

二重船側バルクキャリアのバラスタンク内変動圧力

環境・エネルギー研究領域 * 田中 義照、佐久間正明、安藤 孝弘
日本海事協会技術研究所 重見 利幸、宮原健一郎

1. 緒言

船体の構造強度を正確に評価するためには、船体に作用するバラスト荷重の推定精度向上が不可欠である。バラスト荷重のうち、静水中における荷重については精度の良い荷重推定法が提案されている。しかしながら、波浪中の船体運動に伴うバラスト荷重については、比較的単純な形状のタンクにはたらく液体貨物圧について、一部推定法が提案されているものの¹⁾、複雑な形状のタンクにはたらく液体貨物圧に関しては、有効な推定手法がないのが現状である。また、現在 IACS はバルクキャリアを対象とする二重船側の統一規則を策定中であり、このような新しい構造に対応する必要もある。そこで、二重船側バルクキャリアのバラスタンク模型による変動圧力計測実験を行い、バラスト水による変動圧力推定法を検討した。

2. 実験

2.1 概要

二重船側バルクキャリアのバラスタンクを対象としたタンク模型を製作し、模型各部に発生するバラスト水による変動圧力を計測した。実験は、海上技術安全研究所波浪荷重試験装置のスロッ

シング試験ユニットを用い、液位100%の状態ですwayおよび roll 運動について変動圧力を計測した。想定した二重船側バルクキャリアを図 - 1 に示す。

2.2 供試タンク模型

供試タンク模型は、図 - 1 に示した二重船側バルクキャリアの相似模型である。バラスタンクは、二重船底の船体中心線上で仕切られているが、両舷ともトップサイドタンク、ビルジホッパータンクおよびボトムタンクが、左舷側においてはサイドタンクにより、右舷側においては接続シロタンクにより連結されている。供試タンク模型の詳細形状を図 - 2 に示す。なお、模型寸法は、幅が 120cm、高さおよび奥行きが 60cm である。

2.3 実験方法および実験条件

スロッシング試験ユニットは、タンク模型に heave、sway、roll、および pitch を独立に、または一部連成して発生させることができるが、ここでは sway および roll 実験のみを実施した。実験条件を表 - 1 に示す。

2.4 計測項目

圧力の計測は、定格出力 100kPa のセンサを用いた。計測位置を図 - 2 に併せて示す。また、タンク模型の幅方向および高さ方向の中心線の交点

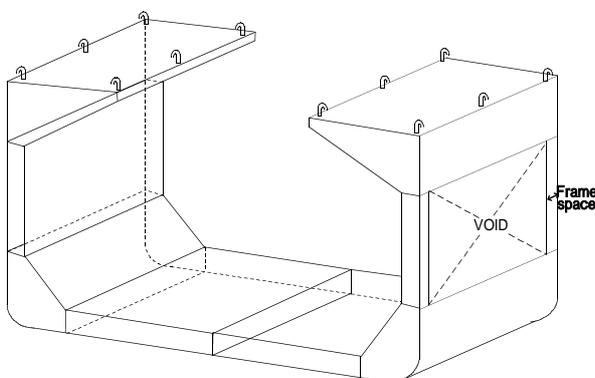


図 - 1 想定した二重船側バルクキャリア

表 - 1 実験条件

加振方向	SWAY, ROLL
液位	100 %
外部との空気の流通 (エアパイプの開閉)	OPEN
加振周期	1 ~ 5 sec (SWAY) 2 ~ 10 sec (ROLL)
加振振幅	1.0 ~ 7.5 cm (SWAY) 5 ~ 15 deg (ROLL)

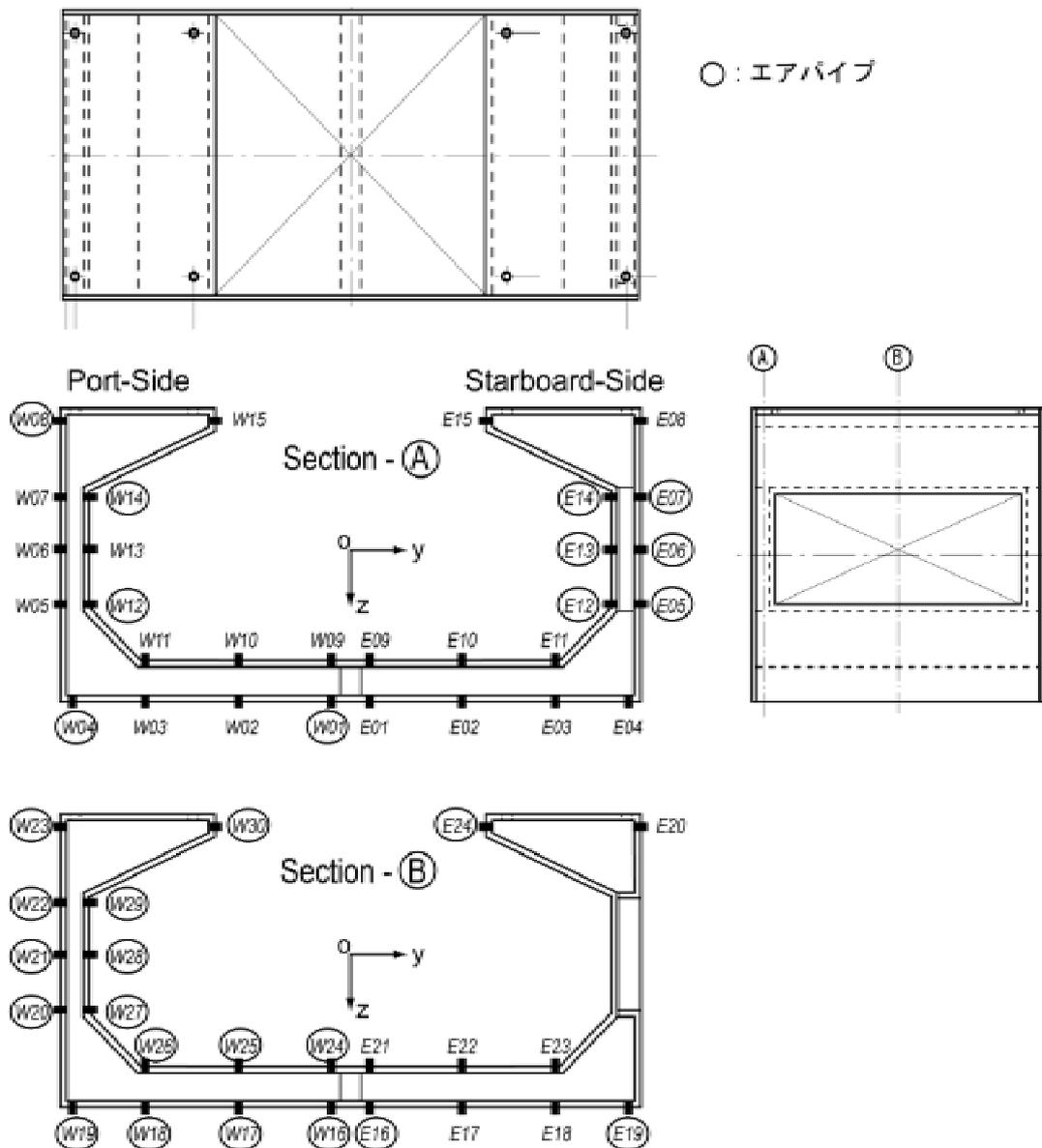


図 - 2 タンク模型の形状と圧力センサ位置 (で囲んだセンサのみ計測)

(図 - 2 中の O 点)に加速度計を設置し、模型の水平および上下方向加速度を計測した。なお、O 点は roll 運動の回転中心に一致させた。各実験条件におけるサンプリング周波数は 1 kHz で、計測時間は 30 sec である。

2.5 実験結果および考察

以下に代表的な実験結果を示すが、圧力の単位は kPa、加速度は重力加速度との比で示す。なお、圧力の零点は、必ずしも静止状態の圧力を示しておらず、試験結果の解析にあたっては、応答振幅

(倍振幅)により評価した。

2.5.1 sway 時の応答

sway における水平方向加速度波形は、図 - 3 に示すような三角波状になっており、これに誘起される圧力変動波形もほぼ同様であった。以下、各計測部位における応答について考察する。

(1) ボトムタンク

ボトムタンク内の圧力応答は W18 および W26 が最も小さく、これらの左右で圧力応答の符号が逆になる。したがって、W18 近傍を圧力の基準

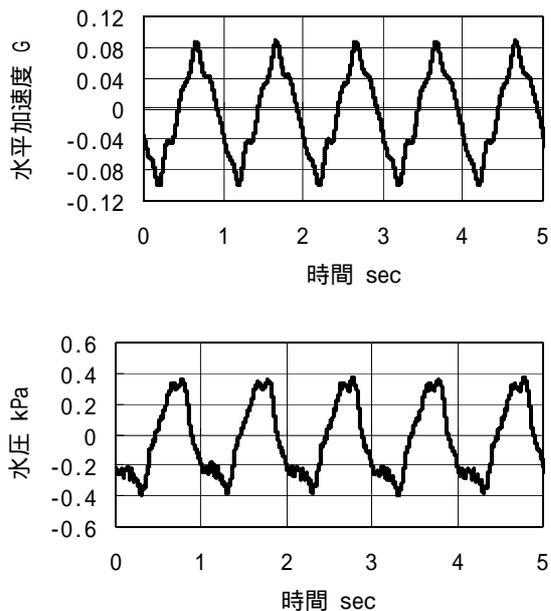
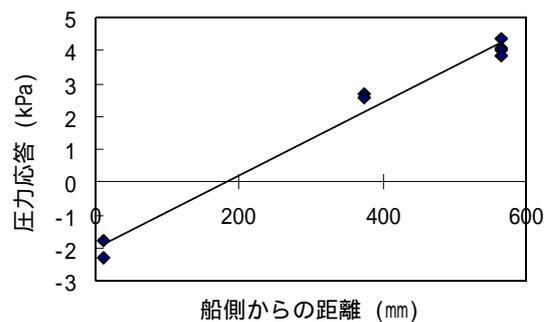
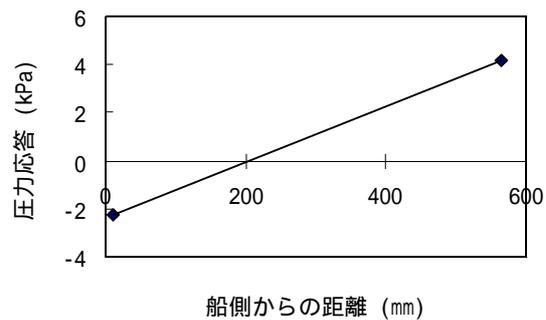


図 - 3 計測データ例(上：加速度、下：W01)



(a)左舷側



(b)右舷側

図 - 4 船側からの距離と圧力応答の関係 (ボトムタンク)

点とする SR207-B 法¹⁾によって圧力分布を推定できると考えられる。そこで、各計測点の船側からの距離と圧力応答(右向き正の水平加速度と同位

相の場合を正、逆位相の場合を負とする)の関係を図 - 4 (a)に示す。また同様に右舷側についても同図(b)に示す。両図から、左右舷でそれぞれ、船側から約 180 mm、200mm の位置が圧力の基準点と推定される。

(2)サイドタンク

左舷側サイドタンク(W12,W14,W20 ~ W22,W27 ~ W29)における変動圧力波形は、すべてセンターガーダー近傍の W01 等と逆位相となった。すなわち、圧力の基準点がサイドタンクよりタンク中央側にあることを示している。そこで、船側からの距離と圧力応答の関係を図 - 5 に示すと、船側から約 130 mm の位置が圧力の基準点と推定される。

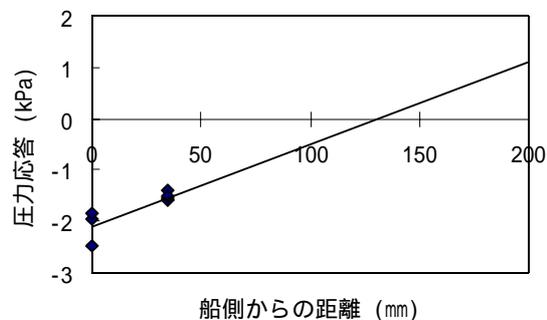


図 - 5 船側からの距離と圧力応答の関係 (左舷側サイドタンク)

(3)コネクションタンク

右舷側のコネクションタンク(E05 ~ E07,E12 ~ E14)における変動圧力波形は、すべてセンターガーダー近傍の E16 と逆位相となった。この

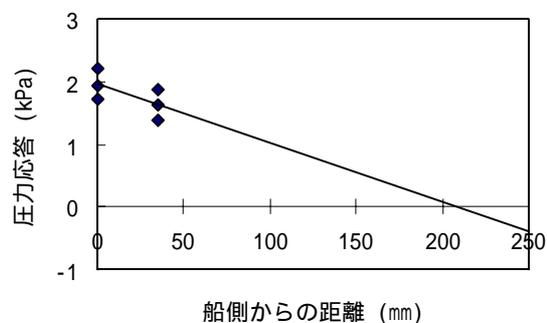


図 - 6 船側からの距離と圧力応答の関係 (右舷側コネクションタンク)

部分も圧力の基準点がコネクシオンタンクよりタンク中央側にあることを示している。そこで、船側からの距離と圧力応答の関係を図 - 6 に示すと、船側から約 210 mm の位置が圧力の基準点と推定される。

(4) トップサイドタンク

左舷側トップサイドタンク (W08, W23, W30) における変動圧力波形は、W08 および W23 と W30 が逆位相となった。すなわち、圧力の基準点の水平方向位置がタンク内にあることを示している。そこで、船側からの距離と圧力応答の関係を図 - 7 に示すと、船側から約 130 mm の位置が圧力の基準点と推定される。

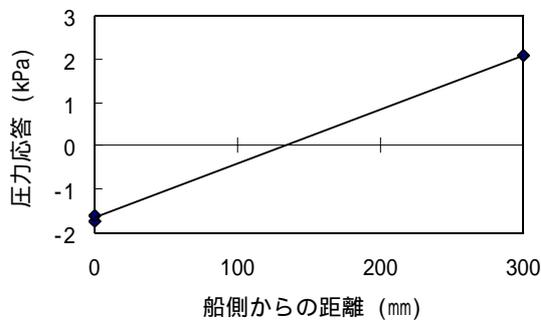


図 - 7 船側からの距離と圧力応答の関係 (左舷側トップサイドタンク)

(5) 高さ方向の圧力応答の差

図 - 8 は、左舷側の船側に作用する圧力応答振幅を各計測位置における水深に対して示したものであり、水深と相関があることがわかる。これは、sway 実験において、左右の死点に達したときに装置が roll 用のレール上を瞬間的に回転することにより、上下方向に加速度が生じる。この上下方向加速度は船側位置で最大となり、その結果 SR207-A 法に基づく三角形の圧力分布が船側に生じるためと推測される。水面付近と水深 600 mm の圧力応答差が約 0.84 kPa ($h/g = 1$ に対して) であることから、

$$g h (v/g) = 0.84$$

より $v/g = 0.14$ 程度の上下方向加速度が船側位置で発生していたと推定される。

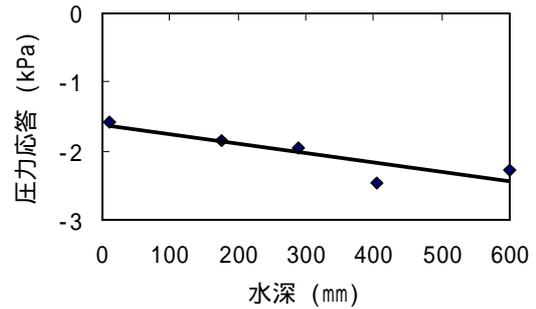


図 - 8 水深と圧力応答振幅の関係(左舷船側)

2.5.2 roll 時の応答

roll における水平および鉛直方向加速度波形は、図 - 9 に示すような正弦波状(ただし、周期は 2:1)になるが、これに誘起される圧力変動は、ほとんどの計測点で水平加速度との相関が強い。以下、各計測部位における応答について考察する。

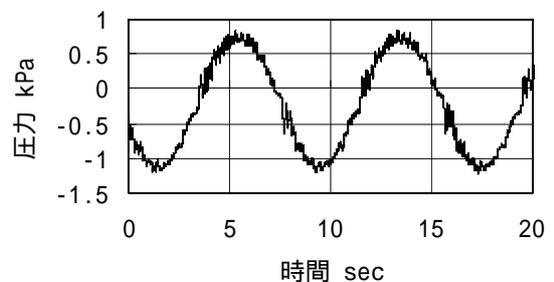
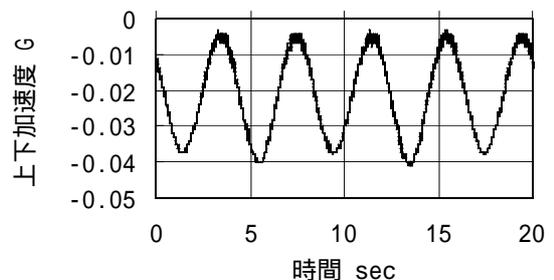
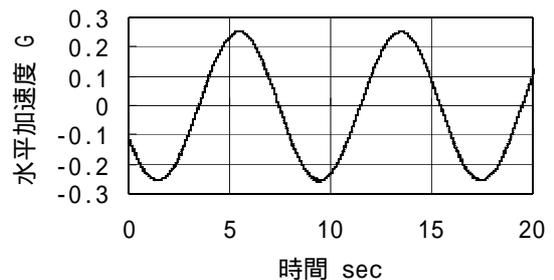


図 - 9 計測データ例(上：水平加速度、中：上下加速度、下：W01)

(1)ボトムタンク

ボトムタンク内の圧力応答は、sway の場合と同様、W18 および W26 近傍を圧力の基準点とするSR207-B 法によって推定できると考えられる。そこで、左舷側の船側からの距離と圧力応答の関係を図 - 10 (a)に示す。また同様に右舷側についても同図(b)に示す。両図からは、左右舷でそれぞれ、船側から約 165 ~ 200 mm および 185 ~ 220mm の位置が(鉛直方向加速度の影響を含む状態での水平方向加速度による)圧力の基準点と推定される。

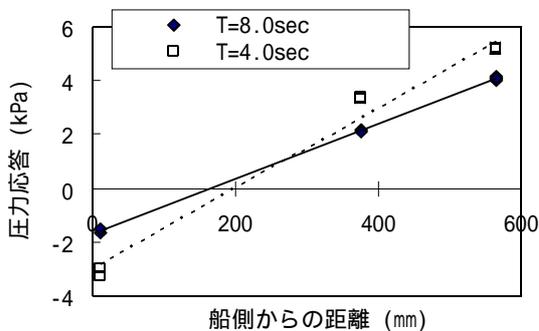
(2)その他の部位

サイドタンク、コネクショントランク、トップサイドタンクにおいても、ボトムタンクの場合と同様、圧力の基準点が求められた。

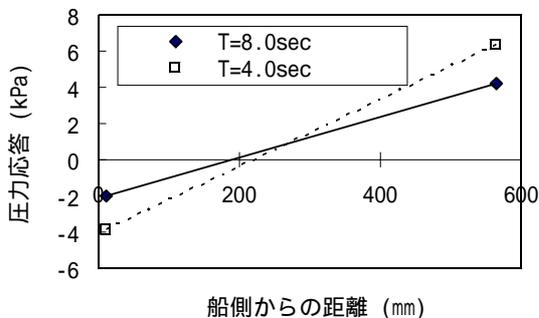
3 . 変動圧力推定法の提案

3.1 タンク模型内液体の重心位置

タンク模型の傾きがゼロのとき、タンク内液体の重心の座標は、左舷側が(-433.6, 49.4)、右舷側が(416.9, 56.3)であり、それぞれ、船側から



(a)左舷側



(b)右舷側

図 - 10 船側からの距離と圧力応答の関係 (ボトムタンク)

166.4 mm および 183.1 mm である。これらの位置は前述した(鉛直方向加速度の影響を含む状態での)水平方向加速度による圧力の基準点推定位置とほぼ一致している。なお、本実験におけるタンク模型の最大傾斜角は±15deg であり、傾斜時における重心座標の移動は小さいとして無視した。

3.2 複雑な形状を有するタンク内に発生する変動圧力の推定法

3.2.1 sway 時の各計測点位置における加速度成分

sway 時の計測各点(タンク重心)における左右方向加速度は、模型タンク回転中心で計測された水平方向加速度とほぼ等しいと考えられる。しかしながら、本計測実験においては試験機のがたつきにより発生する上下方向加速度も考慮する必要がある。

3.2.2 sway 時の変動圧力推定法

圧力の基準点を左右舷タンク内液体の重心位置(x_G, y_G)に設定し、各計測位置(x, y)における圧力応答振幅(タンク中心位置における水平方向加速度 $a_H/g=1$ に対して)をSR207-B 法により推定した。すなわち、

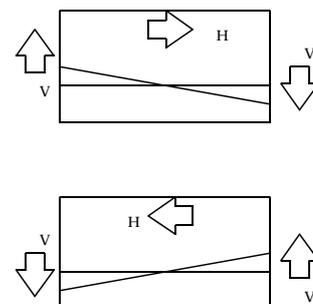
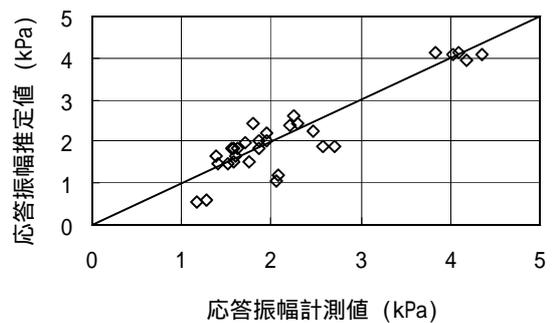


図 - 11 計測値と推定値の比較 (sway)

$$p = (y - y_0) (\rho h / g) \quad (1)$$

ここに、 p =圧力、 ρ =液体の比重量、 h =水平方向加速度、 g =重力加速度

推定結果を計測結果と比較して図 - 1 1 に示す。ただし、2.5.1 (5) で記したように、試験機のがたつきによる上下方向加速度を考慮した ($v_z / h = 0.14$)。同図より、計測値と推定値には良い相関が認められる。したがって、sway 時に発生する変動圧力分布は、SR207-B 法により推定することができる。

3.2.3 roll 時の各計測点位置における加速度成分

roll 時の計測各点における加速度は、タンク模型の静的傾斜による重力加速度の変化によって発生する成分 h_1 および v_1 (タンク模型回転中心で計測された左右および上下方向加速度と等しい) と、タンク模型の回転角加速度による成分 h_2 および v_2 (図 - 1 2 参照) の和で表せる。すなわち、

$$h_1 = g \cdot \sin \theta \quad h_2 = Z \cdot \ddot{\theta} = -Z \cdot (2 \pi / T)^2$$

$$v_1 = g \cdot \cos \theta \quad v_2 = Y \cdot \ddot{\theta} = -Y \cdot (2 \pi / T)^2 \quad (2)$$

ここに、

$$\theta = \theta_0 \sin(2 \pi t / T), \quad \theta_0 = \text{roll 振幅、}$$

$$T = \text{roll の周期、} t = \text{時刻}$$

となる。

3.2.4 roll 時の変動圧力推定法

roll によって生成される加速度の水平方向成分に対しては、sway と同様に圧力の基準点を左右舷タンク内液体の重心位置 (x_G, y_G) に設定して、(1) 式の SR207-B 法により推定する。

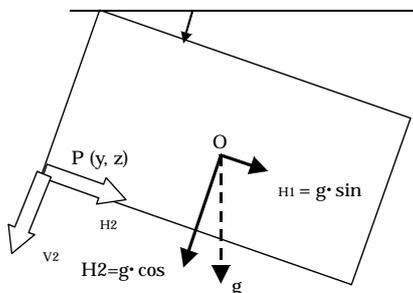


図 - 1 2 ROLL 運動における加速度成分

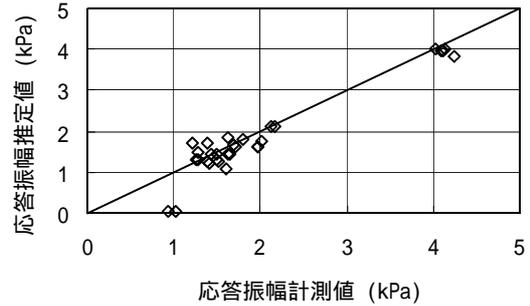


図 - 1 3 計測値と推定値の比較 (ROLL 運動)

一方、上下方向成分については、加速度の方向によって圧力の基準点を変える SR207-A 法により推定する。すなわち、

$$p = \rho h v_z / g$$

ここに、 h =水深、 v_z =上下方向加速度

となる。推定結果を計測結果と比較して図 - 1 3 に示す。同図より、計測値と推定値には良い相関が認められる。したがって、roll 時に発生する変動圧力分布は、計測各点の加速度を水平および上下方向成分に分解し、前者については SR207-A 法により、後者については SR207-B 法により推定することができる。

4. まとめ

二重船側バルクキャリアのバラスタタンクを模擬したタンク模型を製作し、sway および roll によって発生する変動圧力計測実験を行い、変動圧力推定法を得た。本推定法によれば、複雑なタンク形状を有する場合にも、断面の重心位置をもとに、SR207 の方法により圧力の推定が可能となる。なお、本研究は、(独)海上技術安全研究所と(財)日本海事協会との共同研究によって実施されたものであり、関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)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、pp.323-327、1993.