

高速で多量に流下する礫の運動機構

(株)東京建設コンサルタント

正会員 ○山下翔

中央大学研究開発機構

フェロー会員 福岡捷二

広島大学大学院

正会員 渡邊明英

清水建設(株)

正会員 篠原康寛

国土交通省江の川総合開発工事事務所

正会員 斉藤一正

1. 序論

現在、ダム堆砂対策の一つとして排砂バイパストンネルが検討されている¹⁾。しかし、排砂バイパストンネルは、コンクリート底面が多量の礫の流下により磨耗されるという問題を持っている。したがって、排砂トンネルの適切な設計、維持管理を行うためには、コンクリート底面の磨耗進展の機構と速度を明らかにする必要がある。既往の研究^{2),3)}では水路底面の磨耗進展機構が実験的に検討されてきた。しかし、磨耗の原因である礫の運動機構については十分に明らかにされていない。本研究では礫群の運動を詳細に測定することにより、礫群の力学的な挙動を解明することを目的とする。

2. 実験概要

(1) 実験水路概要と使用材料

実験水路の平面図を図-1に示す。上流端から21m~25mの区間の側壁は透明なアクリル板である。使用する礫は粒径20~120mmの河床材料であり、粒度構成は灰塚ダム周辺の河床材料の d_{60} と一致するように決定した(表-1)。

(2) 礫群の運動機構の調査方法

礫群の流送体積濃度は単粒子、礫体積濃度3.6%、5.7%の3通りである(表-2)。ここで、礫体積濃度とは水 1m^3 に占める礫の体積の割合を示す。粒径群別に着色された礫群が上流端に設置された礫供給用ホッパーから水路に供給される。表面流速測定のため、比重1.02、粒径14mmのトレーサーも同時に流下させる。礫体積濃度はホッパーの開度により調節される。水路上の台車に設置されたデジタルビデオカメラ(図-1)を用いて、流下する礫群を追跡撮影し、礫の三次元的な運動を記録した。得られた画像から運動を数値化し、1/30秒おきにトレーサー・礫の位置を求めた。これより、流速、礫の流下速度を整理し、礫群が流れに及ぼす影響を検討した。

3. 解析結果及び考察

(1) 礫混入による水深上昇量と流れの相当粗度

礫群を投入した時、表-2に示されるように、水深は増加した。水深上昇の原因が礫の投入による全体的な体積の増加にあるとすればCase1に比べて、Case2、Case3の水深は投入した礫体積の約5倍分となった。実験から断面平均流速と径深を用

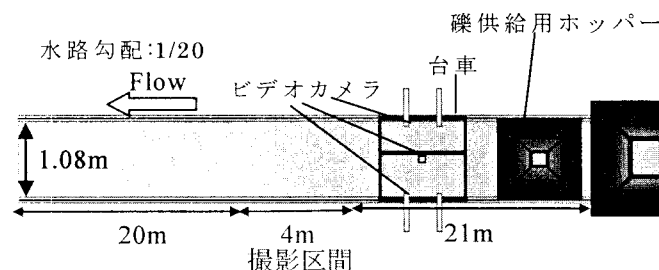


図-1 実験水路平面図

表-1 使用材料の粒度構成

粒径(mm)	20~30	30~40	40~60	60~90	90~120
体積割合(%)	30	20	18	21	11

表-2 case 別の水理量及び相当粗

	Case1	Case2	Case3
礫体積濃度(%)	単粒子	3.6	5.7
平均水深(cm)	20.6	22.9	24.4
断面平均流速(m/s)	3.71	3.28	2.9
相当粗度(cm)	0.31	0.88	2.11

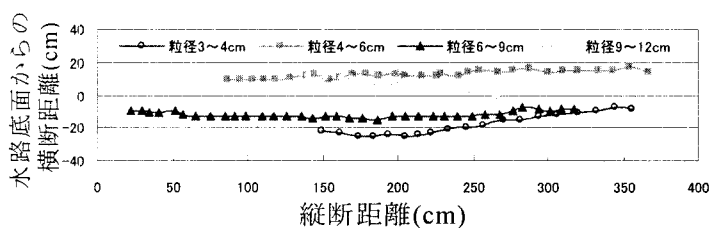


図-2 礫運動の軌跡(xy平面)

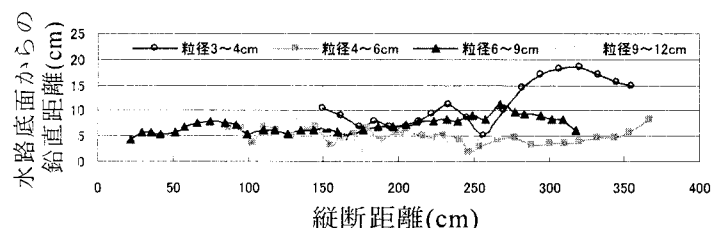


図-3 礫運動の軌跡(xz平面)

い、対数平均流速式から相当粗度を求めた。実験 case 別の水理量及び相当粗度を表-2 に示す。礫体積濃度が上昇すると、水深及び相当粗度は増加する。これは、礫群が流水への抵抗となり、流速の減少と水深の上昇がもたらされたものである。

(2) 礫運動の軌跡

Case3 における代表的な礫の軌跡を図-2、図-3 に示す。縦断方向の移動距離に比べて横断方向への移動量は小さいが、鉛直方向の運動の変化は大きい。転動と跳躍が混在した運動であることがわかる。用いた濃度では、礫同士の衝突頻度が少ないことが確認されていることから、主に、礫と底面との衝突が礫の流下運動に影響を与えているものと考えられる。

(3) 礫の流下速度と鉛直距離

各 case における時空間平均した礫の流下速度と礫体積濃度の関係を図-4 に示す。礫体積濃度が増加すると礫の流下速度は減少し、粒径に関わらず一様となる。礫の流下速度と底面からの鉛直距離の関係を図-5、図-6 に示す。case2 の場合、底面からの距離が大きくなるにつれて礫の流下速度にばらつきが見られる。これは、底面付近には大量に礫が存在するが、底面からの距離が大きくなるに従って存在する礫の個数が減少し、礫の運動の自由度が大きくなるためと考えられる。case3 の場合、底面からの距離に依存せず、礫の流下速度はほぼ一定である。これは case2 に比べ、礫の量が増加し、群をなして運動する領域が大きくなるためだと考えられる。以上のことより、礫群を流下させた場合、流水に大きな抵抗を与える、礫の速度がほぼ等しい礫が占める層が存在し、その厚さは礫体積濃度が増加するに従い、増加する。

4. 結論及び今後の課題

礫の流下運動は水路横断方向への移動量は少なく、鉛直方向には転動と跳躍が混在した運動である。礫群を流下させた時、水路底面付近に礫が群を成す層が形成され、その領域内では礫の移動速度は粒径に依存せずほぼ一様となる。礫体積濃度が上昇するにつれ、その層は厚くなり、礫群が流水に与える抵抗の範囲は広がる。

参考文献

- 1) 橋本徳昭：ダムにおける新たな土砂管理・環境保全技術，土木学会誌，2001。
- 2) 福岡捷二，渡邊高士，小林正幸，名尾耕司：多量の流送砂礫によるコンクリート製排砂水路底面の侵食，蛇行に関する実験的研究，河川技術に関する論文集，第 6 巻，pp363-368，2000。
- 3) 福岡捷二，篠原康寛，正木丈矢，重村一馬，藤堂正樹，岡田将治，斉藤一正：排砂水路底面の磨耗進展機構の実験的検討，水工学論文集，第 48 巻，pp1135-1140，2004。

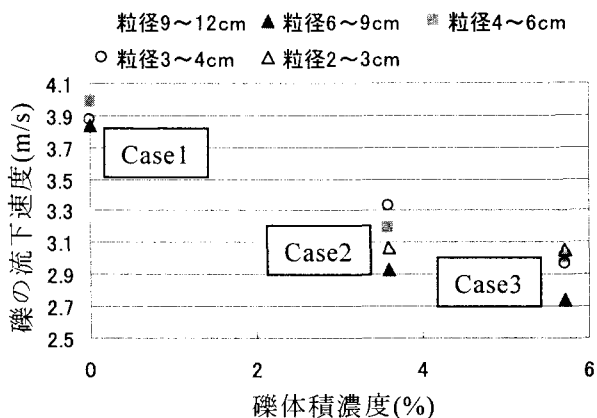


図-4 礫体積濃度と礫の流下速度の関係

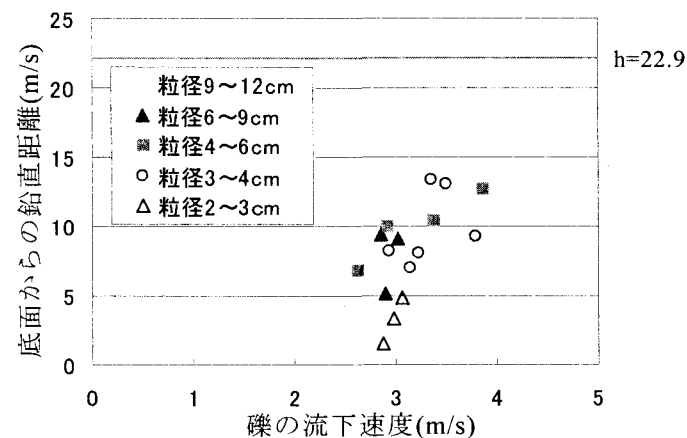


図-5 礫の流下速度と鉛直距離の関係(case2)

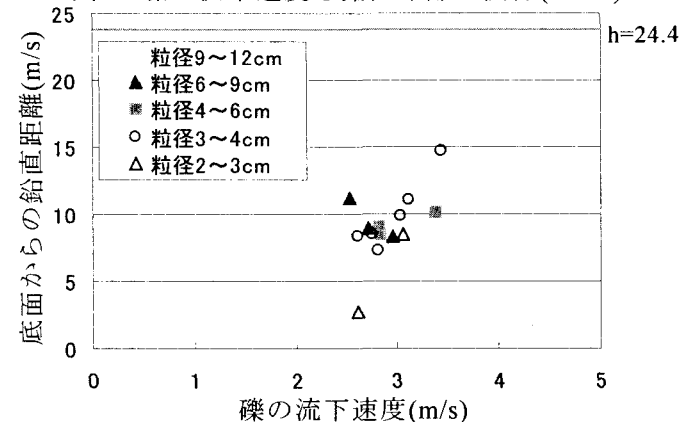


図-6 礫の流下速度と鉛直距離の関係(case3)