

水中を落下する捨石の散乱特性について

鳥取大学工学部 正 員 裕見吉晴
鳥取大学大学院 学生員 ○岸口孝文
鳥取大学工学部 正 員 木村 晃

1. はじめに：本研究は、底開式バージ船より投入された捨石群の海底における堆積形状に関する予測手法の開発の第一段階として、静水中における捨石単粒子の落下実験より捨石の落下に伴う散乱特性について詳細な検討を加え、捨石マウンドの堆積形状の予測を確率論的に行うための基礎的資料を得ようとするものである。

2. 実験方法および解析方法：実験に用いた水槽は、長さ1.1m、幅1.1m、高さ2.1mの全面ガラス張りの鋼製水槽である。また、実験に用いた捨石は奥出ら¹⁾の研究と同じように実スケール重量200kgf/個の捨石を対象としてその縮尺1/20, 1/14, 1/12の20-40gf/個、60-80gf/個、100-120gf/個の3種類とし、球形とみなしそれぞれの捨石重量の平均値から粒径、水深を表-1のように算出した。なお、捨石の比重は2.6としている。

表-1 実験条件

縮尺	重量(gf)	粒径(cm)	水深(cm)	水深の6等分(cm)
1/20	20-40	2.8	120	20.0
1/14	60-80	3.7	160	26.7
1/12	100-120	4.3	185	30.8

実験は、水槽の中心を目標点（捨石投入位置の真下に相当する位置）にして、無作為に捨石を抽出し1個ずつ水面直下から静かに落下させた。それを2台のビデオカメラを直角方向に配置して捨石の3次元の落下挙動が撮影できるようにした。

解析方法は、撮影した画像をマイコンに内蔵されたスーパーインボーズ機能を用いてグラフィック画面と重ね合わせ、各水深毎の目標点からの距離がわかるように2方向とも読み取った。ただし、映像における奥行きは、縮尺の誤差は予備実験より画面上で微小であったことから無視している。

3. 実験結果：まず、実験におけるスケール効果の影響について捨石の沈降速度に着目して検討することにする。その結果を示したのが図-1で、縦軸には沈降速度をルベイの式²⁾を用いて無次元化したものとなっている。高橋ら³⁾による捨石の沈降速度に関する実測によると、重量200kgf/個の場合、2.2~3.5m/sとなっている。これを模型比1/20として模型値に換算するとW/wの値が0.9~1.4となり、本実験における模型比1/20の場合のW/wの値とよく一致している。また、図より各捨石重量における沈降速度はW/w=0.9~1.5の範囲でばらついているが、図中黒ぬりで示している平均沈降速度はほぼ同程度の値を示している。以上のことから、平均沈降速度に関する限りでは本実験に用いた捨石粒径間に縮尺効果の影響が含まれないことになる。なお、この縮尺効果についてはデータのばらつきも大きいことから今後更に検討を加える必要がある。

図-2は捨石の水中落下に伴う散乱分布の1例（20-40gf/個の水深120cmの場合、その他の水深、重量の場合は講演時に示す）を示したものである。この図中の縦軸Prは単位面積当りの着底確率で以下のように算出した。

$$R_n = N_n / A_n \quad Pr_n = R_n / \sum R_n$$

ここに、 R_n は単位面積当りの着底個数、 A_n は目標点からの距離 r_{n-1} と r_n の間の領域の大きさ、 N_n は領域 A_n に着底する捨石の個数である。図より捨石の散乱分布は中心部において最も大きくなり外周に行くに従い減少する傾向がわかる。

次に、図-3は20gf/個の場合の水深変化に伴う相対的な散乱分布の変化を示したものである。図中の縦軸の確率値は最初に落ちた位置を目標点に換算してその下の水深までの散乱分布を順次計算したものである。この各測定区間毎に求められた散乱分布によると、落下水深の変化に関係なくほぼ一定の確率で落下していることが判断できる。また、この傾向が他の2種類の捨石重量にも認められたことから、本研究では水深方向に分割した各区分における相対的な散乱分布は一定でかつ独立であると仮定することにした。この仮定より、各区分における捨石の落下移動の確率モデルとしてマルコフ・チェーンが適用できることになる。図-4は、捨石の落下移動にマルコフ・チェーンを適用して縮尺1/20の場合の水深120cmにおける着底分布の計算結果を示したものである。図-2の実験結果と比べるとほぼ一致していることから、捨石の堆積形状予測の確率モデルとしてマルコフ・チェーンを導入することは妥当であると言えよう。次に、この確率モデルを底開式バージ船から投入された捨石群に拡張したのが図-5である。この図は捨石が7-d×20-dに配列された2台のバージ船を対象として水深h/d=50における確率分布形状の計算結果を示したものである。なお、考察については、講演時に詳述する。

4. おわりに：本研究は、捨石単粒子の落下実験より散乱分布について検討し、捨石マウンドの堆積形状の予測手法開発のための基礎資料を得ようとしたものである。その結果、捨石の散乱に関する相対的な分布は水深の変化に関係なくほぼ一定の確率分布特性を示した。今後は、水中落下に伴う捨石の運動様式を考慮にいれた捨石の堆積形状予測に関する確率モデルを明らかにして行く予定である。

〔参考文献〕1) 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, pp.131-171, 1982 2) 椿東一郎・荒木正夫：水理学演習 下巻, pp204, 森北出版 3) 高橋英俊ほか：捨石の水中落下速度について、港湾技研資料, No.249, 1976年12月, pp36

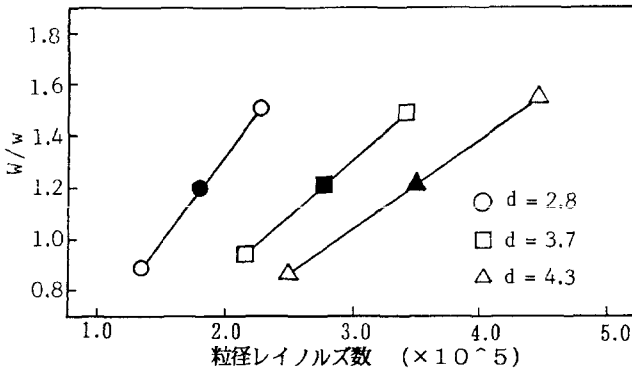


図-1 捨石単粒子の沈降速度

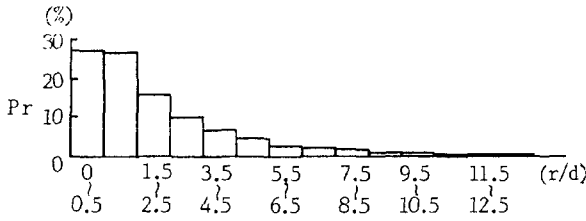


図-2 単位面積当たりの散乱分布

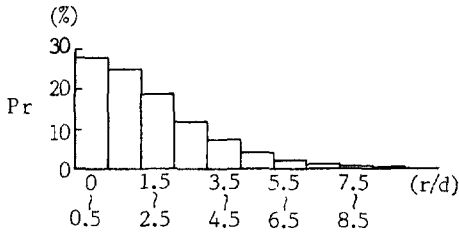


図-4 マルコフ・チェーン導入の散乱分布

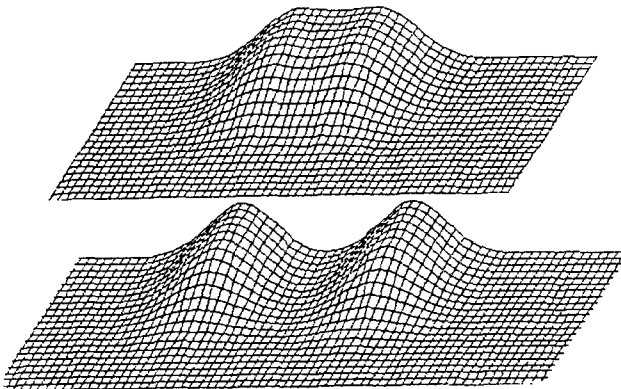


図-5 バージ船から投入された捨石群の確率分布形状

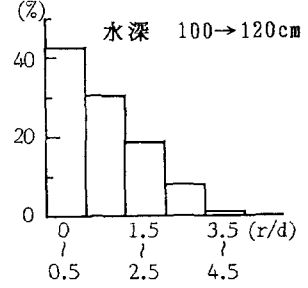
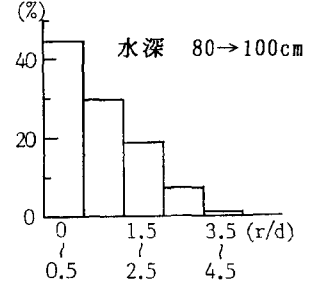
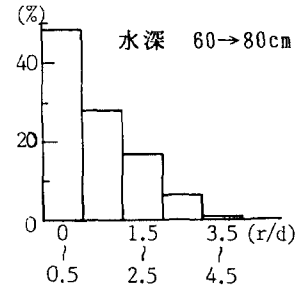
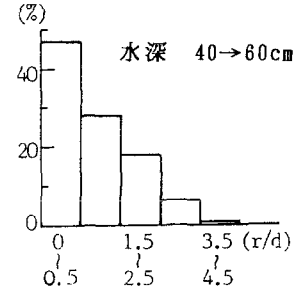
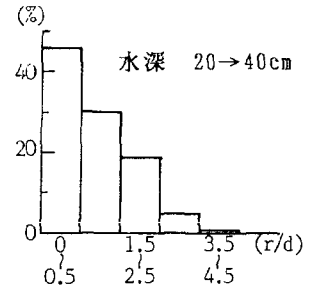


図-3 相対的な散乱分布