

インド洋大津波におけるタイ・パカラン岬周辺の巨礫移動現象の再現計算

東北大学大学院 学生会員 岡田 清宏
 東北大学大学院 後藤 和久
 東北大学大学院 正会員 今村 文彦

1. はじめに

津波によって巨礫（以下、津波石）が陸上に打ち上げられるという現象が過去に数例報告されている．例えば、沖縄県石垣島には、1771年明和津波によって移動したと考えられるサンゴ岩からなる巨礫が多数分布している（加藤・木村, 1983）．同様に、津波リスクの高い国の沿岸域に巨礫が分布しているとの報告があり（例えば、Noometsら, 2004）、これらが津波によって運搬されたことが示されれば、こうした巨礫を用いて過去の津波の情報が得られる可能性がある．しかし、古文書記録が残っている石垣島の例と比べて、他の巨礫群は津波起源を示す証拠が乏しく、真偽不明なものが多い．一方、2004年インド洋大津波の後に、タイのパカラン岬（図-1）において、海岸から沖合に約600mの礁縁付近に位置していた最大直径4m（重量約22t）のサンゴ岩が、1000個以上も潮間帯に打ちあがったことが（図-2）、地質学的調査によって明らかにされた（Gotoら, 2007）．

そこで本研究では、タイ・パカラン岬における実態調査を踏まえた数値実験を行うことにより、津波石の移動特性やそこから推定できる情報について検討した．

2. パカラン岬における津波石の移動再現計算

津波石の分布状況から津波の流況を推定する試みとして、入射波の条件を様々に変化させて、タイ・パカラン岬の津波石の移動再現計算を行う．

(1) 計算方法

流れの計算には浅水理論を用い、空間格子間隔を10m、時間格子間隔を0.05sとして計算した．また、パカラン岬に分布する代表的な津波石の形状として、サンゴ岩（ 1.7g/cm^3 ）で構成される平均サイズ（ $2.3 \times 1.7 \times 1.4\text{m}$ 、2t）、および最大サイズ（ $3.8 \times 2.7 \times 2.1\text{m}$ 、22t）の2通りを想定した（表-1）．さらに、図-3のように、初期位置として津波来襲前に津波石が位置していたと推定されるリーフスロープ周辺に、岸沖方向に200m間隔で設定し

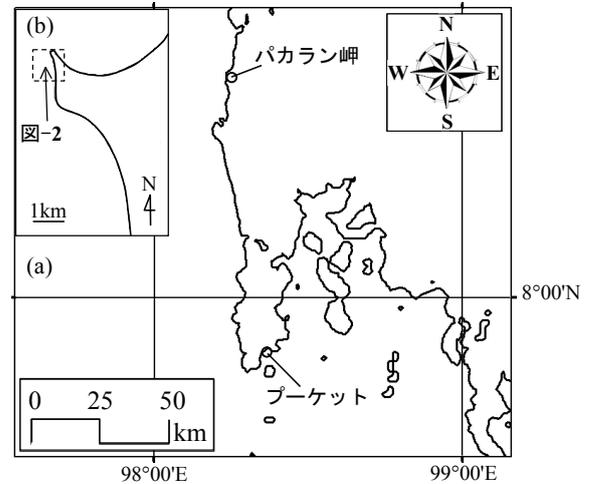


図-1 タイ南部・パカラン岬（(a) タイ南部、(b) パカラン岬の拡大図）

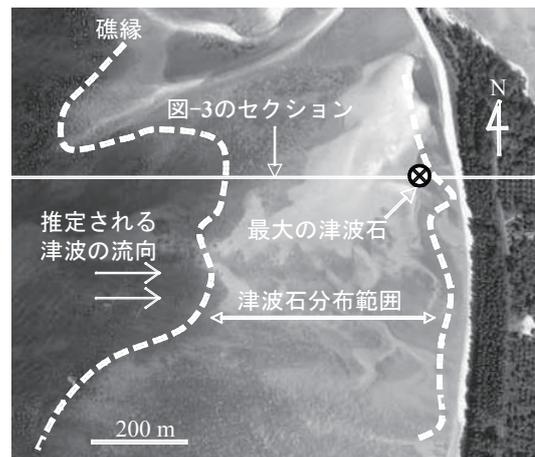


図-2 パカラン岬の津波石の分布範囲（陸上での分布はない）．西側の曲線は礁縁を示す．

た．そして、パカラン岬の西方100km沖合（水深450m）の地点より、表-1のように波高や周期を変化させた正弦波（引き波）をパカラン岬の方向に入射し、インド洋津波来襲後の津波石の分布を再現できるような流れの条件を検討した．

津波石の移動計算では、大窪ら（2004）によって改良された津波石の運動方程式(1)を用いた．

$$\rho_s V \ddot{X} = F_m - F_b - F_g \quad (1)$$

表-1 津波石のサイズと入射波（引き波）の条件

長軸(m)×短軸(m)×高さ(m)	波高H(m)	周期T(min)
2.3 × 1.7 × 1.4, 3.8 × 2.7 × 2.1	2.0, 2.5, 3.0	15, 30, 60

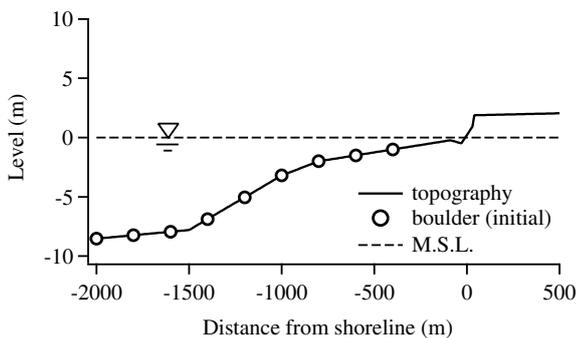


図-3 津波石の初期位置（図-2中の実線の位置）

ここで、 F_m 、 F_b 、 F_g はそれぞれ、津波石に作用する流体力（式(2)）、底面摩擦力（式(3)）、重力の斜面方向成分（式(4)）を表す。

$$F_m = C_D \frac{1}{2} \rho_f A (U - \dot{X}) |U - \dot{X}| + C_M \rho_f V \dot{U} - (C_M - 1) \rho_f V \ddot{X} \quad (2)$$

$$F_b = \mu (\rho_s - \rho_f) V g \cos \theta \frac{\dot{X}}{|\dot{X}|} \quad (3)$$

$$F_g = (\rho_s - \rho_f) V g \sin \theta \quad (4)$$

ここで、 V は津波石の体積、 X は津波石の水平方向移動座標、 A は津波の流れに対する津波石の投影面積（長軸×高さ）、 U は津波石の位置での流速、 C_M は付加質量力係数（=1.67）である。ここで、式(3)中の μ （式(5)）は、動摩擦係数 μ_0 と、水理実験により導出された係数 β^2 （式(6)）で表される摩擦係数（大窪ら、2004）であり、津波石の移動形態に応じて変化する。また、式(6)中の \dot{X} は津波石の移動速度を表す。

$$\mu = \frac{2.2}{\beta^2 + 2.2} \mu_0 \quad (5)$$

$$\beta^2 = \frac{\dot{X}^2}{(1 - \rho_f / \rho_s) g d} \quad (6)$$

(2) 計算結果

波高2.5m、周期30分の波を入射した場合、最大サイズの津波石は図-3で仮定した初期位置から、インド洋津波来襲後の分布域まで移動した（図-4）。一方、入射波の周期を30分から増減させた場合、および波高2.0mの場合、リーフスロープ周辺に生じる流速の極値が小さくなるため、津波石は現在の分布域まで運搬されなかつ

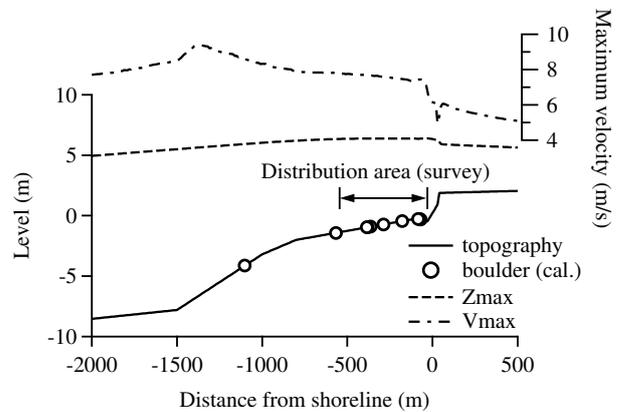


図-4 最大サイズの津波石の移動計算結果（ $H=2.5m$ 、 $T=30min$ 、 Z_{max} ：最大水位、 V_{max} ：最大流速）

た。また、入射波の波高が3.0mの場合、平均的なサイズの津波石が陸上に乗り上げた。

この結果から、Gotoら（2007）が調査した津波石の分布を再現可能な入射波は、周期=30分かつ波高=2.5m程度であることが分かる。この条件は、現地での測定値および数値計算によって求められるインド洋津波の流況（Gotoら、2007）と比較的よく一致した。以上より、津波石の分布から、パカラン岬周辺のインド洋大津波の流況を推定できる可能性があると考えられる。

3. 結論

本研究では、インド洋大津波によって運搬された津波石について、それらの分布を再現可能な津波の水理量（波高・波長）を数値計算によって検討した。その結果、パカラン岬の津波石の分布を再現する水理量は、インド洋大津波の流況に近いものに限られた。この結果は、津波の情報のないケースでも、来襲した津波の流況を津波石の分布から、ある程度の精度で推定可能であることを示唆する。

参 考 文 献

- 大窪慈生・菅原正宏・今村文彦（2004）：水理実験による津波石移動解析手法の改良と石垣島の津波石への適用，東北地域災害科学研究，第40巻，pp.259-264.
- 加藤祐三・木村正昭（1983）：沖縄県石垣島のいわゆる「津波石」の年代と起源，地質学雑誌，第89巻，第8号，pp.471-474.
- Goto, K., Chavanich, S. A., Imamura, F., Kunthasap, P., Matsui, T., Minoura, K., Sugawara, D., Yanagisawa, H. (2007) : Distribution, origin and transport process of boulders transport by the 2004 Indian Ocean tsunami at Pakarang Cape, Thailand. Sedimentary Geology, Vol. 202, pp.821-837.
- Noomets, R., Crook, K. A. W., Felton, E. A. (2004) : Sedimentology of rocky shorelines: 3. hydrodynamics of megaclast emplacement and transport on a shore platform, Oahu, Hawaii, Sedimentary Geology, Vol.172, pp.41-65.