

附 属 資 料

1. 要 請 書
2. S/W
3. M/M
4. 収集資料リスト
5. 面談者リスト
6. モルディヴ国政府機関組織図
7. モルディヴにおける高潮災害

REPUBLIC OF MALDIVES

TECHNICAL COOPERATION
BY
THE GOVERNMENT OF JAPAN

APPLICATION
BY
THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF MALDIVES
FOR
THE DEVELOPMENT STUDY
ON
THE SEAWALL CONSTRUCTION PROJECT IN MALE ISLAND
TO
THE GOVERNMENT OF JAPAN

MARCH 1990

TECHNICAL COOPERATION
BY THE GOVERNMENT OF JAPAN

APPLICATION

This application is made by the Government of the Republic of Maldives for a Development Study on Seawall Construction Project in Male' Island to the Government of Japan.

1. Project digest

- (1) Project Title
Development study on Seawall Construction Project in Male Island
- (2) Location
Male Island, Republic of Maldives. (Shown in Fig 1.1 -Fig1.3 & 1.3.1)
- (3) 1) Executing Agency
Ministry of Foreign Affairs

2) Implementing Agency
Ministry of Public Works & Labour

(4) Justification of the Project

The capital of the Republic of Maldives is Male Island where more than 60,000 reside in a small area of less than 2 km². Male' is a low and flat coral island and is extremely vulnerable to high tide and waves. The island suffered seriously from a disaster caused by an abnormal high tide and waves in April 1987. In response to a request of the Government of the Republic of Maldives for investigation on damages, the Japan International Cooperation Agency (JICA) made a field survey and basic design in July 1987. Based on the plan submitted by JICA, the construction of the detached breakwaters was started on September 1988 and are now at the final stages of construction along the southern coast as an urgent means against high tide. The detached breakwaters are expected to considerably reduce wave overtopping however in order to ensure safe livelihood of

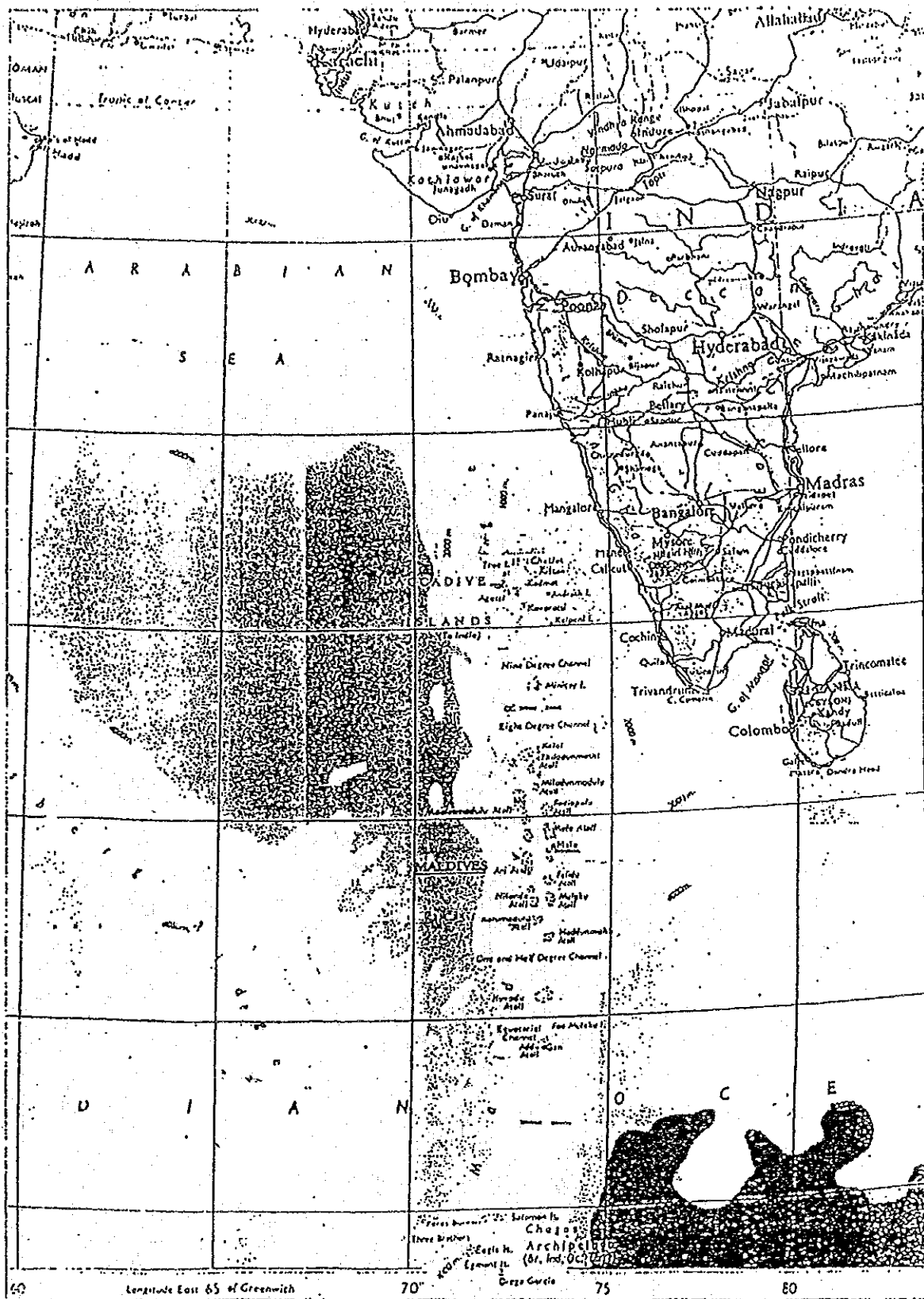
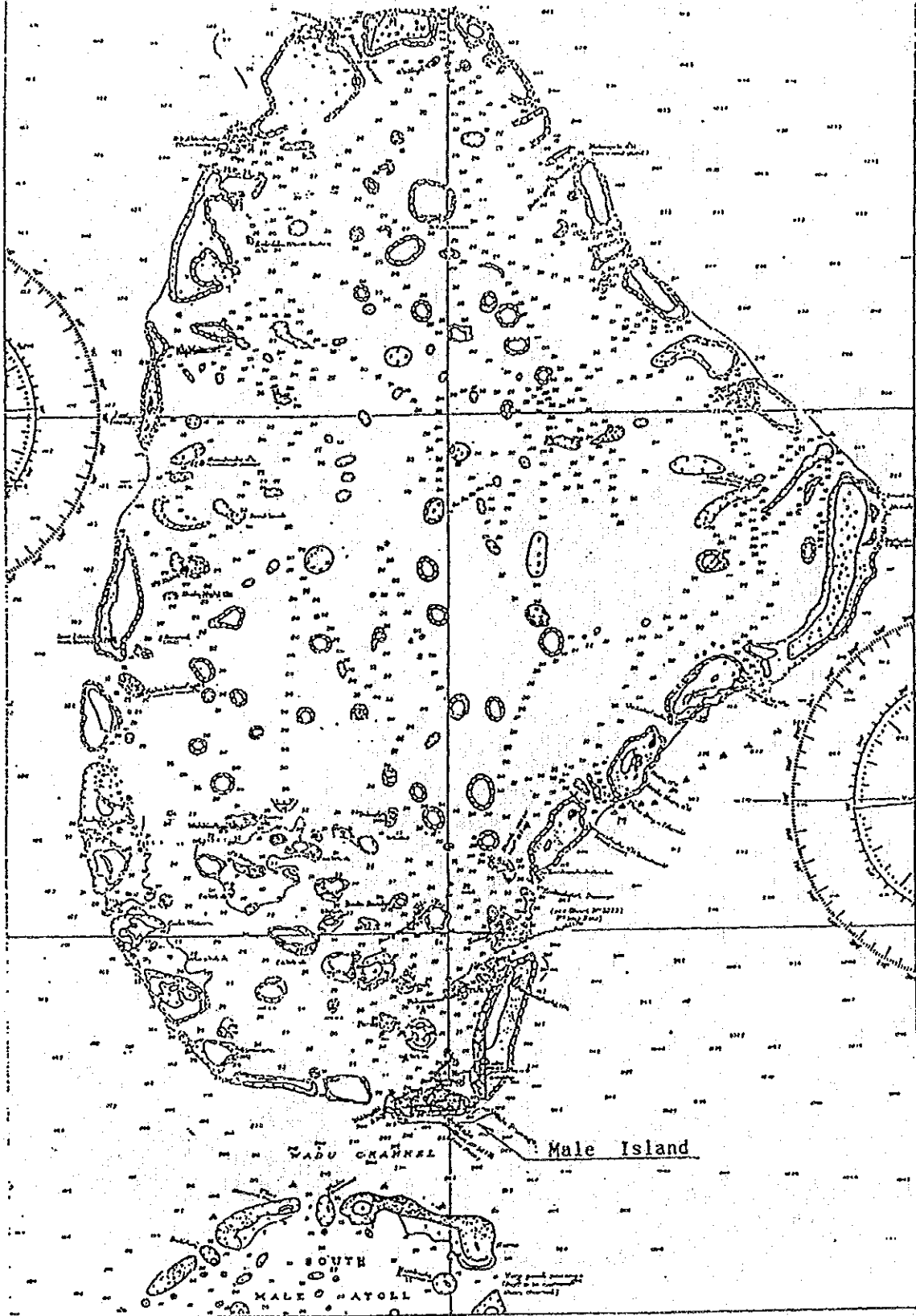


Fig. 1.1 Republic of Maldives

Fig. 1.2 North Male Atoll



the residents of Male Island, the seawall construction is indispensable. This thought automatically leads to this development study on seawall construction project.

The needs for ensuring safe livelihood to the residents of the Island is obvious and the Government has assigned the highest priority for the seawall construction project in Male Island.

- (5) Expected commencement date of the project study
Mid - June, 1990
- (6) Prospective funding source
Japanoco Grant Aid.
- (7) Other relevant Projects

The following projects are closely related to this particular project and should be studied in detail in planning alignment and structure of the seawalls.

- a. Male Land Reclamation Project
- b. Port Development for Inter-island Transport and Fishing Boats
- c. Waste Treatment Plant
- d. Power Plant Project
- e. Water supply and Sewage Development Project
- f. Desalination Plant Project
- g. Construction Project of Detached Breakwater

2. Terms of Reference

(1) Background of the Project

Any serious damage caused by abnormal high tide had not been recorded before 1986 in the Republic of Maldives but thereafter high tides occurred three times and caused considerable damages. In April 1987, in June and July 1988. Abnormal high tide occurred all over the country from 10-15 in April 1987 and caused damages on seawall, private houses, airport terminal, etc. The total loss caused by this high tide is estimated at about US\$ 6.0 million concentrating

along the heavily populated south coast of Male Island and at the airport in Hulule Island. The high tides which occurred in 1988 were smaller in scale than the one in April 1987 and flooded the area along the southern coast in Male. When high tide occurs in Male Island, flood water continues to stay for a considerably long period main reason being the island flat and low lying and not provided with an adequate drainage system. In 1987, due to a flooding for a long period coupled with high temperature, an epidemic of Diarrhea broke out.

The damages by high tide occurred in 1988 were minimized by preventing flood water intrusion by constructing temporary stop water sand mound of 0.5 m high and 4m wide across the road in the southern area of the island. Further, soil was moved to along the shoreline of reclamation area to prevent overtopping of waves by the bulldozer owned by Japanese Construction company working for the detached breakwater project.

In response to the request of the Government of the Republic of Maldives for investigation on damages caused by abnormal high tide, the Japanese Government had an urgent mission to study for 9 days from 24th April 1987. The mission surveyed the damaged sites and recommended urgent construction of a detached breakwater along the southern coast of Male Island and following the recommendation the Government of the Republic of Maldives requested the Government of Japan a grant aid for this Project. The Japan International Cooperation Agency had a basic design study mission to work in field for 23 days from 30th July 1987. Based on the plan submitted by JICA, detached breakwaters are now under construction along the southern coast as an urgent means against tide.

(2) Purpose of study

The southern area in Male Island is a low lying reclaimed land with its ground level almost the same as the spring high water level, however a seawall is not provided along the coast. While along the west and east coasts, seawalls have been constructed but they are obsolete and not properly designed against high tide and wave overtopping. The north seawall is sheltered from wind waves generated in the atoll by breakwaters of the Male Port but the crown height of the seawall is not high enough and was overflowed in 1988 high tide.

The land area of Male is less than 2km² and accommodates about 28% of the nations total population of 200,000. In recent years, population has shown a high concentration into the capital forming a extremely high population density in Male.

Therefore, in order to ensure safe livelihood to the residents of Male Island, the development study of the improvement of the seawall in Male Island is urgently required.

(3) Scope of the study

Sea conditions such as tide and wave are the most fundamental parameters in designing a seawall

In designing the seawall, peculiar conditions in Male such as complicated sea bed configuration in reef area, un-availability of construction material/equipment, etc. should be taken into consideration.

The following are the items to be carefully studied and examined in this study.

a. Collection of the data and information needed for the study.

- 1) Meteorological Data
- 2) Topographical Data
- 3) Soil Investigation Data
- 4) Construction material, equipment and Labour
- 5) Institution and Management Aspects
- 6) Asbuilt drawing at existing facilities (such as seawall detached breakwaters, etc)

b. Site survey for the Project Site

- 1) Sounding Survey
- 2) Topographical Survey
- 3) Soil Investigation

c. Site Observations

A long term systematic observation of sea conditions has not been carried out in Maldives. A mechanism of abnormal high tide is not fully clarified and the data of tide, wave and current observed at site are necessary for the analysis. But recently Government of the Republic of Maldives engaged Sri Lankan firm (Lanka Hydraulic Institute) to measure and record the tides and waves movement around Male Island.

Breaking of deepwater waves causes wave set-up in the south coast. A simultaneous observation of tide and wave in-/outside the reef will give a relationship between wave and wave set-up.

A possible relationship between current and rise of sea level is pointed out in the previous study and the simultaneous observation of tidal level and current is essential for this analysis.

d. Wave Hindcasting

The height of deepwater wave in 1987 high tide is estimated at about 4m. Wind velocity observed in the Airport Island is about 5 m/s and wind direction is different from the wave direction. This is the same for the case of 1988 high tide and indicates that the waves were not generated by local wind. A previous study reports that these waves might be generated by depression near Australian Continent and propagated over a long distance of about 5,000 km as swell. This study seems to give a clear explanation to the extremely high waves observed at the time of 1988 high tide and should be carefully examined. The wave characteristics in Male should be analyzed in the same manner if found necessary.

e. Hydraulic Model Test

A strong intention that a crown height of the seawall in Male should be designed as low as possible to keep a good living environment in the island necessitates a special type of seawall different from a standard one.

In the west seawall, a concrete apron is provided at the back parapet to temporarily store overtopped water and return it through seepage holes. The toe of seawall is very close to the reef edge and the deepwater waves break on a steep reef slope. A structural type of the seawall should be determined through hydraulic model tests.

In the south coast, the crown height can be designed lower with the detached breakwater currently under construction. Complicated wave action is expected to take place due to the reef slope, breakwater and the dredged channel along the back of the breakwater. Hydraulic model tests should be conducted to determine the optimal structural type of the seawall.

In the east seawall, concrete blocks should be placed in front of the seawall to prevent incident waves from overtopping. The incident wave reduces its height while preceding through shallow reef flat and is absorbed by concrete blocks. The condition of overtopping should be confirmed by hydraulic model tests.

The flowchart of hydraulic model test is shown in Fig.2.1.

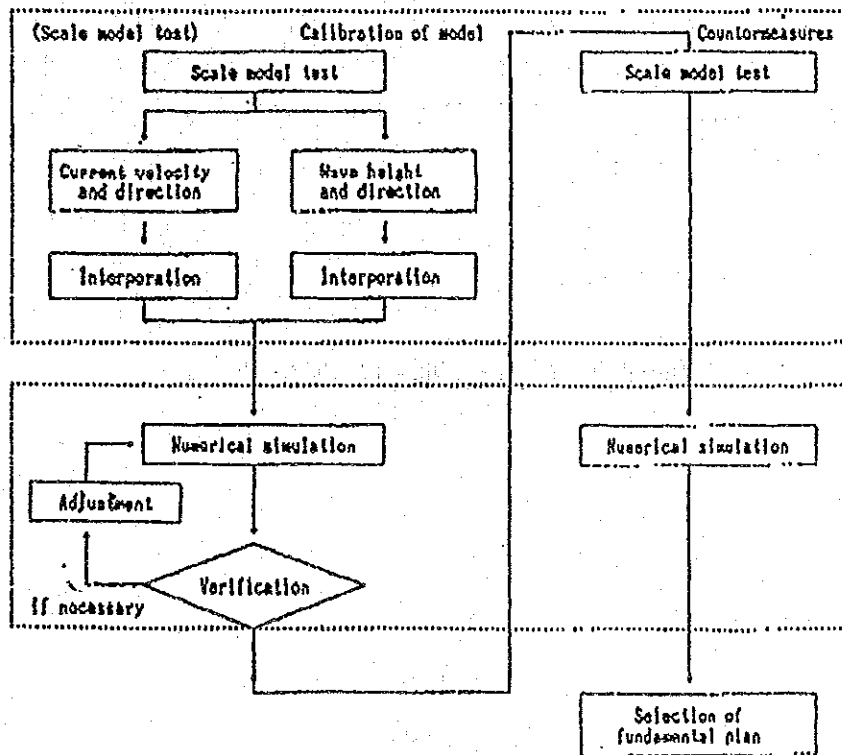


Fig 2.1 Flowchart of Hydraulic Model Test

f. Design of Structure

The most appropriate type of the structure should be determined through careful consideration of the natural conditions, the result of hydraulic model tests, construction conditions, availability of construction material and equipment, construction cost, construction period, etc.

g. Formulation of Construction Plan and Cost Estimate

Project cost should be estimated with breakdown of local and foreign portions for each of project components. The construction plan also should be worked out through consideration of availability of construction material, equipment, labour, etc.

h. Project Evaluation

The project should be justified in its economic feasibility by taking into consideration economic project costs and benefits. In this regard, safety of lives of the island residents, social and environmental condition, related projects in the project area, should be given a special attention.

i. Study Schedule

The schedule of the study is shown in Fig 2.2

Fig.2.2 schedule of the Study

Year/Honth	1990						1991									
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Work Items																
Commencement of the Study	▼															
Data Collection/ Field Survey																
Development Study																

3. Undertaking of the Government of the Republic of Maldives

In order to facilitate a smooth and efficient conduct of the study, the Government of the Republic of Maldives shall take following necessary measures.

- (1) to secure the safety of the study team
- (2) to permit the members of the Study team to enter, leave and sojourn in the Republic of Maldives in connection with their ^{or}resignment therein, and exempt them from ^{le}alien registration requirement and consular fees.
- (3) to exempt the study team from taxes, duties and any other charges on equipment, machinery and other materials brought into and out of the Republic of Maldives for the conduct of the study.
- (4) to exempt the study team from income tax and charges of any kind imposed on or in connection with any emoluments or allowances paid to the members of the study team for their services in connection with the implementation of the study.
- (5) to provide necessary facilities to the study team for remittance as well as utilization of the funds introduced in the republic of Maldives from Japan in connection with the implementation of the study
- (6) to secure permission for entry into private properties of restricted areas for the conduct of the study.
- (7) to secure permission for the study to take all data, documents and necessary materials related to the study out of the Republic of Maldives to Japan.
- (8) to provide available medical services as needed. Its expenses will be chargeable to members of the study team.

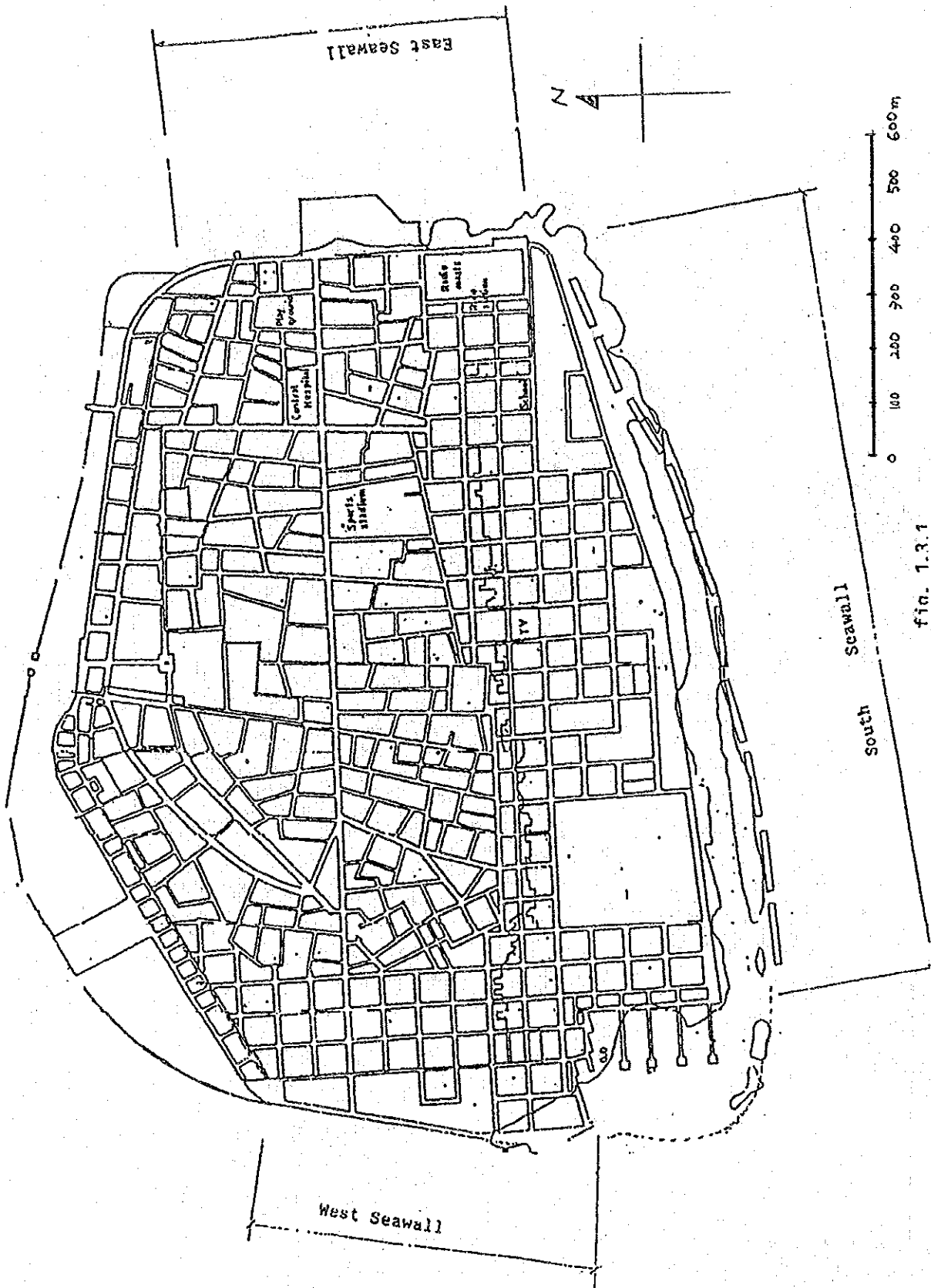




fig. 1.3.1

SCOPE OF WORK
FOR
THE DEVELOPMENT STUDY ON
THE SEAWALL CONSTRUCTION PROJECT FOR MALE ISLAND
IN
THE REPUBLIC OF MALDIVES

AGREED UPON BETWEEN
MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
AND
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

JANUARY 28, 1991
MALE, MALDIVES


Mr. Mohamed Shihab
Director of
External Resources
Ministry of Foreign Affairs
Republic of Maldives


Dr. Takaaki Uda
Leader of the Preliminary
Study Team
Japan International
Cooperation Agency

I. INTRODUCTION

In response to the request of the Government of the Republic of Maldives, the Government of Japan has decided to implement the Development Study on the Seawall Construction Project for Male Island in the Republic of Maldives (hereinafter referred to as "the Study"), in accordance with the relevant laws and regulations in force in Japan.

The Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as "JICA"), the official agency responsible for the implementation of the technical cooperation program of the Government of Japan, will undertake the Study in close cooperation with the authorities of Maldives.

Ministry of Public Works and Labour shall act as the counterpart organization to the Japanese study team. Also Ministry of Foreign Affairs shall act as the coordinating organization with other relevant organizations for the smooth implementation of the Study.


The present document sets forth the Scope of Work for the Study.

II. OBJECTIVE OF THE STUDY

The Study objective is to formulate the construction plan of a seawall to ensure safe livelihood to the residents of Male.

III. STUDY AREA

The Study will cover Male Island of North Male Atoll in the Republic of Maldives.

 T.U.

IV. ITEM OF THE STUDY

1. Data collection and analysis
 - (1) Socio-economic condition
 - (2) Related development plans
 - (3) Environmental aspects
 - (4) Physical condition
 - a) Topography
 - b) Geology
 - c) Hydrology
 - d) Meteorology
 - e) Others
 - (5) Construction material, equipment and labour
 - (6) Institutional and managerial aspects
 - (7) Others
2. Supplemental survey for basic data
 - (1) Topographic data
 - (2) Aerial photos
 - (3) Geological and Geophysical data
 - (4) Hydrological data
 - (5) Environmental data
 - (6) Existing facilities related to the Study
 - (7) Others
3. Hydraulic and numerical model test
 - (1) Scale model test
 - (2) Numerical simulation
 - (3) Selection of fundamental plan
4. Formulation of a seawall construction plan
 - (1) Elaboration of a basic plan for seashore protection
 - (2) Preliminary design
 - (3) Cost estimation
 - (4) Environmental impact
 - (5) Institutional and managerial consideration

T.U.

- (6) Project evaluation
- (7) Implementation plan

V. STUDY SCHEDULE

The whole work will be carried out in accordance with the attached tentative study schedule.

VI. REPORTS

JICA shall prepare and submit the following reports in English to the Government of Maldives.

1. Inception Report
Twenty (20) copies
Within one (1) month after the commencement of the Study.
2. Progress Report
Twenty (20) copies
Within six (6) months after the commencement of the Study.
3. Interim Report
Twenty (20) copies
Within eleven (11) months after the commencement of the Study.
4. DRAFT FINAL REPORT
Thirty (30) copies.
Within four (4) months after submission of the Interim Report.
The Government of Maldives will provide JICA with its comments within one (1) month after the receipt of the Draft Final Report.
5. FINAL REPORT
Fifty (50) copies
Within one (1) month after receipt of the comments

T.O.

VII. UNDERTAKING OF THE GOVERNMENT OF MALDIVES

1. To facilitate smooth conduct of the Study, the Government of Maldives shall take necessary measures:

(1) to ensure the safety of the Japanese study team,

(2) to permit the members of the Japanese study team to enter, leave and sojourn in Maldives for the duration of their assignment therein, and exempt them alien registration requirements and consular fee,

(3) to exempt the members of the Japanese study team from taxes, duties and any other charges on equipment, machinery and other materials brought into Maldives for the conduct of the Study,


(4) to exempt the member of the Japanese study team from income taxes and charges of any kind imposed on or in connection with any emolument or allowance paid to the members of the Japanese study team for their services in connection with the implementation of the Study,

(5) to provide necessary facilities to the Japanese study team for remittance as well as utilization of funds introduced into Maldives from Japan in connection with the implementation of the Study,

(6) to secure permission for entry into private properties or restricted areas for the conduct of the Study,

(7) to secure permission for the Study team to take all data and documents related to the Study out of Maldives to Japan,

(8) to provide the medical services as needed. Its expenses will be chargeable on members of the Japanese study team,


T.U.

- 2 The Government of Maldives shall bear claims, if any arises against the members of the Japanese study team resulting from, occurring in the course of, or otherwise connected with the discharge of their duties in the implementation of the Study, except when such claims arise from gross negligence or willful misconduct on the part of the members of Japanese study team.
- 3 Ministry of Public Works and Labour shall, at its own expense, provide the Japanese study team with the following;
 - (1) available data and information related to the Study,
 - (2) counterpart personnel and supporting staffs,
 - (3) suitable office with necessary equipment,
 - (4) credentials or identification cards to the member of the Study team,
 - (5) vehicles with drivers and powerboats with operators.

VIII. UNDERTAKING OF JICA

For the implementation of the Study, JICA shall take the following measures;

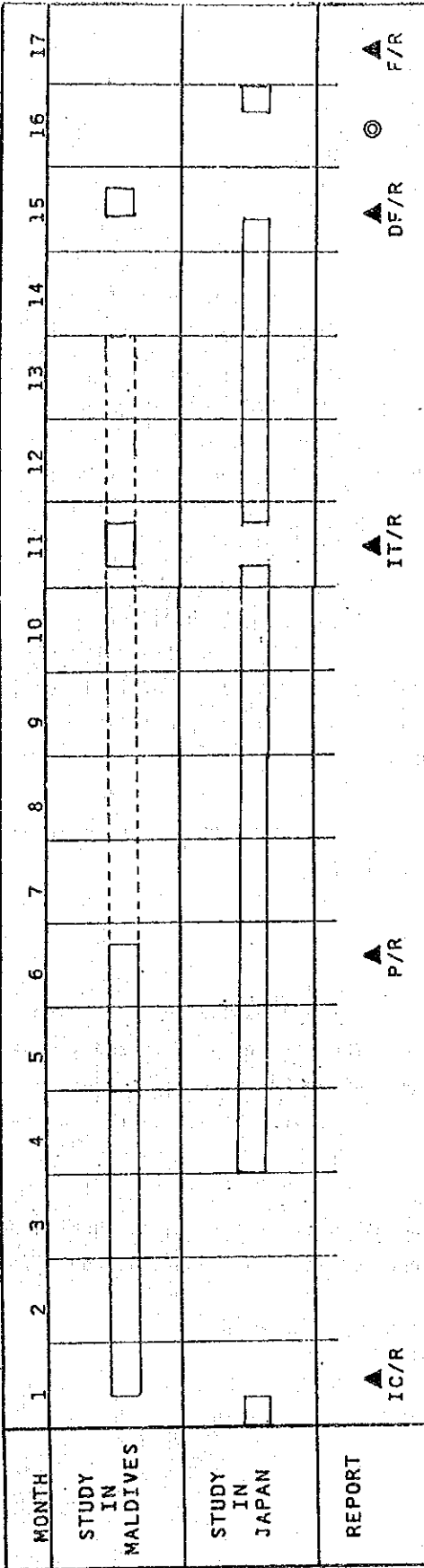
- 1 to dispatch, at its own expense, study teams to Maldives,
- 2 to pursue technology transfer to the Maldivian counterpart personnel in the course of the Study.

IX. CONSULTATION

JICA and Ministry of Foreign Affairs shall consult with each other in respect of any matter that may arise from or in connection with the Study.

BBB
T.O.

Dec Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec
TENTATIVE SCHEDULE



REMARKS:

- IC/R : INCEPTION REPORT
- P/R : PROGRESS REPORT
- IT/R : INTERIM REPORT
- DF/R : DRAFT FINAL REPORT
- ◎ : COMMENTS
- F/R : FINAL REPORT
- : HYDROLOGICAL DATA COLLECTION

T.O. *RE*

MINUTES OF MEETINGS
ON
THE DEVELOPMENT STUDY ON
THE SEAWALL CONSTRUCTION PROJECT FOR MALE ISLAND
IN THE REPUBLIC OF MALDIVES

Based on formal request of the Government of Maldives, the Government of Japan through the Japan International Cooperation Agency(JICA), has agreed to cooperate in the execution of the Development Study on the Seawall Construction Project for Male Island in the Republic of Maldives.

JICA preliminary study team headed by Dr.Takaaki Uda visited Male between 24th and 30th of January, 1991, where they had series of meetings with the Maldivian officials concerned with the Study. During the visit, the document "Scope of Work for the Development Study on the Seawall Construction Project for Male Island" was signed by the Maldivian representative and the Japanese delegation. The document defines the terms and conditions of this bilateral Cooperation for the Study and implementing and coordinating organizations in Maldives and Japan, respectively, to facilitate the smooth conduct of the Study.

In addition to the Scope of Work, the Japanese delegation and the Maldivian authorities concerned confirmed the following;

- 1) The Maldivian authorities requested the Japanese delegation to include the seawall construction plan for Funadhoo Island in the Study. Upon the request, the delegation had a reconnaissance of Funadhoo Island and promised to convey the request to the Japanese authorities concerned.
- 2) As the result of the series of discussions and the reconnaissance, the delegation proposed the reduced Tentative Study Schedule for seventeen months.

 T.U.

- 3) Concerning the Undertaking of the Government of Maldives, both sides agreed that the Maldivian authority concerned will take necessary procedural measures for the Japanese study team, instead of the exemption of alien registration requirements and consular fee (VII.1(2)).
- 4) Concerning the provision of powerboats stipulated in the Undertaking of the Government of Maldives (VII.3.(5)), the Maldivian authorities promised to provide the Japanese Study team with powerboats on the condition that they have an advanced notice by the Team and available boats fitted to the Study purpose.
- 5) The Maldivian authorities will provide an office with necessary office equipments such as a telephone, desks, chairs and lighting facilities.

JANUARY 28, 1991
MALE, MALDIVES



Mr. Mohamed Shihab
Director of
External Resources
Ministry of Foreign Affairs
Republic of Maldives



Dr. Takaaki Uda
Leader of the Preliminary
Study Team
Japan International
Cooperation Agency

附属資料4. 収集資料リスト

番号	資料の名称	形態	版型	ページ数	オリジナルコピーの別	部数	収集先名称又は発行機関
1	SOME METEOROLOGICAL DATA 1966-1989 (月別)			92頁	コピー	1	DEPT. OF METEOROLOGY
2	DAILY WEATHER REPORT (JAN-DEC,1990)		リーガル	12頁	"	1	"
3	GEOLOGY & TOPOGRAPHY	リポート抄	A 4	4頁	"	1	公共事業・労働省
4	Meteorology	"	A 4	3頁	"	1	"
5	Oceanography	"	A 4	3頁	"	1	"
6	INTRODUCTION OF FIELD MEASUREMENT ON TIDES AND WAVES IN MALDIVES		A 4	3頁	"	1	"
7	Ground Water	リポート抄	A 4	3頁	"	1	"
8	TIDE TABLE (NOV. 88-DEC. 90)		B 4	26頁	"	1	大成建設マレ事務所
9	DAILY WEATHER REPORT (JUN. 88-DEC. 90)		B 4	31頁	"	1	"
10	モルディヴ (BONECHI 日本語版)		A 4	58頁	オリジナル	1	BONECHI
11	THROUGH MALDIVES		B 5	60頁	"	1	IRU
12	地図 Maldives (全体およびマレ)				"		
13	地図 Maldives (アトル)						
14	人口統計資料 (1977. 85. 90)		A 4	16頁	コピー	1	Ministr of Planning & Environment
15	Topographic and Hyarographic Survey along the Coastline of Male	地図		4枚組			公共事業・労働省
16	"Sewage and Solid Waste Treatment and Disposal Study" Vol. 2 : Environment Hydraulics and Marine Ecology	リポート抄			コピー	1	"
17	Report on Flood Damage in Republic of Maldives (1987)	"				1	公共事業労働省
18	Geological, Geotechnical and ecological studies of Selected Atolls (1987)	"			"	1	"
19	Report on Soil Investigation for the Grand Friday Mosque in Male	"			"	1	"

附属資料5. 面談者リスト

外務省：Ministry of Foreign Affairs

Mohamed Shihab Director of External Resources, MFA

Mohamed Naseer Assistant Undersecretary, MFA

公共事業労働省：Ministry of Public Works and Labour

Abdullah Kamaludeen Minister of Public Works and Labour

Ismail Ibrahim Civil Engineer

Ibrahim Shigaz Civil Engineer Trainee

Ahmed Ashaf Project Officer

計画・環境省：Ministry of Planning and Environment

Mohamed Saeed Undersecretary

Mohamed Vajeeh Deputy Director, Environment Research Unit

日本大使館

神崎義雄 二等書記官

JICA 事務所

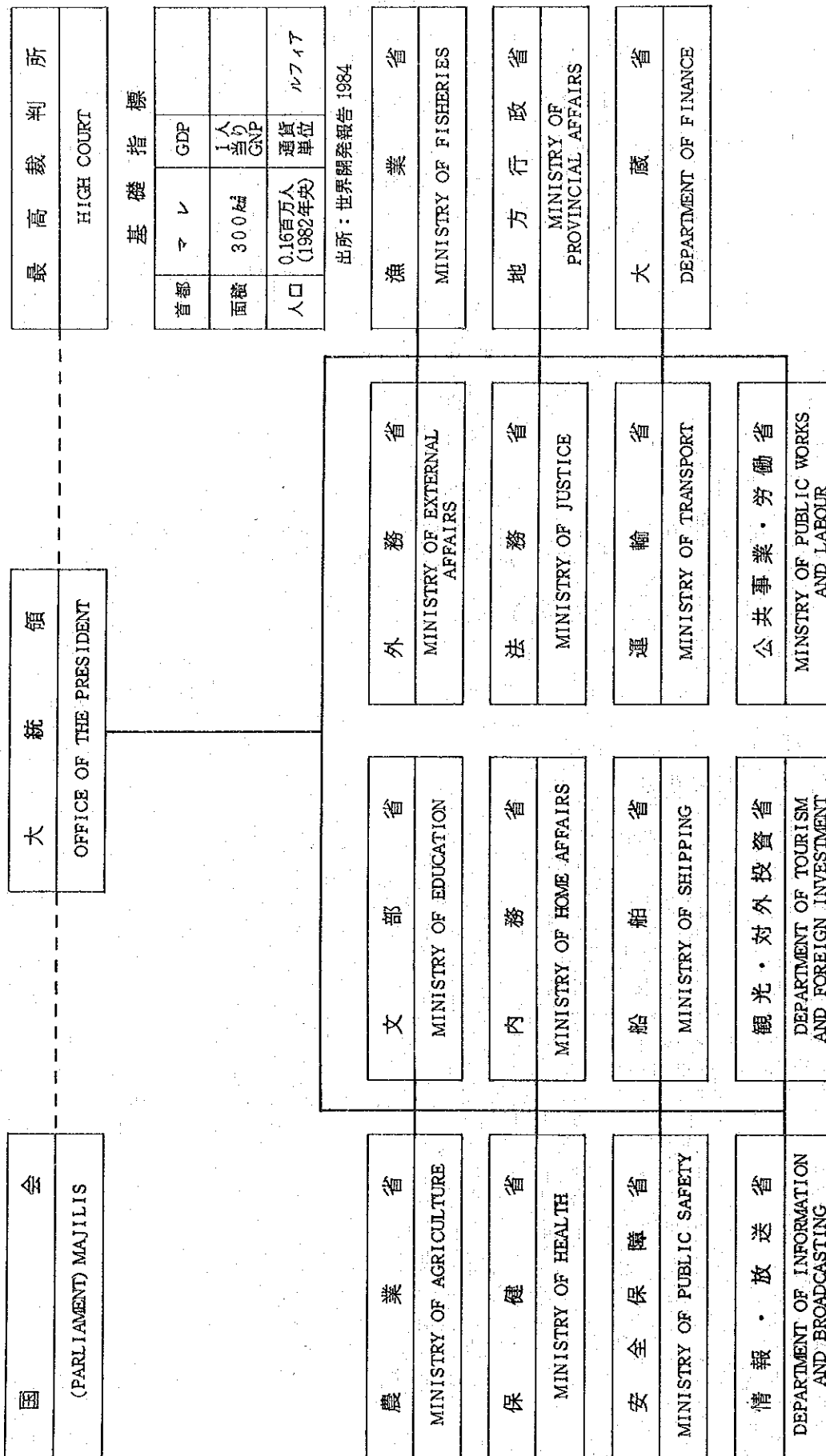
安木秀夫 所長

山下寿郎 所員

モルディブJOCV事務所

幸 伊作 調整員

附属資料6. モルデヴァイグ国国家行政組織図 (60年2月現在)



附属資料7. モルディブにおける高潮災害

建設省土木研究所海岸研究室長

宇 多 高 明

1. まえがき

インド洋に位置するモルディブ諸島では1987年4月10日より14日までの間、高潮が発生し、首都のあるマレ島を中心として浸水被害が生じた。浸水と折からの高温多湿によってコレラが発生し、2次災害が生ずるに至った。

モルディブは熱帯に位置し、約1200の島から成っている。これらの島の周りには広大なサンゴ礁が発達し、天然に形成されたリーフのため外洋からの入射波は減衰し、リーフ上の波高は低くなる。そのため高波浪による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モルディブでは高潮によりかなりの被害が出た。モルディブの首都のあるマレ島は元々その面積は108haと小さいものであった。しかし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急速に埋め立てが進んだ。リーフは幅が広いので消波に対して有効なのである。しかしマレ島では、十分な消波構造物も建設せずに埋め立てを進めたため被害が大きくなった。結局、モルディブにおける高潮災害は人為的行為により被害が大きくなったものと考えられる。

我が国においても沖縄県を中心とする亜熱帯地方にはサンゴ礁が発達している。これらの保全を考える上で、上述のモルディブの例は有効な資料となるはずである。本報告は、このような目的で4月と8月に実施した現地調査の結果をとりまとめたものである。また、調査の結果得られた興味ある事実として、高潮による新島の形成が挙げられる。これは高波浪によって砕かれたサンゴ塊が波の作用により集積したものである。本報ではこの点についても現地データをもとに論ずる。

2. モルディブの地理

1) モルディブ諸島の地理

モルディブはインド洋上の北緯7°から南緯0°45'の間、東経72°31'から73°48'の間に点在する約1200のサンゴ礁の島からなる(図-1(a))。群島の大きさは、南

北が820km、東西が130kmである。インドとの最短距離は480km、首都マレからスリランカの科ロンボまでは640kmの距離である。図-1(a)に示すモルディブの主要部分を拡大すると図-1(b)となる。環礁群が全体として1つの大きなループを描いている。その中の個々の環礁が再び一つのループを形成する。図-1(b)中、首都マレのある北マレ環礁の拡大図を図-1(c)に示す。マレ島は北マレ環礁の南端に位置する小さな島である。またその隣には、空港のあるフルネ島がある。北マレ環礁自体、多くの環礁によってできている。このようにモルディブ諸島は、フラクタル幾何学における自己相似性と良く似た特性を持った環礁群である。島の数は約1200あるが、そのうち人間が住んでいるのは約200の島々である。

モルディブの気象条件は熱帯多湿であって、3月から5月の間は酷暑の季節となる。5~10月には南西モンスーンが吹く。この時期は強風で雨も多く降るが、11~4月の北東モンスーン時期は乾燥し、風は弱い。

2) マレ島の埋立計画

モルディブの国土面積は、佐渡ヶ島の約半分の298km²である。その人口は1985年3月現在で181,453人である。首都はマレ島にあり、小さな島に約46,334人(1985年

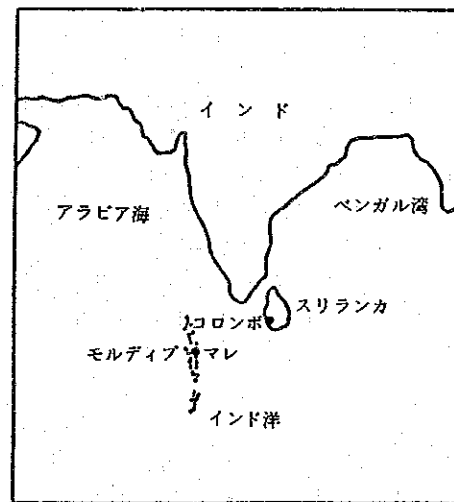


図-1 (a) モルディブの位置図

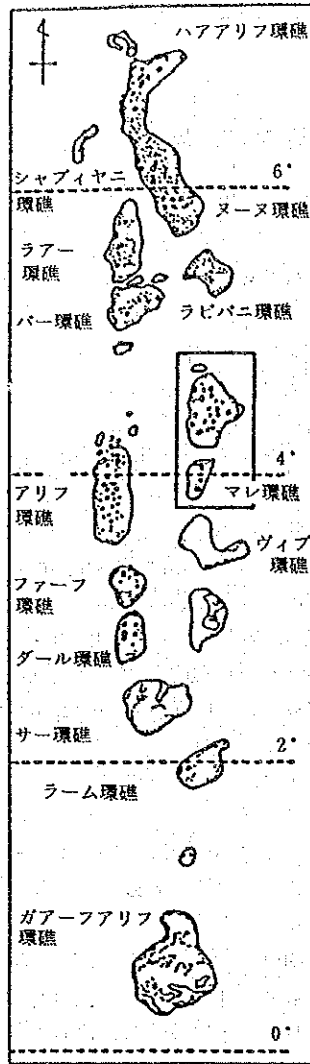


図-1 (b) モルディブの環礁

3月現在)が居住している。近年になって急速に埋め立てが進んだが、人工的な埋め立てが行われる以前の島の面積は108haと小さかった。人口集中が続くため、マレ島では過去から積極的に埋め立てが行われてきた²⁾。まず、1979年以前に14.9haの埋め立てが行われた(図-2参照)。図中の太い実線が原海岸線を表わし、一点鎖線は1979年現在設置されていた護岸の位置を表わす。しかしその後も人口増加が続き、土地の不足を招いた。そこで内務・社会事業省が大規模な埋め立てを開始した。埋め立ては主として島の南部を中心に行われ、サンゴ礁の外縁近傍まで埋め立てが進められた(図-3)。1985年11月までに51.8haが造成された。これは埋立計画全体59.7haの87%に当たるもので

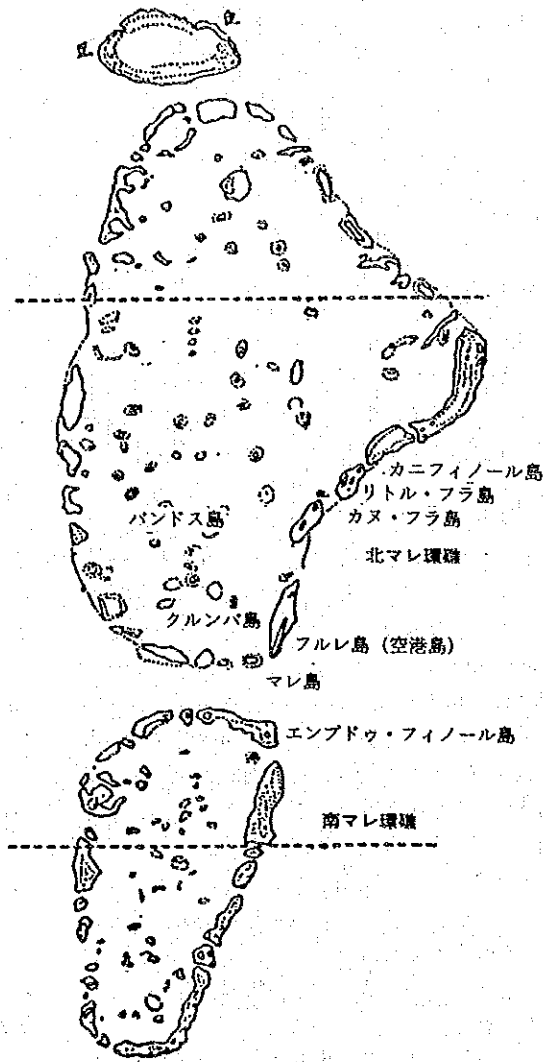


図-1 (c) 北マレ環礁と南マレ環礁

ある。埋め立てに要する土砂量は約85万 m^3 であったが、その大部分はマレ島の北部の港湾の浚深土砂が使われた。1979年以後の埋め立て面積の経緯をまとめると、表-1のようである。1980年、1983年には10ha以上の埋め立てが行われた。このプロジェクトは1986年を完成期限とする計画で進められた。

3. 高潮災害の状況

1) マレ島の被災状況

高潮は4月10日夜9時頃から始まった。翌4月11日も高潮が続いたが、晴天であったために、朝11時頃にビデオ撮影と写真撮影が行われた。ビデオと写真撮影はそれぞれ青年海外協力隊員の手により行われた。4

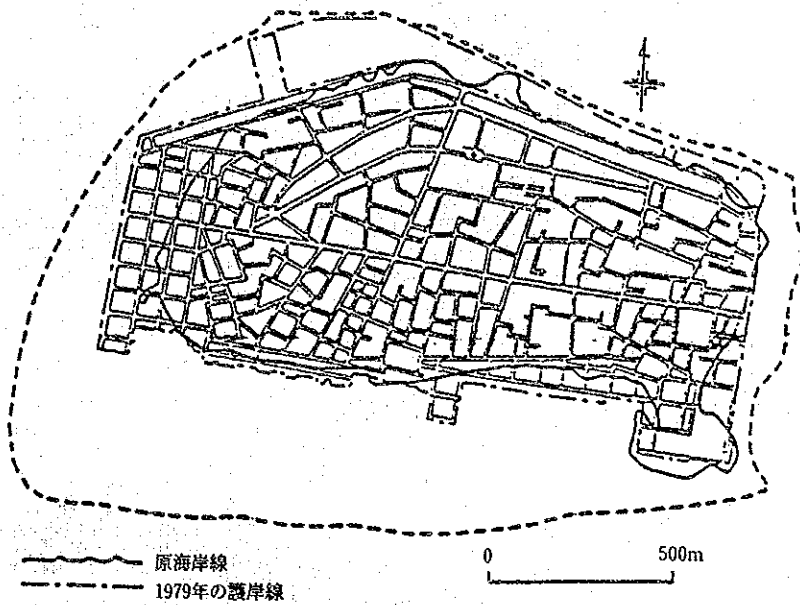


図-2 埋め立て以前のマレ島の形状

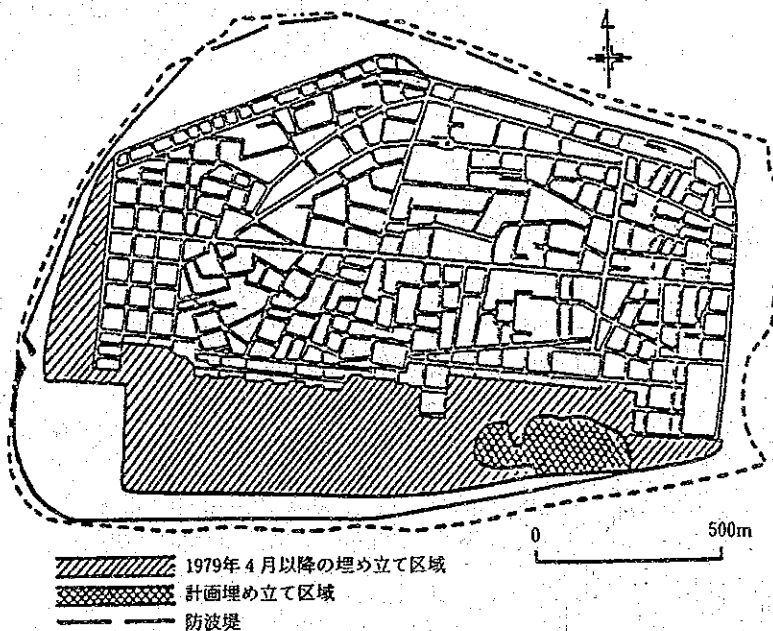


図-3 1979年以後のマレ島の埋め立て実績

月12日になると海水位は下がりはじめたが、外海の潮位は依然として高かった。最終的には4月14日朝頃まで異常潮位が続いた。一般にこの時期は風向きが東から西向きに変わる時期にあたる。空港のあるフルレ島での観測によると、4月9日～13日の風向風速は表-2のようである。表に示すように、災害発生時の風はそれほど強いものではなかった。スリ・ランカの気象庁の報告によると、スリ・ランカ周辺では潮位が著しく変化した証拠はなく、モルディブにおける高潮は局所的な現象と報告されている。

マレ島の浸水域のうちとくに状況が明らかになっている南岸の浸水域をまとめると図-4となる。島の南部を中心に全島的に浸水した。浸水域の面積は全島の48%に達した。もともと島は、サンゴ礁として形成されたため、島の標高は高くなく、平均海面上約1.5m程度である。そこで広い区域で浸水が生じた。興味ある点は、浸水域の広がり埋め立てをする以前の海岸線形状(図-2参照)とほぼ一致することである。人為的に埋め立てられた部分の高潮に対するぜい弱性を露呈している。また、高潮により埋め立て土砂の約20%が侵食された。流出土砂量は、約 $3.62 \times 10^5 \text{ m}^3$ に達し、その被害額は1200万ルフィア(約1.3百万ドル)であった。全土がサンゴ礁でできたモルディブでは土砂を得ることは容易ではなく、埋

表-1 埋め立て土砂量の経年変化

年	埋立面積(ha)
1979 (4月以降)	0.2
1980	13.6
1981	8.4
1982	8.4
1983	12.5
1984	1.3
1985 (11月まで)	7.4
1979~1985	51.8

表-2 フルレ島の空港での風向風速データ

日 時	風 向	風 速 (m/s)
4月9日	SW	1.0~5.1
4月10日	SW	1.5~4.6
4月11日	W	2.0~8.1
4月12日	W	2.5~8.1
4月13日	NW	4.6~7.6

め立て土砂が流出したことは大きな問題となった。

次に、高潮状況を写真をもとに調べる。島の東側で撮影した写真-1によると、水位が上昇するとともに高波がリーフ上で砕破しているのが明らかである。家屋の前の道路にはサンゴ塊が多数散乱している。この付近の護岸状況を写真-2に示す。護岸の地盤面から



写真-1 マレ島東部における高潮米襲状況 (撮影地点と撮影方向は図-4の①→により示す。)



写真-2 マレ島東岸の護岸状況

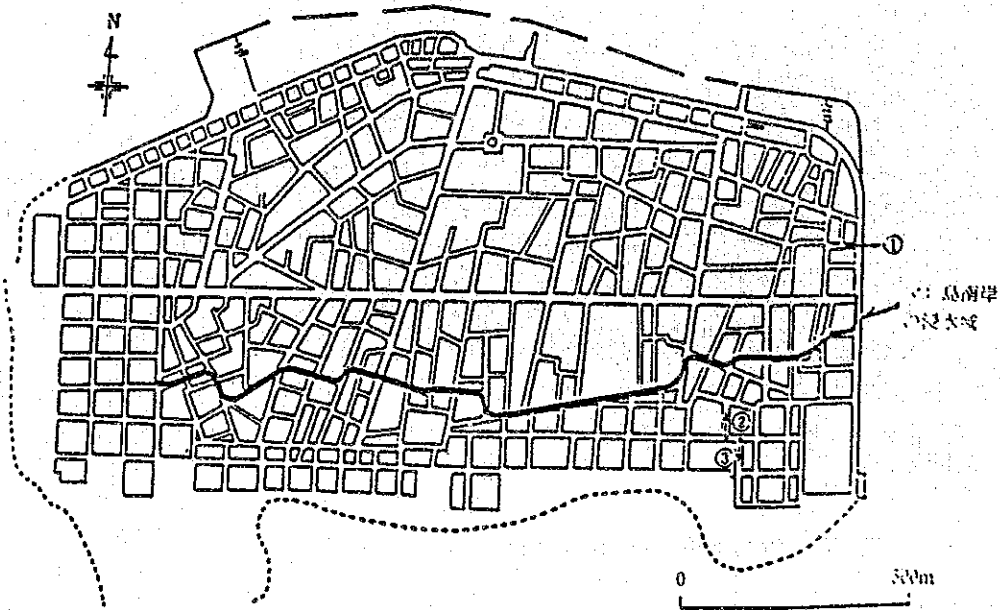


図-4 マレ島の浸水域



写真-3 マレ島南部における浸水状況（撮影地点と撮影方向は図-4の②→により示す。）



写真-4 マレ島南部における浸水およびゴミの散乱状況（撮影地点と撮影方向は図-4の③→により示す。）

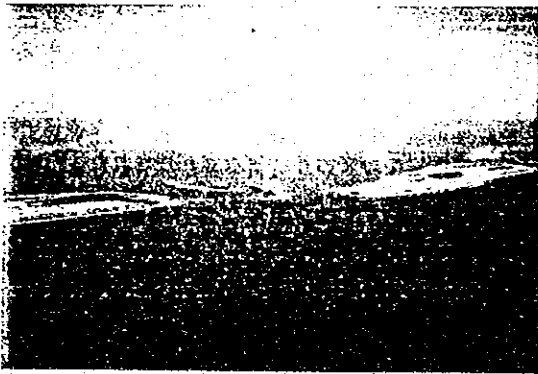


写真-5 リトル・フラ島周辺の環礁の空中写真

の高さは約1.4mであり、サンゴ塊をモルタルで固めた構造となっている。これらのサンゴ塊は強度試験によると、単位体積重量が約 $2.34\text{g}/\text{cm}^3$ 、1軸圧縮強度が約 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。道路とリーフ面との地盤高の差は約1.2mである。高波によりこの段差を越えて海水が侵入し、サンゴ塊が散乱した。写真-3、4は島の南部の状況を示す。内陸側を向いて撮影したものである。道路が浸水するとともに、島の南部にあったゴミ処理場より大量のゴミが散乱している。このような浸水により下水が逆流し、併せて高温が続いたため衛生状態は大変悪くなり、飲料水等も汚染され、コレラの発生を見た。コレラは4月20日頃から始まり、2名が死亡、28名の患者が出た。

2) カヌ・フラ島の被災状況

北マレ環礁中、マレ島より北東に約17km離れた地点には、カニフィノール、リトルフラ、カヌ・フラ島からなる小群島がある（図-1(c)参照）。いずれも小さな島である。中でもカヌ・フラ島は全島が海水に没



写真-6 海浜に打ち上げられたサンゴの破片

し、島の人々は隣のカニフィノール島へ避難した。著しい災害がみられたので、この島の被災状況をやや詳しく調べてみる。まず、写真-5に小群島の空中写真を示す。写真は北マレ環礁を北東向きに撮影したものである。写真中央よりやや右手に位置するのがこの小群島である。全体に白く見えるのは、サンゴ礁が発達していることを表わしている。サンゴ礁の小群島の左端に位置するのがカヌ・フラ島である。写真に明らかなように、島と島の間にはかない水深の大きい水道が存在する。カヌ・フラ島はリーフの外縁に位置する。南東から来襲した高波は、砕波によってあまりエネル



写真-7 家屋内に侵入したサンゴ塊

ギーロスを伴うことなしに島に到達した。写真-6は同島の南側を撮影したものである。被災前にあった砂浜は消失し、大量のサンゴ塊が前浜に打ち上げられた。島にはリゾート客用のコテージが汀線に沿って並んでいるが、その家屋内には大量のサンゴ砂やサンゴ塊が侵入し、家屋は大きく被災した。写真-7は、家屋の被災状況を示す。入口の戸が流失しており、土砂の堆積によりその位置での地盤高が高くなっていることが明らかである。

マレ島、フルレ島以外に調査を行った5島のうち、エンブトゥ・フィノール島は、南マレ環礁内に、またクルンバ、バンドス両島は、北マレ環礁に、そしてリトル・フラ、カヌ・フラ島は北マレ環礁の外縁に位置する。それらの島の被害状況を比較すると、北マレ環礁内に位置する2島では被害が小さい。一方、図-1(c)においてマレ島より北東方向に延び環礁外縁を形成する一連の島々では大きな被害がみられた。また個々の島々の中でも島の南部、南東部に被害が集中していた。これらの被害状況より判断すると、高波はほぼ南東方向より来襲したものと考えられる。

高潮の発生原因には種々の要因が考えられる。潮位、波浪観測データ等がないので、定量的検討は難しいが、2、3の検討を行ってみる。まず、モルディブの東約640kmに位置するスリ・ランカのコロomboにおける1956~1962年の間の潮位データによれば⁹⁾、大潮のときの潮差は75cm以内、小潮時で25cm以内となっており、また、通常3~4月に大潮となる。今回の高潮は4月10日より始まったから、時期的には大潮に当たっていたと考えられる。一方、高潮状況を撮影したビデオや写真をもとに、目視で判断すると来襲波高は少なくとも2m以上はある。高潮により平均海面が上昇すると

もに、リーフの岸側まで波浪が侵入したが、この場合砕波に伴う水位上昇も生じていたと考えられる。水位上昇量のオーダーは波高の10%程度と考えられるから、波高2mの波が来襲したとすれば、約20cmの海面上昇は生じた可能性がある。一方、強風や気圧の急変によって生じる高潮に関しては、気象データによると当日強風は吹いておらず、異常な気圧低下も報告されていない。このことから局地的に高潮が発生したと考えることは困難であり、むしろ、遠地で発生した高波がインド洋上を伝播し、モルディブにまで到達したと考えるべきであろう。しかし、天体潮と砕波に伴う水位上昇だけは高水位のすべてを説明することも困難である。そのほか海流による影響も考えられる。モルディブ周辺の海流はモンスーンの影響を受け、11~4月は北東モンスーンにより西向き海流が、また5~10月には東向き海流が卓越する⁹⁾。したがって北東モンスーンによる西向き海流に変化が生じ、それが環礁東縁付近での水位上昇に結び付いた可能性もある。しかしながら、高潮時の実測データがほとんどないために、結局その原因については不明確な点が残された。

4. マレ島及びコロombo港における潮位観測

災害直後の4月24日~5月2日の間での緊急現地調査では時間的制限より、高潮痕跡を調べることや、災害状況の写真撮影を行うことが限界であり、主として定性的な災害状況把握に止まった。しかし、高潮災害の防止の見地からは測量等により定量的に諸データを集める必要がある。この場合最も問題となるのは、基本データを集める際必要となる潮位や波浪の観測が行われていないことであった。とくに潮位観測は島の基本水準面を定める上で重要であるにもかかわらず、長期間にわたる観測は行われておらず、したがって基本水準面は設定されていなかった。そこで基本水準面と平均水面を設定するために同国のマレ島及びスリ・ランカのコロombo港に水圧式自記験潮器を設置して潮位観測を実施した。コロombo港に験潮器を設置した理由は次のようである。すなわち、コロombo港はマレ島から最も近い港であり、また20数年間の既往潮位データを有しているため、ここをマレ島の標準港とみなすことができることである。したがって、コロombo港の既往のデータと今回の観測記録との関連を明確にすれば、コロombo港およびマレ島における潮位観測記録に基づいてマレ島の基本水準面と平均水面を設定することができる。

最初に、1987年8月9日~9月15日の間の両港における潮位観測データをもとに主要四分潮の半潮差を求

表-3 マレ島、コロombo港における主要四分潮の半潮差の比較

単位：m

主要四分潮	マレ島		コロombo港					
	本調査団観測	日本海上保安庁資料	本調査団観測	スリランカ港湾局観測				
				1953年	1954年	1955年	1956年	平均
O1	0.04	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03
K1	0.11	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
S2	0.13	0.11	0.14	0.10	0.12	0.12	0.12	0.12
M2	0.23	0.20	0.14	0.17	0.17	0.18	0.16	0.17

主要四分潮 O1：主太陰日周潮 K1：日月合成日周潮 S2：主太陽半日周潮 M2：主太陰半日周潮

めた。結果を表-3に示す。潮汐の調和分解は30日分のデータを利用してダーウィン法により行った。また、コロombo港湾局より入手した既往潮位データのうち、比較的欠測率の低い1953～1956年の潮位データをもとに調和分解を行った結果も表-3に示した。潮位観測の主な要点は次のようである。①マレ島およびコロombo港における潮型は互いに良く似ているが、マレ島の潮時はコロombo港より1時間28分進んでいる。②コロombo港の潮高に対するマレ島の潮高の比は1.24である。③コロombo港の既往潮汐データ（1953～1956年）の平均潮位は今回の1ヶ月間の平均潮位よりも8cm高い。

結局、今回のマレ島における潮位観測により、防波堤上に設けた仮BMより鉛直下方3.44mにある験潮記録基準面から平均水面までの高さは2.93mであること、また、主要四分潮の半潮差の和は0.51mであることがわかった。ところで、今回の観測は30日間の記録にすぎないから、長期的に平均水位の変動があると平均水面の設定誤差が大きくなる。そこで先に求めたコロombo港における過去5年間（1952年4月～1957年12月）の平均水面と今回の平均水面との差（-8cm）より、マレ島でもこれと同様な水位差があるとして補正を行った。この結果、基本水準面は験潮記録基準面より3.01mとなった。また、基本水準面（D.L.）は平均水面下0.51mであって、これは基準面上に換算すれば+2.50mとなる。以上の検討によりマレ島の測量基準面が定まったので、次にこれをもとに地形測量や浸水位の調査を実施した。

5. マレ島南岸の詳細地形測量と浸水位調査

3.1節で述べたように、マレ島では南岸で浸水が著しかった（図-4参照）。南岸域はリーフ端近傍まで埋め立てが進められたが、埋め立て土砂を得ること、および航路を得ることを目的として、サンゴ礁を掘削し、

同時に得られるサンゴ塊を積み重ねて離岸堤が建設されていた（写真-8参照）。この離岸堤は消波にかなり効果を有した可能性があり、今後の高潮対策を考える上で重要と考えられた。そこで南岸地域の詳細な地形測量を実施した。結果を図-5に示す。高さの基準はD.L. 0mとしている。リーフ端より約100m付近に細長い水路が掘られており、その深さは最大5mに達する。離岸堤はリーフ端より約40m付近に位置する。このリーフ端より外側は約45°と急な斜面を形成しており、入射波はリーフ端近傍で碎波する。

浸水位の調査は1987年8月に実施した。高潮災害の生じた1987年4月10日から15日の間の高潮水位の痕跡は、家屋の外壁等の修理および塗装替え等が行われているため確認できなかった。そこで災害時に撮影された写真および住民からの情報をもとに痕跡調査を実施した。痕跡高さはレベルとスタッフを用いた水準測量法によって測定した。調査地点は図-5に示す3地点である。各地点の痕跡高はA地点がD.L. +1.73m、B地点がD.L. +1.60m、C地点がD.L. +1.63mであった。痕跡水位はマレ島の東端に近いA点で最も高く、次いで



写真-8 サンゴ塊を積み上げて造られた離岸堤

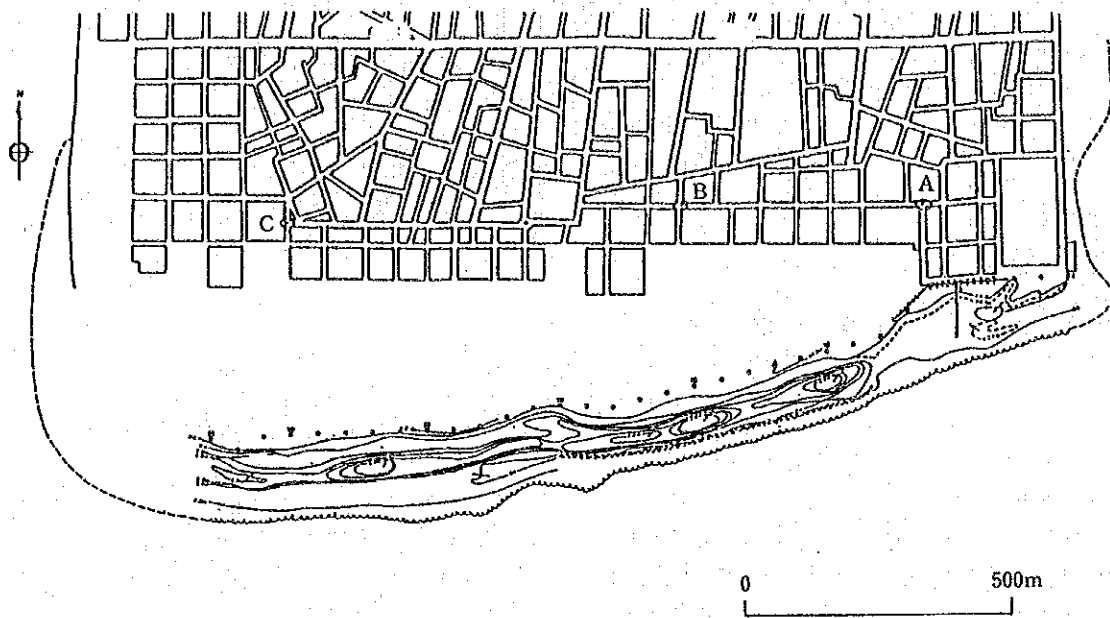


図-5 マレ島南岸の地形

西端寄りのC点、最後に中央のB点となっている。高潮の来襲方向はほぼ南東方向であるから、マレ島南岸にはほぼ一様に外力が働いたと考えられる。それにもかかわらず痕跡高に差異が生じた理由は次のようである。まず、A点ではリーフ端まで低い護岸を除けば波浪減衰効果を持つ施設が何もなかったために、波浪の作用を受け易かった。B点では図-5に示すようにサンゴ塊を掘削して積み上げた離岸堤がリーフ端近傍にあったため、これにより波浪エネルギーが減衰され、結局浸水位が低くなったと考えられる。

6. 新島 (Udhafushi島) の形成

今回の高潮時、北マレ環礁内において波の作用により新島が形成された。サンゴ礁上においてサンゴ砂、サンゴ塊より形成された島はリーフの消波効果により一般に安定している。しかし以下で論ずる地形変化は、サンゴ礁上にまったく新たに島が形成されたものである。このような事例を調べることは、サンゴ礁上の島の形成機構や安定性を理解する上で役に立つと考えられたためとくに調査を実施した。

新島は、北マレ環礁内のバンドス島の北東約6.5kmの地点(北緯 $4^{\circ}17'25''$ 、東経 $73^{\circ}31'25''$)で形成された

(図-1(c)参照)。形成された島の地形図を図-6に示す。地盤高は新島上に設けたBM No.1の高さを100.00mと仮定し、m単位で各地点の高さを示した。BM No.1はMLLW+1.2mの高さにある。この地点のMHHWはMLLW+0.60mにあり、したがってEL99.40mがMHHWに等しい。以下ではEL99.40mを連ねた線を平均汀線とする。新島の形成された付近の海底地形は次の特徴を有している。まず、島の東側はリーフ端が近く、急激に深くなっている。リーフ端までの距離は北側ほど短い。一方、島の西側はほとんど平坦であり、地盤高はEL約98mである。平均汀線をもとに、島の形を調べると、島は2個形成されている。両島の南北、東西方向の最大投影距離を調べると、北島は25m×18.5m、南島は164.5m×60.5mとなっている。南側の島がその広さ、高さとも北側の島に比較してはるかに大きい。また、南島には2つのピークがあり、その高さはいずれもEL100.50m (MHHW+1.1m) である。これらのピークは、各々南北両端部において尾根状に高さが低くなっている。それらの尾根の伸びる方向は、北西または西向きとなっている。このような地形は、高潮に伴う高波浪がほぼ南東方向から来襲したことを表わしている。

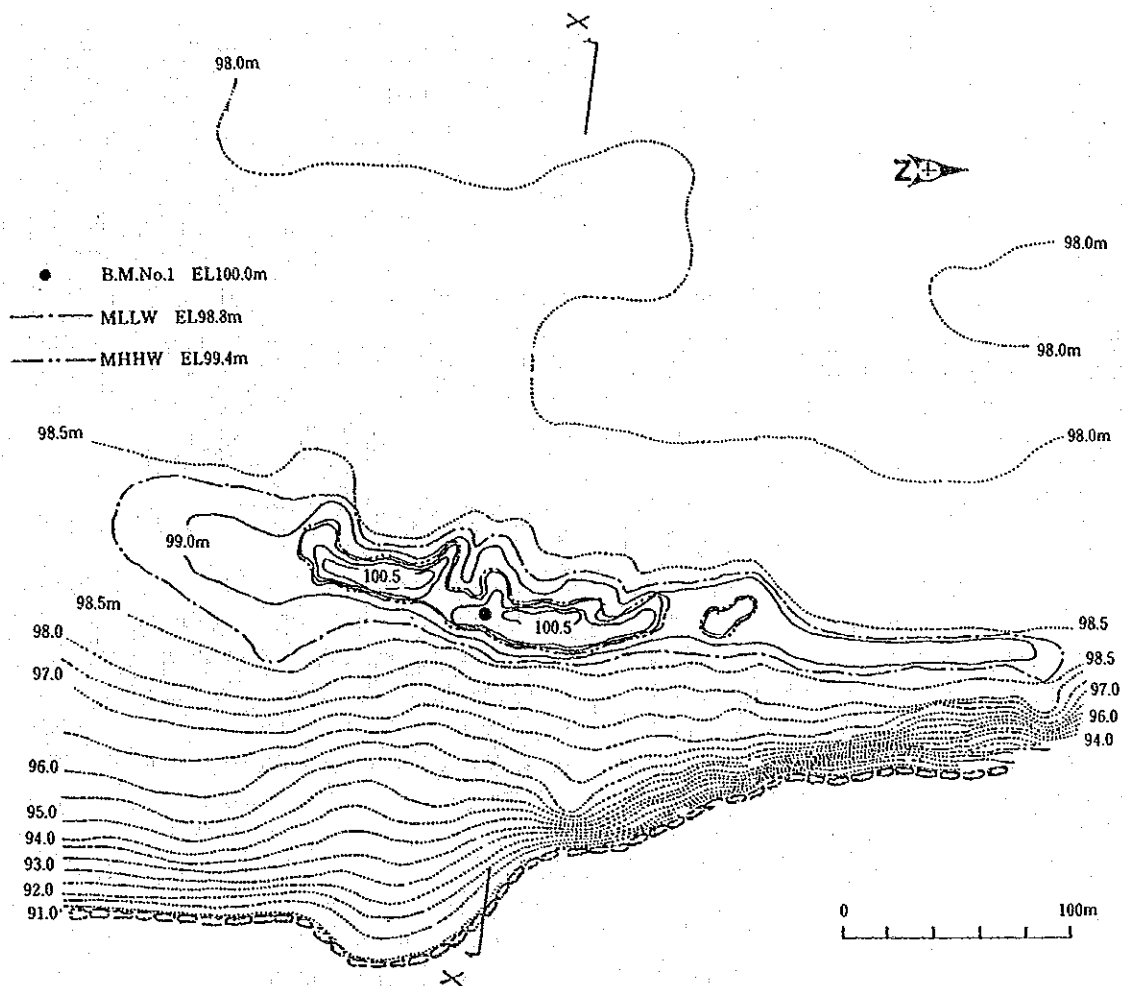


図-6 新島 (Udhafushi島) の地形

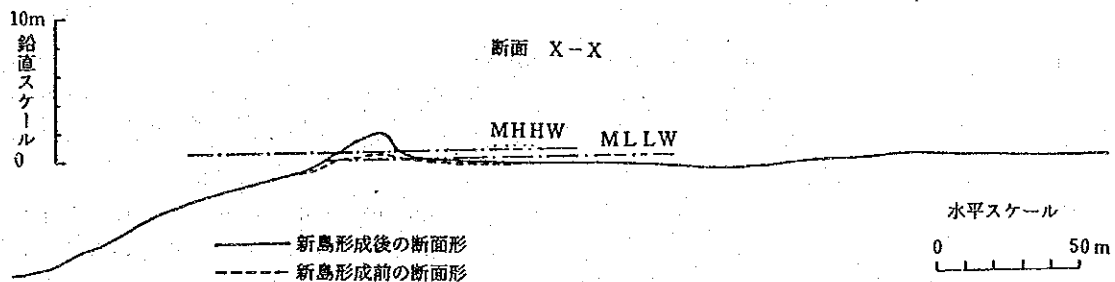


図-7 新島の代表的断面形

島の代表断面形として、図-6のX-X断面を選んでその断面形を図-7に示す。この断面では東側斜面に対し西側斜面の方が急である。汀線と頂点を結ぶ平均勾配は前者が1/10.7、後者が1/4.6となっている。断面図には新島が形成される前の断面形も示した。

島の形成以前にも小高い丘があり、その高さはMHHW-0.2mであった。図-7ではサンゴ塊が堆積した部分のみが表示されており、侵食部分は明らかではない。この原因は、サンゴ塊がかなり広い区域より集められたことにより、深淺測量データから侵食区域を明らかに

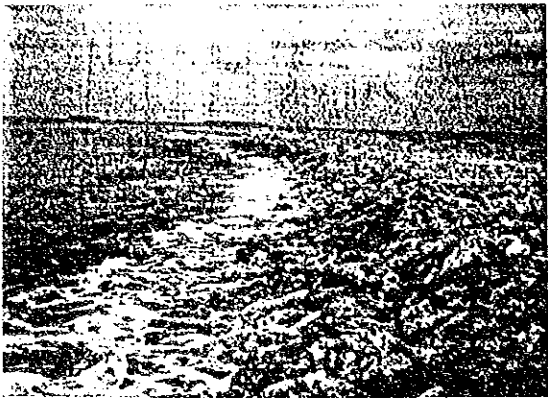


写真-9 新島の状況



写真-10 新島に打ち上げられたサンゴ塊

することが困難であったためである。次に、新島の状況を写真によって把握する。写真-9は島の東岸を南向きに撮影したものである。大量のサンゴ塊が打ち上げられていることが明らかである。写真-10はサンゴ塊の大きさを知るため代表スケールとして腕時計と合わせて撮影したものである。サンゴ塊は数十cmのオーダーであることがわかる。結局、ほぼ南東方向から来襲した高波浪がリーフ端で砕波し、それによる波力によりサンゴが破壊され、さらにサンゴ塊の粒径が大きいために、岸向き漂砂が卓越することにより浅海域に移動して新島が形成されたと考えられる。

7. 結論

1987年4月10日より14日の間にインド洋のモルディブでは高潮が発生した。災害後、筆者は緊急調査を行う機会を得た。これらの現地調査によって得られた要点を以下に要約する。

①モルディブの首都のあるマレ島では高潮により島の総面積の約48%が浸水し、約36万 m^3 の埋め立て土砂が流失した。浸水域の分布は1979年以前のサンゴ礁を埋め立てする以前の原海岸線とほぼ一致しており、サンゴ礁を急速に埋め立てた部分の高潮に対するぜい弱性が明らかになった。

②マレ島では過去、精度の高い潮位観測は行われておらず、基本水準面は設定されていなかった。そこで、マレ島とコロombo港での同時潮位観測を約1ヶ月間実施した。この結果、マレ港の基本水準面(D.L.)が平均水面下0.51mであることがわかった。

③マレ島の代表3地点の浸水痕跡調査によると、最高痕跡はD.L. +1.73mであった。

④高潮の作用によりサンゴ礁に新島が形成された。新島は2つからなり、その南北、東西方向の最長投影長さは、25m×18.5m、および164.5m×60.5mであった。また、島の高さは、MHHW+1.1mであった。島は数十cmの大きさのサンゴ塊から成っており、リーフ外縁での砕波によりサンゴが砕かれ浅海域に運ばれて堆積して形成されたものと考えられる。

謝辞

本調査においては、青年海外協力隊の安達秀行氏には災害情報の収集、特にビデオ画像の入手に配慮していただいた。また同じく護守睦子さんには貴重な災害写真8枚を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 宇多高明・佐合純造：モルディブにおける高潮災害の緊急調査、土木技術資料、Vol.29, No. 10, pp. 44~49, 1987.
- 2) Department of Public Works and Labor, Republic of Maldives: Male land reclamation project, December 1985.
- 3) Bernard Swan: An introduction to the coastal geomorphology of Sri Lanka, A publication of the national museums of Sri Lanka, p.182, 1983.

JICA