

水中落下に伴う捨石群の着底分布に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 松見吉晴
森組(株) 正会員 藤井定雄
鳥取大学工学部 正会員 瀬山 明

1. まえがき：防波堤などの基礎マウンド築造に採用されている底開式バージからの捨石投入工法は施工面から極めて効率的であるが、海底での捨石の散乱および連続投入した場合にはマウンドの継目に不陸を生じるなど施工管理の面で問題が残っている。さらにまた、大水深防波堤の場合、捨石基礎の膨大化に伴い防波堤工事における捨石基礎築造工事の占める比率が増大することから、所定の設計断面を効率よく築造するための捨石工法に関する施工管理システムの確立が必要になろう。その第1段階として、本研究はバージ船から投入された捨石群の堆積形状の予測手法を明らかにしようとしたものである。従来、この種に関する研究は粒径が小さい砂粒子群を対象としたものが多く、捨石のような大粒径の粒子群の堆積形状に関する予測手法については十分に明らかにされていない。本研究では、水中を落下する捨石の運動方程式の外力項に対して不規則変動外力(揺動力)を考慮して捨石群の堆積形状を予測する手法の確立を目指した。なお、本予測手法では堆積形状だけを目的としていることから、水中を落下している捨石群の水深方向の拡がりに関しては無視して理論展開を行っている。

2. 解析方法 1) 基礎式：水中を落下する1個の捨石に関する運動方程式は、不規則変動外力(揺動力： x 方向成分 $F_x(t)$ 、 y 方向成分 $F_y(t)$)を考慮して図-1で示される座標系に対して次式のように表される。1)

$$M \frac{du}{dt} = -Au^2 + \beta F_x(t), \quad M \frac{dv}{dt} = -Av^2 + \beta F_y(t) \quad (1)$$

ここに、 $A = C_D A_p \rho / \{2(M + C_{MA}m)\}$ 、 $\beta = \alpha / (M + C_{MA}m)$ 、 ρ ：流体の密度、 ρ_s ：捨石の密度、 M ：捨石の質量、 m ：捨石と同体積の流体の質量、 A_p ：捨石の射影面積、 C_{MA} 、 C_D ：捨石の付加質量係数、抵抗係数、 d ：粒子径、 α ：係数、 u, v ： x, y 方向の捨石粒子の落下速度である。式(1)は非線形の確率微分方程式であるため、本研究では U_x, V_y を計算の時間ステップ間では定数であると仮定して、式(1)の右辺第1項を以下のように与えて式(1)を線形化した。

$$\bar{u}^2 = U_x^2, \quad \bar{v}^2 = V_y^2 \quad (2)$$

ここで林¹⁾らのように $F_x(t), F_y(t)$ を x, y 方向の独立な平均がゼロのランダムな正規性外力で強度を γ とすると、任意の位置における捨石の位置の分散およびその確率密度関数は次式のように導かれる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x^2 &= \frac{\gamma \beta^2}{(AU_x)^3} AU_x t - \frac{3}{2} + 2 \exp(-AU_x t) - \frac{1}{2} \exp(-2AU_x t) \\ \sigma_y^2 &= \frac{\gamma \beta^2}{(AV_y)^3} AV_y t - \frac{3}{2} + 2 \exp(-AV_y t) - \frac{1}{2} \exp(-2AV_y t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$pr(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-\frac{(x - \bar{u} \cdot t)^2}{2\sigma_x^2}\right], \quad pr(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-\frac{(y - \bar{v} \cdot t)^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (4)$$

ここに、 u, v は x, y 方向の捨石の平均落下速度である。

2) 固定値 U_x, V_y ： U_x, V_y は、従来の砂粒子の場合のように粒子の平均速度 u, v ではなく、外力 $F_x(t), F_y(t)$ の影響を受けた粒子速度となる。従って非線形の運動方程式より、任意の位置における粒子速度の標準偏差 σ_u, σ_v を求め、 $U_x = \sigma_u, V_y = \sigma_v$ と与えることにした。

3) 投入幅の取扱：バージ船の捨石放出口の幅については、図-2に示すようにある一定の微小間隔で放出口を区切り、その各微小区間から単一粒子が投入されて拡散が行われていくと見なして解析した。

3. 解析結果と考察：捨石マウンドの堆積形状に関する本解析手法の妥当性は、奥出ら²⁾の底開バージの模型を用いた捨石群の堆積形状に関する実験結果と比較検証した。模型は、図-3に示すような1/20のバージ船で、ホッパーの開口部は70×8.6(cm)である。また、捨石単粒子の重量は25(gf/個)である。なお、本研究ではバージ底開部からの投入を想定して、図-3に示すような座標軸を設定した。図-4は水深0.68mと1.43mの場合の捨石マウンドの断面形状に関する実験結果と解析結果を示したものである。図中の中心線を境に左側が x 方向のマウンド断面、右側が y 方向のマウンド断面を表している。さらに図-5は、捨石マウンドの形状を3次元的に表したものである。なお、本解析では海底に堆積した状態での捨石マウンドの空隙率を0.44、乱れ強度は予備計算より $\gamma = 2.5 \times 10$ 程度の値が適当であると判断して計算を

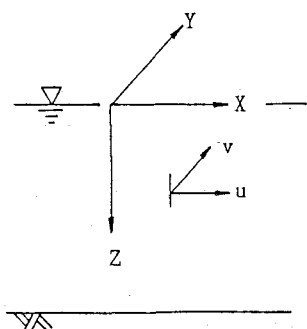


図-1 座標軸

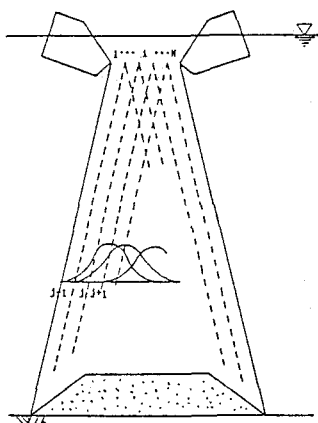


図-2 投入仮定

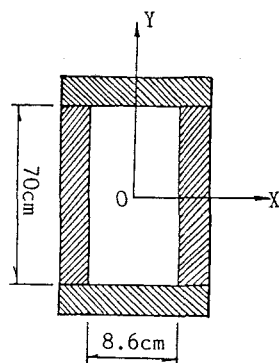
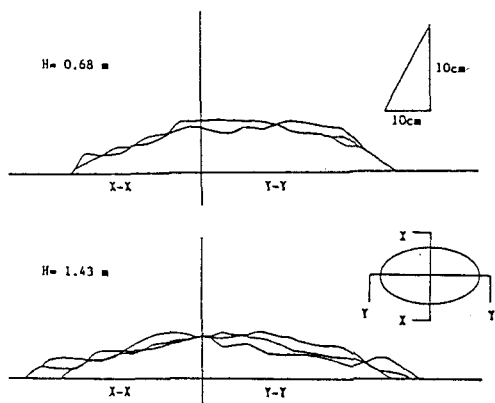
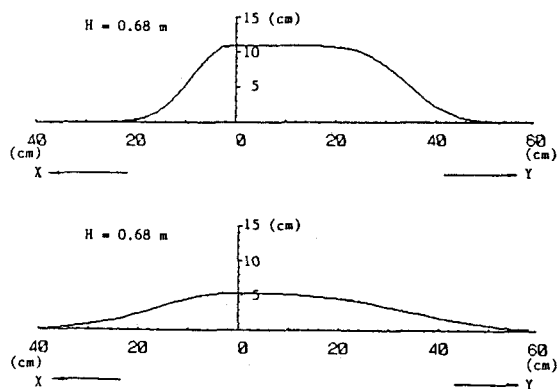


図-3 1/20バージ船底矩形開口部と座標系



(実験結果)



(解析結果)

図-4 捨石マウンドの中央断面図例

行った．この図より実験結果と解析結果を比較すると，解析結果の方が比較的浅い水深においてマウンド中央部で過大となり端部で過小な値を示す．このような結果は，解析結果が海底での衝突による散乱現象，法面での滑落等の影響を含んでいないことを考えれば，実験結果を比較的よく再現しているものといえよう．また，図-5は図-3に示したバージ船より投入されたときの捨石マウンドの堆積形状の予備結果を3次的に示したものである．なお，紙面の都合上，詳細な考察結果については講演時に発表する．

参考文献

1) 林泰造・大橋正和：流体中を落下する粒子の乱流特性について，第24回水理講演会論文集 2) 奥出律・山谷弘幸・松本茂：底開式バージによる捨石マウンドの造成に関する実験，港湾技術研究所報告，Vol.21, No.4, pp131-171, 1982.

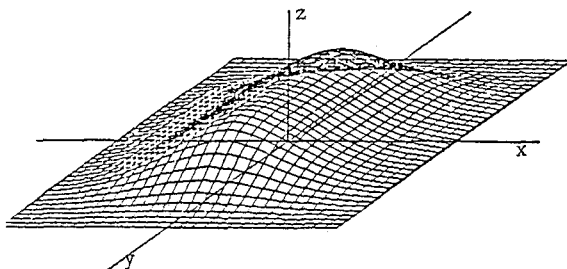


図-5 捨石マウンドの形状