

# PS-24 External タレットに作用するスラム力に及ぼす

## Deadrise Angle の影響に関する研究

横浜国立大学・海上技術安全研究所 連携講座  
海上技術安全研究所 海洋開発系  
横浜国立大学 大学院 環境情報研究院

\* 石原 祐希  
加藤 俊司, 湯川 和浩, 佐藤 宏  
村井 基彦

### 1. はじめに

現在の海底油田開発においては、洋上にて石油の生産から貯蔵、積み出しまで行うことができる FPSO (Floating Production, Storage and Offloading system) が、浮体式海洋石油・ガス生産設備の 6 割以上を占めている<sup>1)</sup>。FPSO に用いる係留方式はタレット方式が一般的である。中でも External タレット係留 (図 1 参照) は、浅水域や穏やかな海域ではとりわけ一般的な係留方式で、東南アジア等のモンスーン地域では多く利用されている。1998 年、スラミングにより船首部外板を損傷した Schiehallion の事故によりタレット部に発生するスラミングの危険性が示唆されると、"SAFE-FLOW"<sup>2)</sup>プロジェクトの一環として、係留索の破損につながる、タレット部に働くスラム力、圧力の計測試験が行われた。この試験では、模型船に deadrise angle (図-2 参照) が 0° (平板) 及び 20° (円錐) のタレット模型を取り付けて波を起し、スラミング時にタレットに働くスラム力、圧力を計測している。試験結果では、タレット底面に deadrise angle をつけることで、タレットに働くスラム力、圧力を低減できることが示された。しかしこの研究では、deadrise angle の大きさがどの程度スラム力、圧力に影響を与えるかについては明らかになっていない。また、スラム力  $F$  を液体の密度  $\rho$  及び水面と物体の相対速度  $v$ 、面積  $S$  を用いて表す、力学モデル(1.1)式において必要となる、スラミング係数  $C_s$  についても、検討がなされていない。

$$F = \frac{1}{2} \rho C_s v^2 S \quad (1.1)$$

本研究では、deadrise angle の大きさがスラム力、圧力に及ぼす影響を明らかにするとともに、ばらつきが大きく、正確な推定の難しいスラム力について、特に External タレットに対して有効なスラム力推定手法を確立することを目的としている。本論文では、deadrise angle が 0° 及び 20° のタレットに加え、"SAFE FLOW"<sup>2)</sup>プロジェクトでは取り扱われなかった、10° のタレットを加えた 3 つの模型に対して計測を行うことで、deadrise angle の大きさがスラム力及び圧力に与える影響について検討を行った。また、汎用ソフトで

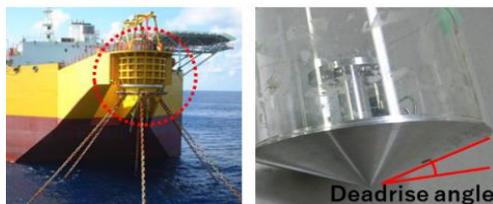


図-1 External タレット<sup>2)</sup>。 図-2 Deadrise



図-3 模型設置後。

ある OrcaFlex を使用してスラミング係数について検討した。

### 2. 模型及び試験方法

Deadrise angle が 0°, 10°, 20° の 3 種のタレット模型に対して波高及び周期の異なる不規則波を当て、水面入水時に働くスラム力、圧力の計測試験を行った。タレット模型は、"SAFE FLOW"<sup>2)</sup>プロジェクトにて想定された実機と同じ、直径 12m の円形タレットの底面を 1/80 スケールで再現した (図-2 参照)。図-3 は模型設置後の状況写真である。

本試験で計測したスラム力と圧力のうち、圧力については 2 種評価し、模型に埋め込んだ圧力計にて計測した局所的な圧力を局所圧、タレット全体に働くスラム力をタレット底面の投影面積で除した平均的な圧力を平均圧とした。

### 3. 解析結果

本研究では、解析対象としてスラム力、圧力のピーク値を取り扱った。以後示すスラム力、圧力はピークの値を示す。

#### 3. 1 局所圧と平均圧の関係

局所圧と平均圧の関係について述べる。試験により取得した全ての局所圧、平均圧のピーク値を、deadrise angle ご

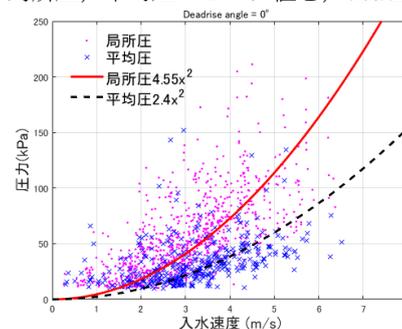


図-4 入水速度と圧力の関係 (Deadrise angle 0°)

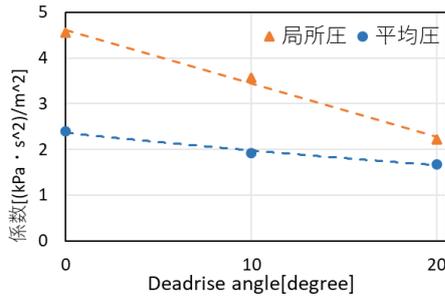


図-5 近似曲線の係数

ととしてグラフ化し、近似曲線を  $y = ax^2$  と仮定して引いた (図-4)。○印でのプロットは局所圧を示し、×印のプロットは平均圧を示す。

次に、得られた近似曲線の係数を deadrise angle ごとに比較すると、図-5 に示す結果が得られた。図-5 によると、deadrise angle が大きくなるにつれて、局所圧と平均圧との間の係数の差が小さくなっている。このことから、deadrise angle が大きくなるに従い、スラミング発生時のタレット底面の圧力分布が、局所的な圧力上昇のない、一様な分布に近づいていると考えられる。要因としては、deadrise angle をつけることで水面傾斜とタレット底面が平行に近づき、局所的に高い圧力が発生しづらくなっていること、deadrise angle をつけることでタレット底面に運動を妨げられることなく底面に沿って流れる水量が増える (運動量変化が小さくなる) といったことが考えられる。

### 3. 2 スラム力の再現値について

試験により取得したスラム力データより、持続時間 3 時間に発生する最大スラム力の期待値である、再現値を検討した。期待値の推定の際には、取得したスラム力のピーク値に対して確率分布をフィッティングし、確率分布から再現値を予測した。確率分布には GEV (Generalized Extreme Value) 分布, Weibull 分布, Gumbel 分布, Rayleigh 分布の 4 つを適用した。波条件, deadrise angle ごとに 3 時間の再現値をまとめた結果を表-1 に示す。

表-1 の再現値について、deadrise angle が  $0^\circ$  と、 $10^\circ$  または  $20^\circ$  の場合を比較すると、全ての分布において、deadrise angle によるスラム力の低減効果ははっきりとみられた。また、その他の波条件においても同様の傾向が得られたため、deadrise angle によりスラム力を低減することができ、deadrise angle をつける優位性があるといえる。Deadrise angle が  $0^\circ$  からの低減率は 7%~38% のばらつきがみられたが、平均して deadrise angle が  $10^\circ$  では約 30%、deadrise angle が  $20^\circ$  では約 20% の低減効果がみられた。

表-1 3 時間のスラム力の再現値 (kN)

Wave Condition	distributions	Deadrise angle		
		$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$
$H_s = 15.6(m)$ $T_p = 15(s)$	GEV	12.0	8.2	9.7
	Weibull	10.3	6.9	7.7
	Gumbel	12.2	8.7	9.6
	Rayleigh	10.8	7.5	8.4

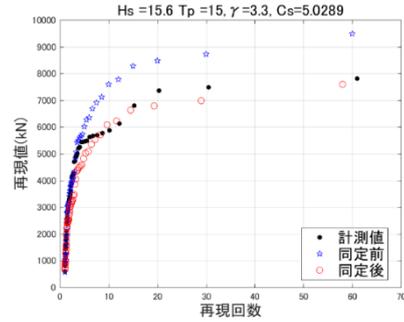


図-6 シミュレーション (Deadrise angle  $0^\circ$ )

次に、deadrise angle が  $10^\circ$  と  $20^\circ$  の再現値を比較すると、 $10^\circ$  では  $20^\circ$  よりも  $0^\circ$  からの低減率が 10% 程度大きくなっている。一方で、本試験でのスラム力の計測値を、”SAFE FLOW” プロジェクト<sup>2)</sup>による試験結果と比較したところ、deadrise angle が  $0^\circ$  では同程度の結果を示したが、deadrise angle が  $20^\circ$  では 1.5 倍程度大きな値が計測されていることが分かった。要因としては、今回は波高を大きく設定したため、模型底面の傾斜部に波の水平方向成分が大きな衝撃力を与えたことが考えられる。仮に、本来 deadrise angle が  $20^\circ$  でのスラム力が本試験の  $2/3$  程度であったとすると、 $20^\circ$  の  $0^\circ$  からの低減率は、前述の約 20% から 45% へと大きくなるが、このとき  $10^\circ$  と  $20^\circ$  間の低減効果は  $0^\circ$  と  $10^\circ$  間の半分程度である。Deadrise angle が  $20^\circ$  における低減率については今後の検討課題である。

### 4. シミュレーションモデルの精度検証

商用ソフトウェアの OrcaFlex に試験時の波を入力して計算し、計算結果と試験結果のピーク値を比較、最小 2 乗近似を用いてスラミング係数を同定した。同定後の値を用いて再度シミュレーションを行った結果、適切な係数を用いることで試験結果を精度よく再現することができた (図-6)。

### 5. まとめ

- Deadrise angle により、タレット底面の圧力分布の偏りが緩和される。
- Deadrise angle の有無によるスラム力の低減効果ははっきりと確認できたが、 $10^\circ$  と  $20^\circ$  の低減率については、船体動揺を考慮した条件で再検討を行う余地がある。
- 適切なスラミング係数による、シミュレーションでのスラム力推定の可能性が示唆された。

### 参考文献

- 1) Internet : <https://www.modec.com/jp/business/fpso/overview.html>.
- 2) Buchner, B., Hodgson, T., Voogt, A. J. : SUMMARY REPORT ON DESIGN GUIDANCE AND ASSESSMENT METHODOLOGIES FOR WAVE SLAM AND GREEN WATER IMPACT LOADING, 2004.