

半潜水式海洋構造物の波浪中応答に関する 実機計測および解析

佐 竹 優*・片 山 正 敏**・宇 ノ 木 賢 一***

1. ま え が き

海洋石油掘削装置をはじめ、海上プラント、海上作業台、海上都市などに、波浪中の運動性能に優れ、作業性のよい半潜水式海洋構造物が数多く設計・建造されている。半潜水式海洋構造物の波浪中応答（運動ならびに構造）解析法に関しても、多数の研究論文が発表され、かつまた、実機の計画設計に適用され、多大の成果をあげている^{1)~3)}。これらの応答解析手法の精度、適用範囲などを確証し、また、今後の設計データとするため、国産設計・建造の半潜水式海洋石油掘削装置である第二白竜、第三白竜、さらに第五白竜について、実機計測・解析が実施されている⁴⁾。ここでは、規則波中応答解析を中心とした、第二白竜の実機計測および解析結果について報告する。

なお、第二白竜の実機計測は次の2段階に分けて行なわれた。

第1段階として、第二白竜が造船所で完成し、海上公式試運転時、船体に強制的な縦曲げ、ねじり、傾斜などを起こさせ、船体各部の応力、変形を計測した。これらの計測は静的荷重試験に相当し、続いて行なわれた波浪外力による動的計測のための基礎データを与えるものであり、計算値と実測値はよく一致している。

第2段階として、第二白竜が日本海新潟沖で掘削作業中の波浪による運動、部材応力を計測し、理論計算値および小型模型試験から得られた実験値との比較検討を行なった。

実機計測時の気象・海象条件の範囲内では、計算値と実測値は良く一致している。

2. 実機計測要領

(1) 海上公式試運転時の計測

表一1 に海上公試時の計測要領を示す。

(2) 日本海新潟沖稼動時の計測

表一2 稼動時の計測要領を示す。

表一1 海上公試時の計測

試験名称	試験状態	载荷方法	計測項目	計測法
(1) 進水試験	着底→浮上	バラスト排水 (3段階)	応力, 変形	静 的
(2) 強制縦曲げ試験	半 潜 水	バラスト注水 (3段階)	同 上	同上
(3) 強制傾斜試験	同 上	バラスト注水 により傾斜 (trans 方向 3段階)	応 力	同上
(4) デッキ搭載荷重試験	同 上	アクティブタ ンクへ注入 (2段階)	応力, 変形	同上
(5) ねじり荷重試験	同 上	バラストタン ク注排水 (3段階)	同 上	同上
(6) 地切り試験	着底→浮上	バラスト排水 (連 続)	応力, 変形 加 速 度	同上

表一2 日本海新潟沖稼動時の計測

試験名称	試験状態	载荷方法	計測項目	計測法
(1) 船体応力試験	半 潜 水	波 浪	応 力	動 的
(2) 船体動揺試験	同 上	同 上	加 速 度 変 位	同上
(3) アンカーライン張力試験	同 上	同 上	アンカーラ イン張力	同上

(3) 計測方法および計測点

a) 計測機器

静的および動的ひずみ（応力）： 静的ひずみ計および動的ひずみ計

加速度： 容量 2G 型加速度変換器

アンカーワイヤ張力： Dynaline UD18 Tension Meter

気象条件： 自動記録式気象観測装置

海象条件： CM-4B 型電気潮流計

WE-2 型波高計

船体運動（参考用）： 自動記録式 HPS 観測装置

b) ひずみゲージおよびプロテクタ

ひずみ計測の成否はひずみゲージの絶縁性の良否にかかっており、ゲージの防水、防湿のためにプロテクタを使用するとともに、下記2種類のパークライトゲージを使用し、温度補償等に対して必要な処置が払われた。

2 軸 ゲージ長 6 mm 47 枚

* 正会員 三菱重工業(株)広島研究所 海洋開発研究室長
** 正会員 三菱重工業(株)広島研究所 海洋開発研究室
*** 三菱重工業(株)広島研究所 海洋開発研究室

1軸 ゲージ長 10 mm 18枚

c) 計測点

海上公試用（仕口部の局部応力計測用を含む）

ひずみ: 44点

加速度: 9点

日本海新潟沖稼動用

ひずみ: 22点

加速度: 9点

3. 計測結果

海上公試に先立って、造船所にて第二白竜が完成した時点で下記計測の基礎データを得るため、トレパン層法（部分解放的残留応力測定法）により建造応力が計測され、満足すべき結果を得た。図-1に計測点を示す。

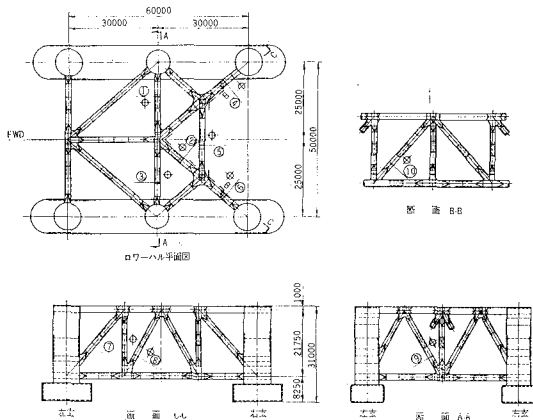


図-1 第二白竜実験計測用計測点

(1) 海上公試時の計測結果

a) 進水試験

造船所ドックに着底状態で完成した第二白竜のバラ

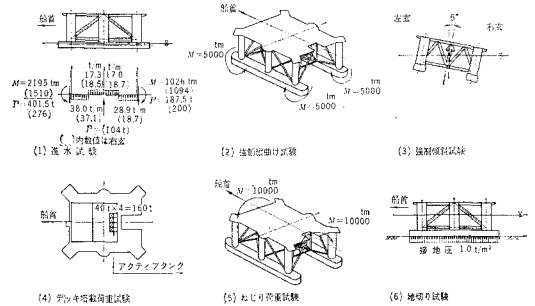


図-2 海上公試時の各種荷重状態

スト水を排出することによって浮上、進水させた。進水時の荷重状態を図-2に、進水時応力を表-3に示す。

b) 強制縦曲げ試験

ローハル内バラストタンクに注排水することによって、強制縦曲げを与えた（ローハル1本あたり約5000 t・m）、強制縦曲げ時の荷重状態を図-2に、強制縦曲げ時応力を表-3に示す。

c) 強制傾斜試験

ローハル内バラストタンクに注排水することによって、横方向に5°の強制傾斜を与えた。強制傾斜時の荷重状態を図-2に、強制傾斜時応力を表-3に示す。

d) デッキ塔載荷重試験

メインデッキ上のアクティブタンク内に注水することによって、メインデッキ上に荷重を塔載した。デッキ塔載荷重時の荷重状態を図-2に、デッキ塔載荷重時応力を表-3に示す。

e) ねじり荷重試験

ローハル内バラストタンク水を注排水することに

表-3 海上公試時応力表

試験状態	(1) 進水試験		(2) 強制縦曲げ試験		(3) 強制傾斜試験		(4) デッキ塔載試験		(5) ねじり荷重試験		(6) 地切り試験	
計測点	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値
①	2.8	3.0	2.8	2.8	2.5	2.4	2.9	3.1	3.7	3.7	2.8	—
②	0.3	0.7	0.3	0.2	0.2	0	0.3	0.5	1.5	1.7	0.3	0.5
③	2.5	2.3	2.5	2.5	3.0	2.9	2.6	2.8	2.3	1.7	2.5	2.5
④	1.5	1.2	1.5	1.6	1.2	1.2	1.6	1.7	0.9	0.6	1.5	—
⑤	2.8	2.8	2.8	2.5	2.8	2.7	3.0	3.2	3.4	2.8	2.8	—
⑥	1.9	2.2	1.9	1.8	2.2	1.8	2.0	2.2	2.6	2.9	1.9	1.9
⑦	-0.7	-0.4	-0.9	-1.0	-1.3	-1.5	-0.7	-0.5	0.4	0.2	-0.7	-1.0
⑧	-1.5	-1.8	-1.5	-1.6	-0.7	-1.0	-1.6	-1.5	-2.1	-2.4	-1.5	—
⑨	3.4	3.8	3.6	3.5	2.3	2.7	3.7	3.7	3.1	3.2	3.4	2.4
⑩	3.2	3.1	3.5	3.4	3.5	3.5	3.3	3.5	1.8	3.2	3.2	3.4

注 (1) 応力の単位: kg/mm²

(2) 符号 +: 引張応力, -: 圧縮応力

(3) 実測値は各試験時に計測された荷重増加分と、建造応力試験時に確認され計算 (estimate) された自重による応力を合計したものである。

よって強制ねじりを与えた(ねじりモーメント 10 000 t・m)。ねじり荷重時の荷重状態を図-2に、ねじり荷重時応力を表-3に示す。

f) 地切試験

着底状態にある第二白竜のバラストを排水して地切りを行なった。地切時の荷重状態を図-2に、地切時応力を表-3に示す。なお、地切りは広島沖の軟弱地盤地帯で行なわれたが、非常にスムーズに地切り作業が完了し、ドリリングユニットへの衝撃荷重、応力等は非常に小さいものであった。

(2) 稼動時の計測結果

a) 計測時の外力条件

計測時の外力条件を表-4に示す。

b) 計測時の海・気象条件

発達した低気圧の影響(最大風速 30 m/s)を受け、最大波高 9.2 m であった。計測した海・気象条件のうち、特に動的外力としての波浪データについて、その統計的性質を図-3に示す通りである。

表-4 外力条件

ユニット方向(度)	27.5
水深(m)	75
波高(m)	5.65
波長(m)	113
周期(s)	8.5
潮流(kt)	—
流向(度)	—
風速(m/s)	30.0
風向	S 45 W
満載荷重(t)	16 466
バリアブルロード(t)	2 183
吃水(m)	19.70
KG(m)	15.01
GM _L (m)	7.49
GM _T (m)	6.39

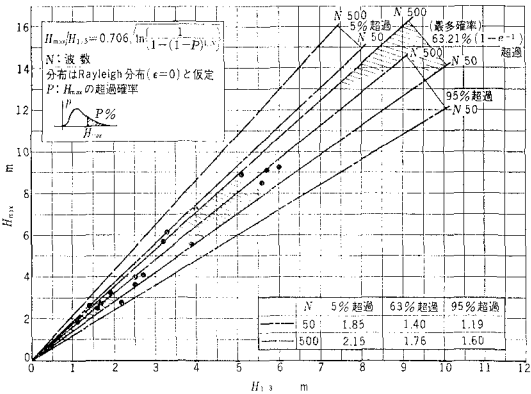
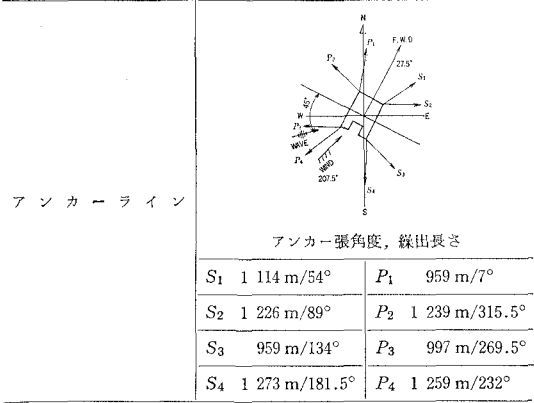


図-3 最大波高と有義波高の関係



c) 運動および応力

外力条件(表-4)に対応した波浪中の応力および運動計測値を表-5ならびに図-4, 図-5に示す。

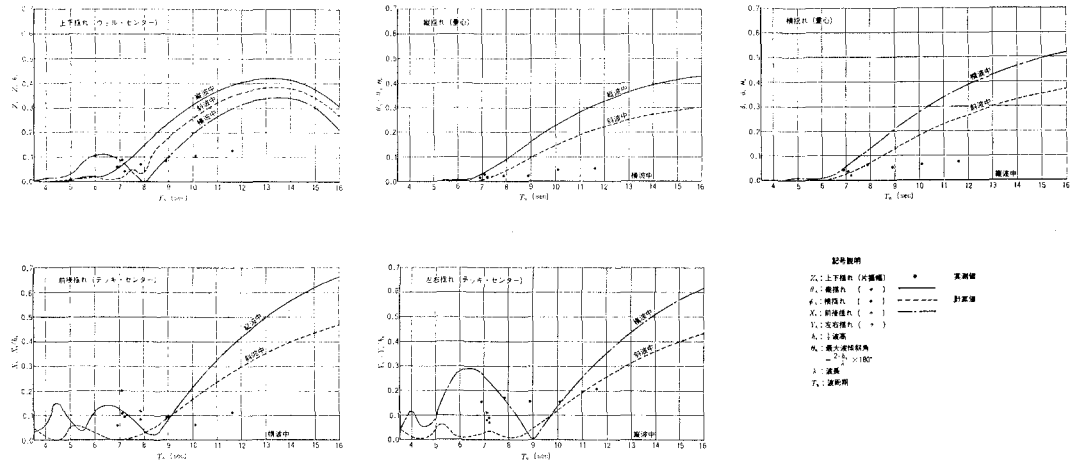


図-4 規則波中の運動応答

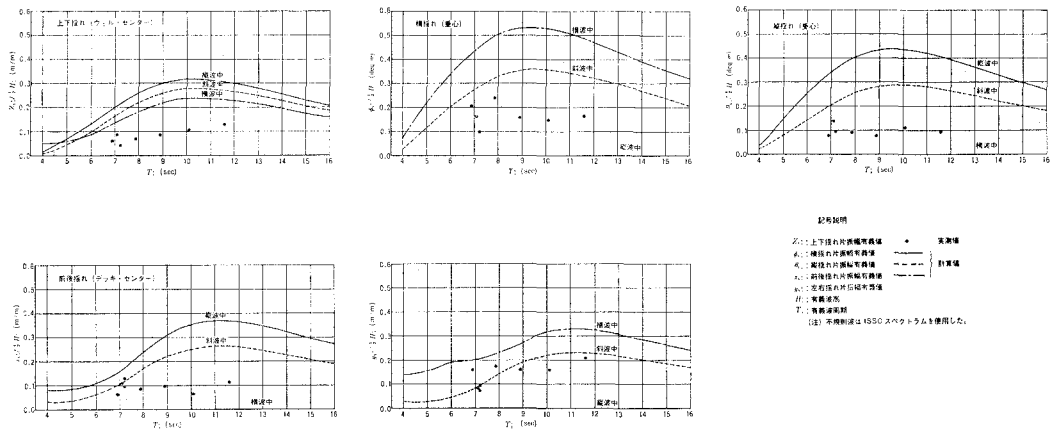


図-5 不規則波中の運動応答

(3) 解析方法と結果

著者らが開発した半潜式海洋構造物の系統的構造解析プログラム“SEM-SAP”⁵⁾を使用して解析した規則波中応力応答値を表-5に、また運動応答値を図-4に示す。さらに Modified-Pierson-Moskowitz 型のスペクトラムを用いた不規則波中の運動応答値を図-5に示す。

計算値と実測値を比較すると、運動応答に関しては、計算値がいずれも大きくなっている。これは係留力などの影響のほか波高観測方法にも一因があるように思われる。すなわち、今回の波高計取付位置では、海洋波の入射波成分のみでなく反射波成分も含めた、少し高めの値として記録されているように思われる。

これらのことを考慮すれば、計算値と実測値の間にはある程度の相関性が認められるといえよう。

4. むすび

今般の規則波中応答解析を中心とした、第二白竜の実機計測および解析結果より、下記の結論が得られた。

(1) 半潜式海洋構造物の規則波中応答理論を中心とした全体構造解析にあたっては、継手部の詳細な応力解析を除いて、立体骨組構造として取り扱ってよそ

表-5 稼動時の応力表

実機計測 計測点	計算値	実測値
①	4.9	4.0
②	0.5	0.6
③	4.0	4.2
④	3.0	3.4
⑤	3.4	3.0
⑥	0.6	1.0
⑦	0.9	0.8
⑧	1.6	1.8
⑨	4.7	4.8
⑩	2.3	2.7

注 (1) 応力の単位 kg/mm^2
 (2) 符号 + : 引張応力
 - : 圧縮応力
 (3) 実測値は各試験時に計測された荷重増加分に対応する応力増加分と、建造応力試験時に確認され計算 (estimate) された自重による応力を合計したものである。

うである。

(2) 半潜式海洋構造物の規則波中応答理論は、今般の実機計測での海象・気象条件が設計条件に比べて、かなり穏やかな範囲にあるので、断定的なことはいえないが、得られた結果の範囲内では理論解析値と実測値の間には相関性が認められ、十分実用性があるといえよう。

(3) 第二白竜の波浪中運動計測値は理論解析値 (計画設計値) の範囲内にあり、したがって、その作業台としての稼動率はほぼ所期の通り期待できそうである。

(4) 計測方法、解析方法に関する今後の問題点としては、今般部分的に採用した不規則変動の記録・解析方法をさらに発展させ、海洋波中の不規則応答理論と関連づけた実機計測および解析が望まれる。

なお、第三白竜、第五白竜にて不規則波中応答解析を中心とした実機計測および解析を実施中であり、別の機会に報告できることを期待している。

終りに本実機計測にあたって特別の御便宜をいただいた日本海洋掘削船に深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 藤井 育・高橋 雄: 海洋構造物に作用する流体力の推定, 三菱重工技報, Vol. 7, No. 1, pp. 1-8, 1970.
- 2) 佐竹 優・藤嶋和明・石田 稔・片山正敏: 半潜式海洋構造物の設計及び建造, 三菱重工技報, Vol. 13, No. 4, pp. 78-94, 1976.
- 3) 片山正敏・則松康文・三和英一: 浮遊式海洋構造物の係留解析法, 三菱重工技報, Vol. 13, No. 4, pp. 133-141, 1976.
- 4) Arita, Y., M. Tamura, S. Teramoto, S. Aizawa, N. Kawauchi: The design, construction and operation of the column stabilized drilling unit 'HAKURYU II', NOR-SHIPING SYMPOSIUM 1973, OFFSHORE ACTIVITIES, pp. 1-12, 1973.
- 5) 前出 2)