

発電放流水による粘着性堆積物の侵食に関する実験的考察

電源開発株式会社 正会員 ○萩原 陽一
電源開発株式会社 フェロー会員 喜多村 雄一

1. はじめに

火力発電所の建設計画では、発電冷却水の放水口設置地点での放水流による底質の巻き上がりによる影響に配慮する必要がある。特に、定期点検時には、放流水と取水口からの循環水の温度差が同程度になることから、放流水が浮上せず海底面に流れ込み、運転時よりも洗掘範囲が大きくなる可能性がある。このため、底質の巻き上がりに関する限界摩擦速度の評価が洗掘対策の実施範囲の決定に大きく影響する。

本実験は、放流水による巻き上がり現象についての限界摩擦速度を評価することを目的とし、火力発電所の放水口設置地点の海底表層の底泥を用いた土砂巻き上がりに関する水理模型実験結果を報告する。

2. 実験概要

本実験で使用した試料は、放水口設置地点にてグラブ採泥器を用い、原則底質表面から 30 cm 深さまでの底質を 3 回採取し、それらを混合したものである。図-1 に示した可変勾配水路内に模型を製作し、表-2 に示す含水比の異なる試料をあらかじめ水路に敷き均した。通水時に試料の巻き上がりが生じる流量を巻き上がりの限界流速として推定した。なお、可変勾配水路に仕切り板を設置し、 $B \times H \times L : 0.106 \times 0.03 \times 5.00\text{m}$ を実験範囲とした。図-2 は模型の横断面図を示しており、実験範囲として仕切った範囲に透水性ブロックを設置し、その上に試料を敷き均すことで、含水比の調整を行いやすいように工夫した。

3. 実験方法

3-1 実験手順

- 実験は、下記の手順で行った。表-1 は実験時の測定項目である。
- (1) 実験水路の所定の位置に試料を敷設した。底面表面は平滑に仕上げた。
 - (2) 底質試料区間の上流，中流，下流に濁度計器を設置した。
 - (3) 下流濁度計器よりも下流側の試料の一部を採取し、含水比を計測した。含水比は、試料の間隙状態による締固め状況の指標を表している。
 - (4) 実験水路に、100L/min ずつ増加させて 3 分間ずつ通水した。現地海底の間隙状態を確認できなかったため、表-2 に示す複数の異なる試料の間隙状態のケース分けを行った。実験ケース 1 は実験試料を攪拌せず水路に敷き並べた状態、ケース 2 は締め固まった含水比の小さい状態およびケース 3,4 は浮遊砂が自然沈降した状態を再現するため、水路に敷き並べた後水中で試料を攪拌した含水比が大きい（試料飽和状態での含水比 $w=179.0\% \sim 195.1\%$ ）状態を想定し、実験を行った。
 - (5) 各流量で濁度値、ビデオ撮影を連続的に記録・撮影をした。
 - (6) 実験終了後に、記録したビデオから水位を計測し、濁度計器の校正結果を用いて濁度値から SS および限界摩擦速度を算定した。また、目視で巻き上がり状況を確認した。

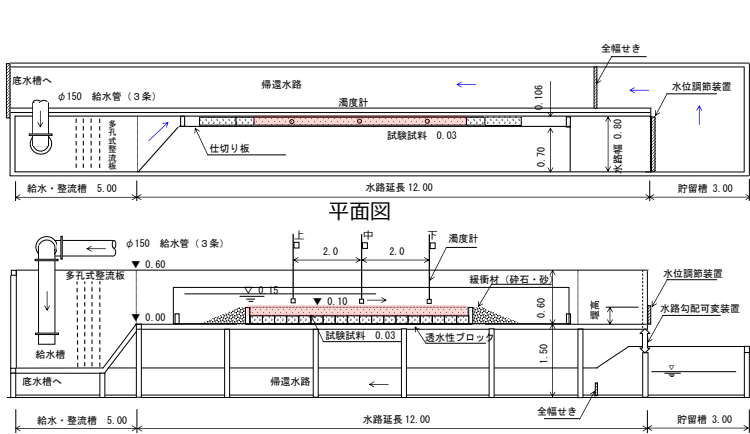


図-1 模型全体図（単位:m）

表-1 測定項目	
測定項目	測定機器
流量	電磁流量計
濁度	濁度計
流況	カメラ写真、ビデオ
水位	ビットメジャー
水温	水温計

表-2 実験ケース

	流量	試料の間隙状態	含水比(%)
ケース1	100~800L/min (平均流速0~0.8m/s) 段階的に上昇させる	試料を攪拌せず水中で1日静置した状態	179.0%
ケース2		放水後3日間程度気中静置、実験前日湛水した状態	155.0%
ケース3		攪拌後静水状態で1日間程度水中に静置した状態	188.3%
ケース4		攪拌後静水状態で6日間程度水中に静置した状態	195.1%

3-2 限界摩擦速度算定方法

巻き上げ限界摩擦速度と侵食速度の相関関係を把握する．自然海底を想定し，式(1)粗面の平均流速式¹⁾より摩擦速度を算定した．

$$\frac{v_m}{u_*} = 6.0 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{\kappa} \quad (1)$$

v_m ：平均流速 u_* ：摩擦速度 R ：径深 κ ：カルマン定数 (0.4)

図-2 は侵食速度の概念図を示している．侵食速度は，溶質・固体を問わず物質が巻き上がる速さを意味しており，単位は物質量／面積／時間で表される．これは，式(2)に示す水路に沿った2つの断面において測定されたSS濃度の勾配から，単位時間，単位面積あたりに侵食される土粒子の絶対体積に逆算し²⁾求めた．

$$E = \frac{\rho}{\rho_s} \cdot \frac{C(x + \Delta x) - C(x)}{\Delta x} \cdot \frac{Q}{B} \quad (2)$$

E ：堆積物の侵食速度 ρ ：水の密度 ρ_s ：土粒子密度 C ：SS x ：上流端からの距離

図-3 は侵食速度と限界摩擦速度の関係図を示しており，縦軸に侵食速度を，横軸に摩擦速度の二乗のグラフを表し，二点鎖線は実験結果の限界摩擦速度の幅を示している．本実験では，同じ流量で3分間濁度を計測しており，流量の不安定な最初の30秒間のデータは使用せず，以降30-60秒，60-120秒，120-180秒の3区分の平均値を濁度測定値とした．SS濃度勾配は，上-下流，中-下流の2区間において侵食速度を算出したため，3区分×2区間で合計6つの濁度測定値が算出され，その結果にばらつきが生じた．式(2)より濁度から導かれる侵食速度の値および図-3の侵食速度の値を参照することによって決定する限界摩擦速度にもばらつきが生じたので，そのばらつきの幅の平均値を限界摩擦速度とした．

4. 実験結果

流量が約300L/minからケース1, 3, 4で，実験試料が巻き上がり始めたことを目視で確認した．写真-1はケース3の下流の濁度計付近の巻き上がり状況を示しており，流量が300L/minでは，200L/minと比較し，赤点線に示す範囲に連続的に試料が巻き上がっている状態を確認した．よって，限界摩擦速度については，流量が300L/minでの侵食速度 $E=0.5E-5\text{cm/s}$ の時の摩擦速度の値を限界摩擦速度とした．図-3に整理したように巻き上がりが生じたケース1, 3, 4の侵食速度と摩擦速度の関係は同様の傾向であるが，そのうちケース3のSSが最も大きい値を示した．ケース3の限界摩擦速度はそのばらつきの幅の平均値より4.6cm/sと算出された．なお，ケース2では巻き上がりは生じなかった．

5. むすび

本実験では，放水口設置地点の海底表層の底泥を用いた土砂巻き上がり実験を実施することにより，放流水による巻き上がり現象についての限界摩擦速度を評価した．その結果，最も大きいSS値を示したのは，含水比($w=188\%$)のケース3であり，その限界摩擦速度は4.6cm/sと算出された．今後は，本実験結果を受け，洗掘対策を実施する対策範囲の決定を行うこととなる．

参考文献

- 1) 河村三郎.土砂水理学 1.森北出版株式会社,1982,339p.
- 2) 岩下修, 塩田洸, 喜多村雄一. 貯水池堆積物の侵食と濁質の流出機構について.電力土木,1988,93-103p.

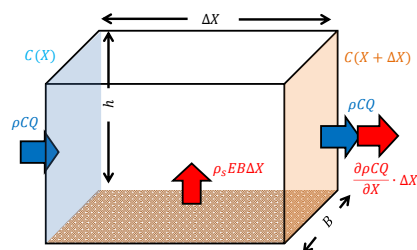


図-2 侵食速度概念図

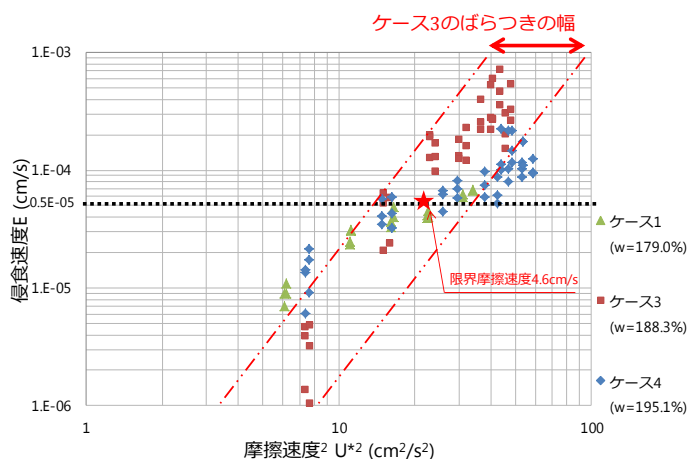


図-3 侵食速度と限界摩擦速度の関係図

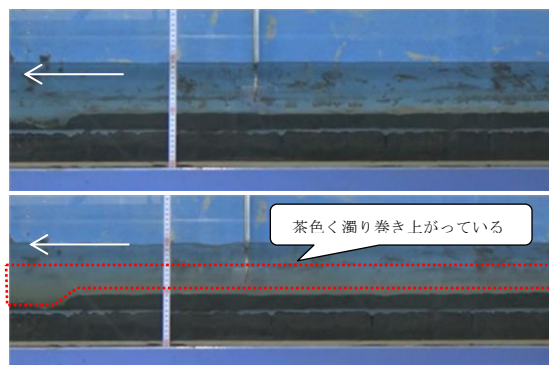


写真-1 ケース3巻き上がり状況
(上：Q=200L/min 下：Q=300L/min)