

捨石の堆積形状に及ぼす流れの影響

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀
積水ハウス(株) 伊藤信孝

兵庫県庁 正会員 樋口俊光
東洋建設(株) 正会員 岩田 潔

1.はじめに 筆者らは底開式バージから大水深域に投入された捨石粒子群の堆積形状を予測するため、その沈降散乱過程に近似的に拡散方程式を適用して堆積形状の算定理論式を導き、縮尺1/60の模型実験によって式中の拡がり係数 K_w を決定するとともに、 K_w に影響を及ぼす因子とそれらの間の定量的関係を研究してきた。その結果¹⁾、1) K_w は主として捨石粒子群の単位時間当りの最大流出量 q_{max} に依存し、それが大きくなると増大する、2) 材料の重量分布も K_w に影響を及ぼし、小重量分の割合が大きくなると K_w は大きくなる、などのことが明らかになった。以上のことをふまえて本論文では、さらに、実際の投入現場における潮流等の影響を考慮し、流れの中の投石模型実験を行い、堆積マウンドの「形状」と「堆積位置のずれ」の2点について静水中のそれらと比較することによって流れの影響を検討する。「堆積位置のずれ」については、単一粒子の着底位置の近似的な予測式を導き、その計算結果と群粒実験における堆積マウンドの重心位置とを比較することによってその相違を調べ、「堆積位置のずれ」の予測法を検討する。

2.実験方法 実験は、長さ50m×幅2.5m×深さ1.5mのコンクリート製波・流れ水槽で行った。実験の幾何学的縮尺は1/60であり、バージ模型は1000m³型底開式バージの実物に相似に真ちゅう材で作り、その噴水が満載噴水と軽荷噴水の中間の噴水になるように固定した。捨石模型はコンクリート用砕石を用い、実際の海で用いられる捨石の重量分布と相似なA材料および重量分布が比較的均一なC材料を用いた。それらの W_{50} (通過重量百分率が50%に相当する砕石単体重量)はそれぞれ0.13gf、0.29gfである。水深は $h=40$ cm, 60cm, 80cmおよび100cm(現地で24m~60mに相当)と4種類に、流速は $V=6.9\sim13.6$ cm/sec(現地で約1kt~2ktに相当)に変えた。流速は2軸の電磁流速計で、水槽横断面内での流速分布を測定した。流速分布は水路床および側壁近傍を除いてほぼ一様とみなすことができた。投入条件としては、最大流出量を $q_{max}=1200, 1600$ および 2200 cm³/secの3種類に変えた。

3.堆積形状について 図-1はA材料に対する流れの中の捨石マウンドの断面形状について、その実験値を投入条件を等しくとって静水中での理論式で求めた計算値と比較したものの一例である。この図より、流れの中のマウンドの断面形状(四角印および丸印)は静水中のそれと上下流端を除いてほぼ一致することがわかる。図-1は q_{max} の小さい場合の比較であるが、 q_{max} が大きくなると両者はさらによく一致する傾向がある。C材料の場合でもほぼ同じ傾向が見出されるが、どちらかといえばA材料の方がよく一致する傾向がある。これは、A材料の方が群粒としての沈降速度が速いため相対的には流れの影

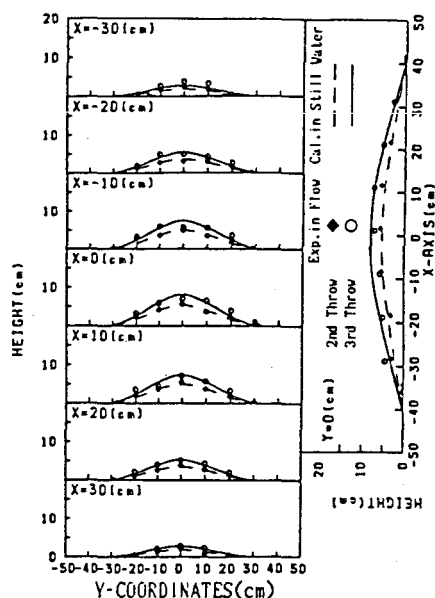


図-1 静水中での堆積形状との比較

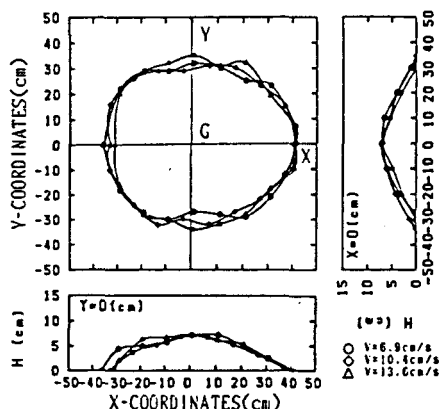


図-2 流速による堆積形状の比較

Kazuki ODA, Toshimitsu HIGUCHI, Nobutaka ITOH, Kiyoshi IWATA

響を受けにくいと考えられる。次に、図-2に流速以外の条件が同じで、 q_{max} の小さいときの堆積マウンドの平面形状および $X=0, Y=0$ 断面形状の比較を示す。この図より、流れの中の捨石マウンドは上流側で高く重心点Gから下流側では徐々に低くなって行き、平面的にもひき伸ばされたような形状となっていることがわかる。この傾向はC材料を用いると一層顕著になる。また、堆積マウンドの重心点より上流側の堆積長さが流速が速くなるにつれてやや短くなることがわかる。これは、一般に、群粒中の上流側の粒子群は着底後、上流側へ抗がろうとする動きが流れと逆行するが、逆に下流側の粒子群は、着底後、下流側へ押し流される傾向をもち、流速が大きいほど、また、 q_{max} が小さいほど沈降速度が相対的に小さくなるのでこの傾向が強くなるものと考えられる。以上のことより、流れの中の捨石マウンドの堆積形状については、 q_{max} が大きいときはA材料、C材料ともに投入条件が等しい静水中の堆積形状の理論式からほぼ予測することができるが、 q_{max} が小さいときは、特にC材料のときには平面形状に非対称性が現れるといえる。

4. 堆積位置のずれについて (1) 一樣流中を沈降する単一粒子の着底位置 単一粒子にはA材料、C材料とも W_{50} の重量をもつ砕石と同体積の球と考え、この球に働く粘性抗力を考慮して粒子の運動方程式を立て、これを解くことによって次式からその着底位置を求めた。ここで、流れと平行に水面上に y 軸を、鉛直下向きに z 軸をとった。

$$\text{着底位置 } S = Ut - \frac{1}{\alpha} \log(\alpha Ut + 1) \quad (1)$$

ここに t は沈降時間で式(2)で与えられる。

$$\text{沈降時間 } t = -\frac{1}{2\alpha\gamma} \log e^{2\alpha z} (\sqrt{1 - e^{-2\alpha z}} + 1)^2 \quad (2)$$

$$\text{ただし、} \alpha = \frac{1/2 C_D \rho A}{(\rho' + Ca\rho) V_0} \quad (3), \quad \gamma = \frac{(\rho' - \rho)g}{\rho' + Ca\rho} \quad (4)$$

上式中、 C_D : 換算抗力係数、 $A = \pi d^2/4$: 球の投影面積、

d : 砕石粒子の等価直径、 g : 重力加速度、

ρ' : 砕石の密度、 ρ : 水の密度、

Ca : 付加質量係数(=0.5)、 V_0 : 砕石の体積、である。

換算抗力係数 C_D は静水中の砕石粒子の沈降実験結果²⁾を基に、その平均値として 1.78 を用いた。

(2) 堆積位置のずれの予測 一般に捨石粒子群は単粒の場合より沈降速度が速いのでその堆積位置(着底位置)のずれは単粒の場合より小さい。そこで、群粒の場合の着底位置のずれ S_0 が式(1)で計算される単粒の場合のそれ(S)に比べてどの程度の大きさになるかを示したものが図-3である。図中の実線と鎖線は S_0/S を式(1)の補正係数 ε と定義し、それと水深との平均的な関係を示したものであるが、この関係を用いて、再度、式(1)から群粒の堆積位置のずれ S_0 を計算したものが図-4中の実線と鎖線である。当然のことであるが、計算値と実験値とはよく一致している。以上のことから、流れの中に投入された捨石粒子群の堆積位置のずれは単粒に対する計算式(1)に図-3に示した補正係数を施すことによって精度よく予測することが可能であるといえる。

5. 結論 流れの中の捨石マウンドの堆積形状については、 q_{max} が大きいときには材料の重量分布にあまり関係なく投入条件の等しい静水中の堆積形状の理論式からほぼ予測が可能である。また、堆積位置の下流側へのずれについては、単一粒子に対する着底位置の予測式を補正することによってほぼ正確に予測できる。

<参考文献> 1) 小田・沢田他 第34回海講pp.281-285、1987。

2) 小田・角谷他 昭和57年度関西支部講、1982。

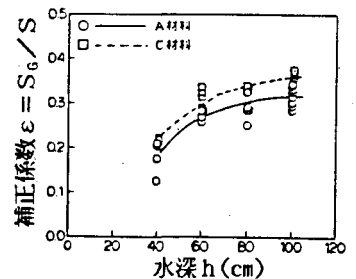


図-3 水深による補正係数の変化

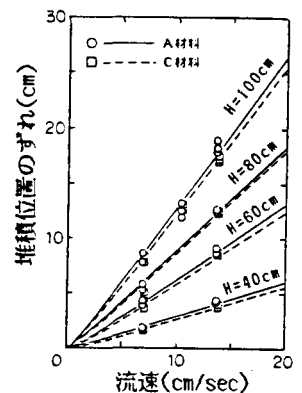


図-4 ずれの実験値と理論の補正計算値との比較