

ジャケット式による防波堤・人工地盤の開発と適用

Developments of the breakwater and the artificial ground using the jacket structure method

尾島啓介*・友野一徳**

Keisuke OJIMA and Kazunori TOMONO

* (財) 漁港漁場漁村技術研究所 主任研究員

** 漁港新技術開発研究会

The Jacket Structure was developed and constructed for the off shore platform of Oil and Gas exploration. In recently years, the Jacket Structure method has been established and applied in many local projects. This paper presents history of the Jacket Structure method development for the requirements of the fishing port contractor and fishermen.

Key Words : Jacket Structure, Breakwater, Artificial Ground

1. はじめに

ジャケット式海洋構造物は、主として海底石油・ガス開発用の海上プラットフォームの下部構造物として開発、建設されてきた。水深が深く、海象・気象条件の厳しい海域で、洋上での建設作業を極力少なくし、建設期間を短くするために、陸上で製作された平面または立体の鋼管トラス構造物（これをジャケットと呼称）を設置海域に据え付け、その脚（レグ）内に鋼管杭を打ち込んで海底地盤に固定し、杭とジャケットを溶接またはグラウトにより一体化させて、外力に抵抗する構造形式である。¹⁾

本論文では、これまでに漁港施設に求められた軟弱地盤下での低コスト化、海水交換性能や低反射性能等を有した多機能化に対して、ジャケット構造物の特性を効果的に活用した防波堤、岸壁の開発とその適用について総

括する。更に、昨今の新たなニーズに対応するジャケット構造物の有効的な適用方法の提案について報告する。

2. 漁港施設でのジャケットの開発と適用

2.1 ジャケット開発にあたっての自然条件・ニーズ

漁港施設におけるジャケットの開発と適用は、図-1に示すように、北海道網走市呼人漁港、山口県徳山市大津島漁港などの波高の小さい短周期の内湾防波堤や波高の大きな長周期の外洋波を受ける長崎県南風泊漁港の沖防波堤等、近年需要が高まりつつある。

ジャケットが適用されたこれら防波堤、棧橋の設計に与えられた主な自然条件やニーズと、それに対応し得たジャケットの構造的な特性を表-1に示す。

漁港名称	発注者	工事時期	設計波高	岸波対象波高	消波対象波周期	透過率	防波版形状	工法が選定された主な理由
呼人漁港	北海道網走市	平成7年～	1.0m	1.0m	2.0sec	0.57	傾斜版式	・軟弱地盤対策 ・魚卵の産卵を促さない透過構造 ・湧昇現象の防止 ・低反射性
大津島漁港	山口県徳山市	平成7年～11年	1.9m	1.9m	5.4sec	0.3	傾斜版式	・軟弱地盤対策 ・港内水質保全
南風泊漁港	長崎県高島町	平成9年～11年	5.5m	2.6m	11.2sec	0.4	傾斜版+直立版式	・海釣り公園、海水浴場等隣接のため水質保全 ・低反射性
糸満漁港	沖縄県	平成9年～10年	1.8m	1.8m	-	0.5	傾斜版式	・背後水面の利用のための海水交換性能 ・低反射性
京泊漁港	長崎県南串山町	平成10年～	2.8m	2.8m	7.0sec	0.3	傾斜版式	・軟弱地盤対策 ・養殖場隣接のため工事中の汚濁軽減 ・低反射性
常串漁港	鹿児島県	平成10年～	1.7m	1.0m	4.0sec	0.2	傾斜版式	・軟弱地盤対策 ・内海のため港内水質保全
湯ノ本漁港	長崎県勝本町	平成10年～12年	4.39m	1.2m	3.8sec	0.3	傾斜版式	・軟弱地盤対策 ・自然保護のため海水交換性 ・低反射性
佐賀関漁港	大分県	平成12年～13年	4.6m	1.7m	4.6sec	0.4	傾斜版式	・港内利用のため水質保全 ・低反射性
本浦漁港	愛媛県	平成13年～14年	2.2m	2.2m	4.4sec	0.1	傾斜版式	・港内利用のため水質保全 ・低反射性
津和地漁港	愛媛県中島町	平成13年～14年	2.4m	2.4m	5.0sec	0.25	カーテン式	・軟弱地盤対策 ・港内水質保全
唐櫃漁港	香川県土庄町	平成13年～14年	1.7m	1.7m	4.6sec	0.15	カーテン式	・軟弱地盤対策 ・養殖場隣接のため工事中の汚濁軽減
大神漁港	大分県	平成14年～	2.8m	2.8m	6.21sec	0.0	カーテン式	・軟弱地盤対策 ・港内水質保全

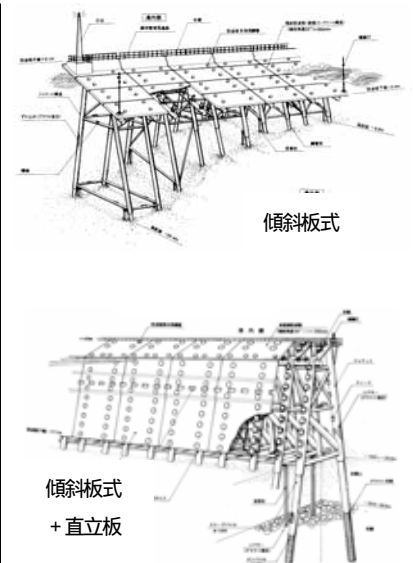


図-1 ジャケット式防波堤の実績

表-1 主な自然条件・ニーズとジャケットの構造的な特性

主な自然条件・ニーズ	ジャケットの構造的な特性
軟弱地盤対策	杭基礎であるため地盤改良不要
港内の海水交換性	杭基礎による流れの阻害緩和
低反射波性能の保有	傾斜式の防波板の配置
海上工事の短期化	主たる構造物のプレバ化

2.2 ニーズに対応した技術開発

(1) 軟弱地盤等の条件下での低コスト化と低反射性能
 山口県大津島漁港等多くの防波堤では、軟弱地盤層が厚く、重力式では地盤改良が割高となり、また、堤体前面からの反射波に対して漁船航行の安全性を確保する必要性があった。ジャケット構造は、鋼管杭を介して地盤へ荷重を伝達する支持構造であるため、マウンド形成や地盤改良が不要であり、基本的に軟弱地盤における経済的効果を有している。これに加えて、ジャケット前面に取り付ける防波板に適度な傾斜をつけて波エネルギーを散逸させる構造開発（傾斜板式防波堤）により、堤体前面に消波ブロック等を設置することなく（消波ブロックを設置すれば地盤改良等が発生する）、低反射性能を確保してニーズに対応している。

また、急峻な海底地形で、マウンドの法尻が海底面に沿って延びていくような場合、あるいは大水深の場合では、マウンドが大規模になる可能性が高く、マウンド形成の不要なジャケットの構造特性が経済的効果を発揮しやすい条件となる。

(2) 高波浪・長周期波下での波浪減殺と海水交換の確保
 長崎県高島町南風泊漁港の沖防波堤（図-2）では、水深 20m、潮位差 3.3m、30 年確率波は、 $H1/3=5.5m$ 、 $T1/3=15.2sec$ という外洋波を受ける厳しい自然条件下で、波浪の減殺と海水交換性能を確保することが求められた。

このような水深、かつ長周期波（ $h/L=0.15$ ）で、所要の伝達率（ $Kt=0.5$ ）を確保するためには、非常に長い傾斜板が必要となり、構造自体が巨大となる。このため、図-2 に示すように、海面付近の傾斜板に加えて、海中部に直立板を配置する構造が提案され、傾斜板の最適緒元



図-2 長崎県南風泊漁港のジャケット式防波堤

および波力特性の把握を目的とした水理模型実験¹⁾を実施し、所定の機能を有する構造設計²⁾³⁾を行っている。

(3) 水質や海底環境への影響の軽減

鹿児島県幣串漁港、大分県佐賀関漁港等では、漁港内の水質保全をより重視し、ジャケット上部に取り付ける傾斜板と海底面間に十分な間隙を確保して、漁港内外の海水交換の阻害を軽減している。漁港整備と漁場整備が一本化された昨今においては、漁港内での一次畜養や養殖等、より効率的な漁港内泊地の利用が高まるものと考えられる。

また、施設建設後の水質保全のほか、愛媛県唐櫃漁港では、近接するのり養殖場に対して、杭式で、かつ海上施工工期の短いジャケットを用いた防波堤建設により、施工中の海水汚濁の影響緩和とのり養殖に極力影響を与えない工事時期の選択を実現している。

また、ジャケットは、鋼管により構成されており、海水中に適度な空間を形成するため、魚介類の蟄集が確認された報告（図-3 参照）もある。更に、積極的に防波板に溝や階段をつけて藻が着床しやすい形状にすることにより、小規模ではあるが、藻場造成を促す効果も期待できる。



図-3 ジャケット部の蟄集状況

2.3 施工および維持管理の技術開発・導入

前述のようにジャケットは、軟弱地盤対策以外に自然環境等へのニーズにも対応して、利用可能な条件を拡張してきたことが伺える。このため、ジャケットを施工する、維持管理するといった面からの技術開発も平行して進んでいる。

(1) 施工技術の開発・導入

急傾斜地盤であったり、海水交換機能が必要である場合には、海底面が岩盤や既存の防波堤・岸壁の直近で捨石マウンドが施工されていることもあり、鋼管杭が岩盤や捨石層を打抜く等の必要性が少なくない。このため、鋼管杭を経済的に打ち込むために、パイプロハンマーを用いて岩盤・捨石層へ鋼管杭を打設する工法を応用し、ジャケットの施工に適用している。この工法は、大型バ

イブロハンマーを使用して、低騒音、低振動を実現したものである。(図-4 参照)



図-4 バイブロハンマーによる鋼管杭の岩盤打設

(2) 維持管理技術の開発

海洋構造物の経済性比較にあたっては、建設コストのみならず、ライフサイクルコストを考慮した評価が常識となりつつある。長期的に供用する鋼構造物の弱点であった防食方法についても、日進月歩で開発が進んでいる。鳥取県境漁港ジャケッ式岸壁や多くのジャケッ式防波堤では、維持管理の低減を図るために、重防食塗装に比較して長期耐食性と耐衝撃性を有する耐海水性ステンレスライニング²⁾の防食システム(図-5 参照)を導入し、流木な漁船の衝突しやすいジャケットの干満帯部分に適用している。



図-5 耐海水性ステンレスライニングによる防食工法

3 新たなニーズとジャケットの有効利用

～モデルケースによる検討

漁港施設の建設においては、経済性はもちろんであるが、施設建設期間中の漁船の漁港離れの防止や非効率的な漁港利用の軽減を目的とした、岸壁・背後用地の漁業

活動への制約緩和、防災拠点の構築の背景からの耐震性能の保有等の要請が増大しつつある。

上記のような要請に対して、沖出人工地盤をモデルケースとして、埋立部分の建設についてジャケッ構造の適用性を検討した(図-6 参照)。

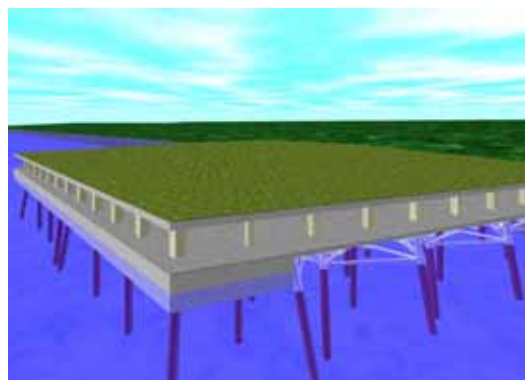


図-6 ジャケッ式人工地盤のイメージ

3.1 概略設計

<検討条件>

水深: $h=12\text{m}$

地盤条件: -12m~-22m 深度=N 値0の軟弱地盤
-22m~-32m N 値15~35の砂層
-33m~ 岩盤

設計震度: $kh=0.1$

埋立面積: $A=100\text{m} \times 100\text{m}(10,000 \text{ m}^2)$

埋立部の上載荷重: 10kN/m^2

人工地盤部(上屋)の荷重: 24kN/m^2

なお、上屋の荷重は、給水・給氷施設や駐車場を想定し、上屋と埋立部をつなぐ支柱を介してジャケットの杭に伝達されるよう杭を配置する。

埋立部を平面的に10分割して、5カ年で工事を行い、単年度では2基のジャケッを製作・施工することを想定した。

ジャケッ構造の概略設計の結果、表-2に示すような主要部材のサイズとなり、1基あたりのジャケッ鋼材重量168ト、鋼管杭重量200トとなった。

表-2 ジャケッ構造の概略設計結果

構造部材	材質	サイズ
レグ	SM490Y	1890.8×40mm
トラス斜材	STK400 STK490	508.0×7.9mm ~ 711.2×14.0mm
上面床桁	SM490Y	H-588×300×12×20
杭	SKK490	1700×22(岩盤まで打設)

単年度工事では、工場製作されたジャケッ2基を現地へ海上輸送し、起重機船で設置する。ジャケッ据付後、鋼管杭をレグ内に挿入して打設し、グラウトでレグ

と杭を結合する。ジャケットが地盤に固定されたら、上面床版コンクリートおよび係船部を施工、最後に床版舗装を行う。

この単年度工事を5ヵ年連続して行うものとして、概算工事費約19億円(床面積当り単価:190千円/m²×総床面積:10,000m²)の試算結果となった。また、鋼管杭による支持構造では、施工中に現状の海底面を著しく乱すことはなく、直接的な建設コスト以外の排出土等の産廃処理が不要である。

3.2 施工時の検討

沖出人工地盤の埋立部では、従来、原地盤の処理(軟弱地盤の場合)や排出土の処分からはじまり、護岸部建設、埋め立て、沈下処置を経て利用が可能になる。これに、ジャケットを用いた場合、人工地盤を建設する海域を制約するのは、図7に示すようにジャケットの据付および杭打作業の期間である。

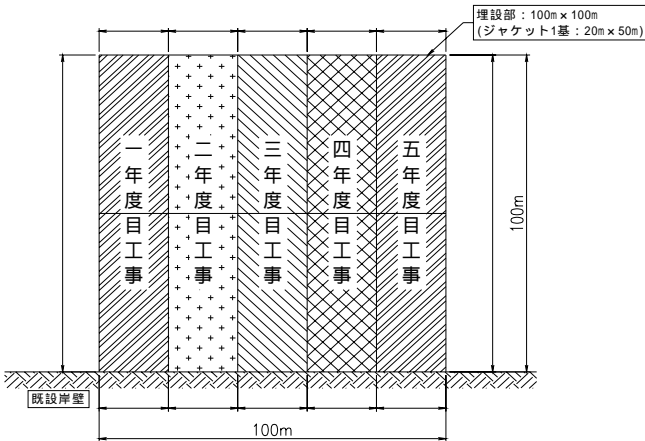
工種/ヶ月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ジャケット製作	=====												
据付・杭打設						====	====						
床版設置									=====				
床版舗装										=====			

図-7 単年度の概略工程表

海上工事期間

ジャケット構造では、漁業の盛漁期には、この期間を避けた施工を計画する等の工程調整の自由度が高い特徴がある。

また、5ヵ年の継続工事として考えると、図8に示すように工事進行に伴う既存岸壁延長の減少に平行して、



岸壁延長 工事開始前	工事年度毎の岸壁線の供用										使用可能 延長	
	既設岸壁					新設岸壁						
20m	20m	20m	20m	20m	100m	20m	20m	20m	20m	20m	100m	100m
1年度目	x	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	80m
2年度目	-	x	○	○	○	○	-	-	-	-	-	180m
3年度目	-	-	x	○	○	○	○	-	-	-	-	180m
4年度目	-	-	-	x	○	○	○	○	-	-	-	180m
5年度目	-	-	-	-	x	○	○	○	○	-	-	180m
6年度目	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	300m

○:供用可、x:1.5~2.0ヶ月の海上利用制限、-:未工事または消失する岸壁

図-8 ジャケット式人工地盤の施工分割と
工事年度毎の供用可能岸壁延長

新規岸壁が年度毎に延長されるとともに、杭が岩盤で支持されているため圧密等の沈下現象もなく、即時供用可能となっていく。年間における利用の制約は、海上工事で起重機船等が使用される1.5~2.0ヶ月に限られるため、工事期間中も、その年度に施工する2基のジャケットを除いた既存岸壁と新設岸壁を同時に利用することができることになる。

特に、既存岸壁の背後に市場や給水・給氷施設等の高頻度に利用される施設がある場合には、このようなジャケット構造の特性は、継続的な漁業活動に寄与するものと思われる。

3.3 耐震性

地震に対するジャケット構造の特性として、以下のようない点があげられる。

ジャケット式人工地盤は、鋼管杭で岩盤層に支持されているため、埋立土砂等のような液状化による沈下や用地の大変形等は発生しない。

また、上屋の基礎は、ジャケットと連結した構造となるため、埋立土砂が液状化した際にみられる側方流動等の現象はなく、基礎間隔の広がりによる上屋の崩壊の可能性は低い。

4 おわりに

海底石油・ガス開発にはじまったジャケット構造は、軟弱地盤対策としての杭式構造物のみではなく、海洋環境の保全、工事期間における漁業活動への支障の大幅な削減等に寄与することが考えられる。今後、ますます増加する新たなニーズに対して、既存の慣習的な適用方法にとらわれず、現有の種々の技術の適性を理解し適用する試み、その中で発生する技術的課題への対策の研究といったことも、新たな技術開発につながるものとする。

参考文献

- 1) ジャケット式護岸及び鋼製L型護岸設計計算書, 財)漁港漁村建設技術研究所・漁港新技術開発研究会(第7部会), 1996
- 2) 社)全国漁港協会: 傾斜板式防波堤, 漁港の技術指針, pp336-340, 1999.
- 3) 財)沿岸開発技術研究センター: ジャケット工法技術マニュアル, 2000.

関連発表論文

- 1) 中山哲蔵, 他: 外洋波を受ける海域への傾斜板式防波堤の適用について, 海洋開発論文集, Vol.14, pp95-100, 1998
- 2) 佐藤弘隆, 他: 傾斜板式防波堤に適用した耐海水性ステンレス鋼ライニングの耐久性について, 海洋開発論文集, Vol.16, pp405-410, 2000.