

II-64

1771年明和津波による津波石の移動に関する数値解析

東北大学大学院 学生員 ○吉田 功

東北大学大学院 正会員 今村文彦

東北大学大学院 客員研究員 Andrew Moore

1.はじめに

明和8年3月10日（1771年4月24日）に発生した八重山地震津波により沖縄（琉球）では多大な被害を受けた。この津波は、石垣島などで300個以上の珊瑚岩を打ち上げ、当時の痕跡として残している。この津波に関しては、発生問題や津波の実体について未知な点が多い。そこで本研究は、津波石の移動を再現できる実用的な数値モデルの開発し、沖縄県石垣島での明和大津波による津波石移動を解析し、現象解明の一段階とする。

2.数値モデルと支配方程式

まず、流れの計算には浅水理論を適用する。以下は連続の式であり

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

で、表される。運動の式は、津波石が流れに与える影響を考慮し、津波石のある位置では次のように表せる（ x 方向のみ示す）。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} + f_{Dx} + f_{Ix} = 0$$

ここで、 M, N はそれぞれ x, y 方向の線流量、 D は全水深、 η は水位、 τ は海底のせん断摩擦力である。また、 f_{Dx} 、 f_{Ix} は抗力、質量力を単位面積当たりに換算したもので、次式のように表される。

$$f_{Dx} = \frac{1}{2} C_D (U - \dot{X}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW / \Delta x \Delta y$$

$$f_{Ix} = \{ C_M \dot{U} LHW - (C_M - 1) \ddot{X} LHW \} / \Delta x \Delta y$$

上2式中の Δx 、 Δy は、空間格子間隔を示す。

一方、岩塊の移動は次式により支配されると考えられる。

$$\rho_s LHW \ddot{X} = \frac{1}{2} \rho_f C_D (U - \dot{X}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW + \rho_f C_M \dot{U} LHW - \rho_f (C_M - 1) \ddot{X} LHW - F_{bx} - F_{gx}$$

ここで U, V はそれぞれ x, y 方向の流速であり、 X, Y はそれぞれ岩塊の x, y 方向の移動距離、 $\dot{}$ は時間に関する微分を表す。 H, L, W は岩塊の高さ、長さ、及び幅であり、 F_b は底面摩擦、 F_g は重力の斜面方向成分

を示す。添え字の f, s はそれぞれ流体と岩塊とに関する量であることを示す。同様にして y 方向の式も求めることができる。また C_D, C_M は野路ら¹⁾が定式化したものを用いる。図1にスキームでの石移動の考え方を示す。

3.数値計算上での問題点

岩塊に作用する流体力の推定精度は、計算格子寸法と計算スキームとが影響する。特に、数値モデルでは線流量及び全水深が離散化されているため、格子内での水理量は平均化されており、隣接する格子とでは水理量は異なる。この事が空間格子の境界付近での岩塊位置の僅差が、岩塊に作用する流体力の差をもたらす原因となる。従って、数値モデルの空間格子サイズは最も重要な項目の1つとなる。一例を図2に示す。ここでは、現地に適用できる範囲で出来るだけ細かい格子間隔（ $\Delta X=50\text{m}$ ）と4点を使った距離重み法による補間を行い、数値計算を実施した。

4.計算条件

以上のモデルを石垣島伊野田の津波石に適用する。この地域の地形（50mメッシュ）、及び津波石の想定初期位置を図3に示す。初期位置は、河名・伊達²⁾によると岸からおよそ3町（327m）沖にあったとされ、今では岸から2町（218m）陸側のところにある。しかし、具体的にどこにあったのかは不明であるので、5つの初期位置（図中のP1, P2, P3, P4, P5）を想定して計算する。また、津波石の寸法は、現在確認されている津波石のサイズとし、高さ4.5m、長さ6m、幅6m、岩の密度は 1.5t/m^3 とする。静止摩擦係数、動摩擦係数はそれぞれ、現地で実測して得た0.75、0.71とする。また、津波石は流れに対して、常に直行しているとして、投影面積を一定とする。計算は、吉田ら³⁾が数値計算で求めた波源を用いて行い、石垣島での津波痕跡値を説明できるように、波源の修正を行っている。

5.計算結果及び考察

図3に岩塊の移動を示す。この地域では、津波の入射状況はほぼ同じであるが、岩の場所が異なると戻り流れの違いにより、各岩塊の移動の差が見られる。特にP5は、戻り流れによって、300m近く海域方向へ

移動している。河名・伊達が報告している津波石に最も近い移動を示した位置は、p3 である。従って、津波来襲前の津波石の位置は p3 付近であると推定できる。

図 4 に p3 での岩塊の軌跡を、図 5,6 に、x,y 方向の岩塊の速度と岩塊に作用する流体の流速を示す。これらを参照すると、石の移動はほとんど、第一波の押し引きによるものであるといえる。また、押し波では x,y 方向とも同じ時間帯で速度が増加し、岩を移動させているが、引き波では、x,y 方向とも異なる時間で岩を再移動(戻している)させていることがわかる。この違いが岩が戻る時の軌跡を左右させている。

p3 での初期位置が最も現在の津波石の位置を説明できるが、海岸線からの位置が若干異なっている。この原因の一つとして、3.で述べた流れ・岩の移動数値モデルの格子サイズや初期位置の違いが関係すると思われる。ここでは、さらに 1/3 に小さくした格子サイズの数値計算を実施した。その結果を図 4 に併せて示す。格子サイズが小さくなると、岩の移動量も大きくなり、より現在の津波石の位置に近づく事が分かる。これ以上、小さな格子サイズの計算は、計算機のメモリー問題上難しいが、図 2 の結果によれば、大きな差は見られないと思われる。

6.終わりに

以上の検討により、本計算法を用いれば、岩の移動の再現が可能である。特に、津波来襲前の津波石の位置が不明な場合には、いくつかの位置の仮定を行えば、その推定も可能であることが分かった。今後、他の地域での津波石へも本モデルを適用させ、岩塊移動のプロセスを解析していく予定である。

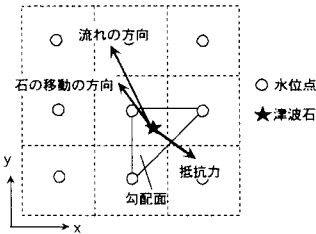


図 1. 石移動の考え方

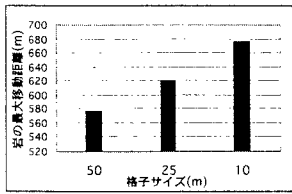


図 2. 格子間隔による移動距離の違い

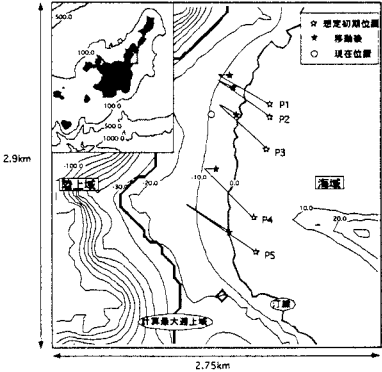


図 3. 岩塊の移動地点と地形

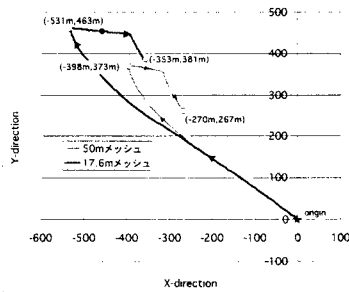


図 4. 岩塊の軌跡(P3 を対象として)

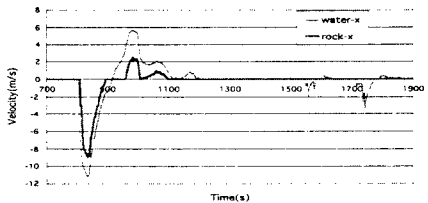


図 5. 岩塊に作用する流速と岩塊移動速度(x 方向)

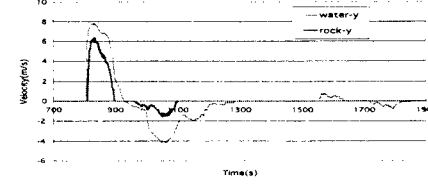


図 6. 岩塊に作用する流速と岩塊移動速度(y 方向)

参考文献

(1)野路正浩・今村文彦・首藤伸夫 (1993) : 津波石移動計算法の開発, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp.176-180.
 (2)河名俊男・伊達望 (2000) : 石垣島における 1771 年明和津波の遡上高と岩塊の移動, 第 17 回歴史地震研究発表会講演要旨集, pp.38-41.
 (3)吉田功・今村文彦・Andrew Moore (2000) : 石垣島における 1771 年明和津波の数値解析, 土木学会東北支部技術発表会講演集, pp.122-123.