水中コンクリートによるサンゴ移築工法の開発

池田 穣

正会員 理博 株式会社間組 技術・環境本部 (〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5)

熱帯・亜熱帯に見られるサンゴ礁は、豊富な生物種をもち、海のオアシスといわれている.また天然の 防波堤、漁礁としても機能しており、景観性も高い.しかしこうしたサンゴ礁は開発に伴う土砂流入、富 栄養化、オニヒトデ等による食害、地球温暖化に伴う高水温による白化や海面上昇などにより絶滅の危機 に瀕している.このようなことからサンゴ礁の修復技術の開発が求められている.修復技術の一環として、 沿岸域での工事において埋め立てなどにより、そのままでは死滅するサンゴの移築がある.ここではサン ゴの移築を大規模に効率よく行うために、流動性に優れ、粘性に富み、材料分離が少ない水中コンクリー トによるサンゴの移築を試みた.

キーワード:サンゴ、移築、水中コンクリート、石炭灰

1. はじめに

サンゴ礁は、南の島の美しい景観を形づくる自然 の織り成すサンゴが形づくる地形である.サンゴ自 体は和歌山など本州にも点在している箇所がみられ るものの、地形としての大規模なサンゴ礁はわが国 では、沖縄を含む南西諸島にのみ存在している.こ うしたサンゴ礁は、近年沿岸開発に伴う赤土などの 土砂の流入、富栄養化、地球温暖化に伴う高水温が 原因と考えられる白化や海面上昇などにより衰退の 危機に瀕している.このようなことから開発に伴う 埋め立てなどにより、サンゴの死滅が危惧される場 合、サンゴを当該場所から別の場所に移築すること が望まれている.

しかしながらこれまでのサンゴの移築は、サンゴ 片の小規模で試験的な移築がほとんどであり¹⁾、サ ンゴ群体の大規模な移築はあまり行われていない. 比較的大きなサンゴ群体の移築工法としては、図-1 に示すように水中ボンド、ワイヤーおよび鉄筋棒で 固定する工法がある.しかしながらこの工法では、 ワイヤーや水中ボンドがサンゴに与えるストレスが 大きく、施工効率も高くない.

こうした方法に代わるものとして多くのサンゴを 効率よく移築する技術が近年望まれている.その一 環として流動性に優れ,粘性に富み,材料分離が少 ない水中コンクリートを用いたサンゴの移築を試み た.

2. 方法

(1)水槽での予備試験

実海域での水中コンクリートによるサンゴの移築 を試みる前に、水槽内で水中コンクリートがサンゴ に与える影響を調べた.すなわち水中コンクリート をプレート状の型枠に打設し、その直後の固まって いない水中コンクリート上にミドリイシ、ヒユサン ゴ、キクメイシ、ハマサンゴなどを設置・固定し、 海水の入った水槽に入れた.水中コンクリートは、 水、セメント、砂、石炭灰、不分離剤および流動化 剤を表-1のように配合したものである.次に水温 25℃、30 μ E/m²/sの光量を12時間:12時間の明暗 周期で照射し、サンゴの状況を観察した.



図-1 従来のサンゴ群体の移築工法の例

表-1 水中コンクリートの配合

	単位量(kg/m ³)					
	水	セメント	砂	石炭灰	SP-12 (不分離剤)	150V2 (流動化剤)
オーシャンクリート	340	750	920	-	4	7.5
オーシャンアッシュ	362	211	920	382	4	6



1. 水中コンクリート打設



Ţ

2. サンゴ固定

 水中設置 (水温 25℃)

4. 光照射



写真-2 沖縄県那覇市波の上橋付近



図−2 移築場所



写真-2 設置型枠

(2) 実海域での移築試験

程を写真-1に示す.

実海域での移築試験は、沖縄本島と周辺離島の二 箇所で行った.沖縄本島では 2004 年 2 月に,周辺 離島では 2004 年 11 月にそれぞれ実施した.

写真-1 水槽での予備実験の工程

また別に水中コンクリートのみを打設した水槽を設

け,打設後の水槽のpHも適宜測定した.一連の工

移築元のサンゴは那覇市の波の上橋付近(写真-2)の水深 4-8m で選定・切断し,移築先まで海中 輸送した(図-2).移築先は移築元から 300-400m 離れた波の上ビーチ付近のコンクリートブロックで 覆われた水際斜面で水深 5m ほどの地点である.水 平小段のコンクリートブロック上に移築基盤となる 縦・横それぞれ 1.2m, 深さ 15cm の窪みのある鉄筋 コンクリート製の型枠を 5 個設置した(写真-2). 型枠内に水中コンクリートを打設した後,サンゴを 設置・固定した.このうち1個の型枠には,表面付 近にセンサー部分がくるように水中モニタリング装 置(W-20XD,堀場製作所)を取り付け(写真-3), 打設直後から 2 日間のpH, 濁度および水温などの 変化を 10 分おきに自動測定した.

2004年11月の沖縄本島周辺離島での施工では,



写真-3 水中モニタリング装置の設置状況



 サンゴ採取 と選定

↓



 水中輸送と 仮置



 モルタルガン による打設 入し移築先の海中において移築サンゴの根元で押し 出すことにより施工した.一連の工程を**写真-4** に 示す.

(3)移築後のモニタリング

沖縄本島で移築したサンゴに関し,移植から8ヶ 月後の2004年10月にモニタリングを行った.各 基盤上のサンゴの長径,短径,高さはスチール製コ ンベメジャーで測定した.各サンゴ群体の長径と短 径はEnglish et al. (1997)²⁾の方法に従い測定し た.また基盤に直接移植されているサンゴは基盤面 からの高さを,岩盤に付着しているサンゴは群体基 部からの高さをそれぞれ測定した.サンゴ群体形状 の判別は同じく English et al. (1997)²⁾の生育形 区分に従った.被度(%)は,各基盤の俯瞰写真か らサンゴ生育マップを作成し,移植基盤面積に対す る各サンゴ群体の投影面積の比率からもとめた.一 方,沖縄本島周辺離島においては,移築後半年後の 2005年7月に生育状況の定性的な観察を行った.

3. 結果と考察

(1)水槽での予備試験

図-3 は水槽を用いた予備実験での水中コンクリート打設後のpHの推移を示す.pHは最高 8.5 付 近まで上昇した.pH はサンゴの代謝により変動す るため,pH の変化はサンゴを設置しない水槽で行 った.サンゴを設置した水槽においてもサンゴの状 況に異常はみられなかった.水の流動のない滞留状 態においても水中コンクリートの打設によるサンゴ への影響が見られなかったことから,波により海水 が絶えず流動する実海域においては、サンゴにかか るストレスはより緩和されると考えられた.



4. 移築工事終了

写真-4 沖縄本島周辺離島での施工工程

移築元のサンゴを選定後,切断しゴンドラに載せ約 500m ほど離れた移築先へ移動させた.陸上で準備 した水中不分離性コンクリートをモルタルガンに注



図-3 水槽内での水中コンクリート打設後のpHの推移





表-2 沖縄県那覇市波の上橋付近で移築したサンゴの分類(2004年10月モニタリング時)

			甘船の	甘船の	甘ഹ 4	合 計		
		本盘 1	苯Δ Z	苯Δ3		サイズ別	総数	
	大(60cm以上)							
加要业	中 (30~60cm)						16	
1汉 7复 1八	小 (10~30cm)	3	1	2		6	10	
	極小(10cm以下)	5	4	1		10		
	大(60cm以上)							
塊状	中 (30~60cm)	1	1	4	3	9	22	
	小 (10~30cm)	3	2	1	3	9		
	極小(10cm以下)	1	2		1	4		
	大(60cm以上)							
華中	中 (30~60cm)						10	
未扒	小 (10~30cm)		1	1		2	10	
	極小(10cm以下)	1	7			8		
	大(60cm 以上)							
掛な中	中 (30~60 cm)		1			1	9	
创化机	小 (10~30cm)			1		1	2	
	極小(10cm以下)							
	大(60cm以上)							
淮抽屮	中 (30~60cm)						5	
中四小	小 (10~30cm)		1	3	1	5	5	
	極小(10cm以下)							
	大(60cm以上)							
ソフトコー	中 (30~60cm)	1		1	1	3	5	
ラル	小 (10~30cm)				1	1	Ð	
	極小(10cm以下)		1			1		
造礁サ	ンゴの総群体数	14	20	13	8	55		
ソフトコーラルの総群体数		1	1	1	2	5	60	
サンゴ類総数		15	21	14	10	60		

(2) 実海域での移築試験

沖縄本島における移築における水中コンクリート 打設直後2日間の打設面近傍での濁度とpHのモニ タリング結果を図-4に示す. 濁度は,打設直後 80NTUに達するものの,以降10NTU付近におさまっ た.pHは一時8.8まで上昇するものの打設後4-12時間は8.3,それ以降は通常の海水と同じ8.2 で一定となった.また打設時の水温の大きな上昇も みられなかった.これらのことから水中コンクリー トの打設によるサンゴへの悪影響はほとんどないと 考えられた.

(3)移築後のモニタリング

沖縄本島で移築したサンゴは,基盤1から基盤4 まで計53個体である.移植から8ヶ月後の2004 年10月に行ったモニタリング調査では,4つの基 盤上に合計60群体のサンゴ類があることを確認した.その時の各基盤上のサンゴ類の群体形状および

表-3 沖縄県那覇市波の上橋付近で移築したサンゴの一部(2004年10月)

分類	塊状 中	塊状 中		
サンゴ名	ハマサンゴの仲間	ハナガタサンゴの仲間		
写真	2435			
長径(cm)	31	35		
短径(cm)	24	23		
高さ(cm)	13	14		
被度(%)	4.2	3.7		
分類	被覆状 小	準塊状 小		
サンゴ名	キクメイシの仲間	ヤッコアミメサンゴ		
写真				
長径(cm)	14	21		
短径(cm)	6	14		
高さ(cm)	5	8		
被度(%)	0.2	0.9		
分類	ソフトコーラル 中	準塊状 小		
 分類 サンゴ名	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ		
<u>分類</u> サンゴ名 写真	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm)	<u>ソフトコーラル</u> 中 ウミキノコの仲間	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm)	^{ソフトコーラル} 中 ウミキノコの仲間 33 26	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm)	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7		
<u>分類</u> サンゴ名 写真 <u>長径(cm)</u> <u>気さ(cm)</u> 被度(%)	 ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8		
<u>分類</u> サンゴ名 写真 <u>長径(cm)</u> <u>気を(cm)</u> <u>満き(cm)</u> 被度(%)	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 被度(%) 分類	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状 極小		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 被度(%) 分類 サンゴ名	 ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 ジミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中 ハナガタサンゴの仲間 	準塊状小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状極小 ルリサンゴの仲間		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 被度(%) サンゴ名 写真	 ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中 ハナガタサンゴの仲間 	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状 極小 ルリサンゴの仲間		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 高さ(cm) 被度(%) サンゴ名 写真 長径(cm) 最後(m)	 ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中 ハナガタサンゴの仲間 ジェンククレード 56 	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状 極小 ルリサンゴの仲間 ジェンジの仲間 5		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 被度(%) サンゴ名 写真 長径(cm) 短度(%) 切っゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 短径(cm) 短径(cm)	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中 ハナガタサンゴの仲間 ジラ6 56 44	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状 極小 ルリサンゴの仲間 5 5 5 5 5 5		
分類 サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 被度(%) サンゴ名 写真 長径(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 短径(cm) 高さ(cm) 短径(cm) 高さ(cm)	ソフトコーラル 中 ウミキノコの仲間 33 26 23 5.3 塊状 中 ハナガタサンゴの仲間 56 44 26	準塊状 小 ヤッコアミメサンゴ 19 8 7 0.8 被覆状 極小 ルリサンゴの仲間 5 5 5 1		

長径によるサイズを表-2 に示す.移植時の 53 群体 のうち 8 個体は死亡したが,新たに 15 個体が移入 した.各基盤のサンゴ群体の形状,名称,写真およ びサイズの一部を表-3 に示す.

沖縄本島周辺離島においては,移築半年後の 2005 年 7 月に生育状況の定性的な観察を行った. ここでは,全部で 200 個体以上のサンゴを水中コ ンクリートにより移築した.**表-4** にモニタリング 時において観察したサンゴの一部を示す.モニタリ ングの結果,移築したサンゴ群体は概ね健全であっ た.これは,水中コンクリートがサンゴに悪影響を 及ぼさなかったこととともに,移築元と移築先の水

表-4 沖縄本島周辺離島で移築したサンゴの一部 (2005 年 7 月)

St No.	2	2		
サンゴ番号	235	223		
サンゴ属名	トケ゛キクメイシ/ミト゛リイシ*	ハナヤサイサンコ (Pocillopora)		
写真				
St No.	2	3		
サンゴ番号	239	139		
サンゴ属名	ミドリイシ(Acropora)	ハマサンゴ (Porites)		
写真				
St No.	2	4		
サンゴ番号	234	100		
サンゴ属名	ショウガサンゴ(Stylophora)	ハマサンゴ (Porites)		
写真				
Ct. No.				
St No.	4	4		
St No. サンゴ番号	4 293	4 53		
<u>St</u> No. サンゴ番号 サンゴ属名	4 293 スリバチサンゴ (Turbinaria)	4 53 ミドリイシ(Acropora)		

深,水温,光量などの環境条件が類似していたこと も大きな要因と推測される.サンゴは環境条件にあ る程度適応する能力はあるものの,移築にあたって は移築元と移築先の環境条件が大きく相違しないよ うにすることが必要である.また遠距離にサンゴを 移動させることは,サンゴの遺伝子のかく乱を招き, 種の多様性を損なうことが予想される.本移築試験 においては,サンゴの移動距離は数百mであり問題 はない範囲と考える.今後,部分的にサンゴが死滅 したり,新たなサンゴが移入するといった生態遷移 が進行していくものと推測される.

従来のサンゴ移築工法と比較しての本工法の特徴 は、サンゴに及ぼすストレスが少なく、施工性がよ いことである.さらに移築に必要な資材費に関して も、従来の移築コストの約 1/5 となり安い.図-5 に本工法の工程をまとめた.試験施工においては、 水中コンクリートを陸上で打設した.しかしながら 多くのサンゴ群体を効率よく移築するには図-5 に 示すように水中コンクリートを海上打設し、ホース



図-5 水中コンクリートによるサンゴ移築工法 の工程

で海中に直接導くことも可能である.この場合移築 基盤を自由に構築できる.

謝辞

本工法の開発にあたり,極東建設株式会社の古松 伸茂社長,仲地昭人氏には実海域での施工にあたり, 資材調達,潜水作業などにおいて大変お世話になっ た.ハザマの岩淵紳一郎氏,福留和人氏,斉藤栄一 氏,宮野一也氏また中央開発株式会社の千村次生氏 には開発の遂行に大きな手助けをいただいた.有限 会社コーラルクエストの岡地賢氏には移築後のモニ タリングをしていただいた.さらに沖縄県南部国道 事務所の石渡一義氏,株式会社沖縄環境分析センタ 一の伊藤馨司氏には実海域での施工の機会を与えて いただいた.ここに感謝の意を表する.

参考文献

- 大久保奈弥,大森信:世界の造礁サンゴの移植レヴュ ー,日本サンゴ礁学会誌,No.3, pp.31-40, 2001.
- 2) English, S., Wilkinson, C., Baker, V.: Survey manual for tropical marine resources, 2nd Edition, Australian Institute of Marine Science, 390pp., 1997.