

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1106 September 2005

インド洋地震津波の被害例について
—タイにおける事例を中心として—

平 石 哲 也
有 川 太 郎
南 中 靖 彦
田 政 典

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan





巻頭写真-1 タイ、カオラック (Khao Lak) 海岸のホテル被災 (2004. 12. 31撮影)
(2階の床上方に泥跡があり、屋根まで漂流物が打ち上げられている。痕跡高は海面より約10mである)



巻頭写真-2 カオラック海岸における海浜侵食 (2004. 12. 31)
(写真左方の歩行者の高さと同程度の深さで砂浜が侵食されている。椰子の根幹部は露出している)



巻頭写真-3 タイ、プーケット島パトンビーチ (Patong Beach, Phuket Island) の市街地 (2005. 1. 1撮影)
(海岸道路に面した木造の店舗は倒壊しているが、後方の鉄筋コンクリート製のビルは軽微な被害で残っている (痕跡高約6m))



巻頭写真-4 パトンビーチの海浜侵食の様子 (2005. 1. 1)
(海岸護岸が侵食によって崩落している。侵食された深さは1m程度である)

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 津波の概要	4
2.1 新聞・インターネット情報による津波到達時刻	4
2.2 初動の特性	6
2.3 各地の人的・構造物被害	6
2.4 津波高の概況	7
2.5 津波被災からの復旧	8
3. 現地調査による被害例	9
3.1 タイにおける津波高と被害例	9
3.2 インドネシアにおける津波高と被害例	13
4. 海岸植生の津波被害軽減効果	14
4.1 海岸侵食の防止効果	14
4.2 津波高の低減効果	17
5. まとめ	18
謝辞	18
参考文献	18
記号表	19
付録	19

Field Survey on Indian-Ocean Earthquake Tsunami

- Example obtained mainly in South-Thailand -

Tetsuya HIRAISHI*

Taro ARIKAWA**

Yasuhiko MINAMI***

Masanori TANAKA ****

Synopsis

A gigantic tsunami was generated in the Indian Ocean Earthquake on December 26, 2004. The tsunami attacked and gave the devastated damages in the coastal areas facing to the Indian Ocean including the Northern Sumatra, West Malaysia, South Thailand, Sri Lanka, South India etc. A field survey was carried out in the coastal area in the South Thailand to mainly investigate the beach erosion due to tsunami flow. The paper describes the characteristics of beach erosion observed in the field. The beaches were heavily eroded in the Khao Lak beach where the tsunami run-up height became more than 10m. A short survey in Banda Aceh city coast, Indonesia is introduced in the paper.

Key Words: Indian-ocean Earthquake Tsunami, Field survey, Beach erosion, Greenbelt

*Head, Wave Division, Marine Environment and Engineering Department, Dr. Eng.

**Senior Researcher, Marine Environment and Engineering Department, Dr. Eng.

***Member, Wave Division, Marine Environment and Engineering Department

****Senior Researcher, Soil and Geological Department, Dr. Eng.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5042 Fax : +81-46-841-3888 e-mail: hiraishi@pari.go.jp

インド洋地震津波の被害例について

—タイにおける事例を中心として—

平石 哲也*
有川 太郎**
南 靖彦***
田中 政典****

要 旨

2004年12月26日にスマトラ島沖で発生したマグニチュード9.0の地震によってインド洋沿岸に巨大津波が来襲し、未曾有の被害を与えた。被災地は震源地に近いスマトラ島北部から、マレーシア、タイ、ミャンマー、インド、スリランカ、モルジブなどの広範囲に及び30万人を越える人命が失われた。津波被害の特徴を明らかにするために、被災直後を含め2回にわたりタイ南部の海岸で、津波痕跡や海岸浸食が調査された。またスマトラ島北部で甚大な被害を受けたバンダ・アチェ市の海岸部で被災形態の実態が調査された。本研究では、現地調査の結果をまとめ、被災が大きかった建物の種類や海岸浸食の実態を明らかにした。

キーワード：インド洋地震津波，現地災害調査，海岸の浸食，グリーンベルト防災

* 海洋・水工部波浪研究室長，博士（工学）

** 海洋・水工部主任研究官，博士（工学）

*** 海洋・水工部波浪研究室員

**** 地盤・構造部主任研究官，博士（工学）

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5042 Fax：046-841-3888 e-mail:hiraishi@pari.go.jp

1. まえがき

2004年12月26日のインドネシア西部時間午前7時58分(日本時間午前9時58分, UTC(世界標準時)午前0時58分), スマトラ島北端の西方160km沖(3.244°N, 95.825°E), 深さ約10kmでマグニチュード9.0(USGS:米国地震研究所発表)の地震が発生した。この地震は過去40年に起こった地震の中で最大のもので, 1964年に発生したアラスカ地震のマグニチュード9.2以来の巨大地震であった(表-1参照)。

表-1 過去の巨大地震

順位	発生場所	発生年月	マグニチュード
1	チリ	1960年 5月	9.5
2	アラスカ	1964年 3月	9.2
3	アラスカ・アリューシャン諸島	1957年 3月	9.1
4	カムチャッカ半島沖	1952年 11月	9.0
4	スマトラ島沖	2004年 12月	9.0

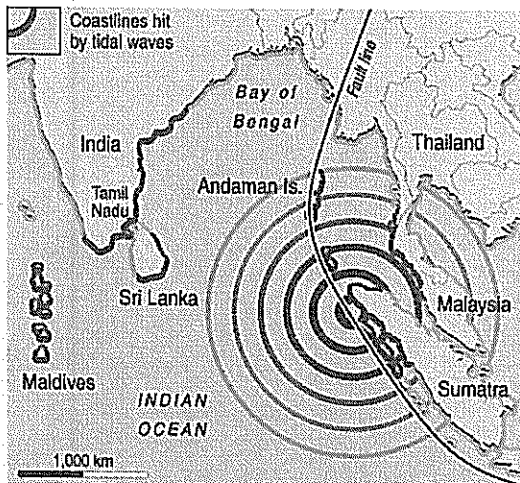


図-1 震源地と津波被災地

(防災システム研究所ホームページ
(<http://www.bosai.co.jp/>)(2004)転載)

この巨大地震は, 陸側(スマトラ島側)のユーラシアプレートの下に, 海側のインド, オーストラリアプレートが沈み込んでいくうちにそのひずみが蓄積され, ユーラシアプレートが一気に跳ね上がったことで発生したプレート境界型の地震で, 東海地震や南海地震と同じタイプである。地震の震源が極めて浅く, 海底の変動規模も巨大であったことから, インドネシアのほかスリランカ, インド, タイ, モルディブ, マレーシア, ミャンマーなどのインド洋沿岸諸国, さらにアフリカ大陸東岸のソマリア, ケニアなどにも被害が出るほどの大津波(インド洋地震津波)が発生した。この津波は南極・昭和基地やアメリカ合衆国の西海岸, 南アメリカ大陸でも観測されている。図-1に震源地の

位置を示す。

この地震の本震(M9.0)や余震の波形は, 5000km以上離れた日本の各地の地震計でも観測されていたが, 人が揺れを感じたり高層ビルが揺れたりする周期よりも長い周期の地震波だったため, 強い揺れは観測されなかったという。

津波の発生に伴い, 迅速に現地の被災状況を調べることは被災メカニズムの解明に重要であるだけでなく, 津波リスクの高い我が国での防災計画を検討する上で必要である。そこで, 著者の一人(平石)は, 被災直後に日-タイ合同津波被災調査団(松富ら, 2005)に参加し, タイ南部沿岸での津波痕跡を調べた。調査団のホームページに示した痕跡高の分布を図-2に示す。引き続き津波による海岸浸食の実態を調査するために著者ら(平石, 南, 田中)はタイ南部で海岸地形測量を実施した。さらに, タイにおける被災状況と比較するために最も甚大な被害が生じたインドネシア北部バンダ・アチェ(Banda Aceh)市において建造物の被災状況を調べた(平石・有川)。本資料は, 著者らが撮影した写真と測量データを用いてインド洋地震津波の被害例を整理したものである。著者らの限られた経験に基づいた資料であり, 津波の全体像を把握したものではなく, 津波のメカニズム解明に向けては, 更なる機会を作りたい。

2. 津波の概要

2.1 新聞・インターネット情報による津波到達時刻

新聞情報やインターネットのホームページ上で掲載されていた各地の津波の推定到達時間をまとめた。参考図として, 公表資料による津波到達時刻予想値を図-3および図-4に示す。

第1波の到達時間

インドネシア・スマトラ島北部	15~20分程度
タイ・プーケット島	2時間程度
スリランカ	2~3時間程度
インド	2~4時間程度
モルディブ	3時間程度
アフリカ東岸	6~8時間程度
南極大陸	11~12時間程度

震源近くのスマトラ島北西のBanda Acehでは, 現地での聞き取り調査により, 地震発生後の15~20分後に津波が来襲したと思われる。しかしタイのプーケットやインドの東海岸に津波が到達したのは地震発生後から2時間以上経過してからなので, 津波情報伝達システムが整備されていれば十分に避難ができる時間があっただと考えられる。

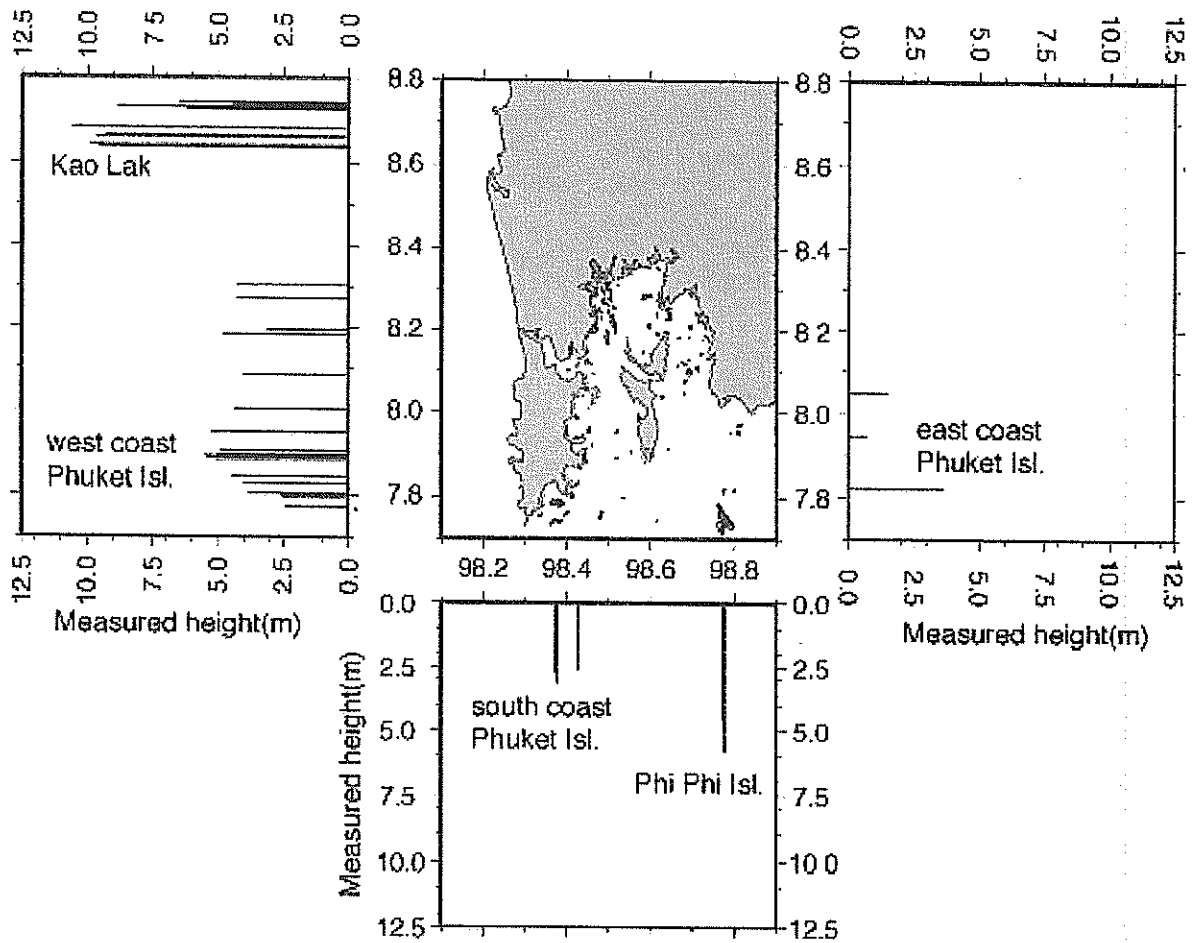


図-2 タイ南部における津波痕跡高の分布 (調査団ホームページ
http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/thailand/phuket_survey_e.htmlより)

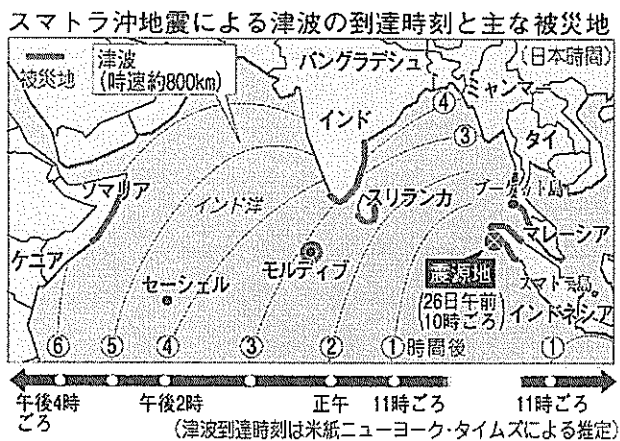


図-3 津波到達時間推定
 (共同通信ニュース(2004.12)より)

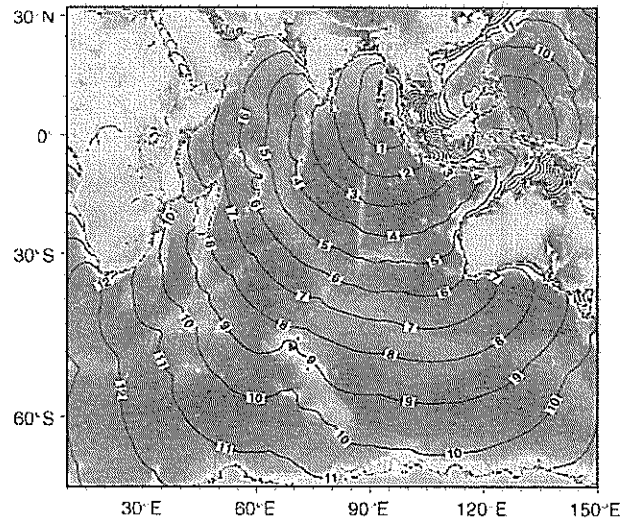


図-4 津波到達時間推定
 (産業技術総合研究所ホームページ
http://www.gsj.jp/jishin/sumatra_1226/index.html(2004)転載)

2.2 初動の特性

産業技術研究所によるコンピューターシミュレーションで、地震の規模や余震の震度分布から北に向かって南北1000km程の海底が10m前後動いたと仮定して、津波の伝わり方を計算している。これによると震源の東側のタイ・プーケット島などでは最初に海面水位が下がる引き波が到達、一方西側のインドやスリランカ沿岸では最初に水位が上がる押し波が到達し、いきなり大きな津波が襲った。これはスマトラ島北端のナングロアチェ州での「沖に引いていた海水が一気に押し寄せ、3m以上になった」やプーケット島での「潮が遠く、遠く、遠く引いていった。不思議に思っていると水の壁が押し寄せてきた」という目撃者の証言とも一致する。

インド洋周辺は地震が多発する地域であったが、インドネシアを除いて、これまで地震で津波が発生した事例が少なかったため、大半の地域では住民らは海面の盛り上がりなどの現象が津波の予兆であるということを知らなかった。さらに津波警報システムが整備されていなかったことや対策、教育がなされていなかったこともあり、津波という言葉自体知らない人が多く、被害が大きくなった可能性がある。27日付インド各紙では「津波とは何か」を1面で解説し、その驚きぶりを示している。

タイ南部パンガ島のクラブリ港から西に約70キロにあるスリン諸島では、津波で壊滅的な打撃を受けたが、死者はタイ人観光客3人だけだった。「海が急に引き始めたら山に逃げると、曾祖父の代から言い伝えられていた。津波の直前、海面で魚が一斉に跳ねていた。これはおかしいと思ひ、走った」と高齢女性が話している。このように昔からの言い伝えによって大勢の命が救われた地域もあった。

2.3 各地の人的・構造物被害

(1) インドネシア

スマトラ島は、地震の震源に最も近く、最大の被災者が出た地域である。特にスマトラ島北部のナングロアチェ・ダルサラム州西海岸は津波によって甚大な被害を受けた。2月9日現在での同国内での死者は11万人を超え、なお12万人以上の人が行方不明となっている。州都バンダ・アチェでは市中心部にある唯一の高級ホテルが大きく崩れているほか、一部の商店や住居が倒壊している。また津波は海岸から数キロ離れた市中心部まで押し寄せている。現地調査によれば海岸から約5km付近まで津波による浸水被害が及んでいたことが分かっている。津波の流速も海岸から3km付近の地点でも7.7m/secであったことが示されている(都司, 2005)。

この調査団らの現地調査によって、スマトラ島西海岸に

あるLhoknga村には34.9mの高さまで津波が遡上していたことが明らかとなっている。またこの近くの海岸にも25m以上の津波が来襲していることが分かった。この地域は島の西海岸で、震源域に直面する位置であったため津波による被害が大きくなったと考えられる。

ジャカルタで19日に開かれたインドネシア支援国会合で、インドネシア政府はスマトラ沖地震で最大の被害を受けたアチェ州の損害額が概算で約45億ドル(約4600億円)に達したとの調査結果を公表した。損害額はアチェの域内総生産の97%に、同国全体の国内総生産(GDP)では2.3%に相当する。項目別では家屋の被害が約14億ドルと最大で、交通網と水産業の被害はそれぞれ5億3000万ドル、5億1000万ドルだった。

(2) スリランカ

インドネシアに次ぐ大きな被害を受けたスリランカでは、死者が3万人以上になり、今なお5000人以上が行方不明となっている。スリランカ南西部沿岸で行われた現地調査の結果から、ヒッカドゥワという町では最大10mの津波が確認された。現地調査(富田ら, 2005)によると、この町の周辺では4~6mであったのに、ヒッカドゥワの津波がこれほど高くなった原因は、レンズ効果であるとしている。ヒッカドゥワの浜辺から190m内陸を走る鉄道が、津波で押し流されるなど、レンズ効果で波が集中したことで破壊力も大きくなったと見られる。またスリランカ東部でも、沿岸地帯の道路が津波で破壊されるなど被害が出ている。しかしスリランカ南西部にあるゴールの旧市街地では、17世紀にオランダが造った高さ5mの城壁が津波を食い止め、住民の命を救った(2005年1月4日, 朝日新聞朝刊)。

(3) インド

インドでも1万5000人を超える人々が津波の犠牲となった。特にチェンナイなどのインド東側の海岸やインド領アングマン・ニコバル諸島のカールニコバル島をはじめとする諸島での被害が大きかった。これらの諸島は震源地であるスマトラ島から北西約500kmに位置し、震源に近かったため大きな被害を受けたが、これらの島に暮らし、今なお石器時代と同様の生活を続ける少数民族のほとんどが難を逃れて生存していることがインド政府の被害状況調査で明らかになっている。

(4) タイ

タイ本土南部のカオラックやクラビ、リゾートで有名なプーケット島やピピ島で多くの被害が出た。カオラックでは海岸から約200mの範囲に立ち並んでいたホテルやコテージが一面になぎ倒されるなど、沿岸のリゾート地域は壊滅的な被害を受けた。現地調査の結果からカオラックには約10m前後の津波(津波痕跡高)が襲ったことが確認され

ている。またカオラックビーチでは深さ 150cm、汀線から陸側へ 50~100m にわたって海浜が陥没または流出し、植生が倒壊しているのが現地調査により確認された。またこの調査でカオラックにある 3 階建て以上の鉄筋コンクリート建物のうち約 6.2m の津波に襲われた 2 棟を調べた結果、どちらも日本よりも弱い造りの構造であったが、修復すれば使える程度の被害で済んでいることが分かった。

約 3~6m の津波が襲ったと思われるプーケット島では最も被害の大きかったパトンビーチなどの島西部のビーチが被害を受けた。これらのビーチにはクリスマスから年末年始休暇で外国から多くの観光客が訪れており、津波の被害を受けたのはこれらの観光客であった。

(5) ミャンマー

ミャンマー軍事政権のペータン副運輸相は 2 月 1 日、インド洋大津波の被害について初めて公式に被害状況を発表した。被害者は死者 61 人、負傷者 42 人と発表した。また、家屋 601 棟と 29 カ村が破壊され、2592 人が家を失ない、被害総額は約 15 億 8600 万チャットに上る。

(6) モルディブ

モルディブは小さな島々が約千二百も集まった国で、海抜は最高でも 1.8m しかなく、多くの島が津波によって冠水した。被害が大きかったのは観光客の訪れない住民島であり、外国人が訪れるリゾート島では死亡者はあったものの、建物や栈橋の設計、建材などの水準が比較的高く、住民島に比べれば、被害は限定的なものとなった。また首都があるマレ島では、日本の政府開発援助 (ODA) により同島の周囲に海岸保全施設が建設されている。今回の津波では、この護岸のおかげで、首都マレの町は浸水したものの大惨事から免れ、多くの命が救われた。しかし基幹産業である観光施設が大きな打撃を受けたことで、経済への影響が深刻な問題となっている。

以下に本資料取りまとめ中に発表された暫定的な今回の地震と津波による各地の死者数 (人) を示す；

インドネシア	113,000 (2005/2/6 更新)
スリランカ	30,957 (2005/2/6 更新)
インド	16,389 (2005/2/6 更新)
タイ	5,393 (2005/2/6 更新)
ミャンマー	61 (2005/2/1 更新)
モルディブ	83 (2005/1/11 更新)
マレーシア	68 (2005/2/1 更新)
バングラデシュ	2 (2005/1/4 更新)
ソマリア	150 (2005/1/11 更新)
合計	166,103 (2005/2/6 更新)

行方不明者 (人)

インドネシア	127,774 (2005/2/6 更新)
--------	-----------------------

スリランカ	5,637 (2005/2/6 更新)
タイ	3,071 (2005/2/6 更新)
合計	136,842 (2005/2/6 更新)

死者行方不明者 (人)

合計	302,585 (2005/2/6 更新)
----	-----------------------

(日本時間 2 月 6 日現在、WHO 通信社、ロイター通信など参考 推定含む)

日本人の被害者は 2 月 22 日現在で、死者は 29 人で、現在でも 16 人の人が安否未確認となっている。収容された遺体の身元確認は長期化し、最終的に確認できないこともありうる状況である。

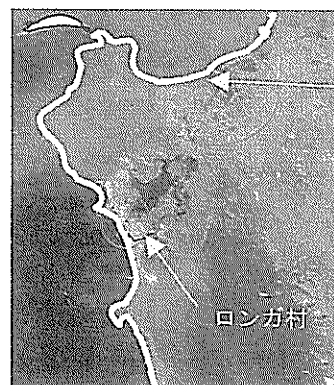
地震発生から約 3 ヶ月以上経過しプーケットなどのビーチでは復興が進み、営業を再開しているところもある。しかしインドネシアのバンダ・アチェ(Banda Aceh)などの被害が著しいところではまだまだ復興が進んでいない。また津波の恐怖や家族を失った悲しみで心的外傷後ストレス障害 (PTSD) に苦しむ人も増えている。

国際通貨基金 (IMF) と世界銀行から、津波被災 7 カ国の被害状況について、被害総額が 72 億ドル (約 7530 億円) 以上に達するとの調査結果が公表された。

2.4 津波高の概況

(1) インドネシア

インドネシアには解析できる検潮記録が残されていないが、現地での調査結果 (都司, 2005) から震源近くのバンダ・アチェ市の海岸付近での津波高 (遡上高) は、津波の痕跡から 8~13m であったと推定される。バンダ・アチェの南西に位置するロンガ(Lhoknga)村やそこから少し南にあるルバン(Lepueng)村などでは、ほとんどの沿岸部で 20~25m を超えており、最大で 34.9m まで津波が到達していた。図-5 に公開された衛星写真から確認できるバンダ・アチェ市の地形と被害状況を示す。



バンダ・アチェ市

図-5 Banda Aceh 付近図 (国際水理学会ホームページ (<http://iahr/net/site/index.html>)に紹介されたシンガポール大学(CRISP, National University of Singapore)作成画像より)

(2) タイ

タイでの津波高も現地での調査により測定されたものである。タイ南部のカオラック(Khao Lak)では5~10mの津波高が確認され、最大で11m近くの津波が確認された。プーケット島でも3~5mの津波高が確認された。ピピ島では6m近くの津波高が確認されている。

(3) スリランカ

スリランカでも調査団の現地観測によって測定されたものである。2.3節にも書いてあるが、スリランカ南西部の沿岸部ではだいたい4~6m程度の津波高であったのにヒッカドゥワという町の海岸部では10mの津波高が確認されている。またスリランカ南部のHambantotaやKirindaというところでは9~11mの津波高が確認されている。ただしこれらのスリランカの値は潮汐補正前のデータである。

(4) モルディブ

モルディブでの津波高も調査団によって計測されたものである。1~3m程度の津波高であったが高いところでは4.5mの津波高が確認されている。

各調査団の調査結果は、まとめて京都大学防災研究所インド洋地震津波災害のホームページに記載されている。

(URL:<http://www.dr.s.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/index-j.html>)

2.5 津波被災からの復旧

(1) 国連による救援

2005年1月6日ジャカルタで開かれたスマトラ沖地震と津波の被災国に対する支援策を協議する緊急首脳会議では、国連主導で各国が結束して支援体制を作ることや津波の早期警戒システム構築などをうたった共同宣言を採択した。共同宣言では、被災者の緊急援助のために今後半年間で9億7700万ドル(約1000億円)が必要などとした国連の緊急アピールに支持を表明した。

同7日には先進7カ国(G7)の財務相が、スマトラ沖地震と津波被災地支援についての共同声明を出し、G7各国に対する被災国の債務支払い猶予など、当面の資金援助策を発表した。

同11日に国連欧州本部のあるジュネーブで開かれたスマトラ沖地震の津波被災国に対する復興支援閣僚級会議で、各国が拠出を表明した緊急支援資金は7億1700万ドルとなった。アナン国連事務総長が国際社会に要請した緊急支援資金9億7700万ドルの73%に当たる。日本は2億5000万ドルで最大の拠出国となった。これまでに各国や国際機関が被災国に対して表明してきた救済資金は50億ドルを超

えていたが、大半が復興への中長期的支援に集中している。

同18日から5日間にわたり神戸で開かれた国連防災会議で、今後10年間の国際的な防災戦略を示した「兵庫宣言」と行動指針となる「兵庫行動枠組」が採択された。またスマトラ沖地震を受け、インド洋地域の津波警戒システム構築策を盛り込んだ共同声明も出した。

(2) 日本政府の対応

日本政府は2004年12月27日に地震と津波による被災地に対する救援活動に乗り出し、スリランカに対して同日、国際緊急援助隊の医療チームを派遣した。さらにテロ対策特別措置法でインド洋に派遣され、日本に帰還中だった海上自衛隊の護衛艦や補給艦をタイ近海のプーケット島周辺に派遣し、捜索・救難活動を実施した。またタイのリゾート地カオラックには、日本の国際緊急援助隊の救助チームが派遣され活動を行った。翌年4日、政府は陸海空3自衛隊をインドネシアに派遣し、スマトラ沖地震に伴う津波被災地で救援物資の輸送や医療活動を行うことを決め、先遣隊が出発し、15日には陸上自衛隊応急医療チームが出発し、29日からは、陸自部隊が感染症の流行を防ぐための防疫作業を始め、本格的な活動に入った。

防衛庁は、インドネシア政府が地震発生から3カ月後に外国の部隊の活動を終了するよう求めていることに配慮して、自衛隊を3月26日までに撤退させると発表した。

(3) 考えられる津波対策

(a) 警報システムの整備

今回の津波被害がここまで大きくなったのは、インド洋沿岸諸国には太平洋側の各国にて整備されている津波警報国際ネットワークが無く、2時間後に到達する地域においても避難勧告を出すことができなかったことが、要因の一つであるといわれている。

国連防災会議での共同声明や1月28、29の両日、タイ政府の主催で、東南アジア諸国連合(ASEAN)や日中韓など43カ国と13の国際機関の代表が出席した地域協力閣僚級会議でも、インド洋沿岸と東南アジア地域での津波早期警戒システム構築に向け、早急な取り組みを進めることで合意している。このように今回の津波の発生で、津波を早く知らせる警報システムの活用が注目され、大きな期待が寄せられている。

しかし計画ではインド洋地域でのシステムは2006年6月までに整備し、その1年後をめぐりに地球規模の警報システムも整えるとしているため、システムが構築されるまではまだまだ時間がかかる。日本の気象庁はインド洋沿岸各国への津波監視情報の暫定的な提供を、3月上旬にも開始する方針を発表した。

(b) 防災教育

前節で述べたように津波という言葉自体を知らない人が多く、津波の知識がまったくといっていいほどなかったことが被害を拡大させた。今村教授も「津波防災ワークショップ」で津波情報が伝わっても、津波の怖さを知らない住民が必ずしも高台に逃げず、命を守ることにならないと指摘しており、津波警報システムの整備だけでなく、津波に関する知識の普及が不可欠である。

地震による大津波の被災地でも、日本の教員や専門家に防災教育を求める声が高まっており、地震大国である日本に期待が寄せられている。

今回被災を受けた地域は、これまで津波や高波の被害を受けた経験が無く、防波堤や防潮堤などのハード施設の整備はほとんどなされていない。モルジブ、マレーシアおよびインド沿岸でのハード施設が一部整備されていたところでは、未整備地区に比べて被害が軽減されたことが報告されており（例えば、共同通信ニュース、2004.12）、防波堤や防潮堤の整備もできるだけ図っていく必要がある。

3. 現地調査による被害例

3.1 タイにおける津波高と被害例

(1) カオラック (Khao Lak) 海岸

ここでは、著者によってレーザー距離・高度計で測定された測量結果を整理する。現地で測量した津波痕跡の高さ（巻末の付録-2 参照）は、まず測量時の海面からの高さとして整理した。次に、東京大学地震研究所ホームページ (<http://www/eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/tide/index.htm>, 2004) で示されているインド洋沿岸の潮位表を用いて津波来襲時の海面からの高さに換算した。津波来襲時は、バンダ・アチエ市(Banda Aceh) では12月26日8:30、タイ南部では10:00(現地時刻)とした。現地の干満潮位差は約2mで、津波来襲時は、ほぼ満潮位に相当していた。

図-6 にタイ南部における調査地点と測量した痕跡高を示す。痕跡は津波によって破壊された家屋の屋根、ホテルの壁面、地元住民のヒアリングから確認し、レーザー距離・高度計ならびに標尺を用いて高さを求めた。付録に痕跡の位置と測定高さの一覧を示す。図中の上方(北側)で10m以上の痕跡高が記録されている海岸がカオラック(Khao Lak)海岸で、新しく開発されたリゾート地で多くのコテージやホテルが被害を受けた。図の下方、すなわち南側のプーケット(Phuket)島ではカマラ(Kamala)海岸およびパトン(Patong)海岸で痕跡を測量した。カマラ海岸では警察署の倉庫に残された泥跡から最高痕跡を求めた。痕跡高は $R=5.6\text{m}$ で、警察署の室内での痕跡は $R=4.7\text{m}$ で室外と室内での痕跡高の差が判明した。

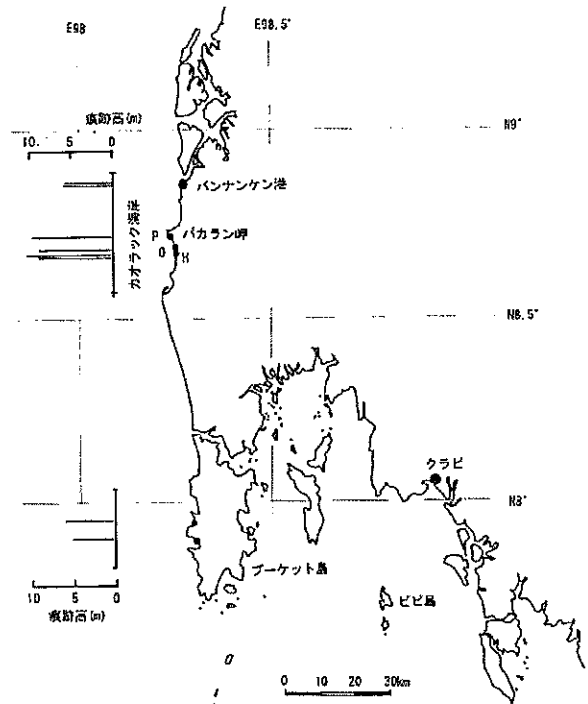


図-6 タイ南部における痕跡高(2次調査による)

図-7 はカオラック海岸の地形と主な痕跡および被災状況を示したもので、北部のバンナンケン(Bang Nam Kem)漁港では、鉄筋コンクリート製の養殖施設が基礎を残して流出したり、栈橋の上部工が破壊された。漁港施設を有する村落でタイでは村落被害としては一番大きく、12月31日には行方不明者の捜索が続いていた。岸壁の高さは2mでそのレベルで村落の地盤は広がっている。岸壁背後の2階建ての家屋は1階部分が浸水し、2階の床レベルに泥痕跡が残されていた。地盤からは目視で4mの高さであり、合計して津波高は6mとなる。しかし、村落中央部の家屋に残った泥痕跡は、地表から2.6mであり、津波高としては4.6mになる。漁港施設が整い、第1線には倉庫等の比較的堅牢な建物があり、柱部分は残存していたので、背後でやや津波高が減少したものと考えられる。なお、小さなクリークが村落の中央部を流れ、そこから侵入した海水で、広範囲の被害が生じた。1階しかない木造家屋はすべて流されたようで瓦礫の片づけが一部行われていた。クリーク内では遺体の捜索、発見が続けられ、いまだ混乱状態にあった。避難所の受付の女性によると、2日間救援がなされず、その間に亡くなった方も多かったようだ。写真-1に12月31日現在での村落の被災状況を示す。

カオラック海岸の中部は大型のリゾートホテルが集中している場所で、木造の平屋コテージはすべて全壊したものの、3階建てのホテル本館は、壁面や内装は破壊されたものの、鉄筋コンクリート製の柱は残っていた。図-7中の

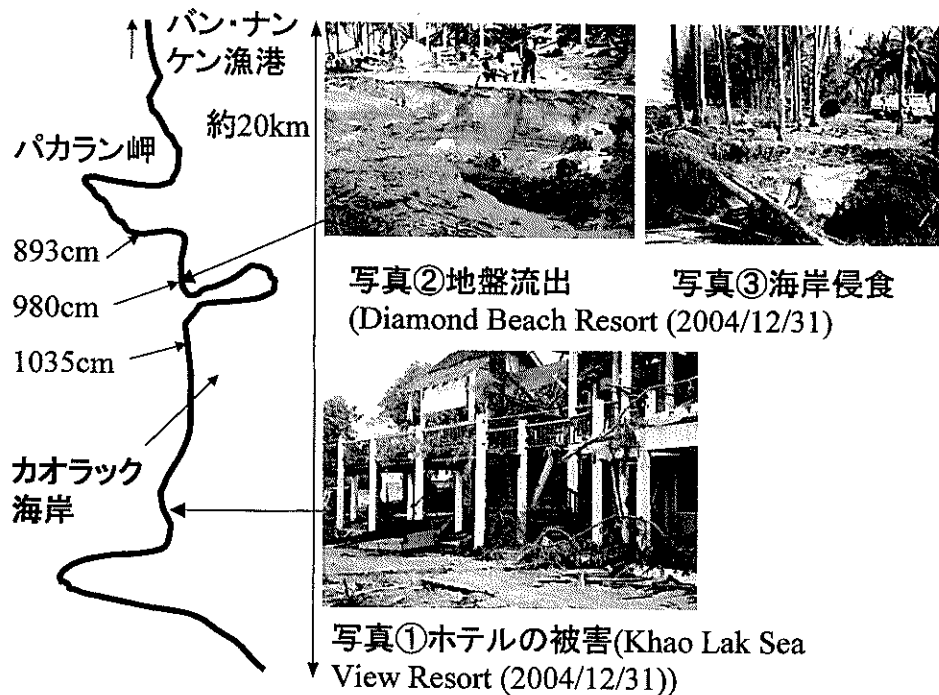


図-7 カオラック海岸における痕跡高(2次調査)と被害状況(1次調査)

写真①にカオラック海岸におけるホテルの破壊状態を示す。また、ホテル周辺には各所で大型の穴が発見され、その深さは約2mで、直径は数mであった。また、海岸では浸食が顕著で、海岸の地盤全体が流され、海岸道路が陥没して通行不能になっていた。写真②および写真③は、ホテル敷地内の陥没および海岸の浸食を示す。

カオラック海岸での特徴的な被害は、海浜の消失で、深さ150cm、打線から陸岸へ50~100mにわたって海浜が陥没あるいは流出し、植生は倒壊していた。倒れたココナツは根こそぎ倒壊し、ほとんどは陸側へ倒れていた。特にホテル本館の海浜は激しく流出し、ホテル本館前面では、植生はなくなっていた。津波高は光学器具による測量で、9.59~10.01mである。ただし、ホテル本館内壁は津波がぶつかり反射したようで12mの高さに泥の痕跡があった。

カオラック海岸の南入り口から北へ10kmほど進むと道路が低くなり、道路より内陸側の被害が目立つ。津波は海岸部の住宅を押し倒して道路を越え、やや低くなった内陸側へ加速して流れ込んだようだ。学校やスーパーマーケットの被害が大きく、重機械ですでに片づけがなされつつある。国道沿いでも電柱に海草がかかっていた。道路より5.5m程度で道路の地盤が目視で4mであった。約10mの高さまで水面が上昇し、一挙に内陸部へ流れ込んだようだ。引き波で倒れた角形電柱があった。付近のリゾート施設は、

平屋は柱を残すだけで、3階建てのホテルは1階の壁が壊されていた。ここでは樹木が少なく、道路の陥没や橋の基部破壊など土木構造物の被害が目立った。



(2) 村落(2004/12/31)

写真-1 バン・ナムケン漁港の被害

被災女性のインタビューでは、モーターバイクで逃げたそうで、走っては逃げられないほど早かったようだ。

カオラック海岸の北よりに位置するパカラン(Pakarang)岬では、先端部のリゾート地は津波で流され、リゾート用の別荘が1軒だけ半壊状態で残っていた。岬上の津波高は、破壊された家屋に残る泥跡や木に掛かった海水で変色した枯葉群で決定し、約4.5mであった。岬の先端は津波で流され、道路や駐車場が消失したと言われている。先端からは沖の浅瀬に倒れた樹木群が見られ、漂流して1箇所に並んだとは考えられず、先端の土地の表層が流されたときに、根元から倒壊した樹木がそのまま取り残されたと考えられる。樹木までの距離は現在の先端から200mで、ほぼ幅数十mで長さ200mの先端の陸地が津波力で失われたことになる。また、海岸には津波で運ばれた珊瑚石が広範囲に点在していた。写真—2 にパカラン岬における地盤流出状況を示す。

カオラック海岸のリゾートホテルでも最大規模のMendian Khao Lak Beach Resortでは、敷地内のプールに車が2台沈んでいた。メインのビルは海を臨み、グリーンベルトなども存在していない。3F建てのメインホールを除くとコテージが壊滅していた。1波目のあとに波が引いて、すぐに2波目が来たので、避難の遅れた従業員が20名近くなくなっている。津波痕跡高は約6.5mである。

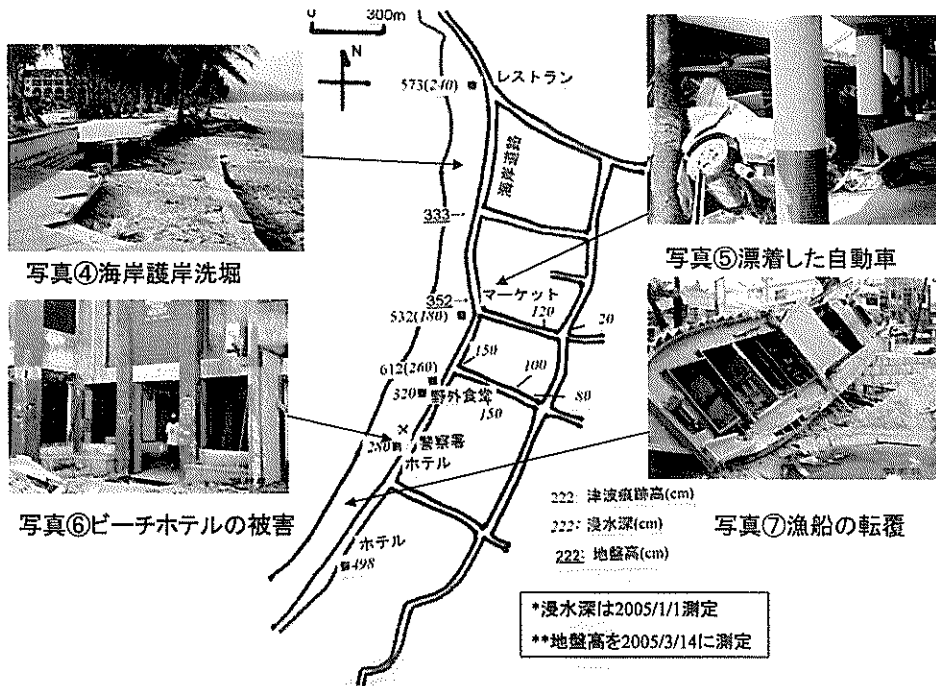


(a) 岬の先端(200m 沖合いの岩が津波前の岬先端)



(b) 海岸道路の流出(2mの段差が生じている)

写真—2 パカラン岬での地盤流出(2005/1/2 撮影)



図—8 プーケット島パトンビーチにおける浸水深と被害状況(2005/1/1)

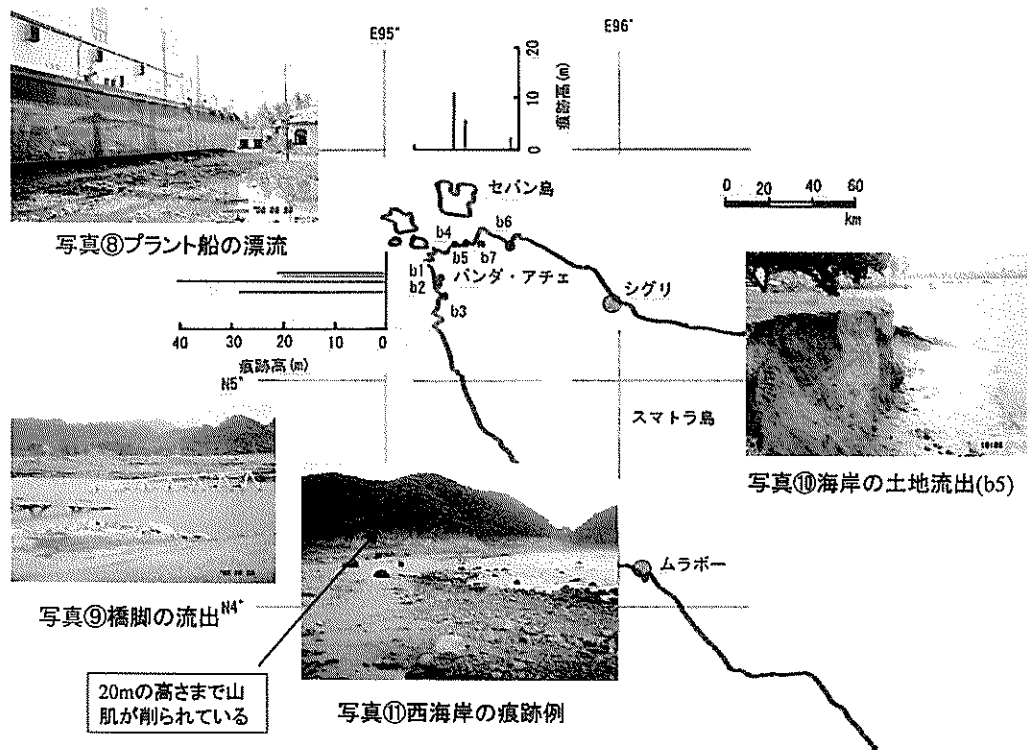


図-9 バンダアチェ周辺の津波痕跡高と主な被害

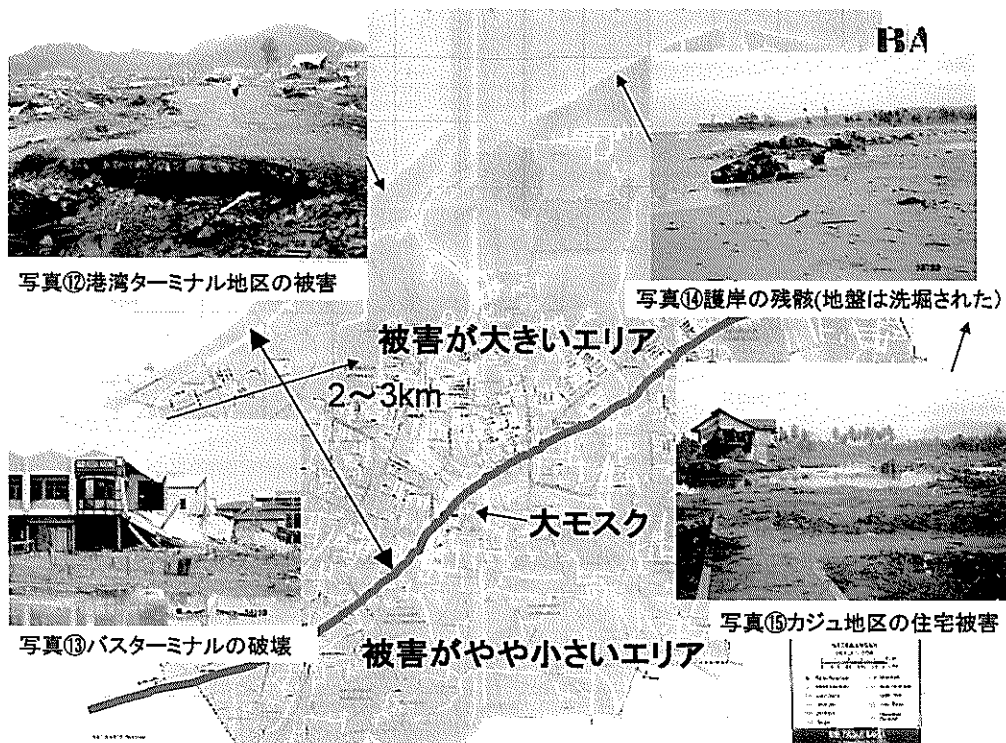


図-10 バンダアチェ市内の浸水域と住宅地の被害

カオラック海岸での被害状況をまとめると以下ようになる；

- ・ 鉄筋コンクリート造りのホテル本館は、2Fまで浸水したが、本館建物被害は軽微である。
- ・ 海浜は浸食され、岬地形では海浜全体が消失した。
- ・ 基礎地盤が流出した個所では、樹木の倒壊が見られた。

(2) プークット (Phuket) 島

図-8 はプークット島最大の繁華街でレストランやホテルが被災したパトンビーチ(Patong Beach)での痕跡高(ゴシック数字)および地盤からの浸水高(斜数字)を示す。痕跡高は5~6mで地盤高が約2mであったので、最も海側の建物では浸水高は3m程度であった。パトンビーチはホテルや商店が密集しており、海側の家屋の存在によって津波による流圧力は陸側に進むにつれて低下していたようである。地盤上の浸水高は、海から離れるにつれて減衰し、2列目の海岸に平行な主要道では、浸水高は20cmであった。

写真④にパトンビーチの海岸遊歩道護岸の洗掘を示す。ただし復旧が急速に進み、被災3ヶ月後には洗掘跡は見られなかった。写真⑤はマーケット内で放棄された車で、写真⑥はビーチ沿いホテルの被災状況である。ホテルの室内には泥痕跡が残され1F部分は完全に水没していた。写真⑦は、海岸に打ち上げられた漁船であり、この他にも数mの漁船が数隻砂中に残されていた(2005.1.1)。

3.2 インドネシアにおける津波高と被害例

ここでは、著者が直接調査をすることができたアチェ市海岸部、西海岸における被害を示す。滞在期間と調査範囲が限られていたので、十分な被災調査を実施したわけではなく、表面的に観察できる被害の特性のみをまとめたものであることを了承願いたい。

スマトラ島では北部のアチェ市および周辺海岸で津波被害が大きく、多くの家屋が跡形もなく流されたり、沿岸を走る道路や橋脚が流されていた。被害の詳細は、東京大学地震研究所のホームページに掲載されている都司調査団の報告書(都司(2005))に示されている。ここでは、筆者が直接見聞し、測量したデータのみを示す。図-9は、アチェ周辺の津波痕跡高(津波来襲時潮位を基準とする)の分布である。東海岸の痕跡は5m以下で小さいが、他の報告書では5m程度の痕跡が記載されており、地形による局所的な津波高の相違が生じていたと考えられる。市内及び西海岸の痕跡高は概ね他の調査団の報告で整理された数値と傾向は一致する。調査日は、2005年3月28、29日である。

図-10は市販の市街地図に被害状況を示したものであ

る。調査地点毎の被災例をまとめる；

(1) バンダアチェ市西部(図-9のb4)

3月28日午後にバンダアチェ(Banda Aceh)西部のウレレ(Ulee Lheue)港湾地区を調査する。海岸のモスクは崩壊せずに、ほぼ原形を留めているが、その他の家屋や構造物は崩壊し、がれき状態である。石積み護岸も一部を残し崩壊している。旧汀線(護岸)は現在の汀線から30~40m沖合に残骸を残しているのみである。直径90cmの捨て石材は高さ2mの陸上へも運ばれ、その距離は60m程度である。現在の汀線付近では洗掘された跡が明らかで、洗掘深は1.5mであった。モスクの破壊状況と唯一残った樹木の枝の折れ具合から津波高さを測定した。

フェリーターミナル付近は、土地が流出し、アクセスできない。望遠した限りでは、クレーン等の大型施設は残っているようである。なお、係留中の発電プラント船は、2km陸上へ流されている。ターミナルへ続く旧道路上の家屋は全壊し、基礎が一部残っているのみである。折れた家屋の柱は、ほぼ30cm×30cmの角柱で、4隅に9mm径の鉄筋が入っていた。鉄筋は市街地側へ折れている。写真⑩に港湾地区の破壊状況例を示す。写真-3は港湾地区で唯一残ったモスクであり、2階まで浸水したというヒアリングにより痕跡高を求めた。



写真-3 港湾ターミナル地区に残るモスク

(2) 西海岸(b1,b2,b3)

アチェ市より西部の海岸を踏査する。流された橋(写真⑨)は修復されておらず、臨時の仮設橋で通行ができるものの、道路の一部は陥没し、セメント工場棧橋付近の海岸には大型石炭バージ(L:100m,H:7.94m)が座礁したまま放置され、道路を塞いでいた。付近は山肌の樹木が枯れたり、はぎ取られた跡が明瞭で、ほぼ一樣な高さで海岸の崖に津波痕跡が見られた(写真⑩)。横浜国立大学の調査で発見された最高痕跡を確認し、周辺の痕跡高を測定した。

(3) アチェ市内

東西に市内を貫通する道路(図-10の青色線)より北側(海側)は、津波により壊滅し、一部の建物を残して、原形を留めているものはない。アチェ市中心部のグラウンドモスク周辺は、ビデオ映像などで紹介された泥流が発生していた場所で、モスクの1階フロアは浸水を免れたものの、ぎりぎりまで泥流が迫ったと言われている。モスク周辺の商業ビルのうち、地震によって1F部分が崩壊したか地中に沈下し、2F以上だけが残されたものがあった。

港湾に係留されていた発電プラント船が漂着した住宅地は、現在でも泥流が堆積し、ごくわずかの家屋が残っているのみである(写真⑧)。発電プラント船は、高さ4.5m、長さ61mでほぼ無傷で漂着しているようだ。ここでは発電プラント船周辺の家屋に残る泥跡やヒアリングでの津波高を測量した。泥跡は地盤上3m程度であったが、津波で破壊された屋根材の高さは5m以上であった。バスターミナルでも泥跡が確認できた。2階建てのバスターミナルは海岸線から1km離れていたが1階部分の壁が壊れ、駐車場は泥で覆われていた(写真⑨)。

(4) アチェ東部(b5,b6)

3月29日午後から、東部のシアクラ(Syiah Kuala)遺跡周辺を調査した。海岸線の道路は消失し、広範囲が海になっていた(写真⑩)。ヘッドランドとして作られた台地上の展望台のみが残っており、頂上部の手すりなどが破壊されていた。破壊された手すりの跡から津波高を測定したが、実際は測定値より高い津波が越流したようである。写真⑩に海岸台地の浸食を示す。護岸のさらに東へ30km離れたアチェ港を調査した。アチェ港の棧橋には被害が無く、津波は護岸を越えて背後のコーヒーハウスを壊したと言われている。現在でも救援物資の積み込みが行われている。

(5) カジュ(Kajhu)地区(b7)

アチェ東港外の高級住宅地で、海岸線から3km内陸まで、すべての家屋が全壊している。道路面がやや高く、道路を越えた津波は陸側の下り勾配で加速されたと考えられ、内陸の山地まで、ほぼ一様な被害状況(他の地区では、内陸に進むと被害の程度がやや小さくなる)で有ることが特徴である。道路より山側の2階建て家屋の屋根の破壊状況から痕跡高を求めた。写真⑪は全壊を免れた家屋の遠景である。

海岸部の破壊された家屋の柱は、14mmあるいは9mmの鉄筋が4隅に配置された角柱で、鉄筋はすべて陸上側へ折れて切断されていた。

(6) スマトラ沖2次地震(3月28日PM11:10)

調査で滞在中、ニアス島付近を震源とする $M_w=8.7$ の地震(スマトラ沖地震)が生じた。室内での揺れはゆっくりしたもので、1分程度続いた。体感震度は5くらいであった。家屋の被害は無かったが、多くの人が車やバイクで避難した。道路が狭く、交通渋滞が各所で生じ、交通事故も起こっていたようである。迅速な避難は必須であるが、避難路の整備も同時に実施される必要がある。また停電のため、情報は収集できず、電話も不通であり、警報や避難の通達は無かった。翌朝に電気は復旧したが、電話は昼間で普通であった。

毎朝、モスクからのコーランはよく聞こえていたので、モスクを中心とした情報伝達手段を構築すれば、地域の住民に地震や津波警報の伝達が可能になるかもしれない。12月26日の津波においても、壊滅した住宅地であってモスクは半壊程度で残っており、列柱構造を有し、1階部分が壁をほとんど有しないモスクは津波流体力に対して、一般家屋よりも強固であると考えられる。

4. 海岸植生の津波被害軽減効果

4.1 海岸侵食の防止効果

(1) 現地断面測量の結果

ここでは、海岸植生として樹高の高い椰子やココナツの樹木帯を考える。これらの樹木帯は“グリーンベルト”(Hiraishi, 2000)として津波流速を軽減させ、津波による家屋の破壊力を軽減させるものと期待されている。模型実験や数値計算では、密度が十分大きければ、津波力の低減効果があることが示されている(Hiraishi and Harada, 2003)。

海岸における樹木密度と被災状況の相関を調べるために、代表的な被災個所で測線を定め、海岸地形断面変化について測定を行った。図-11は、ホテル周辺の海岸と植樹帯の配置模式図で、このような地形を抽出して、代表測点を定めた。カオラック海岸では、ホテル周辺には木造のコテージが点在していたが、津波によって流され、鉄筋コンクリート製のホテル本館だけが残されていた。

代表測線を定めたホテルは、カオラックのオーキッド・リゾートである(Khao Lak Orchid Resort, 北緯8度41'04", 東経98度14'28")。図-11のようにホテルの本館南線を基準として、南側へ50m間隔で3測線(S1,S2,S3)、北側へ330mおよび70m離して2測線(N1,N2)を設定した。写真⑫および⑬に基準測線としたホテルの被災状況と海岸の状況を示す。ホテル本館の南壁に沿って設けた基準線(側線0)前面は眺望のため樹木が切られ、2列ほどのヤシの木が残されている。基準線北側及び南側は、樹木本数と密度が多く残り、

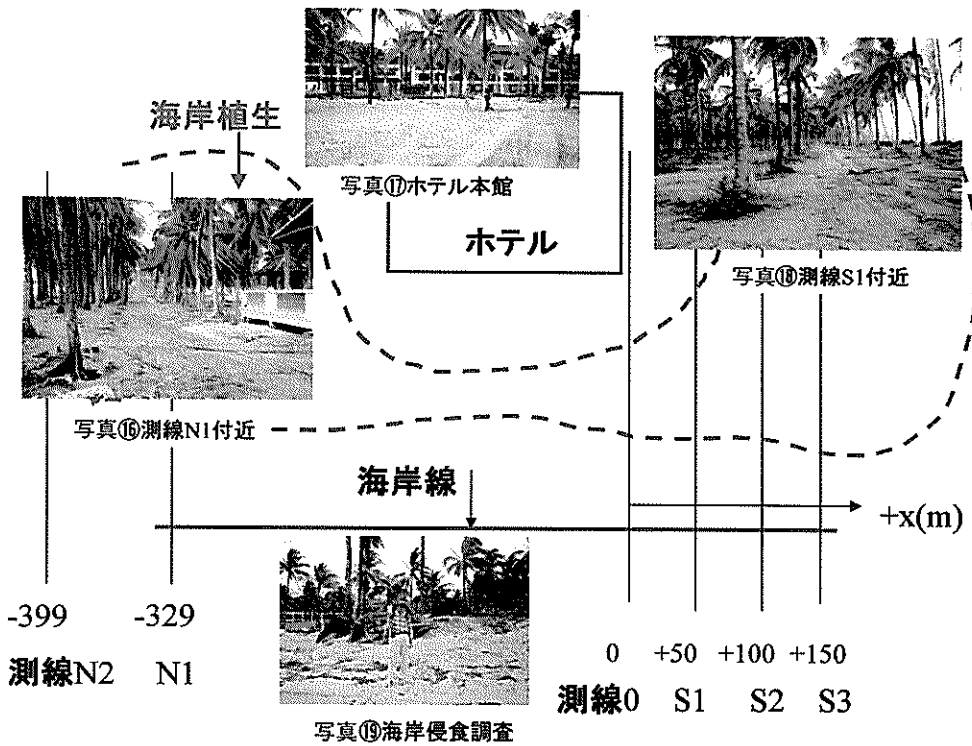


図-11 ホテル周辺の植生配置例と側線位置

汀線方向に10m, 海一陸方向に5m間隔で直径20-30cm木林が構成されている。樹木列数は、10列程度である。写真⑩および⑪に、それぞれN測線およびS測線周辺の植生状況を示す。

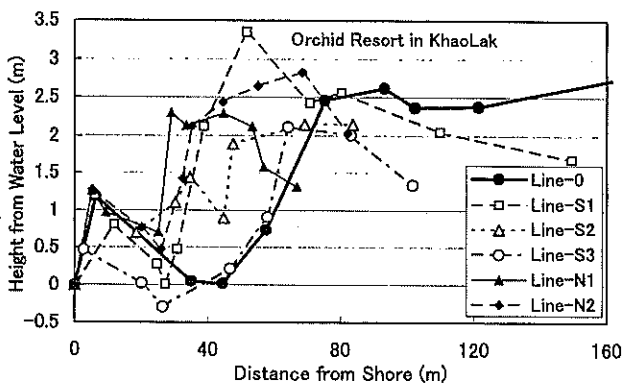


図-12 代表測線での海岸断面

図-12 は代表測線での測定時海面を基準とした海岸地形断面である。測線 Line-0 では、汀線から10m程度で砂丘が形成されており、これは波による漂砂の堆積現象と考えられる。砂丘の後方は洗堀が生じており、80m程度離れる

と道路地盤が表れ、この間に顕著な津波による浸食跡が残っている。この付近の海岸では、洗堀深は1m程度になっておる。側線0から南および北へ離れると植樹帯幅が広くなり、汀線から40m離れた地点での洗堀深は小さくなっている。ただし、Line-S3(側線S3)はホテル南側のラグーンからの津波の侵入の影響で、洗堀深が再び大きくなっている。

海岸の洗堀は、津波が引くときに流れが速くなり生じると考えられる。図に示すように、植樹帯が形成されているところでは、引き波時の流速が弱められ、洗堀量が減少していることがわかる。したがって、植樹帯が津波力の低減効果に寄与できることは確認できたが、流速と洗堀深の関係などを詳細に解析することは困難で、今後データの収集を図ることが必要である。

カオラック海岸の他地区でも、海岸侵食量を測量した。多くの側線を取る時間がなかったため、植樹帯が比較的濃い密度に残っている海岸とその近傍で、植樹密度が小さく、海岸の侵食が顕著に見られた海岸で調査を行った。限定されたデータであり、本調査の結果が一般的な傾向を表しているとは断定できない。ある限られた範囲での現地調査例であることを理解されたい。

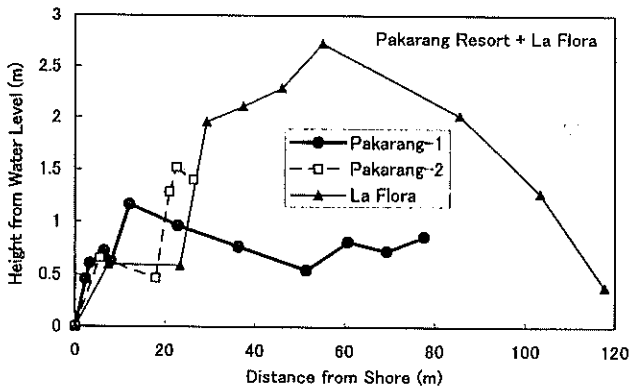


図-13 パカラン岬周辺での海岸侵食

図-13 はパカラン岬南側(South Sea Pakarang Beach Resort)における海岸断面で、Pakarang-1(実線)、Pakarang-2(破線)がそれぞれ植生が密な海浜と植生が無い海浜での断面図である。植生がない場合には汀線から20m離れたところまで侵食が進み、1mの高さの小さな崖が形成されている。隣接した植生が密な場所では、顕著な海岸侵食は生じておらず、植生の存在が海岸の侵食を抑制していることが判る。写真-4に、測量を行った海岸の状況(3/15)を示す。手前の海浜が植樹が無く、奥の海浜に密な植生が見られる。



写真-4 植生による海岸地形の変化

図-13には、La Floraとして、近隣海岸の測量結果も示す。ここでは、植生が存在しているにもかかわらず、離岸距離30m付近で崖が形成されていた。ただし、植生が少ない場所では、より大きい侵食が生じていたようで、調査時(3/15)には大量の赤土が投入され、海岸が埋めたてられていた。したがって、植生による浸食量の差は明確にできなかった。

(2) 植樹帯の根による海岸安定

津波高がカオラックに比べると、やや小さいプーケット

島では、被害のあったビーチでも、植樹された木々の根本は洗い流されながらも残っており、地盤の安定に大きく貢献できることが判った。一例として、カマラ(Kamala)海岸(北緯7度57'11", 東経98度16'57")における海岸断面を示す。図-14は測量で求めた海岸断面で、実線が植生の根が位置している測線、破線が植生の根が位置していない測線上での変化である。

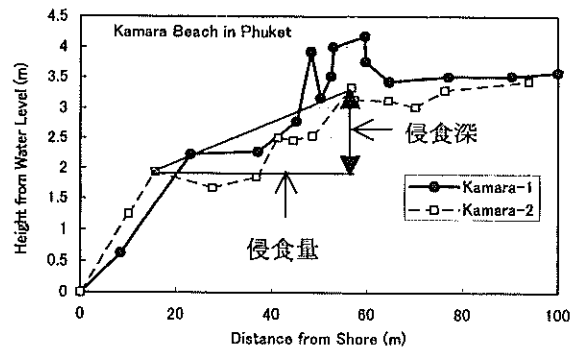
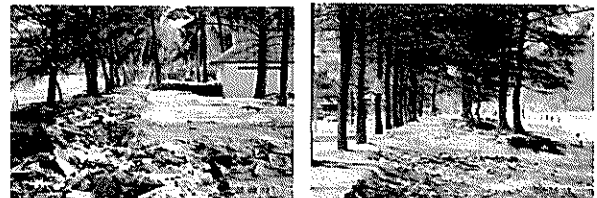


図-14 カマラ海岸における代表測線の断面変化

2つの代表断面で、汀線から50m離れた近傍で高くなっているのは、樹木の根による盛り上がりで、樹木の回りは砂が取られていた。樹木の幹径は32cm、根の深さは98cm、根の直径は約260cmであった。

写真-5は、測量地点の海岸侵食と植生状況を示す。植生の根本は砂が洗われているものの、植生自体は安定していることがわかる。



(a) 測線の北側

(b) 測線の南側

写真-5 カマラ海岸における植生の効果

(3) 津波高と浸食量

前述の海岸で測量された断面図から、侵食が生じていると考えられる崖の上部から汀線あるいは、侵食されていない海浜までを高さを侵食深として定義する。たとえば、図-14において両矢印で示した高さが侵食深に相当する。図中の三角形は、侵食が生じている範囲の幅を底辺とし、侵食深を高さとする三角形で、三角形の面積が単位海岸延長の浸食量となる。浸食量や侵食深は、海浜の粒径や津波流速に大きく影響されると考えられるが、粒径や流速につい

ては、詳細な解析が進んでいない。そこで、ここでは現地調査で得られた津波遡上高との相関を整理した。

図-15 は、タイ南部での測量結果を整理して求めた海岸侵食深（縦軸）と遡上高（横軸）の関係である。O,P,K はそれぞれ Orchid Beach Resort, Pakarang Resort およびカマラ海岸での値を示し、黒記号は植生がない場合、白記号は植生がある場合を示す。侵食深の大きさと津波遡上高は明瞭な相関が得られず、津波の向きや海岸の粒径によっても侵食深は影響を受けることが推測できる。植生のない場合に比べると、同一観測点では植生がある場合に侵食深は小さくなる傾向があるが、データのばらつきが見られる。

図-16 は同一の観測データを浸食量で整理したものである。侵食の幅の影響が含まれるため、植生の有無による浸食量の差は明らかで、海岸植生が存在すると津波夜浸食量を小さくしている可能性が読みとれる。しかし、津波遡上高と浸食量の関係を明確にすることはできず、津波遡上高が大きいパカラン地区では、海岸浸食量が小さくなっており、現地データのさらなる収集が必要である。

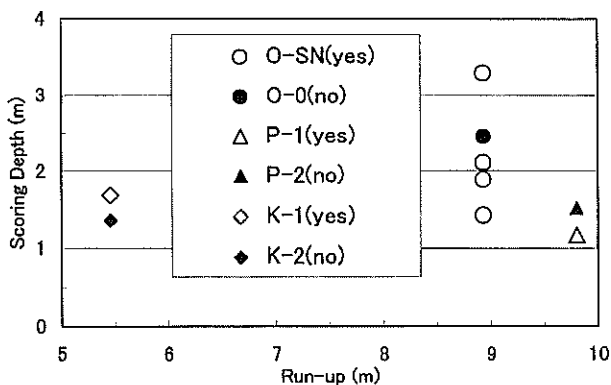


図-15 津波遡上高と海岸侵食深の関係

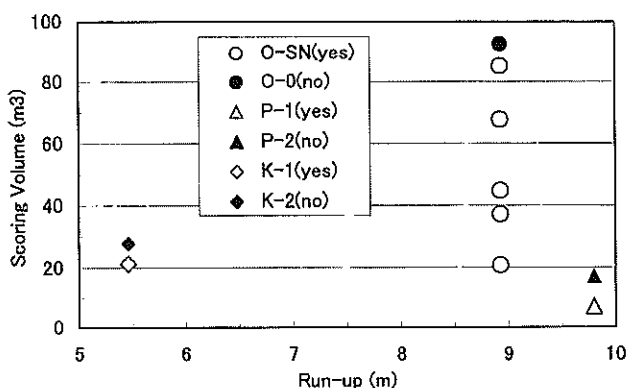


図-16 津波遡上高と海岸浸食量の関係

4.2 津波高の低減効果

グリーンベルトが幅広く形成されると、樹木の破壊がな

い限り、明瞭な津波痕跡を見つけることができない場所も多かった。地元のホテルオーナーや建築業者の話では、海岸の椰子の木は、表皮に黒いツタ状の編み目ができるので、敷地内では人工的に表皮のツタ状の編み目を落としているようである。したがってホテル敷地外の椰子樹林帯では、表皮の上に黒い編み目が付いているのが確認できた。津波による被害が大きい海岸では、黒い編み目の海側が落とされ、同じ区域では、ほぼ同じ高さまで表皮が変色していることが判った。そこで、本調査では、椰子樹林では表皮の変色がある範囲で一定の高さで生じているときに、その高度を津波高として採用している場所がある。

カオラック海岸の中部に位置するホテル(La Flora)の北側(北緯 8 度 40'22", 東経 98 度 14'32")では、コテージ前面に樹木が無く、広範囲に津波後に投入された赤土が見られた。ここでは、大規模な海岸洗掘が生じていたようであるが、埋立のため大きさを確認できない。しかし、コテージの破壊跡から津波高が確認できるとともに、植樹帯の中での樹木表皮の変色から津波高が求められるので両者を比較した。比較結果を以下に示す；

コテージの 2 階天井の破壊跡から確認した津波痕跡高
(写真-6(1)参照) : 857cm

植樹帯の表皮変色から測定した津波痕跡高
(写真-6(2)参照) : 574cm

両者の比較から、植樹帯が津波高そのものも低減できる可能性がありことが判る。なお、樹木の汀線方向および海一陸方向の間隔は、それぞれ 805 および 780cm である。ただし、津波の来襲方向によっても津波痕跡の状況は変化し、来襲時の海岸地形が詳細に把握できないことから、本調査海岸での結果を一般的な結論に導くことは難しい。そこで、植樹帯によって津波高が軽減されている可能性はあるものの、定量的な評価には今後の解析が必要であることを示すにとどめたい。



写真-6(1) ホテル La Flora 周辺の痕跡(3/15)



樹木表皮の剥がれから津波痕跡高を推定した。

写真-6(2) ホテル周辺での樹木表皮の剥がれ(3/15)

5. まとめ

本研究では、2004年12月26日に発生したインド洋地震津波による海岸浸食および洗堀の実態を、タイにおける現地調査結果をもとに調べた。また、海岸植生の状況を調査して、植生による海岸浸食の規模変化や、津波痕跡高の変化を調べた。研究の主な成果を以下にまとめる。

- 1) タイ南部では、リゾートホテルが立地しているカオラック海岸及びプーケット島西海岸で津波被害が大きく、津波痕跡高はそれぞれ約10および5mであった。
- 2) 海岸の木製コテージなどは壊滅的な被害を受けたが、鉄筋コンクリート製のホテル本館では被害がやや軽微であった。
- 3) 海岸の侵食や海浜流出が多く、多くの場所で観察され、陸上部でも深さ2m以上の洗堀によると見られる陥没が観察できた。
- 4) タイおよびインドネシア沿岸では陸上の車だけでなく多くの船舶が流され、大型船が陸上に漂着して、道路を塞いだり、住宅地の復旧を妨げている場合が観察できた。
- 5) 海岸植生が密な海岸では、ホテル前面のように眺望の確保のために植生密度を少なくした地点に比べると、海岸浸食量が小さく、植生による海岸防護の効果が確認できた。
- 6) 海岸樹木は根が深い場合には、砂地盤の安定化に効果があり、樹木周辺だけが浸食が進まず、ほぼ安定した地盤高を保持できた。

謝辞

本調査・解析を進めるにあたり、多くの皆様からご支援・ご助言を賜った。そのすべてを挙げることは難しい。以下

に示す皆様を代表として示し、謝辞としたい。

秋田大学工学資源学部土木環境工学科、松富英夫助教授を団長とする日-タイ津波調査団の皆様には、現地調査において津波痕跡の特定や地形情報などをご教示いただいた。Associate Prof. Seree Suparti, Ransit University(タイ)には、津波来襲時の被災状況やタイにおける復旧方針を教えていただいた。Associate Prof. Danupon Tonnayopas, Prince of Songkhla University(タイ)の研究グループには、1次および2次調査で、著者(平石)に同行していただき、津波の特性や地盤の被害状況について貴重な示唆を頂いた。2次調査では、武蔵工業大学工学部都市基盤工学科、村上和男教授ならびに財団法人沿岸技術研究センター理事、宍戸達行氏を団長とする沿岸センター津波調査団の皆様には海岸断面測量を分担していただいた。

インドネシアの調査にあたっては、横浜国立大学大学院工学研究院、柴山知也教授ならびに株式会社パシフィックコンサルタンツ・インターナショナル松丸亮氏から現地の被害状況について情報を提供していただいたことが大きな糧となっている。現地では、Syiah Kuala University(インドネシア)、Masimin および Zouhrawaty Atiff 講師に、被災地の案内や宿舎手配の労を取っていただいた。

最後に、調査を許可していただき、数々のご支援を頂いた小和田亮理事長をはじめとする当所の関係者、スマトラ沖地震津波(3/28)時に著者の安否確認でご尽力を賜った国土交通省港湾局の皆様には深く感謝いたします。インターネットや新聞情報の取りまとめにあたっては、豊橋技術科学大学実習生、吉川弘晃君に助けていただいた。

なお、本研究の一部は、平成16年度科学技術振興調整費「スマトラ沖大地震及びインド洋津波被害に関する緊急調査研究(代表:京都大学大学院工学研究科、家村浩和教授)」の一部として実施しました。

インド洋大津波で亡くなられた多くの皆様のご冥福をお祈りするとともに、被災地の早急な復興を願っています。
(2005.5.13 受付)

参考文献

- Hiraishi, T. and K. Harada (2003): Greenbelt tsunami prevention in South-Pacific region, Report of the Port and Airport Research Institute, Vol.42, no.2, pp.25.
- Hiraishi T. (2000): Characteristics of Aitape tsunami in 1998 Papua New Guinea, report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.39, No.4, pp.3-23.
- 都司嘉宣(2005):スマトラ Banda Aceh 市付近の被災状況、インドネシア調査団による報告会資料、東京大学地震研究所ホームページによる情報提供

(<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/surveylog/briefing.htm>).

富田孝史・有川太郎・安田誠宏・今村文彦(2005):インド洋
大津波のスリランカ南西部における津波実態・被害
調査内容, 海岸工学論文集, 第 52 巻, 印刷中.

松富英夫・高橋智幸・松山昌史・原田賢治・平石哲也・Serec
Supartid, Sittichai Nakuakul (2005):タイの Khao Lak と
Phuket 島における 2004 年スマトラ沖津波とその被
害, 海岸工学論文集, 第 52 巻, 印刷中.

記号表

M : 地震マグニチュード

R : 津波遡上高

付録一 調査団の行程

(1) 第 1 次タイ調査団 (日-タイ合同津波調査団)

メンバー (タイ側は著者 (平石) と同一行程メンバーに
ついて記載した)

日本側

松富英夫 (団長) 秋田大学工学資源学部
高橋智幸 秋田大学工学資源学部
松山昌史 電力中央研究所地球工学研究所
原田賢治 人と防災未来センター (前 京都大学
防災研究所)

平石哲也 港湾空港技術研究所海洋・水工部

Sittichai Nakusakul 横浜国立大学大学院 博士課程

タイ側

Danupon Tonnayopas, Prince of Songkhla University

Pruittikorn Smithmaitrie, Prince of Songkla University

Jareerat Sakulrat, Prince of Songkhla University

行程 (著者 (平石))

2004 年 12 月 30 日 カマラビーチ調査
2004 年 12 月 31 日 バンナムケン漁港, カオラック海岸
2004 年 1 月 1 日 パトンビーチ調査
2004 年 1 月 2 日 カオラック海岸調査
2004 年 1 月 3 日 プーケット県庁にて成果発表

(2) 第 2 次タイ調査団

メンバー (タイ側は, 第 1 次と同一)

平石哲也 港湾空港技術研究所海洋・水工部

南 靖彦 同 同上

田中政典 同 地盤・構造部

村上和男 武蔵工業大学工学部

行程

2005 年 3 月 14 日 カオラック海岸, パトンビーチ測量

2005 年 3 月 15 日 バンナムケン漁港, パカラン岬測量
2005 年 3 月 16 日 カマラ海岸測量

(3) アチェ調査団 メンバー

日本側

平石哲也

有川太郎

インドネシア側

Masimin

Zouhrawaty Atiff

行程

2005 年 3 月 28 日

2005 年 3 月 29 日

2005 年 3 月 30 日

港湾空港技術研究所海洋・水工部
同上

Syiah Kuala University

Syiah Kuala University

アチェ西海岸調査

アチェ市内調査

市内調査と大学での講演

付録一 著者による津波痕跡測量結果

付表一 タイ南部, カオラック海岸およびプーケット島における痕跡高

調査日	時刻	地名	地点	海面からの痕跡高	補正痕跡高(cm)	離岸距離(m)	内容
2005/3/14	10:00	KhaoLak Orchid Resort, Khao Lak Coast	N8°41'04"	868	865	162	壁面破
				896	893	162	壁面破壊
			E98°14'28"	573	603	>186	漂流物
				670	703	186	樹木表皮枯れ
2005/3/15	10:30	Bang Nam Kem	N8°51'53"	597	564	51	2階床ヒア
				516	483	64	室内泥あと
			E98°16'26"	611	578	64	2階窓表示線
2005/3/15	14:30	South Sea Pakarang Beach Resort	N8°43'19"	970	980	12	樹木表皮枯れ
			E98°14'03"				
2005/3/15	15:00	Hotel La Flora 周辺	N8°40'22"	887	883	88	コテージ2階破壊跡
				1040	1035	>88	コテージ2階屋根
			E98°14'32"	604	599	70	樹木表皮枯れ
2005/3/16	10:00	Kamala Beach, Phuket Is.	N7°57'11"	660	596	164	倉庫屋根泥跡
				541	497	94	警察署室内痕跡
			E98°16'57"				
2005/3/14	18:00	Patong Beach, Road	N8°50'49"	477	333	130	道路護岸
				493	352	104	マーケット床
			E98°17'27"				

付表二 インドネシア, アチェ周辺における痕跡高

Number	Location	Latitude	Longitude	Survey time	Contents	Run-Up (cm) (* indicate the inundation height from ground)	Correction	Run-Up Height above Sea Level on 8:30, Dec.26
1	Harbor Mosque, Ulee Lheue	N05.33'26.3"	E95.17'03.3"	14:30,Mar28	Damaged Roof in Mosque	1035	14	1049
2	Memorial Tower, Ulee Lheue	N05.33'31.8"	E95.16'59.5"	15:30,Mar28	Damaged Tree and Hearing	1099	-18	1081
3	Lho Nga (Cement Factory)	N05.27'00.9"	E95.14'30.6"	17:00,Mar28	Shaved Cliff	2220	-60	2160
4					Shaved Cliff-far	1868	-60	1808
5	Rhiting	N05.25'92.8"	E95.14'05.6"	17:30,Mar28	Shaved Cliff(uniform)	1957	-57	1900
6					Shaved Cliff(neck)	3994	-57	3937
7					Shaved Cliff(neck2)	4225	-57	4168
8	Lepung	N05.23'02.8"	E95.15'18.1"	18:00,Mar28	Shaved Cliff	2888	-54	2834
9	Mouraxa,Aceh	N05.32'48.4"	E95.18'23.9"	9:30,Mar29	Damaged Roof in House 2	533*		
10					Damaged Roof in House 3	292*		
11					Damaged Roof in House 4	269*		
12					Damaged Roof in House 5	565*		
13					Damaged Roof in House 6	384*		
14					Central Mosque			1100,Mar29
15	Bus Terminal	N05.33'33.3"	E95.19'01.1"	12:00,Mar29	Inundated Wall(E)	310*		
16					Inundated Wall(S)	287*		
17	Syiah Kuala Heritage	N05.35'36.4"	E95.19'36.7"	13:30,Mar29	Overtopped Headland	435	56	491
18	Banda Aceh Port	N05.35'47.9"	E95.31'33.3"	16:30,Mar29	Overtopped Headland(Ruin)	479	56	535
19	Kajhu Cemerlang	N05.35'38.6"	E95.22'18.7"	17:00,Mar29	Sea Wall	249	-28	221
20					Damaged Roof	*374		Distance from Road = 110m
21					Damaged Roof	*556		Distance from Road = 179m

港湾空港技術研究所資料 No.1106

2005.9

編集兼発行人 独立行政法人 港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人 港湾空港技術研究所

横須賀市長瀬 3 丁目 1 番 1 号

TEL.046(844)5040 URL <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 有限会社つばさ印刷技研

Copyright © (2005) by PARI

All rights reserved. No Part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。