波形隔壁を有する貨物槽に発生するスロッシング圧力

海上安全研究領域 構造安全性研究G * 佐久間正明

〃 田中 義照

輸送高度化研究領域 インテリジェント加工法研究G 安藤 孝弘

1.まえがき

内航ケミカルタンカーは、多品種、小容量、高比 重の液体貨物輸送に適応するため、ステンレス製の 貨物槽が20~30の区画に細かく区分されている。 そのため、軽量化を目的とした波形隔壁が用いられ ることが多いが、就航後短期間のうちに疲労亀裂と 思われる損傷が報告される例が多くあり、その原因 究明が急がれている。

本研究では、疲労亀裂発生の要因となる繰り返し 荷重が、高比重液体貨物の非満載によって発生する スロッシングによると想定し、波形隔壁を有する貨 物槽に発生するスロッシング現象を明らかにするた め、タンク模型を用いた圧力計測実験を行った。ま た、実験結果から得られた動的圧力を平滑タンク模 型の実験結果¹⁾と比較し、波形隔壁の影響について も検討した。

2.実験方法

2.1 検討対象船および検討対象箇所

検討対象船はケミカルタンカーA船で、その主要 目は以下のとおりである。



図-1 対象とした No.6 Cargo Tank (S)の平面図

- Lpp \times B \times D \times d = 150 \times 25.5 \times 15.0 \times 10.4 m
- ・貨物槽の幅×高さ(中央断面) = 11.605×15.0 m
- ・排水量 = 25,000 TON
- ・貨物の設計最大比重 = 1.85

本船におけるき裂発生箇所は、図-1 に示す中央 縦通隔壁(波形隔壁)下部の内底板との溶接部が大 多数であることから、船体の横揺れによって発生す るスロッシング圧力について検討することとした。

2.2 波形隔壁付きタンク模型

図-1 に示す A 船の右舷側 No.6 Cargo Tank (最大 タンク長さ×幅×高さ= 6.15×11.605×13.05m)を 対象に、約 1/10 縮尺のアルミニウム合金板及びア クリル板からなる波形隔壁付きタンク模型(以下 CB タンク模型という)を製作した。模型の形状及び圧 力計測点位置を図-2 に、波形隔壁凸部に相当する アクリル製プロックの詳細を図-3 に示す。

2.3 実験条件

水道水を積載した CB タンク模型をスロッシング 試験装置に固定し(写真-1 参照) 平滑タンク模型 によるスロッシング実験¹⁾から得られた同調周期近



写真-1 スロッシング実験(液位 60%)



図-2 CB タンク模型の形状および計測点位置



図-3 CB タンク模型の波形隔壁ブロックの詳細図

傍を選んで種々の周期の横揺れを与えて、計測各点 における圧力変化を計測した(サンプリング周波数 1kHz)。実験条件は以下に示す6ケースである。

・液位:20%、60%、95%

・横揺れ片振幅:6度、10度(各液位とも)

実船では、横揺れ中心は船体中心線上であり、タ ンク模型の縦通隔壁(模型の側面)上であるが、本 実験では、横揺れ中心はタンク重心である。スロッ シング実験の様子を写真-1に示す。 2.4 解析方法

計測した圧力の時系列変化の例を図-4~6に示す。 各実験条件における計測波形の極大値の 1/10 最大 平均値により計測結果を比較検討した。

3.実験結果および考察

3.1 液位 20%の場合

液位 20% (水深 120mm)における最大圧力発生 時の圧力分布を図-7 に示す。図中横軸の*印は1~3



図-4 計測波形(液位20%、横揺れ角10度、周期2.07sec、計測点E32)



図-5 計測波形(液位 60%、横揺れ角 10 度、周期 1.56sec、計測点 W34)



図-6 計測波形(液位 95%、横揺れ角 10 度、周期 1.48sec、計測点 E14)

に対応する。図の上段は横揺れ片振幅が6度の場合、 下段は10度の場合である。左右の図位置は図-2と 同様、左図が実船の中央縦通隔壁側で、右図が船側 縦通隔壁側である。

液位 20%の場合、最大値は船側縦通隔壁側の下 面から 150mm (z=150)の計測点 E32 で発生してお リ、横揺れ片振幅が6度の場合は10.0kPa(周期2.26sec)で、10度では11.4kPa(周期2.07sec)であった。

この液位における液体の運動は段波であり、相対 的に最もタンク幅が広く平滑面の広い右側面の衝撃 圧力が高くなったと考えられる。

3.2 液位 60%の場合

液位 60% (水深 360mm)における最大圧力発生 時の圧力分布を図-8 に示す。最大値は、計測点 W34 すなわち、中央縦通隔壁側から 30mm の位置の天板 (上甲板裏)に発生し、その値は横揺れ片振幅が 6 度の場合は 14.0kPa(周期 1.57sec)で、10 度の場合 は 30.6kPa(周期 1.56sec)であった。

この液位における液体の運動は定常波であり、相 対的に最もタンク幅が広く、かつ波形隔壁の凸部に よって流れの幅が狭められる左側の天板の衝撃圧力 が高くなったと考えられる。

3.3 液位 95% の場合

液位 95% (水深 570mm)における最大圧力発生 時の圧力分布を図-9 に示す。最大値は液位 60%の 場合と同様、天板で発生するが、その発生位置は液 位 20%の場合と同様、船側縦通隔壁側となった。 横揺れ片振幅が 6 度の場合、E24 で最大となり、そ の値は 14.8kPa(周期 1.56sec)であった。また、横 揺れ片振幅が 10 度の場合は E14 で最大となり、そ の値は 46.7kPa (周期 1.48sec)と今回の実験結果の 中で最大値を記録した。

この液位においては、液体の水平方向の運動がそれほど活発ではなく、隔壁付近の液体の上下運動により天板に大きな衝撃圧力が発生したと考えられる。後述するように高液位では低・中液位の場合と異なり、波形隔壁の影響が小さいことが確認された。

3.4 波形隔壁付き貨物槽に発生する動的圧力

3.4.1 満載時に発生する変動圧力

CB タンク模型に水道水を満載し、角度 だけ静 的傾斜させた時に発生する変動圧力振幅 Pa は、 SR207-B 法²⁾を用いて容易に推定可能である。タン ク模型の幅を b、水道水の密度を 、重力加速度を g とすると、

Pd g b• sin

となる。横揺れ片振幅 10 度の場合では、 Pd = 2.04kPa 程度となり、今回計測されたスロッシング 衝撃圧力最大値は、この変動圧力の 15~20 倍であ り、スロッシング衝撃圧力が疲労亀裂発生の主要因



図-7 最大圧力発生時の圧力分布(液位20%)





図-9 最大圧力発生時の圧力分布(液位 95%)

表-1 CB タンク模型と平滑タンク模型の比較

液位	20%		60%		95%	
横揺れ角片振幅	6度	10度	6度	10度	6度	10度
平滑タンク模型	17.4	19.1	13.1	47.9	23.7	22.8
CBタンク模型	10.0	11.4	14.0	30.6	14.8	46.7
unit: kPa						kPa

であると考えられる。

3.4.2 平滑タンク模型の実験結果との比較

CB タンク模型において計測された変動圧力の極 大値の 1/10 最大平均値の最大値を、平滑タンク模 型の結果と比較すると表-1のとおりとなる。A船で 中央縦通隔壁下部に疲労亀裂が多数発見されたこと を考慮すると、液位 30%以下でのスロッシング発 生が主要因と考えられる。そこで、液位 20%にお ける CB タンク模型及び平滑タンク模型による実験 結果を比較すると、CB タンク模型では、側壁下部 に発生するスロッシング圧力の大きさが、平滑タン ク模型の概ね 60%程度になっている。これは、対 象とした No.6 Cargo Tank の長さが短く、波形隔壁 の凹凸がタンク長と比較して相対的に大きいため、 タンク内の液体の運動が制限されるためと考えられ る。CB タンク模型での液体の運動を観察した限り、 平滑タンク模型の場合と異なり、明らかな同調とい う周期が見られず、横揺れ周期が変わっても、液体 の運動にあまり変化が現れなかった。

以上の検討結果から、低液位に対しては、波形隔 壁によりスロッシング圧力が抑制されるが、中・高 液位の場合には、抑制効果が小さくなることが確認 された。

4.まとめ

検討対象としたケミカルタンカー A 船の No.6 Cargo Tank を対象とした波形隔壁付きタンク模型を 製作し、波形隔壁を有する貨物槽に発生するスロッ シング圧力に関する実験的検討を行い、以下の知見 を得た。

- 1)液位 20%の場合、液体の運動が段波となる横揺 れ周期において最大圧力が発生するが、その発 生位置は隔壁下部である。
- 2)液位 60%の場合、液体の運動が定常波となる横 揺れ周期において最大圧力が発生するが、その 発生位置は天板端部である。
- 3)液位 95%の場合、液体の水平方向の運動はそれ ほど活発ではなく、隔壁付近の液体の上下運動 により天板に大きな衝撃圧力が発生したと考え られる。高液位では低・中液位の場合と異なり、 波形隔壁の影響が小さい。
- 4)液位 20%の場合に側壁下部で発生する衝撃圧力 は、平滑タンク模型で計測される圧力の概ね 60% である。ただし、本タンク模型は、長さが最も 短い貨物槽を対象としているため、他の貨物槽 では、圧力が多少高くなる可能性はある。

本研究は、平滑タンク模型と比較的長さの短い波 形隔壁付きタンク模型についてのスロッシング圧力 を検討したが、タンク長さ、すなわち、タンク内の 平滑な横断面積 Aopening と全横断面積 A との比 Aopening/A がスロッシング圧力に及ぼす影響につい ての検討は今後の課題としたい。

参考文献

- 田中義照、安藤孝弘、宮本武:パネル型圧力計を 用いたスロッシング荷重計測実験について、平 成12年度(第74回)船舶技術研究所研究発表会 講演集、pp.137-142、(2000).
- 2)日本造船研究協会第207研究部会:船殻構造の強度評価と管理目標の定量化の調査研究、総合報告書、(1993).