

捨石粒子群の堆積形状に及ぼす水理実験の縮尺影響

大阪市立大学工学部 正 員 小田 一紀 大阪市役所 正 員 〇松井 圭一
 大阪市立大学工学部 学生員 沢田 充弘 東洋建設株式会社 岩田 潔

1 まえがき : 筆者らは一昨年以來、水中に投入された捨石粒子群の堆積形状に関する研究を行ってきた。この種の水理実験の相似則には、フルード則が適用されるのが一般的であるが、群粒落下時の流体との間の相互作用に流体粘性の影響が考えられる。そこで、本研究では、底開式バージから投入された捨石粒子群の堆積形状に関する縮尺 $1/60$ 実験および $1/30$ 実験を行い、両結果を比較することによって縮尺影響を調べ、この種の水理実験に関するフルード則適用の妥当性について検討を行った。

2 堆積高分布の算定式の誘導 : 今回は、新たに三次元拡散理論を適用して堆積高分布の算定式を以下のように導いた。

図-1に示すように水平面に x, y 軸を、鉛直下向きに z 軸をとった場合、沈降速度 w_0 を有する粒子群の拡散方程式は、 w_0 と等しい速度で z 軸方向に移動する $x-y-z$ 座標系を用いると一般に次式で表わされる。

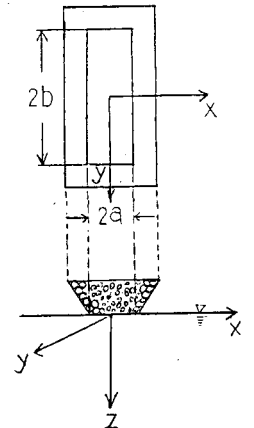
$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (1)$$


図-1 バージ底矩形開口部と座標系

ここに、 C : 捨石粒子群の濃度、 K_x, K_y, K_z : 拡散係数、 $Z_1 = Z - w_0 t$
 ここで、拡散が等方的であると仮定して、 $K_x = K_y = K_z = K$ とおき、初期条件、 $C(x, y, z, 0) = \begin{cases} m_0 \delta(z) & : |x| \leq a, |y| \leq b \\ 0 & : |x| > a, |y| > b \end{cases} \quad (2)$

の下で、フーリエ変換によって(1)式を解くと、

$$C(x, y, z, t) = \frac{m_0}{8\sqrt{\pi K t}} \exp\left\{-\frac{(Z-w_0 t)^2}{2K t}\right\} \times \left\{\operatorname{erf}\left(\frac{a-x}{2\sqrt{K t}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{a+x}{2\sqrt{K t}}\right)\right\} \times \left\{\operatorname{erf}\left(\frac{b-y}{2\sqrt{K t}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{b+y}{2\sqrt{K t}}\right)\right\} \quad (3)$$

となる。ただし、 $m_0 = \frac{M}{4ab}$ 、 M : 投入重量、 $\delta(z)$: Diracのデルタ関数、 $\operatorname{erf}(w) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^w \exp(-p^2) dp$ で定義される誤差関数を表わし、また、 Z_1 は Z に変換してある。

$Z = z$ にある $x-y$ 平面の単位面積を単位時間に通過する物質質量 q (mass flux) は、 $q(x, y, z, t) = w_0 C - K \frac{\partial C}{\partial z} \quad (4)$ で表わされ、水底における捨石粒子群の堆積形状が落下途中における上述の拡散現象のみに支配されるものとみなすと、水底 $z = H$ における(4)式の時間積分が堆積高を与えるものと考えられるので、これを $0 < t < \infty$ の区間で積分することによって、水底での捨石の堆積高分布は(5)式のように求められる。

$$R(x, y, H) = \frac{1}{R} \int_0^\infty q(x, y, H, t) dt \\ = \frac{m_0}{16R\sqrt{K t}} \int_0^\infty t^{\frac{3}{2}} (H + w_0 t) \exp\left\{-\frac{(H-w_0 t)^2}{2K t}\right\} \times \left\{\operatorname{erf}\left(\frac{a-x}{2\sqrt{K t}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{a+x}{2\sqrt{K t}}\right)\right\} \times \left\{\operatorname{erf}\left(\frac{b-y}{2\sqrt{K t}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{b+y}{2\sqrt{K t}}\right)\right\} dt \quad (5)$$

ここに、 R : 捨石粒子群の見掛けの単位体積重量

3 実験方法 : 実験は縮尺 $1/60$ および $1/20$ で行った。両縮尺実験とも1000ml型底開式バージの相似模型を、その平均吃水線(満載吃水線と軽荷吃水線の中点吃水線)が静水面と一致するようにして、捨石流出量測定用のロードセルを介して水面上に固定した。

4 使用材料 : 縮尺 $1/60$ 実験および $1/20$ 実験に用いた捨石材料の重量分布をフルード則により現地換算したものを図-2に示す。

C(C')材料は重量分布の比較的均一な砕石で、また、A(A')材料は現地材料の重量分布に一致するように、現地換算で5~800kgfの幅の広い重量分布を有する砕石で構成されている。

5 結果と考察 : 表-1, 2はそれぞれ縮尺 $1/60$ 実験と $1/20$ 実験の実験条件および実験結果をフルード則により現地換算して示したものである。表中の K/W_0 は(5)式による計算値と実験値が最もよく一致する K/W_0 値を最小二乗法により逆算して求めたものである。また、南扉幅、南扉速度などの投入条件はすべて捨石流出量の時間変化に集約されると考え、捨石流出量の時間変化曲線の最大勾配、すなわち単位時間当たりの最大流出量 q_{max} を粒子拡散現象の支配パラメーターとして選んだ。図-3は、表-1, 2に示した K/W_0 と q_{max} の関係を表す。

図-3からほぼ次のようなことがいえる。
1) K/W_0 と q_{max} の関係はそれぞれの材料についてほぼ一本の曲線で表わすことができるが、使用する材料の重量分布に依存して異なった傾向を示す。

2) K/W_0 と q_{max} の関係は同一材料であれば縮尺 $1/60$ 実験および $1/20$ 実験ともほぼ同じ結果を示し、縮尺影響はほとんどみられない。

6 まとめ : 模型縮尺の異なる実験を行う場合、幾何学的に相似な模型を用い投入条件をフルード則により一致させれば、少なくとも縮尺 $1/60$ 以上の実験では縮尺影響はほとんど考えられる。

7 参考文献 : 1)小田ら、第31回海岸工学講演会論文集、1984。

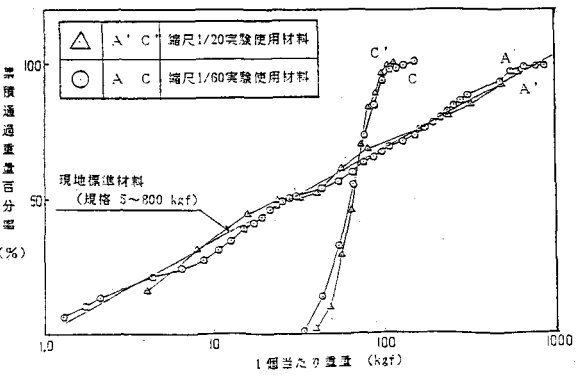


図-2 使用材料重量分布(現地換算)

表-1 縮尺1/60実験の実験条件および結果(現地換算)

CASE	材料名	投入量 (tf)	水深 (m)	南扉幅 (cm)	南扉時間 (sec)	南扉速度 (cm/sec)	q_{max} (m^3/sec)	K/W_0 ($\times 10^{-2}$)
1-1	C	1367	60	252	26.1	9.7	68.2	81.6
1-2	C	1367	60	192	50.3	3.8	38.7	46.3
1-3	C	1367	60	186	18.1	10.2	53.2	54.2
1-4	C	1367	60	192	34.8	5.5	45.7	52.9
1-5	A	1512	60	258	27.1	10.0	64.6	107.0
1-6	A	1512	60	180	51.7	3.5	39.5	59.7
1-7	A	1512	60	186	36.4	5.4	45.2	64.8

表-2 縮尺1/20実験の実験条件および結果(現地換算)

CASE	材料名	投入量 (tf)	水深 (m)	南扉幅 (cm)	南扉時間 (sec)	南扉速度 (cm/sec)	q_{max} (m^3/sec)	K/W_0 ($\times 10^{-2}$)
2-1	C'	1408	60	252	25.3	10.0	65.7	73.1
2-2	C'	1408	60	192	47.9	4.0	38.0	40.9
2-3	C'	1408	60	186	18.2	10.2	60.8	59.1
2-4	C'	1408	60	192	34.6	5.5	47.6	50.7
2-5	A'	1544	60	252	24.9	10.2	62.2	90.3
2-6	A'	1544	60	192	49.2	3.9	40.0	55.8
2-7	A'	1544	60	192	34.3	5.6	48.3	69.8

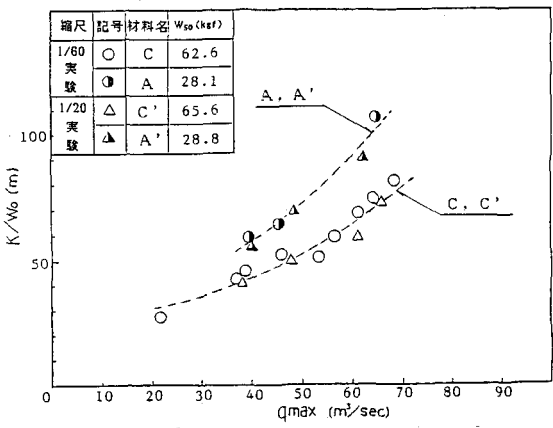


図-3 K/W_0 と q_{max} の関係(現地換算)