

(226) ラインパイプの不安定延性破壊に関する一、二の考察

不安定延性破壊の研究—I

住友金属工業(株) 中央技術研究所 福田 実, ○岩永 寛

I 緒言 天然ガス輸送パイプラインでは溶接部からの破壊の発生のみならず, 不測の事態で発生した亀裂を最少限にいくとめることも重要な課題である。とりわけ, 不安定延性亀裂伝播の問題に最近強い関心がよせられている。ここでは不安定延性破壊の一、二の現象論的考察について述べる。

II 内容 天然ガス輸送パイプラインでは破壊時の亀裂速度と管内気体の減圧速度のせりあいにより, 亀裂が定常的伝播を起すかあるいは数メートルで停止するかが問題とされている。

まず, 亀裂発生初期の現象を運動論的に扱ってみる。亀裂長が $\ell \rightarrow \ell + d\ell$ となったとき,

$K = \text{運動エネルギー} = \frac{1}{2} M(v, \ell) f(\phi)^2 v^2, f(\phi) = \text{角度因子}$

$dK = P_D \Delta A d\ell - E d\ell \dots\dots(1), \text{ここに } E = \text{塑性変形エネルギー} = E(v), v = \text{亀裂速度}, M = \text{総質量}$

$\Delta A = \text{断面膨脹量} = \Delta A(v), P_D = \text{亀裂先端応力} = P_D(v, \ell)$

(1)式から, 亀裂速度, v の ℓ に関する微分方程式が(2)式のように得られる。

$v \frac{dv}{d\ell} = \frac{P_D \Delta A}{f(\phi)^2 M} - \left(\frac{E(v)}{f(\phi)^2 M} + \frac{v^2}{2M} \frac{dM}{d\ell} \right) \dots\dots(2)$

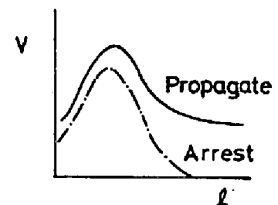


図1 運動方程式の解の性格

(2)式を数値解析的に解くことにより, 図-1のごとき解が得られることになる。 $P_D(v, \ell)$ は流体力学により解明されており, 他の $\Delta A(v), M$ 等は実測に頼らねばならない。とりわけ, (2)式の傾向を支配する $E(v)$ が重要で, その評価法には動的塑性論による立場がある。

次に, 別の考え方として定常亀裂伝播の安定性を論ずる立場がある。気体のエネルギーを破面形成のエネルギー源ではなく, 定応力状態を生み出すレザーバと考える。そうすれば, 塑性歪エネルギーと管壁弾性歪エネルギーの増分の比較で定常亀裂伝播の安定性(安定: 不安定延性亀裂伝播)の議論は可能であろう。塑性歪エネルギー消散率および管壁弾性歪エネルギー解放率は J.N. Goodier⁽¹⁾らおよび J.R. Rice⁽²⁾により(3), (4)式のように与えられる。

$G_C = \frac{\partial W}{\partial \ell} = \frac{4(1+\nu)}{E} \cdot \frac{3(1-\nu)}{2\pi} k(\text{eff}) \cdot \sigma_y^2 \cdot f\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) \dots\dots(3), G = \frac{\partial V_e}{\partial \ell} = \frac{\pi D \sigma^2}{2 E} \dots\dots(4)$
ここに

$f\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) \cong 0.46 \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) + 0.36 \left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right)^2, \sigma(v) = \sigma_0 \left(\frac{2}{r+1} + \frac{r-1}{r+1} \cdot \frac{v}{v_g} \right)^{\frac{2r}{r-1}}, r = 1.3, v_g = \text{音速}(1,300 \text{ ft/sec})$

σ_y は亀裂速度, v の関数であり, $k(\text{eff})$ は(4)式から $D/2$ と推定される。定常亀裂伝播の安定性は(3), (4)式の数値微分により評価できると考えられる。すなわち, (5)式が定常亀裂伝播の条件を表わすといえよう。

$\frac{\partial G_C}{\partial v} - \frac{\partial G}{\partial v} < 0 \dots\dots(5)$

III 結論 以上, 天然ガス輸送パイプラインの不安定延性破壊を現象論的に扱ったが, まだ解決されねばならない問題が多い。とくに, 塑性変形による吸収エネルギー, $E(v)$ の評価が, 現実には $10^4 \sim 10^5 / \text{sec}$ の歪速度の現象であるため困難な問題として残されている。いずれにしても, $E(v)$ の大なるもの, あるいは(3)式から σ_y の歪速度依存性の異なる材料が不安定延性破壊に対して有利であるといえよう。

- (1) J.N. Goodier et al, Fracture of Solids, Interscience Publishers, Inc., New York, 1963 P103
- (2) J.R. Rice, Journal of Applied Mechanics, June, 1968, pp379