



(b) 平坦状

図-2 鋼製飛翔体（追跡点：●）

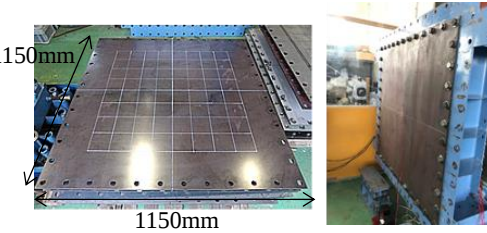
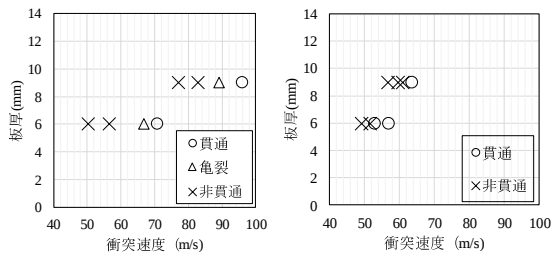


図-3 鋼板の外観および設置状況

表-1 実験ケース

No.	銅板 板厚	飛翔体 (質量, 直径)	衝突速度 (m/s)	
			半球状	平坦状
1	6mm	6.0kg, 50mm	50.4	41.6
2			56.7	52.1
3			66.8	57.1
4			70.9	58.5
5	9mm		77.2	62.7
6			83.0	63.6
7			89.2	67.8
8			96.0	77.4



(a) 半球状 (b) 平坦状

図-4 破壊モードの推移

キーワード 衝突作用、鋼板、貫通、飛翔体

い速度で貫通が生じた。板厚 9mm のケースで貫通が生じた速度をみると、半球状の場合で衝突速度 96.0m/s、平坦状の場合では衝突速度 77.4m/s であり、平坦状の方が約 20%低い速度であった。以上から、飛翔体の運動エネルギーが同じでも先端形状の違いにより貫通が生じる速度が変化した。

半球状飛翔体を用いた場合の鋼板の変形および破壊性状を、図-5 に示す。板厚が 6mm で衝突速度 50.4m/s のケースでは、表面に深さ約 30mm の凹みが生じた。衝突速度 70.9m/s では、飛翔体の先端部が完全に貫通した。この際、衝突部は花弁状に引き裂かれた。次に、板厚 9mm のケースでは、衝突速度 83.0m/s のケースにおいて、鋼板中心部が 2 段階に変形するような変形性状を示した。図中に示す赤点線の円が 1 段階目の変形部分であり曲率が大きい変形を示した。また、その周囲が曲率の緩やかな 2 段階目の変形部分である。このような変形が生じた理由は明らかではないが、半球状の飛翔体は鋼板に点接触するように衝突するため、その衝撃力を受けた鋼板の一部が慣性力によって周囲よりも大きく変形し、1 段階の変形が生じたものと考えている。さらに、衝突速度を 96.0m/s に増加させると、1 段階目と 2 段階の変形の境界付近に亀裂が生じ、亀裂が裏面に広がるような貫通破壊性状を示した。

平坦状飛翔体を用いた場合の鋼板の変形および破壊性状を、図-6 に示す。板厚 6mm で衝突速度 57.1m/s のケースでは鋼板の破壊モードは非貫通となり、鋼板に貫通は生じなかったが、飛翔体が衝突した面の外縁部周辺に約 1mm の凹みが生じた。また、衝突部の真裏には飛翔体の直径と同程度の突起が生じた。衝突速度を 58.5m/s に増加させると、図に示すような貫通が生じた。いずれのケースも、試験体の裏面中央から半径 10cm 以内に顕著な変形が生じた。板厚 9mm のケースについても、同様の変形および貫通破壊性状であった。平坦状飛翔体を用いた場合の貫通時に生じた貫通片の外観を、図-7 に示す。図に示すように、飛翔体が衝突した面の外縁部周辺が押し抜かれるように、飛翔体の直径より約 0.5mm 大きい円盤状の貫通片が生じた。

4. 結言

本研究は、半球および平坦状の先端部を有する飛翔体を衝突速度 40～100m/s で SS400 鋼板に衝突させる実験を行い、鋼板の貫通破壊について検討を行ったものである。

- (1) 実験の結果、半球状飛翔体を用いた場合と比較して、平坦状飛翔体を用いた場合では、板厚 6mm のケースで約 17%、板厚 9mm のケースで約 20%低い速度で貫通が生じた。
- (2) 鋼板の変形および破壊性状をみると、半球状飛翔体の場合、鋼板中心部が 2 段階に変形するような変形性状を示し、変形の境界付近に亀裂が生じて貫通破壊が生じた。一方、平坦状飛翔体の場合は飛翔体が衝突した面の外縁部周辺が押し抜かれるような破壊性状であった。

参考文献

- 1) 原子力規制委員会：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド，原規技発第 13061911 号，2013。
- 2) 原子力規制委員会：原子力発電所の竜巻影響評価ガイド，原規技発第 1409172 号，改訂 2014。
- 3) 内閣府：活火山における退避壕等の充実に向けた手引き，2015。

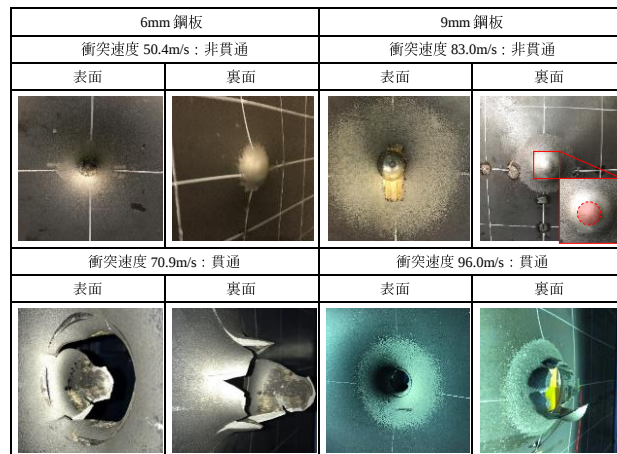


図-5 鋼板の変形および貫通破壊性状（半球状）

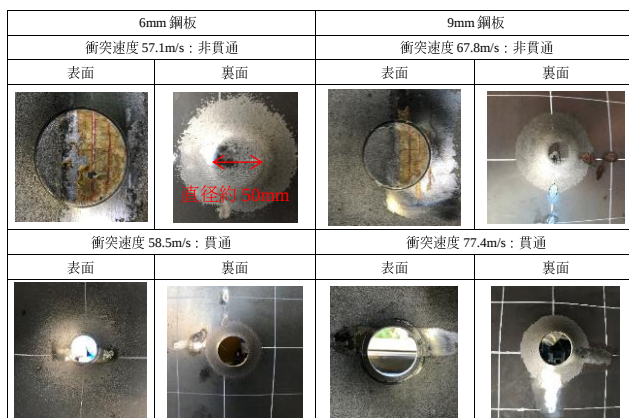


図-6 鋼板の変形および貫通破壊性状（平坦状）



図-7 貫通片の状況