

沖縄国際海洋博覧会における人工海浜の設計と施工

藪 下 孝 雄*・中 村 俊 彦**

1. 緒 言

わが国では、4、5年前から主として海岸侵食の対策工として養浜工が目され、次いで人工海水浴場の計画もたてられるようになった。現在、運輸省、建設省の所管の海岸で計画されているものは、全国で20～30地点にのぼっている。しかし施工実績としては、2、3を数えるのみで、それも規模的にみて試験的施工の域を出るものではない。

となっている。

このような背景で実施されたエキスポ・ビーチの設計・施工を通じ、i) 海浜安定への配慮、ii) 施工による周辺海域の環境保全への配慮、iii) 海水浴者の利用面への配慮について、現地における関連調査を併せて報告するものである。

2. エキスポ・ビーチの概要

図-2～4 はエキスポ・ビーチの施工平面図および主要

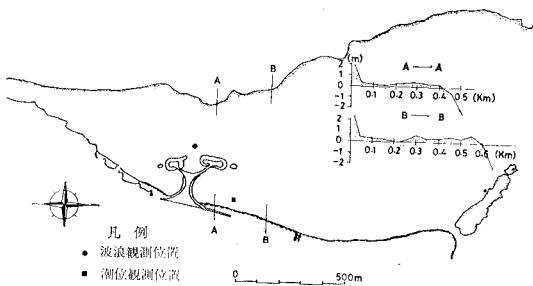


図-1 エキスポ・ビーチ施工位置

沖縄国際海洋博覧会会場に建設された人工海浜“エキスポ・ビーチ”は、わが国で最初の本格的なレクリエーションのための人工海水浴場で、しかも最大規模の人工海浜である。建設地点はリーフが発達し、水深は浅く、外海の波浪に対して比較的安全な場所(図-1)である。また、周辺は沖縄特有の青く澄みきった海、珊瑚をはじめとする海中動植物の宝庫

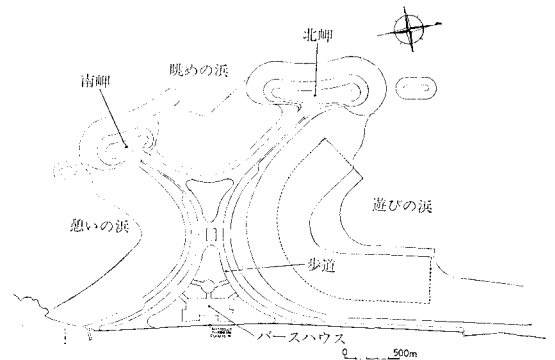


図-2 エキスポ・ビーチ平面

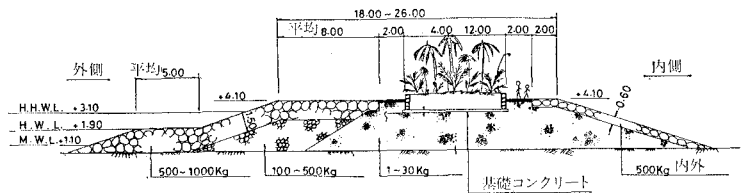


図-3 南北岬標準横断面図

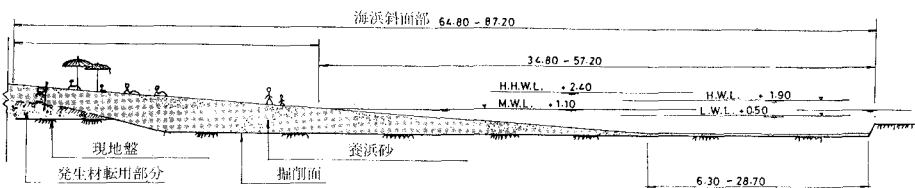


図-4 遊びの浜標準横断面図

* 元(財)沖縄国際海洋博覧会協会建設工事本部
日本テトラポッド(株)コンサルタント事業部
** 正会員 日本テトラポッド(株)コンサルタント事業部

海域に較べ著しく小さく、潮が停滞気味である。

また漲潮時には、リーフ外縁の地形の影響を受け、リーフ内のある水深 (D.L. +1.30 m 前後) を境に、その流向が反転することも判明した。

落潮時の流況を 図-7 に、漲潮時前半の流況を 図-8 に、それぞれ調査結果および目視観測より模式的に図化したものである。

4. 海浜安定への配慮

エキスポ・ビーチの建設地点は、発達したリーフによって外海の波がストレートに進入してこないような場所であったとはいえ、一方では、隆起珊瑚礁の海岸は全国的にみても独特の海岸形態を示していて、それだけ波や流れに関しての海岸工学上の知見も乏しかった。

しかも、台風の常襲地帯であるため、搬入する養浜砂の安定性について慎重に検討した。

(1) 養浜材の選定

人工海浜にとって最も重要な材料の一つである養浜砂の選定には、現在まで波、流れのソーティング作用を十分に受け、比較的安定している現地砂を参考に決めた。

そのため、造成地点を中心に周辺海浜およびリーフ全域に亘り、計 45 個の試料を採取し、粒度組成、比重などを分析した。分析結果によると、現地砂の中央粒径 (d_{50}) は 0.20~1.10 mm の範囲に分布し、その平均値は $d_{50}=0.50\sim0.70$ mm であった。比重については、ほとんどの試料が 2.71 以上で最大値として 2.81 が観察された。

ビーチに使用する養浜材は、これらの結果を参考に、 $d_{50}=0.5\sim0.7$ mm、比重は 2.70 以上とし、その品質管理に当っては、指定海域 (すでに調査済) より採取した材料を、一船ごとに数試料について各試験を行い、前述の値に合致した材料のみを現地に搬入させた。

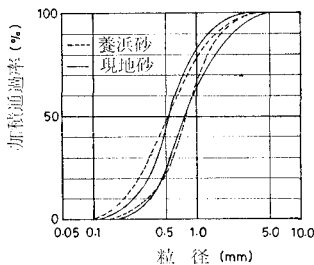


図-9 は現地砂および養浜砂の粒径加積曲線の代表値である。

図-9 粒径加積曲線図

(2) 勾配

養浜砂の材質とともに海浜の安定上大きなウエイトを占める勾配は、波、流れなどの外力が十分に把握されていない状況下では、現地における試験施工などに負うところが大きかった。

まず、ビーチに隣接する現地の海浜勾配を調査し、それを構成する底質の粒径との関係をまとめ 図-10 に示す。同図によると、中央粒径 (d_{50}) は 0.5~0.6 mm の範

囲に集中し波などによるソーティング作用を十分に受けた状態と考えられる。またその時の勾配は 1/10~1/13 と数回の調査でほとんど変化はなく安定していた。

次にビーチの各浜で仮整形 (遊、眺、約 1/7, 憩; 1/9~1/12) し、現地の海浜と同様の調査を行った。その結果を 図-11 に示す。中央粒径の分布をみると、眺めの浜では

$d_{50}=0.7$ mm 前後に集中しているのに対し、他の浜は $d_{50}=0.35\sim0.90$ mm とかなりのばらつきが目立つが、勾配はおおむね 1/10~1/12 におさまっている。粒径のばらつきは調査期間が約 2 か月と短かったこと、岬、島堤の遮蔽効果により、十分な波の作用を受けていないためと考えられる。

結局、以上の結果などを勘案し、各浜とも海浜勾配は 1/15 で整形し、現在まで目立った変形はなく安定しているといつてよい。

(3) 養浜砂の流出と海水交流

通常養浜砂は波や流れによって移動し、多少なりとも対象地域外へと流出する。その対策として、人為補給、自然補給 (サンドバイパス工など) の維持養浜か防護施設の構築を考えねばならない。

当ビーチの場合、継続的に多量の養浜材を入手することが困難なため、南北の岬、島堤などで波を遮蔽し流れを極力おさえ流出を防止した。結果は現在まで台風の直撃はないが、流況については、各ビーチとも流速が 0.05 m/sec 以下と周辺に較べ著しく小さく、そのため養浜砂の中に含まれる微粒子が洗い流される程度で、その実質部分はほとんど流出していない。

一方、このことは遊泳海域での海水の停滞を助長し、周辺海域との海水交流を阻む結果になっている。図-12 は透視度 (水深が浅いため透明度板を水面下 1 m の位置に垂直に立て、これを水中で水平方向から透視出来る距離とした) の測定結果を示したもので、海水の交流域との差が歴然と表れている。

当初、現在の島堤は岬と結ばれていたものであるが、海浜変形、流況、水質などの調査を通じて島堤に改めたものである。しかし海水交流の面ではまだ不十分であ

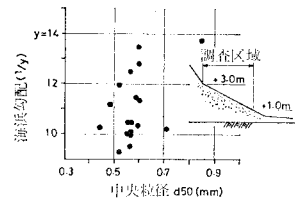


図-10 海浜勾配と粒径 (隣接海浜)

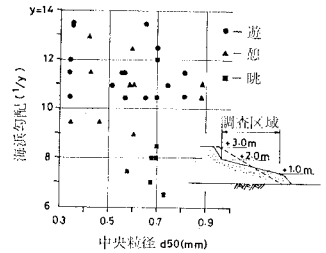
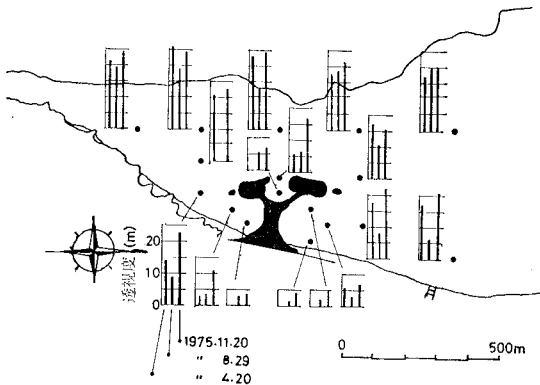


図-11 海浜勾配と粒径 (ビーチ)



図—12 透視度比較図

る。

養浜砂の流出と海水交流の問題は当エキスポ・ビーチに限らず、今後新しく計画、施工する人工海浜にとって重要な課題であり、現状では、現地における試験施工、調査などの実験、模型実験あるいは過去的事例、資料などを総合し推定することも一手段と考えられる。

5. 環境保全への配慮

施工中の海水汚濁による環境破壊に対しては特に細心の注意を払い実施した。

まず、“遊びの浜”では最干潮時にも遊泳できるように、珊瑚礁塊で形成されている海底面を平均1m掘削した。この掘削の際、試掘の結果地盤に含まれているシルト質によって、海水が長時間白濁することが判明したため、歩道やその他のコンクリート構造物の基礎石材を一時転用し、仮設の締切堤を設け汚濁水が外部に流出するのを防止した。

また、締切堤や本体工および岬に使用する石材は、会場内の工事現場から発生した自然石が大部分で、そのポーラスな表面にはかなりの土砂が付着していた。そのため、ビーチ背後の造成地に洗浄施設を設け、圧力水で1個1個洗浄した後に現地に搬入し使用した。

一方、珊瑚をはじめとする貴重な海中生物が、エキスポ・ビーチの造成によってどのような影響を受けているかを知るため、施工および会期中継続して実施した主な関連調査の概況について述べる。

(1) 底質調査

会場内および備瀬地区の陸域から雨水などにより海中に流入する土砂の分布域、堆積状況さらには養浜砂の流出拡散程度を知るために実施したものである。

そのため、ビーチ周辺を密にリーフ全体の25定点について、i) 細粒物質 ($d=0.03\text{ mm}$ 以下) の含有率、ii) 非石質物質 ($d=0.03\text{ mm}$ 以下) の含有率、iii) 底質の生物組成比 ($d=1\sim 2\text{ mm}$) の各調査を行った。

結果は i), ii) とともに陸域に比較的近い海域および“遊び

の浜”“憩いの浜”の海水の停滞気味な定点で、多少増加の傾向を示し、他の海域ではほとんど変化は観察されなかった。また iii) については、養浜砂、現地砂ともその組成は良く類似している。重量比で90%強が生物の遺骸(石灰質)で構成されており、中でも珊瑚の破片が約50%と最も多く、次いで貝類、有孔虫、ウニ類の順になっている。この中で有孔虫に含まれるオパキュリナ(Operculina)については、現地砂(数量比約0~1%)と養浜砂(同約7~8%)とはその含有率に明瞭な差がみられた。そのため、養浜砂移動のトレーサとして着目したが、周辺海域でオパキュリナの増加現象は全く観察されなかった。

(2) 水質調査

海水浴場としての生活環境の保全上、また海中生物の生息環境に及ぼす影響程度を知るために、i) 化学的性状、ii) 物理的性状、iii) 生物的性状について調査を実施した。

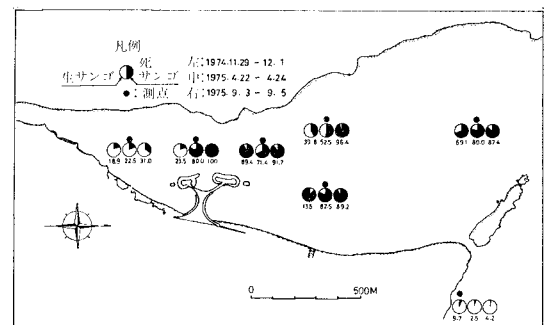
水質的には全域わずかであるが悪化の傾向を示し、特に i) 海中の生物相と密接な関係にある窒素、リン類の栄養塩類 ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$)、ii) の透視度、iii) の大腸菌群などが、陸に接した区域、中でも備瀬地区の排水溝付近、南側海域の水族館近くの排水管付近およびビーチの海水停滞域の各海域において顕著であった。

このことは海洋博で備瀬地区の人口集中による生活排水増大、会場内の園路雨水・処理水の集中排水、海水浴者の直接汚染などがその要因と考えられる。

(3) 珊瑚の生息調査

リーフ上の流況、底質、水質性状などの環境変化が、海中に生息する生物にどのような影響を及ぼすか、特に環境変化に敏感な珊瑚について継続的な生息調査を行い、他の生物のバロメーターとした。

調査はリーフ上の定点について、それぞれ付近の状態を最も代表していると思われる任意の4点を選び、 1 m^2 のコドラットを設置し、写真撮影、スケッチ、標本採集などを行ない、珊瑚の生死状況、種類などについて調べた。図—13に珊瑚の生死状況の推移を示した。



図—13 サンゴの生死状況図(数字は死亡率%)

珊瑚の死亡率は各点かなりの差がみられるが、総体的に増加の傾向を示している。特に死亡が顕著なのは、ビーチの前面から北側海域ですでに 85~100% に達している。また、各点とも死亡している珊瑚の 90% 強は、リーフ上に優先しているミドリイシ (*Acropora* 属) の枝状のものであった。

この要因としては、まず沖縄本島に異常増殖したオニヒトデの直接的被害が挙げられる。備瀬両岸に隣接する瀬底島、水納島の珊瑚は既に 99.9% 死亡しており、オニヒトデによるものと報告されている⁸⁾。また当リーフ内のオニヒトデの個体調査では、推定で約 6~7 万個(会期までに約 5.1 万個除去) 生息しており、ビーチ北側海域から南側海域へと徐々に移動する傾向が観察されている。

第 2 は、栄養塩類の増加、透視度の低下などの水質環境の変化で、直接・間接的にかなりの影響を及ぼしているものと推定される。

以上“環境保全への配慮”ということで種々の対策、関連調査を実施してきたが、これらの環境変化がビーチ建設によるものか、他の外的要因によるものか現状の結果だけでは判断しがたい。しかし今後より完全な“人工海浜”に近づけるためにも、フォローアップのための調査がいかに重要であるかということは明白である。

6. 利用面への配慮

(1) 景 観

エキスポ・ビーチは、景観上のデザインの面から次の二つの特色をもたせた。

その一つは、全体的なレイアウトを曲線で構成させたことである。自然界に存在する事物は、ほとんど曲線あるいは不規則な線型をなしており、自然らしさの演出のために曲線を基調とするデザインを行った。

第 2 の特色は、ビーチからの眺望を重視したことで、そのため一般に砂浜の安定性確保に必要な離岸堤や突堤を設置せず、海浜の勾配や南北の人工岬の配置でそれをカバーした。またヤシなどの高木やその他の低灌木を適切に配置し、近景、遠景に変化を求めた。さらに人工岬は、背後の陸域から発生した自然石を用いて構築し、見た目の感触を大切にした。

(2) 色 彩

シエルターやバースハウスなどの色調は、海水浴場としての賑やかさや華やかさを演出するものとして重要な要素である。沖縄のような太陽光線の強烈さと暑さからでは、色彩学的な発想よりむしろ生理的な感覚で色調を決めることが望ましく、結局、シエルターに採用した色は、沖縄の代表的な樹木であるフクギの葉の色に似た濃いグリーン系統とした。

また養浜砂の選定に当たっては、粒径や比重と併せて色

合いもビーチ全体の色調を表現することになるので重要な要素として考えた。専門的な表現をすれば、黄色系統の色を白色のゼロから黄色の 100 ままでとすると、現地砂は 45、養浜砂は 25 程度とかなり白に近く、ビーチ全体はこの白っぽい砂によって非常に明るい華やかな印象を与える結果となった。

(3) 照り返し

直接素足で触れることの多い遊歩道は、その材質の耐久性、コスト、色彩などの他に、特に表面温度について検討した。現地において歩道用として考えられる主な材料について、最も条件の厳しい夏季の快晴時に表面温度の測定を実施し、その結果を図-14 に示す。

同図によると各材料とも温度の上昇状況は、直射熱と同様の傾向を示し、最高の表面温度は、いわゆる気温のピーク時より 2 時間程前に表われている。最も上昇率の高い材料としては、最近一般家庭および公園などにおける歩道、土留材料、その他修景材として用いられているプラスチックで、表面温度が 60°C に達している。また、最も低い上昇率を示したものは、白色セメントを用いたコンクリート材で、ピーク時約 36°C と現地砂(明褐色)に較べても 5°C 低く、体温程度までしか上昇しないことが判明した。

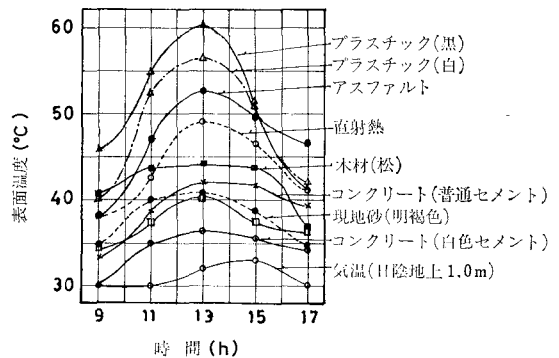


図-14 歩道用材料表面温度

エキスポ・ビーチの歩道面積は、全体で約 7 000 m² でそのうち白色セメントコンクリート舗装を施した部分は約 4 000 m² である。その他は淡緑色系のカラーアスファルト、レンガ舗装とした。

(4) そ の 他

海中に生息する生物の中には素肌に触れただけで激痛を覚えるもの、ビーチサンダルをも突き通すほどの強靱なトゲを有した動物など攻撃性こそないが非常に危険な生物が多い。特に猛毒を有し、珊瑚破壊の一因となっている移動性のオニヒトデについては、リーフ全域にわたりその生息状況を調べ、極力除去に努めた。また砂礫中に埋伏して生息しているイワカワハゴロモ、被害を受けた珊瑚や海藻に着生しているリングビヤなどについても

除去の対象とした。

また、各水質試験を定期的 to 実施し、クラゲなどの大型動物プランクトン、大腸菌群などの出現状況を把握し、海水浴場として海中の環境整備に努めた。

7. 結 言

海水浴場としての“人工ビーチ”の施工および関連調査を通じ、海浜の安定性、周辺海域への影響などは、建設地点のローカリティーにより大きく異なり、事前に予測することの難しさを痛感した。

しかし試行錯誤の施工、調査の結果はともあれ、より完璧な“人工ビーチ”を目指すための姿勢は十分にくみ取れると確信している。

今後、新たに計画、施工される人工海浜造成のための一助になれば幸である。

おわりに、本調査は(財)沖縄国際海洋博覧会協会の下に行ったもので、ここに発表するに当り深い御理解、御協力を賜った通産省、建設省の担当者に謝辞を表します。

参 考 文 献

- 1) 鵜木和夫・橋本 宏: リーフによる波高減衰と水位上昇の現地観測, 第6回海洋開発シンポジウム講演集, pp. 60~64, 1975.
- 2) (財)沖縄国際海洋博覧会協会: 空中写真による潮流調査報告書, 16 p., 1974.
- 3) 環境庁: 浅海における海中の生態系に関する研究, 74 p., 1973.