

## タイの Khao Lak と Phuket 島における 2004 年スマトラ島沖津波とその被害

松富英夫<sup>1)</sup>, 高橋智幸<sup>1)</sup>, 松山昌史<sup>2)</sup>, 原田賢治<sup>3)</sup>, 平石哲也<sup>4)</sup>,  
Seree Supartid<sup>5)</sup>, Sittichai Nakusakul<sup>6)</sup>

### 1. はじめに

2004 年 12 月 26 日午前 7 時 58 分 53 秒 (日本時間同日午前 9 時 58 分 53 秒), 20 世紀以降で第 4 番目の規模を持った  $M=9.0$  の地震 (表 1) が北スマトラの西岸沖で発生した (図 1)。インド洋での  $M=9.0$  の地震は少なくともここ 200 年間で初めてである。それに伴って発生した津波は、20 世紀以降で第 3 番目の規模で (表 2)<sup>1)</sup>, 波源に近いインドネシアの Banda Aceh をはじめ、波源から約 500km 離れたタイ南部の Khao Lak や Phuket 島の居住区・市街地などを襲い、大被害を与えた。この地震と津波による死者・行方不明者数は 1 月 31 日現在で各々約 160,000 人と 142,100 人である。国別の死者・行方不明者数を表 3 に示す。インドネシア、インド領のアンダマンとニコバル諸島以外は津波のみによると考えられ、津波災害としてはもちろん、自然災害としても記録史上最大となった。

本研究は、津波被災後 5 日目の 2004 年 12 月 30 日から 2005 年 1 月 3 日まで現地調査を行ったタイ南部の Khao Lak と Phuket 島における津波とその被害の実態を報告する。

表 1 20 世紀以降の大地震

順位	年月日	場所	地震規模(M)
1	1960. 5.22	チリ	9.5
2	1964. 3.27	アラスカ	9.2
3	1957. 3.9	アリューシャン	9.1
4	1952.11. 4	カムチャツカ	9
4	2004.12.26	北スマトラ島沖	9

表 2 20 世紀以降の大津波 (K. Abe<sup>1)</sup> による)

順位	年月日	場所	津波規模(M <sub>w</sub> )
1	1960. 5.22	チリ	9.4
2	1946. 4. 1	アリューシャン	9.3
3	1964. 3.27	アラスカ	9.1
3	2004.12.26	北スマトラ島沖	9.1
5	1952.11. 4	カムチャツカ	9
5	1957. 3.9	アリューシャン	9

表 3 各国の死者数と行方不明者数  
(1 月 31 日現在)

国名	死者数(人)	行方不明者数(人)
インドネシア	105,162	127,774
スリランカ	38,000	5,600
インド	11,000	5,600
タイ	5,400	3,100
東アフリカ沿岸	137	-
マレーシア	74	-
モルディブ	82	26
ミャンマー	59	-
バングラデシュ	2	-

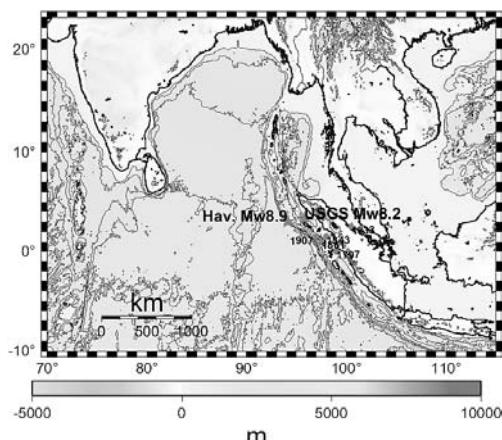


図 1 本地震の震源 (Harvard Univ. と USGS),  
既往地震の震源と海底地形

<sup>1)</sup>秋田大学 工学資源学部 土木環境工学科

<sup>2)</sup>電力中央研究所 地球工学研究所 流体科学領域

<sup>3)</sup>京都大学 防災研究所 大災害研究センター

<sup>4)</sup>港湾空港技術研究所 海洋水工部 波浪研究室

<sup>5)</sup>Ransit University, College of Engineering

<sup>6)</sup>横浜国立大学大学院 博士後期課程

## 2. 現地調査

著者らは日本とタイからなる国際津波調査団（日本：6人、タイ：7人）を組織し、2004年12月30日から2005年1月3日までの5日間、現地調査を行った。12月30日は午後4時頃に現地到着したため、一部被災地の視察のみで終わった。1月3日の午後にマスメディアなどに対する調査結果の速報会を開き、調査団としての提言を行った。よって、実質の調査期間は3日間である。

津波調査の主目的は津波来襲状況、津波（遡上）高や津波浸水域などを知り、地震や津波の実体解明に貢献することにある。この目的を満たしながら、本調査では今後の津波被害想定に資する基礎資料の収集、被害メカニズムの解明（流速、流体力の推定）、減災対策のヒントを得ることも目的とした。具体的な調査項目は、①津波の来襲状況、②海岸沿いの津波高分布、③鉄筋コンクリート造建物（3階建て以上）の浸水深と被害程度の関係、④被害メカニズムの解明に必要な浸水深と流速（流体力）の関係、すなわち、被害建物などの前・背面での浸水深<sup>2)</sup>、⑤植生の津波減勢効果である。

調査域を図2に示す。北から Phangnga 県 Khao Lak, Phuket 島の西岸、南岸と東岸、および Phi Phi 島の延長約 140km の海岸域である。

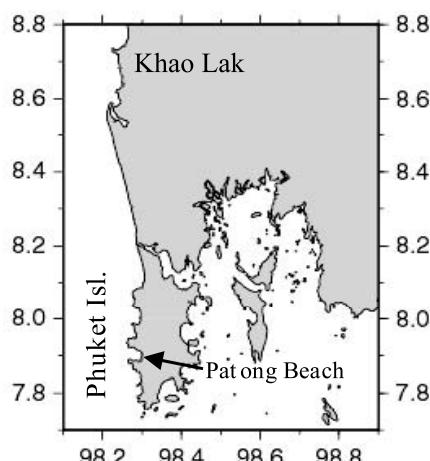


図2 津波の調査域

## 3. 何故、Khao Lak と Phuket 島か？

これらの被災地は津波波源から 500km 程度離れており、建物などの被害は津波のみによると考えられる。また、津波が居住区や市街地を襲っている。現在、東海・東南海・南海地震津波の被害想定が行われているが、その基となる諸基準、例えば津波による建物の破壊基準は少數の現地資料から導かれており、本地域の津波調査により基礎資料の充実が可能性となる。

## 4. Khao Lak, Phuket 島と Phi Phi 島における津波

証言によれば、Khao Lak や Phuket 島の西岸は引き波初動で、2 波目が大きかった。これらは Phuket 島南端の検潮記録<sup>3)</sup>と整合する（図3）。また、津波は先ず Phuket 島南部に到達し、順次北の海岸へ到達していった。2 波目が大きかった理由として、南側断層（アスペリティ B 部分）と北側断層（アスペリティ C 部分）の存在<sup>4)</sup> や共振などが考えられる。

写真やビデオによれば、Khao Lak ではソリトン分裂が生じたようである。その証拠例を写真1<sup>5)</sup> と 2<sup>6)</sup> に示す。ともに短い距離間隔の 2 段碎波が認めら、特に写真1では碎波直後の 2 段碎波が映し出されている。

Khao Lak, Phuket 島と Phi Phi 島における津波（遡上）高を図4に示す。これらは津波来襲時の海面からの高さに補正済みで、来襲時は一律に午前 10 時（現地時間）としている。本結果は調査団のホームページでも公開している（<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/>）。

津波高の平均像は Khao Lak で 6～10m、Phuket 島西岸で 3～6m、Phuket 島南岸から東岸にかけて 3～1m 程度である。Phi Phi 島における津波高は波源側に口を開いた湾からの津波で 6m 程度、波源反対側に口を開き、南の小島に守られた湾からの津波で 4.5m 程度である。

Khao Lak と Phuket 島西岸における津波高の顕著な差の原因として、北側断層の存在や

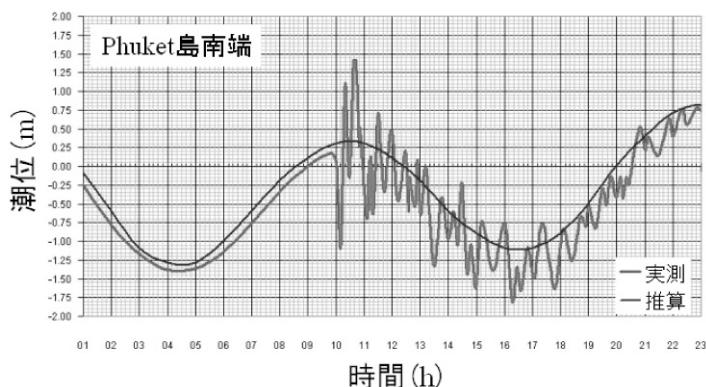


図3 Phuket島南端の検潮記録



写真1 Khao Lakにおける津波（その1）



写真2 Khao Lakにおける津波（その2）

海底地形（図5）、波源の不均一性などが考えられる。Phuket島は波源の陰である東岸で津波高が小さく、スリランカは波源の陰であ

る南西岸でも津波高が大きかった<sup>7)</sup>。この現象差は津波の波長と島の大きさの比、島の海底勾配が主因と考えられる。

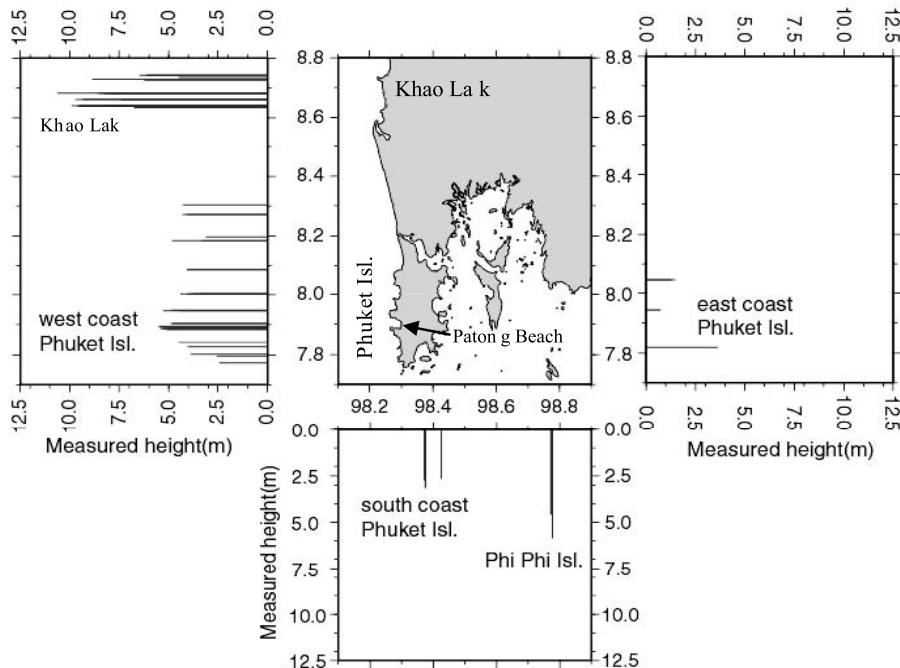


図 4 津波（遡上）高の分布

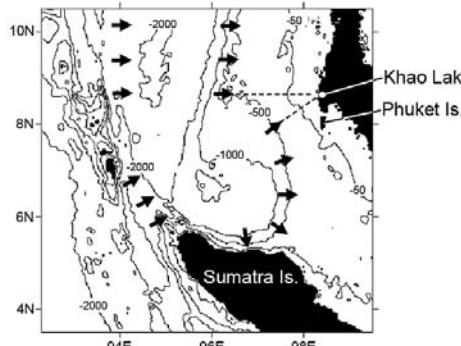


図 5 アンダマン海の海底地形

## 5. 市街地や居住区での津波

市街地の例として Phuket 島西岸の Patong ビーチ、居住区の例として Khao Lak 南部を取り上げる。

Patong ビーチにおける津波高は 5 ~ 6m、浸水深は 2m 程度であった。痕跡浸水深から推定された氾濫流速  $u^8)$  は 3 ~ 4m/s、単位面積あたりの抗力（支配的な力<sup>9)</sup>  $F$  は 0.9 ~ 1.7tf/m<sup>2</sup> ( $0.9 \sim 1.7 \times 10^4$  Pa) であった。ただし、 $F$  は次式から評価している。

$$F = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 a \approx \rho q u \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  は海水の密度、 $C_D$  ( $\approx 2$ ) は抗力係数、 $a$  は単位面積、 $q$  は単位面積あたりの流量である。浸水深が 2m 程度だと日本の木造家屋では中破と大破が混在するが、煉瓦造の建物が多い本ビーチでは中破が目立った（写真 3）。

一方、Khao Lak 南部における津波高は 10m 程度、浸水深は 4 ~ 7m に達した。痕跡



写真3 壁が壊れた煉瓦造の家屋  
(Patong ビーチ)



写真4 廃墟と化した Khao Lak のホテル群  
(海側から望む)



写真5 3階部分まで浸水した Khao Lak のホテル



写真6 地盤が流され、大破に至った建物  
(Khao Lak) (左端)

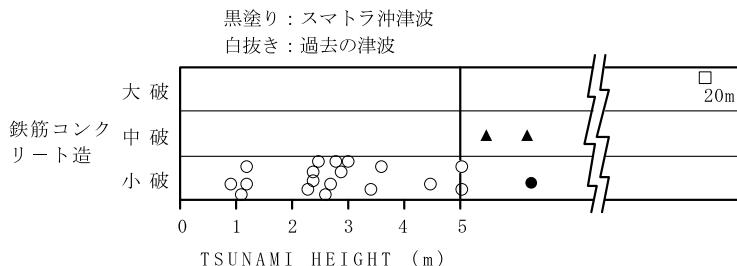


図6 浸水深と建物の被害程度の関係

浸水深から推定された氾濫流速は 6 ~ 8m/s, 単位面積あたりの抗力は  $3.8 \sim 6.7 \text{tf/m}^2$  ( $3.7 \sim 6.6 \times 10^4 \text{ Pa}$ ) であった。

本地区はリゾート地で、コテッジやホテルが建ち並んでいたところである。しかし、海に近いコテッジや床と柱が鉄筋コンクリート造の 2 階建ての建物群は津波で見る影もないほどに破壊され、浸水域中程の 2 階建ての建物群も壁や一部の柱が飛ばされるなどして廃墟状態となった（写真4）。ただし、2 階建て

の建物は屋根に鉄筋コンクリートが用いられておらず、弱い構造である。

これまで、鉄筋コンクリート造の建物は 5mまでの浸水深であれば小破で済み、20mで大破した 1 例が知られていただけであった（図6）。しかし、本津波では、壁を筆頭に日本の鉄筋コンクリート造の建物に比べて強度が弱いにもかかわらず、図6に黒塗りで示すように浸水深が 6.2m程度でも、3 階建てのものは小破や中破で済んだ。

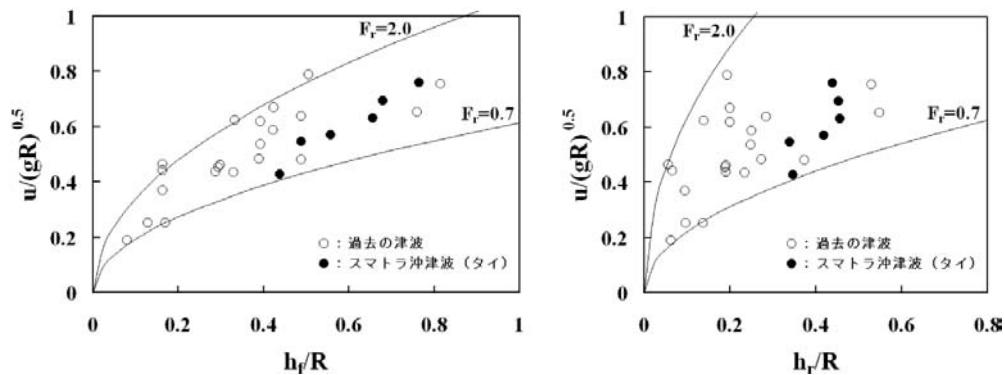


図 7 浸水深と氾濫流速の関係



写真 7 植生域と背後家屋の状況 (Khao Lak, 地盤高 =3.7m, 浸水深 =4.9m, 植生域厚 =14m, 植生密度 = 0.27%)



写真 8 植生域と背後家屋の状況 (Khao Lak, 地盤高 =3.5m, 浸水深 =4.6m, 植生域厚 =28m, 植生密度 = 0.42%)

3階部分が浸水した例もみられたが（写真 5 の左端の建物），床上わずかであった。本地区の津波は3階以上に避難すれば助かる規模のものであったと言える。

建物自体は小破や中破で済んでも、地盤が

浸食され、大破に至ったものもある。その例が写真 6 の中央の建物である。地盤浸食は今後の津波避難ビルの在り方などの議論において検討しなければならない項目であろう。

本調査で得られた浸水深（建物の前面  $h_r$

と背面  $h_r$ ) と氾濫流速の関係を図 7 に示す。図中の実線は次式である<sup>10)</sup>。

$$\frac{u}{\sqrt{gR}} = \sqrt{\frac{2C_v^2 F_r^2}{F_r^2 + 2C_v^2}} \sqrt{\frac{h_f}{R}} \quad (2)$$

$$\frac{u}{\sqrt{gR}} = F_r \sqrt{\frac{h_r}{R}} \quad (3)$$

ここで、 $g$  は重力加速度、 $R$  は近傍の津波高、 $C_v$  ( $\equiv 0.9$ ) は流速係数、 $F_r (= u / \sqrt{gh_r})$  は Froude 数である。図から、両者の関係はこれまでと同傾向であることが判る。

浸水深が 4.9m から 4.6m と高々 0.3m 程度の減少であるが、植生の津波減勢効果が確認できた。そのときの植生域と背後家屋の状況を写真 7 と 8 に示す。植生域厚と植生密度の定義は各々岸冲方向の植生域距離と単位土地面積あたりの胸高での植生断面積である。植生は両刃の剣であるが、日本においても減災の一手法（面的防護）として考慮されてよからう。

## 6. おわりに

実質 3 日間の現地調査結果を示した。建物被害については貴重な事例を見落としている可能性がある。津波の来襲状況については精度よい資料（証言）が得られなかった。ビデオなどに津波来襲状況が多く撮られており、検潮記録の収集も並行して行って、その解析を進めていく予定である。

本津波はその規模から推して今後の津波の被害想定や減災対策に貴重な資料を提供し得るものである。非常に大きな犠牲を払って得るものであるから、本津波の残したものを受け止め、後世に役立てることが我々の責務である。

本地震がなかったものとして、地震調査研

究推進本部のこれまでの地震活動長期評価手法で、評価資料が少なければ少ないなりに、本地震の規模  $M=9.0$  が想定できるかどうか検討してみる必要があるようと思われる。もし、本地震規模が想定できないようであれば、これまでの長期評価に疑問を持たざるを得ない。

謝 辞：本調査にあたり、文部科学省特別研究促進費（代表：河田恵昭 京都大学教授）の補助を受けた。ここに記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) Abe K.: 2005 年 1 月 27 日 tsunami-japan への投稿資料。
- 2) 松富英夫：フローレス島東北部の津波とその被害，月刊海洋，海洋出版，Vol.25, No.12, 1993, pp.756-761.
- 3) Royal Thai Navy ホームページ (<http://www.navy.mi.th/hydro/tsunami.htm>)。
- 4) 山中佳子：東京大学地震研究所ホームページ ([http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo\\_Note/2004/EIC161a.html](http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2004/EIC161a.html))
- 5) BBC - [bbc.co.uk](http://bbc.co.uk) homepage - Home of the BBC on the Internet (<http://news.bbc.co.uk/>)
- 6) Amateur Asian Tsunami Video Footage (<http://www.asiansunamivideos.com/>)
- 7) 2005 年 1 月 14 日開催の土木学会速報会 (<http://www.jsce.or.jp/report/33/>)。
- 8) 松富英夫・首藤伸夫：津波の浸水深、流速と家屋被害、海岸工学論文集、第 41 卷、1994, pp.246-250.
- 9) 松富英夫・大向達也・今井健太郎：津波氾濫流の構造物への流体力、水工学論文集、第 48 卷、2004, pp.559-564.
- 10) 松富英夫・飯塚秀則：津波の陸上流速とその簡易推定法、海岸工学論文集、第 45 卷、1988, pp.361-365.