

静水中に落下するブロック群の挙動に及ぼす投下方法の影響

株式会社日水コン 正会員 ○葛西 美澄里
琉球大学 正会員 福田 朝生

1. 目的

近年、湧昇流の誘発を目的として人工海底山脈の築造が行われており、底開式バージを用いた直投方式によって一辺 1.5m ほどのほぼ立方体のコンクリートブロックが投下されている¹⁾。大野ら²⁾は水理実験でブロック 8 個を 2 列 4 段(段, 列はそれぞれブロックがすべり落ちる方向とそれに垂直方向のブロックの配置個数)で 1 ユニットとし、向かい合った 4 ユニットの投下は対角投入方式が散らばりが小さく適切と判断した。この研究²⁾では投下するブロックの列数や段数が比較的限定された中で検討されている。そこで本研究では、実験において先行研究²⁾よりも列数や段数等の条件を幅広く設定し静水中にブロックを投下する実験を行い、ブロックの落下挙動や、落下後の分布特性に及ぼす投下方法の影響を考察する。

2. 実験方法とデータ整理方法

実験は、現場に対する縮尺を約 1/160 とし、水深は 0.5m、投下するブロックには 1 辺 0.01m の立方体を用い、投下部のブロックを誘導する斜面の傾斜角は 45° とした。実験の様子を図-1, 図-2 に示す。

斜面は片側に設置する場合と左右両側に設置する場合を検討した。片側投下はブロックを斜面から落とすときの基礎的な挙動を確認するために検討ケースとした。両側投下は現場で広く採用されている方式であるため検討ケースとして採用しており、多ケースで挙動を確認した。

落下地点の座標はブロックの投下地点の真下を原点とし、ブロックの進行方向を x 軸の正、横断方向を y 軸の正とした。ブロックの落下地点は水深に依存すると考えたため、ブロックの落下地点の座標を式(1)のように水深で無次元化した。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{h} \quad (1)$$

添え字 i は x, y 座標の別を示し、添え字 j はブロック番号である。 h は水深である。

落下地点の平均値 $x_{i\mu}^*$ と標準偏差 σ_i^* は次式で計算する。

$$x_{i\mu}^* = \frac{\sum_j x_{ij}^*}{N} \quad (2) \quad \sigma_i^* = \sqrt{\frac{\sum_j (x_{ij}^* - x_{i\mu}^*)^2}{N}} \quad (3)$$

N は投下ブロックの総数である。

予備実験では、 x と y 座標のいずれも落下地点の座標平均値の誤差がブロック 1 個分程度に収まるためには、投下総数が 100 個以上必要となることがわかった。このため以降の検討では全てのケースについて 100 個以上のブロックを投下した。

3. 片側投下実験

ブロックの投下個数を 1 個, 9 個(3 行 3 列), 25 個(5 行 5 列)と変えたケースについて実験を行った。

図-3 と図-4 はそれぞれ x, y 方向の投下個数ごとの標準偏差を表している。 x 方向と y 方向ともに投下個数が 1 個のとき標準偏差が最小で、9 個へと個数を増やすと標準偏差が大きくなる。さらに 25 個へと増やすとほぼ一定もしくは僅かに減少する。図-1 と図-2 に示すように 25 個では、前半ブロックの後流域に多くのブロックが存在することになるため、散らばりが小さくなったと考えられる。

4. 片側投下と両側投下の比較

図-5(a)のケースで標準偏差 σ_i^* を比較すると、片側投下で ($\sigma_x^* = 0.107, \sigma_y^* = 0.088$) であり、両側投下の直線 ($\sigma_x^* = 0.156, \sigma_y^* = 0.162$) および対角 ($\sigma_x^* = 0.123, \sigma_y^* = 0.121$) と比較して、片側投下の方が標準偏差 x, y ともに小さくなることがわかった。これは、両側投下ではブロック間の衝突が流体を乱しブロックがばらつきやすくなるが、片側投下ではブロックの衝突がないためブロックが流体を乱しにくく比較的一様な軌跡で落ちたためと考えられる。一方で平均座標に着目すると、片側投下で $x_{i\mu}^* = 0.159$ で、両側投下の直線



図-1 投下実験(9 個)

図-2 投下実験(25 個)

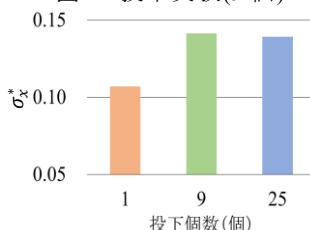


図-3 x 方向の標準偏差

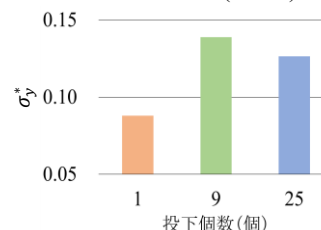


図-4 y 方向の標準偏差

キーワード 人工マウンド, 水理実験, コンクリートブロック, 投下方法, ブロックの沈降分布

連絡先 〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町 2 丁目 2-3 鹿島広業ビル 4F TEL 022-222-1101

では $x_{\mu}^*=0.011$ 、対角では -0.020 のため、片側投下は両側投下と比較すると中心からずれる傾向にある。このため、落下地点の真下に投下する際には片側投下よりも両側投下の方が良いと判断される。

5. 両側投下実験

実験は、図-5に示す投下パターンで実施した。ここで、 x と y 方向の標準偏差の両者を考慮して投下方法を評価するため、次の評価基準を設けた。全ケースの標準偏差の平均値は0.135であったことから、標準偏差 x と y がともに0.14以下かつ標準偏差 x と y の合計が最小であることが最適な投下方法とした。

(1) 片側あたり16個の長方形と正方形の比較

図-6、図-7は斜面に片側あたり16個を投下した2列8段(長方)と4列4段(正方)の x 方向、 y 方向の標準偏差を示す。 x 方向について、長方形と正方形でそれぞれ直線投下と対角投下と比較すると、対角投下の方が標準偏差が大きい。これは、直線投下では進行方向でブロックが衝突するため運動量が相殺されるが、対角投下ではブロックが衝突しないため進行方向の運動量が維持され広がったと考えられる。 y 方向については、長方形で直線投下と対角投下に大きな差はないが、正方形では対角投下の標準偏差が大きい。これは、対角は斜面の両側に合計8列となり列数が多いため、後流域に位置するブロックも少なくなり攪乱も大きくなったためと考えられる。また、図-6、図-7に示すケースの中では、評価基準と照らし合わせると長方形の2列8段の直線が評価基準を満たし、最適といえる。

(2) 投入個数の効果

前節の検討で2列の長方形のケースが評価基準を踏まえると最適であると判断されたため、ここでは2列に条件を固定し、段数だけを変えて投下個数の効果を分析する。図-8、図-9は斜面に2列2段、2列4段、2列8段のケースの x 、 y 方向の標準偏差を示す。 x 方向の標準偏差において、それぞれ直線投下と対角投下で比較すると、2列2段は直線投下が大きい。直線投下は衝突によりエネルギーロスをするが、投下個数が少ない2列2段では衝突による攪乱が流体との相互作用による攪乱に比して顕著に現れたものと考えられる。同様に直線投下と対角投下を比較すると、2列4段では大差ないが、2列8段では対角投下の方が大きくなった。個数が増加した場合、直線投下は進行方向の運動量を衝突により相殺できるが、対角投下は衝突で相殺できず、特に2列8段もの個数が多くなると流体との運動量交換も十分でなく進行方向に広がった。 y 方向の標準偏差については、2列2段、2列4段、2列8段の全てにおいて直線投下の方が大きい。直線投下では衝突す

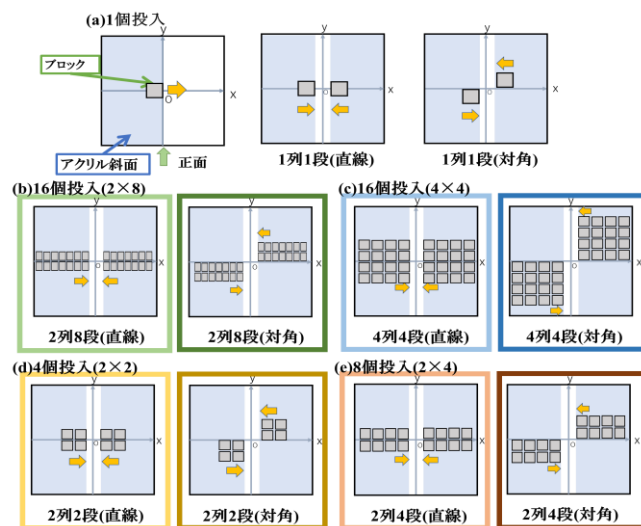


図-5 ブロックの配置

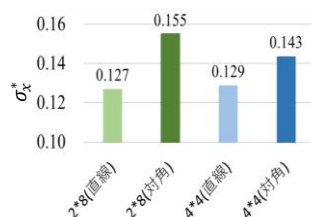


図-6 x 方向の標準偏差

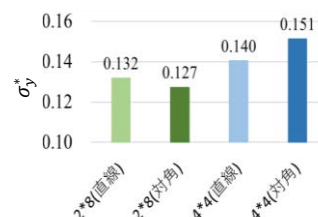


図-7 y 方向の標準偏差

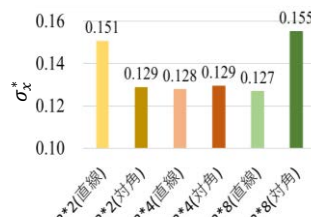


図-8 x 方向の標準偏差

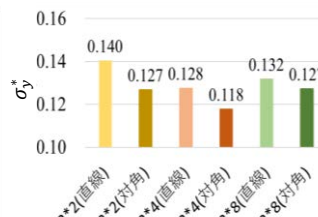


図-9 y 方向の標準偏差

るため、 y 方向に広がったと考えられる。また、評価基準と照らし合わせると2列4段の対角が x 方向と y 方向の標準偏差の和が0.247と最小となり、最適となった。

6. 結論

本研究の検討の結果、片側投下は落下地点が投下地点の真下より進行方向にずれるが、両側投下に比して標準偏差は小さくなることがわかった。このため、落下地点の平均座標を予測できれば片側投下の方が良いといえる。また、両側投下においては多様なケースで実験を行ったが、先行研究²⁾と同様に2列4段の対角投下が最適となった。さらに2列2段と2列4段は対角投下が良いが、2列8段では対角投下は進行方向の大きな運動量を衝突により相殺することができず直線投下より散らばることがわかった。

参考文献

- 1) 五明美智雄, 松田信彦, 浅沼丈夫, 関根信寛: 人工湧昇流マウンド造成のための捨石投入の管理と最適化, 海洋開発論文集, 第23巻, pp381-386, 2007.
- 2) 大野嘉典, 五明美智雄, 浅沼丈夫, 川口毅, 平田賢治: 人工湧昇流マウンド造成のためのブロック投入管理, 海洋開発論文集, 第20巻, pp935-940, 2004.