

II-146 気泡噴流を伴う管水路の流砂量増加に関する研究

早稲田大学 大学院 学生員 渡戸 正義
 東京急行電鉄(株) 正会員 平尾 政道
 早稲田大学 理工学部 正会員 吉川 秀夫

1. はじめに

管路による砂れきの輸送は、しゅんせつ輸送や廃さい等の輸送に用いられている。土砂を効率的に輸送する手段として、河床に設置した散気管から発生させた気泡噴流に伴う二次流によりせん断力を増加させる方法^{1),2)}が提案されているが、本研究はこれを管路に適用したものであり、下水道における汚泥堆積の防止策としても検討している。

本稿では、気泡噴流による二次流の特性と流砂量の変化とを、丹羽らが行った矩形断面開水路の場合との比較を交えて報告する。

2. 実験の概要

本研究では、主に次の二つの基礎実験を行った。まず、気泡噴流による循環流の特性を検討するために、内径1mmの散気孔を5cm間隔に設けた外径16mmの散気管を底部に設置した内径24cm、奥行き30cmの円形断面水槽を用い、トレーサとして水槽内に混入させたポリスチレン粒子の運動をビデオ解析することにより、循環流の速度分布測定を行った（実験Ⅰ）。実験条件は、表-1に示す通りである。

次に、実験Ⅰと同様の散気管を設置した内径25cm、全長20mの水平管水路を用い、これに粒径2mm、比重2.5のガラスビーズを平坦に敷き詰め、流砂量の変化に及ぼす散気の効果について検討した（実験Ⅱ）。実験条件は、表-2に示す通りである。

3. 静水中に生じさせた循環流の特性

図-1は、表-1に示した各CASEにおける循環流ベクトル図を示している。これより、水槽の中央部では上昇流、管壁に沿って下降流となるような循環流が生じていることがわかる。各CASEを比較すると、循環流ベクトルの大きさは水深に依存し、流体を循環させるための最適水深が存在することがわかる。また、水槽中央部付近における上昇流は図-2に示すようにその上昇速度 W が水平方向にガウス分布に従い、矩形断面の場合と同様の結果となった。ただし、 $W=W_{max}/2$ となる位置を示す半値幅 b と水槽の半幅 B との比である b/B は、CASE1では $b/B=0.28$ 、CASE2,3では $b/B=0.4$ となり、矩形断面における $b/B=0.17$ よりも大きな値となっている。これは、矩形断面より円形断面の方が循環に対する抵抗が小さいことを表し、その差は隅角の有無によって生じると考えられる。なお、CASE1,2に関しては、水面付近の水平流の速度 V が鉛直方向にガウス分布に従うことも確かめている。

表-1 静水中での実験条件

CASE	水深 (cm)	水深 管径	散気量 (cc/sec)
1	12	0.50	33.7
2	24	1.00	11.9
3 (矩形)	10	0.50	25.0

図-1は、表-1に示した各CASEにおける循環流ベクトル図を示している。これより、水槽の中央部では上昇流、管壁に沿って下降流となるような循環流が生じていることがわかる。各CASEを比較すると、循環流ベクトルの大きさは水深に依存し、流体を循環させるための最適水深が存在することがわかる。また、水槽中央部付近における上昇流は図-2に示すようにその上昇速度 W が水平方向にガウス分布に従い、矩形断面の場合と同様の結果となった。ただし、 $W=W_{max}/2$ となる位置を示す半値幅 b と水槽の半幅 B との比である b/B は、CASE1では $b/B=0.28$ 、CASE2,3では $b/B=0.4$ となり、矩形断面における $b/B=0.17$ よりも大きな値となっている。これは、矩形断面より円形断面の方が循環に対する抵抗が小さいことを表し、その差は隅角の有無によって生じると考えられる。なお、CASE1,2に関しては、水面付近の水平流の速度 V が鉛直方向にガウス分布に従うことも確かめている。

4. 流砂量に与える影響

実験Ⅱで得られた散気量 q_a の増加に伴う無次元流砂量 q_b^* の変化の特性を表したものが図-4である。この図より、散気により流砂量は著しく増加するが、その効果に限界があることがわかる。さらに、流砂量増加に対する散気の効果は明かにRUN2よりRUN1の方が大きい。これは、RUN2はすでに掃流が生じている流れであるのに対し、RUN1は限界掃流力付近の流れであるため二次流による速度変化、つまり、せん断力の増加が大きいためである。丹羽らの実験データと併せて検討すると、散気の効果は散気前の無次元せん断力 τ^* ($=U_*^2/(\rho_s/\rho_w-1)gd$) と流量に依存することがわかる。すなわち、限界掃流力以上では、 τ^* が小さいほど、また流量が大きいほど散気の影響を受け易い。これらの見知を踏まえた上で、管路と矩形断面開水路の散気による流砂量の増加率を比較する。図-4より散気量が10cc/sec 以下では片対数表示では直線分布とみ

なせるので、この傾きを比較すればよい。 τ^* がほぼ等しいRUN2とRUN3では、流量が少ないにもかかわらずRUN3の方が傾きが大きいことから、矩形断面の方が効率がよいことがわかる。この原因について検討したところ、次のような結論が得られた。流砂量増加の原因の一つとして、水路中央部では上昇流の影響により見かけ上重力が減じられる形となり、粒子が移動しやすくなることが挙げられるが、図-1よりわかるように矩形断面では底面付近における循環流ベクトルが広範囲に渡り鉛直上向きの成分を有しているため、粒子が移動し易く効率がよいと考えられる。

5. おわりに

本研究では、円形断面水路に散気を行った場合の循環流の特性及び流砂量の増加傾向を評価することができた。今後は、散気量や流砂量などの実験条件の幅を広げ、詳細な検討を加えるとともに、流水中における流れの内部構造を解明し、土砂を最も効率よく流送させる条件について検討していきたい。

参考文献

- 1) 関根・丹羽・吉川ほか：流水中の気泡上昇に伴う流砂量の増加に関する研究，第32回水理講演会論文集，1988
- 2) 丹羽・吉川ら：気泡上昇に伴う流れの内部構造に関する研究，第43回年次学術講演会概要集，1988

表-2 流水中での実験条件

RUN	CASE	流量 (l/sec)	散気量 (cc/sec)	動水勾配
1	1	14.2	0.00	1/1379
	2		6.09	1/1060
	4		17.30	1/963
2	1	20.9	0.00	1/659
	2		6.09	1/553
	4		17.30	1/467
(3 矩形)	1	10.3	0.00	1/385
	2		9.59	1/308
	4		25.00	1/230

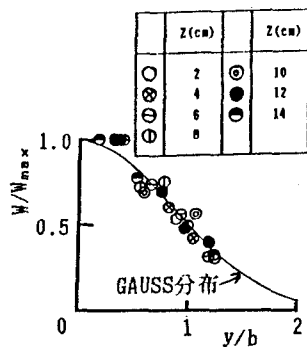
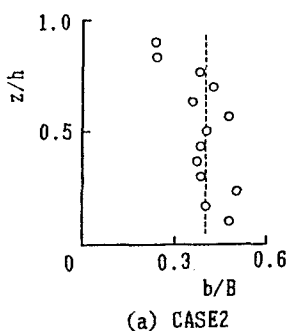
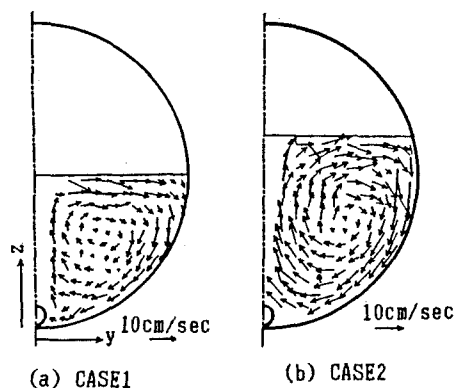


図-2 上昇流の水平方向分布図(CASE2)

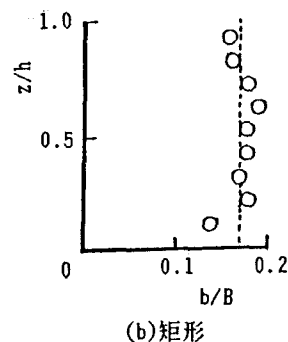
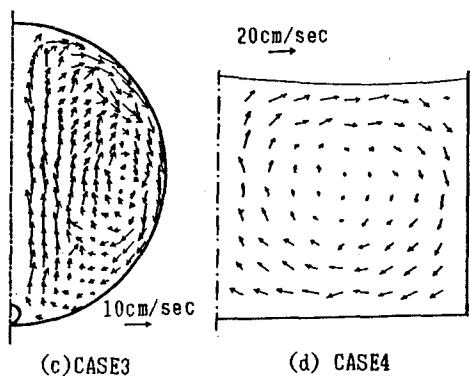


図-3 上昇流の半値幅

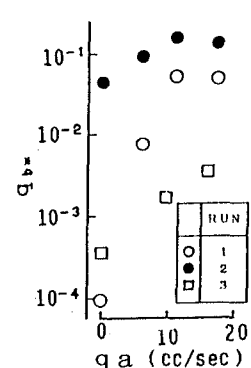


図-4 流砂量変化

図-1 静水中での二次流ベクトル図