

(227) ラインパイプの不安定延性破壊理論の展望

不安定延性破壊の研究 - 2

住友金属工業(株) 中央技術研究所 ○福田 実, 岩永 寛

I 緒言 天然ガス輸送用ラインパイプの不安定延性破壊は実験データが乏しい上に延性現象としては異例の高速現象であるため、信頼のおける理論が未だ確立していない。本報ではこれまでに提案されたいくつかの考え方を分類、整理して今後の実験による各理論の比較、検証の用に供したいと考えた。

II 内容： 不安定延性破壊の理論は解法と材料特性の両者に関し次の如く分類される。

(1) 解法による分類

A 運動学的解法 運動学的に破壊速度 v を管軸に沿っての距離 l の函数として解こうとする方法でエネルギーバランスの式(前報(1)式)を基本とする。

A-a 数値積分により完全解を求めようとする方法 前報(2)式の運動方程式を $P_D, \Delta A, M, E$ などを v や l の函数として測定、算定または仮定することにより与えて、数値積分により解こうとする方法である。もしも不安定延性破壊の挙動が前報図-1の v の最大値から定常状態に移る遷移域での土盛り等による dM/dl や破壊抵抗 $E(v)$ の微妙な釣合いに左右されるものであるならばこの解法が唯一の正解になるであろう。

A-b 定常状態の近似解法 定常状態域の運動方程式として次の(3)式を考慮するもの

$$\begin{aligned} P_D \Delta A - E(v) &\geq 0 && \dots \text{伝播} \\ P_D \Delta A - E(v) &< 0 && \dots \text{停止} \end{aligned} \quad (3)$$

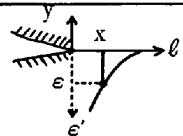
B ノッチ先端の静力学的解法 定常状態でノッチ先端の力学的釣り合い条件(安定条件)により近似解を求める方法で想定された v での伝播又は停止を判別する方法

(2) 材料特性による分類

① K_C 説 ② COD 説 ③ 全塑性変形エネルギー説 ④ 塑性波伝播エネルギー説 ⑤ G_C の速度変化率説 の5種の考え方がみられる。

表-1に(1)(2)の分類を組合せた理論の総括を示す。

表-1 不安定延性破壊の各種の考え方の一覧表

材料特性分類	運動学的解法 ($E(v)$ に用うべき量について)	ノッチ先端の静力学的 解法(伝播条件)	問題点
① K_C 説	$E(v) = f(K_C^p \text{ dyn})$ $\approx f(C_V)$	$K \geq K_C^p \text{ dyn}$ 近似 $C_V \geq C_{V0}$	延性、脆性両破壊に各発生、伝播の K_C 値を定める
② δ_C 説	$E(v) = f(\delta_C^p \text{ dyn})$ $\approx f(C_V)$	$\delta \geq \delta_C^p \text{ dyn}$ 近似 $C_V \geq C_{V0}$	延性、脆性両破壊に各発生、伝播の δ_C を定める
③ 全塑性変形 エネルギー説	$E(v)$ をノッチ底塑性場の歪分布の解より定める。 n 値、破断伸びなど塑性的性質が重視される。	$k(v) \sigma_H \geq \sigma_B \text{ dyn}$ k は亀裂先端の塑性的応力集中係数である。	$\dot{\epsilon} \sim 10^4 \sim 10^5$ で臨界変形速度以上では塑性解が変わるであろう。
④ 塑性波伝播 エネルギー説	$C(\epsilon) = \sqrt{\frac{1}{\rho} \frac{d\sigma}{d\epsilon}}$, $y(\epsilon) = \frac{x}{v} C(\epsilon)$ [右図] により歪分布を求め $E(v)$ 算出	$k(v) \sigma_H \geq \sigma_B \text{ dyn}$	 $x-\epsilon$ 関係の決定困難
⑤ G_C の速度 変化率説	(3)式の速度微分による動的平衡論	$\frac{\partial G}{\partial v} \geq \frac{\partial G_C}{\partial v}$	これだけでは v が定まらない。