

沿整事業コスト縮減調査

社団法人 水産土木建設技術センター
研究部次長 森 本 功

<平成10年度調査>

1. 緒 言

我が国は、周囲を海に囲まれていることに加え、寒流と暖流の両海流とこの流れによる潮目の発生により、全国各地に漁業資源に恵まれた豊かな漁場が存在していることから、沿岸漁業が盛んである。しかし、海洋汚染や沿岸開発による漁場環境の悪化や「採り過ぎ」による資源の減少により、漁獲量は微減傾向で推移している。このため、「採る漁業」から「つくる漁業」への転換と沿岸域の漁業生産力を高めるために、水産資源の維持・増大を図り、沿岸漁業の発展による水産物の安定的な供給を維持していくことを目的に、魚礁設置をはじめとする漁場整備が全国各地で行われている。さらに今後形成されると考えられる新たな漁業秩序の下においても、沿岸水域をより一層有効かつ高度に利用していくことが求められており、そのための人工礁の造成をはじめとする漁場整備も積極的に推進していかなければならない状況にある。しかし近年、財政事情の悪化が社会問題化し、支出の抑制が叫ばれており、特に公共事業のコスト縮減の社会的要請と圧力が高まってきている。この問題を受け、水産庁においても、魚礁造成事業でのコスト縮減に向けての方策を検討する必要性が生じている。

このような背景の中、沿岸漁場整備開発事業のコスト縮減方策の一つとして、人工魚礁ブロックの製作に用いるコンクリートの設計基準強度を従来の $21\text{N}/\text{mm}^2$ から $18\text{N}/\text{mm}^2$ に変更することにより材料費の節減によるコスト縮減を図ることが考えられている。

本調査は、コンクリート強度を低減した場合の有効性の確認とその縮減効果を検討するとともに、異なる条件下において如何なる施工方法を選択することが施工上安価となるか検討できるフローチャートの作成を目的としたものである。なお今回の調査は、標準的な2.0M角型魚礁ブロック（図-1参照）を検討対象モデルとして取り上げ、コンクリートの設計基準強度として $18\text{N}/\text{mm}^2$ の他に $16\text{N}/\text{mm}^2$ の場合も加えて実施した。

調査の結果、適用条件は限られるが、コンクリートの設計基準強度を $18\text{N}/\text{mm}^2$ に低減した魚礁ブロックの有効性およびコスト縮減効果が確認できた。

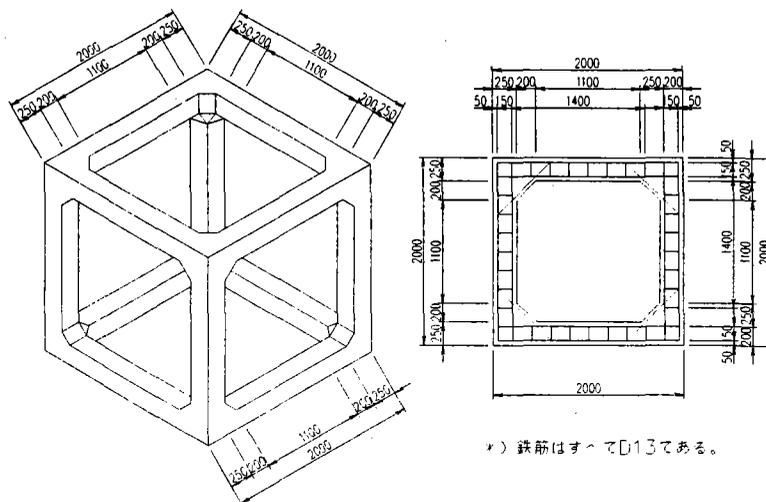


図-1 2.00M角型魚礁容姿図（鳥取県仕様）

2. 調査方法

本調査は、鳥取県が施工する2.00M角型魚礁による人工礁造成工事をモデルとして行った。今回の調査検討フローを図-2に示す。

まず、魚礁ブロックの製作から転置・仮置、沈設までの作業手順を整理し、各作業のサイクルタイムを調査するとともに、転置時の吊り方や積み段数、沈設時の吊り方などの作業方法について整理した。

次に、型枠脱型や転置、沈設などの各作業段階で魚礁ブロックに発生する応力を3次元骨組構造解析により計算し、コンクリート強度を低減させた場合に損傷などが発生するかどうかについて机上検討を行った。

同時に、コンクリート強度を低減した試験礁を製作し、基本的に従来と同じ施工サイクルや施工方法で型枠脱型や転置作業を行ったり、砂、砂利、コンクリートで製作した地盤に魚礁を衝突させ魚礁ブロックの損傷の有無を確認し、コンクリート強度を低減した魚礁ブロックの有効性を検証する実証実験も行った。

さらに、魚礁ブロックのコンクリート強度を低減することにより材料費の節減を図ることが、積算上、どの程度の効果があるかについても試算した。

最後にこれらの結果を基に、施工時期の違い（夏期及び冬期等）によるコンクリート強度の低減の適用性を確認する他、適用に当たって必要となる調査事項を整理し、施工手順や安価な施工法の選択方法を分かり易く示したフローチャートの作成を行った。

ここで、今回の調査検討の前提条件を以下に示す。

- 検討対象魚礁は、2.00M角型魚礁とする（図-1参照）。
- 調査対象地区は、鳥取県とする。
- 今回の検討は、魚礁ブロックのコンクリートの設計基準強度を低減させた場合の有効性を確認することが目的であるため、ブロック形状や配筋等についての変更や検討は行わない。
- 実証実験での型枠脱型時期や転置時期といった施工サイクルは、基本的に従来と同じサイクルとする。
- 実証実験での型枠脱型や養生方法といったブロック製作に当たっての施工方法は、基本的に従来と同じ方法とする。ただしコンクリート強度の低減に伴い、構造解析上、転置時でのブロックの吊り方などに新たな施工方法が必要と判断される場合は、その方法を提案し実証実験により確認することとする。
- 魚礁ブロック沈設実験時の着底速度は、基本的には従来と同じ速度（1.0m/sec）とする。
- 魚礁ブロックの沈設実験は、着底条件の制御や確認が容易であり、再現性のある高い精度の実験ができることから、陸上にて実施することとする。

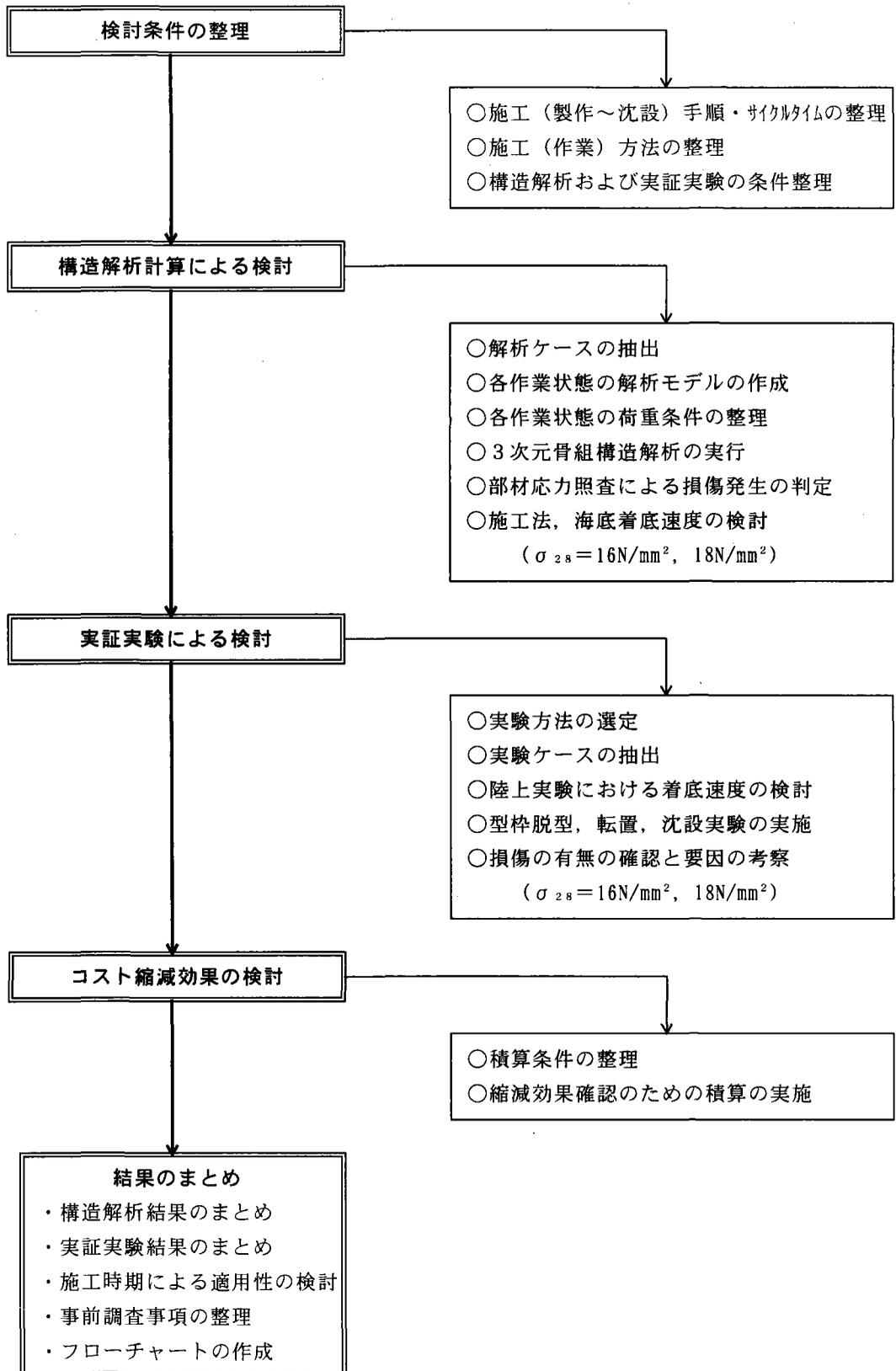


図-2 調査検討フロー

3. 調査結果

3.1 構造解析計算による検討

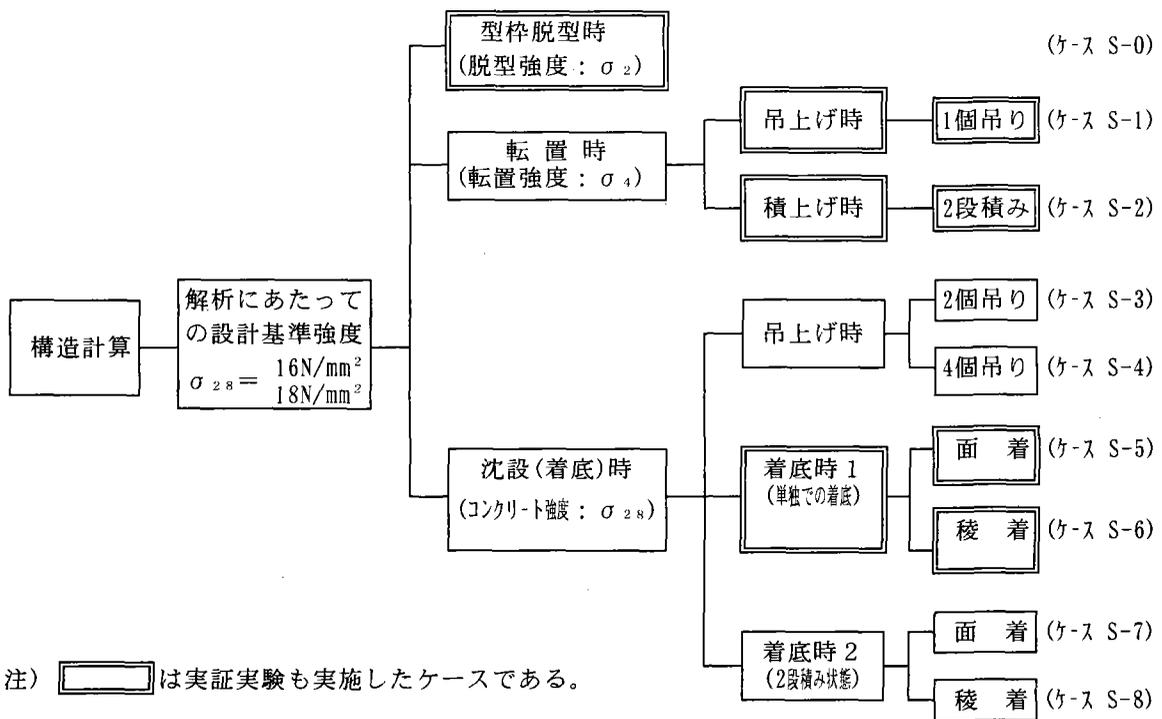
人工魚礁ブロックの製作に用いるコンクリートの設計基準強度を従来の 21N/mm^2 から、 16N/mm^2 および 18N/mm^2 に変更した場合、一連の施工フローにおいて、どのような施工状態の時に魚礁ブロックが損傷するかについて、構造解析計算により検討した。

(1) 解析方法

構造解析計算には、線形弾性モデルを対象とした有限要素法による立体骨組解析プログラムを用いた。また沈設着底時の衝撃力は、「沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版：水産庁監修」に記述されている方法¹⁾で算定した。なお、応力照査は許容応力度法により行った。

(2) 解析ケース

一連の施工フローの中で、魚礁ブロックに損傷を与えるような大きな外力が発生する施工状態を解析ケースとした。以下に解析ケースおよび解析条件を示す。



注) は実証実験も実施したケースである。

- 型枠脱型時の構造解析は、コンクリート強度が $1\sim 5\text{N/mm}^2$ の場合を想定して行う。
- 転置吊り上げ時の構造解析は、1点吊りおよび2点吊りの2通りの吊り上げ方法を考え、コンクリート強度が $3\sim 10\text{N/mm}^2$ の場合を想定して行う。
- 転置積み上げ時の構造解析は、4辺支持、2辺支持、4点支持の3通りの状況で、コンクリート強度が $3\sim 10\text{N/mm}^2$ の場合を想定して行う。
- 沈設吊り上げ時の構造解析は、2個吊りおよび4個吊りを想定し、1辺端部1点吊り、1辺2点吊り、1辺中央1点吊りの3通りの吊り上げ方法で行う。
- 沈設着底時の構造解析は、着底条件を面着および稜着の2通り、地盤条件を砂、砂利、岩盤の3通りとし、平積みおよび2段積みを想定し、着底速度を 1.0m/s として行う。

(3) 解析結果

各解析ケースについて骨組構造解析を行い、求められた断面力を用いて応力照査を行った。これらの構造解析結果を整理すると以下ようになる。

- ① コンクリートの発現強度が 3N/mm^2 以上になれば、型枠脱型作業が可能である。
- ② コンクリートの発現強度が 5N/mm^2 以上になれば、2点吊りによる転置吊り上げ作業が可能である。
- ③ コンクリートの発現強度が 4N/mm^2 以上となれば、4点吊りによる転置吊り上げ作業が可能である。
- ④ コンクリートの発現強度が 8N/mm^2 以上となれば、4辺支持および4点支持となる転置2段積み作業が可能である。
- ⑤ コンクリートの発現強度が 10N/mm^2 以上となれば、2辺支持となる転置2段積み作業が可能である。
- ⑥ 面着状態で地盤に着底する場合、地盤条件に関係なく、また、 16N/mm^2 および 18N/mm^2 のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、着底速度 1.0m/s での沈設作業が可能である。
- ⑦ 稜着状態で地盤に着底する場合、砂地盤や砂利地盤であれば、 16N/mm^2 および 18N/mm^2 のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、着底速度 1.0m/s での沈設作業が可能である。しかしながら、岩盤の場合は、 16N/mm^2 および 18N/mm^2 のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、 1.0m/s の着底速度で沈設すると魚礁ブロックが損傷する可能性が高い。
- ⑧ 2段積み以上を行う場合、地盤条件に関係なく、また、 16N/mm^2 および 18N/mm^2 のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、 1.0m/s の着底速度で沈設すると魚礁ブロックが損傷する可能性が高い。

3.2 実証実験による検討

人工魚礁ブロックの製作に用いるコンクリートの設計基準強度を従来の $21\text{N}/\text{mm}^2$ から、 $16\text{N}/\text{mm}^2$ および $18\text{N}/\text{mm}^2$ に変更した場合、従来の施工サイクルで型枠脱型や転置作業が行えるかどうか、また、従来の着底速度 $1.0\text{m}/\text{s}$ で魚礁ブロックの沈設作業が行えるかどうかについて、陸上実証実験により検討した。

(1) 実験条件

実証実験の実験条件を以下に示す。

- 夏期の実験となるので、型枠脱型実験はコンクリート打設後2日経過した段階で行う。
- 夏期の実験となるので、転置実験はコンクリート打設後4日経過した段階で行う。
- 沈設実験は実験主旨に基づき、打設したコンクリートの強度がほぼ呼び強度に達した段階で行う。
- 転置実験は2種類の吊り金具を使用して、1個ずつ吊り上げて行う。
- 転置時の積上げ実験は2段積みとし、下段の魚礁ブロックと上段の魚礁ブロックの各4辺が一致するように積上げて行う。
- 沈設実験は、面着および稜着の2種類の着底条件で行う。
- 沈設実験は、砂地盤、砂利地盤、岩盤（コンクリート地盤）の3種類の地盤条件で行う。
- 沈設実験は、着底速度 $1.0\text{m}/\text{s}$ を基本として行う。

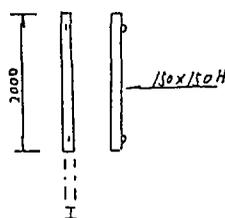
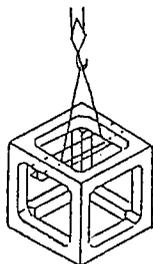
(2) 型枠脱型実験結果

魚礁ブロックの製作において、コンクリート打設後2日経過した時点（従来の施工サイクルと同じ日数）で型枠を脱型した後の試験礁の状態を目視で確認した。丹念に目視観察を行ったが、特に問題と思われるようなクラックは確認されなかった。この結果、 $16\text{N}/\text{mm}^2$ および $18\text{N}/\text{mm}^2$ のどちらの設計基準強度のコンクリートを用いても、少なくとも夏期の施工においては、従来の施工サイクルである2日で型枠脱型が可能であることが分かった。

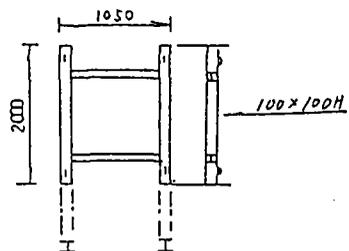
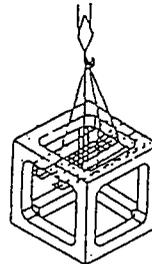
(3) 転置実験結果

魚礁ブロックの製作において、コンクリート打設後4日経過した時点（従来の施工サイクルと同じ日数）で転置作業および2段積みを行った後の試験礁の状態を目視で確認した。2種類の吊り金具を用いて行った転置作業後および2段積み後の試験礁の状態を丹念に目視観察したが、特に問題と思われるようなクラックは確認されなかった。この結果、 $16\text{N}/\text{mm}^2$ および $18\text{N}/\text{mm}^2$ のどちらの設計基準強度のコンクリートを用いても、少なくとも夏期の施工においては、従来の施工サイクルである4日で転置作業および2段積みが可能であることが分かった。なお転置作業は、以下に示すようなH型鋼を加工して製作した2種類の吊り金具を用いて行ったが、この実験結果より、2点吊りの吊り金具を使用して転置することが可能であることも分かった。

(2点吊りの場合)



(4点吊りの場合)



(4) 沈設実験結果

打設したコンクリートがほぼ設計基準強度に達した状態の試験礁を、陸上において所定の着底速度が出る高さまでトラッククレーンにより吊り上げクレーンのドラムのブレーキを瞬時に解放し地盤に自由落下させ、着底後の試験礁の状態を確認した。着底条件は面着、稜着の2通りとし、地盤条件は砂地盤、砂利地盤、コンクリート地盤の3種類とした。また着底速度の解析は、試験礁に取り付けた加速度計から収集（サンプリングタイム 1000Hz）された加速度の時系列データを分析することにより行った。

沈設実験の結果を表-1に示す。なお、陸上での実測着底速度とは、試験礁に取り付けた加速度計から得られた加速度データを解析して求めた実験での実際の着底速度であり、着底時に同程度の衝撃力となる海中での換算着底速度についても求めて示している。着底後の試験礁の状態を、（損傷なし）、（損傷あり）、（クラック発生）という表現で分類しているが、ここで（損傷あり）とは、試験礁の角が欠けたりしているが、ひび割れ（クラック）は確認されない状態のことである。

表-1 沈設実験結果

着底条件	地盤条件	陸上での実測 着底速度 (m/s)	海中での換算 着底速度 (m/s)	試験礁の状態	
				16 N/mm ²	18 N/mm ²
面着	砂地盤	0.68	0.83	損傷なし	損傷なし
		1.30	1.26	損傷なし	損傷なし
	砂利地盤	0.66	0.81	損傷なし	損傷なし
		1.39	1.37	損傷なし	損傷なし
	岩(コンクリ-ト)盤	0.57	0.51	損傷なし	損傷なし
		1.19	1.02	クラック発生	損傷あり
稜着	砂地盤	0.31	0.53	損傷なし	損傷なし
		0.86	1.51	損傷なし	損傷なし
	砂利地盤	0.98	1.04	損傷なし	損傷なし
		1.54	1.49	損傷なし	損傷なし
	岩(コンクリ-ト)盤	0.60	0.54	損傷なし	損傷なし
		0.65	0.58	クラック発生	クラック発生

今回の沈設実験から、以下のような考察ができる。

16N/mm²および18N/mm²のコンクリートの設計基準強度の違いに関係なく、

- ① 砂地盤および砂利地盤に面着あるいは稜着で着底させる場合、従来と同じ1.0m/sの着底速度で沈設すれば、魚礁ブロックが損傷することはない。
- ② 岩盤（コンクリ-ト地盤）に面着あるいは稜着で着底させる場合、1.0m/sの着底速度で沈設させると魚礁ブロックが損傷する。

(5) 実験結果のまとめ

今回行った実証実験の結果より、明らかになったことを整理すると以下のようになる。

- ① 型枠脱型は、少なくとも夏期の施工であれば、16N/mm²および18N/mm²のどちらの設計基準強度のコンクリートを用いても、従来の施工サイクルである2日での作業が可能である。
- ② 転置吊り上げ作業は、少なくとも夏期の施工であれば、16N/mm²および18N/mm²のどちらの設計基準強度のコンクリートを用いても、また、2点吊りおよび4点吊りのどちらの吊り方でも、従来の施工サイクルである4日での作業が可能である。
- ③ 転置積み上げ作業は、少なくとも夏期の施工で、各4辺が一致するようにすれば、16N/mm²および18N/mm²のどちらの設計基準強度のコンクリートを用いても、従来の施工サイクルである4日での作業が可能である。
- ④ 魚礁ブロックを砂地盤および砂利地盤に面着あるいは稜着の着底条件で沈設する場合、16N/mm²および18N/mm²のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、従来と同じ1.0m/sの着底速度での施工が可能である。
- ⑤ 魚礁ブロックを岩盤（コンクリート地盤）に面着あるいは稜着の着底条件で沈設する場合、16N/mm²および18N/mm²のどちらのコンクリート強度の魚礁ブロックについても、1.0m/sの着底速度ではブロックが損傷する。

3.3 コスト縮減効果の検討

(1) 積算事例

実施工事を例にとって、魚礁ブロックのコンクリートの設計基準強度を18N/mm²にした場合、どの程度の縮減効果があるのか試算した。

- ① 対象工事 平成10年度鳥取県岩美地区人工魚礁製作据付工事（実証実験の現場）
- ② 工事概要 2m角型魚礁（8.0空m³/個，3.3tf/個）
製作・運搬仮置・沈設個数（150個）
- ③ 魚礁の規模 魚礁の規模 8.0空m³/個×150=1,200空m³ →（並型）
- ④ 積算 上記条件で、コンクリートの設計基準強度を従来の21N/mm²とした場合と18N/mm²とした場合で積算比較すると以下のようになる。

表-2 積算比較結果

	生コンクリートの配合	単価 (円/m ³)	魚礁製作費		公示価格 (円)
			1個当たり (円)	全体(150個) (円)	
従来	21N-20-8 高炉BB	14,000	91,849	13,777,350	23,914,000
変更	18N-20-8 高炉BB	13,600	91,274	13,691,100 (従来の99.4%)	23,789,000 (従来の99.5%)

縮減率=0.5%

注) 生コン単価(鳥取県 平成10年度)

(2) 全国規模でみた縮減効果

平成10年度において、全国的にみると58事業主体で、11,722個の2m角型魚礁が製作された。1個当たり575円安くなると(直接工事費で6,740千円)、諸経費を含めると1千万円の縮減となる。当然のことながら、2m角型魚礁以外の1体打や組立魚礁にも適用されると、この金額も大きくなる。

3.4 コンクリート強度見直しに当たってのガイドライン

(1) コンクリートの耐久性について

実際の魚礁工事への適用に当たっては、魚礁ブロックの強度だけではなく、コンクリートの化学作用に対する耐久性も重要となる。コンクリート標準示方書〔施工編〕においては、「水セメント比は、原則として65%以下でなければならない。」と規定されている²⁾。今回用いた生コンクリートの水セメント比を以下に示す。

表-3 レディーミクストコンクリートの水セメント比

コンクリートの種類 による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大 寸法による記号	セメントの種類 による記号	水セメント比
普通	16	8	20	BB	68.8%
普通	18	8	20	BB	64.3%

上記のように、18N/mm²の場合の生コンクリートについては水セメント比が65%以下となっているが、16N/mm²の場合については65%を越えている。したがって、実際の魚礁工事への適用は、設計基準強度を18N/mm²としたコンクリートで検討するのが適切である。

(2) 調査結果による結論

今回の実証実験および構造解析結果より、コンクリートの設計基準強度を18N/mm²に低減した2.0M角型魚礁ブロックの採用について、実際の施工を考えると以下のような結論が導き出せる。

- ① 型枠脱型に必要なコンクリートの施工強度は特記仕様書等によると5N/mm²以上とされているが、魚礁ブロック製作に用いるコンクリートの呼び強度を18N/mm²にしても、夏期においては、従来の施工サイクル(2日)での型枠脱型が可能である。
- ② 転置吊上げに必要なコンクリートの施工強度は特記仕様書等によると10N/mm²以上とされているが、魚礁ブロック製作に用いるコンクリートの呼び強度を18N/mm²にしても、夏期においては、吊り上げ方に関係なく、従来の施工サイクル(4日)での転置吊上げが可能である。
- ③ ヤード面積の関係により、転置吊上げ直後、速やかに積み上げを行わなければならない場合、積み上げ方法を4辺支持とすれば、夏期においては、養生日数4日での作業が可能である。
- ④ 上記①～③において、夏期以外の時期に施工する場合には、各々、必要日数が1日以上延びる可能性がある。
- ⑤ コンクリート強度を18N/mm²に低減しても、従来の吊り上げ方法で沈設作業を行うことができる。
- ⑥ 魚礁ブロックを海底に平積みするような場合、砂地盤や砂利地盤であれば、従来施工と同じ着底速度1.0m/sでの沈設作業が可能である。一方、岩盤の場合は、着底速度1.0m/sで沈設すると魚礁ブロックが損傷する危険性が高い。
- ⑦ 魚礁ブロックを海底に2段以上積重ねるような場合、地盤条件に関係なく、着底速度1.0m/sで沈設すると魚礁ブロックが損傷する危険性が高い。

この結論を基に、2.0M角型魚礁ブロックの製作に用いるコンクリートの設計基準強度を18N/mm²に低減するのが適切であるか、また従来通り21N/mm²とするのが適切であるかを判断するための簡単な選択フローチャートを作成した。次頁の図-3に、選択フローチャートを示す。

魚礁ブロックの計画積み段数

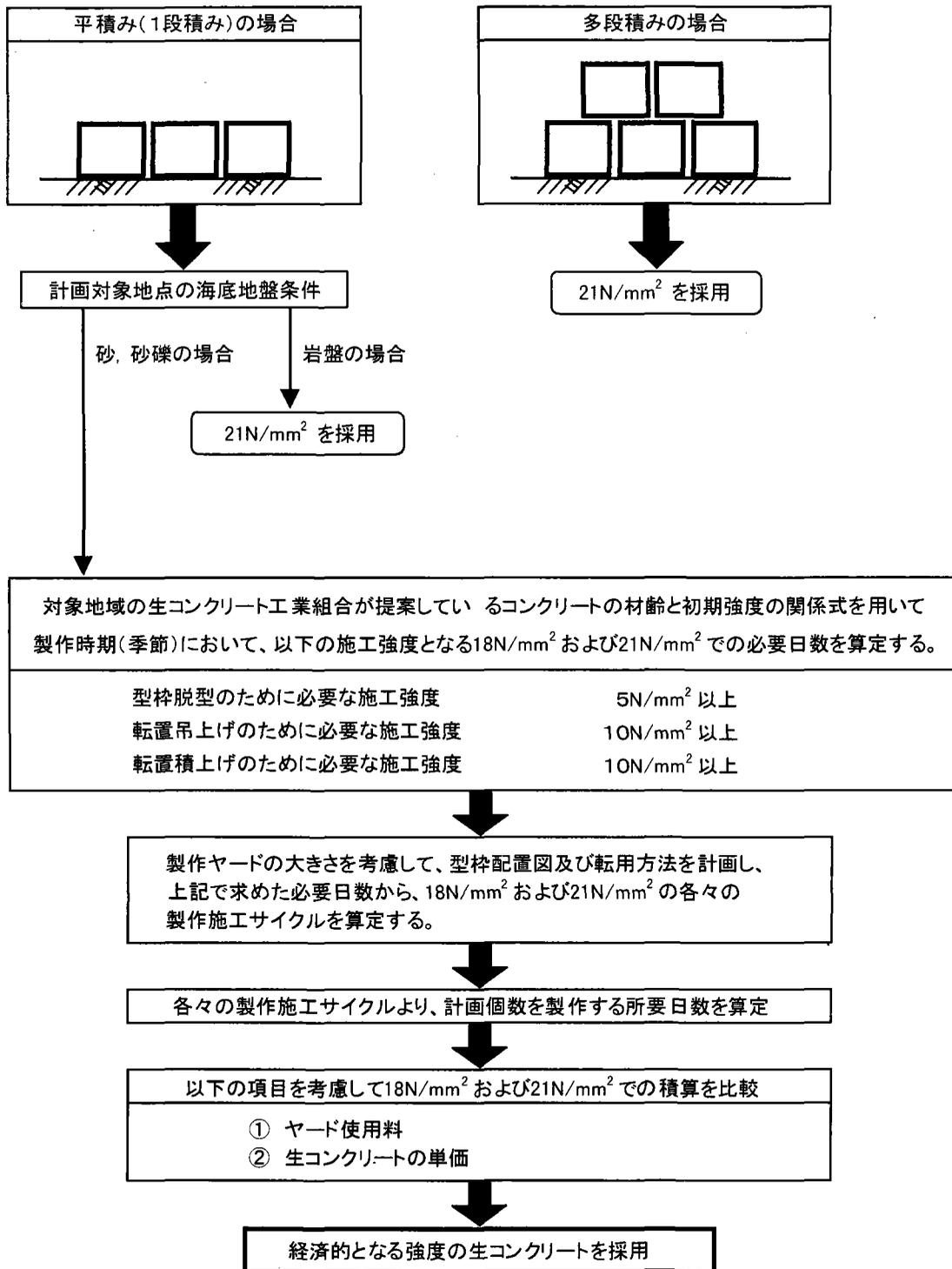


図-3 施工法の選択フローチャート

4. 考 察

今回の調査より、コンクリートの設計基準強度を $18\text{N}/\text{mm}^2$ に低減した魚礁ブロックの有効性とその縮減効果が確認された。これにより、沿岸漁場整備開発事業のコスト縮減方策の一つの方向性が明らかにすることができ、本調査結果はそのための有用な資料になるものと考えられる。

5. 摘 要

今回の調査結果を受け、今後さらに取り組むべき課題を以下に示す。

○2.00M角型魚礁以外の魚礁ブロックについても、同様の検討を進め、コスト縮減の効果を確認する。

<引用文献>

- 1) 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針編集委員会、1993年：沿岸漁場整備開発事業施設設計指針（平成4年度版）、社団法人 全国沿岸漁業振興開発協会、〒101 東京都千代田区内神田2-2-1 鎌倉河岸ビル6階、pp.142~150。
- 2) 土木学会コンクリート委員会、1996年：平成8年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕、社団法人 土木学会、〒160 東京都新宿区四谷1丁目無番地、p.58