

川崎重工業 正員 ○磯江暁
川崎重工業 正員 坂井藤一

東京大学 正員 西野文雄

1 はじめに

LNG (-162℃) を貯蔵する地上式大型平底円筒タンクでは、底板が基礎から浮き上がらず、かつ温度変化に伴うタンク底板の伸縮を拘束しないように、アンカーストラップが用いられるので、地震時に底板の一部が滑動を生ずる可能性がある。以前著者らは、大型相似模型を用いた傾斜実験を実施し、タンクに水平力が作用する場合の底板滑動挙動を詳細に調査し¹⁾、水平力によりタンク底板の外周部は滑動を生じ、底板一側板隅角部近辺には通常の応力分布とはかなり性状の異なる応力が発生することを把握した。

本報告は、このような底板の部分的滑動により発生する隅角部応力の推定方法を提案している。

2 簡易推定式

実験結果によると、底板外周は主に側部で周方向に滑動し、また滑動後も底板外縁部はほぼ元の円形を保持する。一方、図1に示すように、側板上部は底板側部の滑動に追従するようにほぼ剛体的に移動し、このため側板下端部には底板と側板上部のずれに起因する応力が発生する。このことを踏まえ、隅角部応力の推定法を、次の2段階に分ける。

① 底板の滑り量 (u^*) の計算、

② 梁モデルを用いた隅角部応力の計算

2-1 底板の滑り量の計算

滑り量は、次の2段階の手順により求める。

(1) 底板滑り領域の推定

底板は滑動する部分と滑動しない部分に別れるが、簡単のためこの境界を底板中心から半径 a_0 の円で表し、またこの円外側の底板全面に水平力と反方向の摩擦力 (μp) が作用するとする。 a_0 は、水平力と摩擦力のバランスから、(1) 式により求める。

$$a_0 = \{ (D/2)^2 - S / (\pi \mu p) \}^{1/2} \quad (1)$$

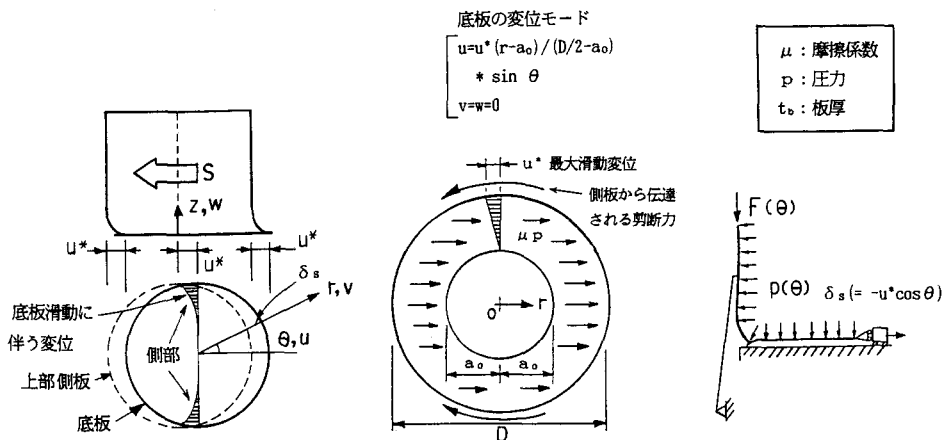


図2 底板滑り量計算モデル

図3 隅角部応力計算用モデル

(2) 滑り量の推定

底板を、中心から距離 a_0 の円上で面内に固定され、かつ基礎との摩擦により支えられた円板と見なし、その外縁に面内剪断力が負荷した場合の変位を平面応力場・板理論を用いて求める。ただし底板の変位としては図2に示すような円周方向変位のみを考え、半径方向変位および面外変位は0とする。最大滑り量 u^* は、次式により求まる。

$$u^* = S / (2 K_u) \quad (2) \quad \alpha_1 = D / (2 a_0), \quad \alpha_2 = 1 / (\alpha_1 - 1) \quad (3)$$

$$K_u = \pi E t_b / (1 - \nu^2) \{ 1/2 - \alpha_2^2 + \alpha_2^2 \ln \alpha_1 \} + \pi E t_b / 2(1 + \nu) \alpha_2^2 \ln \alpha_1 \quad (4)$$

2-2 梁モデルを用いた隅角部応力の計算

底板の滑り量から側板上部のずれ量 δ_s を求め、この時の隅角部応力を図3に示すような2次元梁モデルにより求める。ただし、側板および底板はそれぞれ側板自身のフープ膜力効果および基礎の柔軟性と等価なばねにより支えられているものとする。図のように、底板部の内側端部に δ_s の強制変位を与えて、滑りの影響を模擬する。

3 計算結果と実験結果の比較

簡易計算法による計算結果と、大型相似模型（半径9.6m、液深4.6m）を用いた傾斜実験の結果を、図4～6に比較する。図4は、傾斜角（ ϕ ）の増加に伴う側部の滑り量を示しているが、実験結果と計算結果は良く対応する。図5には、側板の下端から30mmの位置における曲げ応力、図6には各高さレベルにおけるフープ膜力を示している。滑動を考慮することにより、側板下端部における応力の分布が簡易計算によっても実験結果を説明し得ることが分かる。

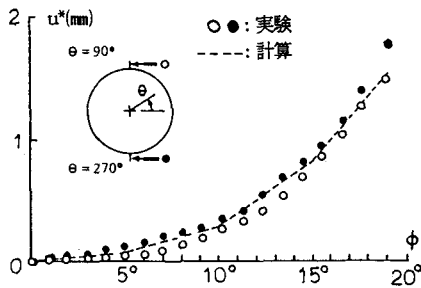


図4 傾斜に伴う底板滑り量の変化

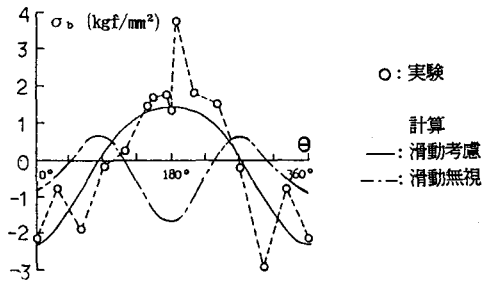


図5 側板下端部曲げ応力の周方向 ($z=30\text{mm}$, 内側)

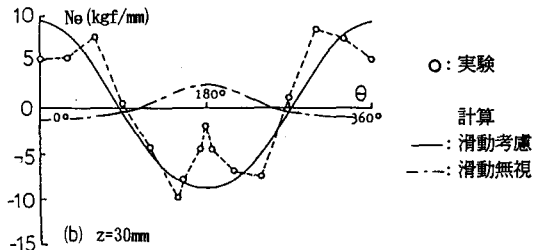
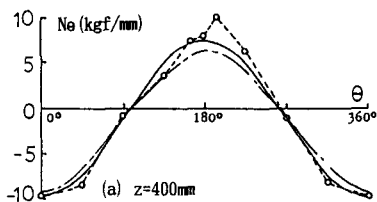


図6 側板下端部フープ膜力の周方向分布