

浮遊式消波体による作業船稼働率向上対策の実験的研究

関田 欣治*・谷山 正樹*・岡村 章**

1. 緒 言

海洋構造物据付や海底配管敷設等の作業船を用いる海洋工事の作業性は海象条件に大きく影響され、荒海象条件海域における作業船の稼働率は著しく損われている。

一般に荒海象条件下での作業船の作業稼働率向上対策としては作業船の大型化、セミサブバージ等の高安定船型への移行、あるいは装備される施工機器の改善等が考えられるものの、ここでは現状の作業船を用いることを前提に簡易かつ効果的に作業限界を向上させる一方法の feasibility study を実施した。すなわち作業海域の人工的静穏化を確保して、作業稼働率向上を図るべく、浮遊式消波体の利用を考えた。このため、造波水路を用いた縮尺 1/60 の水理実験を行い、浮遊式消波体の消波効果を測定し、これらの結果を用いて作業船稼働率の向上量を推定した。

ここでは対象とする作業を海洋構造物据付工事、海底配管敷設工事及び浚渫工事に限り、現場観測や模型実験等により既に得られているこれらの作業限界波高を用いて、荒海域、中程度の荒海域及び静穏海域における期待される稼働率を算定し、海洋工事における浮遊式消波体の有効性についての検討を行った。

2. 実験装置および方法

(1) 模 型

浮遊式消波体の目的は、消波体を通過した波の波高を減少させることであるとともに、(A) 消波体の作業海域へのすみやかな移動、設置、回収が可能なこと、(B) 大水深海域でも消波体固定が可能なこと、(C) 長周期波浪に対してもある程度の消波効果が期待できること、が不可欠であり、ここでは次の3種類の模型を用いた。

表-1 ポンツーン型消波体
諸元

諸元	形式	Proto	1/60 Model
消波体高		8 m	13.3 cm
消波体幅		28.6 m	47.6 cm
喫水	水	3.5 m	5.8 cm
材質		—	アクリル

- a. ポンツーン型消波体
- b. 透過性消波体 (A) ……ステラ

シート

- c. 透過性消波体 (B) ……異形ブロック

尚、これ等の消波体の諸元を表-1~3にそれぞれ示す。

(2) 実験方法

実験は波向を Beam 方向に限定して実施し、次のような手順で実験を進めた。

1. 消波体モデルを設置しない状態で波高を測定した。この波高を実際の来襲波高とした。
2. 次に消波体を設置し、消波された波高を測定した。この波高を通過波高とした。

表-2 透過性消波体 (A)
(ステラシート)

諸元	形式	Proto	1/60 Model
消波体高		6 m	10 cm
消波体幅(1)		30 m	50 cm
" (2)		60 m	100 cm
喫水	水	3 m	5 cm
見かけの比重		—	0.055
真比重		—	1.32

表-3 透過性消波体 (B)
(異形ブロック)

諸元	形式	Proto	1/60 Model
消波体 B-1	消波体高	4.4 m	7.4 cm
	消波体幅	5.4 m	9.0 cm
	喫水	3.0 m	4.9 cm
消波体 B-2	消波体高	11.1 m	18.5 cm
	消波体幅	5.4 m	9.0 cm
	喫水	9.3 m	15.4 cm
消波体 B-3	消波体高	4.4 m	7.4 cm
	消波体幅	10.8 m	18.0 cm
	喫水	3.0 m	4.9 cm

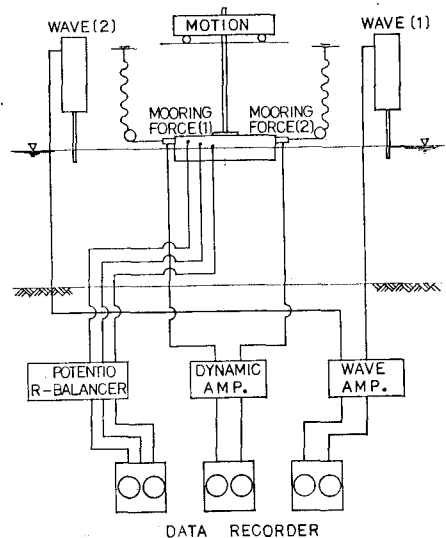


図-1 測定システム

* 新日本製鉄(株)相模原技術センター 海洋施設グループ

** 新日本製鉄(株)相模原技術センター 海洋施設グループ

これらの実測値は規則波データは Pen-Recorder に記録し、不規則波データは M.T. に記録後、スペクトル解析を行った。尚、図-1 に測定方法を示す。

(3) 波浪特性

実験に用いた波浪は、海洋工事の作業海域において頻繁に起こると想定される海象データを用いた。即ち、周期は 3~12 秒程度、波高は海洋工事の作業限界といわれる有義波高 2m~3m とした。尚、不規則波は Pirson-Moskowitz 型のスペクトルを有する波浪とした。

3. 実験結果および解析

実験に用いた 3 種類の消波体についての消波効果について、測定結果と解析値との比較と検討を以下、行う。

(1) ポンツーン型消波体

解析は領域分割法による 2 次元ポテンシャル理論による解法¹⁾を用いた。

図-2 に規則波に対するポンツーン型消波体の通過率測定結果を解析結果と比較して示した。尚、実験は 75m 級の海域を想定した。

一方、図-3 に不規則波に対するポンツーン型消波体の実験結果を示した。不規則波は通過波と来襲波の波形スペクトルの比較及び、両スペクトル密度の比の平方根を通過率として示した。以下次のような事が言える。

- i) 実験値と解析値はほぼ一致している。実測値のバラツキは実験精度及び水粒子の粘性効果等によるものと考えられる。

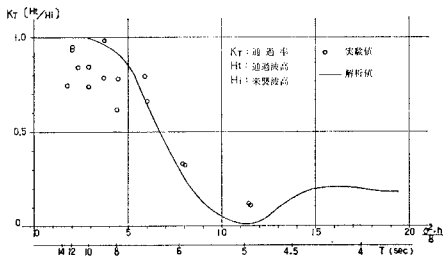


図-2 ポンツーン型消波体による通過率 (規則波)

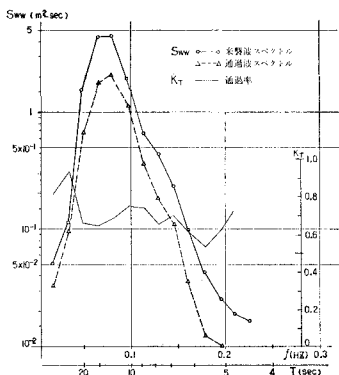


図-3 ポンツーン型消波体による消波効果 (不規則波)

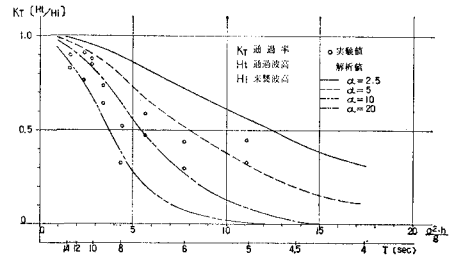


図-4 透過性消波体(A) (ステラシート) による通過率

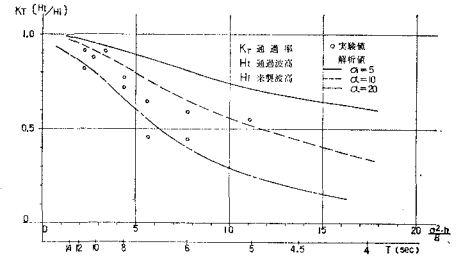


図-5 透過性消波体(B) (異形ブロック) による通過率

- ii) うねりのような長周期波浪に対しては極端に消波効果が落ちる。
- iii) 波周期 6.5 秒以下の波浪に対しては 50% 以上の消波率が期待できる。
- iv) 不規則波に対しても波スペクトルより統計的に求められる有義波高についてみると、30% 程度の消波効果がある。

(2) 透過性消波体 (A)……ステラシートと透過性消波体 (B)……異形ブロック

図-4、図-5 に、規則波に対する透過性消波体 (A) 及び (B) の通過率を解析値と比較して示した。

尚、図中の消波体抵抗係数 (α) は消波体を構成する材質の物理的性質やその充填密度によって変化する。解析値はいわゆる Power Transmission Theory²⁾ による。

図-4、5 から次の事柄がわかった。

- i) 実測値は多少のバラツキがあり、抵抗係数 (α) が 2~20 の間に分布する。
- ii) このバラツキは来襲波の越波の他、消波体の動揺の影響と考えられる。

4. 海洋工事における作業限界

海洋工事における作業船の作業限界は、既に現場測定や水槽実験により得られている。これから稼働率推定及び消波効果推定のために、各海洋作業別に詳細に作業限界を検討する。

(1) 海洋構造物据付作業³⁾

海洋構造物据付作業における作業限界は、吊り荷に水平及び鉛直動揺をもたらす roll や pitch 等の作業船動

揺により制約される。したがって、作業限界波高は、作業限界動揺量と作業船の roll と pitch 応答倍率 (K_ϕ , K_θ) により次式のように得られる。

$$H_L(T) = \min \left(\frac{\phi^*}{K_\phi}, \frac{\theta^*}{K_\theta} \right) \dots\dots\dots (1)$$

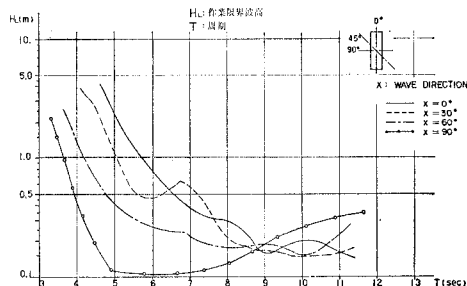
ここで、 ϕ^* , θ^* は据付作業を制約する船体限界動揺量であり、それぞれ roll, pitch の限界値である。

表—4 に構造物据付工事における各種作業の限界動揺量を示した。それらの内、長尺杭の建込み作業の作業限界波高を (1) 式により算定し、それを図—6 に示す。

尚、作業船は 12000 排水トン相当のデリックバージである。

表—4 作業船限界動揺量 (海洋構造物据付作業)

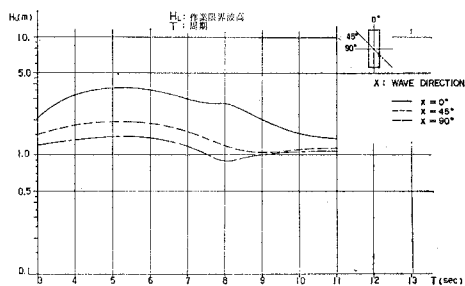
作業項目	限界roll	限界pitch
杭の建込み		
82 m 杭	± 25'	± 7'
50 m 杭	± 30'	± 10'
22 m 杭	± 30'	± 13'
杭打機セット	± 12'	± 10'
重量吊り	± 5'	± 3'



図—6 海洋構造物据付作業の限界波高 (長尺杭の建込み)

(2) 海底配管敷設工事⁴⁾

海底配管敷設工事における作業限界は波力よりも作業船の pitch, heave 等の動揺により、敷設作業は制約される。したがって、作業船動揺により敷設パイプ発生応力度によって、作業限界波高 (H_L) は次式で求まる。



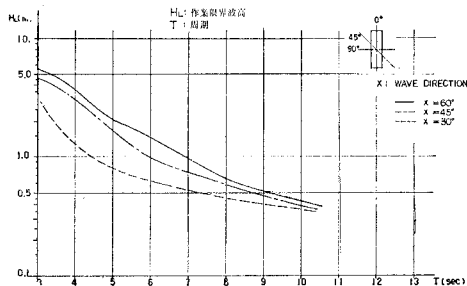
図—7 海底配管敷設作業の限界波高

$$H_L \leq \frac{2\sigma_a}{\sqrt{K_{\theta\theta}^2 K_{\theta}^2 + K_{\sigma z}^2 K_z^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 K_θ , K_z は、それぞれ pitch, heave の動揺量であり、 $K_{\theta\theta}$, $K_{\sigma z}$ は、それぞれ pitch, heave により生ずる応力度倍率である。図—7 に海底配管敷設工事の作業限界波高を示す。

(3) 浚渫工事⁵⁾

ユニット浚渫船を用いた浚渫工事における作業限界は、主として船首での上下動揺量および pitch により制約される。図—8 に浚渫工事における作業限界波高を示す。



図—8 浚渫作業の限界波高

5. 海洋工事における稼働率

(1) 作業海域の波高一周期出現頻度分布

作業海域の海象条件は気象庁風浪階級表に従い、‘Rough-Sea’, ‘Moderate-Sea’, ‘Smooth-Sea’ の海象条件に相当する海域の出現頻度分布を以下用いることとする。尚、それぞれの海象条件の特性を表—5 に示す。

表—5 稼働率推定のための海象条件

海象状態	有義波高 ($H_{1/3}$)	有義周期 ($T_{1/3}$)
Rough -Sea	3.0 m	6.4 sec
Moderate -Sea	2.0 m	5.5 sec
Smooth -Sea	1.0 m	4.4 sec

(2) 稼働率の推定法

ある周期において得られた作業限界波高に達する波が、波群のうち一波でも存在すれば、作業不可能となるので、作業限界は最大波高により決定されなければならない。したがって、上述の波高一周期出現頻度分布の波高は有義波高であるため、最大波高 (H_{max}) と有義波高 ($H_{1/3}$) の関係式 (3) より最大波高に換算する。

$$H_{max} = 1.77 H_{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

図—9 の波高一周期出現頻度分布に最大波高で整理した作業限界波高を示す。図—9 に示されるように、この作業限界に含まれる数値の総和がこの海域に発生する作業可能な波浪の出現頻度である。即ち、この値がこの海

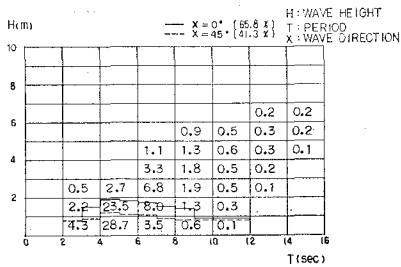


図-9 波高一周期出現頻度分布と作業限界

域の予測される稼働率である。

(3) 消波体を用いた場合の稼働率の推定法

消波体を用いた場合の稼働率推定の方法も、上と同様に行なえよう。

消波体を用いることにより、来襲波高は減衰されるのでその分だけ、作業限界波高は高くなる。

図-10 を用いて説明する。

消波体の通過率を K_T とすれば、来襲波高 (H_A) は消波体を通してることにより減衰されて $K_T H_A$ となる。この減衰された波高 ($K_T H_A$) が作業限界波高 (H_L) より低ければ作業可能であり、限界波高は次式で算定される。

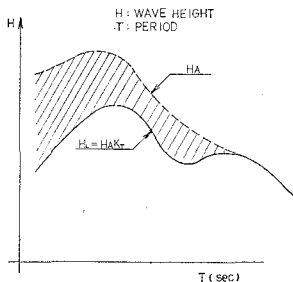


図-10 消波体による作業限界の拡大

$$H_A = \frac{H_L}{K_T} \quad \dots\dots\dots (4)$$

消波体を用いた場合の稼働率は、図-9 の作業限界波高のかわりに、式(4)で計算された作業限界波高を波高一周期出現頻度分布に用いて求められる。したがって、

図-10 の斜線の部分が向上した稼働率となる。

(4) 各作業の稼働率向上量

i) 海洋構造物据付作業

‘Rough-Sea’ の場合、ポンツーン型で全般に 5~10%、大きい場合には 20%、透過性 (A) で 2~7%、透過性 (B) で 1~5%、‘Moderate-Sea’ の場合、ポンツーン型で全般に 5~25%、大きい場合には 35%、透過性 (A) で 2~15%、透過性 (B)

で 1~10%、‘Smooth-Sea’ の場合、ポンツーン型で 30% 程度の向上も期待できる。来襲波の方角によっては、100% に近い稼働率となる。

ii) 海底配管敷設作業

‘Rough-Sea’ の場合、ポンツーン型で 10~20%、透過性 (A) で 5~10%、透過性 (B) で 2~6%、‘Moderate-Sea’ の場合、それぞれ 10~30%、10~20%、5~15% の稼働率向上を期待できる。‘Smooth-Sea’ の場合、100% 近くの稼働率向上となる。

iii) 浚渫作業

‘Rough-Sea’ の場合、ポンツーン型で 8~12%、透過性 (A) で 4~8%、透過性 (B) で 2~7%、‘Moderate-Sea’ の場合は、それぞれ 20~25%、10~15%、2~5% の稼働率向上が期待される。‘Smooth-Sea’ の場合においても全体的に高い稼働率となる。

6. 結 言

海洋工事における作業稼働率向上のために、浮遊式消波体を利用した施工法の確立を図るため、模型実験を行なった。浮遊式消波体としては、従来のバージ等をそのまま施工海域に係留して適用する場合と、特別に準備した透過性消波体 (2 種類) を用いる場合について、稼働率推定の feasibility study を実施した。

この結果、消波効果としては、バージ等のポンツーン型が最良であり、ステラシートの透過性消波体、異形ブロックの透過性消波体の順で下がった。

海象条件から考えると、有義波高 2 m 程度の ‘Moderate-Sea’ の場合に、最も稼働率向上を期待でき、次いで、有義波高 3 m 程度の ‘Rough-Sea’ の場合にもかなりの稼働率向上が期待できる。有義波高 1 m 程度の ‘Smooth-Sea’ においては、ほぼ 100% 近い稼働率が期待できる。

実用的には、海底配管作業や浚渫作業のように作業船の移動を伴う場合には、消波体の係留法等解決すべき事柄が多いが、海洋構造物据付作業のように作業船の移動を伴わない作業では、浮遊式消波体を用いることにより、効果的かつ簡易的に作業稼働率を向上させることが可能と思われる。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・田淵幹修・湯村やす：有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形，土木学会論文報告集，Vol. 202, 1972.
- 2) 加藤重一・乃万俊文：吸収型浮き消波工—マットレス—の消波効果，第18回海岸工学講演会論文集，1971.
- 3) Sekita, K.: The Operability of Derrick Barges in

- Construction of Large Offshore Structures, O.T.C., 2635, 1976.
- 4) K. Sekita: The Estimation of Lay Barge Operating Rates by Model Testing, O.T.C., 2913, 1977.
- 5) 阿賀沖海底パイプライン深海部埋設工事における現場観測, 新日本製鐵, 海底パイプライン技術資料, 昭和51年.
-