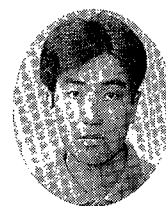


大型グラスライニング製食品タンク 製造時の安全性検討

Safety Examination in Manufacturing a Large Glasslined Reservoir Tank



(化)技術部 技術課
鳥生 眞 吾
Shingo Toriu

Large glasslined reservoir tanks have been manufactured which are used for the purpose of brewing beer, SAKE, or wine, and distilling SHOCHU or whisky, and are used generally under atmospheric pressure. Although these reservoir tanks are designed in accordance with the formulas and rules, the wall thickness of the tank is thinner than that of pressure vessels, and deformation due to dead load or local stress caused during manufacture has to be examined for preventing glass fracture.

This paper describes the results of the above examination in manufacturing a large glass lined reservoir tank whose inner diameter is 3 600 mm, length is 13 350 mm, and the capacity is 120 kLt.

まえがき

ビール・清酒・ワイン・焼酎・ウィスキーなど醸造を目的としたグラスライニング製食品タンク（以下GL缶という）は120～150kℓの超大型が製造されている。このような食品タンクは使用圧力が大気圧であることが多いため、通常の圧力容器に比べると板厚は薄く設計されている。そのため、缶体自重を無視できなくなり、設計圧力による検討以外に自重による支持反力を考慮したGLの安全性を検討する必要がある。特に製造時の様々なハンドリングに起因して発生する局部応力に対する缶内面のGLの安全性を考慮する必要がある。当社ではFEM解析をはじめ、最善の検討を実施し、製造を行っている。

本稿では120kℓ酒タンクの薄肉のGL缶を例にとり、製造から現地据え付けまでの間のGLの安全性に対する検討結果について報告する。

1. GL缶製造時のハンドリング

GL缶は製缶加工された鋼製上鏡・胴・下鏡・ノズル等を溶接し、缶内面にGLを施釉し、高温の電気炉で焼成した後、外套取り付け・各部品の組立・塗装作業を行い、検査・出荷・現地据え付けを行う。各製造工程では、常にGL缶を横置きにして作業台車（ターニングロール）上で作業が行われる。また、各工程間の移動・回転のハンドリングが必要となる。その場合、支持方法によっては缶体の重量により局部変形が起こり、GL破損の危険性が考えられる。

今回、GLの安全性に対する検討が必要と思われるハンドリングは次の三点である。

- (1) ターニングロール上での検討
- (2) ワイヤロープで吊り上げ時の検討
- (3) R台（木製サドル）上での検討

また、ユーザ現地に据え付け完了後は縦置きで使用され、外荷重が負荷されることはなく、GL缶の局部変形は考えられないため、検討の必要はない。

2. 缶体仕様

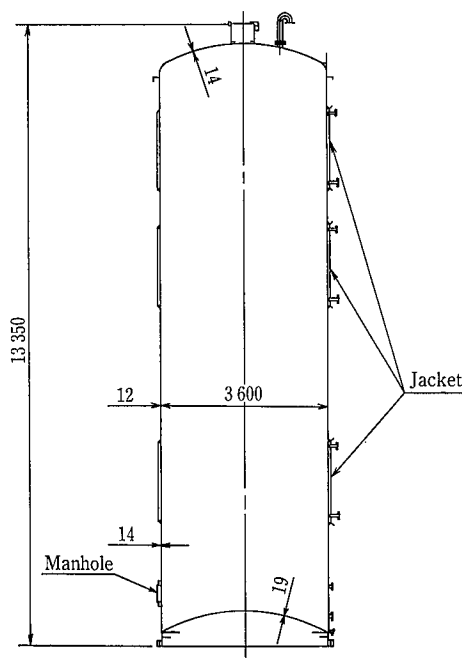
今回取り上げた例の酒タンクの概略図を第1図に示す。本GL缶は外套付き構造となっており、外套は焼成完了後

に溶接する。そのため、完成時には焼成時と比べて重量が増加する。缶体重量は次に示す通りである。

焼成重量：16 300 kg

完成重量：22 500 kg

本GL缶は、超大型であるため缶体重量に比べ缶体胴の板厚が薄く、ハンドリングの仕方によっては自重による変形により胴GL面母材の応力が降伏応力を超え、塑性変形を起こす可能性が考えられる。脆性材料であるガラスの破損は一般的に母材の降伏と共に起こるため缶体GL面母材に発生する応力が降伏応力を超えない事がガラス破損の安全基準となる。ここでは、母材SS400の降伏応力を245MPaとして、各製造過程時に缶体GL面に発生する応力をFEM解析または応力測定により求めた。



第1図 GL製酒タンク
Fig. 1 Glasslined SAKE tank

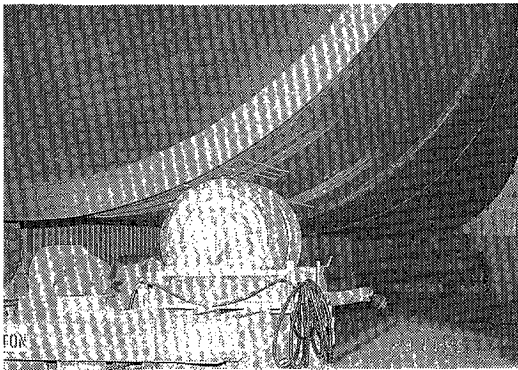


写真 1 ターニングロール
photo. 1 Turning role

ターニングロール上での検討

ターニングロール（写真1）は4カ所のローラーにより体を支持し、モータにより缶体を回転させるための治具、GL缶製造上必要不可欠である。通常、GL缶は補強果の高い鏡近傍位置で支持をするが、本GL缶の場合はこの位置にマンホール・ノズルを有するため胴部での支持余儀なくされ、鏡の補強効果が低いため安全性の検討が要となる。

本GL缶は施釉と焼成を数回繰り返す、缶体内面にガラスをライニングする際にターニングロールを使用するた、まず、焼成重量で缶体内面に発生する応力を求める。た、ターニングロールはGL缶を静置状態のまま使用だけではないため、ターニングロール上に設置する場や、ローラー回転を起動するとき動的荷重がさらに加ることになる。しかし、動的荷重を解析により算出するとは困難で不確実であるため、実缶を用いて応力測定を行った。その結果、3.1~3.3節に示すようにいずれの場合母材の応力は降伏応力を越えることはない。

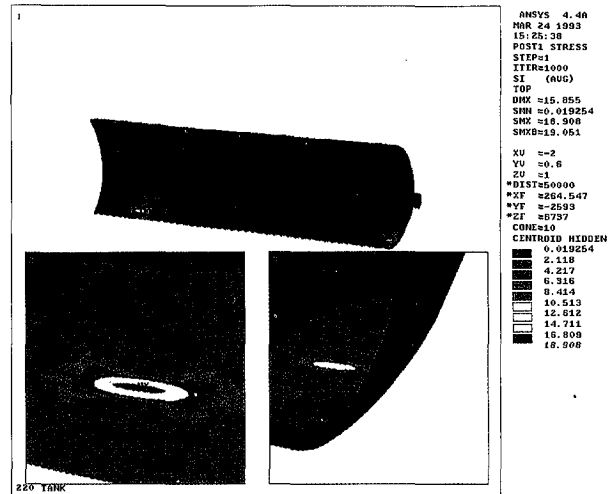
1 静置時

焼成重量の酒タンクをターニングロールで支持し、1G重力加速度を負荷するFEMモデルを作成し、応力解析を行った。また、ターニングロールローラー表面のゴムはネと接触要素でモデル化を行った。解析結果（第2図）より、ターニングロール接触部以外は発生応力は充分低、応力が最も高くなるのは下鏡側のターニングロール接触部分において周方向応力で約182MPaとなる。応力解析により求められた応力値を確認するため、FEMモデルと同条件で実缶にて応力測定を行った。GL缶内にひずみゲージを貼付け、ターニングロールを回転させるとき、ターニングロール接触位置通過時のひずみを測定した結果を第3図に示す。測定されたひずみと応力の関係式で表される。

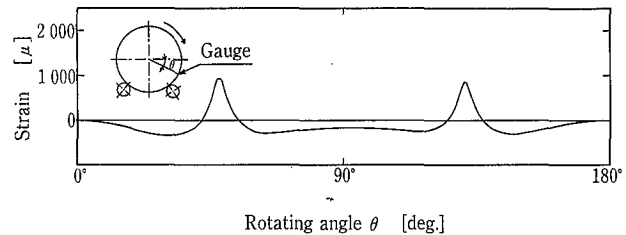
$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_x + \nu\epsilon_y)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_y + \nu\epsilon_x)$$

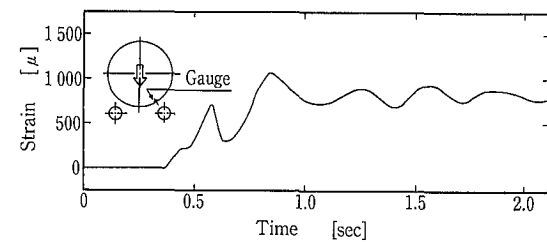
測定されたひずみより算出した周方向応力で177MPaが定され、これは、応力解析値の182MPaとほぼ同等の、解析結果の有用性を裏付けるものといえる。



第2図 応力強さコンター（ターニングロールで支持）
Fig. 2 Stress intensity contour (on turning role)



第3図 ひずみ実測結果（タンク回転）
Fig. 3 Result of measured strain (rolling tank)



第4図 ひずみ実測結果（設置時）
Fig. 4 Result of measured strain (Setting down)

3.2 設置時

GL缶をクレーンで吊り上げ、ターニングロール上に設置するときは、内面にGLをライニングしているため細心の注意を払って行われるが、設置による衝撃荷重が発生する。この場合の衝撃荷重はクレーンのオペレータにより個人差があるが、現場で実際作業を行うオペレータに現実的でしかも最も過激な設置を行わせ、発生するひずみを測定した結果を第4図に示す。測定ひずみより求められた応力は静置時の1.23倍の219MPaとなる。

第 1 表 応力比較 (焼成重量)

Table 1 Comparison of stress (Glassing weight) Unit: MPa

	Analyzed stress	Measured stress	Yield strength
Laying on turning role	182	177	<OK
Setting down on turning role	—	219	<OK
Starting role	—	234	<OK
Hanging by wire	27.6	—	<OK
Transfer on R base	(143)	—	<OK

3. 3 ローラ起動

ターニングロールはGL缶を約 1 R/M で回転させるため、ローラ起動時には一時的に衝撃がGL缶に加わり、静置時に比べ、大きなひずみが測定される。このときの動的ひずみ測定結果を第 5 図に示す。測定ひずみより求められた応力は静置時の 1.32 倍の 234 MPa となる。この値は降伏応力の 245 MPa に近い値だが、最も過激なハンドリングを行った場合であり、実際の作業中にはこの様なハンドリングは考えられない。

4. ワイヤロープ吊り上げ時の検討

GL缶を各作業場への移動の際のワイヤロープで吊り下げるモデルを作成し、解析を行った結果を第 6 図に示す。解析結果より応力が最も高くなるのはワイヤ接触部分において長手方向応力で約 27.6 MPa となり、十分低い応力であることが確認された。これは、ワイヤロープにより長い線接触をしているため、局部的変形が起らないことに起因している。また、クレーン巻き上げ起動時の動的荷重に関しては静的荷重が十分小さいため、問題はない。

第 1 表に焼成重量での各ハンドリングを検討した結果を示す。表より何れのハンドリングに於いてもGL缶の母材に発生する応力は降伏応力は超えることなく、GL 破損の危険性はない。

5. 完成重量での検討

5. 1 発生応力の推定

本GL缶は外套付構造となっているが、前述は外套取り付け前の重量での検討である。よって、焼成が完了したGL缶に外套を取付け、部品組立てた完成重量での検討が別途必要となってくる。

GL面母材応力は缶体の自重反力により発生するため、完成重量時に発生する応力は焼成重量と完成重量の比により推定した。

第 2 表に完成重量での応力の一覧を示す。表よりターニングロール上で作業を行う場合にはGL面母材応力は降伏応力を超えるため、GL安全上問題があり、対策が必要となってくる。

5. 2 GL安全対策

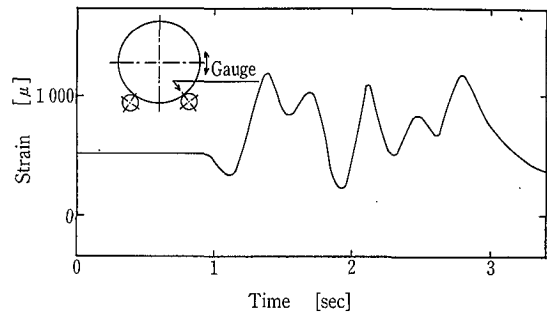
GL面母材応力は缶体の重量・剛性・支持方法が発生因子となるが、本GL缶では特に缶壁の板厚が薄いため、ターニングロール近傍で局部的な変形が起り、わずかな領域で降伏点を超える現象がみられる。

そこで、缶体の板の薄さを補い、局部的な変形を防止するためにターニングロール支持位置に強め輪(第 7 図)を巻くことにより局部変形を起こす近傍の剛性を高め、GL面に発生する応力を緩和することにした。強め輪は、缶体

第 2 表 応力比較 (完成重量, 強め輪なし)

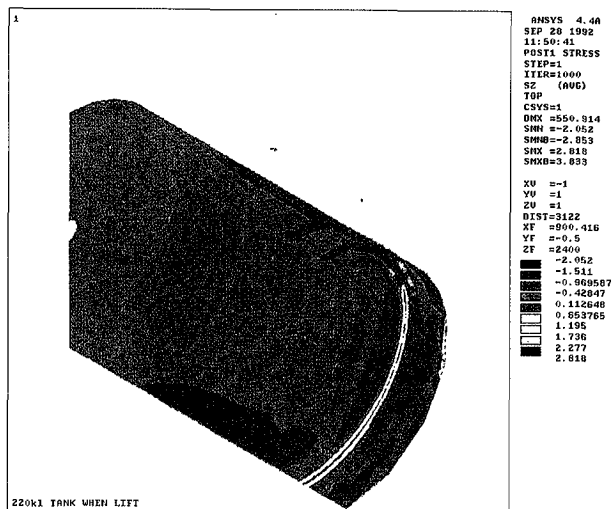
Table 2 Comparison of stress (Shipping weight, w/o Reinforced ring) Unit: MPa

	Analyzed stress	Measured stress	Yield strength
Laying on turning role	—	(245)	≥NG
Setting down on turning role	—	(302)	>NG
Stating role	—	(323)	>NG
Hanging by wire	(38.1)	—	<OK
Transfer on R base	198	—	<OK



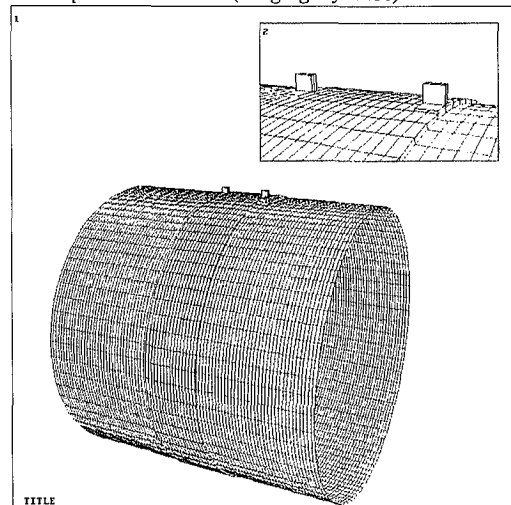
第 5 図 ひずみ実測結果 (ローラ起動時)

Fig. 5 Result of measured strain (starting role)



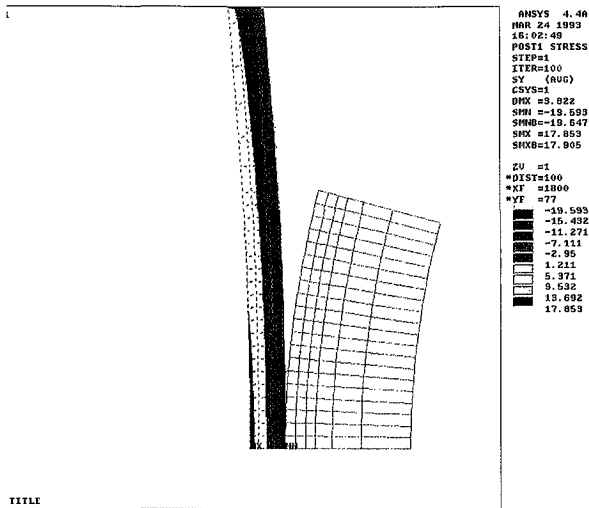
第 6 図 周方向応力コンター (ワイヤ吊り)

Fig. 6 Hoop stress contour (hanging by wire)

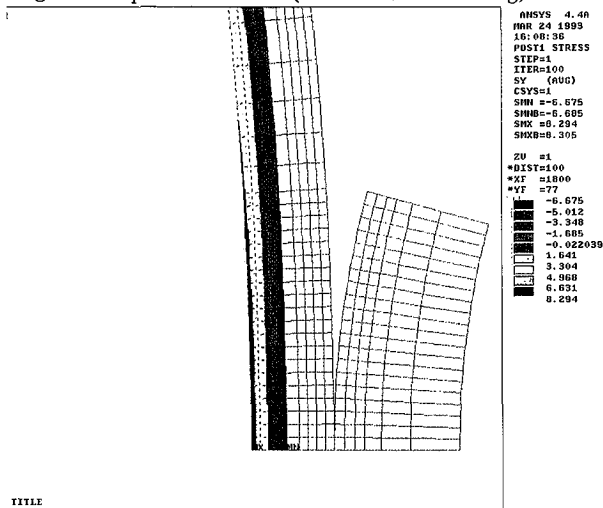


第 7 図 強め輪

Fig. 7 Reinforced ring



第8図 周方向応力コンター (強め輪なし)
Fig. 8 Hoop stress contour (without reinforced ring)



第9図 周方向応力コンター (強め輪付き)
Fig. 9 Hoop stress contour (with reinforced ring)

と同板厚とし、缶体と強め輪の間には天然ゴムをライニングしている。

第8図、第9図に強め輪がない場合と強め輪を有する場合の缶体内面に発生する応力をFEM解析の平面モデルにて比較を行った。その結果、強め輪を有する場合のGL面に発生する応力はそれが無い場合に比べて約1/2倍になる。

第3表に強め輪を有する場合の各ハンドリング時の応力比較を示す。表より、強め輪を有する場合は何れのケースも降伏点を超えないことを確認した。よって、強め輪を施工する事によって、GL破損を予防しつつ安全に作業を行うことが可能となる。

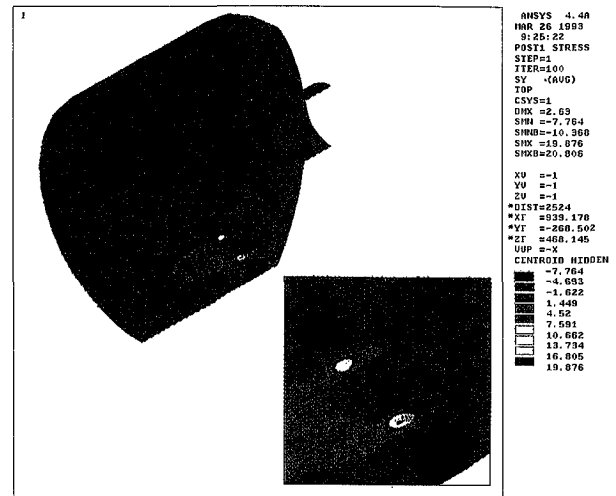
6. R台上での検討

工場内で製造を終え、出荷する際、木製のR台上に固定しトラック輸送を行う。解析に際し、各条件は最も厳しいものとし、R台の製作誤差等による片当たりを考慮してタンクはR台の50%の面が接触しているものとした。また、重力加速度は自重の1Gに運搬中の上下動による2Gの加速度が加算されるとして合計3Gを負荷した (IMDG

第3表 応力比較 (完成重量, 強め輪付き)

Table 3 Comparison of stress (Shipping weight, w/ Reinforced ring) Unit: MPa

	Estimated stress (W/ Reinforced ring)	Yield strength
Laying on turning role	116	<OK
Setting down on turning role	142	<OK
Starting role	152	<OK



第10図 周方向応力コンター (木製R台)
Fig. 10 Hoop stress contour (on wooden R base)

CODE では動荷重は下向きで2Gとされているが、安全をみて3Gとした)。

完成重量で解析した結果を第10図に示す。解析結果より応力が最も高い部位において周方向応力で約198MPaとなり、降伏応力は超えないが、仮定条件を超えない支持条件で輸送を行う必要がある。本GL缶の場合はR台とGL缶の隙間に発泡ウレタンを注入したゴムチューブを挿入し、片当たりを防止することによりGLの安全性を確保している。

むすび

薄肉GL缶の場合、圧力容器に比べて板厚が薄い場合、使用条件による設計のみで板厚を決定すると製造時にトラブルが発生することが予測される。特にGL缶はガラスが破損すると再焼成を余儀なくされるため、ハンドリングには細心の注意が必要である。しかし、製造時点のトラブルを防止するだけの目的で板厚を上げることはオーバーデザインとなり、コストアップにつながる。

本稿では、120kl酒タンクの薄肉GL缶を例にとって製造から現地据え付けまでのGL安全性の検討を応力解析・応力測定によって行った結果、製造時のターニングロール上での作業時にGLの破損が予測された。そこで、GL破損防止策の手段を講じることによって、製造から据え付けまでの間のGLの安全性を確認した。また、ユーザにて使用する際には内溶液を充填するのみであるため、GL破損に至るような荷重は負荷されない。