

短報

タイ Phuket島のポケットビーチ における海岸微地形と津波災 害脆弱性

林 香織*・春山 成子*・TANAVUD Charlchai**・三浦 正史*

Coastal geomorphology of pocket beach in Thai Phuket and vulnerability for Tsunami hazards

Kaori HAYASHI*, Shigeko HARUYAMA*,
Charlchai TANAVUD** and Masafumi MIURA*

Abstract

The purpose of this paper is to investigate the damage caused by the Indian Ocean Tsunami of December 2004 on 3 pocket beaches on the west coast of the Thai island of Phuket. We analyzed the micro-landform series of the coastal area and investigated both the height of inundation and the area of flooding in relation to the local landforms. We produced a landform classification map from our analysis of micro-landform series. Each of the 3 beaches has a two-tier terrace. The coastal plain is characterized by some distinct geomorphologic elements: coastal beach ridges, interridge swales, and back marshes. Almost all the areas inundated were alluvial coastal plains covered by shallow marine deposits. Run-up of the Tsunami to inland areas was greatly enhanced by a river channel, but was mitigated in other areas by the presence of beach ridges and terraces.

キーワード：津波，水害地形分類図，土地利用図，浸水深，ポケット

Key words : tsunami, landform classification map for flood control, land use map, inundation height, Phuket

1. はじめに

水関連災害は地形との対応関係がある。春山ほか（1988：1999：2005），大矢ほか（1986：1994：1997）は高潮，河川洪水，内水氾濫の湛水域，浸

水深，湛水期間が沖積平野の微地形に対応していることを明らかにし，水害地形分類図が流域管理や洪水軽減へ資することを示した。

また，土地利用変化や人工改変によっても水害

* 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 自然環境学専攻
Department of Natural Environment Studies, Graduate
School of the Frontier Sciences, The University of Tokyo

** タイ国立プリンスオブソングクラ大学 資源環境学部
Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla
University

本短報に対する討論は平成19年11月末まで受け付ける。

ポテンシャルは変動するため、災害予測には洪水脆弱性ゾーニングに加え、人間活動によって生じる災害脆弱性の変化を加味する必要がある。春山ほか(1992)や海津(2006)は、人工改変地形と水害の関係を明らかにした。

小林ほか(1980)は、津波はエネルギーの大小はあるものの高潮と似た挙動をとることを示し、海岸の地形分類調査が津波対策にも必要であるとした。海津ほか(2006)は、陸上での津波の挙動が低地地形に対応していることを示した。

スマトラ島沖津波災害について、タイ国を対象とした報告としては、松山ほか(2006)による津波の数値計算、柳澤ほか(2005)による浸水計算、後藤ほか(2006)による堆積物調査、田中ほか(2005)による津波防御に関する植生の役割などが挙げられる。海津(2006)は、タイ国北部アンダマン海沿岸 Nam Khem 平野の地形特徴を把握し、当該津波の流動との関係について論じている。しかしながら、タイ国 Phuket (プーケット) 島の沿岸低地の微地形と当該津波災害の対応関係は明らかではない。

そこで本研究では、プーケット島西海岸の対象3ビーチの水害地形分類図を作成し、各々の微地形特性と当該津波の浸水深、挙動との関係を検討した。

2. 研究地域の地理的概要

プーケット島は南北に48km、東西に21kmあり、クラ地峡から440kmほど続く山脈の一角である(Fig. 1)。島の最高高度は Mai Tao Sip Song の529mである。年間平均潮位は約2.2m、年最高潮位は3.7m、最低潮位は0.5mであり、5~10月にかけて潮位は上昇し、11~4月に低下する(2005~2006推算潮位, Tai Fishing Guide Co. Ltd 提供)。西海岸には、石灰岩の丘陵に囲まれたポケットビーチが数多く存在し、島の中心部と東海岸は粘土質の河成平野から成る。岩田(2002)は、観光開発が進む1970年代以前を例に挙げ、錫の露天掘りやゴムのプランテーションを島の主産業、および主要土地利用であるとした。春山(2006)は、各ポケットビーチは2タイプの表層地質を示し、1つは汀線に沿う砂礫質のビーチ堆積物地域、もう1

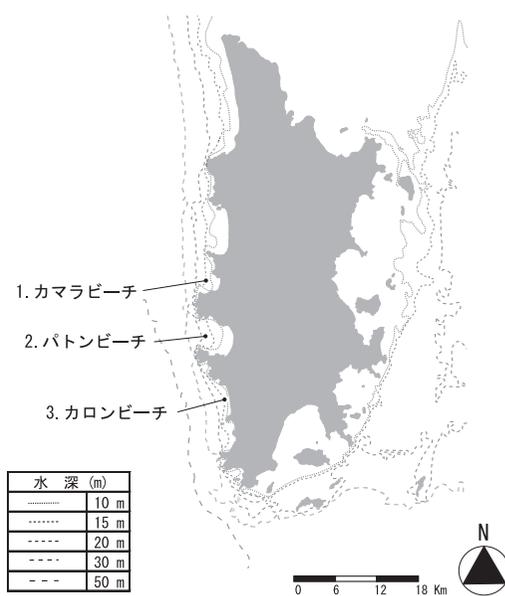


Fig. 1 Study area

つは前者より内陸側にあり粘土・シルト質の潮汐低地、エスチュアリー堆積物で構成される地域であるとしている。

3. 研究方法

本研究の目的を達成するため、以下の分析を行った。(Fig. 2)

3.1 海岸微地形の把握手法

プーケット島西海岸に分布するポケットビーチの海岸微地形を把握するため、地形分類図を作成した。地形判読には、2002年7月19日撮影の20,000分の1白黒航空写真(Royal Thai Survey 発行)を用いた。その後、2005年8月24日~2005年9月7日に現地調査を行った。現地調査では、レーザレンジファインダー(Laser Ace300, Measurement Device Ltd.)を用い、汀線を基点した海岸微地形の簡易測量を行った。測量したデータから、推算潮位データ(Thai Fishing Guide Co. Ltd)を用い、津波来襲時刻(2004年12月26日午前10時)の潮位に補正し、地形断面図を作成した。地形断面図は、カマラビーチで3本(L1~L3)、パトンビー

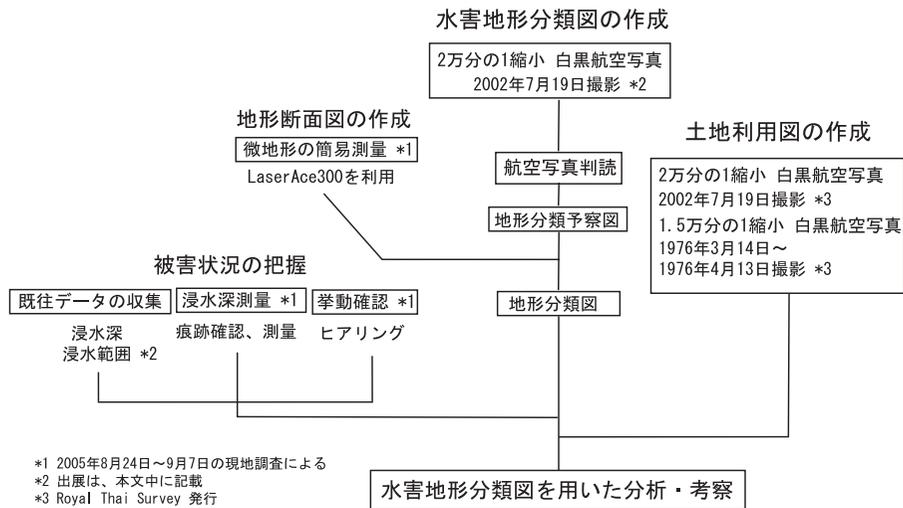


Fig. 2 Study flow

チで5本 (L1~L 5), カロンビーチで6本 (L1~L6) 作成した。

3.2 土地利用の把握手法

対象ビーチの土地利用変化を把握するため、1976年3月14日~1976年4月13日撮影の15,000分の1白黒航空写真 (Royal Thai Survey 発行), および2002年7月19日撮影の20,000分の1白黒航空写真 (Royal Thai Survey 発行) を用いて判読を行い、土地利用図を作成した。

3.3 被害状況の把握

対象地域の被害状況の把握には、(1) 筆者らが行った現地調査から得たものに加え、(2) 公開されている被害関連データを参考にした。

(1) 著者らが2005年8月24日~2005年9月7日の現地調査より得たデータ。①浸水深: 津波の痕跡確認を行い、その地表面からの垂直距離をメジャー、もしくはLaserAce300で計測した。②津波の挙動: ヒアリング調査を行い、調査地点での津波の挙動を地図上にプロットしていった。

(2) Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (GISDA) が発行したTsunami Story Bookにて報告されているIKONOS画像

(2004年1月24日, 2005年12月29日撮影)の画像処理により導かれた浸水範囲, および津波による侵食域データ。

3.4 水害地形分類図の作成

3.1で作成した微地形分類図, 微地形断面図と3.3に記載した被害データを重ね合わせ水害地形分類図を作成した。さらに、水害地形分類図から読み取れる地形特性と3.2で作成した1976年, 2002年の土地利用図を重ね、対象ビーチの海岸微地形と津波被害との関係性を分析した。

4. 地形分類図から見た被災地域の地形特性

Kamala (カマラ) ビーチ, Patong (パトン) ビーチ, Karon (カロン) ビーチから以下の地形種を分類した (Table 1)。段丘を高位面と低位面に区分し、これらの背後に形成される急斜面の下端を境界として丘陵地を区別した。河成作用で形成されている谷底平野には、丘陵を刻む幅の狭い谷口部に、緩い半円錐形の沖積錐地形を認めることができた。沿岸部には、成長過程にある浜堤Iとすでに離水した浜堤列 (浜堤II, 浜堤III), そして後背湿地が形成されていた。浜堤と浜堤の間には、

堤間湿地が発達しているが埋め立てなどで確認できない箇所もあった。後背湿地に施された人工的な微高地を盛土とし、丘陵地、段丘面の高地や浜堤など微高地を均した箇所は切土とした。

Table 1 Landform classification elements

山地・丘陵地		
段丘面	高位 低位	
低地	沖積錐 谷底平野 後背湿地 浜堤 (I, II, III) 堤間湿地 ラグーン	
	海浜 池 河道	
	旧水面上埋立地	
	盛土	
	切土	
	人工改変地形	

4.1 カマラビーチ

カマラビーチはプーケット島西海岸中央に位置する口の広いV字型の平面形をもつポケットビーチである。その海岸平野には、浜堤Ⅰと浜堤Ⅱが海浜に接して形成され、それらと堤間湿地をはさんで浜堤Ⅲが形成されていた。浜堤列と段丘面の間には、後背湿地が形成されていた。海岸平野より内陸には、小河川に沿って谷底平野が形成されていた。海浜は南北に2.0kmあり、小河川の河口が分布する南部で比較的広く、かつ低平となっていた。河口水面下では submerged delta が形成されており、引潮時には汀線から海側に50mの範囲が露出するのを確認した。(Fig. 3)

4.2 パトンビーチ

パトンビーチはプーケット西海岸中央に位置する浅いU字型の平面形をもつポケットビーチである。その海岸平野には、海浜に接して浜堤Ⅰが形成され、それと堤間湿地を挟んで浜堤Ⅱが形成されていた。堤間湿地は浜堤よりも0.5m~1.0m低

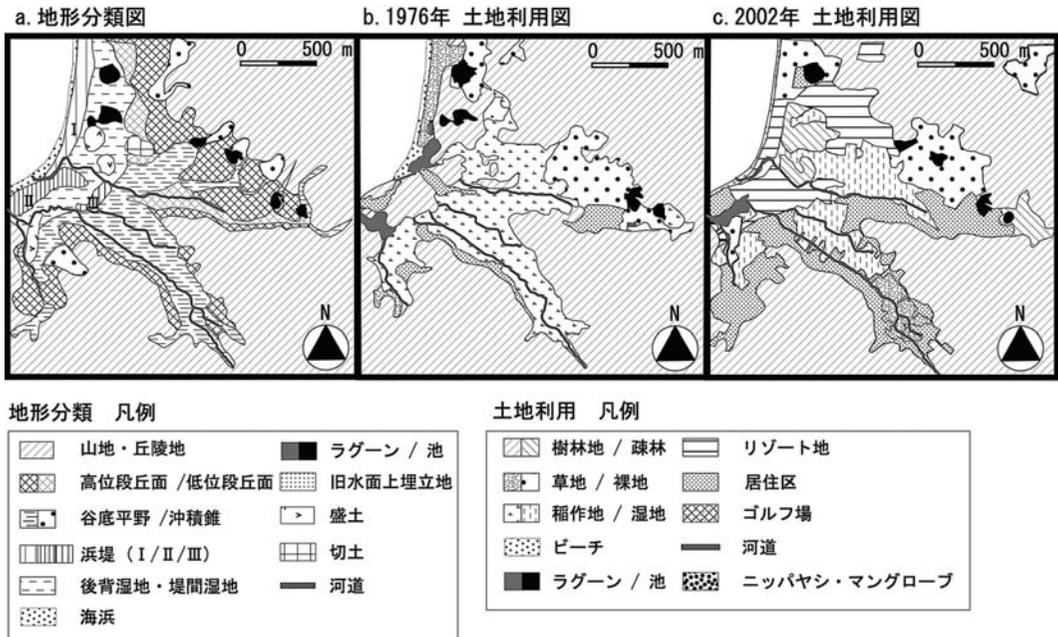


Fig. 3 Landform classification map and land use map (1976, 2002) of Kamala beach

いが、現在は堤間湿地の盛土、もしくは浜堤の切土によって高低差を確認できない箇所が多い。浜堤より内陸には、南北に流れる小河川の河道と後背湿地が形成されていた。海浜は長さ3.0kmあり、波あたりの強い中央部は南北両端部と比べて急峻を示していた。

1976年の土地利用図から河口周辺はマングローブもしくは、ニッパヤシの分布する地域であることが分かった。2002年現在は上記の植生をほとんど確認できないが、同エリアは流路が細かく蛇行したり、分流したりしているため、さらに地盤の不安定な湿地性河成平野であった。(Fig. 4)

4.3 カロンビーチ

カロンビーチはプーケット島南部に位置するほぼ直線的な海岸線を有するポケットビーチである。その海岸平野には、海浜に接して浜堤Ⅰが形成され、堤間湿地をはさんで浜堤Ⅱと浜堤Ⅲが形

成されていた。浜堤列と段丘面の間には、後背湿地が形成されていた。海浜は南北に3.0kmあり、中央と北部のラグーン河口で低平となる。

1976年の土地利用図から、2002年現在、カロンビーチ北部に分布する貯水池(タイ水資源局管理)は、ラグーンを利用したものであり、その周辺部は埋立地であると判断される。(Fig. 5)

5. ポケットビーチの地形特性、土地利用と津波被害

水害地形分類図と地形断面図、および土地利用図から各ビーチの地形特性、土地利用と津波の対応について検討した。地形断面図には、著者らが測量した浸水深データをプロットした。カマラビーチ、バトンビーチの津波の浸水範囲については、3.3(2)のデータを参考にした。そのデータに基づき、現地調査により遡上限界の確認作業を行い、一部改変したものを本稿では使用した。

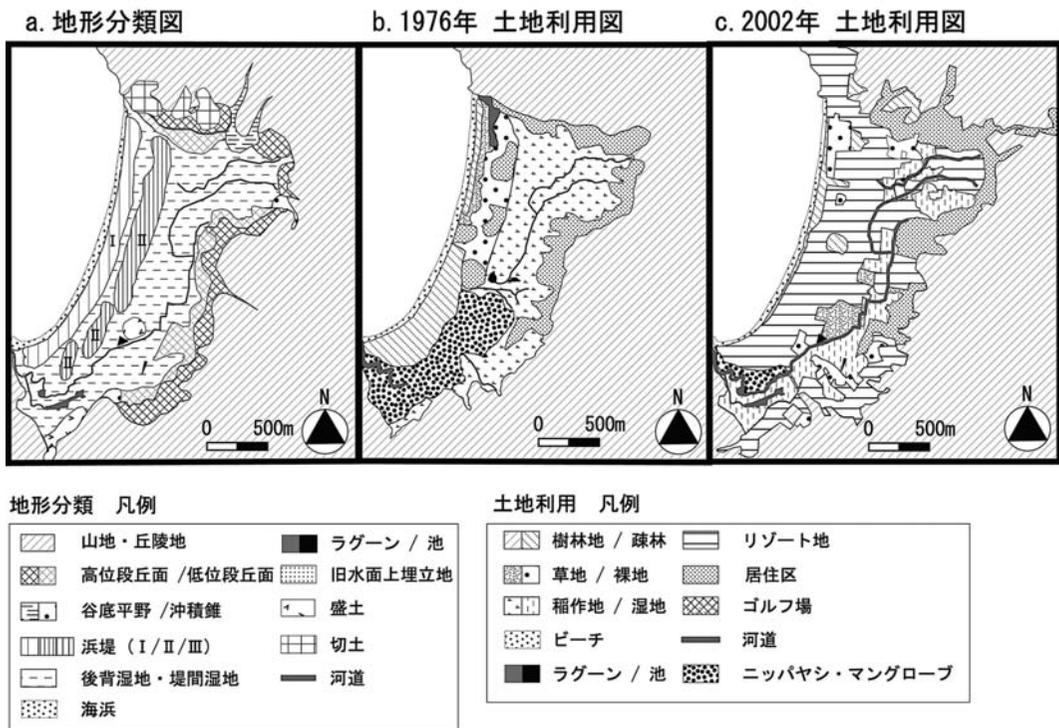


Fig. 4 Landform classification map and land use map (1976, 2002) of Patong beach

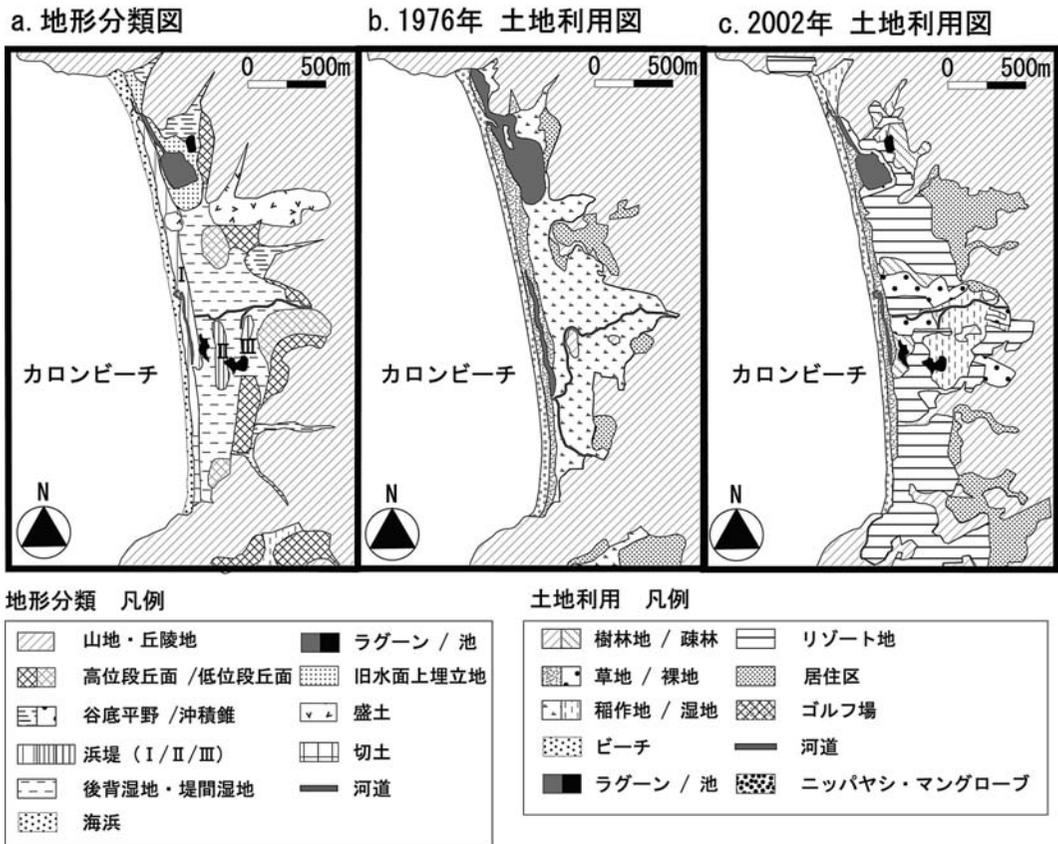


Fig. 5 Landform classification map and land use map (1976, 2002) of Karon beach

5.1 カマラビーチ

当ビーチの海岸平野では、地盤の安定した浜堤Ⅱ、浜堤Ⅲ上に施設が密集している。断面図 Lnh では、海浜背後、浜堤Ⅱ上の浸水深が4.3mである。浜堤Ⅰ上で、3地点の浸水深を計測したところ、南から2.0m, 2.1m, 2.8mであり、浜堤Ⅱ上の4 mが極めて高い数値であることが分かる。その一つの要因として、浜堤Ⅱはその南端と北端に河川が流れていることが挙げられる。小林(1980)によると、河川は内陸部への津波の主要侵入ルートになりやすく、また同時に主要退水経路にもなりやすいため、浸水深の上昇がもたらされ、付近は破壊を受けやすくなる。すなわち、当ビーチでは南部の浜堤Ⅱ上にリゾート施設が多く立地することから、津波災害に対して非常に脆弱

である地域に施設が集中していると言える。浸水深は、海岸から遠ざかるに従い水深を減じ、浜堤Ⅲ上では0.5mとなっている。平野部に上陸した津波は河川に沿い、低位段丘面を遡上限界としながら谷底平野まで氾濫域を広げた。その一例として、ポケットビーチ南部内陸の谷底平野において、2.9mの浸水深が確認された。壁となるものの少ない場所では、津波は内陸部でも2 m前後の水深を保っていた。また、海浜北部の浜堤上(断面図 L1) 一体は、ムスリムの墓地として利用されており、均された草地となっている。そのため、浸水深は内陸部でも2.4mである。(Fig. 6)

5.2 パトンビーチ

Fig. 7の断面図に浸水深と3.3(2)のデータを参

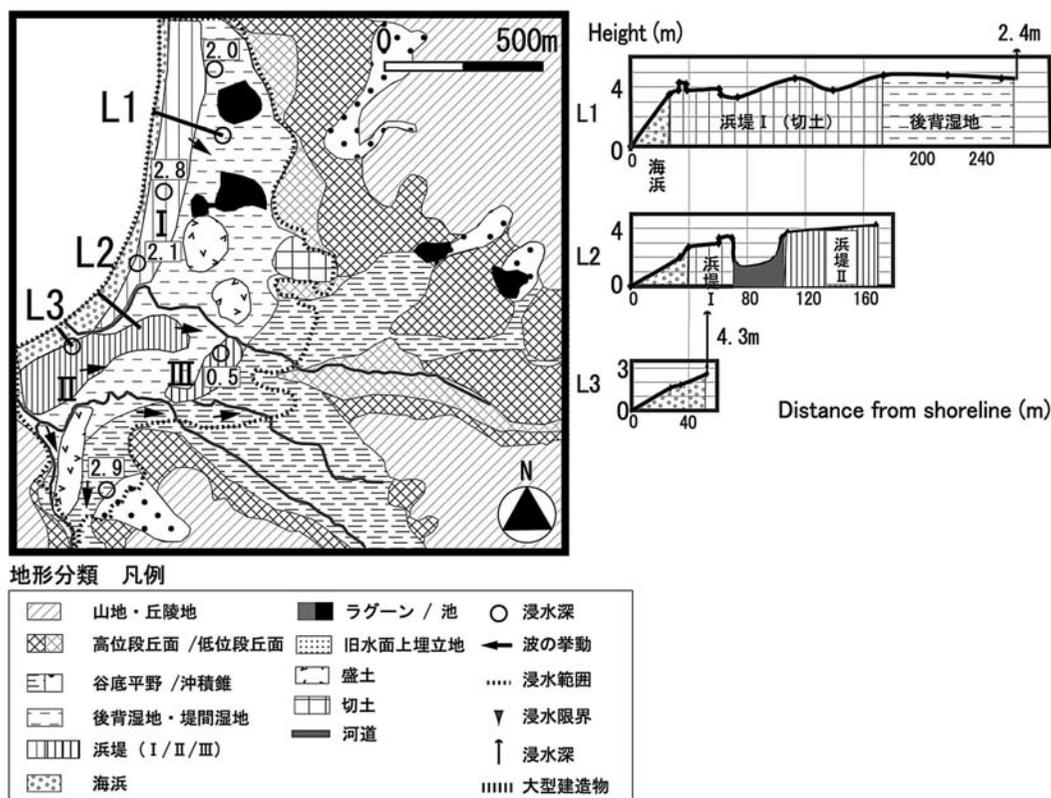


Fig. 6 Tsunami inundation of Kamala beach

考にした遡上限界点をプロットした。結果、当ビーチでは浸水深や遡上限界と微地形の対応が不明瞭であることが分かった。当ビーチの津波浸水レベルは平均5～6mであるが、断面図L2, L3, L4では、遡上限界点の比高が4mと低くなっている。海浜付近に津波の侵入に対して抵抗となる顕著な微地形の高低差も認められない。これは開発に伴う建造物抵抗の増加に起因していると推察される。例えば、L2の遡上限界は大型建造物に起因する。浸水深、遡上限界と微地形との対応が見られるのは断面図L1のみである。L1では、低位段丘面から高位段丘面にかけての勾配の変換線付近が遡上限界となっていた。

挙動に関してヒアリング調査を行った結果、津波は遡上限界付近まで達し、ある程度水深、速度共に減少した後、北から南に流下したことが分かった。断面図L2～L4の堤間湿地の比高を比較

すると北から南に向かうに連れ、約2m減少している。海津(2006)で指摘されているように、当ビーチでも引き波は低所をつないで排水する挙動、ここでは堤間湿地から南端の河口へ向かう挙動が示された。

5.3 カロンビーチ

Fig. 8の断面図L1, L4に津波の遡上限界をプロットした。どちらも後背湿地から段丘面にかけての地形勾配の変換線付近が遡上限界点であった。L1の遡上限界は、後背湿地から低位段丘面にかける比高3m付近、L4は後背湿地から高位段丘面にかけての比高5m付近の変換線である。遡上限界の比高に2mもの差が生じているのは、限界点に到達するまでの摩擦抵抗に差があるからである。津波の浸水深が減じるのは、津波の侵入に対する地表面の摩擦抵抗の増大に起因する。当

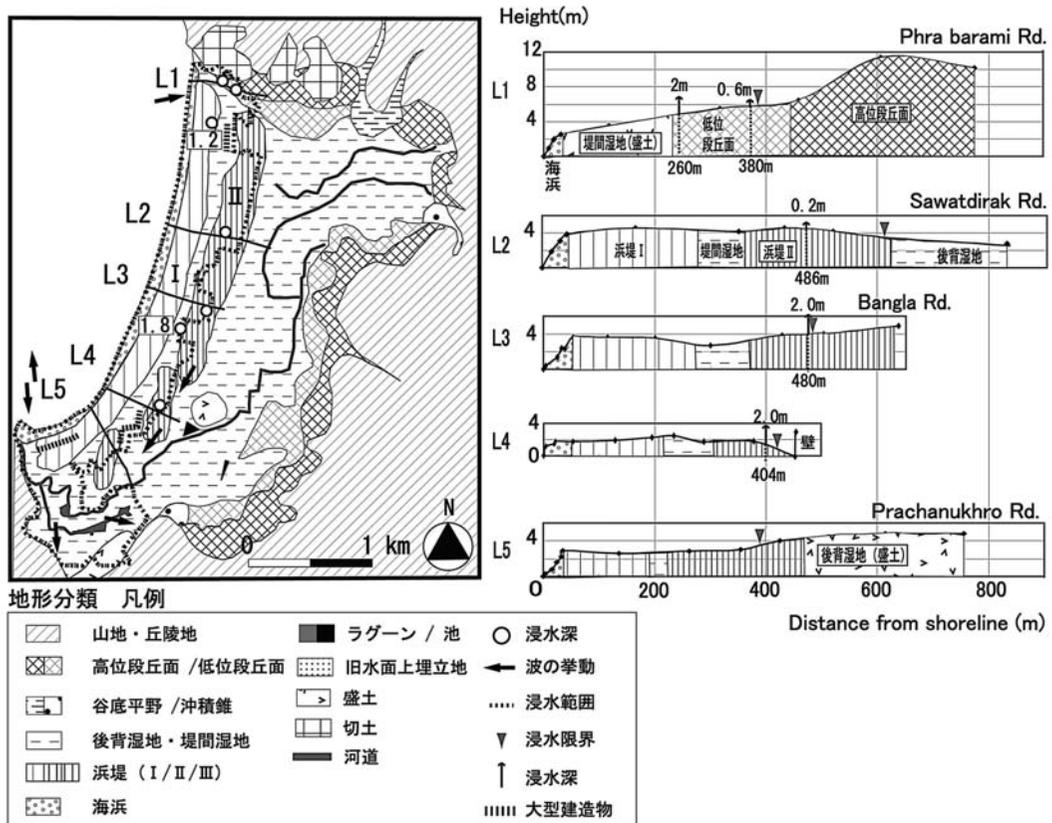


Fig. 7 Tsunami inundation of Patong beach

ビーチの平野部に上陸した津波の1つ目の抵抗は浜堤Iである。浜堤Iに着目すると、海浜南部(断面図L4, L5, L6付近)の浜堤は、Fig. 8の地形断面図の勾配、および現地調査から切土されていることが分かった。ポケットビーチ南部で、浸水深が2~2.5mと高くなっているのは、浜堤を掘削したことで津波遡上の抵抗が低下したためと考える。一方、L1では道路建設に伴う盛土もあり、浜堤Iの最高比高は6mにも達している。それが障壁となり、津波の速度と威力は軽減されたため、L1では遡上限界が比高3m付近となった。L1の北部には旧水面上埋立地が広がっており、周辺はより低平な地域になっている。そのため、遡上限界まで達した波は、その挙動を北に変えている。また、ポケットビーチ南部(断面図

L5, L6付近)には、浜堤Iのすぐ背後に低位段丘面、丘陵地が形成されており、津波は水深を保ったまま段丘崖に衝突し、流向を北に変えた。これは、L3付近の店舗店員の「波は海浜の方向からではなく、南から道路を伝って侵入してきた」という証言からも明らかになった。

6. 結果のまとめ

カマラビーチ、パトンビーチ、カロンビーチでの津波の浸水深分布、浸水範囲、挙動を分析した結果、パトンビーチの建造物による抵抗の大きいエリアを除くと3ビーチとも後背湿地から低位段丘面、もしくは高位段丘面への勾配変換線が遡上限界点となっていることが分かった。このことから、段丘面より海側に位置する居住区、および施

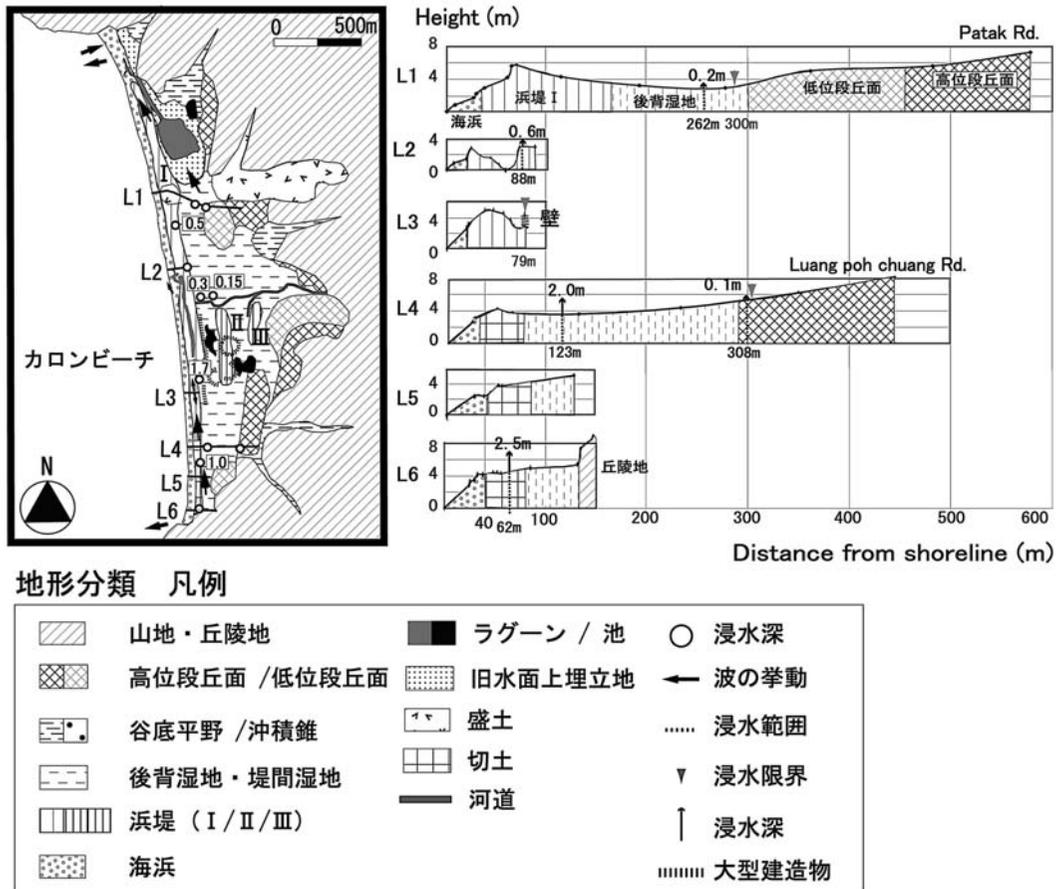


Fig. 8 Tsunami inundation of Karon beach

設等は、今回と同規模の津波が襲来した際、全て被災の可能性があると言える。1976年の土地利用図を見ると当時、後背湿地の大部分は、どのビーチでも paddy field として利用されている。2002年現在では、後背湿地の大部分にリゾート関連施設が進出しており、リゾート開発に伴う津波災害脆弱性の増大が示唆される。海浜に接して形成されている浜堤 I は、上陸した津波の抵抗因子となっている。プーケットの津波浸水レベルは4-6mと言われており、それと同程度の比高を有すると遡上が軽減する効果が確認できた。しかし、平らに均されている箇所も多く、浜堤や段丘面等の切土箇所は、河川同様津波の侵入、退水経路となっていたことが分かった。

参考文献

後藤和久・他：2004年インド洋大津波によって形成された津波堆積物の特徴－タイバンサックビーチの研究例－：津波工学研究報告, Vol. 23, pp. 51-56, 2006.

春山成子・他：ランドサット画像の地理への応用－タイ中央平原の水害地形分類図作成を例として－, 早稲田大学理工学研究所報告, Vol. 121, pp. 32-48, 1988.

春山成子：開発と保全－環境変化のなかのジャワー, 地理, Vol. 43(11), pp. 97-105, 1998.

春山成子：環境変化の中でのタイの水害, 水利科学, Vol. 43(3), pp. 62-82, 1999.

春山成子・志田健：防災利用のための衛星リモートセンシング JERS 1 SAR を用いたメコンデルタの水害地形分類図作成について, 電子情報通信

- 学会技術研究報告, Vol.105(158), pp.51-54, 2005.
- 春山成子：プーケットの津波災害と寺院, 地理, Vol. 51(4), pp.102-112, 2006.
- 岩田隆一：タイ観光論, くんぶる, pp.84-86, 2002.
- 小林基夫・須長博明：海岸地形分類と津波遡上について, 海岸, Vol.20, pp.150-159, 1980.
- 松山昌史：2004年スマトラ沖地震津波の数値解析, 津波工学研究報告, Vol.22, pp.127-131, 2005.
- 大矢雅彦：水害地形分類図の作成とその活用, 地理, Vol.31(5), pp.53-65, 1986.
- 大矢雅彦：水害地形分類図とその利用, 地図, Vol. 32(2), pp.47-48, 1994.
- 大矢雅彦・他：那賀川流域水害地形分類図の利用について, 日本地理学会発表要旨集, Vol.52, pp.230-231, 1997.
- Ratanaspong, S., et al.: Geo-informatics data for Tsunami monitoring and management in Thailand, GISDA, pp.50-67, 2005.
- 海津正倫・他：タイ国アンダマン海沿岸 Nam Khem 平野の地形と津波の挙動および津波堆積物の空間的分布, E-journal GEO, Vol.1(0), pp.2-11, 2006.
- 田中規夫・他：津波防御に対する樹林幅と樹種影響について－インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査結果－, 海岸工学論文集, Vol.52, pp.1346-1350, 2005.
- 柳澤英明・他：インド洋大津波によるタイの浸水計算と家屋被害状況について, 第24回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.113-114, 2005.

(投稿受理：平成18年9月25日)

訂正稿受理：平成19年3月29日)