

モルディヴ国マレ島の地形、波浪および海浜流の特性 Characteristics of Coastal Topography, Waves and Neashore Currents on Male' Island in Maldives

宇多高明*・桜本 弘**・折下定夫***
Uda, T., H. Sakuramoto and S. Orishimo

The characteristics of coastal topography, waves and nearshore currents of the coral island in Maldives were investigated through the field observations. Underwater notches were found about 6m below MSL implying that these notches were formed in the past sea level condition lower than the present. Nearshore currents induced by wave breaking on coral reef were observed and compared with the numerical simulation. Both results agreed well.
Key words : Coral reef, Maldives, Underwater notches, Nearshore currents, Field observation.

1. ま え が き

インド洋上、南緯 $0^{\circ}45'$ より北緯 7° の間に広がり、約1200の島からなるモルディヴでは、近年高潮災害に悩まされている。モルディヴの島々の周辺には広大なリーフが発達しているため、外洋から入射する高波浪は減衰し、リーフ上の波高は低くなる。そのため波浪災害の頻度は高くはないと考えられていた。それにもかかわらず高潮によりかなりの被害が出ているのである。モルディヴの首都のあるマレ島は元々その面積は108haと小さかったが、近年の人口集中のため新たな土地が必要となり、1979年以降、リーフ外縁近くまで埋め立てが急速に進んだ。幅広いリーフの平坦面は消波に対して有効であるが、マレ島では十分な消波施設が建設されることなしに埋め立てが進められ、このため著しい高潮被害が出るようになった。本研究では、高潮災害に悩まされているマレ島の海岸保全計画を立案するために実施した地形、波浪および海浜流に関する現地調査の結果について報告する。

なお、本研究は国際協力事業団によるモルディヴ国マレ島海岸防災計画調査の一部分を成すもので、筆者らは作業管理委員長あるいは調査団員としてこの調査に参加した（本件の報告書は国際協力事業団からモルディヴ国政府に1993年3月に提出された）。

2. マレ島の概況

モルディヴ共和国は約1200の小島からなる島嶼国で、それらのうち200の島に人々が居住している。島々は26の環礁（アトール）を形成しているが、首都のマレは図-1に示すように北マレ環礁の南端にあるマレ島に位置する。有史以来、マレはモルディヴの政治、商業および文化の中心である。モルディヴ共和国における1986年以前の異常高潮の被害については明瞭な記録は残されていない。しかし、1987年4月、1988年6月と9月に高潮が発生し甚大な被害をもたらした。1987年4月10日から15日にかけて、首都マレ島および周辺諸島において著しい高潮が発生し、海岸護岸・民間の家屋・空港施設などに被害が出た（宇多、1988）。この高潮による被害額は約600万ドルと推定されているが、そのほ

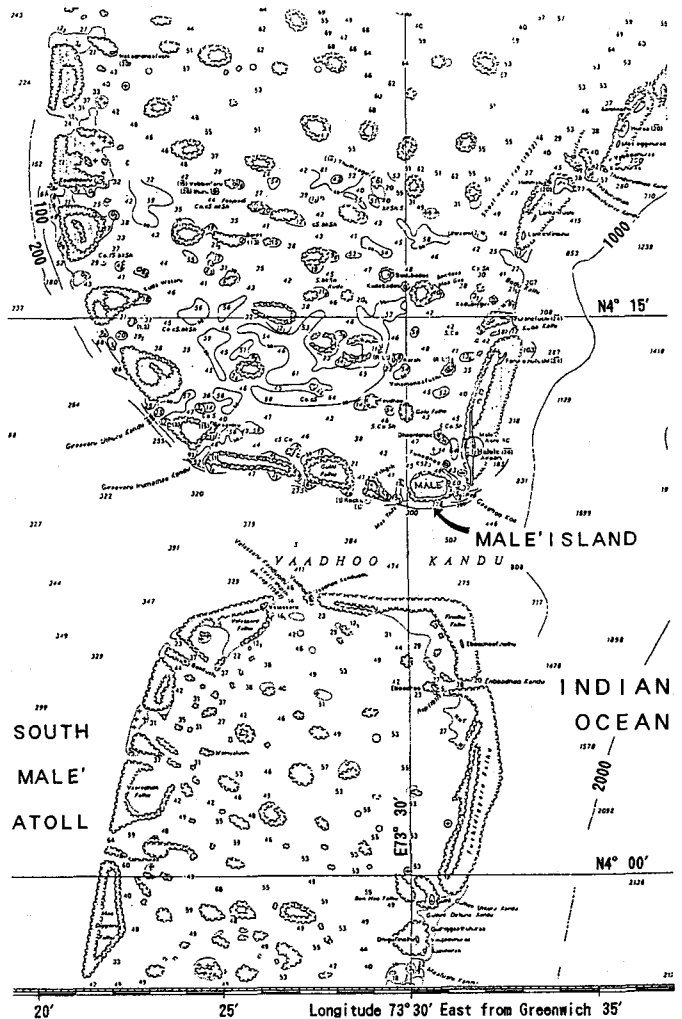


図-1 モルディヴ国マレ島の位置

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長（〒305 茨城県つくば市旭1）

** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー海岸環境部長

*** 正会員 (株)P C Iウォーターフロント開発事業部次長

とんどはマレ島南岸の人口密集地域およびマレ島に隣接するフルレ島にある国際空港に集中している。マレ島で発生した高潮は、島の標高が低く平坦であり、また排水システムも十分でないことから浸水は非常に長期にわたって継続した。1987年には、長期の浸水と高温が原因して下痢性の伝染病が発生した。マレ島の陸地面積は約 1.8km²で、モルディヴ国の全人口 213,215人の約26% (55,130人) が居住している (1990年調べ)。近年、商品販売や買物および医療を受けに他のアトールから渡って来る数千人の浮動人口があり、首都への人口集中が著しく、そのためマレ島は極めて過大な人口密度になっている。近年実施された島の西側および南側のリーフ埋め立て事業により、島の面積は元の面積に対し1/3ほど増加した (図-2 参照)。マレ島の埋立事業は1979年4月に開始され、1986年7月に終了した。事業の目的は、マレ島の西側および南側のリーフ礁原を埋め立て、59.7haの土地を造成し、家屋のない人々への土地供給や、学校、病院、発電所、国内舟運用の港湾、スポーツなどの公共施設用地を確保することであった。事業実施以前のマレ島の土地面積は約108haであった。1979年に14.9haが埋め立てられ、それらのうち22%相当の土地は既に新しい家屋所有者や政府関連機関に譲渡されている。埋立に必要な約85万m³の土砂は主にマレ島北岸にある港湾の浚渫土砂が用いられた。

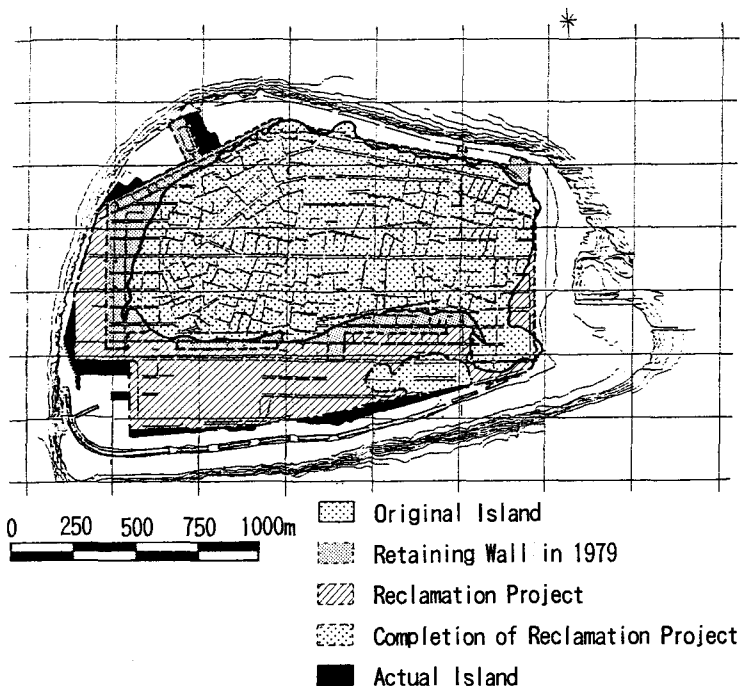


図-2 マレ島の埋め立て経緯

3. 現 地 観 測

マレ島の海岸保全計画を立案するために、島周辺の海底地形測量を実施するとともに、波浪観測および電磁流速計群による海浜流観測を実施した。また、サンゴ礁の実態をダイバーによる潜水調査によって調べた。深淺測量においては、測深音響を連続的に記録し、測深位置を計器により約50m間隔でチェックした。沿岸方向の測線間隔は10mピッチで、測深記録は潮位記録に基づいて補正した。一方、浅い礁原領域では仮設基準点からテープとレベルを用いて測深を行った。海象観測は水圧式波高計と電磁流速計を用いて行った。まず、マレ島南東端沖合のD.L. -20mの地点では、1991年10月より1992年9月まで1年間の波浪潮流観測を行った。また、図-3に示すように、マレ島の東岸と南岸では波、流れに関する短期集中観測を行った。東岸の観測は1991年9月22日～10月2日に、南岸では1991年10月2日～10日に実施した。

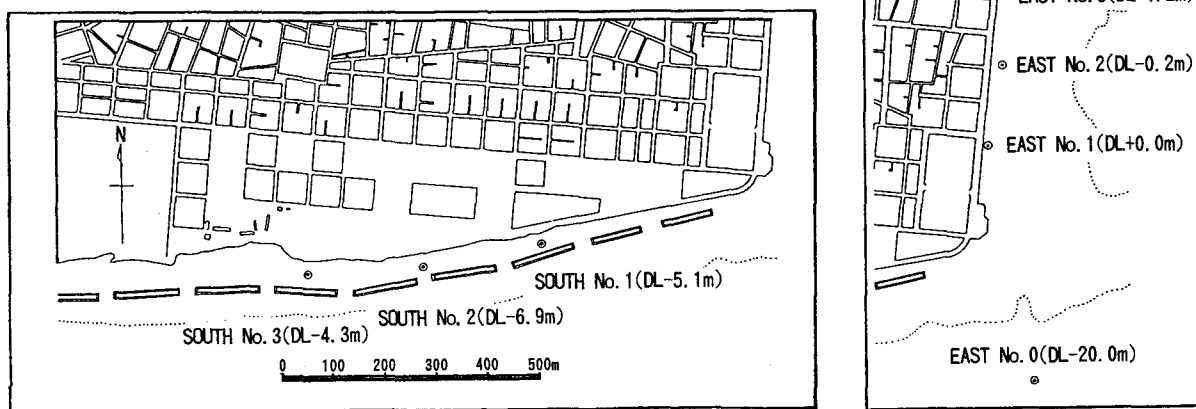


図-3 マレ島東岸、南岸における波浪および流速観測点の配置

4. 観測結果

(1) マレ島周辺の海底地形

今回の深浅測量により得られたマレ島周辺の詳細な海底地形を図-4に示す。マレ島の周辺ではリーフエッジ付近まで埋め立てが進んでおり、特に西岸ではリーフエッジ近傍まで埋め立てられている。一方、南岸では10基の離岸堤があるが、それらの岸側には細長い水路が延びている。この水路は、漁船等の舟溜りとして現在利用されている。図-2に示したように、元々マレ島の南岸と西岸には広いリーフ礁原が広がっていたが、現況ではリーフエッジと海岸線はわずかな距離しか離れておらず、海岸線のすぐ沖に急勾配斜面が迫っている。このことより、高波に対しマレ島はぜい弱な状況となっていることがわかる。

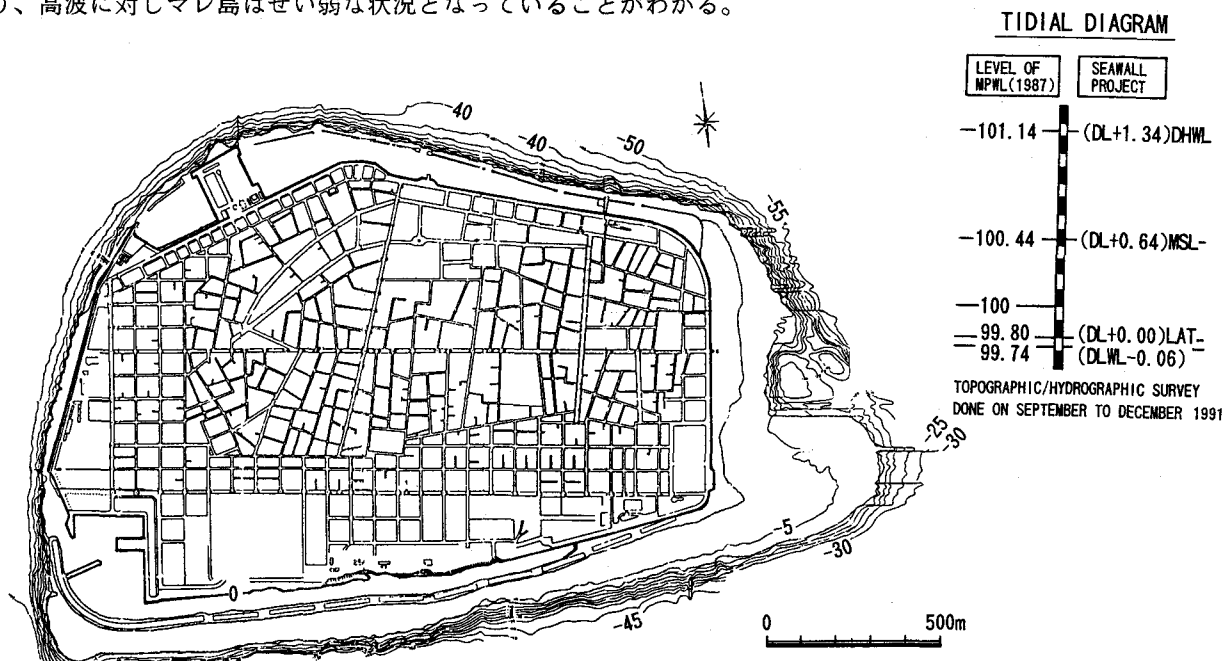


図-4 マレ島周辺の海底地形図

(2) 海面下のノッチの形成

マレ島の西岸では、図-5に示す詳細な測線に沿ってダイバーによる潜水調査を実施した。この結果、海面下のリーフの急斜面上にノッチが発見された(図-6参照)。急斜面上における穴の形成と、その奥行の状態よ

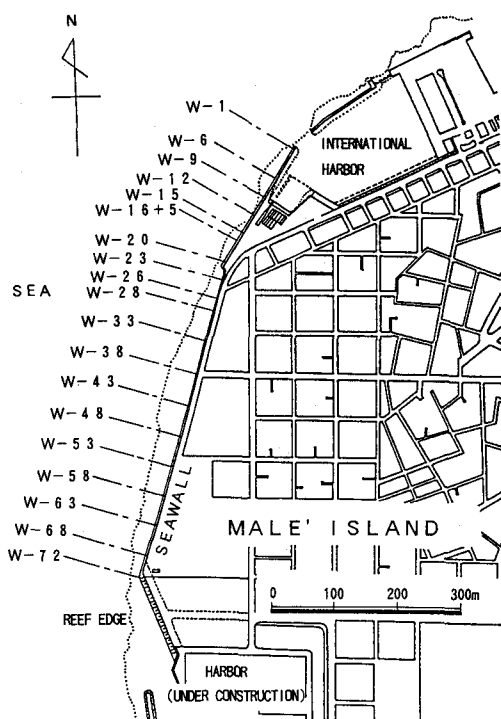


図-5 マレ島西岸の測線配置

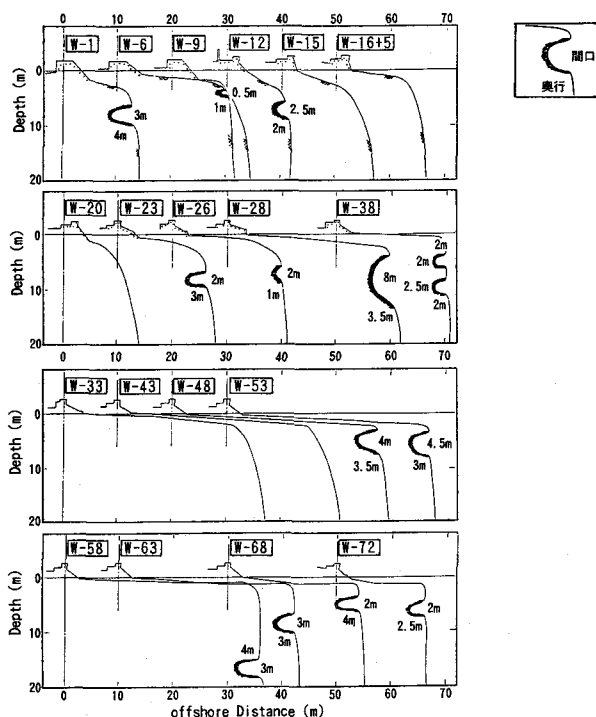


図-6 マレ島西岸の海面下のリーフ急斜面に形成されたノッチ

り、これらは波の作用で形成されたと推定される。ノッチの形成水深は、W-58測線を除けば平均で約6mにある。また、ノッチの奥行は最も深いもので4mに達する。これらが波食で形成されたとすれば、海水準が低かった時代に形成されたことになる。また、ノッチの形成水深はかなりばらついているものの、現在の海面より数m下であるから、海水準が低い時代にノッチが形成されたあと、海面がかなり急速に上昇したと予想される。

(3) 入 射 波 の 特 性

マレ島南東端沖の測点No. 0における、1991年10月1日より1992年9月30日までの波浪観測により得られた波高階級別の波高出現率を図-7に示す。これによると、大部分の波はS E方向から入射していることがわかる。また、図-8には同じデータより求めた有義波の波高と周期の出現率を示す。最多頻度の波高は0.5～0.75mにあり、1.5 m以上の高波浪の出現頻度は0.4 %である。また、周期は10～12.5 sにピークがある。通常の風波と比較するとやや周期が長く、マレ島の東岸、南岸には主としてインド洋からのうねりが作用していることを表わしている。

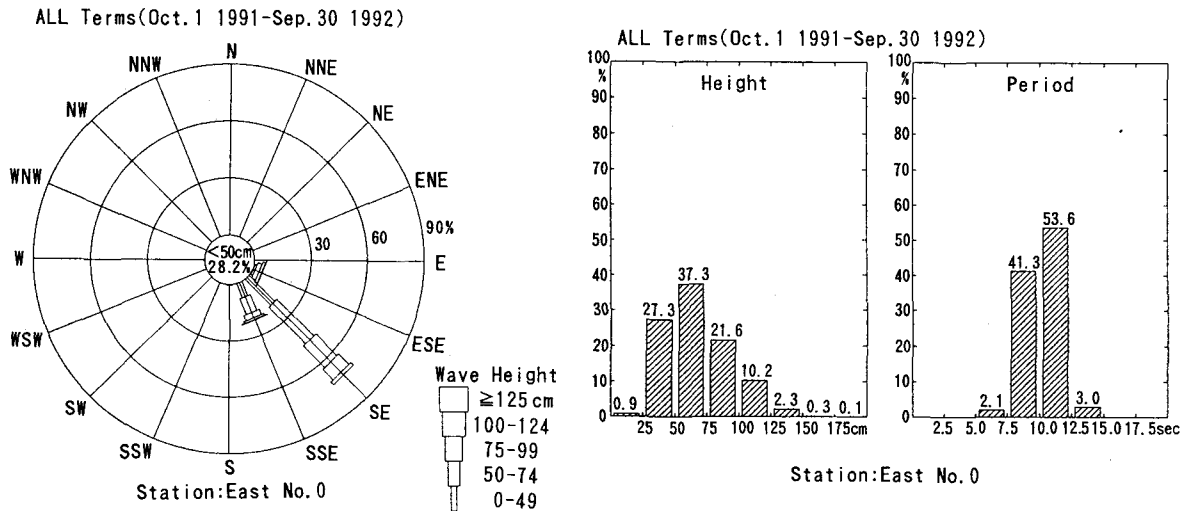


図-7 マレ島南東端沖合における入射波の波向 図-8 マレ島南東端沖合の有義波高および周期の出現率

(4) マレ島南岸の流況

マレ島南岸での波高・流速の観測点は、離岸堤背後の岸側に位置しているため出現波高は低い。離岸堤の開口部の位置で観測した波高は30～40cmであった。図-9には海浜流観測の結果を示す。流向は全体に西向きである。離岸堤はリーフ上の浅海底に設置されているが、その岸側には深い水路がある。このため主として離岸堤の開口部より岸側へ進行する波は開口部で碎波し、強い岸向きのフラックスが離岸堤群の岸側へ流入することになる。この流れは水路に沿って全体として西向きに流れ、マレ島の西端にある港の港口を通じて沖へと流出している（図-2）。このような流れは、活発な海水交換を意味し、南岸に沿う水路と港内の水質を良好に保つ上で非常に役立っている。

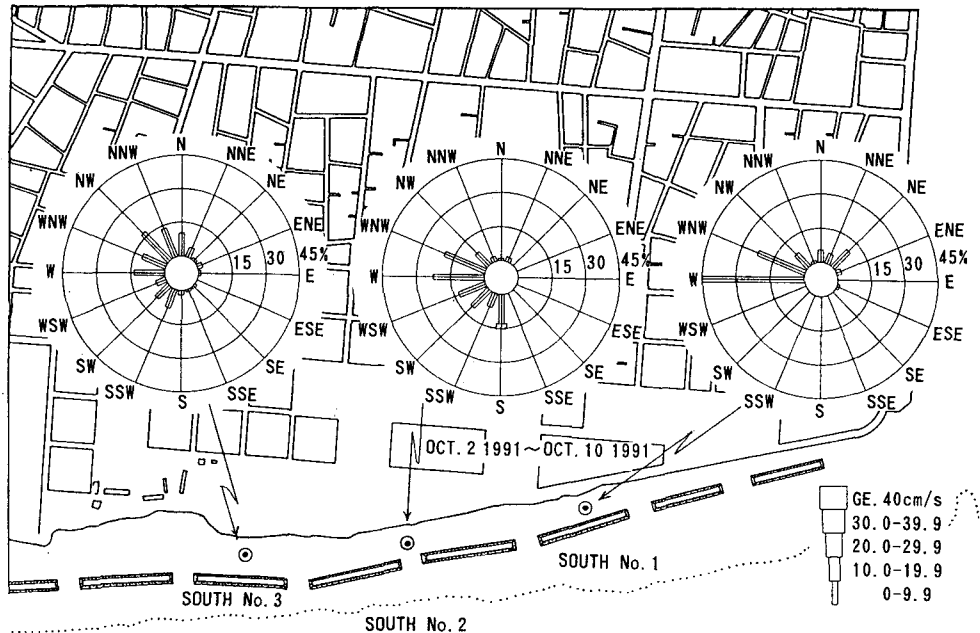


図-9 マレ島南岸における海浜流の流向

(5) マレ島東岸の流況

マレ島東岸においても波および流れの観測を行った。観測値を流速の階級別の流向頻度としてまとめたのが図-10である。図中には、南東端沖のNo. 0における流速観測値を併せて示した。マレ島東岸に沿うNo. 1～No. 3のいずれの測点においても常時北向きの沿岸流が卓越している。これは、リーフ外に位置するNo. 0で東西方向の潮流による往復流が発達することと際立った対照を示す。No. 1～No. 3における北向きの流れは、潮位変動によらず出現していることから、これはリーフ上での砕波に伴う海浜流と考えられる。

5. 海浜流の数値計算との比較

マレ島東岸では潮位変動にかかわらず常時北向きの流れが観測された。リーフ上における海浜流は、沖縄の仲泊海岸（谷本ほか、1988）や、バリ島のリーフ（谷本ほか、1989）などにおいても観測されている。このことから、このような流れは潮流ではなく、リーフエッジ付近での砕波により誘起された海浜流と考えられる。そこで、谷本ほか（1989）の研究と同様、海浜流の数値モデルによる検証計算を行った。まず、図-11には、東岸の海底地形を示す。マレ島東岸のうち、南端には大きく尾根状に浅海域が東方に延びており、そのすぐ北側では逆に凹状の深みがあり、等深線が大きく湾入している。東岸の北半分は、幅100 mほどのリーフ礁原の平坦面が広がり、水深約2 mより沖は急峻に切れ落ちている。一方、南岸に沿っては等深線はほとんど平行に伸びている。以上のように南東端沖の海底地形はかなり複雑であり、沖合からの入射波は浅海域でかなり著しく屈折変形するはずである。そこで、卓越波の入射方向であるSE方向より $H_0' = 0.78\text{m}$ 、 $T = 12.8\text{s}$ の波を入射させて放物型モデルを用いた屈折計算を行った。波向線図を図-12に示す。南東端部付近では波向線が交差し、複雑な波峰線形状となることが分かる。また、この波では南岸および東岸ともほぼ汀線に対して直角方向より波が入射することも明らかである。

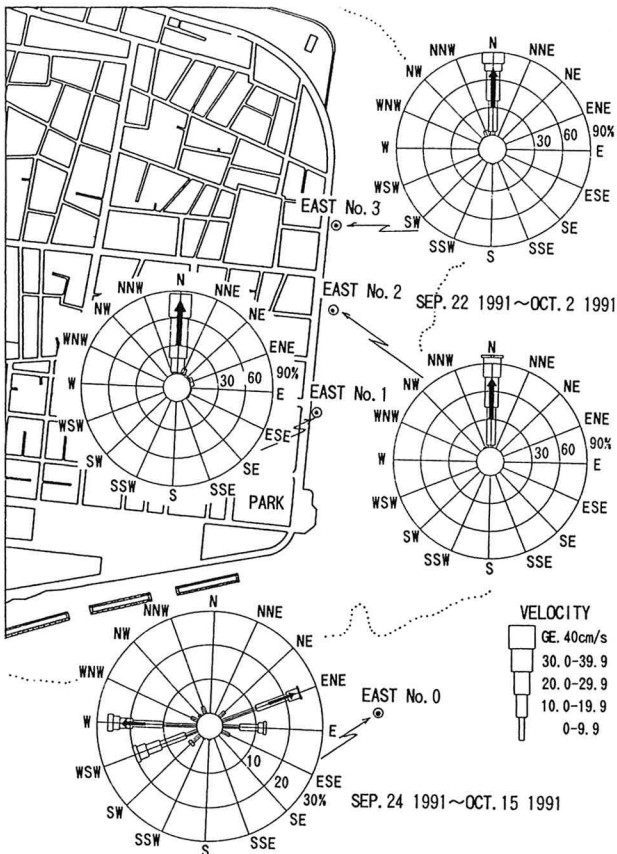


図-10 マレ島東岸における海浜流の流向

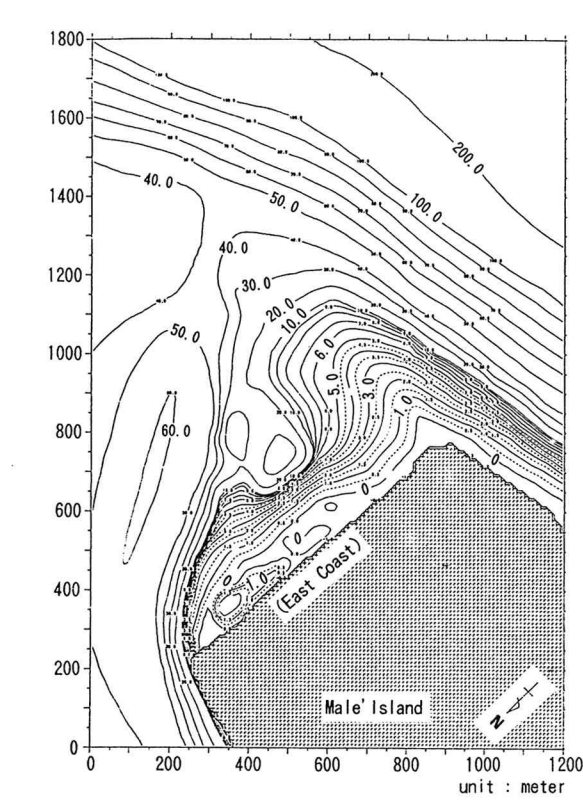


図-11 マレ島東岸沖の海底形状

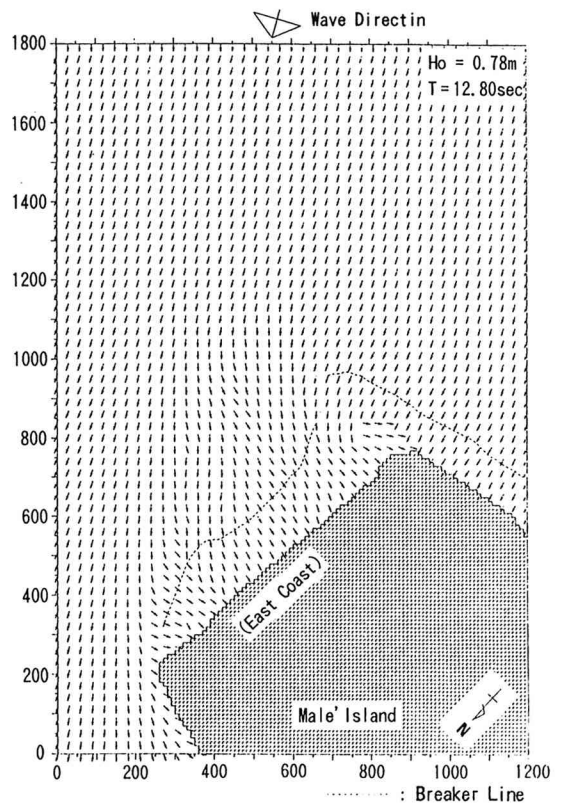


図-12 マレ島東岸沖の波向分布（計算）

図-13は、1991年9月21日に撮影した南東端の空中写真である。図-12に示した計算結果と比較すると、南東端沖での波峰線の交差状況など、両者はかなりよい対応を示している。図-14には $H_o' = 3$ m, $T = 16$ sの入射波条件を仮定して求めた海浜流の計算結果を示した。南東端では非常に複雑な流況を示すが、東岸に沿って北向きに流れる沿岸流の発達が顕著に現われている。そしてこの点は、図-10に示した実測結果において常時北向きの沿岸流が発達していた点と非常によい一致を示す。このことより、図-10に示した東岸に沿う流れは潮流ではなく、碎波に伴う海浜流であることが確認された。

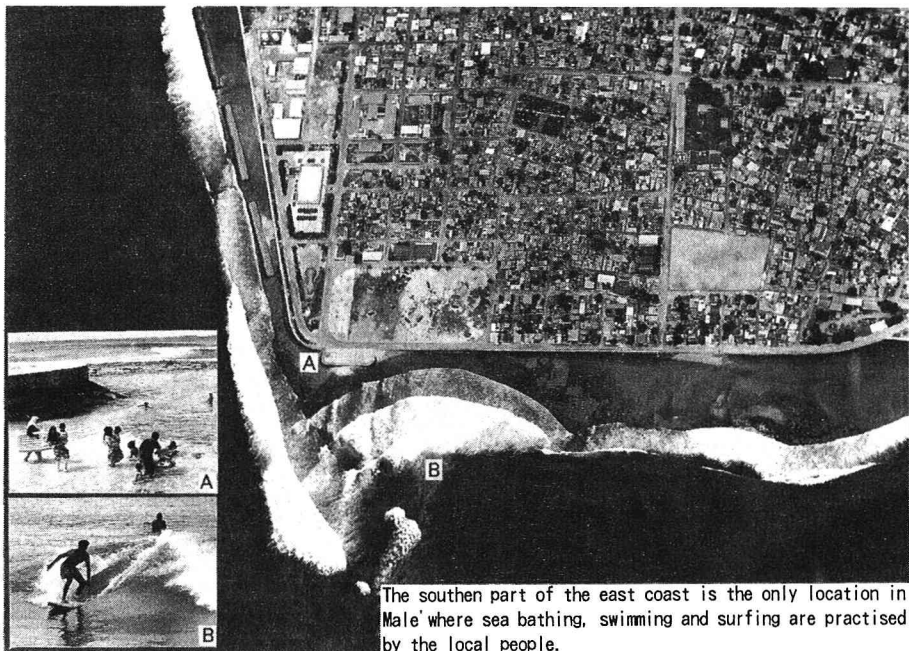


図-13 マレ島東岸の空中写真（1991年9月撮影）

6. 結 論

モルディヴ国マレ島での地形測量と波および流れの観測によって得られた結論は以下のとおりである。

- ①マレ島周辺の詳細な深浅測量の結果、マレ島西岸の海面下のリーフの急斜面にノッチが発見された。ノッチの深さは海面下約6 mにあり、その最長奥行は4 mであった。
- ②マレ島の南東端沖での1年間の波浪観測によれば、卓越波向の方向はSEであり、周期は10~12.5 sが卓越することがわかった。これはインド洋からのうねり成分に相当する。
- ③マレ島南岸の離岸堤の岸側に設置した3台の電磁流速計を用いた観測によれば、南岸の水路に沿っては西向きの流れが常時発生している。この流れは離岸堤の開口部からの碎波により引き起こされたものであり、西端の港より港外へと流出する一つの大きな循環流系が形成されている。この流れの存在は、南岸に沿う水路や港内の海水交換を促進し、良好な水質を保つ上で非常に役立っている。
- ④マレ島東岸のリーフ礁原上では、常時北向きの流れが発達していることが現地観測で確かめられた。また、海浜流の数値計算により、SW方向からの入射条件でこのような流れが実際に生じることが示された。

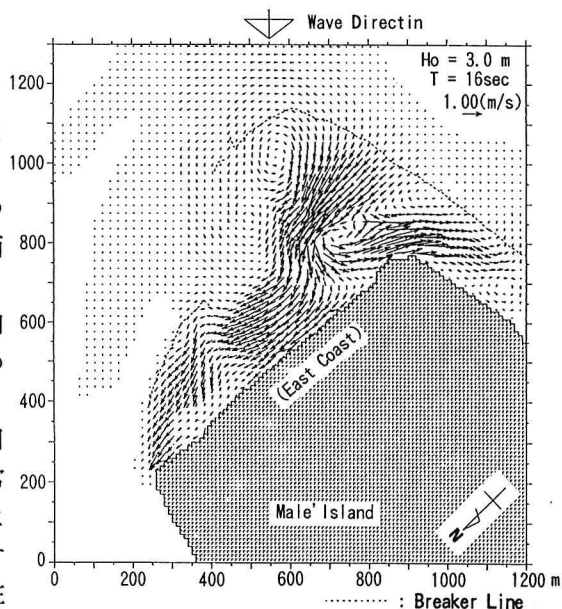


図-14 マレ島東岸沖の海浜流（計算）

謝 辞：本研究に必要とされるデータの使用を御承認いただいた国際協力事業団に深甚な謝意を表します。

参 考 文 献

- 宇多高明(1988)：モルディヴにおける高潮災害の現地調査，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 212 - 216.
- 谷本修志・中野泰雄・大月和義・宇多高明・小俣 篤・(1988)：沖縄県仲泊地区のリーフ周辺での波と流れの観測，第35回海岸工学講演会論文集，pp. 207-211.
- 谷本修志・宇多高明・桜本 弘(1989)：バリ島のリーフ周りの波・流れ、地形変化の観測、海岸工学論文集、第36巻、pp. 229-233.
- 谷本修志・宇多高明・高木利光(1989)：リーフの筋目模様から予見された流れの数値計算による検証、海岸工学論文集、第36巻、pp. 229-233.