

2004年インドネシア・スマトラ沖地震津波の被害 —我が国の防災対策への教訓—

DEVASTATING DAMAGE DUE TO THE 2004 SUMATORA EARTHQUAKE TSUNAMI
—LESSONS FOR JAPAN—

今村文彦¹
Fumihiko Imamura

¹正会員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科附属災害制御研究センター
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

The 2004 Sumatra earthquake, occurred at 00:58:53 UTC on December 26, 2004, followed by the Indian oceanic tsunami was the largest earthquake in magnitude of M 9.0 in the world since the 1960 Chilean earthquake. The epicenter was located west off Sumatra Island, but the aftershocks extended through Nicobar to Andaman Islands; the total length is more than 1,000 km. The number of casualties, death and missing together, is the largest in Indonesia (220,000), followed by Sri Lanka (35,000), India (16,000) and Thailand (8,300). About 300 fatalities are reported from Somalia, east coast of Africa. In total, nearly 300,000 lives were lost by the tsunami. The information on the media and the result from the field investigation are introduced in the new disaster's point of view. The frame work to mitigate the tsunami disaster in the future is discussed in the paper.

Key Words : 2004 Sumatora, earthquake, Indian Ocean tsunami, field survey, tsunami disaster

1. はじめに

2004年12月26日, 史上最悪の地震津波災害が発生した。津波など自然災害に対する代表的な対応の1つは, 迅速にかつ安全な場所(高台など)に逃げることである。実際に, 過去の災害を振り返ってみると, 瞬時の判断・避難の遅れが生死を分けている。頭の中では, 避難することは簡単であると思いがちであるが, 実際に行動を開始し, 安全に避難場所に到達するまではたくさん困難な点がある。状況によっては, 公的な情報を待っている避難が遅くなる場合もある。今回のインド洋大津波による犠牲者30万人を超えたことは, この避難の難しさを物語っている。津波の災害を忘れつつある我が国では, 今回の大災害は多くの教訓を残している。本文は, スマトラ沖大地震及びインド洋津波災害について概略を紹介し, スリランカを現地調査した結果の報告をする。

2. 地震と津波の概要

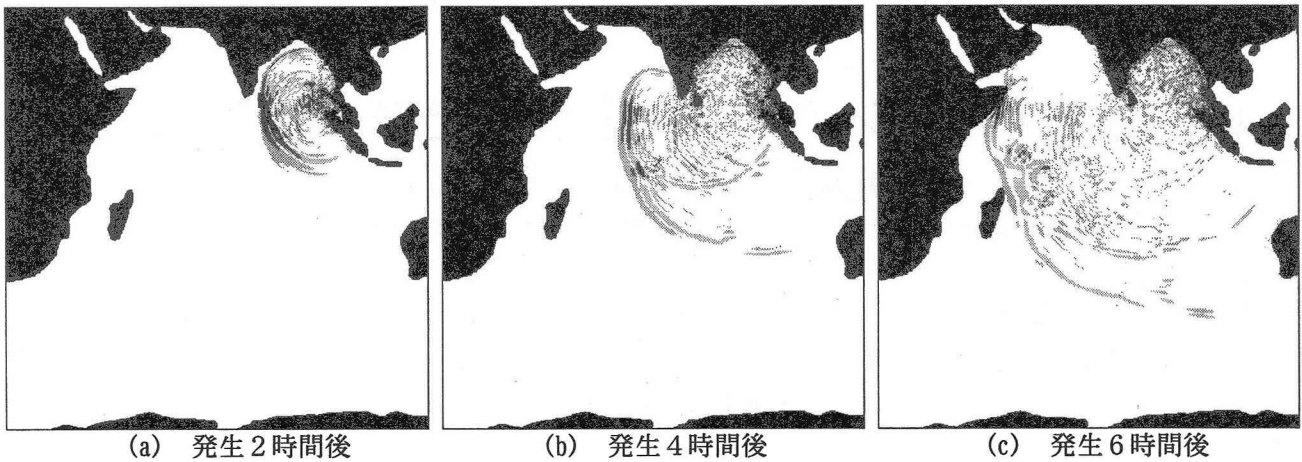
平成16年12月26日午前8時頃(現地時間)に発生したスマトラ北西部沖地震(M9.0)は, ユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートの境界でのプレート間地震であり, 余震観測から震源域は約千キロメートルにも達し, この地域でも最大級の

規模となった。地震より生じた津波は, 直後にインドネシア沿岸を襲い, その後, タイ, マレーシア, バングラディッシュ, さらにはインド東岸, スリランカ(波源から1,600km)にも達した。驚くべき事に, アフリカ(波源から約6,000km)および南極へも来襲した(図—1参照)。このようなインド洋全域に影響した津波は初めてである。

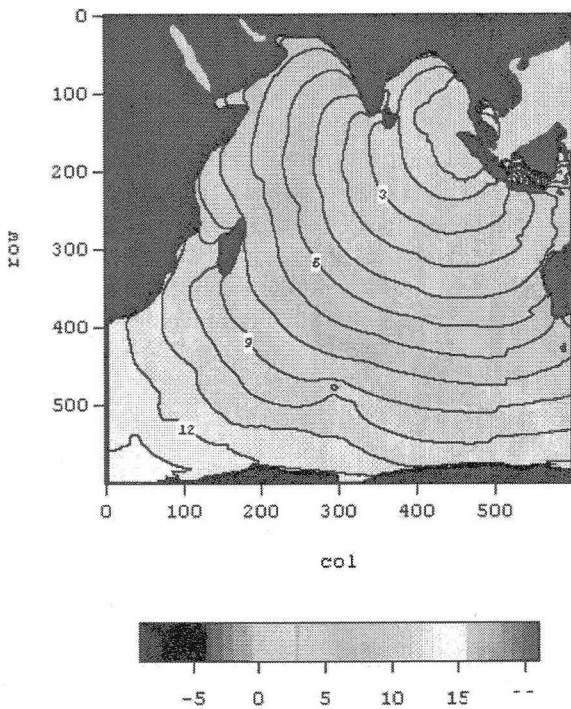
犠牲者は30万人を超え, 感染症などの2次災害も懸念されている。記録に残っている津波災害の中でも最悪とあるであろう。このインドネシア・スマトラ島地域では, マグニチュード8以上の地震は, 歴史的に発生しているが, M9の地震は初めてである。また, 大きな被害を生じさせた津波は, 1883年クラカタウ火山性津波を除いてないと言える。そのため, 住民にとっては津波に対する知識・認識が低かったと言え, 環太平洋で実施されている津波警報システムがないために津波情報が出されないまま, 不意打ちの来襲を受けたことになる。

3. 地震と津波発生状況

今回の津波は, プレート間での低角逆断層により海底地盤が変位し発生したものと推定される。上盤側のユーラシアプレートが跳ね返ったために, 主に隆起された海底変動により, 水面が上昇し, 押し波の津波が生じたと思われる。これは主にインド洋へ



図—1 インド洋を伝播する津波

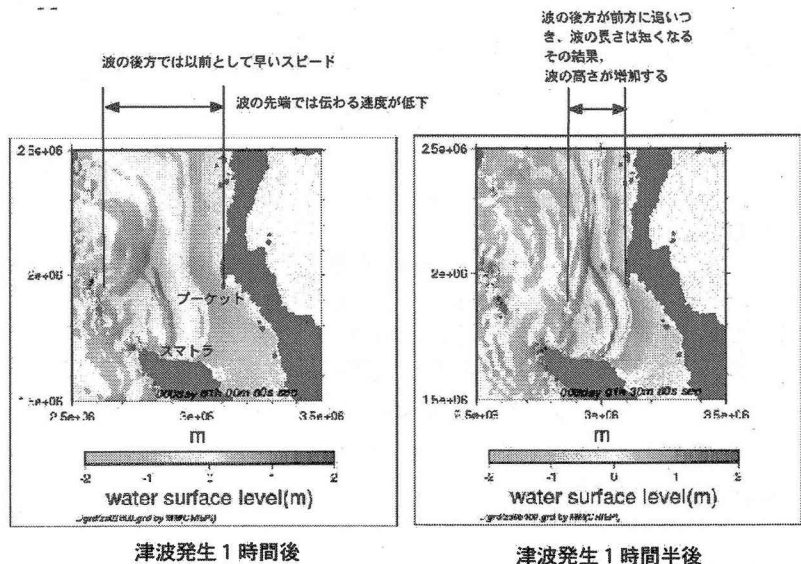


図—2 津波伝播図

向かって伝播することになる。この地域は震源からも遠いために、地震の揺れも小さくまた突然の津波による水位上昇が沿岸地域を飲み込んでいった。一方、波源の東側では、プレートの跳ね返りに引っ張られるため海底の沈下が生じ、水位が低下したために、引き波の津波がタイ、マレーシア側向かったと考えられる。この周辺では、水面の低下が始まりその後続く津波の押し波で大きな被害が生じた。地震の揺れや引き波という前兆があったにも関わらず、住民や観光客にとって津波来襲という認識がなく避難できなかったと思われる。

現在、地震発生後に、地震の規模や断層パラメー

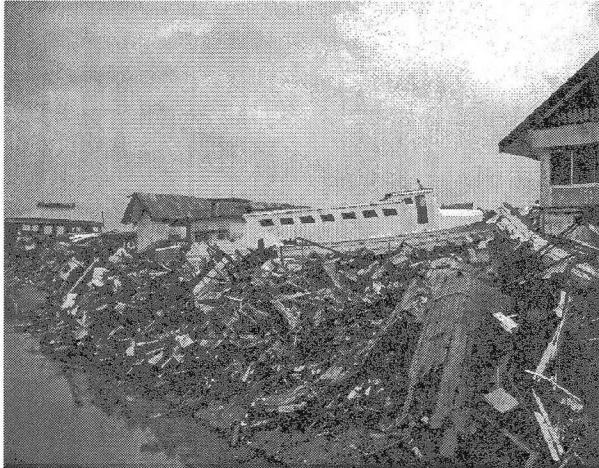
タが推定されれば、海底の変位量や津波の初期波形が求められ、その後数値シミュレーションにより、逐次、津波の挙動を再現することが出来る。正の津波が西側へ、負の津波が東側へ伝播して行く様子が分かる。西側のインド洋は海底水深が約4,000mであり、そこでの津波の伝播速度は時速約700キロに達し、僅か2時間でインド東沿岸やスリランカに到達している。一方、アンダマン海では、平均水深が400mであり、伝播速度は時速200キロ以下になる。このため、タイやマレーシアにも2時間程度の時間で津波が到達することになる。図—3には、タイ周辺へ伝播する津波の様子を示す。津波発生時には、長い波長を有していた津波第一波は、先端が浅海域に入るとつれ、減速しその波長を短くしている。このために波高が増加し、砕波後に段波状になり沿岸部を来襲したものと思われる。このような数値シミュレーションにより詳細な情報が得られるが、実際の現地データと照らし合わせて、その再現性の確認はしなければならない。



図—3 波源から東側へ伝わる津波（波長が急激に短くなり、その分波高が増幅する、電中研・松山氏解析結果に加筆）

4. 被害などの特徴

M9による地震と津波による被害は甚大である。今現在でも正確な実態を把握することはできない。被害が大きい地域ほど、連絡をとることが難しく、情報が得られないからである。ここでは、被害の概要のみを紹介したい。まず、最も被害の大きかった地域は、インドネシア・スマトラ島であり、強震動と突然の大津波の来襲により沿岸地域は壊滅に近い状態であったと推定される（写真—1参照）。タイ



写真—1 インドネシア、バンダアチェでの被災状況（アジア防災センター 荒木田勝氏撮影）



写真—2 タイ、カオラックでの被災状況（秋田大学 高橋智幸助教授撮影）



写真—3 スリランカ、カハワ地区での被災状況

やマレーシアでは、観光地を中心に大きな被害を出した。犠牲者の8割は外国人観光客であると報道されている。日本人も含んでいる。リゾート地での突然の大災害となった（写真—2参照）。さらに、インド、スリランカでも多大な被害を出している。特に、スリランカでは東部、南部の海岸沿いのほか、南西部のコロンボでも被害が出るなど、死者は4万人を超えるとみられている。海岸沿いでは集落が丸ごとなぎ倒されたように破壊された。AP通信によると、コロンボの南部では海岸で収容された遺体が路上に並べられ、行方不明の家族を捜す住民たちが幾重にも取り巻いたと報告されている。写真—3に示すように、列車も被災し、多くの乗客や逃げ込んだ住民が命を失っている。モルディブには26日午前9時（日本時間午後1時）すぎ、津波が押し寄せ、首都マレではほとんどの道路が冠水した。モルディブは約1,200のサンゴ礁の島でできており、海拔はわずか最高1.8mである。

現地からの膨大な映像がテレビを通じて報道されている。ビデオカメラなどが普及し、観光地などでは、多くの方が手元に持っていたからであろう。これらの来襲する津波の映像は学術的に大変重要である。これらを収集して、衛星画像や数値シミュレーションなどと併せて解析を実施する必要がある。1983年日本海中部地震津波を除いて津波の映像はほとんど無い中で、大変基調な情報となった。

5. 現地調査について

平成17年1月3日から8日までスリランカに派遣された現地調査団に参加したが、沿岸の至る所で甚大な被害が発生した。調査メンバーは以下の通りである：

河田恵昭 京都大学防災研究所
今村文彦 東北大学大学院工学研究科
富田孝史 港湾空港技術研究所海洋・水工部高潮津波研究室（現 津波防災研究センター）
有川太郎 港湾空港技術研究所海洋・水工部耐波研究室
安田誠宏 京都大学防災研究所

調査チームの編成には、津波現象・災害の関連テーマに関心のある人、調査の経験のある人などから選考する必要がある。この中には、海洋学者、工学者、測量士、地震学者、地質学者、社会学者、地域計画者などが挙げられる。構成員の中には、必ず被災国から、また、被災国の国語を理解できるメンバーを入れる必要がある。特に、調査許可を得るためにも、被災国の気象庁、大学、国公立研究所、政府に関係する人が必要である。

これらの構成は、被災後、出来るだけ早く行わなければならない。ただし、被災地での混乱やアクセスなども考慮する必要があり、過去の例を見ると、ほぼ被災後2週間程度で現地に入っている。ただし、今回は被害の甚大性および緊急性を考慮して、いち早く現地調査を実施した。

調査計画について、まずは、新聞、テレビなどの

報道、e-mail、現地法人などからの情報を得ることが大切である。これらの情報より、被災地や津波が影響したと思われる地域を推定する。この際に、地震速報から求めた津波波源モデルを用いて数値計算し、沿岸での波高を推算しておくことも有効である。調査地点の数・範囲を考慮して、必要な日数と調査班の数を見積もることが出来る。これらの情報を現地のコンタクト・パーソンに連絡し相談の上で、各地点への移動方法（レンタカー、飛行機、船など）、宿地などを予め計画しておく。これにより、大まかな調査費用（交通費、宿泊代、謝金、レンタカー、消耗品）も見積もることが出来る。

調査内容としては、一般的な、地震津波調査の項目を以下にまとめる。今回は、緊急現地調査であったので、津波の痕跡や住民へのヒアリングに留まっている。

・地震関連

震度（修正メルカリまたは気象庁震度表を参考）、地震の前兆や余震
地震による人的・物的・経済的被害

・津波関連

到達時間、来襲方向、第一波の挙動（上げ、下げ）、最大波
津波の痕跡高さ、沿岸からの距離、周辺の地形特徴
津波のタイプ（壁のように、ゆっくりと流れるように、普通の波のように）、来襲時の音・風・特異な現象
津波による人的・物的・経済的被害の全体像、海水の濁り、土砂移動

・建物・施設被害

家屋、沿岸施設、道路・鉄道、インフラ、港湾・漁港施設、建築・土木構造物

・情報及び避難について

開始時間、避難場所、避難経路、避難のきっかけ、避難行動、災害情報の有無とその内容、津波・地震に関する言い伝え

・被質問者の情報

被質問者氏名、職業、年齢、性別、地名（広域名、集落名などがあるので出来るだけ詳細に記入してもらう）

・沿岸地形の特徴

特異な現象は、局所的な地形に影響されることが多い。そこで、出来るだけ沿岸での地形の特徴を記録する事が望ましい。以下は、地形に関する測定方法をまとめる。

①航空写真・衛星イメージ：広範囲を短時間で測定できる。

ステレオ方法で3次元的な地形を計測可能。浸水域も判別可能、水表面に漂流物があると流速測定も可能

②光波測距器：対象領域において、基準地点間の距離、方向、鉛直角度を測定し3次元的な地形測量、方向は方位で示しておく整理に便利。

③メモ：短時間での調査の際には、地形のスケッチを残しておく。

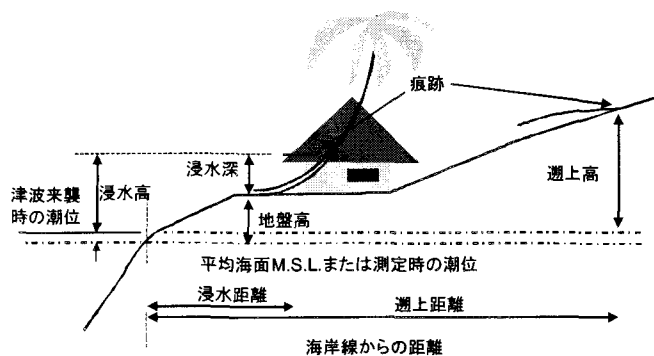
地形情報、被害状況、津波来襲方向、などをまとめておく。

④写真・ビデオ撮影：現地での写真・ビデオ撮影は大変有効である。

調査の最中でもお互いの現場での情報を交換する手段にもある。また、ビデオはインタビューの際にも、音声記録可能なので有効である。

6. 調査の主な結果

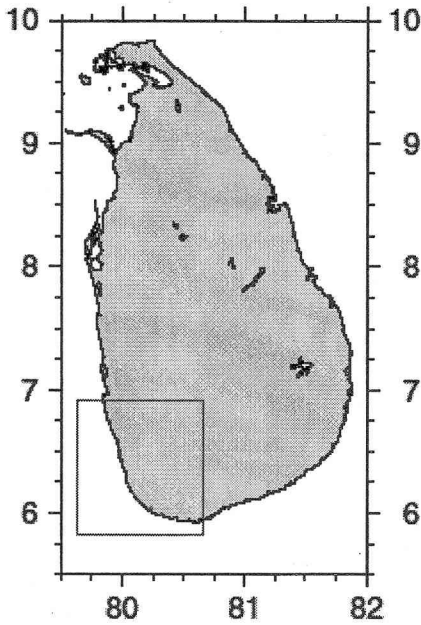
一般に、津波高さという言葉が出されているが、当時の海面から津波が来襲した地点までの高さ（偏差）を示す。これは、海域、陸域、浸水域の境界などの区別が付きにくい。そのため、図—4に示すように、陸域で浸水した地域での高さを浸水高、また、浸水域の境界での高さを遡上高と明確化する。さらに、浸水高は地盤からの高さ（浸水の深さ）も定義でき、これを浸水深と呼ぶ。陸上での建物被害は浸水深に関係が深い。この時、遡上高さは地盤高さと同じになるのでこの深さはゼロとなる。



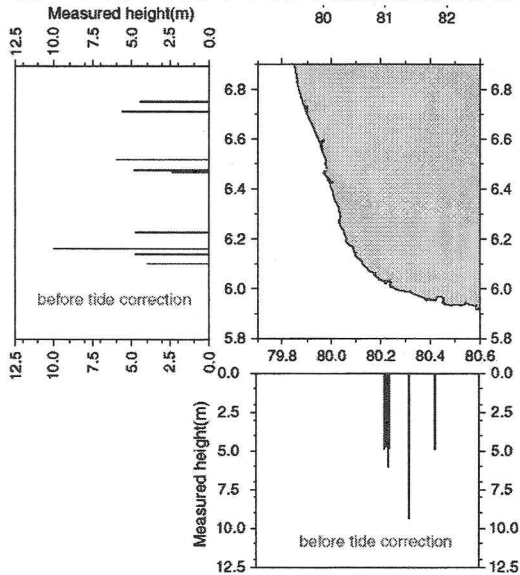
図—4 津波高さ・深さの定義

津波来襲状況：津波の浸水高さについて調査した結果を図—5に示す。今回の調査では、浸水域が広大であったため、遡上点まで把握することが難しく、ほとんどの測定値は浸水高である。今回のコロンボからゴールまでの平均高さは、5m程度である事が示される。9-10mにも達した地点もあったが、建物や地形の影響を受けて、局所的な津波の増幅が見られた。この沿岸での地形は、平坦であり、2-3mの標高を持つ地域が多かった。そのために、遡上してくる津波が斜面を駆け上がって大きくなる様子は見られない。沖合からほぼ5m程度の津波が来襲し、海面が上昇し、陸域へ流れ込み、そのまま内陸へ流入していったものと思われる。

Kahawaのような地形は、海岸域で標高が高く、内陸に行くにつて若干低下する傾斜がある。このような場合には、内陸へ浸水してからの勾配を下がるにつて重力効果で加速され、流速が増加するものと考えられる。流れが強くなると流体力も増加する。そのため、内陸奥深くとも大きな流れによる被害が生じていた原因の1つである（写真—4参照）。



図—5 (a) スリランカ島と調査実施地域



図—5 (b) 合同調査団による津波浸水高・遡上高

建物破壊：力は、深水深に比例し、さらに流速の2乗に比例する。さらに、物体に作用する力を考えると、流れの方向に対して前後で対象かどうかで関係する。対称であると前後で同じ力がかかるのでバランスがとれ、実質的な力はゼロとなる。従って、ココナツの木など形状が一見倒れそうに見えるが、細い円柱であるため前後で流況を大きく変化することがない。その結果、作用流体力は小さく、周辺の建物は破壊されても、植生だけが立っているという光景が各地で見られた。従って、1階が柱で構成されているピロティー方式の建物（高床式住居も含む）は、被害を免れることが多い。この地域での煉瓦造りの家が多く、強度的にはコンクリートに劣る。水圧を受けただけでも倒壊しており、さらに、流れが加わると煉瓦の壁などは粉々に破壊された（写

真—4）。ただし、写真—5に示されるように1つ建物が残った例もある。建物強度が十分で合った理由よりも周辺の影響（背後の樹木など）により外力が低下していたと思われる。

列車事故：交通関連のなど抵抗が少ないとさらに丈夫。今回、ゴール市北部のHikkaduwa, Kahawaでは、9両の列車が被災し千名以上の犠牲者を出した。津波第一波が来襲した時に、この列車がたまたまこの付近を通過しており、停止した。第一波は、陸上で僅かに浸水した程度で被害を出すことはなかった。この周辺の住民も津波来襲の異変を見て、内陸側へ避難を開始している。その一部は、停車していた列車の内部へ逃げ込んでいた。列車の車両は、車などと比較して強固であり、高さもあるために、住民にとっては安全に見えたに違いない。しかし、3-40分後（証言によっては15分程度）に来襲した第2波により飲み込まれてしまった。第2波の痕跡は浸水高で5m前後、局所的に10mに達する場所もあった。車両は大きな破壊を受けることはなかったが、内部に浸水した海水により、ほとんどの乗客・住民は外にひげ出すことも出来ずに、水死してしまいました。一瞬に来襲した津波による悲劇である。第一波で避難行動を開始したが、場所が悪く被災した。津波の場合、遠い場所よりも高い場所への避難が原則となる。

ゴールでの浸水：ゴール市は、旧市街（世界遺産



写真—4 破壊された住宅（スリランカ）



写真—5 残された建物（高校の校舎）（スリランカ）



写真—6 浸水したゴール市新市街地



写真—8 沿岸部での侵食（スリランカ）



写真—7 漁船被害（スリランカ）



写真—9 鉄道基礎の侵食（スリランカ）

にも指定されている城壁で囲まれた街）と新市街に分かれる。この周辺でも津波の浸水高は5m程度であり、ほぼ同程度の高さで護られている旧市街と低い地盤で防潮堤などもない新市街では、大きく被害状況を異にした（写真—6）。ゴール市では、大きな引き波（湾口付近まで海面が後退し、そこでの水深は10mと言われる）の後、6m程度の押し波が来襲、新市街に浸入したものと考えられる。半島のような旧市街の左右に分かれた津波は、その背後にあるバスターミナルにも来襲した。西側から浸入した津波の方が到達時間は早く、これを追いかけるように右側から津波が入ったと思われる。全く違う方向からの津波来襲は、バスターミナルにいた多くの住民から証言を得ている。

港湾・漁港での被害：BeruwalaおよびHikkaduaでの漁港被害、ゴールでの港湾被害を視察した。前者の漁港には石積みの防波堤（入り口の絞られた）があり、漁港の護岸もしっかりしている。そのために港内と港外では、津波の浸水高さに差が生じ、内部での被害軽減に寄与したと思われる。ただし、防波堤そのものの破損し、港内の漁船が流出し座礁していた（写真—7）。石積みの護岸は高さが十分ではなく、津波の内陸部への浸入低減の効果まではなかったと判断している。津波の流れが強い場所では、石

積みが破壊・移動し、大きな岩塊が何メートルも動いていた。これは危険な状況であった。ゴール港でも、津波浸水高は5m程度、護岸での侵食、大型作業船の陸上への打ち上げ、港湾建物の1階部浸水が見られた。漁港も港湾も破壊的な被害を受けていないが、機能は停止しており復旧復興のみならず地域社会への影響は大きい。

侵食：沿岸部、建物周り、橋脚や鉄塔周り、で大規模な侵食または堆積が見られた。上部構造は大丈夫であっても、基礎部での侵食のために傾斜し機能低下が起こっていた。このような砂移動は、押し波だけでなく引き波でも生じ、衝撃的な力の作用より一方向の流れの継続時間が長いと大きな規模の侵食が生じていた。写真—8は、沿岸部での植生基礎部の侵食である。恐らく、押し波での衝撃的な波力により砂が削り取られたと思われる。さらに、狭い河口に浸入した津波が広い河道内に広がり、大きな渦を形成し、それが線路の基礎を大きく侵食させた例もある（写真—9）。深さ2m、長さ200m以上、幅20m位の規模であった。なお、アスファルトやコンクリートで被覆していると侵食はない。

7. 最後に

現在考えられる課題を以下にまとめたい。これは

我が国の防災対策の教訓ともなる。

- ・津波被害の推定：人的被害，津波認識，警報システム，避難行動，避難場所，
- ・津波に対する認識：ただ屋上などから撮影している人は津波に気づいているが，ビーチにいる人はぎりぎりまで気づいていない様子であることから，「津波はビーチからは見えにくい」という特徴があるのではないか。海岸は，パノラマの景色で
 - 遠くのもの小さく見える
 - 横のスケートが大きいので高さが低く見える
 - 高さのスケールになるものが沖にない（カオラックでは唯一巡視船がスケールになった）
 - 立った目線の位置は低いので，先が見えないなどの影響を受けて，10m以上の津波が来ても実感できません。
- ・市街地での津波来襲（漂流物）：海域でまた遡上しながら津波は，船，車，建物などを飲み込んでいった。インドネシア・バンダアチエの市街の通りでは，がれきなどの漂流物を含む濁流が見られた。破壊力を増し，人的被害増加の原因ともなった。我が国では，この問題はさらに深刻であり，漂流物の浸入防止は重要な課題である。
- ・低地や河川への遡上（砂移動）：今回も，河口部を通じた河川上流への遡上，また，潟などの平地への浸入が見られた。ここでは，特に，橋梁での侵食，道路破壊などの被害が見られ，土砂移動とのカップリングによる津波掃流力の威力を確認した。
- ・建物との相互作用（避難ビルの安全性確認）：陸上への遡上の過程で，津波は住宅等の建物を破壊

していった。ただし，構造上の強度や周辺の植生のために，破壊を免れた例もあった。今回のデータを整理しながら，破壊基準を整理しなければならない。我が国では，避難困難地域では，一時避難ビルの利用も検討されており，実際に津波来襲に対して，建物が安全かどうかを確認出来る基準が早急に必要である。

- ・インド洋沿岸各国での防災対策の提言：現行の早期警報システムの適用と，さらにはデータベースを活用して津波伝播のシミュレーションにより詳細な情報を提供することは技術的には可能である。これに対して，我が国の防災技術（量的警報システム）が貢献でき，対象国で実施できる対策案を提言できるはずである。その際に，地域に応じた津波情報の内容整理と伝達手段の確保は不可欠である。
- ・データベースの作成と長期的な教育啓蒙活動：今回の大災害の実態（映像，専門調査，メディア情報）や復旧・復興過程を後生に残す義務がある。また，甚大な災害を経験しても，月日が経つにつれて記憶は忘れ去れる。継続的な啓蒙・教育活動が必要である。データベースは我が国での防災対策を強化する原動力になる。

津波災害は低頻度であるが，一旦生じると甚大な被害を広域で生じさせる。インド洋大津波のような被害は，必ず我が国でも発生する。被害軽減の努力は，地域をベースに様々な分野での協力を持続的に進めなければならない。本文はそのための一助になることを祈って執筆させて頂いた。