

II-269 高水敷に樹木を有する複断面流れの 土砂輸送について

東京大学大学院 学生員 佐野 良久
東京大学工学部 正員 中井 正則

1. まえがき

複断面開水路流れは低水路と高水敷との流れからなり、それらの流れはお互いに干渉し合う。すなわち、低水路と高水敷との接合部付近にせん断不安定により大規模な渦が発生し、横断方向に運動量が輸送される現象が生じている。移動床流れの場合には、この渦に基づく上昇流によって低水路床上の砂が高水敷に持ち上げられる。また、実際の複断面河道においては高水敷上に樹木群が存在する場合が多く、樹木群が浮遊砂の高水敷への乗り上げに重要な役割を果たしていると思われる。

そこで、本研究では高水敷上の樹木群が浮遊砂の高水敷への乗り上げならびに横断方向の輸送に及ぼす影響を水理学的な観点から実験的に調べた。

2. 実験

実験には、長さ25m、幅1m、高さ60cmの直線水路（水路床勾配 $I = 1/350$ ）を用い、幅20cm、高さ4.8cmの高水敷を水路の両側に設けた。樹木には、直径2.8cmの釘を用い、高水敷上に2cm間隔で格子状に並べた。樹木群の配列は流下方向に2列、4列および10列の3通りとした（図1、参考文献1）参照）。

実験方法は以下のとおりである。50%粒径が0.15mmのケイ砂を低水路床に約1.5cmの厚さに敷き、樹木群が存在する領域でほぼ等流の条件の下で3～4時間通水した。通水後に高水敷上の砂の堆積位置を調べ、さらに砂を掃き出して、電子天秤により重量を計測して堆積率を求めた。実験条件を表1に示す。ただし、 H 、 h はそれぞれ低水路および高水敷の水深(cm)、 Q は流量(l/s)である。

3. 実験結果

最初に、例としてRUN SD-2の通水（3時間）後の堆積状況を図2に示す。同図より、低水路から乗り上げた浮遊砂は接合部から2列目の樹木のまわりに集中的に堆積し、そのほかの領域にはほとんど堆積しないことがわかる。

つぎに、表1に示した6ケースの場合について浮遊砂の堆積位置と流下方向単位幅当りの堆積率 q' の結果を樹木の列数との関係でそれぞれ図3と図4に示す。図3より、樹木の列数が2列、4列、10列と増加するにしたがって高水敷上での浮遊砂の堆積位置が接合部側に近づくことがわかる。なお、同図においては、高水敷上での水深 h による区別は行っていないが、これは水深による浮遊砂の堆積位置の変化がほとんど見られなかったためである。また、同図には菅・玉井²⁾の樹木が存在しない場合の結果も示してあるが、その場合には浮遊砂が高水敷上においてかなりの範囲にわたって堆積するのに対して、本実験結果は前述のようにいずれも狭い領域に集中的に堆積していることが確認される。一方、図4より、浮遊砂の堆積率 q' は樹木が4列の場合が最も大きいこと、樹木の列数2列、4列、10列のいずれの場合にも樹木が存在しない場合の結果（菅・玉井²⁾）より大幅に大きいこと、また樹木の列数にかかわらず $h = 2\text{cm}$ の場合の堆積率が $h = 5\text{cm}$ の

表 1

	$h(\text{cm})$	$H(\text{cm})$	$Q(\text{l/s})$
SC-2	2.1	6.9	9.8
SC-5	5.0	9.8	16.1
SD-2	2.0	6.8	9.8
SD-5	5.2	9.9	16.6
SE-2	2.1	6.9	9.8
SE-5	5.2	10.0	16.8

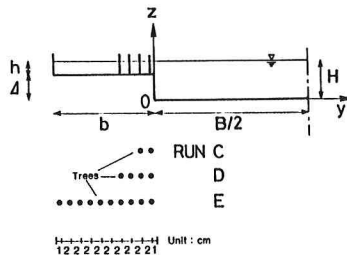


図 1

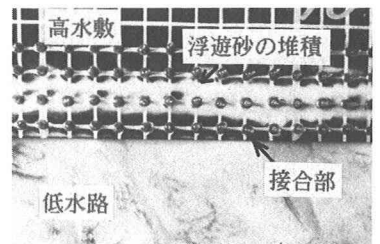


図 2

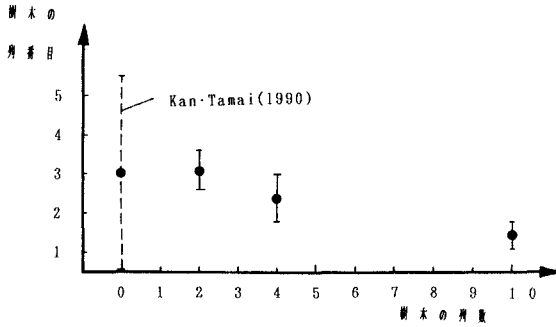


図3

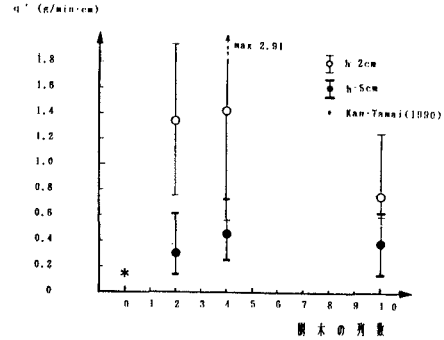


図4

場合の2～4倍の値を示していることが理解される。

4. 考察

図3、4の結果について簡単に考察し、浮遊砂輸送のメカニズムを探ってみることを試みる。低水路床上の砂粒子は境界層内の強い乱れによって水路床から巻き上げられ、大規模渦のstretchingにともなう上昇流によって水面近くまで持ち上げられる。持ち上げられた砂粒子は横断方向に輸送されて高水数内に乗り上げる。このときの横断方向の輸送を瞬間的な流れに注目して流体力学的に厳密にみれば、大規模渦による巻き込みは移流（大きいスケールの輸送）と考えるのが妥当である。一方、渦が通過しない時間、領域での相対的に弱いReynolds応力による輸送（小さいスケールの輸送）を拡散としてとらえる。さらに断面内に2次流が発生するが、これについては小さいスケールの移流と考える。以上の3つの輸送により運動量輸送をとらえ浮遊砂の輸送について考察する。

樹木が2列の場合には低水路と高水数との流速差が小さく、樹木が存在しない場合とあまり変わらない強さの渦、すなわち相対的に弱い渦が形成される。一方、樹木が10列の場合には低水路と高水数との速度差が大きく強い渦が形成される。すなわち、樹木の列数が多いほど渦による移流は強くなると考えられる。しかし、前述のように樹木の列数が少ない方が浮遊砂が高水数の奥側（側壁側）に堆積することより、この浮遊砂の横断方向の輸送は大規模渦による横断方向の移流が支配的とは考えられない。一方、小さいスケールの輸送については以下のようなものである。高水数上の主流方向の平均流速は樹木の列数が少ないほど大きくなるので、Reynolds応力ならびに2次流の絶対値も樹木の列数が少ないほど大きくなり、横断方向の小さいスケールの輸送が活発になる。以上より、水面付近まで持ち上げられた浮遊砂の高水数内への輸送にはReynolds応力ならびに2次流による小さいスケールの輸送が大きく貢献していると考えられる。

浮遊砂の堆積率については、高水数内に堆積した砂は掃流によっても浮遊によってもほとんど移動しないことより、大規模渦によって低水路から持ち上げられる量と直接関連していると思われる。このことより、樹木が10列の場合の方が2列の場合より強い渦が形成されているので浮遊砂の堆積率が大きいと考えられるが、図4の結果では $h=2\text{cm}$ の場合に逆転している。この理由についてはいまのところ明かではない。また、樹木が4列の場合には樹木の切れ目（側壁側）にも接合側の渦と反対向きの渦が形成されるために樹木の切れ目（側壁側）から樹木群の中心へ向かう逆向きの浮遊砂輸送もある。この2方向の浮遊砂輸送が存在するために樹木が4列の場合が浮遊砂の堆積率が最も大きくなると考えられる。ちなみに、2列目の樹木付近はこの2列の渦の接点にあたり、この位置に浮遊砂が集中的に堆積するのは妥当と思われる。

謝辞

実験に際しまして、御協力いただきました芝浦工業大学 菅 和利助教授、野崎一郎君、濱谷 拓君に謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐野ほか：水工学論文集第35巻、pp.483-488、1991。
- 2) 菅・玉井：土木学会第45回年次学術講演会概要集第2部、pp.362-363、1990。