

<p>PSB (Process Safety Beacon) 2007年2月号 の内容に対応</p>	<p>SCE・Net の 安全談話室 (No.10) http://www.sce-net.jp/anzen.html</p>	<p>化学工学会 SCE・Net 安全研究会作成 (編集担当:宇野 洋)</p>
--	---	--

2月のテーマ: 真空(減圧)事故 - 潰れたタンク

(PSB 翻訳担当: 日置敬、宇野洋、小谷卓也(纏め))

司会: 減圧でタンクや容器を潰してしまった経験やそれを見聞されたことなど、皆さんの知見を紹介して下さい。

YMZ: タンクが内圧には強いのに、外圧(内部減圧)に対して簡単に潰れてしまうのは、材料の鋼板が引張りには強いが曲げには弱いためと考えられます。

IWM: そして、一度潰してしまうと元には戻りません。

HOK: 座屈してしまいますから、一般的には作り直すことになりますね。

KTN: 海外の文献に、アンモニアガスが浸入してきた水に溶解してタンク内が減圧になったり、タンク内にスチームが充満した状態で放置したため、凝縮し減圧になってタンクを潰した例がありました。また、訪問先で沢山並んだポリマーサイロの中に(一つが200m³以上あったと思いますが)凹んでいたものを見たことがあります。

WTB: 低圧窒素でシールしている130 m³程のタンクで、ポンプの試運転で内容物を抜き出していて、低圧窒素の補給が追従できずにそのタンクを潰した、ということを知っています。

HOK: 硝酸(20%)のステンレス製プロセスタンク(50 m³位)で、高温の熱硝酸から低温の硝酸に流入を切り替えたところ、硝酸蒸気の凝縮で減圧になって潰した経験があり、上司から怒られたことを思い出します。また、これとは別のことですが、開口部の凍結に注意する必要がありますね。

YMZ: LNGタンクは大気圧の近くで運転されますが、低気圧、例えば大きな台風では、気圧が下がると、LNGタンク内への入熱により自然に気化したガス(BOG)を放出し内圧を下げ、台風の通過後、大気圧が上がる時は減圧のリスクを意識して気を配っていました。

UNO: 高圧ガス保安法の例示基準では、可燃性ガスの低温貯槽の圧壊防止のために、圧力計及び圧力警報設備の他に、次のうち1つを備えることになっています。

- ・ 真空安全弁
- ・ 他の貯槽等との均圧管
- ・ 圧力連動の緊急遮断装置を設けた冷凍制御設備
- ・ 圧力連動の緊急遮断装置を設けた送液設備

IWM: タンクではありませんが、クリーンルームが減圧で潰れたことがあります。クリーンルームが送気-排気バランスで維持されている時、送風機の吐出弁を保全担当の者が点検で勝手に閉めたため、室内が減圧になって潰れてしまいました。そのおかげで中に居た者は酸欠にならずに命拾いをしました。

司会: 円筒タンクのような形状のものが減圧になったときの、座屈の危険性を判断する目安はありますか？

YMZ: 外圧を受ける円筒シェル座屈についてはミーゼスの式というのがあり、ASME Boiler and Pressure Vessels Code, Section では外圧を受ける圧力容器の補強リング取り付け間隔に、API Standard 650, [Welded Storage Tank for Oil Storage]では石油貯槽のウインドガーダー取り付け間隔の設定に採用されています。

$$P/E=2.6(T/D)^{2.5}/((L/D)-0.45(T/D)^{0.5}),$$

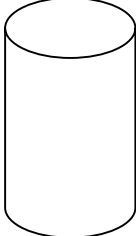
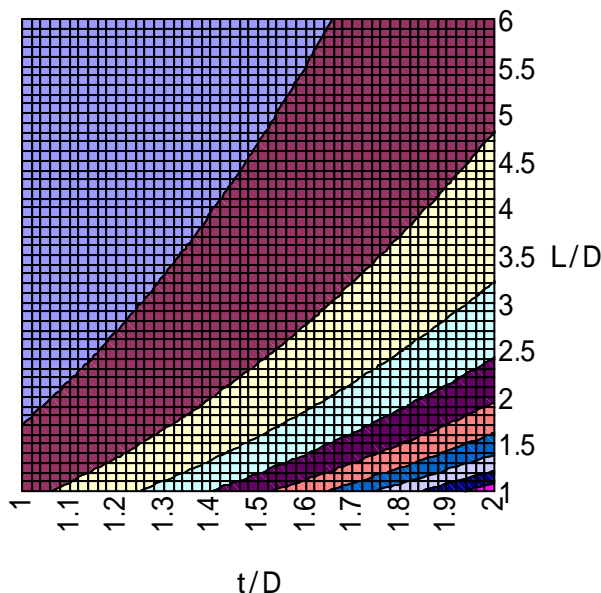
ここで、鉄鋼のヤング率: $E=206(\text{GPa})$, 厚み換算: $T(\text{m})=t(\text{mm})/1000$, 圧力換算: $P(\text{GPa})=(9.8/10^6)p(\text{mH}_2\text{O})$

この式から、鋼製円筒シェルの内部が減圧になった場合、座屈発生を推算する簡単なマップを作成しました。横軸はシェルの厚さをシェル径で割った値(t/D)、縦軸はシェルの長さをシェル径で割った値(L/D)で、例えば青色の範囲では $1\text{mH}_2\text{O}$ 以下の僅かな減圧でも座屈が起こる可能性があります。図から、シェルの厚みが薄く、細長い形状のシェルほど座屈が起こり易いことが判ります。実際の条件で、詳しく座屈問題を解くには、非線形有限要素法による計算機シミュレーションが行なわれます。

鋼製円筒シェルの減圧座屈マップ

■ 0-1 ■ 1-2 ■ 2-3 ■ 3-4 ■ 4-5 ■ 5-6 ■ 6-7 ■ 7-8 ■ 8-9 ■ 9-10

D: 円筒シェル径(m)
L: 円筒シェル長(m)
t: シェルの厚さ(mm)
凡例は減圧量(mH_2O)

例えば、 $D=2\text{m}$ 、 $L=6\text{m}$ 、 $t=3\text{mm}$ の鋼製円筒シェルは、 $1 \sim 2\text{mH}_2\text{O}$ の減圧で座屈の恐れあり。横軸 $t/D = 3/2=1.5$ 、縦軸 $L/D = 6/2=3.0$

【談話室メンバー】

HOK: 日置敬、IWM: 岩村孝雄、KBS: 小林浩之、KTN: 小谷卓也、MZG: 溝口忠一、NGY: 長安敏夫、NKG: 中川雅造、SBY: 渋谷徹、UNO: 宇野洋、WTB: 渡辺紘一、YMZ: 山崎博、YOK: 山岡龍介