

I-118

貫通き裂を有するシエル構造物の弾塑性破壊力学パラメータの解析

センチュリリサーチセンタ(株) 正員 渡辺 隆之

1. はじめに

き裂先端近傍に大規模な塑性変形を生ずる延性材料の安定・不安定破壊に関する研究は、主にJ積分に基づいた破壊力学パラメータを用いて行われている。配管の貫通き裂に対するJ積分評価は、3次元解析が必要となり多くの計算時間を浪費しなければならない。従って、本論文では、厚肉シエル要素を用いてき裂前縁に沿った破壊力学パラメータを評価する方法についてしめす。本方法は、3次元解析に比較して経済的な方法となっている。ここでは、破壊力学パラメータとして $\hat{J}$ 積分を採用している。

2. $\hat{J}$ 積分の評価

エネルギー平衡条件に基づいて導かれた $\hat{J}$ 積分は、3次元熱弾塑性体に対して図1を参照して次のように増分形で表わせる(1)。

$$\Delta \hat{J}_k = \int_{\Gamma} (\Delta \bar{W}^e \bar{n}_k - \Delta \bar{U}_{k,j} \bar{n}_j) d\Gamma + \int_A \Delta \bar{W}_K^{ne} dA + \int_A \left(\frac{\partial \Delta \bar{W}^e}{\partial \bar{z}'} \bar{n}_k' - \frac{\partial \Delta \bar{U}_{K,j}}{\partial \bar{z}'} \bar{n}_j' \right) dA$$

$$, \quad k = \bar{x}, \bar{y}, \bar{z} \quad (1)$$

ここで、

$$\Delta \bar{W}^e = \bar{\sigma}_{ij} \Delta \bar{\epsilon}_{ij}^e + \frac{1}{2} \Delta \bar{\sigma}_{ij} \Delta \bar{\epsilon}_{ij}^e \quad (2a)$$

$$\Delta \bar{W}_K^{ne} = \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \Delta \bar{\epsilon}_{ij}^{ne}}{\partial K} + \Delta \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \bar{\epsilon}_{ij}^{ne}}{\partial K} + \Delta \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \Delta \bar{\epsilon}_{ij}^{ne}}{\partial K} \quad (2b)$$

$$\Delta \bar{U}_{K,j} = \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \Delta \bar{u}_i}{\partial K} + \Delta \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial K} + \Delta \bar{\sigma}_{ij} \frac{\partial \Delta \bar{u}_i}{\partial K} \quad (2c)$$

とされている。これより、n回目の荷重増分後の $\hat{J}$ 積分値は、次式で求めればよい。

$$\hat{J}_K = \sum_{i=1}^n \Delta \hat{J}_K^i \quad (3)$$

き裂前縁に沿った $\hat{J}$ 値の分布は、シエル要素の厚さ方向の各評価層で求めればよい。

3. 引張荷重を受ける周方向貫通き裂付き配管の解析

ここでは、図2に示すような配管モデルの解析を行う。得られた結果は、German・kumar (2) が全面塑性解に基づいて求めたJ積分値と比較することによって、解の妥当性の検討を行う。配管寸法は、半径がR=52.9mm, t=8.5mm, き裂角度は45°である。材料データとして、ヤング係数は207Gpa, ポアソン比は0.3 応力-ひずみ関係はRamberg-Osgood則に従うものとしている。

$$\epsilon/\epsilon_0 = \sigma/\sigma_0 + \alpha (\sigma/\sigma_0)^n \quad (4)$$

ここで、降伏ひずみは $\epsilon_0 = \sigma_0/E$ 、降伏応力は $\sigma_0 = 207\text{Mpa}$ である。図3, 4は、有限要素モデルをしめす。図5は、結果としてJ($\hat{J}$)積分と荷重の関係を示した。本解析結果は、中立面の値をプロットしている。図より、本結果は、引用した値とよく一致していることがわかる。なお、き裂前縁に沿った $\hat{J}$ 値の分布は、紙面の都合で省略する。

(参考文献)

(1) Kishimoto, et al., Engng. Fract. Mech., 13(1980)841, (2) German, M. D., Kumar, V., PVP-58, ASME(1982)109

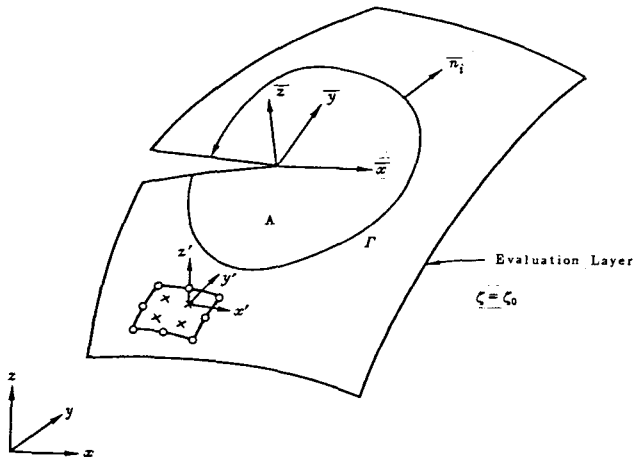


図1 シェル要素の任意評価層と積分径路

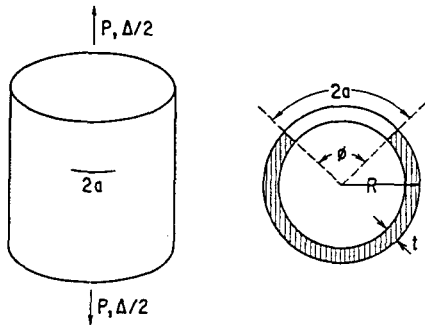


図2 貫通き裂付き配管モデル

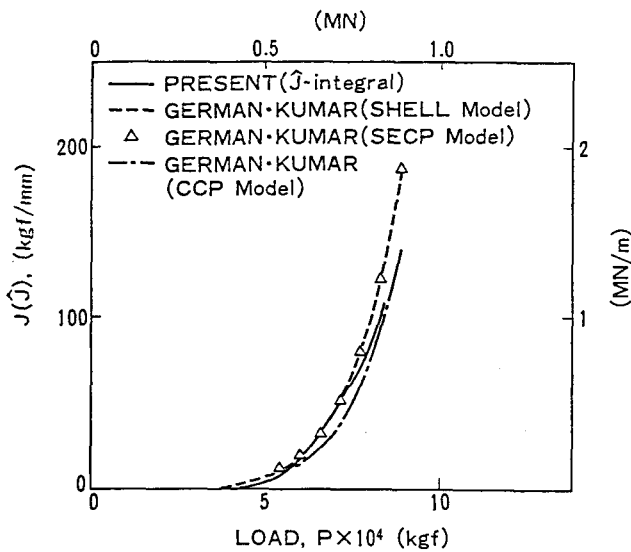


図5 $J(\hat{J})$ 積分と荷重の関係

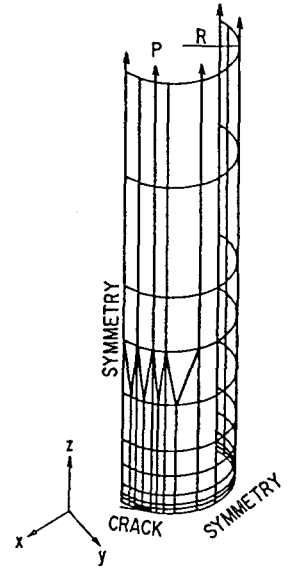


図3 有限要素モデルと境界条件

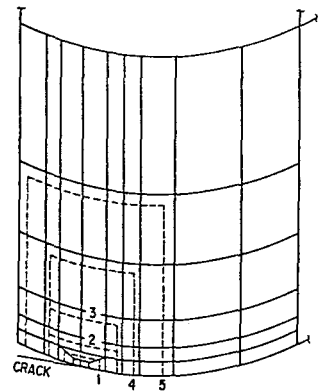


図4 き裂先端近傍の有限要素モデルと積分径路