125

減肉を有する薄肉円筒の破損挙動解析

横浜国大[院] 〇尹子文 横浜国大 安藤 柱

横浜国大 高橋宏治 損保ジャパン 安藤英夫

韓国釜慶大 南起祐

Effect of External Local Wall Thinning on The Failure Behavior of Pressure Vessel Ja-Moon YOON, Kotoji ANDO, Koji TAKAHASHI, Hideo ANDO and Ki-Woo NAM

1 緒 言

現在、ボイラー・圧力容器等では薄肉円筒が広く使用 されている.しかし、長期間使用することによって、腐 食等による局所減肉が発生し, ボイラーの信頼性が低下 する可能性がある.よって、このようなボイラー・圧力 容器等の健全性評価のための内圧試験が必要であるが, その場合には多大の費用を伴う. 本研究では薄肉円筒の 破損挙動を調査するために、薄肉円筒の外側に円形の減 肉を導入して減肉深さ,減肉直径及び内圧の三つのパラ メータを変化させて解析を行った. この解析結果を用い て許容応力に到達時の内圧, 降伏時の内圧, 塑性崩壊時 の内圧, き裂発生時の内圧のそれぞれ評価項目を調査し た. この四つの評価項目のデータをまとめて,外側に減 肉を有する薄肉円筒の内圧に対する破損評価を調査し た. さらに,長期間使用して材料の材質が変化されたと 仮定したものも調査した. ここでは、その解析結果を報 告する.

2 試験体及び解析方法

- 2.1 試験体 本研究で対象とした圧力容器は、外側に円形の減肉を有する薄肉円筒で、長さ 3000mm、内径 1000mm、板厚 5.9mm で JIS 規格 ss400 炭素鋼で製作されているとした.薄肉円筒の板厚 t は 5.9mm で、減肉深さ d は 0.9~4.9mm、減肉直径 l は 30~300mm まで変化させた. Fig.1.には薄肉円筒の寸法と円形減肉の寸法を示した. Table 1.には P00~P99 まで、薄肉円筒の減肉の条件を示した.
- 2.2 解析方法 外側に減肉を有する薄肉円筒に 0 から 5MPa の内圧をかけて破損挙動に及ぼす内圧の影響を調査した.減肉部が許容応力 100MPa,降伏開始,塑性崩壊,き裂発生となる時の内圧に注目した.解析には有限要素プログラム ANSYS ver. 8.1 を用いた.メッシュモデル作製に当たっては,六面体 20 節点要素と四面体 10 節点要素を用いた.解析モデル形状の対称性を考慮し,1/4モデルを使用して解析を行った.

3 結果と考察

- 3・1 許容応力と降伏応力との調査 許容応力と降伏応力の解析結果は von Mises 応力で検討した. 全体的に,最初に許容応力あるいは降伏応力に達するのは減肉の角であった. それぞれの内圧を, Fig.2 に示した.
- 3・2 **塑性崩壊の調査** 塑性崩壊内圧は内圧対減肉部の 塑性変位から決定した. 塑性崩壊内圧は, 当然ながら,

- 減肉が深いほど、また減肉半径が大きいほど低下した. 3・3 き裂発生の予測 き裂発生の予測には Weiss の理論 $^{1)}$ を拡張した宮崎の方法 $^{2)}$ を用いた.この予測法では、減肉部の相当ひずみ (ϵ_{ms}) が多軸応力下での真破断延性 (ϵ_{mf}) を超えた時、き裂が発生すると評価され、容易に FEM 解析に適用できる $^{3)}$.
- 3.4 減肉深さ及び減肉直径と内圧との関係 Fig.2 に, 減肉直径 30mm, 300mm の場合, 内圧と減肉深さの関係 を示した. 実線は減肉直径30mm, 点線は減肉直径300mm である. 減肉直径が30mmの場合, 減肉深さが深いほど, き裂が発生しやすく, 塑性崩壊時, 降伏時, 許容応力に 到達時の内圧が下がることが分かった. 減肉直径が 300mm の場合, 減肉直径が 30mm と同じように, き裂発 生時, 塑性崩壊時, 降伏時, 許容応力に到達時の内圧が 下がることが分かった. 減肉直径が 30mm の場合は, 内 圧がすべて緩慢に下がるが、減肉直径が 300mm の場合 は,き裂発生時及び塑性崩壊時の内圧が急に下がること が分かった. したがって, 減肉深さ及び減肉直径が大き いほど薄肉円筒の信頼性は下がることが分かった. 板厚 が 1mm の健全体の結果と、減肉深さが 4.9mm, すなわ ち最小板厚 ts が 1mm の結果を比較して、減肉がある場 合が板厚が 1mm の健全体より、安全なことが分かる.
- 3.5 材質変化しない場合と材質変化した場合の比較 長期間使用することによって、材質が劣化する可能性が ある. したがって、材料劣化した場合の破損挙動を調査 するため、解析に用いた材料特性を変化させた. 材質劣 化する前は,降伏点は250MPa,真破断応力は700MPa, 真破断延性は 0.8 である. 材質劣化した後は、降伏点は 287.5MPa, 真破断応力は 586.5MPa, 真破断延性は 0.25 である. 降伏点は約15%増加したことである. 真破断延 性は約 1/3 減少したことである. Fig.3 には, 内圧が 3MPa の場合, 材質劣化しない場合と材質劣化した場合の破損 評価グラフの比較を示した. グラフではそれぞれの線よ り,減肉直径及び減肉率が大きい場合はき裂発生,塑性 崩壊することを示し、それ以外の部分はき裂発生、塑性 崩壊しないことを示した. き裂発生時の場合, 材質劣化 した場合の線が材質劣化しない場合の線より下にある ので,き裂発生しやすいことが分かる. 塑性崩壊の場合, 減肉直径が80mmまでは材質劣化した場合の線が材質劣 化しない場合の線より下にあるが、直径が 80mm 以上の 場合は、塑性崩壊しにくいことが分かる.

したがって、材質劣化した場合は減肉直径が長いほど、 内圧が大きいほど、き裂発生しやすいが、塑性崩壊はし にくいことが分かる.

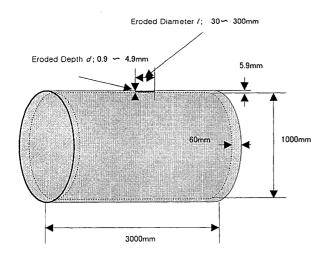
3.6 許容減肉について 許容可能な減肉は、減肉形状、減肉深さ、材質等で大きく変化すると考えられる。今後の課題は、それらの影響を丹念に解析し、妥当な許容減肉量を決定することが必要である。

4 結 論

- (1) 減肉直径が 30mm の場合は、減肉深さが深いにも関わらず、き裂発生及び塑性崩壊時の内圧が急に下がってない. 減肉直径が 300mm の場合は、減肉深さが深いほど、き裂発生及び塑性崩壊の時の内圧が急に下がることが分かる.
- (2) 材質劣化しない場合と材質劣化した場合との解析結果の比較では、材質劣化した場合、減肉直径が長いほど、 内圧が大きいほど、き裂発生しやすいが、塑性崩壊はし にくいことが分かる.
- (3) 今後は、より広範な条件について、定量的な解析を進めて行きたい。

参考文献

- 1) V. Weiss, Proceeding 1st Int. Conf. on Mechanical Behavior of Materials, 1972, 159, pp458-pp474.
- 2) 宫崎克雅, 根布景, 菅野智, 石渡雅幸, 長谷川邦 夫, 圧力技術, Vol.40(2002), pp.62-pp.72.
- 3) 高橋宏治,安藤柱,木村祐介,川戸和臣,久恒眞一,長谷川邦夫,圧力技術,Vol.42(2004),pp2-pp.9.



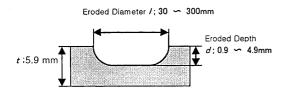


Fig. 1 Geometry of Pressure Vessel and Local Wall Thinning

Table 1. Pressure Vessel Specimen

No.	Eroded Diameter /(mm)	The Least Thickness ts (mm)	Thickness t (mm	Eroded Depth d (mm)
P00	0	•	5.9	0
P01~P05	30			·
P11~P15	50	1.0		4.9
P21~P25	100	~	5.9	~
P31~P35	200	5.0		0.9
P41~P45	300			
P99	0		1	0

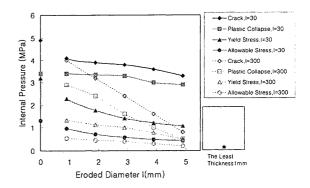


Fig.2 Relationship between Internal Pressure and The Depth of The Local Wall Thinning and The Diameter of The Local Wall Thinning

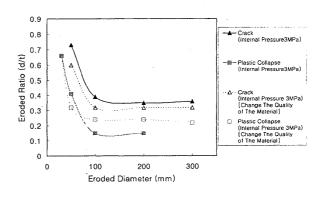


Fig.3 Fracture Criterion of The Local Wall Thinning