

## 接触爆発による鋼材の損傷に関する基礎的検討

防衛大学校 学生会員 ○森山 源太 正会員 市野 宏嘉 別府 万寿博

### 1. 序言

世界各地で爆発事故や爆破テロなどによる被害が報告されている。なかでも、政治、経済の中枢を司る施設や、交通の要所に位置する橋梁などの重要インフラへの被害は社会的に甚大な影響を及ぼす。鋼構造物における爆発時の被害の低減を考える場合、爆発による鋼材の損傷メカニズムに応じた合理的な対策を講じることが必要となるが、鋼材の爆発による損傷に関する検討は少ない。本研究では、鋼材に対する接触爆破実験を行い、鋼材の損傷性状を調べる。さらに、鋼材の断面寸法および爆薬量と損傷性状の関係について考察する。

### 2. 鋼材に対する爆破実験の方法

実験の概要を図-1 および図-2 に示す。実験施設内の地盤面に厚さ 12mm の鋼板を水平に敷設し、木材と鋼板による支点を設けた。この支点に、種々の幅および厚さの SS400 平鋼を長さ 600mm に切り出した試験体をボルト (M12) 4 本で固定した。試験体に用いた鋼材の引張強度は 446~469N/mm<sup>2</sup> である。実験ケースを表-1 に示す。試験体の厚さは  $t=9, 12, 16$  および 22mm とし、幅は  $W=50, 75$  および 100mm とし、試験体の厚さ、幅および断面積が爆破時の損傷性状に及ぼす影響を調べた。爆薬量は同一断面の試験体について 1~4 通りに変化させた。爆薬は成型が容易で熱や衝撃に対して比較的安定な性質を有する C-4 爆薬である。爆薬は鋼材の厚さの 1.5 倍の幅で、鋼材幅に等しい奥行きで直方体に成型した。支間中央でせん断により試験体を切断することを期待し、爆薬は図-1(b)に示すように鋼材の上面と下面に支間中央を基準として互い違いに設置した。

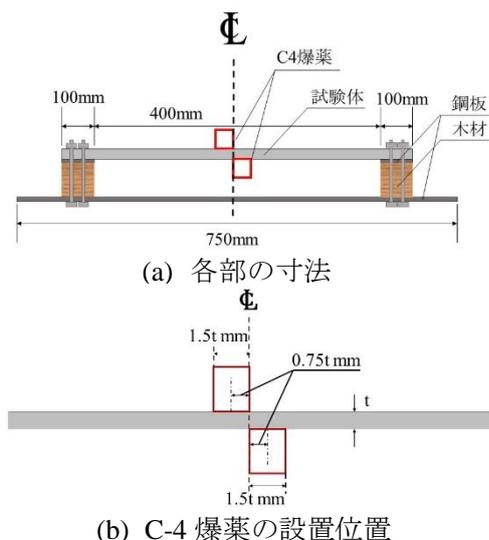


図-1 試験体の概要



図-2 爆薬を設置した鋼材

### 3. 鋼材の損傷性状およびその評価

表-1 に爆破後の試験体の損傷性状をあわせて示した。ここに、「変形」は爆発によって鋼材が変形しているが、表面には破断や亀裂が確認できない状態を、「変形・亀裂」とは変形に加えて表面のひびや剥離が確認できる状態を示す。また、「破断限界」とは爆発による破断は認められないものの試験体の取扱い時に容易に破断し得る状態を、「破断」とは爆発により鋼材が完全に 2 つに分断されている状態のことをそれぞれ示している。

爆破後の試験体の代表例を図-3 に示す。破断に至った試験体 (図-3(b),(c),(e)) では、破断箇所は支間中央ではなく、2 個設置した爆薬のいずれかの中心付近である。また、亀裂が生じた試験体 (図-3(a),(f)) では、図-3(f)の図中の赤い円で囲んだ部分に示すように、亀裂が爆薬の設置面の反対側から発生、進展していることがわかる。破断された

表-1 実験ケース

番号	W(mm)	t(mm)	M(g)	損傷性状
1	50	9	14	変形・亀裂
2	50	9	18	破断限界
3	50	12	18	変形
4	50	12	24	破断
5	50	12	30	破断
6	50	12	40	破断
7	50	16	24	変形
8	50	16	32	破断
9	50	16	40	破断
10	50	22	34	変形
11	50	22	44	変形
12	50	22	56	変形・亀裂
13	75	12	36	破断
14	75	16	36	変形・亀裂
15	100	12	36	変形
16	100	12	48	変形
17	100	12	60	破断

キーワード 爆破実験, 鋼構造物, 損傷評価, 接触爆発

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL : 046-841-3810 E-mail : ichino@nda.ac.jp

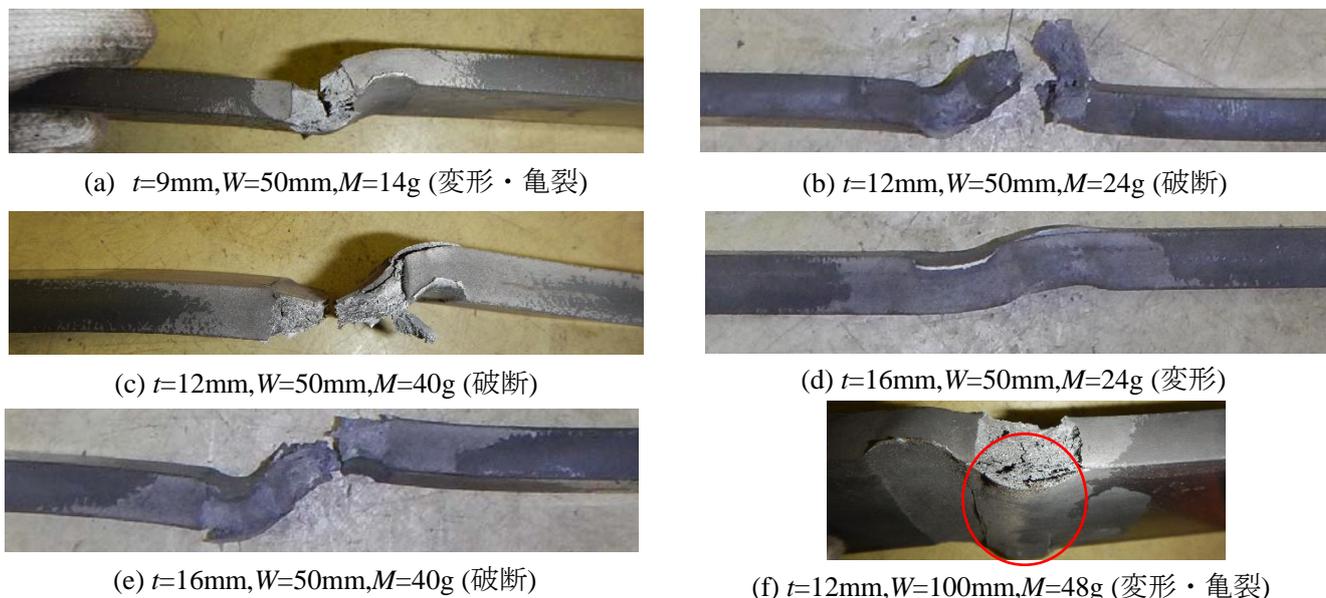


図-3 爆破後の鋼材の損傷状況

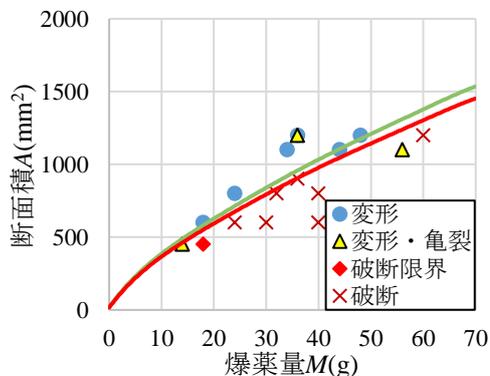
図-4 引張力が作用して破断された鋼材の例( $t=12\text{mm}$ ,  $W=50\text{mm}$ ,  $M=40\text{g}$ )

図-5 損傷状況と鋼材の断面積、爆薬量の関係

試験体の中には、図-4に示すようにその断面が小さくなり、スポールの損傷が生じたところに引張力が作用して破断されたと推察されるものも確認された。図-3、図-4より、試験体の破断や損傷は、当初期待した支間中央でのせん断ではなく、主としてスポールによって生じるものと推察される。

ここで、鋼材の損傷性状の評価法について検討を行う。鋼板においてスポールによる貫通孔が発生するか否かの評価は、鋼材の厚さと爆薬量に相関があるとされる<sup>1)</sup>。本研究では、幅が異なる平鋼を爆破破断しているため、断面積を用いて評価する。図-5は、試験体の損傷性状を試験体の断面積  $A(\text{mm}^2)$  と爆薬量  $M(\text{g})$  に対してプロットしたものである。図中の曲線はそれぞれ  $A=74M^{1/1.4}$  および  $A=70M^{1/1.4}$  であり、破断の限界はこれらの曲線が囲む領域内に存在するといえ、その概略の傾向は断面積と爆薬量で評価できる。同等の断面積の鋼材を同等の爆薬量で爆破しても幅の広さや厚さの違いによって損傷性状が変化することがある。この性状は幅が変化することによる爆薬の形状の変化に伴う爆破効果の変化、厚さの変化による応力波の伝播の変化が影響したためと考えられる。

#### 4. 結言

本研究では、鋼材に対する爆破実験を行い、鋼材の損傷性状を調べ、爆薬量および鋼材の断面寸法と損傷性状の関係について考察した。その結果、破断を含む鋼材の損傷は主にスポールによって生じることが推察される。さらに、鋼材の破断限界の概略の傾向は、断面積と爆薬量により評価することができた。今後は、爆発に対する鋼材の効果的な防護方法についての検討が必要である。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP19K04962 の助成を受けたものです。

参考文献：1) 大野友則，橋本進，中村弘：接触・近接爆発に対する SS400 鋼板の貫通限界厚さの推定，構造工学論文集 Vol.59A，pp.1048-1055，2013。