125

減肉を有する薄肉円筒の破損挙動解析

橫浜国大[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

- V. Weiss, Proceeding 1st Int. Conf. on Mechanical Behavior of Materials, 1972, 159, pp458-pp474.
- 宮崎克雅,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.
- 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.



Eroded Diameter /; 30 ~ 300mm



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