

捨石粒子群の沈降挙動 (その3, 捨石船からの投入捨石の堆積形状)

大阪市立大学工学部	正員	小田	一紀
大阪市役所	正員	角谷	広樹
京阪コンクリート(株)		白石	芳明
東洋建設(株)技術研究所		岩田	潔

1. まえがき

本研究は石運船から投入される捨石粒子群の堆積形状を予測する手法を見出すことを目的としている。昨年まで⁽¹⁾⁽²⁾の基礎研究に基づき、今回は近似的な拡散モデルを提案し、堆積形状予測へのその適用性について検討した。その結果、比較的良好な結果が得られたので、ここに報告する。

2. 拡散モデル

水面から投入した捨石粒子群は沈降しながら捨石同志および捨石と流体との相互作用によって3次元空間に確率論的に拡がって行く。この現象は一種の拡散現象と見る事ができる。ここでは、実用的な解析法を見出すことを目的として、思い切った簡略化を図り、次のような拡散モデルの適用を試みる。すなわち、捨石粒子群は仮想水平面上(以後、拡散平面と呼ぶ)のみを拡がり、鉛直方向には拡がらないと仮定する。そして、捨石粒子群の沈降は、「拡散平面が粒子群の平均的な沈降速度で下降する」ということで表現する。このような取扱いによって、3次元問題は2次元問題に、2次元問題は1次元問題に簡略化できる。ここで、i)物質の移動は、濃度の高い方から低い方へ生じる、ii)単位時間に単位面積を通過する物質量は、移動する方向の濃度勾配に比例する、という仮定に立脚するFickの拡散理論を今回導入した拡散平面に適用すると、捨石に関する1次元および2次元の拡散方程式は、周知のように、
$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1), \quad \frac{\partial C}{\partial t} = K_2 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (2)$$

と書ける。ここで、 t, x および y : 時間および平面座標 K, K_2 および K_y : 1次元および2次元の拡散係数。 C は物質濃度を表わすが、ここでは前述のように鉛直方向に散らばっている捨石粒子を仮想的な拡散平面上に圧縮して取扱うので、濃度として水平単位面積当りの捨石粒子群の体積(間隙をも含む見掛けの体積)をとる。このようにとると水底上での濃度は捨石の堆積高さを表わすことになる。

底開式石運船からの投入捨石粒子の拡散解析に式(2)を適用し、これを $C(x, y, t)$ の初期条件

$$\left. \begin{aligned} C(x, y, 0) &= C_0 ; |x| \leq a/2, |y| \leq b/2 \\ &= 0 ; |x| > a/2, |y| > b/2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

および等方性拡散の仮定の下で解くと、拡散平面上での捨石の濃度分布に関する次の解が得られる。

$$C(x, y, t) = \frac{C_0}{4\pi Kt} \int_{-a/2}^{a/2} \exp\left\{-\frac{(x-\alpha)^2}{4Kt}\right\} d\alpha \cdot \int_{-b/2}^{b/2} \exp\left\{-\frac{(y-\beta)^2}{4Kt}\right\} d\beta \quad (4)$$

ここで、 C_0 :初期濃度、 b, l :石運船の底扉の開扉幅および開扉長さ、また x, y :底扉中央点を原点とし、船幅方向および船長方向にとる座標。

拡散平面が水底に達するに要する時間を T とすると、水底平面上における捨石の堆積高さ分布 $H(x, y)$ は式(4)から次式で求められる。

$$H(x, y) = C(x, y, T) \quad (5)$$

式(4)は式(3)から明らかのように、瞬間投入条件の下で導かれた解であるので、有限時間を要する実際の捨石投入に対してはそのままでは適用できない。その場合には、 C_0 を単位時間・単位面積当りの投入捨石粒子群の体積と考え、式(5)を投入時間 T にわたって積分すればよい。すなわち、

$$H(x, y) = \int_0^T C(x, y, T) dt \quad (6)$$

3. 実験による拡散モデルの検討

1000 m^3 型底開式石運船の縮尺1/60の模型を用いて、現地と同程度の粒度分布(重量分布)を有する碎石粒子(0.2~20 mm)を表-1の条件で静水中に投入し、その堆積高さ分布を測定した。各ケースについて25回投入し、1投目と2投目の堆積高さ分布の測定値と式(6)による計算値ができる限り一致するように、最小自乗法で逆算した式(6)中の定数 $4KT$ の値を表-1に記す。但し、計算では、単位時間当りの投入体積を一定とし $C_0 = V/A\tau$ (V :1回の全投入体積、 $A = b \cdot l$:開扉面積、 τ :投入時間)で与えた。表-1中、 h は水深を表す。

表-1 実験内容

CASE	V (cm^3)	b (cm)	h (cm)	τ (sec)	C_0 ($cm/cm^2 \cdot sec$)	$4KT$ (cm^2)
A	4630	2.3	100	7.7	5.42	202
B	4630	2.6	100	6.4	5.77	200
C	4630	2.6	100	5.7	6.48	272
D	5215	2.6	100	6.2	6.71	267
E	5215	2.3	100	8.5	5.53	182
F	4630	3.0	100	4.0	8.00	464
G	4630	2.6	70	5.9	6.26	176

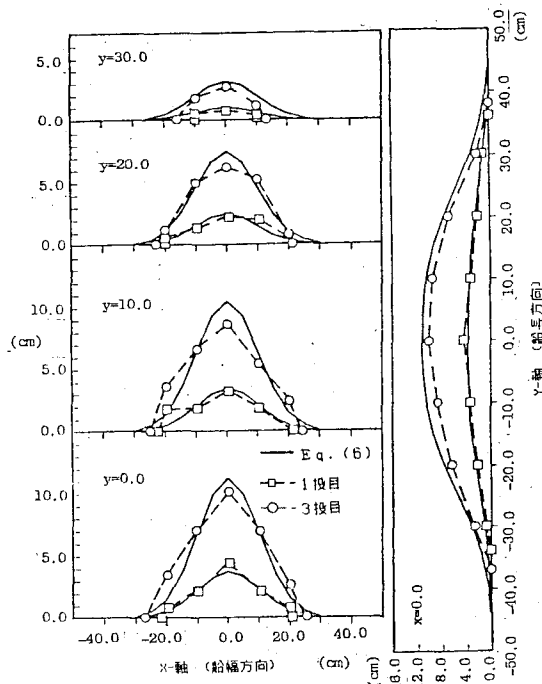


図-1はCASE-Aの堆積高さ分布について、実験値と計算値を比較したものである。実験値から逆算して得られた1,2投目の $4KT$ の値を用いて計算した3投目の計算値が実験値と比較的よく一致している。他の場合についても同様の結果を示しており、今回提案した拡散モデルが石運船から投入される碎石粒子群の堆積形状の予測に適用できる可能性を示した。今後はさらに多くの実験によって拡散係数 K と着底時間 T の解明を進める必要がある。

図-1. 堆積高さ分布の計算値と実験値の比較 (CASE-A)

(参考文献) 1. 小田, 角谷はか「捨石群の沈降挙動(その1. 沈降研石の沈降挙動)」土木学会論文集, 1982. 2. 小田, 角谷はか「捨石群の沈降挙動(その2. 瞬間投入される捨石群の沈降挙動特性)」土木学会論文集, 1983. 3. 小田, 角谷はか「碎石粒子の沈降挙動」全国港湾学会, 1982. 4. 小田, 角谷はか「碎石群の沈降挙動」全国港湾学会, 1983.