

防衛大学校 土木工学科 ○細谷 重仁・重村 利幸・林 建二郎 防衛庁第4研究所 喜納 淳

1. 序論

捨て石工事や漁礁の設置工事等を計画・施工する際には、水中における物体の落下挙動について十分な知見が要求される。特にこれら物体の投入または設置に際しては目標地点のまわりの散布や、着底時の偏角（回転角）等に関する情報が不可欠である。これらの情報をえるためにこれまで多くの実験的研究がなされ、理論的な解析が試みられてきた。Alger と Simmons(1968) は静止流体中で落下実験を行い、物体は最大投影面を落下方向に垂直に保ちながら（1）横滑り（2）傾斜 及び（3）回転運動を繰り返して落下することを見いだし、更にこれらの運動が物体の形状とレイノルズ数に支配されることを明らかにした。一方、箭内（1960）は砂やレキが静水中を落下する際に反転運動を繰り返すことに着目して確率的な取扱いを試み、粒子の散布が目標地点を平均値とし、水深と粒径の積の平方根に比例する標準偏差を持つ二項分布に従うことを明らかにした。更に、吉川ら（1977）は個別に投入された粒子の挙動について運動方程式をたて、粒子の移動量を確率変数として取り扱うことにより、散布量の予測を試みた。

しかしながら粒子の落下挙動や着底時の散布並びに偏角等に与える粒子投入時の入水角の影響に関する研究は余り多くない。そこで本研究ではこれらの点に着目して単一形状及び比重を有する模型を用いた基本的な静水落下実験を行うことにした。

2. 実験装置及び方法

実験は側壁及び底盤が透明な樹脂から出来ている縦 1.8m、横 1.1m、深さ 0.8m の水槽を用いて行った。水槽の中央部には模型に任意の入水角を与えて落下させることが出来る落下装置を設置した。同装置は模型を保持するための2枚のちょう板と、ちょう板の開閉を制御するための電磁石からなっており電磁石のスイッチを切ることによってちょう板が開放され模型が落下する仕組みになっている。

一方、水槽底の中央部には豊浦標準砂を敷き詰めて作成した 縦 40cm、横 40cm、深さ 5.5cm の床部模型を設置した。なお、同床部模型の表面直下にはメッシュ間隔 2.5cm のネットを設けてある。

表－1. 実験に用いた短円柱状模型の諸元

模型の名称	直径(cm)	高さ(cm)	比重	材質
No. 1	2.37	0.81	2.20	モルタル
No. 2	4.36	1.46	2.01	モルタル

表－1は実験に使用した短円柱模型の諸元を示す。

これら各模型の表面には中心を通過して互いに直交する4本の軸を描き各軸が模型の外縁と交わる点に時計回りに1から4番まで番号を付した。

水槽内には落下距離が 50cm になる様に水を入れ模型の入水角を 0° 、 15° 及び 30° に変えて実験を行うことにした。又、落下方法は各入水角の場合とも先に述べた4軸のいずれかを水槽長軸方向に合わせた後、25回落下させ、同様な操作を4方向についてそれぞれ行うことにした。各落下実験においては、目標からの変心座標 (x, y) 及び着底時の偏角 θ を測定した。又、模型の落下挙動は水槽側面を通してビデオに収録した。

3. 実験結果及び考察

(1) . 粒子レイノルズ数：表－2は模型の平均落下速度 $w(\text{cm/s})$ を用い Alger と Simmons らに習って算定した2種類の粒子レイノルズ数を示す。ここに、粒径 d_v は模型の体積と等しい体積を持つ球の直径を示し d_a は模型の表面積と等しい表面積を有する球の直径である。実験はこの様な水理条件の下で行った。

(2) . 模型の散布特性：図－1は入水角 θ_i が 15° の場合の両模型の落下地点を示す。図中、両軸の交点

表-2. 模型の落下速度及び粒子レイノルズ数

θ	模型 (No 1)			模型 (No 2)		
	w(cm/s)	Rev	Rea	w(cm/s)	Rev	Rea
0°	34.1	4945	5649	42.6	11317	13008
15°	34.3	4975	5682	43.1	11449	13160
30°	33.6	4873	5566	43.3	11503	13221
備考	$d_v(\text{cm})=1.90$ $d_a(\text{cm})=2.17$			$d_v(\text{cm})=3.48$ $d_a(\text{cm})=4.00$		

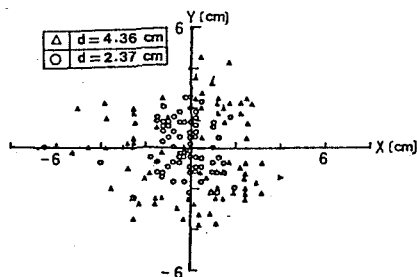


図-1. 模型の散布状況 ($\theta_i = 15^\circ$)

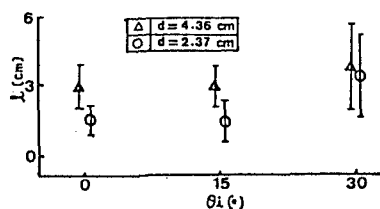


図-2. 平均距離 $\bar{d}$ と入水角 θ_i との関係

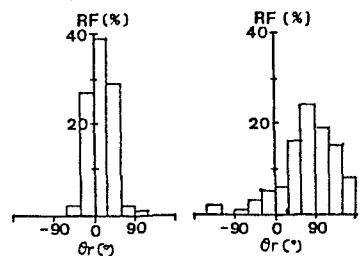


図-3. 偏角 θ_r の頻度分布 ($\theta_i = 15^\circ$)

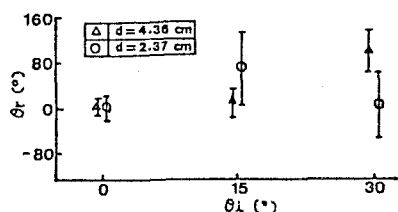


図-4. 偏角 θ_r と入水角 θ_i との関係

は落下目標点を示す。また、 θ_i は模型の y 軸正方向を持ち上げる形で与えた角度である。各 θ_i の場合における落下地点 (x_i, y_i) 及び落下地点から散布平均位置 ($\bar{x}, \bar{y}$) までの距離 d のデータについて統計解析を行った。図-2 は入射角 θ_i に対する平均距離 $\bar{d}$ と同標本偏差 σ の関係を示す。これらの解析から以下の諸点が明らかになった。

(a) 両模型の場合とも θ_i が 0° 及び 15° の場合には散布の平均位置 ($\bar{x}, \bar{y}$) は落下目標地点にほぼ一致し、模型はこの点を中心として同心円状に分布する。しかしながら、 θ_i が 30° の場合には ($\bar{x}, \bar{y}$) は落下目標地点から外れて、入水方向と反対方向に移動し、しかも同心円状の分布はくづれる。

(b) θ_i が 0° 及び 15° の場合には各落下点 (x_i, y_i) の平均位置 ($\bar{x}, \bar{y}$) からの標本偏差 σ_x, σ_y は大型模型の方が小型模型の場合より大きく、その比は模型の粒径比にほぼ等しい。ただし、 θ_i が 30° の場合には両模型の標本偏差はほぼ等しくなる。

(3). 着底時の模型の偏角 (回転角) 特性: 図-3 は θ_i が 15° の場合の偏角 θ_r の頻度分布を示す。ただし、 θ_r は x 軸を基準とし、反時計方向に測った角を正とした。各入水角の場合について同様なプロットを行った後、 θ_r のデータについて統計解析を行った。図-4 はその結果を示す。

これらの解析から以下の諸点が明らかになった。

(a). 模型1の場合には θ_r の平均値 $\bar{\theta}_r$ は θ_i が増大してもほぼ 10° 以下のものであるが模型2の場合には θ_i の増大にともなって $\bar{\theta}_r$ の値も増大する傾向がみられる。

(b). 両模型の場合とも $\bar{\theta}_r$ からの標本偏差 σ は入水角 θ_i が大きくなるにつれて増大する。

(c). 模型1の標本偏差 σ は模型2のそれに比して大きく、両者の比は入射角 θ_i が大きくなるにつれて増大する。

4. むすび

物体の静水中での落下挙動の内、特に落下時の散布特性及び偏角に与える入水角の影響について検討した。今後、物体の形状及び入水角の範囲を増やし、更に検討を進めて行きたい。