

津波石の再現計算

東北大学大学院 学生員 ○野路正浩
 アジア工科大学 正 員 今村文彦
 東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

津波は他の自然災害に比べ、その発生頻度は小さいもののその被害は非常に大きい。従来の津波研究は、主に津波の波高や浸水域に着目したものが多く、津波被害は単に津波の高さだけでは表すことが出来ず、津波の流体力の検討が必要である。そこで本研究では、津波によって移動したと地元の人々に語り継がれている「津波石」に着目し、流体力評価法の一つとして津波石移動計算法を提案する。

津波石の例として、石垣島では明和8年の八重山大津波により、700tonを越えると推定される津波石が移動している¹⁾。最新の事例として、昨年の北海道南西沖地震津波における奥尻島の津波石が挙げられる。また、岩手県田野畑村羅賀の津波石は、明治29年の三陸大津波により、重量が20tonを越えると推定される津波石がT.P.24mの位置まで移動したとされている²⁾。

本論文では、羅賀の津波石の再現計算を行い、津波石移動計算法の有効性について検討を行う。

2. 支配方程式

流れの計算には浅水理論を適用し、津波石がある位置では運動の式は次の通りとする。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_x}{\rho} + f_{Dx} + f_{Ix} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_y}{\rho} + f_{Dy} + f_{Iy} = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 M, N はそれぞれ x, y 方向の線流量、 D は全水深、 τ は海底のせん断摩擦力であり、 f_D, f_I は岩塊と流体の相互作用力として抗力・質量力を単位面積当りに換算したものをを用いる。

また、津波石の移動は次式で表される。

$$\begin{aligned} \rho_s LHW \ddot{X} = & \frac{1}{2} \rho_f C_D (U - \dot{X}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW \\ & + \rho_f C_M \dot{U} LHW - \rho_f (C_M - 1) \dot{X} LHW - F_{bx} - F_{gx} \quad \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s LHW \ddot{Y} = & \frac{1}{2} \rho_f C_D (V - \dot{Y}) \sqrt{(U - \dot{X})^2 + (V - \dot{Y})^2} HW \\ & + \rho_f C_M \dot{V} LHW - \rho_f (C_M - 1) \dot{Y} LHW - F_{by} - F_{gy} \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここに、 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 方向の移動距離である。 H, L, W は岩塊の高さと長さ、及び幅であり、 F_b, F_g は岩塊に作用する底面摩擦力及び重力の斜面方向成分を示す。また、 f_s はそれぞれ流体と岩塊を示す添え字である。

C_D, C_M は抗力・質量力係数であるが、津波先端部通過時においては水深が比較的浅く、一般的に用いられているこれら係数が適用できないと考えられる。そこで、本計算では水路実験により算定された C_D, C_M を用いる。

以上の支配方程式を Staggered Leap-frog スキームにより離散化し計算を行う。

3. 計算結果

現在の津波石の位置（星印），及び数値計算における津波石の初期位置（ $P_1 \sim P_4$ ）を図-1に示す。羅賀では図-1のA,B,Cにおいてそれぞれ29.1m, 25.8m, 26.4mの津波痕跡が得られている³⁾。数値計算では，空間格子間隔を25m，計算時間間隔を0.025sとし，これら津波痕跡に津波が到達するように，沖合いの境界（水深40m）において振幅13m，周期6minの正弦波を1波入力した。

初期位置が P_4 の時の津波石の速度と作用する流速，及び津波石位置の時間変化を図-2に示す。流速の東西方向成分が南北方向に比べ卓越しているために，津波石は初め真東に向かって移動し，その後，18sあたりから南への移動する。南北方向速度の時間変化において，不連続箇所がある。これは空間格子が粗いため，隣接する格子の流速の差が大きいことが原因である。本計算法では，津波石の位置に応じ流体諸量の補間を行っているが，流速の南北方向成分については補間を行うだけでは不十分であり，空間格子の細分化が必要であったと言える。

津波石の初期位置と最終位置を図-3に示す。計算で得られた最終位置の高さは， P_2 から出発したものを除き，実際の津波石とほぼ同じか高いものになったが，その平面的な位置は同じとはならなかった。これには，地形の変化，津波石初期位置が不明なこと，津波波形，特に来襲方向に起因する流向の復元に問題があること，等が影響していると考えられる。

4. おわりに

羅賀の津波石の二次元再現計算を行い，その最終的平面位置はともかく，高さは再現できた。ここで導入した抵抗則を使い，さらに地形データの精度向上，計算格子の細分化，入力条件の適正化によって，本計算法は実用上有効であると結論できる。

参考文献

- 1) 牧野 清 (1968): 八重山の明和大津波, 著者出版, 462 p.
- 2) 岩崎伸一・竹田 厚 (1987): 羅賀の津波石—明治三陸大津波 (1896 年) の痕跡再測量—, 歴史地震, 第 3 号, 歴史地震研究会, pp.202-203.
- 3) 首藤伸夫・後藤智明 (1985): 三陸大津波痕跡調査, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第 2 号, 東北大学工学部津波防災実験所, pp.39-45.



図-1 羅賀の地形と津波石の位置

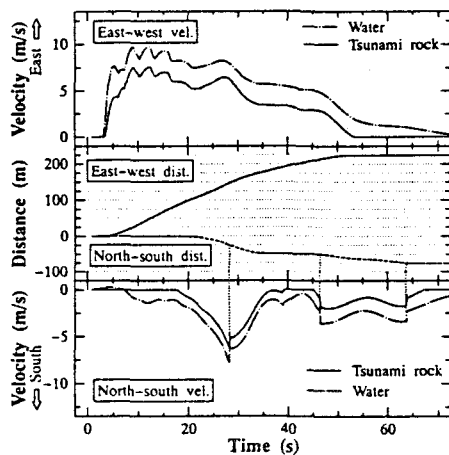


図-2 津波石の速度・位置及び作用する流速の時間変化

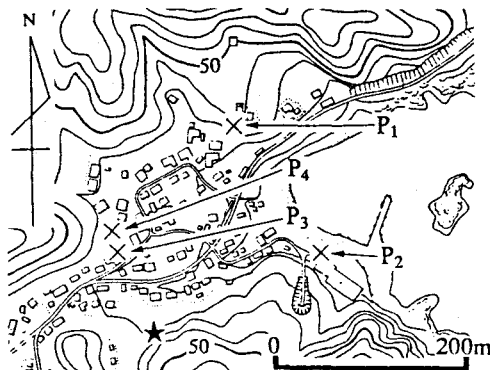


図-3 津波石の最終位置