

トラップ式ダブルリーフ工法の開発と実施工事

Construction and Development of a Wave Trapping Artificial Reef

細川 毅*	山本 省吾*
Tsuyoshi Hosokawa	Syogo Yamamoto
服部 信雄**	高村 浩彰**
Nobuo Hattori	Hiroaki Takamura
福本 正***	土橋 吉輝***
Tadashi Fukumoto	Yoshiteru Dobashi

要 約

海岸保全対策として様々な工法が開発されているが、1999年の海岸法の改訂に伴ない防災という単一目的から、防災、環境保全および景観などを総合的に実現する工法が開発が求められている。このような社会ニーズの中、当社が開発したトラップ式ダブルリーフ工法が、石川海岸美川地区の「なぎさりフレッシュ事業」に採用され、国土交通省北陸地方整備局によって初めて施工された。トラップ式ダブルリーフ工法とは、碎波によるエネルギー減衰を利用した潜堤型消波構造物であり、従来型人工リーフ工法と比較して、高消波・低セットアップの性能ならびに低コストの特徴を有している。本報では、トラップ式ダブルリーフ工法の開発および施工の概要を紹介すると共にトラップ式ダブルリーフ工法の特徴を明確にする。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工法の原理と基本構造
- § 3. 美川人工リーフ工事
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

わが国では、海岸災害から防護すべき海岸に係わる一定の区域を「海岸保全区域」と指定し、海岸保全施設が整備されてきた。整備当初は、直立堤防や消波工による施設で対処する方法（線的防護）であった。その後、直立堤前面での洗掘により堤体自体が倒壊する事例が相次いだり、砂浜が侵食されるなどの問題点が明らかになった。そのために、海岸に作用する波の力を沖合いから海岸内部までの面的な空間に分散させ受け止める方策がとられるようになった。これを面的防護方式といい、離岸堤や緩傾斜護岸、海浜の利用や景観に配慮した人工リーフやヘッドランド、養浜等の組み合わせによる防護方式である。さらに、1999年の海岸法の改訂によって、防

護という単一目的の計画から、防災、環境保全、多様な利用を複合的に実現する計画への展開と、施設整備中心の計画から海岸空間の総合的管理をめざす計画への転換が計られた。

このような社会的ニーズに応えるべくトラップ式ダブルリーフ工法(図-1参照)が開発された。この人工リーフは、ダブルリーフ構造によって反射率を抑えながら碎波の規模を増大させると同時に、トラップ部で碎波による水塊を捕捉し、低反射でありながら高消波とセットアップ(背面の水位上昇)の抑制を行うものである。従来型人工リーフの利点をそのまま引き継ぎながら、海浜保全に不可欠な低反射・高消波でセットアップ半減などの特長に加え、魚礁・魚巢機能を持つなど海岸環境の保全・回復に優れた機能を有している。また、従来型人工リーフに比べ、天端幅を大幅に短縮でき、断面がコンパクトになる上、函体のプレキャスト化によって、コスト縮減と工期短縮を図れることが大きな特色となっている。

上述の特徴が、安価で機能的に優れた新型人工リーフの検討を進めていた金沢工事事務所によって注目されることとなり、美川地区なぎさりフレッシュ事業の人工リーフ工事として採用されることになった。

本報では、トラップ式ダブルリーフ工法の開発から今回工事における設計・施工の概要までを紹介するとともに、トラップ式ダブルリーフ工法の特徴を明確にする。

* 土木設計部設計課

** 中部(支)石川海岸(出)

*** 技術研究所技術研究部土木技術研究課



図-1 トラップ式ダブルリーフ工法概念図

- ①1 段目リーフに到達した波は、水深変化によって波エネルギーが増幅する。
- ②1 段目リーフによって碎波する。
- ③碎波は2 段目リーフのスリット部に突入し、内部擾乱によりエネルギーが減勢する。
- ④スリット構造物に突入した碎波は、前面開口部から冲向きの流れとなって流出し次に到達する波の碎波を増長する。

§ 2. 工法の原理と基本構造

2-1 開発経緯

本工法は、台形状の従来型人工リーフより消波機能が優れた新型人工リーフの開発をテーマに進められた。まず、孤立波を入射波として与えた水理模型実験によって、1 段目のマウンドで碎波を発生させることで、波エネルギーを減衰させることが可能であることを確認した¹⁾。そのときの、碎波の状況を写真-1 に示す。また、2 段目にスリット構造物を設置することで、消波効率の増加が可能であることを孤立波とクノイド波の実験から明らかにした²⁾。次いで、このスリット構造物がセットアップと汀線近傍での戻り流れの抑制効果があることを明らかにし³⁾、不規則波においてもそれらの効果は同等であることを確認した⁴⁾。

2-2 基本構造

図-2 に基本断面図を示す。捨石マウンドで形成された1 段目リーフ上に、コンクリートのスリット構造物(2 段目リーフ)を設置したものである。スリット構造物の前方にある開口部は、スリット内部への砂等の堆積を抑制するとともに、流れの発生による碎波の助長効果をねらっている。本工法の消波メカニズムは、以下に示すとおりである。

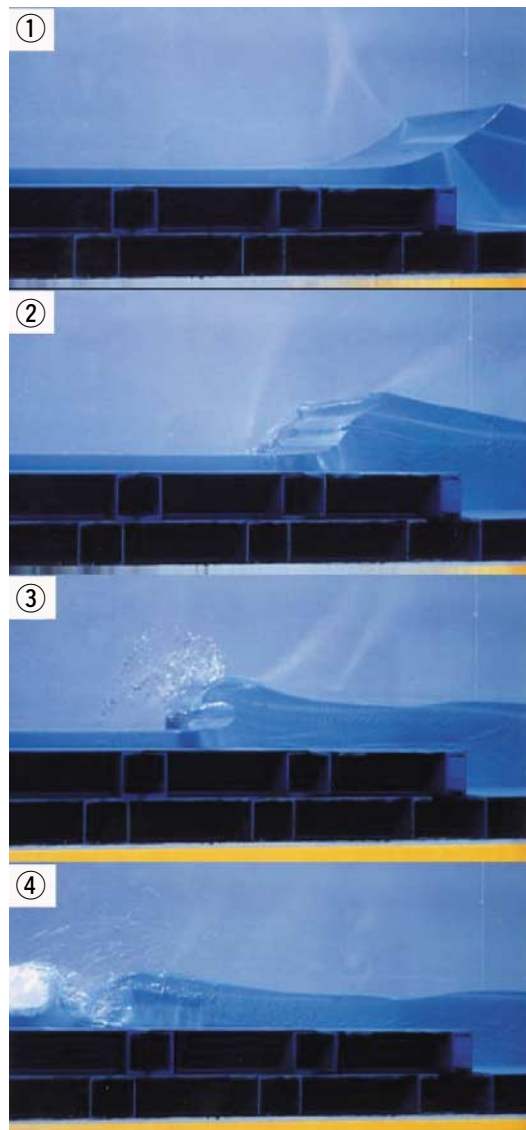


写真-1 複合碎波の発生過程

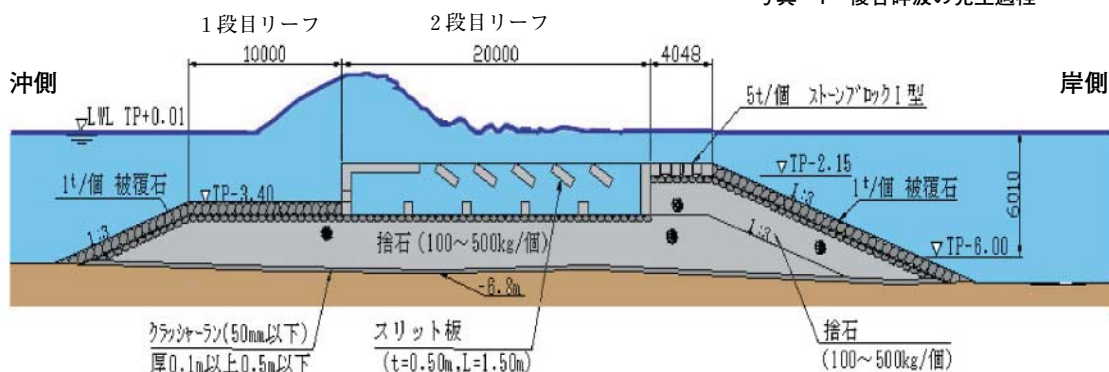


図-2 標準断面図

2-3 構造諸元

トラップ式ダブルリーフ工法は、構造形式が従来型人工リーフに比べて複雑であり、消波性能に対し捨石マウンドならびにスリット構造物の形状が重要な要素となっている。

(1) 1段目リーフ長および高さ

1段目リーフの目的は、函体前方で確実に碎波を発生させることである。そのため、1段目リーフの高さは碎波水深より浅く設定された。

(2) 函体前面フラット部

潜堤の前方で生じる冲向きの流れは、潜堤の前面肩部での碎波を引き起こす大きな要因となっている。この効果を利用できるようにフラット部を取付けており、既往の実験において検討されたフラット部の長さ5mが採用された。

(3) スリットの角度

写真-3は、スリット函体が無い場合(2段ステップのダブルリーフのみ)における上段での碎波の様子を示している。スリットの角度については、このようなビデオ、写真によって実験結果を整理し、構造設計から算定される強度との関係によって決定される。

検討の結果、スリット角度は30°と決定された(写真-4参照)。

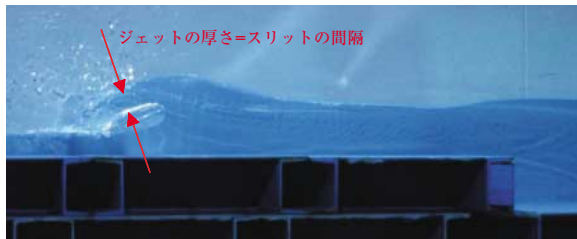


写真-3 碎波状況 (スリットなし)

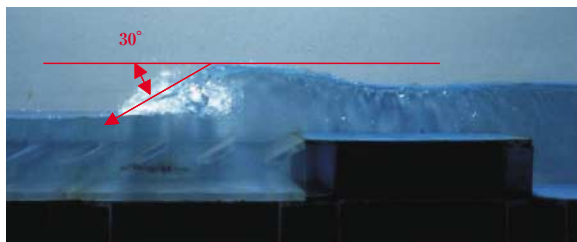


写真-4 碎波状況 (スリットあり)

3-2 設置海域の状況

国の直轄海岸工事施工区域となっている石川海岸では、昭和36年から直立堤防や消波工による侵食防止対策を実施してきたが、昭和44年より侵食防止と海浜の復元に効果的な離岸堤工法による侵食防止対策に着手し、おおむね汀線の復元がなされた。現在では、海岸の環境や利用にも配慮した人工リーフ、緩傾斜堤等により、安全で親しみやすい海岸づくりを目指した海岸保全整備事業に取り組んでいる。

美川地区(図-3および写真-5参照)では、平成5年に「なぎさリフレッシュ事業」が認定され、老朽化した直立堤・離岸堤を海浜の利用や景観などに優れた緩傾斜堤・人工リーフへ転換する工事を進めてきた。しかしながら、当地区は人工リーフの設置水深が深いことから工事費が高額となり、低コストの新型人工リーフによる整備が火急の課題となっていた。このため、本工法が金沢工事事務所によって注目されることとなり、美川地区なぎさリフレッシュ事業に採用されることになった。現地の波浪条件ならびに要求性能を表-1に示す。

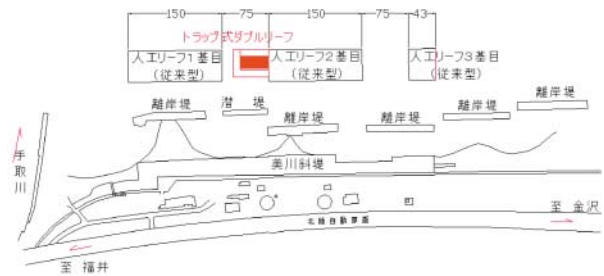


図-3 設置海域の状況



写真-5 設置海域の航空写真

§ 3. 美川人工リーフ工事

3-1 工事概要

工事件名：美川人工リーフ工事
 工期：平成14年3月16日～平成14年12月25日
 工事内容：スリット函体製作・運搬・据付 3函
 ブロック製作・運搬・据付 71個
 砕石工(クラッシュヤラン 50mm以下) 1200m³
 捨石工 100～500kg投入・均し 6000m³
 被覆石工 1000kg以上投入・均し 1300m³

表-1 現地波浪諸元および要求性能

	有義波高(m)	有義周期(s)	透過率
50年確率波	9.0	14.1	-
年数回来襲波	4.0	10.0	0.36
冬期エネルギー平均波	2.5	7.0	0.44

3-3 水理模型実験

今回工事にあたっては、構造詳細を決定するための水理模型実験が事業者により実施された。水路内には、実海域の海底勾配を模して、1:100のスロープに砂が敷き詰められ、消波性能を検証するための波高計、開口部からの流況を確認する流速計、スリット函体の安定検討に必要な圧力計が設置された、写真-6に示すような水理模型実験によって、設置海域の波浪条件において要求性能(表-1参照)を満足しうるトラップ式ダブルリーフの断面(図-2参照)が決定された。

3-4 詳細設計

(1) 函体の安定性及び波圧

トラップ式ダブルリーフの函体は、混成堤のケーソンに類似した構造である。したがって、ケーソンと同様に沈下・滑動・転倒に対して安定する構造とする必要がある。函体の安定上最も問題となるのは波圧である。トラップ式ダブルリーフ工法は、通常のケーソンと異なり函体が没水しておりなおかつ底版が格子状となっている(図-4参照)。このため、一般的な波圧算定手法である合田式の適用性について検討がなされ、水理模型実験の結果が、設計に反映されている(波圧の比較は表-1に示す50年確率波について行われている)。

前面波圧の比較結果を図-5に示す。実験結果から得られた波圧合力は合田式の70%程度であった。これは、砕波した波が直接前壁に作用することなく、越流するため直立壁で受け止めるエネルギーが小さくなるためであると考えられている⁵⁾。また、揚圧力も同様に比較されており図-6に示すように、最大で合田式の30%程度であった。これは、底版梁に作用する波圧が上下で相殺されるため大幅に揚圧力が低下したものと考えられる。

以上の結果より、揚圧力については低減が可能であると判断され、函体の安定検討には、合田式以下の波圧低減係数を乗じた波圧が用いられている。

- ・前面波圧：低減係数 $\alpha=1$
- ・揚圧力：低減係数 $\alpha=0.5$

(2) スリット構造物諸元

函体の大きさは、当海岸の目標伝達率 $K_t=0.36$ (年数回来襲波) を満足させ、工費をも考慮して検討されている。実験結果から、背面マウンドと函体幅を合せた長さが約25m程度必要であると判断された。これより、函体幅は20mと決定されている。

(3) 背面マウンド被覆ブロック

周期の長い波が来襲した場合、背面マウンドに直接波があたることが実験により確認されている。そのため被覆ブロック等を用いて捨石の飛散を防止する必要があると判断された。

函体背面被覆工の必要質量が算出された結果⁶⁾、必要質量は4.5t/個であった。水理模型実験においても重量的に問題なかったため、5t/個のコンクリートブロック

と決定された。

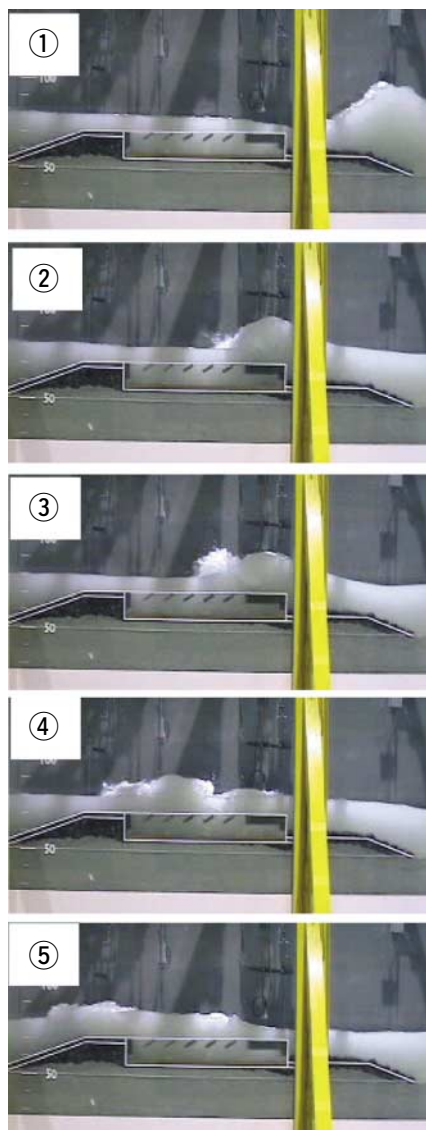
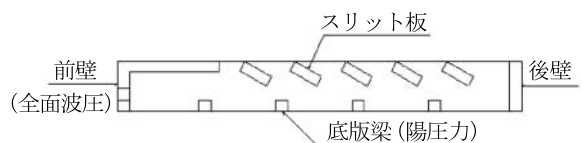
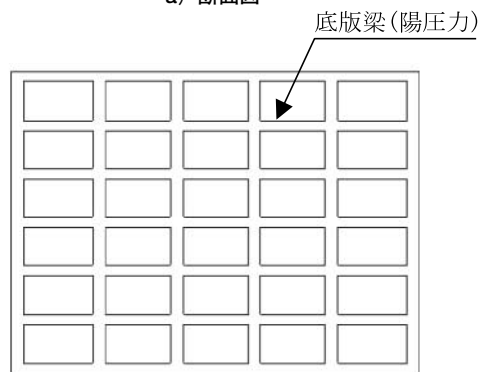


写真-6 水理模型実験状況



a) 断面図



b) 底版平面図

図-4 スリット函体構造図

(4) 背面マウンド幅

函体が滑動防止のために最小背面マウンド幅が安定計算から3.4m程度と算出される。被覆ブロックサイズとの関係から、背面マウンド幅4mとして水理模型実験が実施された結果、函体の滑動は生じることなく安定であることが確認された。

(5) 前面マウンド被覆ブロック

背面マウンド被覆ブロックの必要重量は0.5tと算出された⁶⁾。そこで、1tと0.6~0.8tの被覆石を用いた飛散確認実験が実施された結果、長周期の波浪が来襲すると、0.6~0.8tの被覆石は被災することがわかった(写真-7参照)。したがって、函体前面に設置する被覆工は、実験結果から1t/個の被覆石と決定された。

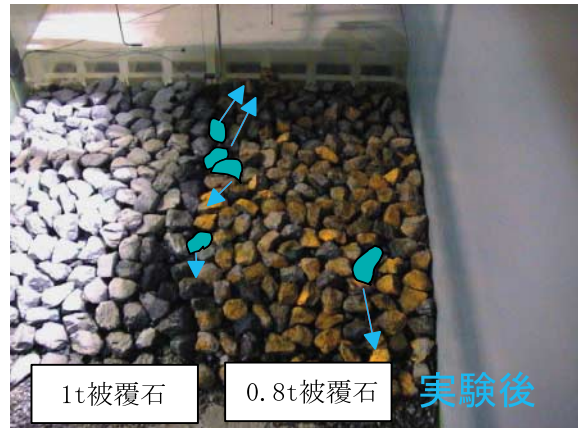


写真-7 被覆工必要重量

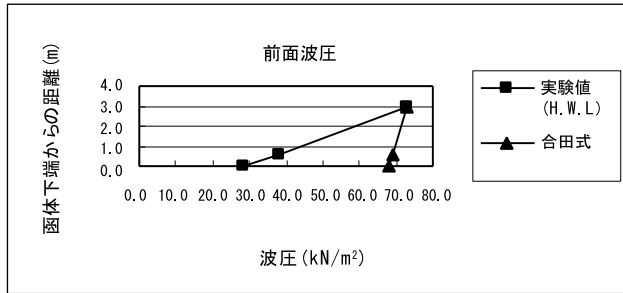


図-5 前面波圧の比較

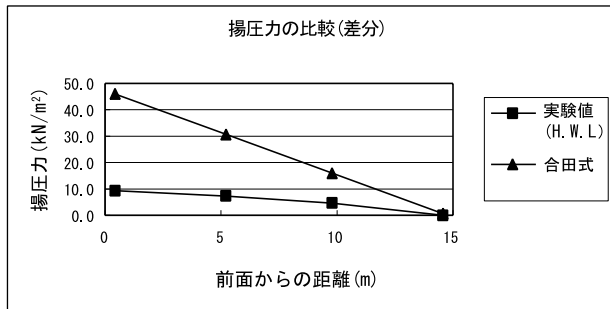


図-6 揚圧力の比較

3-5 施工概要

(1) 施工手順

本工事は、前出の図-3および写真-5に示すように、従来型人工リーフの間に、施工延長45mを設置するものである。図-7に示す施工手順の詳細は、以下のとおりである。

- ①ガット船からクラッシャランおよび100kg~500kg規格の捨石を直接投入した。
- ②100kg~500kg規格の石の均し作業は、函体下での本均し、被覆ブロック並びに被覆石下での荒均しとし、捨石投入直後に高い部分のみを押さえる重錘による均し作業と、潜水士船作業で実施した。
- ③港湾部でのケーソン据付と同等に実施し、起伏式起重機船で最初の1函を吊り曳航、2函目を降を台船輸送により現地据付を実施した。
- ④背面側(陸側)は、天端水深が浅いためガット船から小型クレーン台船に瀬取りして投入した。

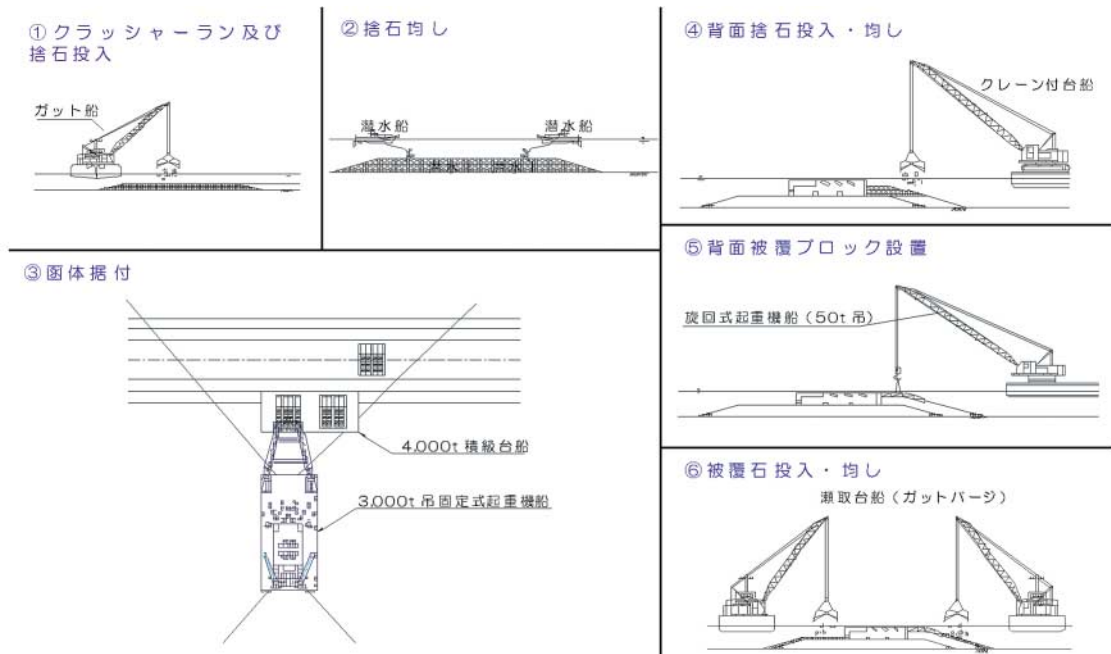


図-7 施工手順概念図

⑤被覆ブロックは、クレーン台船から据付を実施した。

函体前面と函体背面の被覆ブロックより後方に1t以上の規格石を投入した。前面はガット船からの直接投入を実施したが、背面は小型クレーン台船からの瀬取り投入とした。均し作業は、潜水士船作業で実施する。

(2) 函体運搬・据付

函体運搬工において、函体吊り出し港（福井新港）と設置海域（美川海岸）までの距離が約50kmあったため、3函体の運搬において、作業台船に2函体積み込んで起重機船が1函体を吊り曳航する方法を用いた（写真-8）。

起重機船は、函体並びに吊り枠を吊った状態において、船体動揺並びに風の影響によって吊り荷が動揺するため、風や波の影響を非常に受けやすい状態となっている。さらに、気象・海象条件によっては、台船からの函体吊り上げ時の玉掛け作業が危険になることが想定された。このため、函体運搬・据付工事は、海象条件の見極めに1週間の待機を要したが、気象・海象条件が整った1日で3函体すべての設置が完了した。

今後は、正確に作業可能あるいは中止の判断を下せる精度の高い予報情報がさらなる工期短縮のための課題となる。また、本工法の特色である函体の陸上施工による



写真-8 台船からの函体吊り込み

プレキャスト化の利点を生かし、海象条件が安定している短期間に工事を集中させる施工計画が重要である。これらによって、大幅な工期短縮が図れるようになることの意味は大きい。

§ 4. おわりに

本工法の特徴でもある大型のコンクリート構造物の使用は、従来型的人工リーフに比べ、安定性に優れ、メンテナンス費を削減できる。また、工期短縮並びに工費削減の一助を担っていることが、実施工からも明らかとなった。

今後、現地での追跡調査が計画されており、消波性能の確認といった工学的な観点だけでなく、生物的な調査も実施する予定である。このような成果を踏まえ、今後環境に配慮した海岸保全計画がよりいっそう推進されることを期待する。

参考文献

- 1) 安田孝志他：複合型碎波の碎波後の波形変化と波高減衰特性，海岸工学論文集，第42巻，pp. 61-65, 1995.
- 2) 安田孝志他：トラップ式ダブルリーフの消波機能(1)，海岸工学論文集，第43巻，pp. 786-790, 1996.
- 3) 安田孝志他：トラップ式ダブルリーフの消波機能およびセットアップの抑制効果について，海岸工学論文集，第44巻，pp. 761-765, 1997.
- 4) 安田孝志他：トラップ式ダブルリーフの不規則波に対する消波・セットアップ抑制効果，海岸工学論文集，第45巻，pp. 706-710, 1998.
- 5) 中田邦夫：低天端の混成堤の諸特性について，海岸工学論文集，第31巻，pp. 532-536, 1984.
- 6) 社団法人 全国海岸協会：人工リーフ設計の手引き，1992.