

# インド洋大津波によるモルディブ共和国マレ島・空港島の浸水特性とそれに及ぼす護岸・離岸堤の影響

大谷英夫\*・藤間功司\*\*・嶋原良典\*\*\*・富田孝史\*\*\*\*・本多和彦\*\*\*\*\*  
信岡直道\*\*\*\*\*・越村俊一\*\*\*\*\*・折下定夫\*\*\*\*\*  
辰巳正弘\*\*\*\*\*・半沢 稔\*\*\*\*\*・藤井裕之\*\*\*\*\*

インド洋大津波は震源から2000 km 離れた環礁島モルディブにも大きな被害を残した。空港島では、護岸や建屋の被災、10時間の空港閉鎖等の被害が見られたのに対し、それに隣接するマレ島では死者は無く、建屋の被害もわずかと、被災規模の差が大きい。また、マレ島では護岸が津波の被害を食い止めたと言われているが検証はなされていない。本研究では、マレ島の浸水域、空港島の津波痕跡高、状況証言、構造物破壊形態について現地調査を行い、津波痕跡および被災状況の実態を明らかにした。さらに、伝播計算を援用し津波の挙動を明らかにし、被災メカニズム、護岸・離岸堤の効果を検証した。

## 1. 緒 論

2004年12月26日0時58分49秒(UTC)、北スマトラ西方沖で、深さ10 km を震源とした  $M_w=9.0$  の地震によりインド洋大津波が発生した。この津波は、震源から2000 km 離れた環礁島モルディブにも死者82名、行方不明者26名というモルディブ史上最悪の被害を残した。モルディブは南北約800 km の海域に環礁が連なり、それらに1,190の島々が点在した島嶼国である(図-1)。地球温暖化による海面上昇が深刻な問題となっている上、この大津波により、津波という課題の比重が高まるが予想される。しかし、環礁島一般においても津波に関する記録が極めて少なく、防災・減災対策を計画するのも容易ではない。また、モルディブで最も都市化が進んだ首都マレ島(写真-1)と空港島においては、被害規模の差が大きく、複雑な津波の挙動を示唆している。マレ島では日本の無償資金協力により建設された護岸の減災効果が挙げられてはいるが、検証はなされていない。よって、モルディブの津波挙動と被災のメカニズム、既設海岸構造物の効果を明らかにすることは、沖縄地方や南太

平洋などの環礁島も含めた津波防災計画に非常に重要である。

本研究では、マレ島の浸水域、空港島の津波痕跡高、状況証言、構造物破壊形態について現地調査を行い、津波痕跡および被災状況の実態を明らかにした。さらに、伝播計算を援用し津波の挙動を明らかにし、被災メカニズムおよびマレ島の護岸・離岸堤の津波に対する効果を検証した。なお、本研究は、土木学会、文部科学省によるモルディブ調査団の調査結果のうち、首都マレ島と空港島についての報告である。

## 2. マレ島・空港島の被害状況

### (1) 調査方法

2005年2月2日に Hulhule island (以下、空港島) および Hulhumale' (以下、新マレ島)、2月1日と2月4日に首都 Male' (以下、マレ島) の調査を行った。空港島・新マレ島では、地盤高、津波痕跡高、および護岸の被災形態に関して調査した。また、津波の挙動を把握す

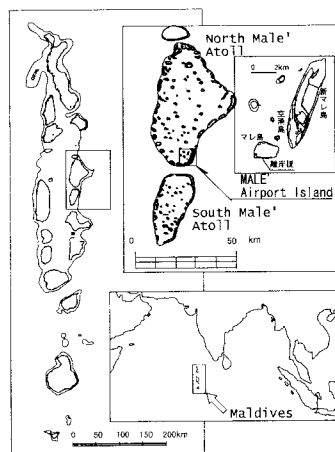


図-1 モルディブ共和国マレ環礁の位置

|           |      |                                 |
|-----------|------|---------------------------------|
| * 正会員     | 工修   | 大成建設(株)技術センター主任研究員              |
| ** 正会員    | 工博   | 防衛大学校教授 建設環境工学科                 |
| *** 正会員   | 博(工) | 防衛大学校助手 建設環境工学科                 |
| **** 正会員  | 博(工) | (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター主席津波研究官 |
| ***** 正会員 | 修(工) | (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター特任研究官   |
| ***** 正会員 | 工博   | 茨城大学助手 工学部都市システム工学科             |
| ***** 正会員 | 工博   | 東北大学助教授 大学院工学研究科災害制御研究センター      |
| ***** 正会員 |      | パシフィックコンサルタンツインターナショナル部長        |
| ***** 正会員 |      | 若築建設(株)国際事業部長                   |
| ***** 正会員 | 工修   | (株)テトラブロック事業本部技術グループリーダー        |
| *****     | 修(工) | (株)アイ・エス・エー 海岸部                 |



写真-1 マレ島



写真-2 陸から海への浸透流による空隙

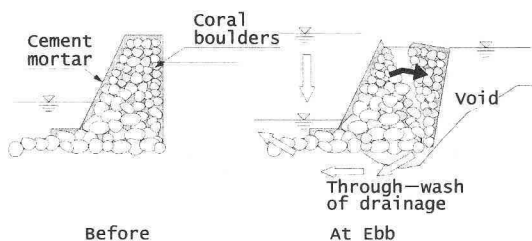


図-2 吸出しによる護岸の倒壊機構

るため聞き取り調査を行った。マレ島では浸水被害の実態を知るため浸水域の特定、地盤高測量を行った。さらに、浸水は護岸高と密接な関係があることから護岸高を島全周にわたり調査した。

## (2) 空港島の被害状況とその特徴

空港では被災当日現地時間 9 時 20 分 (UTC 4 : 20) ごろ津波が来襲し、15 分間ほど冠水した。滑走路上の堆砂、旅行者の荷物の飛散等の被害が発生し、約 10 時間空港機能がマヒした。滑走路ライトの修理には 18 時間を要した。また、併設されているエアタクシー (水上飛行機) の乗り場では、建屋が床上約 1 m 浸水し、軒先などが津波により破壊された。土木構造物の主な被害は、①護岸・岸壁の破壊、②侵食防止ブロック (モルタルバック) の飛散、③空港と新マレ島を結ぶ東海岸沿いの道路 (コーズウェイ) の侵食・流失、④島内の壁の倒壊であった。空港島の被災を拡大させた原因として護岸の構造上の問題が上げられる。護岸は径 20 cm 程度の珊瑚塊をモルタルで固めたもので引張り強度がなく水圧に抵抗できない。また、越流水が海側への浸透流となり基盤砂を吸出した破壊形態が多く見られた (写真-2、図-2)。第一波で破壊に至り、第二波以降の越流を防ぐことが出来なかったと考えられる。護岸に対するこれらの被災形態は、環礁島特有のものであると言える。本来、リーフに守られ波浪が小さい場所なので、高水圧に耐えられる構造になっていないことが津波に対して護岸が脆弱な原因である。また、低水位時のコーラルサンドの吸出しによる破壊形態は、透水性の高いコーラルサンド地盤の特徴的な破壊形態とみなされる。

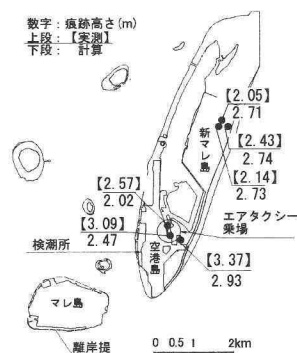


図-3 空港島・新マレ島の津波痕跡と計算結果

## (3) 空港島における津波の挙動

津波痕跡調査の結果、空港島東側では 2 m から 3 m (図-3) とタイなどに比べ小さいことが分かった。北マレ環礁の東の海底勾配が非常に急であり、浅水変形による波高の増加が小さかったことが理由の一つと考えられる。聞き取り調査の結果、環礁島特有の現象と思われるものがいくつかあった。空港島リーフ内ほぼ中央に当たるエアタクシー乗り場では、津波がインド洋大津波の来襲方向である東からと、リーフの内海に沿った北からの 2 方向から数十分の時間遅れをもって来襲したという証言が得られ、津波挙動が非常に複雑であったことが伺える。図-3 においても津波の直撃を受けた東岸よりも、常時は最も静穏なエアタクシー乗り場の方で高い痕跡高が確認されていることが分かる。また、津波が遡上する直前に、陸上にある窪地から海水が湧き出したという証言も得られ、非常に透水性の高い環礁島特有の現象であると考えられる。

## (4) マレ島の浸水状況と被災状況

マレ島では、複雑に入り組んだ道路を 2 日間にわたり調査した結果、信頼度の非常に高い浸水域 (図-4) の特定に成功した。浸水境界は、道路を横断する高さ 10 cm ほどの凸状の車止め (速度抑制対策) で支配されていたものの、地盤高はほぼ M.S.L. + 1.1 m と一様であり、浸水境界においては流水の慣性力が小さかったことが分かる。また、護岸高の低い北側を除き、南側で浸水面積が広く、越流が南から南西にかけて激しかったことが示



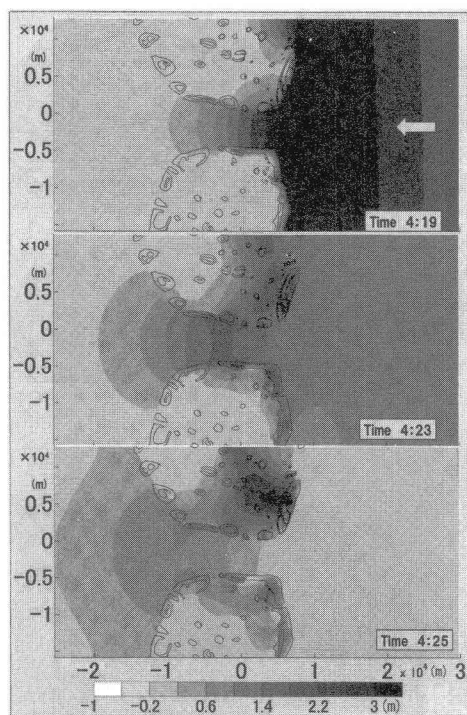


図-9 南北マレ環礁を通過する津波（大領域）

た透過構造物として計算した。ブロックは乱積として空隙率0.4、コーラルロックは乱積として空隙率0.5である。計算ケースは、護岸の有無、離岸堤の有無をみるために表-1のように設定した。Case4では、潮位の影響をみるために、当日の満潮位を初期水位とした。計算による津波高を図-3に示した。計算は平均的に実測を反映した。

### （2）空港島・マレ島への来襲特性

空港島とマレ島は、北マレ環礁の南東端部に位置し、その東側は急な海底勾配を成し、水深2000 m以上の深海に繋がる（図-7）。南マレ環礁との間には水深300 mの海峡が横たわっている。北マレ環礁内の水深は30 m程度で、島々はリーフに囲まれている。計算結果を図-9に示す。津波は南北マレ環礁に到達すると、環礁に乗り上げるより早く短い時間で両環礁間の海峡に集中した。その結果、空港島では東側から、マレ島では南側から水位が上昇した。環礁上では津波の速度が急激に低下し、計算開始25分後には、主な津波は海峡をすでに通過しているにも関わらず、一部は環礁内に取り込まれた。この後、環礁内の津波は、多重反射する複雑な様相を見せた。

空港島とマレ島近傍の津波の挙動について考察する（図-10）。空港島では現地証言と同様に2方向からの来襲が計算でも確認された。一つは空港島の東側のリーフから遡上し、コースズウェイを越流入（4:23）した津波である。もう一つは、新マレ島の北側からリーフ内へ進入、南下して、空港島のエアタクシー乗り場の港で行き

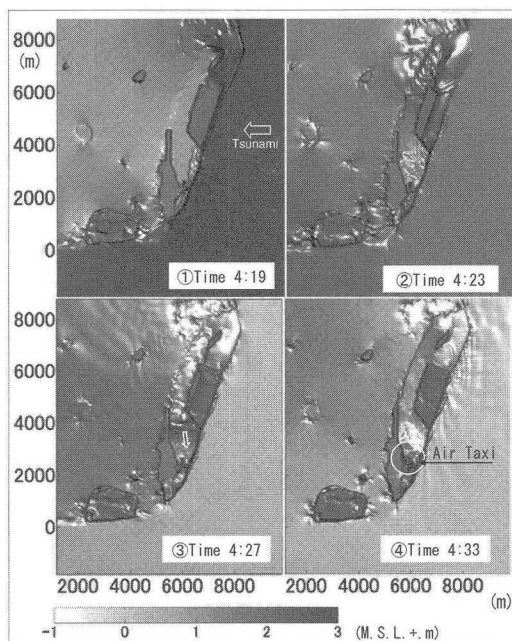


図-10 空港島とマレ島近傍の津波（小領域）

詰まった（4:33）津波である。常時は最も静穏な港で3 mもの水位上昇を発生させたメカニズムである。一方、マレ島では、浸水が南から南西にかけて発生していることが分かる。すなわち、南岸の健固な離岸堤と護岸が津波の浸入程度を決めるカギとなったと言える。

### （3）マレ島の離岸堤・護岸の効果

離岸堤と護岸が浸水域の低減にどれだけ寄与したかを考察する（図-11）。Case1（護岸あり・離岸堤あり：現況再現）では、実測に比べやや浸水域が大きいものの、計算による再現性は良好と判断される。Case2（護岸あり・離岸堤なし）ではCase1に比べ非浸水域がその南側で縮小した。さらにCase3（護岸なし・離岸堤なし）では、標高の高い北側にわずかな非浸水域を残し、島のほとんどが浸水した。もし、マレ島の護岸が空港島と同様の脆弱な構造であったら、Case3に近い状況となっていた可能性が高い。浸水域の低減化は、離岸堤による流水断面の縮小や護岸天端によるかさ上げが越流流量をピークカットしたことが主な原因と考えられる。ただ、インド洋大津波が当日の満潮時に来襲したとしたCase4では、マレ島全土が浸水する結果となり、現状の護岸でも津波の防御に限界があることが示された。護岸が越流水の運動量低減に寄与したことも期待される。図-12に、南岸において護岸から約200 m陸側に浸水した時刻の流速分布を比較した。Case3（護岸なし・離岸堤なし）に比べ、Case1は広い範囲で陸上の流速が低減されていることが分かる。これを津波の運動量流束分布としてまとめたのが、図-13である。運動量流束は離岸堤一基分の長さ

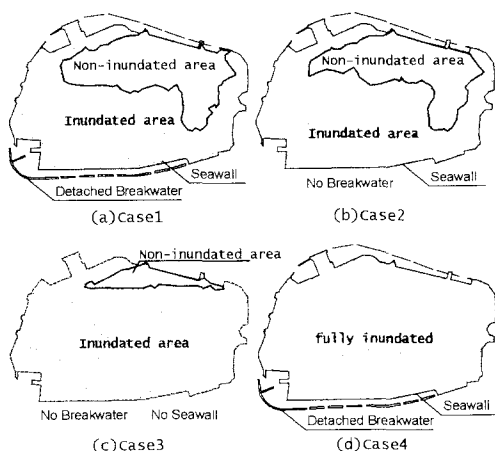


図-11 浸水域の比較

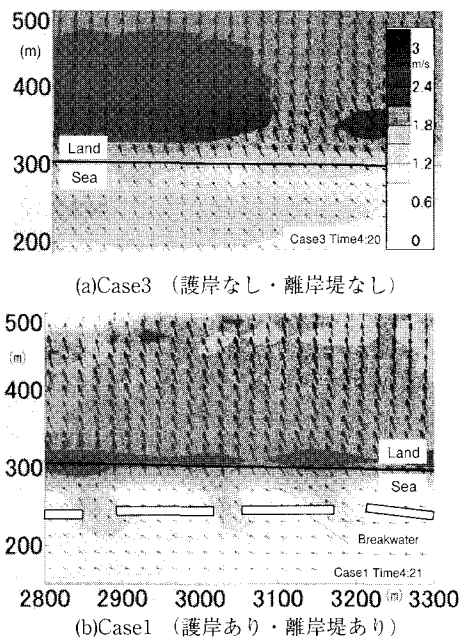


図-12 越流流速の平面分布

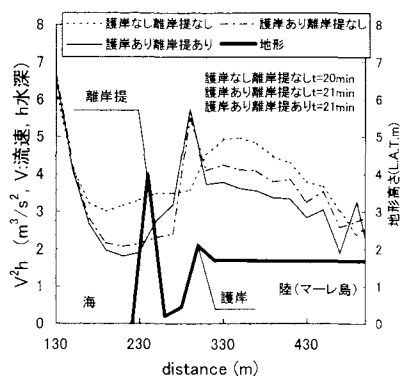


図-13 運動量流束の縦断分布

その開口幅を合わせた延長で平均した。Case1（護岸あり・離岸堤あり）では、運動量は護岸前面で大きく低減されている。護岸の直上では、越流による加速のため運動量が大きくなるが、陸上では、Case3（護岸なし・離岸堤なし）の約1/2に低減された。護岸や離岸堤が陸上の構造物に対して流水の衝撃を緩和する効果を持つことが示された。さらに図-12、図-13では、護岸があるケースは、護岸なしのケースに比べ1分間、浸水の進展に時間遅れが出ていることが示されている。これは津波目撃後の避難時間が1分延長したことを意味し、この点も護岸の効果として挙げられよう。

#### 4. 結 論

主な結論を列挙する。

- (1) 空港島・マレ島に襲った津波高は2m～3mである。
- (2) 環礁島特有のコーラルブロックで作られた護岸は高水圧には耐えられない。また、地盤の透水性が高く、護岸基部の砂の吸出しによる破壊が顕著であった。
- (3) 空港島の最も静穏な港で高い津波痕跡高を記録したように、リーフ内では、波浪と異なり、津波の内海に沿う伝播・反射などに起因した水位上昇が発生する。
- (4) マレ島では浸水域を特定した。島の南側からの越流が浸水域拡大に寄与したことが明らかになった。
- (5) マレ島の護岸は、越流量のピークカット、越流水の運動量低減、さらに、避難時間の増加等の効果を有することが示された。ただ、高潮対策で強固に作られた護岸であることが前提である。満潮時に襲った場合は、マレ島全土が浸水する結果となり、現状の護岸でも津波の防御に限界があることが示された。

謝辞：本調査を実施するにあたり、文部科学省特別研究促進費（題目：2004年12月スマトラ島沖地震津波災害の全体像の解明、代表者：河田恵昭京都大学教授）の補助を得た。また、モルディブでは、Department of External Resources Ministry of Foreign Affairs, Maldives Airports Co. Ltdの協力を得て行われた。ここに謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 近藤俊郎・竹田英章(1983)：消波構造物，森北出版，p. 88  
 Fujima K.・T. Tomita・K. Honda・Y. Shigihara・H. Nobuoka・M. Hanzawa・i. Fujii・H. Ohtani・S. Orishimo・M. Tatsumi・S. Koshimura(2005)：Preliminary Report on the Survey Results of 26/12/2004 Indian Ocean Tsunami in the Maldives., 89p.  
 University of Hawai'i sea level center(2005)：http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhsic/iotd/male1.html 参照2005-03-01。