コンクリート製大型組立て魚礁

西 晴 哉^{*1}・大 森 淑 孝^{*2}

概 要 200 海里規制, 燃料の高騰, 公害および埋立て等により, 漁獲量が減少する傾向を見ている。このような状況下, 政府は昭和 49 年に沿岸漁場整備開発事業計画を決定し, 51 年から事業をスタートさせた。本稿は, 大型人工礁の特徴および性能を述べるとともに, 各種大型礁を紹介した。

キーワード 人工魚礁, 組立魚礁, 着地衝撃力, 魚礁の安定, 耐久性

1. はじめに

我が国の漁業生産量は, 昭和 47 年に 1 000 万トンの大台を超えて以来, 名実ともに世界第 1 位の水産国となった。

しかし, 昭和 50 年以降, 生産量は減少する傾向を見ている。

この原因として, 外には「200 海里漁業専管水域」の設定にともなう各種漁業規制の強化を, 内には漁業環境の悪化, 石油ショックによる燃料価格の高騰ならびに人件費の上昇にともなう漁業経営条件の悪化をあげることができる。

一方, 漁業資源が国民の重要な動物性たんぱく源であることから, その需要は今後とも増大するものと考えられる。

これら漁業をとりまく諸問題の解決策の一つとして, 国内沿岸漁業の見直しがきわめて重要なポイントとなり, 政府は昭和 51 年度から, 「第 1 次沿岸漁場整備事業」(以下沿整と略記) をスタートさせた。

以下, ここで述べるコンクリート製大型組立魚礁(以下, 大型礁と略記)は, この沿整事業のなかで, 浅海ならびに沖合いにおける新しい漁場づくりに欠くことのできない漁場造成施設である。

2. 沿整事業の概要

国の補助事業としての魚礁設置事業は, 昭和 29 年の並型魚礁設置事業に始まり, 33 年には大型魚礁設置事業が登場した。その後この事業は, 第 1 次構造改善事業(37 年~45 年)および第 2 次構造改善事業(46 年~53 年)と次第に事業規模が拡大され, 現行の沿整事業へ

表—1 沿岸漁場整備開発事業の概要¹⁾

事業種目		事業内容	規模	実施主体	国庫補助率
魚礁設置	並列魚礁設置事業	コンクリートブロック等耐久性素材による魚礁の海中沈設	2 500 空 m ³ 未満	都道府県市町村漁協・漁連	5/10
	大型魚礁設置事業		2 500 空 m ³ 以上	都道府県	6/10
	人工礁漁場造成事業	耐久性素材による魚礁群の造成	3 000 空 m ³ ~70 000 空 m ³ (標準) 50 000 空 m ³	都道府県	調査 5/10 事業 7/10
増養殖場造成	幼稚仔保育場造成事業	藻場, 干潟等の造成	3 億円以下	都道府県市町村	6/10
	大規模増殖場開発事業	離岸堤, 突堤等の設置, しゅんせつ, 覆土, 耕運, 整地, 親魚礁, 幼稚仔礁, 藻類育成礁, 干潟造成等	3 億円以上 100 ha 以上	都道府県	6/10
	漁場造成事業	消波堤の設置 海水交流の改善	5 億円以下 5 ha 以上	都道府県市町村	5/10
	浅海漁場開発事業	(作れい, 水路開削, 揚排水装置, エアレーション装置等)	5 億円以上 10 ha 以上	都道府県	5/10
沿岸漁場全	漁場環境維持保全対策事業	小規模 堆積物の除去, 耕運, 覆土等	—	都道府県市町村	5/10
		大規模 しゅんせつ, 作れい, 水路掘削等	1 億円以上		6/10

*1 正会員 小野田セメント(株)セメント中央研究所次長

*2 正会員 小野田セメント(株)セメント中央研究所研究員

と受け継がれてきた¹⁾。

沿整事業の事業種目、事業内容の概要を表一に示す。

沿整事業は、魚礁設置事業のほかに、増養殖場造成事業と沿岸漁場保全事業とから構成されている。沿岸保全

事業と増養殖場造成事業は、その事業の性格上、沿岸の浅海域が事業展開の主要な場となるが、これに対して魚礁設置事業は、沿岸の浅海域のみならず、沖合域、とりわけ魚群の回遊経路にありながら天然礁に恵まれないため有効な漁場の形成ができない海域に、天然礁に準ずる

図一 人工礁漁場造成事業の実施状況²⁾

PREFABRICATED LARGE SCALE ARTIFICIAL FISH REEFS

By Seiya Nishi and Yoshitaka Ohmori

Concrete Journal, Vol. 20, No. 7, July 1982, pp. 14~23

Synopsis The 200 mile extended jurisdiction laws, rising costs of fuel for fishing boat, pollution and land reclamation have reduced the amount of the fishing. Under these situations, the government decided to start the "Project of Coastal Fishing Grounds Consolidation and Development" from 1976. This paper describes the potentiality and performances of the large size artificial reefs and introduce many type of reefs.

Keywords : artificial fish reefs, prefabricated fish reefs, shock on placement, stability of fish reef, durability

大規模な魚場を造成し、新しい独立した魚場を展開しようとするものである。

人工礁造成事業の実施状況を図-1に示す。

3. 大型礁の規模と特徴

沿岸の好漁場は、礁、半島、岬および海谷近辺に存在し、ここでは潮流に対し、湧昇流、降下流および渦流が発生している場所である。大型礁は、これら海中における複雑な流れを人工的にかつ効果的につくりだすため、その大きさ、形状ならびに配置方法について十分検討を加えたものである。

3.1 人工魚礁の規模と集魚効果

人工魚礁に集まる魚群量および天然礁に集まる魚群量から、人工魚礁が天然礁に比較して有利となる人工魚礁の造成規模を試算した報告がある³⁾。それによれば、人工魚礁の断面積が200~2500 m²、容積で2500~130000 m³の範囲で人工魚礁が天然礁より優れ、断面積が1400 m²、容積で50000 m³のとき最も効果的であるとしている。また、魚礁1基当りの最小容積としては400 m³程度が効果的であるとしている。

一方、魚礁の高さと集魚効果の関係では、一般に水深の1割程度が理想的であるといわれている。

したがって、水深70~100 mの海域を開発する場合、人工魚礁の空間容積を400 m³/基、高さを7~10 m程度とした大型礁が必要となる。

3.2 大型礁の種類と特徴

現在、沿整事業で使用されている代表的な大型礁の仕様と概念図を表-2に示す。

これらは、1基当りの空間容積130~430 m³、高さ6~10 m、空中重量23~67 tの範囲のものである。

構造的に分類すると、面構造、骨構造および面+骨構造の3種類に分けることができるが、礁体を骨構造としたものが比較的多く開発されている。

これは現行の大型礁の積算方法と深く関連している。すなわち、現行の大型礁の積算は、魚礁の空間容積に対する礁体の部材容積の比較であるため、いきおいメーカーとしては最小の部材容積で最大の空間容積となる骨構造の大型礁を開発する傾向が強くなってい

表-2 各種大型礁の仕様と概念図

名 称	寸法 (m)	空間容積 (m ³)	空中重量 (t)	概 念 図
ジャンボ魚礁 130-I型	高さ×幅×奥行 7×8×5	130	22.1
ドラゴンリーフ DR-7500型	高さ×幅×奥行 7.8×7.5×7.5	430	66.8
グレートリーフ	高さ×幅×奥行 7.5×8.25×8.25	225	44.28
SKリーフ	直径×高さ 6.0×7.0	199	36.6
多段式魚礁	高さ×最大幅 10.5×10.0	230	68.2
かまぼこ魚礁	高さ×幅×奥行 9.3×9.3×6.0	321	45.2
ペンタリーフ	高さ×幅×奥行 6.0×6.0×6.0	164	25.5
スミリーフ	高さ×幅×奥行 6.5×6.5×6.5	225	27.5

図-2 流線および等速度線⁶⁾

る。しかし、魚礁としての集魚効果は骨構造に比べ面構造としたものの方が優れているとする報告があり^{4),5)}、それによれば、礁体を面構造とすることにより、集魚効果に最も影響をおよぼす地形波（リー波）を潮流中に効果的に発生させるためである。

3.3 流体中における大型礁の特性

流れの場における大型礁の特性を調べるため、各種の基礎的な研究が進められている。

図-2 は、表-2 に示した格子形大型礁の 1/50 模型による風洞実験により得られた礁体近辺の流線図の一部を示したものである⁶⁾。

礁体の上流で一樣流であったものが、礁体の影響により流れが阻止および攪乱され、上昇流（湧昇流）が生じていることが明確にわかるとともに、その範囲は礁体高さの 3 倍程度あることが確認されている。

一方、2 次元水槽における水理実験もさかに行われている。写真-1 は、表-2 に示した面構造大型礁の 1/40 の模型による流線観察時の写真である。礁体の下流部分において流線がかなり乱れていることがわかる。

写真-1 2 次元水槽における流線の観察

また、このときの礁体高さの 1/2 における水平面での流速分布を熱線流速計で計測し、電算機で処理して図化したものが図-3 である⁷⁾。

魚礁の下流にできる航跡は魚礁の幅の約 5.5 倍の後方まで伸び、魚礁の直後には水の停留域ができることが確認された。

4. 大型礁の設計の概要

大型礁の構造設計で、一般の地上構造物の設計と異なる点は、沈設作業時の着底衝撃力の検討ならびに沈設後の流体力に対する安定および洗掘に対する検討をあげることができる。以下、ドラゴンリーフを例にとり、その概要を述べる。部材の寸法および数量を表-3 に、材料の許容応力度を表-4 に示す。

4.1 海底着地時の検討

魚礁が海底に着地するときの衝撃力は、通常、中村らによって示された算定式によって求めている⁸⁾。それは、魚礁が海底に接触してから海底地盤の最大変位を生ずるまでの運動方程式と、地盤の反力特性式とから最大衝撃力を求めるものである。

沈設時の礁体の着底速度および海底の地盤反力係数と最大衝撃力との関係を図-4 に示す。

図-3 流速分布の測定結果

- 注 1) 網目部分は礁体(半幅)を示す。
2) 最大流速から最小流速までを 12 等分して流速分布を示した。

表—3 部材の寸法および数量表

	パネ ル	斜 材	着 床 板		頂 上 板	
			コ ー ナ ー	中 央	コ ー ナ ー	中 央
枚 数 ・ 個 数	12	16	4	4	4	4
寸 法 (m)	7.5×2.5	0.15×0.15×5.1	0.8×0.8×0.2	1.0×0.6×0.2	0.8×0.8×0.2	1.0×0.6×0.2
コンクリート体積 (m³)	24.0	1.50	0.30	0.27	0.30	0.27
鉄 筋 重 量 (kg)	4 320	366	36	36	36	36
型 わ く 面 積 (m²)	321	31	3.6	3.5	3.6	3.5
デ ー ハ ー (個)	168	32				
ボ ル ト M-27 (本)	192	32				
鋼 材 (枚)		32				

表—4 材料の許容応力度

(単位: kg/cm²)

材 料	項 目	長 期	短 期
コンクリート	設 計 基 準 強 度	400	
	許 容 圧 縮 応 力 度	130	270
	許 容 せん断 応 力 度	13	27
鋼 材	許 容 引 張 応 力 度	1 400	2 100
	許 容 圧 縮 応 力 度	1 400	2 100
	許 容 せん断 応 力 度	800	1 600
鉄筋 (SD 30)	許 容 引 張 応 力 度	1 800	3 600

図—4 落下速度と着底衝撃力との関係

クレーン船による沈設速度を 0.5 m/sec とし、船の波浪による動揺分 0.25 m/sec を加えると、礁体の着底速度は 0.75 m/sec になる。このとき、海底の地盤反力係

図—5 着底の状態

数を $K=3\,000\text{ t/m}^2$ と仮定すると、着底時の最大衝撃力は $F_{\max}=141\text{ t}$ 発生することになる。

沈設時に潮流の影響を受けると、礁体は傾斜して海底に着底するので、上記の衝撃力は礁体のごく一部に作用することになり、このときが礁体にとってもっとも厳しい条件となる。

沈設時に礁体が約 1.5 ノットの潮流を受けて、図—5 (a) に示すように海底に対し 5 度傾斜して礁体の 1 辺で着底した場合の、各パネルに発生する断面力および応力度の算出結果を表—5 に示す。

コンクリートに発生する最大圧縮応力度は $\sigma_c=120\text{ kg/cm}^2$ 、鉄筋の最大引張応力度は $\sigma_s=1\,890\text{ kg/cm}^2$ 、ボルトの最大せん断応力度は $\tau_s=770\text{ kg/cm}^2$ であり、いずれも短期許容応力度を下回ることになる。

表—5 1 辺着底時の断面力および応力度

部材の名称		断 面 力			応 力 度 (kg/cm²)		
		曲げモーメント (t-m)	軸 力 (t)	せん断力 (t)	コンクリートの圧縮応力度	鉄 筋 の 引 張 応 力 度	コンクリートのせん断応力度
パ ネ ル	A パネル	0.27	140.7	3.98	120	940	16
	B パネル	247	—	52.7	50	1 890	11
	C パネル	30.8	—	17.5	10	240	4
ボ ル ト	鉛 直 部	—	—	52.8*	—	—	770
	水 平 部	—	—	8.2	—	—	74

表-6 1 点着底時の断面力および応力度

部材の名称		断 面 力		応 力 度 (kg/cm ²)		
		軸 力 (t)	せん断力 (t)	コンクリートの圧縮応力度	鉄筋の引張応力度	コンクリートのせん断応力度
RC部材	斜 材	12.3	—	60	2 430	—
	パ ネ ル	8.7	—	20	730	—
ボ ル ト	水平接合用	—	12.3	—	—	110
	斜材接合用	—	12.3	—	2 070	1 070

一方、着底時に礁体が、図-5 (b) に示すように海底に対し5度傾斜しながら礁体の1点で着底するケースについても検討した。

ここでは、衝撃力をパネルのはり部材と斜材とによるトラスによって負担すると考え、各部材に発生する断面力および応力度を求めた。算出結果を表-6に示す。斜材に大きな応力度が発生するが、短期許容応力度以下である。

写真-2 落下試験の準備状況

写真-3 試験後の状況

4.2 空中落下試験

沈設着底時の衝撃力を地上で与え、礁体の構造的な安全性を確認するため、空中落下試験を行っている。

落下高さは設計で用いた衝撃力が空中落下で発生するように選ぶが、落下点のサンドマットの動的 K 値なりにクレーンのドラム抵抗等により所定の加速度を得られない場合が多く、徐々に落下高さを増加させ、所定の衝撃力を得られるようにしている。

落下試験の状況を写真-2,3に示す。

落下高さを 60 cm としたときの礁体下部の加速度ならびにパネル表面部分の動ひずみの測定結果を図-6に示す。

衝撃加速度は設計値の約3倍の 7.8G 発生しているが、パネル部分の最大ひずみ量は 320×10^{-6} 程度であり、ひびわれ等の発生は認められなかった。

4.3 設置後の安定性に関する検討

魚礁を海底に設置した後、波力および潮流力に対して礁体が安定であるか検討する必要がある。

設置水深、波高、ならびに潮流速度と礁体に作用する波力および潮流力の水平合力 F_H との関係を図-7に示す。

ドラゴンリーフの滑動および転倒に対する限界水平力 (安全率 1.5) を求めると、19.8 t および 26.5 t である。したがって、水深 80 m、最大潮流速度 2 ノットの海底に本魚礁を設置するのであれば、沖波の最大波高が

図-6 落下試験時の加速度および動ひずみの測定結果

図—7 水深、波高および潮流速度と水平力との関係

9 m 程度まで滑動および転倒に対して安全であることになる。

5. 製作および組立て

部材は、沈設工事現場に近いコンクリート製品工場（JIS 認定工場）で、十分管理された状態で製作される。コンクリートの強度管理試験は、地域によって多少異

写真—4 型わくおよび鉄筋のセット状況

写真—5 養生後の脱型状況

写真—6 パネルの移動状況

図—8 パネル接合用チャックピンの構造

なるが、部材 100~150 m² に 1 回、もしくは礁体 1 基につき 1~2 回の割合で行っている。

部材の製作状況を 写真—4~6 に示す。

部材の組立ては沈設現場に近い岸壁を選択するが、漁港の場合、岸壁の耐力およびスペースが小さい場合が多く、選定に苦勞することが多い。

通常、部材はボルトによって接合するが、表—2 に示

写真—7 1 段目のパネルの組立ておよび斜材の配置状況

写真—8 パネルの組立て状況

写真—9 つりフックの取付け状況

した円筒形魚礁では、図—8 に示したようなチャックピンを開発し、部材の組立ての省力化を図っている。

部材の組立状況を 写真—7～9 に示す。

6. 沈 設

大型礁の運搬および沈設には、操船性能および揚程が大きい60～120 t ぶりの自航式クレーン船を使用する場合が多い。現在、各地の港湾工事に用いられているクレーン船は、比較的水深の浅い所で作業することを前提にドラムの径およびロープの巻取り量を決めてあるので、大型礁のように着底水深が80～100 m 程度になると、ロープの巻取り量が不足する場合が多く、ロープの巻増しおよびドラムの改造に多額の費用を要することがある。一方、沈設後はつりフックが確実に礁体から外れる必要がある。そのため各メーカーでは、自社の大型礁にもっとも適合した型状および作動機能をもったつり治具を開発している。

写真—10 に沈設状況を、写真—11 につり治具の一例

を示す。

7. 集魚効果の確認

集魚効果は、魚群探知機、釣果、ダイバーによる潜水

写真—10 クレーン船による沈設状況

写真—11 沈設後のつり治具の状況

図—9 魚群探知機による調査結果

写真-12 礁体上部に群がるイシダイおよびウマズラハギ

写真-13 魚礁に群がるイサキ

調査等によって確認される。

図-9 は、大型礁を沈設してから6か月後の魚礁近辺の魚探調査結果の一部である。魚礁近辺の底部および中層部分に大きな魚群が探知されている。同時期に潜水調査で撮影された魚群を写真-12,13 に示す。

現在、集魚効果の確認のためにダイバーを潜らせて写

真撮影を行うケースがしばしばあるが、日本では水深 80 m 程度に潜水できるダイバーが少ないことや、撮影にフラッシュを用いるので魚群を散らす点などを考えると、今後は高感度 VTR カメラを利用することが多くなると思われる。

8. 耐 久 性

セメント協会の海洋開発専門委員会では、大型礁の設計、製造指針ならびに海洋構造物の耐久性に関する資料を得るため、沈設後 12~19 年経た並型魚礁を引き揚げ、コンクリートの耐久性ならびに鉄筋の発錆^{はつせい}に関する調査を行っている⁹⁾。

調査の結果、

- 1) コンクリート中性化はほとんど認められず、強度の低下もない。
 - 2) コンクリート中の塩素分は、NaCl に換算して、コンクリートに対する重量百分率で 0.5~1.2% であった。
 - 3) 密実に打設されたコンクリート部分では、かぶり厚さが 12 mm と僅少であっても、水深 30 m の魚礁では鉄筋の発錆はない。
 - 4) コンクリートの打継部や配筋の交点には発錆が認められる。
 - 5) コンクリート中の塩化物含有量と鉄筋の発錆との関係は認められなかった。
- 等の貴重な資料が得られている。

大型礁の耐久性をこれらの調査結果から推測すると、コンクリートの配合および製造管理状態が上記魚礁に比

図-10 水深と溶存酸素量、水温および塩分との関係¹⁰⁾

べ著しく良好なこと、設置水深が並型礁より深いため海中の溶存酸素量および水温が図—10に示すように著しく減少すること等から¹⁰⁾、鉄筋の発錆に対する危険性は極めて小さくなると考えられる。したがって、大型礁の耐用年数は、沿整事業で耐用年数の目安としている30年を十分満足するものと考えられる。

9. あとがき

本稿では、大型礁の開発の経緯ならびに各種大型礁の特徴と設計、組立て、沈設に関する概要について記述したが、今後の大型礁の研究・開発の方向として考えられる点をあげてみる。

その一つは、大陸棚の限界、すなわち水深200mまで適用できる超大型礁の開発であろう。そして、もう一つの方法は、比較的浅海で用いる幼稚魚の保護・育成のための大型礁の開発であろう。

今後、漁業をとりまく環境はさらに厳しさを増すことと思われるが、ここに述べた大型礁がその解決策の一つとして大いに役立つことを期待している。

参 考 文 献

- 1) 谷川高士：水産振興と沿岸漁場整備開発事業，水産土木，臨時号，1977
- 2) 山根隆幹：人工礁漁場造成事業について，水産土木，Vol. 15, No. 2, 1979
- 3) 中村 充：人工魚礁，コンクリート工学，Vol. 17, No. 5, 1979
- 4) 小川良徳：水産生物と人工魚礁・築礁，水産土木，臨時号，1977
- 5) 中村 充：流れ環境から見る人工魚場，水産土木，Vol. 15, No. 2, 1979
- 6) 大阪英雄，山田英巳ほか：風洞実験によるグレートリーフ型人工魚礁の周りの流況解析，水産土木，Vol. 15, No. 1, 1979
- 7) 佐久田博司，佐久田昌昭ほか：人工沈設魚礁模型の流体力学的特性に関する基礎的研究，水産土木，Vol. 18, No. 1, 1981
- 8) 中村 充，上北征男，飯野達夫：海中落体の着定衝撃に関する研究，第22回海岸工学論文集，1975
- 9) セメント協会海洋開発専門委員会：引揚げたコンクリート魚礁の調査，セメント・コンクリート，No. 401, 1980. 7
- 10) K.O. Grey：Enviroment of Deep Ocean Test Site, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, Technical Note, No. 657, 1965