539.374: 620.186.4 '76－S761

(385) 塑性変形体の不安定破壊条件の導出

(株) 神戸製鋼所 中央研究所 藤田 達 ○水田 篤男
津田 統

1） 緒言； 引張り応力下の弾性体の不安定破壊の知識は、Griffith の理論にはじまり、最近の線型破壊力学の進歩により、事故原因の究明あるいは破壊の防止において欠かせない有力な武器となっている。 しかし部材が全域に降伏し、塑性変形した状態下での亀裂長さによる不安定破壊については、実用上もっとも重要な亀裂長さの影響がいまだ明らかでなく、多くの加工時の割れ原因の追求などに大きな障害となっている。 本報告では、一軸引張り下で、全域塑性状態での不安定破壊について解析し、破壊条件を求めた結果について述べる。

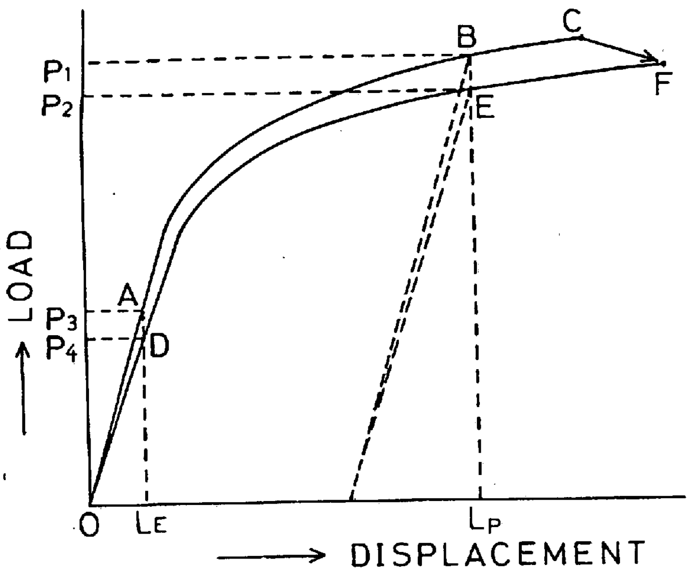

図１ 亀裂のある場合の荷重と変位の関係の模式図

2） 不安定破壊条件式の導出； ここでいう塑性体の不安定破壊とは、亀裂を有する板試片において、亀裂が脆性破壊を起すよりは浅く、かつ試片にネッキングが起るよりは深く、亀裂遠方において一様塑性歪みが得られる範囲での不安定破壊をさし、破壊時の一様塑性歪み ε_f に着目して検討を加える。 亀裂成長時の単位厚さあたりのエネルギー収支の式は次式で与えられる。

$\triangle W = \triangle U + \triangle \Gamma$ ………… (1)、W：外部仕事、U：内部エネルギー、Γ：亀裂の成長に必要なエネルギー、破壊条件の導出のために次の仮定をおく（図１参照）、Ⓐ亀裂長さ c が △c の成長によりＯ点からＦ点に来た時に、このＦ点は同時に初期亀裂長さ c ＋△c の荷重－変位曲線にのるとする。 Ⓑ ある変位での c と c＋△c の荷重 P_1 と P_2 の比はあらゆる変位に対して常に一定とする。 （この仮定は別に有限要素法を用いた数値計算により、ほぼ成立することを確かめた）。 仮定Ｂより荷重と変位の関係式は $P = M(c) \cdot f(\lambda)$ …… (2)となる。 λ：変位. (2)の関係式が求められれば仮定Ａより亀裂成長時でもＵの変化を求める事が可能となる。 ここで金属の代表的な応力と歪みの関係式 $\sigma = k\varepsilon^n$ （σ：真応力、ε：真歪み）を適用すると、荷重と変位の関係式は、$P = A_o k M(c) \cdot [\ell n(1+\lambda/\ell_o)]^n / (1+\lambda/\ell_o)$ ……………………(3)

A_o： 初期断面積、ℓ_o： 標点間距離. これよりＵの変化 $\triangle U = (\partial U/\partial c)\triangle c + (\partial U/\partial\lambda)\triangle\lambda = (\partial U/\partial c)\triangle c + P\triangle\lambda$、また亀裂成長時の外部仕事変化 $\triangle W = P\triangle\lambda$ より(1)式は

$$\partial\Gamma/\partial c = -\partial U/\partial c = -\partial\left[\int p\,d\lambda\right]/\partial c = -A_o\ell_o k/(1+n)\cdot[\ell n(1+\lambda/\ell_o)]^{1+n}\cdot\partial M/\partial c \quad \cdots\cdots(5)$$

$M(c)$ は仮定Ｂより弾性域のものを使用することができ、それは $M(c) = (1-2\pi c^2/A_o\ell_o)$ …………………(6)

ゆえに(5)式は $\partial\Gamma/\partial c = 4\pi kc/(1+n)\cdot[\ell n(1+\lambda/\ell_o)]^{1+n} = 2\gamma_p = \mathrm{const}$ ……………………(7)となる。

。 P、σ、ε の関係により(7)式から、破壊応力 σ_f あるいは破壊歪み ε_f と亀裂長さ c の関係として、右の塑性変形体についての不安定破壊条件が求まる。

$$\begin{cases} \sigma_f \cdot c^{n/1+n} = \mathrm{const} & \cdots\cdots (8) \\ \varepsilon_f \cdot c^{1/1+n} = \mathrm{const} & \cdots\cdots (9) \end{cases}$$

ここで n＝1 とおくと脆性破壊で良く知られた関係式(10) (11)を得る。

$$\begin{cases} \sigma_f \cdot c^{1/2} = \mathrm{const} & \cdots\cdots (10) \\ \varepsilon_f \cdot c^{1/2} = \mathrm{const} & \cdots\cdots (11) \end{cases}$$