

多点投入による捨石マウンドの堆積形状予測

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀

大阪市立大学大学院 学生員 ○樋口俊光 岡本良治

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船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、その沈降散乱過程を近似的に拡散現象とみなして次のような理論式を導き、同一地点投入(以後、一点投入と呼ぶ)縮尺1/60の模型実験によって式中の未知定数 Kw を決定するとともに、 Kw 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。

$$d(x, y)_{z=h} = \frac{W_i}{64\pi a b \sqrt{\pi}} \cdot \frac{h}{w_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{Kw/h}} \int_0^{\hat{t}} (\hat{t} - \hat{\tau})^{-3/2} (1 + \hat{t} - \hat{\tau}) \times \exp \left\{ - \left(\frac{1 - \hat{t} + \hat{\tau}}{2\sqrt{Kw/h} \cdot (\hat{t} - \hat{\tau})} \right)^2 \right\} \\ \times \left[\operatorname{erf} \left(\frac{(a-x)/h}{2\sqrt{Kw/h} \cdot (\hat{t} - \hat{\tau})} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{(a+x)/h}{2\sqrt{Kw/h} \cdot (\hat{t} - \hat{\tau})} \right) \right] \\ \times \left[\operatorname{erf} \left(\frac{(b-y)/h}{2\sqrt{Kw/h} \cdot (\hat{t} - \hat{\tau})} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{(b+y)/h}{2\sqrt{Kw/h} \cdot (\hat{t} - \hat{\tau})} \right) \right] \times f(\hat{\tau}) d\hat{\tau} d\hat{t} \quad (1)$$

なお、式中の記号の説明は文献1)を参照されたい。

その結果¹⁾、1) Kw 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 Kw に影響を及ぼし、小重量分の割合が大きくなると Kw は大きくなる、などのことが明らかになった。本論文では以上のことをふまえ、縮尺1/60の多点投入実験(水深100 cm)を行い、一点投入から得られた実験係数 Kw を適用して計算した理論値の単純重ね合わせが、実験値とどこまで一致しているか調べる。さらに、理論値と実験値のずれを数量化し、重ね合わせに影響を及ぼす因子についても考察する。

2.実験概要 模型材料は重量分布を現地標準材料と一致させて

表-1 開扉条件

一定とした。開扉条件には表-1に示す3種類を設定した。これらの条件で一点投入した場合の実験結果を表-2に示す。TYPE-A は q_{max} が小さいために比較的堆積幅も小さく、逆にTYPE-Cは堆積幅が最も大きいものである。TYPE-Bはこれらの中間的なものである。

TYPE	最大開扉幅 (cm)	開扉時間 (sec)	開扉速度 (cm/sec)
A	3.8	8.0	0.5
B	3.4	3.5	1.0
C	4.2	3.3	1.3

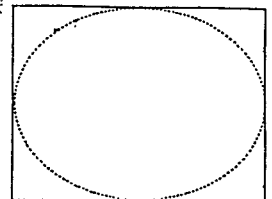
投入方法は表-3に示す。CASE1では直線上

表-2 実験結果

の異なる二点で各々三回づつ投入し、二つの堆積山の裾野が船長方向に接するように築造し、その中間に二投する(船長方向の重ね合わせ)。CASE2はCASE1と同様な方法で船腹方向に重ね合わせる。CASE3は予め三投した堆積山の船腹方向の端部(裾野)に二投する。CASE4は各々三投した堆積山を船長・船腹方向に接するように二列に配置し、その中間に二投し、最後に中心点に一投する(船腹・船長方向の重ね合わせ)。

TYPE	投石時間 (sec)	最大流出量 q_{max} (cm ³ /sec)	拡がり係数 Kw (cm)	堆積幅 (cm)	堆積長 (cm)
A	9.0	1450	1.0	60	72
B	6.7	1810	1.3	66	75
C	5.1	2420	1.8	77	82

3.理論値の計算範囲 拡散理論によって得られる捨石の堆積形状は投入地点から離れるにしたがって、その高さはゼロに近づくが、十分離れた所でも完全にゼロになることはない。これは、実際の堆積形状とは異なっており、これを理論値として取り扱うにはある距離をおいた所、または、ある高さになった所で切り捨てる必要がある。本論文では、理論値の計算範囲を図-1のような範囲とし、その外側は切り捨てることにした。



----- 実際の堆積範囲
—— 理論値の計算範囲
図-1 理論値の計算範囲

kazuki ODA, Toshimitsu HIGUCHI, Ryoji OKAMOTO, Kiyoshi IWATA

4. 実験値との比較 理論値と実験値との比較を表-3に示す。ここで言う標準偏差は、理論値と実験値との差の平方和をデータ数で割って平方根をとったものである。相関係数は理論値と実験値の相関性を表しており1に近いほど両者は一致している。

(1)各CASEの比較 (a) 投入間隔 CASE2-1ではまずマウンドが接するよう60cm離して投入してから、その中央に投入するパターンであったが、CASE2-6では2つの堆積山の間隔を80cmとし、間に20cm程の隙間をつくってから投入したものである。標準偏差は後者の方が小さいので、当然ながら重なり部分の面積の大きい方が堆積山の影響を大きく受ける。(b) 隣接堆積山の影響 CASE2-4は初めの二つの堆積山をTYPE-Aで造成し中央にTYPE-Cで重ね合わせる。CASE2-5はその逆である。CASE2-3とCASE2-4を比較すると q_{max} が大きい場合、隣接の堆積山の影響はほとんど受けないことがわかる。また、CASE2-1とCASE2-5から q_{max} が小さい場合、隣接の堆積山の影響を受け、堆積高さが大きいほど単純重ね合わせによる計算値と実験値との差が大きくなる。(c) 非対称投入 CASE2-1とCASE3-1およびCASE2-3とCASE3-2を比較すると後者は重なり部の面積が小さいので標準偏差は小さくなっているが、相関係数は前者の方が1に近く一致度は高い。

(2) 重なったマウンド全体についての評価 以上のような結果から、捨石の多点投入を行う際に水底の堆積山の影響を最も大きく受けるのはCASE2-1、すなわち最大流出量 q_{max} が小さい場合に隣接点との投入間隔を小さくして投入した場合と考えられる。しかし、この場合でも重なり部の標準偏差はそれほど大きくならないことがわかる。CASE4-1およびCASE4-2は実際に現地で防波堤の基礎マウンドを造成するとき採用される投入パターンのうち最も基本的なもので、投入中心点を通る船腹・船長方向断面(図-2、3)をみても全体の標準偏差や相関係数をみてもどちらも全体的には実験値と理論値はほぼ一致しており、重ね合わせ時に水底の堆積山の影響が多少あるものの、それほど大きな差にはならないことがわかる。今回行った模型実験は縮尺1/60なので、CASE4-1の標準偏差と堆積マウンドの最大高さを現地換算すると0.7m、5.5mとなる。

5. まとめ 捨石の拡散現象は、バージ船の底扉から投入された瞬間から一様に拡散が始まるのではなく、捨石粒子群は水中落下時にはあまり拡散せず、着底直前で比較的大きな拡散が生じることがわかっている。したがって、その拡散現象は水底形状にある程度の影響を受けることになる。すなわち、水底の堆積山の高さ、水底の捨石堆積山の法面傾斜角、投入間隔、重なり部の面積が考えられる。しかし、今回の実験条件の範囲内では全体的には理論値と実験値はよく一致しており、今回のように比較的投入回数が少ない場合には一点投入のデータから単純重ね合わせによって多点投入の堆積形状を予測することは十分可能であることが見出された。

〈参考文献〉

1) 小田一紀他：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研究、第34回 海講 pp.281-285、1987。

表-3 理論値と実験値の比較

case	投入間隔 (cm)				投入 type	投入 回数	重なる前 標準偏差	重なり部 標準偏差	全体の 標準偏差	全体の 相関係数
1	80	-	-	-	A	8	1.01cm	1.06cm	1.08cm	0.898
2-1	-	60	0	30	A	8	1.01	1.05	1.05	0.891
2-2	-	70	0	35	B	8	0.92	0.97	0.93	0.882
2-3	-	80	0	40	C	8	0.97	0.98	0.94	0.812
2-4	-	60	0	30	A-C-A	8	0.94	0.99	1.02	0.894
2-5	-	80	0	40	C-A-C	8	1.08	0.89	0.94	0.843
2-6	-	80	20	40	A	8	0.98	0.89	0.94	0.880
3-1	-	-	-	30	A	5	-	0.77	0.92	0.907
3-2	-	-	-	40	C	5	-	0.91	0.90	0.821
4-1	80	60	0	30	A	21	0.94	1.22	1.08	0.903
4-2	80	80	0	40	C	21	0.98	0.89	0.97	0.864

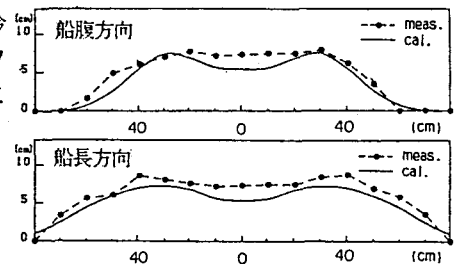


図-2 主要断面 (CASE 4-1)

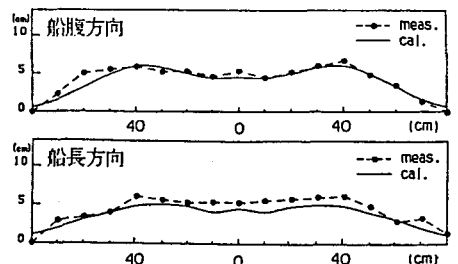


図-3 主要断面 (CASE 4-2)