

II-198 河川の平面形状と河床形態の共鳴現象に関する移動床蛇行水路実験

北海道開発局開発土木研究所 正 員 鳥谷部寿人・渡邊 康玄・清水 康行
北海道大学工学部 正 員 長谷川和義 学生員 中村 健作

1. はじめに

本研究は、河川の平面形状と河床形態の共鳴現象を明らかにするための移動床水理模型実験を実施し、どのような水理条件においてどの程度の共鳴現象が発生するのかを明らかにするとともに、既往の理論的研究結果の適用性を把握し、さらにこの結果得られる情報を護岸や根固め工の設計のために応用可能な図表に整理することを目的としている。

2. 実験の概要

2-1 実験条件の設定

実験水路の平面形状は、Langbein-Leopold⁶⁾によって概ね実河川の平面形状を表すとされている Sine-generated Curve の式 (1) を用いる。ここで、 θ ；水路蛇行角、 θ_0 ；水路の最大蛇行角、 $\tilde{L}$ ；水路の蛇行波長、 $\tilde{S}$ ；水路中心線に沿った距離である。式 (1) よりそれぞれ $(\tilde{B}/\tilde{r}_0) = \nu$ 、 $(\tilde{L}/\tilde{B})(1/2\pi) = 1/\lambda$ と定義することができる。すなわち、河道の平面形状を表す $\tilde{L}$ と θ_0 は無次元パラメータ λ, ν によって表すことができる。 λ を無次元蛇行波数、 ν を川幅曲率半径比と呼ぶ。

砂州の発生に関しては、従来の理論的研究等から河幅水深比 $\beta (= \tilde{B}/\tilde{D}_0)$ が支配パラメータであると言われている。ここで、 $\tilde{D}_0$ ；平均水深である。したがって、本研究では λ, ν, β の3つのパラメータに着目し、実験を行うこととした。

典型的な交互砂州形状を得るため、黒木・岸⁴⁾、木下・三輪⁵⁾による領域区分図を参考に水理条件を定め、上記のパラメータの値を決定した。図-1, 2 は、それぞれの領域区分図に今回の実験条件をプロットしたものである。case*-1 は非砂州実験、case*-2, 3, 4 は砂州実験を想定している。また、case1-* および case10-*, case11-* は、砂州が移動すると想定される水路形状、case2-*, case3-*, case4-*, case5-*, case6-*, case7-*, case8-*, case9-* は、砂州が移動しないと想定される水路形状である。なお、実験スケールとして水深が河床材料の粒径に比べて小さいため、中規模河床形態と小規模河床形態とが混在する事は望ましくない。本研究においては小規模河床形態の発生しづらい条件の中で実験を行う必要がある。小規模河床形態の領域区分については従来より実測値に基づいた領域区分図が提案されており、本研究では一般的な芦田・道上らの $\tau_* \sim \tilde{D}_0/\tilde{d}_s$ で表される区分図を用いるとともに、掃流力 τ_* が限界掃流力 $\tau_{*c} = 0.05$ より大きくなるように条件を設定することとした。また、一般に河川では常流の流れであることからフルード数が1未満となるように配慮することとした。さらに、道内主要河川における川幅水深比 β は概ね 5~40 の間にあり、本研究の結果と道内主要河川の洗掘状況との比較を行うため、この範囲に β が納まるように考慮している。これらの諸条件の範囲にあり、かつ河床材料に対し粘性の影響を受けない様十分な水深がとれるよう式 (2) の抵抗則を用いて水深を定めることとした。ここで、 $\tilde{u}_*$ ；摩擦速度、 $\tilde{u}$ ；平均流速である。

$$\theta = \theta_0 \sin \left(\frac{2\pi}{\tilde{L}} \tilde{S} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\tilde{u}_*^2}{\tilde{u}^2} = \frac{1}{\{6 + 2.5 \ln(\frac{\tilde{D}_0}{2.5d_s})\}^2} \quad (2)$$

以上の条件を満たし、振幅が実験架台に納まるように水路形状および水理量を与えた。直線水路および λ の異なる蛇行水路 10 本を用い、それぞれ β について 4 ケース、合計 44 ケースの実験を行った。なお、本報告では $\nu=0.10$ について報告する。用いた河床材料は、粒径 0.5mm の珪砂である。本来、河床材料粒径についてもその影響を考慮する必要があるが、本研究において無次元粒径 $ds = d_s/\tilde{D}_0$ が各ケースでオーダー的にそれほど差が無いことから、河床材料の粒径の現象に対する影響は無視することが可能であり、本研究では考慮していない。

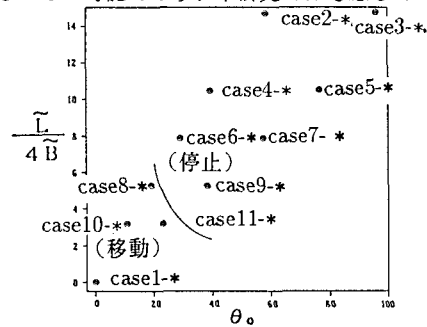
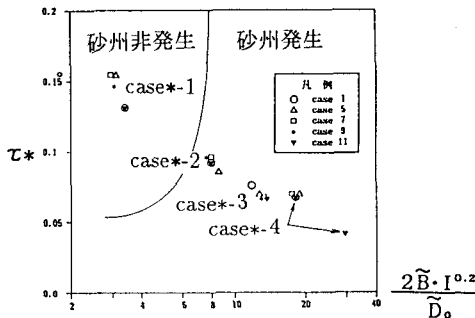


図-1 黒木・岸の領域区分による本研究の実験条件

図-2 木下・三輪の領域区分による本研究の実験条件

2-2. 実験結果

各蛇行実験の最深河床の縦断変化を示したものが図-3 である。なお、縦軸は、平均河床からの堆積量（洗掘された場合符号は負となる）を平均水深で無次元化した値であり、横軸は、流下距離を水路 1/2 蛇行波長で無次元化した値である（原点は、水路の蛇行の変曲点とした）。また、各断面の平均河床高についても併記した。非砂州実験である case*-1 は、水路の曲頂部で洗掘が大きく、変曲部で洗掘が小さい傾向を示し、河床形状が水路の

平面形状に依存していることが読み取れる。また、砂州実験においても、砂州が固定しかつ砂州波長と水路の蛇行波長がほぼ等しくなった case9-2,3,4 および case7-2,3 においても水路の蛇行形状に大きく依存していることがわかる。一方、砂州波長と水路の蛇行波長が異なる結果となった case11-2,3,4、case7-4 および case5-2,3,4 については水路曲頂部において洗堀が大きくなる傾向があるものの水路の蛇行形状とは関係なく洗堀が生じていることが確認された。また、case 5-2,3,4 については、図-2 において砂州が固定すると判断された実験条件であるが、砂州の移動が確認されており砂州の移動が蛇行角のみで決定されず蛇行波長にも依存するとした清水ら³⁾の研究結果を裏付ける結果となった。

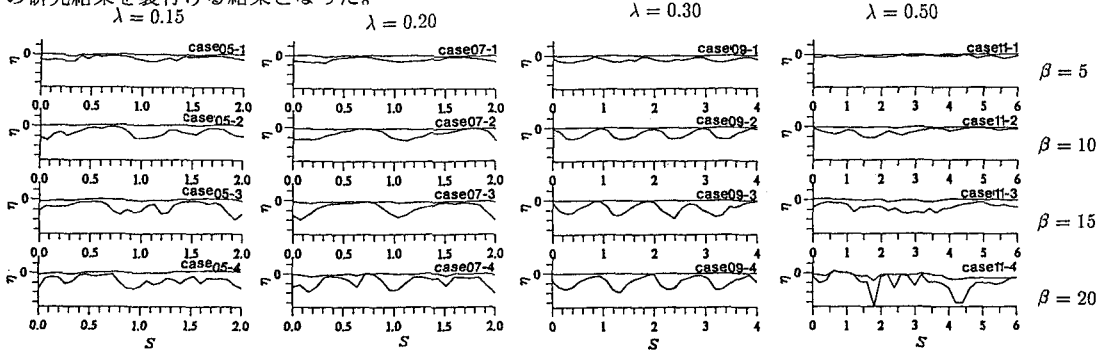
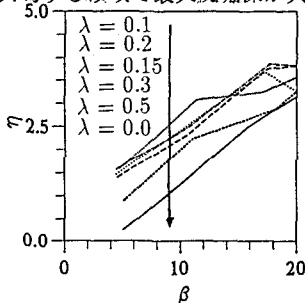
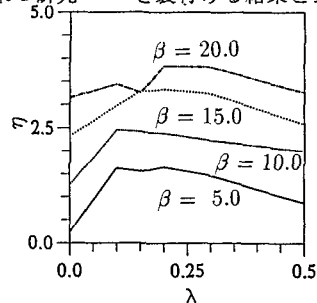


図-3 各実験の最深河床高縦断変化

3. 河床洗堀の規模

無次元河床洗堀深 η の最大値が河幅水深比 β でどのように変化するかを、無次元蛇行波数 λ をパラメータにとり示したものが図-4である。全ての λ について、 β の増加とともに η が増加しており、河床洗堀深も砂州発生 of 支配パラメータである β に大きく依存していることがわかる。また、図-4の値を基に内挿して、 β をパラメータにとり無次元河床洗堀深 η の最大値が水路蛇行形状を表す無次元蛇行波数 λ によってどのように変化するかを示したものが、図-5である。どの β についても λ が0.15~0.30の範囲で最大値を示す曲線で表され、 β が大きくなるほど洗堀深が大きい方に曲線が平行移動した結果となった。 λ が0.15~0.30の範囲の実験は、砂州波長と水路蛇行長が一致した実験であり、砂州と水路の平面形状の共鳴すると考えられる条件である。すなわち、砂州と水路の平面形状の共鳴する領域で最大洗堀深が大きくなるという従来の研究^{1),2),3)}を裏付ける結果となった。

図-4 最大無次元河床洗堀深と β との関係図-5 最大無次元河床洗堀深と λ との関係

4. おわりに

砂州と水路蛇行形状の共鳴に関する系統的な実験を行った結果、以下の事項が明らかになった。1) 砂州の移動・停止に関して、水路蛇行角のみでは決定されず、砂州波長と蛇行波長との関係についても考慮する必要がある。2) 砂州と水路の蛇行が共存する場合、極めて大きな洗堀を受けることが確認された。3) 無次元最大洗堀深は、河幅水深比 β の増加とともに大きくなる傾向を示し、ある特定の無次元蛇行波数 λ において最大値を示す。4) 同じ河幅曲率半径比の場合、無次元蛇行波数の増加とともに、河床形状に与える影響は水路蛇行形状の影響から砂州の影響が支配的になっていくと考えられる。

今後の課題としては、河床洗堀が最も大きくなると考えられる共鳴現象が生起する条件について、この近傍の水理条件の実験を追加し、より詳しく発生の形態について解明していく必要がある。また、今回考慮しなかった v および d_s の異なるケースについても実験を行い、これらによる特性も調べる必要がある。

＜参考文献＞

- 1) Blondeaux, P. and G. Seminara; A unified bar-bend theory of river meanders, J. Fluid Mech., 157, 1985.
- 2) Parker, G. and H. Johannesson; Observation on several recent theories of resonance and overdeepening, River Meandering, AGU Monograph No. 12, 1989.
- 3) 清水康行、Marco Tubino、渡邊康玄; 自由砂州と固定砂州の共鳴条件における河床変動計算、水工学論文第36巻、1992.
- 4) 黒木幹男、岸力; 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文集、第342号、1984.
- 5) 木下良作、三輪式; 砂礫堆が安定する河道の平面形状、土木学会第29回年次学術講演会、1974.
- 6) Leopold, L. B. and M. G. Wolman; River channel patterns, Braided, Meandering and Straight, Geological Survey Professional Paper, 282-B, 1957.
- 7) 芦田和夫、道上正規; 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、土木学会論文報告集、第206号、1972.