

第II部門 津波・高波による巨礫移動特性の実験的検討

関西大学環境都市工学部 学生員 ○木曾 哲志
 関西大学環境都市工学部 正会員 安田 誠宏
 京都大学防災研究所 正会員 森 信人
 ノートルダム大学 Andrew Kennedy

1. はじめに

世界の沿岸部には「津波石」と呼ばれる、津波等によって打ち上げられた巨礫が点在する。近年、津波石が数百年～数千年スケールという低頻度で発生する巨大津波のリスク評価資料として津波石の研究が注目されている。しかし、津波石の研究は、後藤 (2012) がまとめているような地学にもとづく評価が多く、工学的に活用できるモデルや定量的な評価が得られてない。さらに、台風時の高波によって打ち上げられた巨礫との識別も明確ではないのが現状である。本研究では、水理実験を行い、津波・高波による巨礫の移動特性および巨礫移動力の算出について検討する。

2. 実験概要

本研究で用いた実験水槽、模型、実験条件および実験方法は以下のとおりである。

(1)実験水槽 水理実験は、京都大学防災研究所の津波再現水槽で実施した。津波再現水槽の主水路の大きさは、長さ45 m、幅4 m、高さ2 mである。1/10 勾配斜路に接続した、高さ0.8 m、長さ8 mの水平床の沖側端に巨礫模型を設置した。実験水槽の断面図を図-1に示す。実験スケールは1/50を想定している。

(2)巨礫模型 最大長辺約4~17 cm、代表径約2~11 cmで、材質は琉球石灰岩（比重2.24）のサンプル（以下、石）を合計18個用意した。ここで、代表径とは石の体積の3乗根と定義する。石には17A, 17B, 17Cのような形式でモデル番号をつけている。モデル番号の数字部分は最大長辺を示し、A, B, Cは形状でグループ分けした。すべての石は3Dスキャナーで形状を計測した（図-2）。すべての石の重量と動および静止摩擦係数についても計測した。

(3)実験条件 実験は、津波を模擬した孤立波と高波を模擬した不規則波を用いた。孤立波では波高を2.5 cm, 5 cm, 7.5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cmとした。不規則波では有義波高を7.5 cm, 11 cm, 15 cmとし、実スケールでの台風時の風波を想定して、周期を1.69 s, 2.12 s, 2.55 sとした。一様水深については、潮位変化を考慮し、水深を0.74 m, 0.79 m, 0.84 mと3種類に変化させた。水深0.74 mおよび0.79 mのとき水平床は干出、0.84 mのとき水没する条件である。

(4)実験方法 高さ0.8 mの水平床の沖側端を石の初期位置として、移動形態・移動量を計測した。石を初期位置に並び、造波入力信号を設定し、造波を開始した。所定時間の造波を終えた後、石の移動距離として、最終位置までの直線距離をスチールメジャーで測定した。さらに、ビデオ撮影も行い、時間毎の石移動についても評価した。

3. 実験結果

(1)孤立波による石の移動距離分布特性 図-3は、孤立波における石の移動距離分布を示したものである。 Δh を地盤高(0.8 m)から一様水深を引き算したものと定義し、入射波高 η 、移動距離 X を、それぞれ石の代表径 D で無次元化した。 $\Delta h/D$ がプラスでは水平床部が干出、マイナスでは水平床部が水没していることを示している。この図から水平床部が露出している方($\Delta h/D > 0$)が、石の移動距離は大きいことがわかった。これは砕波の影響であり、汀線付近で砕波する方が石の移動距離の割合は大きくなる。このため、石に砕波が直接当たる $\Delta h/D=1$ 付近で、移動距離の割合が最も大きくなった。このことから孤立波では、水平床部が干出している方が、移動距離は大きいことがわかった。

(2)不規則波による石の移動距離分布特性 図-4は、不規則波における石の移動距離分布を示したものである。それぞれの係数について、孤立波と同様に定義した。孤立波では水平床部が干出している時に石の移動距離が大きくなるのに対して、不規則波では水没している時に移動距離の割合が大きくなった。不規則波では、水深が深い水平床部に水ある条件で、石に浮力が働くために見かけの重量が軽くなり、摩擦力が小さくなる。この結果、移動距離が大きくなった。

Satoshi KISO, Tomohiro YASUDA, Nobuhito MORI and Andrew KENNEDY

k748921@kansai-u.ac.jp

(3)石に作用する流体力と安定性評価 図-5 に不規則波の有義波高 7.5cm, 一様水深 0.79m の条件における石の安定性評価の結果を示す. 流体力は抗力による実験式, 流速 u は微小振幅波理論に基づき算出する. ΔF を流体力から最大静止摩擦力を引き算したものと定義し, マイナスの値になれば石は動くとする. 移動限界となった石の代表径を実験結果から確認し, x 軸に垂直な直線として示した. 不規則波中の時折起こる大きな波で石は動き出すことを仮定し, 1/10 最大波高で流体力を評価した. 石の安定性評価について, 実測値を表現するためには, 流体力の計算結果の幾つかの不確定なパラメータのキャリブレーションが重要である. 図-5 に示す水深 0.79m の条件では, 流速評価の代表水深 h_s の値を細かく変更し, 浮力を考慮していない条件 (赤破線が x 軸に垂直な直線に交わるケース) で流体力を最適化した. 今回の評価方法により, 水平床上の流体力が正確に得られれば, 安定性について予測ができることがわかった.

4. おわりに

本研究では, 津波・高波による巨礫移動特性についての特性の把握と基礎データを取得するための水理実験を行った. その結果, 孤立波では水平床部が干出している時に, 不規則波では水平床部が水没している時に, それぞれ石の移動距離が大きくなることがわかった. また, 実験値であるが, 石を動かすために必要となる流体力を算出し, 安定性を評価した. 今後は, 実験値で得たデータをもとに数値モデルを構築することを行う.

参考文献

後藤和久(2012): 津波石研究の課題と展望Ⅱ—2009年以降の研究を中心に津波石研究の意義を再考する—, Vol.71, No.2, pp.129-139.

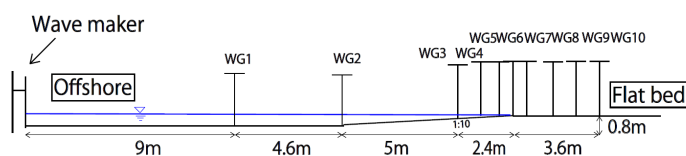


図-1 実験水槽の断面図

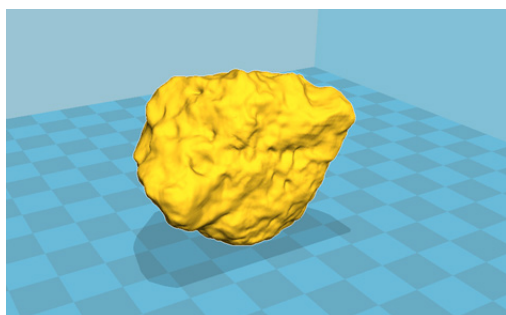


図-2 巨礫模型のスキャン STL データ (石 ID : 4C)

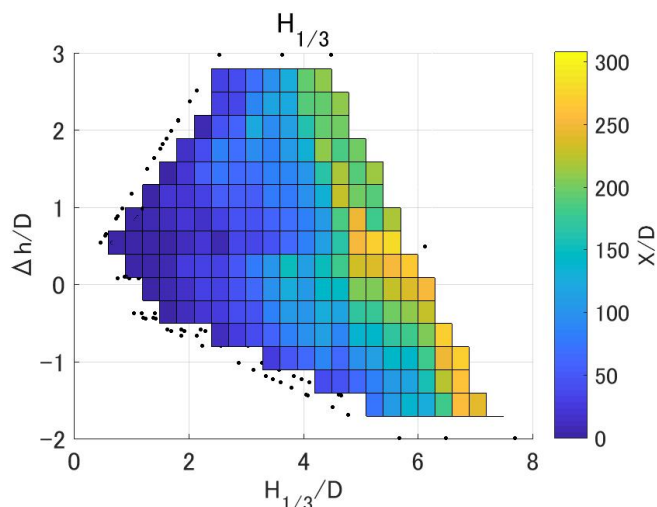


図-4 不規則波に対する石の移動距離 X ・水深 Δh ・波高 $H_{1/3}$ の関係 (D は石の代表径)

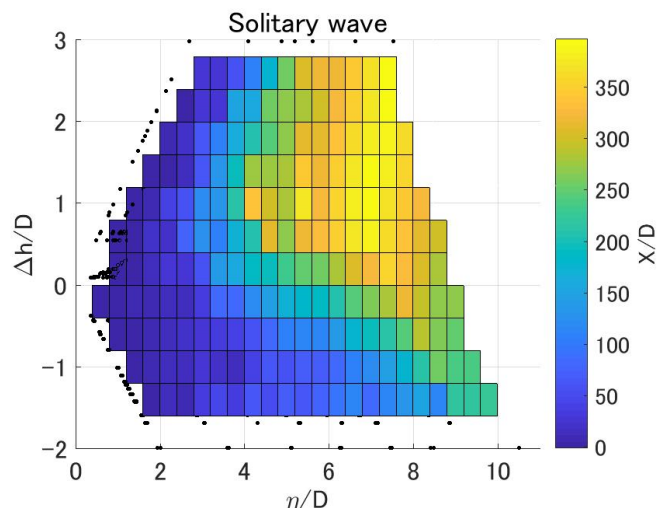


図-3 孤立波に対する石の移動距離 X ・水深 Δh ・波高 η の関係 (D は石の代表径)

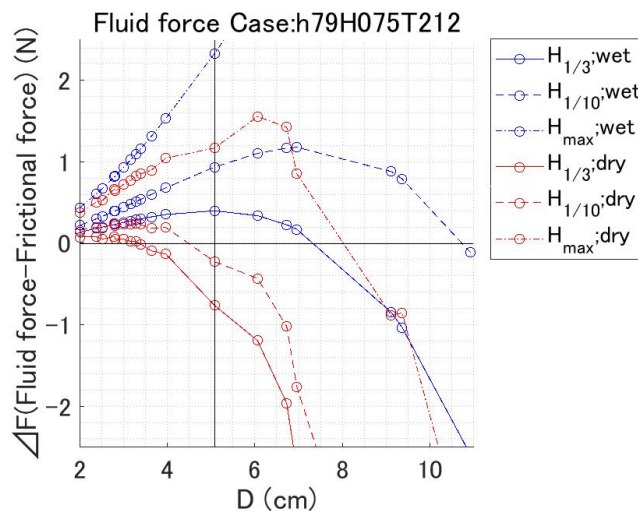


図-5 不規則波条件における石の安定性評価 ($h=0.79\text{m}$, $H_{1/3}=0.75\text{cm}$, 青: 水没, 赤: 干出)