

平坦状の先端を有する飛来物衝突を受ける鋼板の貫通破壊に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○濱田 匠李 正会員 別府 万寿博 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 130m/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。本研究は、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うとともに、貫通片の破面について走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察し、鋼板の貫通破壊について検討を行ったものである。

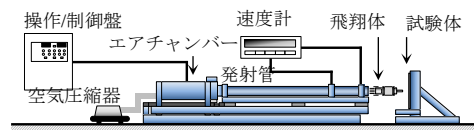


図-1 高压空気式飛翔体発射装置

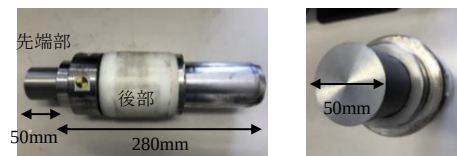


図-2 平坦状鋼製飛翔体

2. 実験の概要

衝突実験は、図-1 に示す高压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 50mm、直径 50mm の平坦状の先端部を取り付けた。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、板厚 6mm、9mm および 12mm である。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。鋼板の力学特性については、板厚 6mm の降伏応力および引張強度はそれぞれ 323N/mm² および 452N/mm² であり、伸びは 31% である。また、板厚 9mm および 12mm の試験体は、いずれも降伏応力および引張強度がそれぞれ 292N/mm² および 428N/mm² であり、伸びは 31% である。表-1 に、実験ケースを示す。板厚 6mm、9mm および 12mm の鋼板に対し、それぞれ衝突速度を 4 段階に変化させ、合計 12 ケースの実験を実施した。

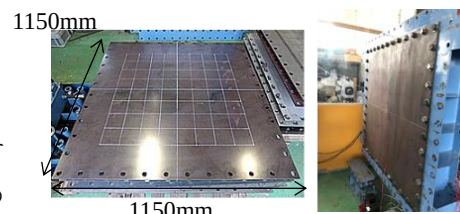


図-3 鋼板の外観および設置状況

表-1 実験ケース

No.	鋼板 板厚	飛翔体 (質量,直径)	衝突速度 (m/s)
1	6mm	6kg, 50mm	41.6
2			52.1
3			57.1
4			58.5
5	9mm		62.7
6			63.6
7			67.8
8			77.4
9	12mm		83.5
10			86.7
11			90.6
12			95.1

3. 実験結果

図-4 に、実験で得られた破壊（貫通、非貫通）を板厚～衝突速度関係中に示す。板厚 6mm の場合、衝突速度 41.6m/s、52.1m/s および 57.1m/s のケースでは破壊モードが非貫通となったが、衝突速度を 58.5m/s に増加すると貫通が生じた。すなわち、板厚 6mm に対する貫通限界速度は 57.1m/s ~58.5m/s の間である。板厚 9mm の場合は、衝突速度 62.7m/s、63.6m/s および 67.8m/s のケースでは鋼板の破壊モードは非貫通となったが、衝突速度 77.4m/s では鋼板に貫通が生じた。すなわち、板厚 9mm に対する貫通限界速度は 67.8m/s~77.4m/s の間である。板厚 12mm、衝突速度 83.5m/s のケースでは非貫通となり、衝突速度 86.7m/s、90.6m/s および 95.1m/s のケ

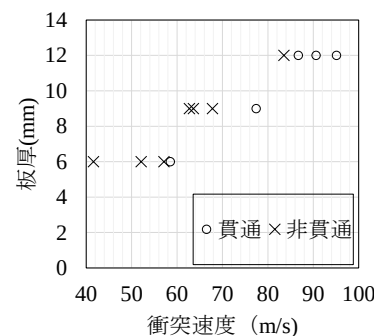


図-4 破壊モードの推移

キーワード 衝突作用、鋼板、貫通、飛翔体、SEM

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL : 046-841-3810 E-mail : ed19003@nda.ac.jp

ースでは貫通が生じた。すなわち、板厚 12mm に対する貫通限界速度は 83.5m/s～86.7m/s の間である。板厚 6mm のケースについて鋼板の変形および貫通破壊性状を、図-5 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よりも約 0.5mm 大きい突起が生じた。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。板厚 9mm および 12mm 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。

板厚 6mm のケースの貫通時に生じた貫通片の外観を、図-6 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。この貫通片の破面について走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察した。SEM による撮影箇所を図-7 に示す。板厚 6mm の貫通片の破面を、表面側から裏面側にかけて約 2mm 間隔で撮影した。撮影した貫通片の破面状況を図-8 に示す。なお、撮影倍率は 300 倍、1000 倍である。最も表面側の破面である No.1 (計測位置は表面近傍) では、脆性破壊の特徴を示すリバーパターンが認められた。破壊の進展方向は表面側から裏面側方向であり、亀裂が表面側から発生し、裏面側に向けて進展していることがわかる。No.2 (計測位置は表面側から約 2mm) では、主として脆性的な破面を示すが、一部にせん断破壊 (延性破壊) の特徴を示す伸長ディンプルが生じており、脆性破壊と延性破壊が混在している。また、No.3 (計測位置は表面側から約 4mm) では、主としてせん断破壊 (延性破壊) の特徴を示す伸長ディンプルが認められた。ディンプルは表面方向に向かって伸展していることから、破壊の進展方向は表面側から裏面側方向であると考えられる。この領域は板厚方向において裏面側に近い領域 (撮影位置は裏面近傍) であり、表面側と比較して破壊時のひずみ速度が相対的に小さく、このような延性破壊の破面が生じたものと考えられる。以上の観察から、表面側は脆性的な変形を示し、板厚中央から裏面にかけてはせん断破壊 (延性破壊) が生じたことを示している。

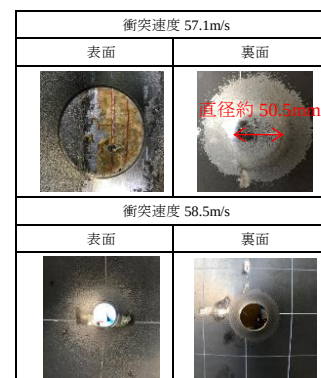
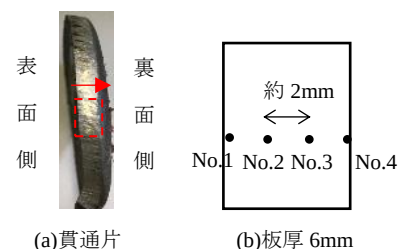


図-5 鋼板の変形および貫通破壊性状



図-6 貫通片の外観



(a)貫通片 (b)板厚 6mm

図-7 SEM の撮影箇所

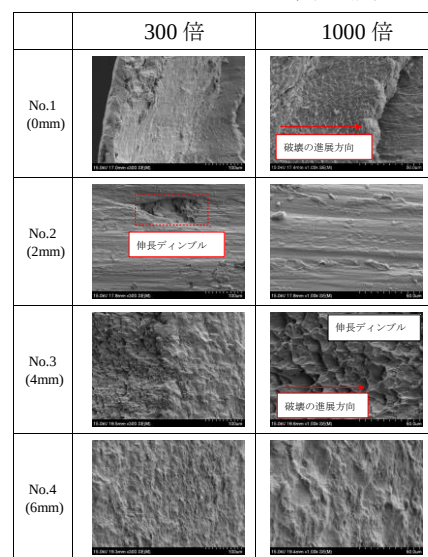


図-8 破面の状況 (板厚 6mm)

4. 結言

本研究で得られた成果を以下に要約する。

- (1) 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った。その結果、鋼板に貫通が生じると、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を示し、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。
- (2) SEM を用いて貫通片の破面を観察した結果、鋼板の表面では飛翔体の貫入に対応した脆性的な破面を示し、板厚中央から裏面側にかけては延性的なせん断破壊の特徴が認められた。

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。