

I-53 脆性材料の衝撃破壊に関する一考察

京都大学工学研究所 正員 丹羽 義次

“ “ “ 〇 小林 昭一

京都大学大学院 “ 佐藤 誠

工業材料が衝撃荷重を受けると生ずる破壊の形式ならびに過程は、荷重を徐々に増加して破壊せしめる場合の様相とは、相違著しく異なることが認められている。

一般に衝撃破壊現象は、衝撃力の強度と持続時間ならびに衝撃パルスの形、材料の衝撃時における力学的ならびに物理的特性、さらには衝撃を受ける材料の形、大きさにより、それぞれ異なった複雑な様相を呈し、一般的に論じることとは不可能に近い。ここでは、脆性材料を対象として、衝撃破壊の様相について述べ、その機構について考察を加える。

1. 衝撃破壊現象の特性

- ① 高速衝撃においては、衝撃力の持続時間が短かく、したがって、発生したクラックが十分発達する前に、すでに応力波は通過してしまつて応力が消滅する場合が多く、クラックの発生は局部的に限られることになる。しかし、反射波が発生する方が普通であり、これによる破壊は多い。
- ② 圧縮応力波が自由端で反射されると、引張応力波となって返ってくる。また、その逆も云える。しかし、固定端で反射されても、圧縮応力波は圧縮応力波のままであり、引張応力波は引張応力波のままである。他の異質の材料に接触した場合には、反射応力波と通過応力波とが生ずる。その図像は3で述べる。
- ③ 例えば、爆圧のような急激な荷重を受けると、材料の力学的ならびに物理的特性は、徐々に荷重を加えて行つた場合とは異なつたものとなる。延性材料でも、脆性材料のような性質を示し、弾性係数は大きくなる。破壊強度も増加する。もちろん、その程度は、衝撃荷重の強度とパルスの形により左右され、一義的には定まらない。

2. 脆性材料の衝撃破壊の様相

脆性材料の衝撃破壊の様相は、上述の諸因子に左右されて、非常に複雑になるが、そのうち、代表的なものを記すと、つぎのようである。

- a. 隅角部破壊
- b. 放射状破壊
- c. scabbing
- d. 圧壊

これらの現象は、個々に独立して発生する場合もあるが、又つた（3つ）程度ほとんど同時に発生している場合も珍しくない。これらの現象は、応力伝播状態を詳細に検討することにより説明づけることができる。

3. 応力波の一般的性質

弾性材料中を伝播する応力波には、縦波と剪断応力波とがあり、それぞれの伝播速度を c_L および c_T とすると、

$$c_L = [3K(1-\nu)/\rho(1+\nu)]^{1/2},$$

$$c_T = (G/\rho)^{1/2},$$

で表わされる。

ここに、 K は体積弾性係数、 G は剪断弾性係数、 ρ は密度、 ν はポアソン比である。
 $c_L/c_T = 1/(1-2\nu)^{1/2}$ となり、一般の脆性材料では2前後である。

応力波の反射率は

$$\sin \alpha / \sin \beta = c_L / c_T,$$

$$\sigma_R = R \sigma_I, \quad \tau = [(R+1) \cot 2\beta] \sigma_I,$$

$$R = (\tan \beta \cdot \tan^2 2\beta + \tan \alpha) / (\tan \beta \cdot \tan^2 2\beta - \tan \alpha)$$

という関係がある。

ここに、 α は縦波の反射角、 β は剪断応力波の反射角、 σ_I は反射するまでの応力波の応力値である。

また、他の異質の弾性体に接続されるとき、

$$\sigma_R = [(\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2) / (\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)] \sigma_I,$$

$$\sigma_T = [2 \rho_2 c_2 / (\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)] \sigma_I$$

となる。

ここに、 σ_R は反射した応力波の応力値を、 σ_T は透過した応力波の応力値を表わし、 ρ_1, ρ_2, c_1 および c_2 は、それぞれの材料の密度および応力伝播速度を表わす。

我々は、MLD-1型超高速カメラ(最高100000/秒)を用いて、脆性材料、特にガラスの衝撃破壊現象を撮影し、破壊の様相を詳細に調べた。これらの現象は、応力伝播との関連において説明できることが分った。