

2021年6月7日

高圧ガス保安協会 御中

石油連盟
石油化学工業協会

p-M法に対する産業界の技術的見解について

石油連盟及び石化協としては協議検討した結果、p-M法は破壊力学の問題と塑性崩壊の問題の混同等の技術的疑義があり、これを採用し運用することには問題があると考えております。即ち、円筒と平板のキズ周りの応力分布が同じになるように、破壊力学の考え方によって求められたFoliasのMt値およびChellのMs値について、p-M法はバルジングファクターと称し、円筒の周方向応力を板の無限遠方応力から導出する材料力学的な係数と考えています。キズを想定して破壊力学によって求めた係数を、キズを想定しない材料力学の係数とするこの考え方は誤りです。また、破壊モードとして考えるべき、局部崩壊と全体崩壊についても考慮していません。

以下要点を簡潔に指摘しますので、この点について、透明で公正な議論ができる公の場の環境を整えるべく、よろしくご理解とご協力をお願いいたします。

1. Mtの考え方について

MtはMt=貫通亀裂のある「無限幅」平板の崩壊時遠方応力 σ_m と貫通亀裂のある円筒の崩壊時周方向応力 σ_{hoop} の比であり、

$$\text{正(API法、脆性破壊に対し); } M_t = \frac{\text{貫通亀裂を持つ無限平板の破壊時膜応力}}{\text{貫通亀裂を持つ円筒の破壊時周応力}} = \frac{\sigma_m}{\sigma_{hoop}}$$

として表現されるものであるが、き裂の進展がない塑性崩壊においては流動応力 σ_{flow} を用いて

$$\text{正(API法、塑性崩壊に対し); } M_t = \frac{\text{キズの無い容器の崩壊荷重}}{\text{貫通き裂のある容器の崩壊荷重}} = \frac{\sigma_{flow}}{\sigma_{hoop}}$$

と表現できるものである。

一方、p-M法は上記と違い下記の通り「有限幅」平板と円筒の関係に解釈し論を展開してしまっており、材料力学的な応力の換算係数とも解釈してしまっている。

$$\text{誤(pM法、脆性\&塑性破壊共に); } M_t = \frac{\text{貫通亀裂を持つ有限幅平板の}\sigma_m}{\text{貫通亀裂を持つ円筒の}\sigma_{hoop}}$$

2. Msの考え方について

表面キズのある容器に対する表面修正係数(Surface Correction Factor)Msは次式で定義されるものである。

$$\text{正(API法)}; Ms = \frac{\text{キズの無い容器の崩壊荷重}}{\text{キズのある容器の崩壊荷重}} = \frac{\sigma_{flow}}{\sigma_{hoop}}$$

$$\text{誤(pM法)}; Ms = \frac{\text{キズのある平板の崩壊荷重}}{\text{キズのある円筒の崩壊荷重}} = \frac{\sigma_{plate}}{\sigma_{hoop}}$$

これは Chell の論文 (Application of the CEGB Failure Assessment Procedure, R6, to Surface Flaws) 並びに Kiefenr の論文 (PROGRESS IN FLAW GROWTH AND FRACTURE TOUGHNESS TESTING, ASTM STP 536) にて明確に定義し示されている。一方、p-M 法はこの解釈を否定し、Ms を表面キズのある平板の崩壊時遠方応力と表面キズのある円筒の崩壊時周応力の比として扱ってしまっており、材料力学的な応力の換算係数と解釈してしまっている。

3. 上記の結果導かれる参照応力解

上記の正しい Ms と Mt の解釈に基づけば

$$\sigma_{ref} = \frac{g\sigma_b + \left[(g\sigma_b)^2 + 9\{\sigma_{hoop}(1-\alpha)Ms\}^2(1-\alpha)^2 \right]^{0.5}}{3(1-\alpha)^2}$$

一方、p-M 法側は Ms の定義を誤解しているため、以下の式となっている。

$$\sigma_{ref} = \frac{g\sigma_b + \left[(g\sigma_b)^2 + 9\{\sigma_{hoop}Ms\}^2(1-\alpha)^2 \right]^{0.5}}{3(1-\alpha)^2}$$

4. 上記を破壊試験データと比較した結果

上記 API 法と p-M 法の両式を破壊試験データと比較した結果を添付します。p-M 法は Ms の考え方に誤りがあるため、破壊試験実験値を予測せず、下域にズレており破壊圧の予測式になっておらず、破壊予測値が運転域に近すぎ、API 法と同じ合否基準では殆どが供用不可となり使い物にならない。

5. HPIS Z101-2 規格について

「HPIS Z101-2 圧力機器のき裂状欠陥評価方法—第 2 段階評価」ですが、この規格を HPI (p-M) 法という表現をすることは、亀裂状欠陥評価法である同規格 (HPIS Z 101-2) を、減肉評価にもそのまま適用できるような誤解を与えるので不適切です。この規格の中で p-M 法のオリジナル部分が採用されているのは、5.3.2 および 5.3.3 節の「円筒の軸方向欠陥」の半楕円き裂に対する式のみ (前項 3 の式) であり、同一視すべきではありません。

尚、HPIS Z101-2 規格に問題となっている pM 法の半楕円き裂の式 (前項 3 の式) が採用された経緯ですが、添付の通り調査した結果、委員会について議論がでたものの、結論が出ていなかったことも確認されています。

添付資料

参考資料-1 API 法と p-M 法の比較と問題整理

参考資料-2 参考資料-2 METI 殿 2 月に作成 API_PM 比較表案 ver2

以上