

プーケット島のパンシービーチにおける 水難事故調査報告

REPORT ON DROWNING ACCIDENT AT PANSEA BEACH ON
PHUKET ISLAND

宇多高明¹・三波俊郎²・石川仁憲³・大西敏郎⁴・芹沢真澄⁵・古池 鋼²
Takaaki UDA, Toshiro SAN-NAMI, Toshinori ISHIKAWA, Toshiro ONISHI,
Masumi SERIZAWA and Kou FURUIKE

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長 (〒110-0016東京都台東区台東1-6-4)

²海岸研究室 (有) (〒160-0011東京都新宿区若葉1-22ローヤル若葉301)

³工修 JLA指導員 (財) 土木研究センターなごさ総合研究室 (〒110-0016東京都台東区台東1-6-4)

⁴ダイブ・コミュニケーション・ユースリー (〒135-0046東京都江東区牡丹3-9-1-301)

⁵正会員 海岸研究室 (有) (〒160-0011東京都新宿区若葉1-22ローヤル若葉301)

On September 1, 2001 a lady was drowned and killed at the Pansea beach on Phuket Island in Thailand. We set up an investigation team and carried out a field investigation on this drowning accident on September 18-21, 2002. Beach topography and rip currents were observed as well as the grain size test of the beach materials. Observed nearshore currents were compared with the numerical simulation. A rip current induced by the existence of shallow rock-exposed bed in the vicinity of the location where the accident occurred was the main cause of the drowning accident.

Key Words : Drowning accident, field observation, rip current, Pansea Beach, Phuket Island

1. まえがき

2001年9月1日、プーケット島においてツアー中の日本人女性 (K氏の妻) が水難事故により亡くなった。K氏の妻は、同日の13時過ぎK氏とパンシービーチの浜辺で日光浴中、アマンプリホテルのプライベートビーチの方を指差し、「ちょっと行ってくるね!」と言いながら約200m離れたビーチへ真っ直ぐに歩いて行き、膝ぐらいまで海に浸かりながら波と戯れていた。ところが13時30分頃、K氏がわずかに目を離した隙に、妻のいたはずのビーチに目をやると、海面に「手が一本ずつ沈んでいく」のが見えた。急いで現場へ駆けつけたところ、妻が溺れたと思われる場所で、K氏は急に足をすくわれ沖へ流されそうになった。そこは一見遠浅の水辺に見えながら、実は急な深みになっていた。K氏の妻は、浅瀬のつもりでちょっと足を踏み入れたところ思わぬ深みにはまり、離岸流によって流されたと推定された。流された後、14時10分頃水上バイクで探していたホテルスタッフが約300m沖で浮いているK氏の妻を発見し、ビーチに引き上げて心臓マッサージと人工呼吸を行ったが、時

既に遅くK氏の妻は亡くなった。事故当時ライフガードはいなかった。K氏の記憶によれば、この日の波の高さは0.5~1m程度であった。筆者らは、K氏の依頼のもとこの水難事故の原因を科学的に解明することを目的として調査団を作り、水難事故が起きた翌年の同時期の2002年9月18日~21日に現地調査を行った。本報ではこの現地調査の結果および推定された水難事故の要因について報告する。

2. パンシービーチにおける現地観測の概要

プーケット島はタイの南西海岸沖、バンコクの南890kmに位置し、南でインド洋とつながったアンダマン海に囲まれている。2004年12月24日のインド洋津波で著しい被害を受けたことで有名である。この島は熱帯性気候を有し、10月中旬から3月中旬の乾季と、それ以外の雨季とに分かれる。乾季は静穏であるが、雨季には波浪が高い。図-1は、1997年1月30日の人工衛星JERS-1による観測結果から作成した画像であるが、矢印で示す長さ約400mのポケットビーチがパンシービーチである。

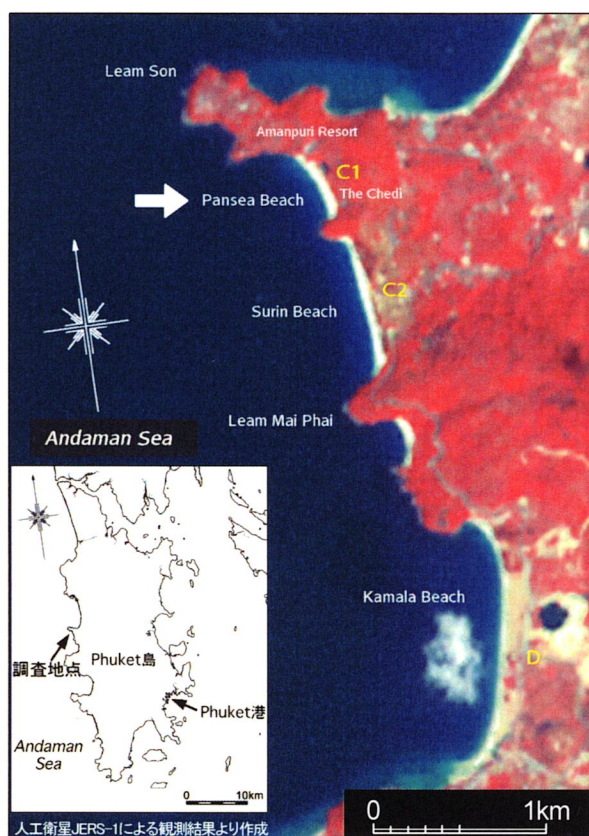


図-1 調査地点図

現地観測の内容は、現地踏査、地形測量、海浜材料の採取と粒度試験、事故箇所付近での海浜流観測、潮位観測などである。また潮位・波浪データなどの収集を行った。地形測量では、沿岸方向に25mピッチ（事故現場付近は10mピッチ）、岸沖方向約100mの範囲でビーチ全体の測量を行った。測量は設定した測線上においてオートレベルによる直接水準測量を行い、それ以外の岩の形状や海浜上の地物についてはトータルステーションにより目標点の方向角と斜距離を同時に測定することにより3次元座標を求めた。高さの基準面は、潮位の基準面と同じ水深基準面（Datum Level）とした。パンシービーチ南端の岬付近で潮位観測を行い、当地点での潮位がプーケット港における推算潮位に等しいと仮定して、観測値と水深基準面との関係を求めた。海浜流観測では、碎波帯内に被験者が入り、その流跡を陸上からトータルステーションとレーザー距離計で20s毎に追跡して測定した。なお被験者は熟練したライフガードであり、ウェットスーツを着用し救難用の浮きに掴まって流れに身を任せた。調査期間の天候は概ね晴れであり、時折スコールが発生していた。また、風速2～9m/sの南西からの季節風が常時卓越していた。

3. 現地観測の結果

(1) 潮位特性

パンシービーチ周辺の潮位状況は、海上保安庁^{1) 2)}の潮位表に基づき、パンシービーチに地理的に最も近い

プーケット港における潮位（推算値）を用いて調べた。プーケット港の潮位は、マラッカ海峡のほぼ中央に位置するOne Fathom Bankを標準港として、潮汐表に記載されている改正数（潮時差-8hおよび潮高比0.62）を用いて、事故当日前後および今回の現地踏査時における毎時の値を算出した。

これより、プーケット港における Z_0 （水深基準面上の平均潮位面の高さ）は1.4m、大潮時の平均的な満潮位はD.L.+2.6mである。潮位特性で特徴的なことは、大潮時の平均的な潮差（干潮位と満潮位の差）が約2.4mと大きいことである。プーケット港はプーケット島の内海側に位置しており、この影響を多少受けていると思われるが、パンシービーチの北約67kmに位置し、アンダマン海に直接面するアオ・カウラオク（Ao Kaulaok : $N7^{\circ} 51'$, $E98^{\circ} 24'$ ）においても大潮時の潮差が約2.2mと比較的大きい。日本の太平洋沿岸における平均的な大潮時の潮差が1.5m程度であることを考慮すると、外洋に面して波浪条件が比較的厳しく、かつ潮差が大きいという点で、日本ではあまり見られない条件を有しているといえる。事故当日および現地調査時ともに大潮であり、満干潮の時刻は異なるものの満潮位・干潮位がほぼ等しい条件にあった。また、事故発生時（現地時刻：2001年9月1日13時30分頃）は満潮から干潮へ向かう下げ潮時で、潮位はD.L.+1.03m（平均潮位下0.37m）であった。

(2) 波浪特性

当海岸周辺では波浪観測は行われていないが、世界各地の海域別の波浪統計資料としてBritish Marine Technology Limited³⁾によるGlobal Wave Statisticsがある。これは既往の波浪観測データと波浪推算結果をもとに統計解析により海域別に波浪出現頻度をまとめたものである。この波浪統計資料を用いてプーケット島の西岸域に相当するAREA 61の海域（東経 $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 、北緯 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ）の波浪出現頻度を集計・整理した。もとの波浪統計は16方位全方向の波向に対して出現頻度が示されているが、プーケット西岸の場合、地形的に見て東寄りの波向（NE, ENE, E, ESE）は陸から海に向かう方向となるので波は立たない。そこで、波高出現頻度の集計ではこれらの波向を静穏（波高0～1m）として集計し、波向出現頻度および周期出現頻度ではその他として除外し、波向S～W～Nについて集計した。

波向の出現頻度は、S, SW, Wの3方向の占める割合が高く、当海岸の海岸線に対して南寄りの入射波が卓越している。とくに雨季に相当する5～9月にこの傾向が強い。季節別の波高出現頻度は、波高0～1mの静穏日数の占める割合は、他の季節は44～72%であるのに対し、雨季（5～9月）は24%と最も低い。これに対し乾期（12～4月）は72%と最も静穏である。雨季の静穏日数の占める割合は乾期の1/3であり、波高2～4m以上の高波浪の占める割合も乾期に比べ格段に高い（図-2）。季節別の周期出現頻度によれば周期は4～12sであり、雨季（5～9月）は周期の長い波浪の来襲頻度が高くなっている（図-2）。

以上より、プーケット西岸域では、乾期（12～4月）は比較的静穏であるが、雨季（5～9月）は静穏な日が多く波高が高いことが特徴である。堀川ら⁴⁾によれば海水浴に適した波浪条件は波高0.5m以下とされている。しかし、雨季（5～9月）は波高1m以上が76%を占めており、4日に3日が波高1m以上である。これは雨季（5～9月）が海水浴に適さないことを意味し、地元の人々が雨季には海水浴をしないという現地でのヒアリング結果とも符合している。

高橋ら⁵⁾は、荒天時と、その後の波高の減衰期における地形変動の過程で砂面の柔らかいトラフ（深み）が岸近くに形成されることで、比較的低い波浪条件でも足を取られやすくなり、また同時に沿岸流と離岸流が発生するため沖に流れやすく海水浴利用に非常に危険な状態となる場合があることを指摘した。パンシービーチの場合も、高波浪の多い雨季には、間欠的に静穏になる日があっても、これと同様の地形条件が形成される可能性が十分考えられ、静穏な日でも雨季は海水浴には適さないと考えられる。

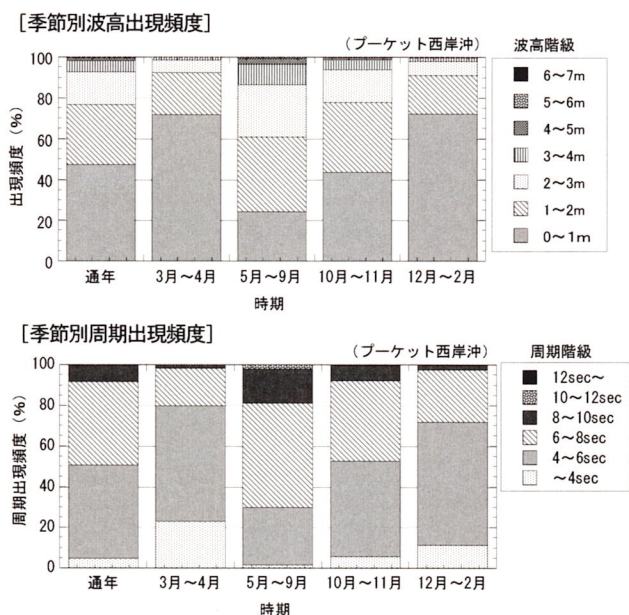


図-2 波浪特性

(3) 海浜地形

今回の地形測量によって得られたパンシービーチ全体の地形図を図-3に示す。当海岸の北端と南端は岬で区切られている。南北の岬周辺には孤立した岩が多数点在しており、特に北側の岬周辺の海面下には平坦な岩礁域（波食棚）が広がっている。またビーチの北側には写真-1に示す大岩が沖側へ30m程度突出しており、それを境にアマンプリホテル前面に延長100m弱の小規模な砂浜がある。大岩の沖30mには写真-2のように長径約4mの孤立した岩（図中A、以下岩Aと呼ぶ）があり、この南側数m付近が事故発生地点である。

ビーチの等高線は北北西～南南東方向へ伸び、緩やかに湾曲する。ほぼD.L. +2.0m付近を境に等高線間隔は沖側では広く、勾配が緩やか（1/30～1/20）で、岸側で狭く勾配が急（1/15～1/7）になっており、全体として鉛直上方に凹状の海浜断面形となっている。D.L. 0m付近よりも沖側は勾配が1/30以下と非常に緩やかである。この区域は砕波帯であり、現地調査時は常時波が砕波していた。D.L. 0mと-0.5mの等高線の形状は、ビーチ南端から約100m北側の地点と、北端の岩礁の南側隣接域の2箇所で岸側に凹状となって地形的な深みを形成している。この2箇所の深みに沿って離岸流が発生しているのが観察された。

今回測量した地形において事故発生時と同じ潮位（D.L. +1.03m）のときの汀線の位置を図中に一点鎖線で示した。このときの汀線から岩Aまでの距離は約12mであり、岩A（高さD.L. +1.28m）は水面から25cm突出していたことになる。また事故時にK氏がいたビーチチェア的位置（図中B）から岩Aまでの直線距離は191mである。

岩Aの沖側には沿岸方向に伸びる砂堆が何列にもわたって見られた。図中のa-a'上の海底断面を詳細に測量したのが図-4である。D.L. 0～+0.5mの範囲に比高0.2～0.3m、波長1.5～3m程度の砂堆が数多く分布している。

岩Aの南北には+0.5mの等高線が伸びるが、この等高線は、岩の南側から岸側にかけて岩を取り囲むように回り込んでいる。すなわち岩Aの南側から岸側にかけて隣接部に局所洗掘がある。後述するように、現地で干潮時に

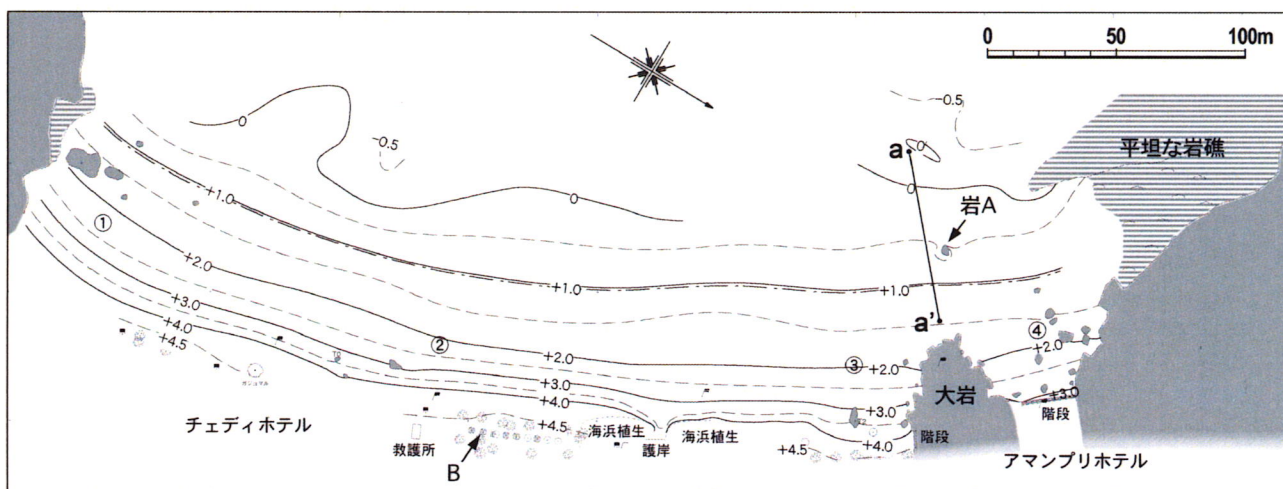


図-3 パンシービーチ全体の地形図

岩の周囲を歩くと、引き波の際に岩の南側に沿って強い沖向き流れが生じ、これによって海底砂が激しく巻き上がる様子が観察された。洗掘がない場所の高さはD.L. +0.5～0.6mであるのに対し、岩の南面沿いはD.L. +0.3mであり、洗掘深は約0.3mである。仮に潮位をD.L. +1.0mとしたときの水深は、洗掘がない場所で0.4～0.5m、洗掘箇所で0.7mとなり、身長160cmの人が立った場合、前者は膝程度、後者は腿から腰程度の深さとなる。前出のアマンプリホテルのスポーツ＆ビーチマネージャーへの聞き込みによれば、岩Aの南側から沖側にかけての深さは干潮時に膝から腰程度であるとのことであり、今回の測量結果とほぼ符合している。これに対して事故発生時にK氏（身長180cm）が岩Aの沖側に入った際には胸程度の深さ（水深1.2～1.4m）であった。この時の地盤高はD.L. -0.2～-0.4mに相当し、今回の調査時と比較して0.5～0.7m程度深くなっていたと推定される。



写真-1 ビーチ北側にある大岩



写真-2 事故発生地点の岩A

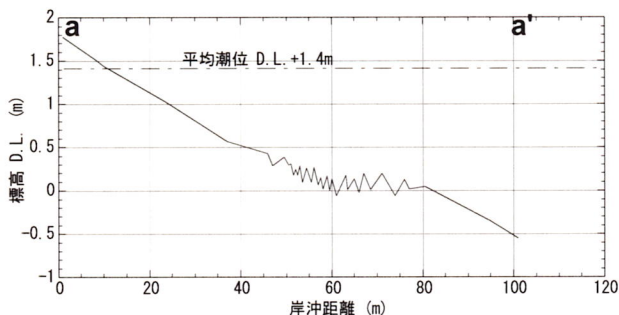


図-4 海底断面測量結果 (a-a')

(4) 海浜の季節変動

パンシービーチでは、乾季には波浪が静穏となるために汀線部には砂が堆積し、いわゆる夏型海浜となる。一

方、雨季のうちとくに5月中旬から10月中旬には高波浪が襲来するために前浜が削り取られる。今回の現地調査は9月18日～21日と雨季に行われたために、典型的な侵食性の海浜が見られた。例えば、写真-3では、アマンプリホテルのビーチに面した比較的新しい石積み護岸の前にある大岩は、ほぼ中央で上部と下部で色がきれいに分かれている。海浜表面上約85cmに非常に明瞭な水平線が見え、この線より上は岩が黒く、この線より下方では白くなっている。岩表面の色彩の違いは、紫外線や降雨その他の風化作用の有無を示しており、すなわち岩が砂に埋まっていた下部は風化作用を受けていないことから色彩が白い。

このような現象は他の多くの場所でも確認され、とくにポケットビーチの北端部周辺だけでなく南端部周辺でも確認されたことから、この海浜では波浪の強弱に伴う前浜の侵食・堆積といった海浜の季節変動が生じており、その要因は岸向き・沖向き漂砂によるといえる。

これより、岩Aの南側から沖側に隣接する箇所は、海浜断面形状の季節的な変動や波浪条件による短期的な変動に加えて、岩周辺に生じる局所的な洗掘が加わることで、地形変動が特に大きい場所である。



写真-3 岩表面の色彩の違い

(5) 岩A周辺の潜水調査

事故箇所付近にある前述の岩A周辺の海底状況を調べるために、2002年9月21日午後の干潮時に潜水調査を行った。写真-4は、岩A隣接部の局所洗掘の様子である。水平スケールとして設置したポールは、その左端が周辺地盤面と一致させているので、岩A周辺で洗掘が起きており、その洗掘深が約0.2mであったことが分かる。また岩Aの側面の現況海底面から、約0.2mの高さより標高の高い場所では海藻が密生して生育しているのに対し、この高さより低い場所では海藻の生育が悪い。このことは現況海底面から約0.2mまでは海底地盤の変動が大きく、このため海藻の付着が悪かったと推定される。一方、ほぼ同じ場所の海面では写真-5の状況が見られた。引き波時に急速な薄層流が生じ、小岩周辺の洗掘穴の周辺でジャンプが生じている。このため岸向きに歩こうとすると足を取られやすい状況にあった。

図-4に示したように、岩Aの斜め沖合では砂堆の発達が顕著であった。写真-6は砂堆を斜め沖合から岸方向を望んで撮影したものである。水平なポールの先端と下端

位置がほぼ砂堆のピークに重なっていたことから、砂堆の波長は約2mであり、そこに沖方向に非対称な形を有する波高約0.2mの砂堆が形成されていた。砂堆の近傍に立つ人の足先が砂に埋まっていることから、細砂でできた海底面では足が取られやすい状況にあった。また、写真-6のやや沖合でも、海岸線とほぼ直交する方向に同様な砂堆が観察された。

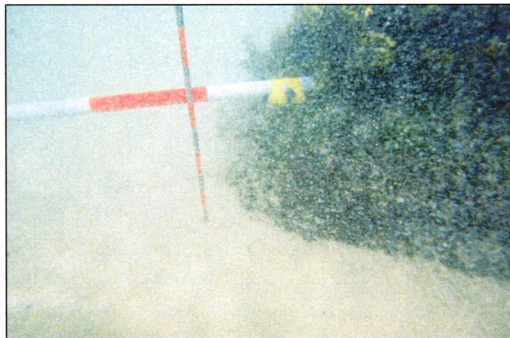


写真-4 岩A付近の海底面の状況



写真-5 岩A付近の戻り流れの状況

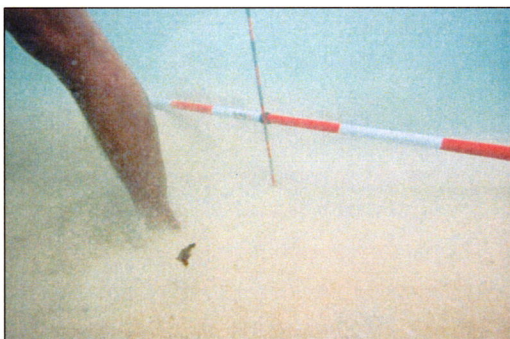


写真-6 岩A斜め沖合における砂堆の発達状況

(6) 海浜材料

ビーチ内の4地点（南端、中央、大岩の南、大岩の北）で海浜砂を採取した。採取地点は図-3に示す①～④で、いずれも+2.0m前後の高さの前浜上である。採取した砂は粒度分析試験を行い、粒径別の含有率として整理し、中央粒径を求めた。

分析結果より、 d_{50} はいずれの地点においても0.16～0.18mmとほぼ一定である。また98%以上の砂が0.07～0.42mmの狭い範囲に分布しており、粒径が非常に揃っているのが特徴である。このような砂は液状化しやすく、現地でも体験したが海中では足をとられやすい。

(7) 離岸流の発生状況

前述のようにパンシービーチでは2箇所で離岸流の発生が観察され、特に北側の岩礁沿いで生じる離岸流は今回の事故の発生箇所に近接している。このため事故との関連において、この離岸流の特性を調べることを目的として離岸流の現地観測を行った。離岸流観測は9月19日と20日の2日間で計10回実施した。海象状況は両日とも沖から数m/sの風が吹き、波高は1.5m程度、周期は7.0s

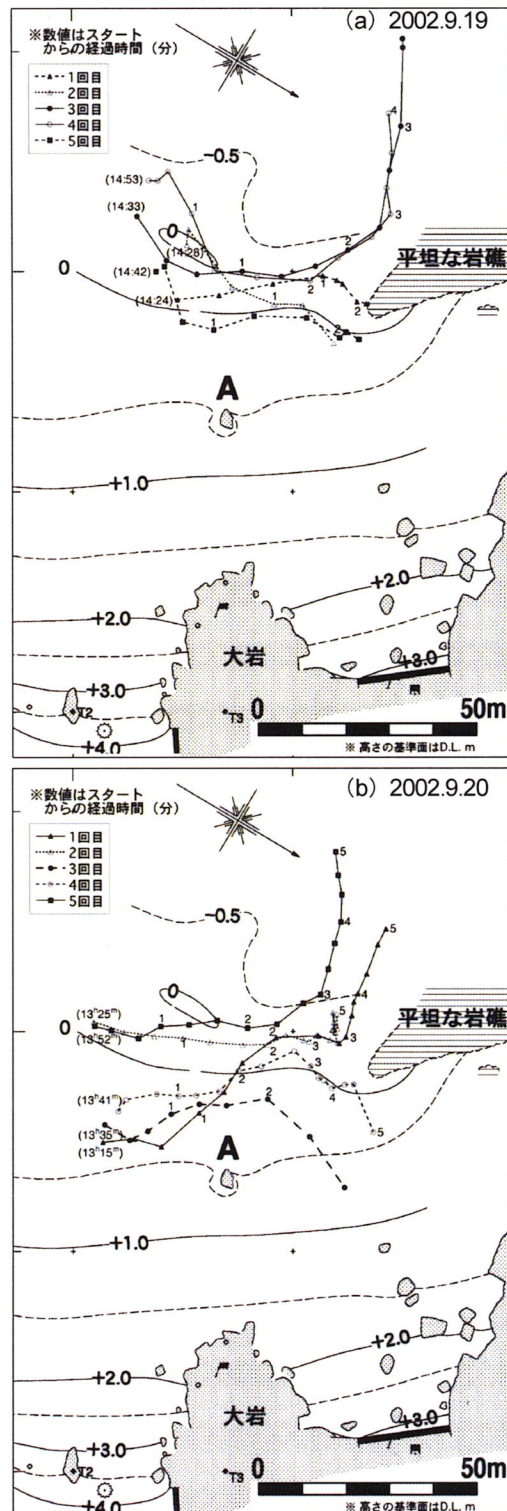


図-5 事故発生箇所深浅図・離岸流観測結果

程度であった。被験者が入った岩Aの沖側では常時波が碎波していた。結果を図-5に示す。図中でカッコ内の時刻は計測開始時刻とその位置、流跡に付した数値はスタートからの経過時間(分)である。

9月19日(図-5(a))は合計5回の観測を行った。スタート直後は碎波によってやや岸側へ押し戻されたが、その後岩Aの沖20~30m付近を沿岸方向へ0.4~0.6m/s北向きに流された。3,4回目には離岸流に乗り碎波帯を抜けて沖へ流された。この時の流速は最大0.8m/sであった。

9月20日(図-5(b))も合計5回の観測を行った。19日と同様に被験者は初め沿岸方向に沿った北向きの海浜流(流速0.4~0.6m/s)に流された。このうち1回目,5回目には離岸流に乗り沖方向へ直角に向きを変えて流された。離岸流の流速は0.2~0.4m/sである。3,4回目は波によって被験者が岸へ打ち上げられたが、ほぼ同じ位置からスタートして離岸流に乗った場合(1回目)や、離岸流に乗るケースとほぼ同じコースをたどりながら離岸流に乗れない場合(2回目)もあった。

被験者はいずれのケースも、岩Aの沖20~30m付近を沿岸方向へ0.4~0.6m/sで北向きに流され、また、このうち4回は離岸流(最大流速0.8m/s)により碎波帯を抜けて沖へ流された。離岸流の発生位置は両日ともに平坦な岩礁域の南側に沿う深みが形成された場所であった。事故発生場所付近である岩Aの周辺については、離岸流ではなく沿岸方向北向きの流れが常に卓越している。流速自体は0.6m/s以下と特に速いものではなかったため、この流れによって直ちに足をすくわれるということは考え難いが、事故直後にK氏の妻を流して捜索を遅らせたことに影響した可能性は否定できない。

離岸流の発生機構を海浜流計算モデル⁶⁾により検証した結果、事故当時と同じ潮位条件で波向SSW、沖波波高1.0m、周期6sの場合、観測した離岸流と非常によく似た結果が得られた。計算結果を図-6に示す。

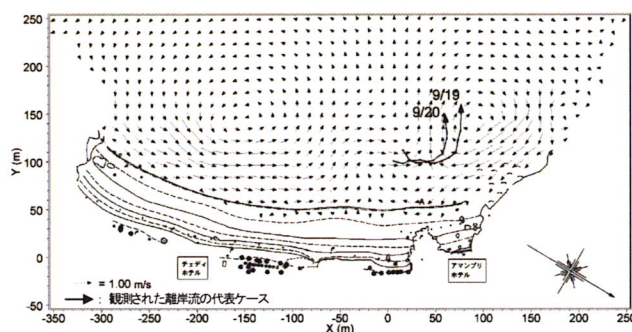


図-6 海浜流計算結果と離岸流観測結果の比較

4. 結論

水難事故の発生は以下の要因が重なった結果であると総括された。

- ① プーケット島では9月は雨季であり、波浪の高い日が多く海水浴に不適である。このことは地元の人々

には周知の事実であったが、日本からの旅行者にはその危険性が十分周知されていなかった。例えば、事故当時は、種々な危険を知らせるための看板が不十分であり、とくに日本人旅行者用の日本語表記がなかった。

- ② 雨季には高波浪であることに対応して、陸から近い場所での海浜地盤高が乾季と比較して低く、リップチャンネルなどが顕著に発達しうる条件下にあった。
- ③ 事故箇所付近では地形的理由から北向きの沿岸流に加え、北部にある波食棚の南側隣接部の深みに沿う強い離岸流の発達する区域にあった。ホテルの人々はそのような流れの特徴について知っていたが、旅行者への周知は十分ではなかった。
- ④ 事故箇所付近には岩Aがあり、その周辺では局所洗掘が生じ、さらにその周辺ではいく段もの砂堆が発達しており、引き波時に足をとられ易い条件下にあった。
- ⑤ 海浜構成材料は中央粒径約0.16~0.18mmの、淘汰の進んだ細砂(いわゆる「鳴き砂」)であって、均一度が高いために海底面では液状化が起こりやすく、足を取られ易い条件下にあった。

5. おわりに

本調査によって、今回の水難事故の発生要因が科学的に結論付けられたが、このうち前項①については、利用者に対して事前に旅行会社やホテルが十分な情報を提供することで回避できる可能性が高く、これがこのような悲しい事故を未然に防ぐ第一の方法と考える。

本研究の調査方法、および要因解明までの一連の検討は、海外における限られた期日・機材の制約条件のなかで海浜特性を明らかにする上で、最大限の結果を導くための手法として活用できる。

参考文献

- 1) 海上保安庁：書誌第782号 平成13年潮汐表、第2巻 太平洋及びインド洋、339p., 2000.
- 2) 海上保安庁：書誌第782号 平成14年潮汐表、第2巻 太平洋及びインド洋、339p., 2001.
- 3) British Marine Technology Limited: Global Wave Statistics, 138p., 1986.
- 4) 堀川清司・佐々木民雄・五十嵐 元：海洋性レクリエーションとその環境、第19回海岸工学講演会講演集, pp. 83-91, 1972.
- 5) 高橋重雄・常数浩二・鈴木高二朗・西田仁志・土棚 毅・小林雅彦・小沢保臣：離岸流にともなう海水浴中の事故発生に関する一考察、海洋開発論文集, 第15巻, pp. 743-748, 1999.
- 6) 堀川清司編：海岸環境工学—海岸過程の理論・観測・予測方法、東京大学出版会, p. 582, 1985.