

スマトラ島北西海岸における 2004年インド洋津波の痕跡高分布

藤間 功司¹・嶋原 良典²・Charles SHIMAMORA³・松富 英夫⁴・榊山 勉⁵・
辰巳 大介⁶・宮島 昌克⁷・伯野 元彦⁸・竹内 幹雄⁹・小野 祐輔¹⁰・
幸左 賢二¹¹・庄司 学¹²・田崎 賢治¹³

¹防衛大学校教授 システム工学郡建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

²防衛大学校助教 システム工学郡建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

³防衛大学校 システム工学郡建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

⁴秋田大学工学資源学部附属地域防災力研究センター長 (〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1)

⁵電力中央研究所 地球工学研究所 (〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

⁶港湾空港技術研究所 津波防災研究センター (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

⁷金沢大学大学院教授 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

⁸攻玉社工科短期大学学長 (〒229-0027 神奈川県相模原市光が丘3-26-5)

⁹(株)日水コン下水道本部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿 新宿スクエアタワー22F)

¹⁰京都大学大学院助教 工学研究科 (〒606-8501 京都府京都市西京区京都大学桂)

¹¹九州工業大学教授 建設社会工学科 (〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1)

¹²筑波大学大学院講師 システム情報工学科 (〒305-0006 茨城県つくば市天王台1-1-1)

¹³大日本コンサルタント(株) 構造計画室 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-5-19)

2006年7月29日から8月6日にかけて、これまで十分な調査が行なわれていなかったスマトラ島北西 Leupung と Meulaboh 間において、インド洋津波による被災調査を行った。調査範囲は180km、調査地点は約30である。本調査により、スマトラ島北西部におけるインド洋津波の痕跡高分布が明らかにされた。

Key Words : Indian Ocean Tsunami, Sumatra, inundation, runup

1. はじめに

2004年12月26日に発生したインド洋津波は、インド洋周辺の各国に甚大な被害をもたらした。津波の後、津波痕跡高さや被害状況を調べ、復興計画を提案するため、多くの現地調査が行われた。しかし、震源に最も近いスマトラ島北西海岸では、震央が 3.3° N であるにもかかわらず、調査地域は Lho-nga や Leupung など、Banda Aceh に近接した 5.4° N 以北の狭い地域に限られていた。そこで、地震工学、地盤工学、ライフライン、橋梁工学、津波・海岸工学を専門とする著者らは調査団を結成し、Leupung から Meulaboh (4.1° N) までの広域調査を行った。調査隊はスマトラ島北西海岸に沿って津波痕跡高を測量し、社会基盤、地盤、橋梁などの被災状況を調査した。本論文では津波の特性に焦点を当てて報告する。

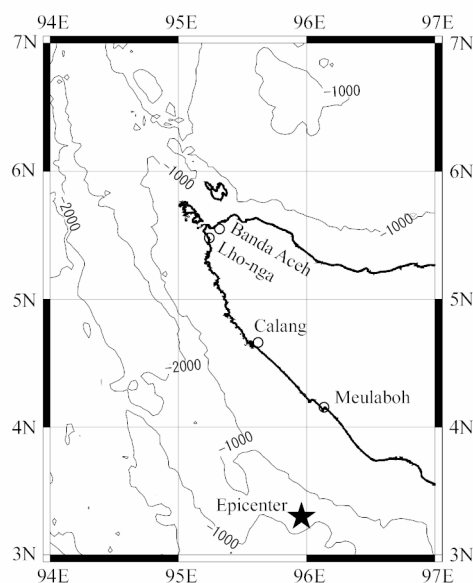


図-1 調査領域



写真-1 Leupungの津波痕跡

2. 調査の概要

(1) 調査地域

調査地域は、Leupung (5.4° N) から Meulaboh (4.1° N) までの 180 km, 調査地点は約 30 である (図-1 参照). この地域では、道路状況や治安の問題から、未だ十分な調査がされていない。

(2) 調査日程

調査隊は7月29日に Banda Aceh に到着し、調査を開始した。7月30日までは全員で Banda Aceh 周辺を調査し、7月31日以降は効率的な調査を行うため、いくつかのグループに分かれて調査を行い、8月6日に調査を終了し Banda Aceh から帰国した。

3. 津波痕跡高さ

(1) 測定精度の検証

津波痕跡の高さは、津波による影響を説明するため、津波来襲時の潮位を基準に表されるのが普通である。すなわち、津波痕跡高とは津波来襲時の潮位と痕跡の間の鉛直距離である。本論文でもこの定義に従う。

測定した津波痕跡高の測定値には2種類の誤差が含まれる。ひとつは測量そのものの誤差 (例えば、基準点から測量対象までの距離が長いと誤差が大きくなる) で、もうひとつは痕跡の選定に起因する誤差 (例えば、痕跡が不明瞭な場合には誤差が大きくなる) である。今回の調査では、津波調査で一般的に用いられている測量方法を採用したので、測量そのものの誤差に関しては他の調査隊のものと同程度である。しかし今回の調査は津波発生から 19 ヶ月後に実施されているので、痕跡選定に起因する誤差が大きくなる可能性がある。そこで、測定精度の検証を行った。

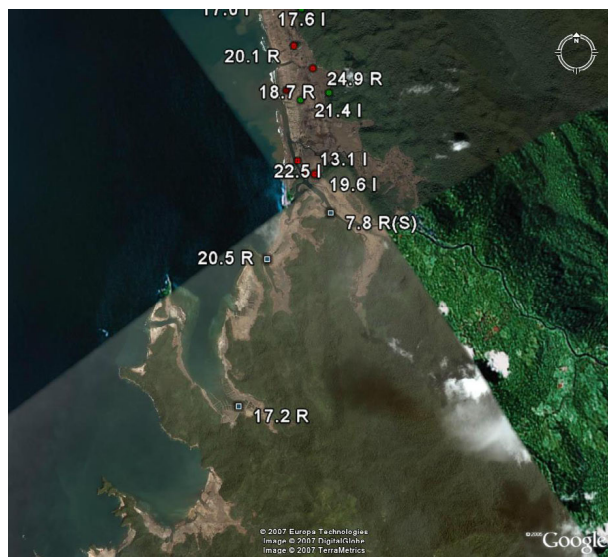


図-2 津波痕跡高 (5° 19' N から 5° 25' N, イメージは Google Earth による)



図-3 (5° 22' 26.3" N, 95° 15' 41.2" E) の津波痕跡

具体的には、津波直後 (2005年1月) の調査ですでに高さが計測されている2地点の周辺で、今回の調査時における状況から痕跡を選定し直して痕跡高を測量した。ひとつは Lho-nga のセメント工場の北にある小山での遡上高 27.2 m (Tsuji et al., 2006), もうひとつはセメント工場の南にある、小山に挟まれた鞍部における越流水位である 48.9 m (柴山ら, 2005) である。なお、後者のデータに関しては、若干注意が必要である。すなわち、この小山の後ろ側斜面の痕跡高が 20 m 弱であることから、海岸線付近の津波水位は 20 m 弱だったと考えられる。それが2つの小山に挟まれ行き場がないという条件下で高さ約 40 m の鞍部に乗り上げ、48.9 m という越流水位で背後に流れ落ちたのである。したがって、これは非常に特殊な

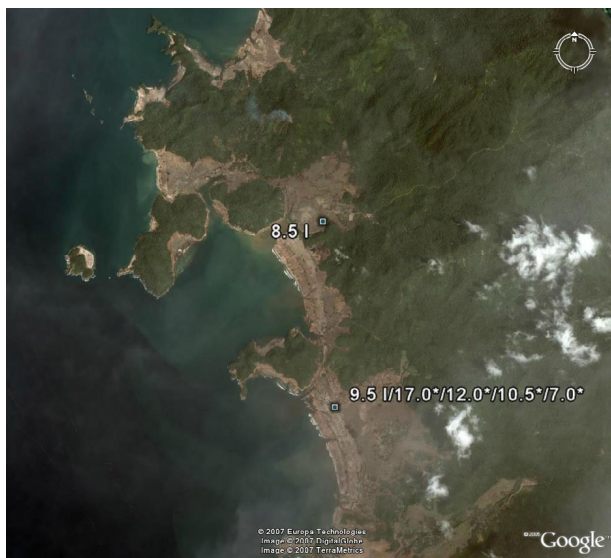


図-4 津波痕跡高(5° 13' Nから5° 19' N)



図-5 津波痕跡高(5° 7' Nから5° 13' N)



写真-2 被災したBlangmeのモスク

状況における高さと考えべきである。ただし、測定精度の検証に使うには問題ないだろう。著者らの痕跡選定に基づく結果は、前者(27.2 mの痕跡)に対して26.8 m、後者(48.9 mの痕跡)に対して49.1 m、47.7 mだった。ただし、後者のデータに対しては、2チームがそれぞれ別々に痕跡を選定し測量した。したがって、痕跡高は今回の調査でも十分な精度で測定できたと言える。

2005年1月と今回の調査時における津波痕跡を比較した例を写真-1に示す。津波が山肌の樹木を削り取った部分にはすでに新しい草が生え始めているが、その境界(生え際)は十分に明瞭である。これが、今回の調査でも精度のよい測定値が得られた理由である。

(2) Leupung から Calang までの痕跡高

津波痕跡高は、大きく“遡上高”と“浸水高”に分類できる。遡上高とは、津波が斜面を最も高く這い上がった地点の地盤の高さである。一方、浸水域の中の建物に付着した痕跡を測量対象に選んだ場合、その高さは浸水高と呼ばれる。本論文では、痕跡の分類(R or I)を痕跡高とともに図中に示してある。

図-2は5° 19' Nから5° 25' Nの間の津波痕跡高を示す。この図の上部にプロットされている点は2005年1月の調査で計測されたものである。今回の調査で新たに得られたデータは図の下部にプロットされた3点である。これらの数値はいずれも遡上高である。すなわち、最高遡上点の地盤高である。遡上高7.8 m(図中7.8 R(S)と表記)の場所の最高遡上点は住民の証言で決定した。17.2 mの点は住民の証言と新しい植生の境界の両方、20.5 mの点は新しい植生の境界で決めたものである。図-3のように、遡上高7.8 mの地点にある橋は橋桁が津波により上流方向に流されていた。津波は西から東に向かって侵入しているので、この斜面は津波の方向に対して横向きである。図-2中の他の2点(20.5 m, 17.2 m)は津波進行方向に直な斜面で測られている。そのため、7.8 m地点では他の2点の値に比べて小さ目の値になったと思われる。

図-4は5° 13' Nから5° 19' Nの間の津波痕跡高を示している。痕跡高が8.5 m(図中8.5 Iと表記)の地点はGleeburkのモスク、9.5 mの地点はBlangmeのモスクである。どちらも浸水高である。すなわち、どちらのモスクも浸水域の中に位置している。いずれも住民の証言により浸水した位置を決め、測量した。この地域ではモスク周辺の建物の多くは津波によって破壊されており、モスク以外で痕跡を発見することはできなかった。Gleeburkの海岸

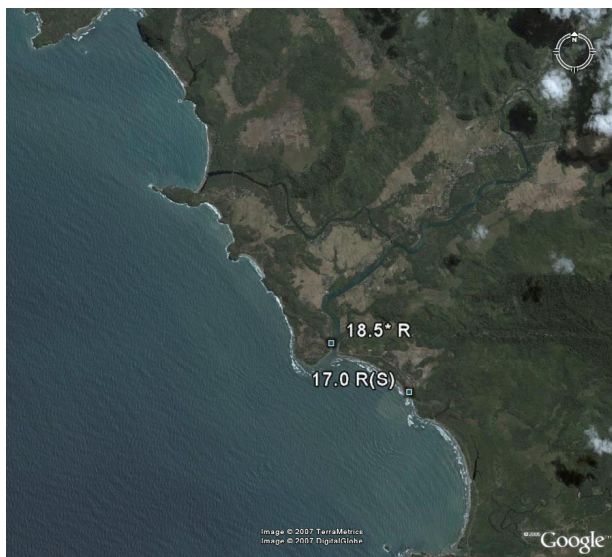


図-6 津波痕跡高 (5° 1' Nから5° 7' N)

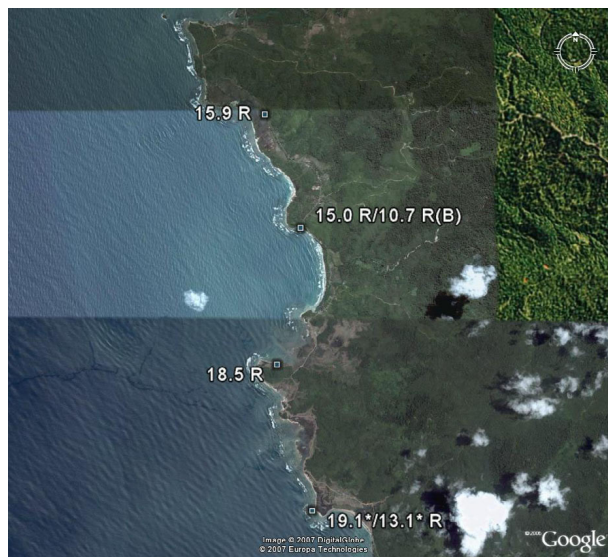


図-7 津波痕跡高 (4° 55' Nから5° 1' N)

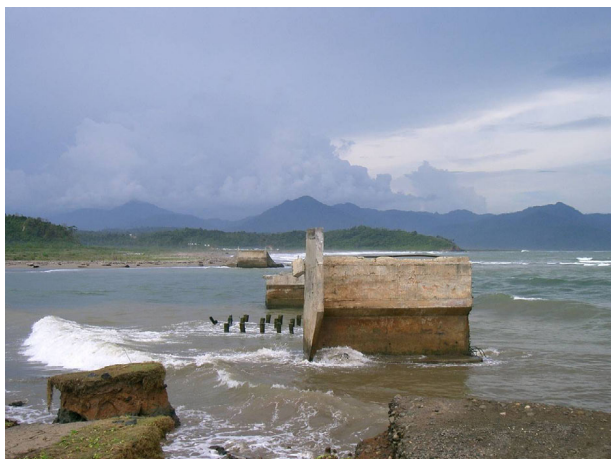


写真-3 被災したUjung Mulohの橋脚



図-8 津波痕跡高 (4° 49' Nから4° 55' N)

付近にあった橋では橋桁が流出していたが、海岸から1.2 km離れたモスクは8.5 mもの浸水高があったにもかかわらず破壊されておらず、いまだ使用できる状態だった。一方、海岸から600 mのBlangmeのモスクは、浸水高としてはGleebrukのモスクと大差ないが、写真-2のように激しい損傷を受け、全壊の状態であった。Blangmeのモスクの破壊が地震によるものか、あるいは津波漂流物の衝突などによるものかは明らかでない。

図-5は5° 7' Nから5° 13' NのGle Bruk周辺の津波痕跡高分布を示す。13.6 mは津波が丘の端部を越流した高さであり、住民の証言に基づいている。Gle Brukの南側では、折れた木の幹が崖に何本か引っかかっており、それらの高さを測定した結果が16.5 mから19.3 mだった。

図-6は5° 1' Nから5° 7' NのUjung Muloh付近の津波痕跡高を示す。18.5 mのデータを計測した地点の近くの橋は橋桁が流出し、橋脚のみが残されていた。橋脚付近は

写真-3の通り、激しい侵食を受けていた。この付近では住民の証言に食い違いがあり、確かな痕跡を決定することが難しかったが、18.5 mの地点が新しい植生の境界との整合性が良かった。17.0 mの記録は新しい植生の境界から決めたものである。

図-7は4° 55' Nから5° 1' Nの間の津波痕跡高分布、図-8は4° 49' Nから4° 55' Nの間の津波痕跡高分布である。これらの図に記されたデータは、すべて海岸付近の小山への遡上高で、新しい植生の境界から決めたものである。

図-9はCalangにおける津波痕跡高分布である。すべてのデータは小山または崖での遡上高である。写真-4はCalangの南にある橋梁の被災写真である。桁が浮上しているように見えるので、液状化が起こった可能性が高い。

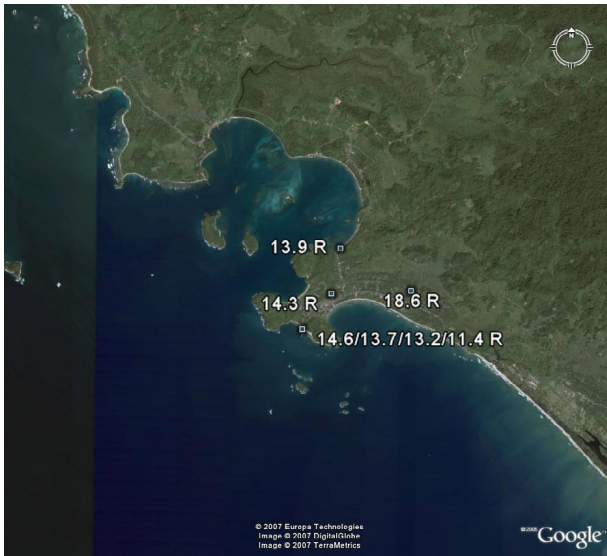


図-9 津波痕跡高(4°35'N to 4°41'N, Calang)



図-10 津波痕跡高(4°23'N から 4°2'N, Teunom)



写真-4 Calang 付近の被災した橋

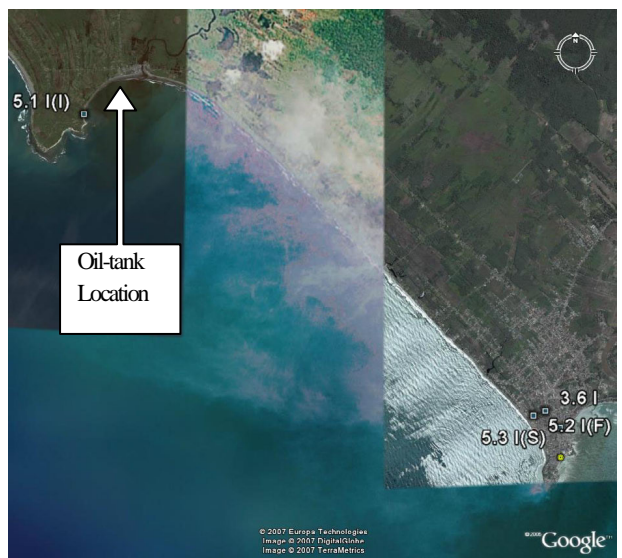


図-11 津波痕跡高(4°23'N から 4°2'N, Meulaboh)

(3) Calang から Meulaboh までの痕跡高

Calang の北側では海岸線付近に小山があり、津波痕跡を見つけることができた。しかし Calang の南側は低平地で、痕跡を見つけることは難しかった。そのため、ほとんどのデータは住民の証言によって得られたものである。

図-10 は Teunom で得られた津波痕跡高である。住民の証言により、建物内の浸水ラインを決めた。

図-11 は Meulaboh 周辺の津波痕跡高である。痕跡高 5.1 m の地点は海に面したモスクである。この地点から Meulaboh の岬までの海岸では激しい海岸侵食が発生していた。写真-5 では、まるで海中から生えているような椰子の木が見えるが、もちろん津波前には陸地だったのである。住民の話によると、まず津波によって大きく侵食され、さらにその後も侵食が進行しているとのことであった。そこで、以下のように海岸侵食の定量的評価を試みた。図-12 に被災前の Kuala Bubon 社のオイルタンク

(位置は図-11 に記載) 付近の衛星写真を示す。Kuala Bubon 社の記録によると、津波直後の2005年1月3日には図-12 に示した建物の位置まで侵食されていた(建物は津波で流出)。今回の調査時には、さらにオイルタンクに向かう道路取り付け位置まで侵食されていた。図-12 の砂浜に波の打ち上げの様がついていることから、この写真の撮影時は干潮に近かったと考えられる。そこで平均的な海岸線を図-12 に写っている砂浜の中央あたりだと仮定した。すると、海岸線が津波以前の状態から合計 150 m 岸側に移動し、そのうち約 20 % は津波により直接侵食され、残り約 80 % は津波の後、徐々に侵食されたと考えられる。津波後の平均的な海岸線後退速度は 75m/year にもなる。

Meulaboh 市内では3箇所の痕跡を選んだ。痕跡高 5.2 m の地点は岬の西側、5.3 m の地点は東側である。東側の地点では、住民は「最初の津波は西側から、2 波目は東側から来た。2 波目の方が速度は速かったが、高さは同じくらいだった」と語った。痕跡高 3.6 m の地点は岬の中央部にあるモスクで、モスクの壁に痕跡が残っていた。

4. まとめ

今回の調査により、スマトラ島北西部の津波痕跡高分布が明らかになった。Banda Aceh 市内の海岸線から 2 km までの範囲では、浸水高が 7 m から 8 m、海岸線から 2 km 以上離れた地域では 3 m から 7 m である。スマトラ島北端から Lho-nga (北端から 10 km) までの地域では浸水高が 12 m から 18 m、遡上高が 20 m から 30 m である。Leupung から Calang (スマトラ島北端から 100 km) までの地域では浸水高が 8 m から 10 m、遡上高が 13 m から 20 m である。Calang から Meulaboh (北端から 200 km) までの地域では、浸水高が 3 m から 5.5 m である。この地域では遡上高は得られていないが、もし海岸付近に小山があれば 10 m 程度の遡上高だったと思われる。したがって、津波の高さは Lho-nga 付近が最大で、南に行くにしたがって徐々に低くなると言える。

今回の調査地域では、大きな橋が多数流出する被害にあっていた。一方、被害を受けずに残っていた小さな橋も多い。また、Calang と Meulaboh の間では海岸侵食が進んでおり、海岸線の後退は最大で 150 m にも達する。津波防災のため、橋桁流出や海岸侵食の機構は明らかにする必要があるだろう。

なお、今回の調査データは、他チームの調査結果とともにデータベースとして整備し、インターネットで公開している (Tsunami Commission, 2006)。

謝辞：本調査を実施する上で、土木学会および日本地震工学会の補助を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) IUGG Tsunami Commission: Tsunami measurement data compiled by IUGG Tsunami Commission, <http://www.nda.ac.jp/cc/users/fujima/TMD/>, 2006.



写真-5 Meulaboh 北部の海岸侵食



図-12 オイルタンク付近の海岸線の変化

- 2) 柴山知也, 岡安章夫, 佐々木淳, 鈴木崇之, 松丸亮, Masimin, Arif, ZA : 2004年スマトラ沖地震津波のインドネシア・バンダアチェ被害調査, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1371-1375, 2005.
- 3) Tsuji, Y., Tanioka, Y., Matsutomi, H., Nishimura, Y., Kamataki, T., Murakami, Y., Sakakiyama, T., Moore, A., Gelfenbaum, G., Nugroho, S., Waluyo, B., Sukanta, I., Triyono, R., and Namagaya, Y : Damage and height distribution of Sumatra earthquake-tsunami of December 26, 2004, in Banda Aceh city and its environs, Journal of Disaster Research, Vol.1, No.1, pp.103-115, 2006.

(2007. 4. 6 受付)

TRACE HEIGHT DISTRIBUTION OF 2004 INDIAN OCEAN TSUNAMI
ALONG THE NORTHWEST COAST OF SUMATRA ISLAND

Koji FUJIMA, Yoshinori SHIGIHARA, Charles SHIMAMORA, Hideo MATSUTOMI,
Tsutomu SAKAKIYAMA, Daisuke TATSUMI, Masakatsu MIYAJIMA,
Motohiko HAKUNO, Mikio TEKEUCHI, Yusuke ONO, Kenji KOSA,
Gaku SHOJI, and Kenji TASAKI

JSCE organized the survey team in cooperation with JAEE and carried out the supplementary post-tsunami survey of Indian Ocean Tsunami from Leupung to Meulaboh, through 29 July to 6 August, 2006. The length of the survey area is 180 km and the number of the survey point is about 30. The present survey showed the trace height distribution of the 2004 Indian Ocean Tsunami along the northwest coast of Sumatra Island.