

審査の結果の要旨

氏名 ヘンドラ ラムダニ

蛇行河川沿いの氾濫原に位置する都市の場合、洪水による河道変化がもたらす被害は甚大である。そのため、蛇行河川の動態を把握し、河道の安定性を保つことは河川管理上喫緊の課題である。そのため、多くの既往研究が存在するが、これによれば、河岸・河床材料、川幅水深比および蛇行度によって蛇行河川は三種類（Type1～3）に分類でき、それぞれに特徴的な河川地形が見られるとされる。しかし、実際には既往研究の分類に当てはまらない河道も多い。そこで、日本及び東南アジアでの現地調査を通じて、主に（河岸満杯流量下での）川幅水深比に注目し、河岸と河床の関係やそれらが蛇行特性に及ぼす影響を分析し、蛇行河川を分類し直した。そして河岸・河床材料が川幅水深比に及ぼす影響について、河岸侵食過程を取り込んだシミュレーションを用いた検討を行った。

まず河床材料に着目した結果、時折砂利の混じる粗砂中心、細砂中心、シルト粘土の粘着性土中心の三種類の河道に分類でき、流域地質との対応関係を示した。一方河岸材料は、シルト粘土の粘着性土のものとそれ以外の二種類に分類でき、シルト粘土の割合が日本と東南アジアで大きく異なる一方、砂だけに注目した粒度組成はどの河川でもほぼ同じであった。また、河岸満杯流量流下時の摩擦速度の自乗は河川の規模や地域によらずほぼ一定 $0.02(\text{m/s})^2$ であり、平均年最大流量下で同様の値になるとした山本の成果が、より細粒の土砂からなる東南アジアの河道にも当てはまることを示した。これらのことから、河岸を形成する浮遊砂の粒度組成は河川間で大きく変わらず、そうした材料が浮遊する水理量となるように断面形状が決まると推察した。

次に川幅水深比に着目して蛇行河道を分類すれば、Type1は15未満、Type3は40以上、Type2がその中間とするのが妥当であり、蛇行度はType1が1.5以上、Type3が1.5未満と対応した。これらは既往研究の知見とも一致する。しかしType2の蛇行度は多様で、1.5以上のType2bと1.5未満のType2aにわけることが必要であった。なお、蛇行波長や曲率半径に関しては、Type1では河道によらずほぼ一定で小さいものの、Type2では川幅水深比と蛇行波長及び曲率半径が対応していることから、Type2の蛇行には川幅に応じた規模の砂州形成が影響し

ていると考えられ、水理量から想定される地形も **Scroll bar** であった。しかし、**2a** と **2b** の蛇行度の差は別の要因が考えられる。一方、既往研究で重要視されたシルト粘土割合に注目すると、**Type1** は高く (**M** 値 (重み付きシルト粘土割合) は粘着性を有するとされる 20 以上)、**Type3** は低い (**M** 値は粘着性のない 20 未満) もの、**Type2** は多様で、既往研究で示された **M** 値と川幅水深比や蛇行度との間の明瞭な傾向は確認できなかった。ここからもシルト粘土割合だけで河道形状が決まらないことがわかる。一方、**Type1** は河岸河床共にシルト・粘土からなり、**Type3** は河岸河床共に細砂からなるのに対し、**Type2** は河岸河床共に **Type1** 同様であるものに加え、河岸が粘着質で河床が細砂であったり、河岸が細砂で河床が砂利混じり粗砂であったりと、河床と河岸で材料が異なる河道が多いことがわかった。すなわち **Type2** には、**Type1** 同様の粒径からなる河道に加え、**Type3** に粗粒の河床材料が加わったものや、**Type1** の河床材料のシルト粘土割合が低くなったものが存在した。なお、古地図の分析からは、**Type2a** の内、河岸材料のシルト粘土割合が小さな河道は、かつて **Type2b** であった河道が直線化されたものであることもわかった。

そこで、**Type2a** と **Type2b** の違いを探るべく、**ICHARM Bank Erosion Model** に粘性を有する河岸の侵食過程を取り込んだものを用い、急勾配の上流が **Type2b**、緩勾配の下流が **Type2a** である **Cimanuk** 川の条件で計算を行い、河岸や河床の粒度を変更しつつ、河道の応答を分析した。その結果、下流側の条件で、河床材料をシルトから細砂に変更した場合、浮遊するシルト粘土割合が少なくなると河岸が構成できず、川幅は若干広くなった。一方、河岸材料のシルト粘土割合を下げると、侵食された河岸材料が河床に堆積し、川幅水深比が大きくなった。これらより、**Type1** に比して河岸や河床のシルト粘土割合が小さいと、川幅水深比の大きな **Type2** となるが、河岸のシルト粘土割合は比較的高いために河道が安定し、最終的に **Type2a** になると推測された。ただし、**Sangkae** 川のように河床も河岸もシルト粘土割合が高い河道が **Type2a** となる理由は今後の課題である。上流側の条件では **braided channel** の見られる **Type3** になりやすいものの、河床に砂利が含まれると川幅水深比が小さくなり **Type2b** となることは、現地調査結果や既往研究より示唆された。一方、今回シミュレーションの対象とした **Cimanuk** 川のように、河床材料は **Type3** と変わらないものの河岸に占めるシルト粘土割合が大きい場合、**Type3** より狭い河道に **Scroll bar** が形成されて河道が不安定になり、蛇行度の高い **Type2b** になることも示した。

このように、河床・河岸材料の組み合わせと川幅水深比のデータ分析及びシミュレーションを用いて新たな分類を提案し、河道の維持管理に示唆を与える内容であり、河道の動態解明と工学的対処法を示したことに新規性が認められる。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。