

II-250

共振条件を含む系統蛇行実験における洗掘河床形状の空間的振動解析

北海道大学工学部 学生員 中村 健作
北海道大学工学部 正 員 長谷川和義

北海道開発局 正 員 鳥谷部寿人
北海道開発局 正 員 清水 康行
北海道開発局 正 員 渡邊 康玄

1. はじめに

近年、蛇行流路において交互砂州と流路の湾曲効果が一致したときの、いわゆる共振状態に関心が集まっている。本稿は北海道開発局開発土木研究所で行われた移動床蛇行水路実験のデータ^{1)~3)}をもとに、共振状態を含む河床形状の特性を波数解析ならびに線形河床洗掘理論の立場から検討したものである。

2. 線形河床洗掘式による検討

2-1. Parkerの方程式系の理論解と実験値の比較

Parkerら⁴⁾の流速に関する線形解析を、蛇行洗掘形状に関して導き直すと

$$\eta_{Fb}'' + K_1 \eta_{Fb}' + K_2 \eta_{Fb} = E_1 \cos \phi + E_2 \sin \phi \quad (1)$$

ただし、

$$K_1 = \frac{r \left\{ M_1 + 1 - \frac{P_1}{2P} (M_1 - 1) + \frac{\pi^2 \Gamma}{8P} \right\}}{\frac{r^2}{2P} (M_1 + 1)}, \quad K_2 = \frac{\frac{\pi^2}{4} \Gamma}{\frac{r^2}{2P} (M_1 + 1)}, \quad E_1 = \frac{8}{\pi^2} \frac{D_1 + \frac{r}{2P} D_2}{\frac{r^2}{2P} (M_1 + 1)}, \quad E_2 = \frac{8}{\pi^2} \frac{D_2 - \frac{r}{2P} D_1}{\frac{r^2}{2P} (M_1 + 1)}$$

なる空間振動方程式が得られる。これを解いて湾曲による洗掘深を加えると、解が

$$\eta_B = \Psi_0 \sqrt{\left(\frac{\pi^2}{8} A \right)^2 + \frac{E_1^2 + E_2^2}{K_1^2 + (K_2 - 1)^2}} - \frac{\pi^2}{4} A \sqrt{\frac{E_1^2 + E_2^2}{K_1^2 + (K_2 - 1)^2}} \cos \phi_1 \quad (2)$$

$$\times \sin(\phi + \phi_2) \sin \frac{\pi}{2} n$$

のように求まる(使用記号の詳細は講演時に説明する)。

図1~図4は、(1,1)の波の振幅成分 A_{11} を式(2)と比較したものである。理論上の真の共振条件($K_1=0$)に近いRun*-3($B/H=30$)のシリーズで、理論振幅が無限大になっていることが分かる。しかし、実験値は $r_{r,s}$ を中心に山形の分布を示しているものの、その振幅最大値は1程度にとどまっている。一方、非砂州条件($K_1>0$)にあるRun*-1($B/H=10$)では、理論振幅がほとんど山形を示さないにもかかわらず実測値はきれいな山形を描いており、その最大値はやはり1に近い。理論上非砂州に近いRun*-2($B/H=20$)、および砂州発達条件($K_1<0$)となるRun*-4($B/H=40$)においては、理論ピークと実測ピークが一致し振幅値も近いものとなっている。総じて ϕ_0 が大きい(曲率半径が小さい)場合の両者の一致の度合いが良く、非砂州条件時よりも砂州条件時の方が適合している。また、理論線のピークの位置と実験値のピークの位置はほぼ合致している。以上のように、線形理論が有効性を発揮するのはピーク波長の推定においてであり、空間的振動方程式の性質を反映して K_1 の与えられ方次第でピーク波長のずれていく様子がうまく表現されている。 $K_1 \neq 0$ の場合は、厳密な意味では共振と呼ばないが、この場合にも洗掘のピークが現れることは実際上重要であり、与えられた水理条件のもとで最も危険になる蛇行波長を予測することは意味があろう。

2-2. 長谷川の理論解と実験値の比較

長谷川⁵⁾は、Parkerらの研究に先立って上述のものと同様の線形解を得ている。ただし、Parker理論で省略されている $\partial v / \partial s$ を残しているが、Galerkin法による近似解法が用いられているなど内容的に異なるところがある。また2次流表現に違いがある。 $\partial v / \partial s$ を省略するParkerらの方法では砂州の卓越波長が現れない等の問題が生じているので、比較のために長谷川解による検討も行ってみた。解は結果的に次の形で与えられる。 $i=j=1$ の場合に、

$$\eta_B = \sqrt{\frac{K^2 + \Lambda^2}{\kappa^2 + \lambda^2}} \cos \{ \omega(s - \sigma) \} \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} n \right) \quad (3)$$

この解法では η_B を直接求めているために、式(2)に見られるような空間振動の性質を直接明らかにできない。また、 A_{11} が ω の高次項を含むため、これを満たす ω を解析的に導くのは難しい。したがって、ここでは ω を直接横軸にとって式(3)の振幅を実験値と比較する。図5~図8にこれらの結果を

示す。共振状態がRun*-2($B/H=20.0$)において現れている。また、Parkerモデルと逆に砂州条件の場合よりも非砂州条件の場合の方が実験値に適合しているほか、全体的に理論線のピークの位置が実験値のピークの位置のやや左側（ ω の小さい方）にきている。砂州の最大成長率に関係する項を含む同次項の存在が、Run*-4のような砂州発達条件下のケースに対して振幅を増大させるように働くのではないかと予想したが、結果は逆になっている。非線形効果の考察が必要である。

3. まとめ

- ① (1,1)波の無次元振幅は $L/B=10\sim 23$ の範囲で0.8～1.0の値を示す。それ以外では小さな値を示す。
- ② 線形理論においては共振状態が明瞭に現れるが、対応する実験値の振幅は他の条件下のものとほとんど変わらない。この現象は非線形効果によるところが大きい。
- ③ 線形理論における空間的振動方程式の減衰項が同一の場合、真の共振条件（減衰項=0）以外の場合にも振幅は山形を持って分布する。
- ④ 減衰項は、砂州領域区分パラメータと密接に関係しており、これが変化すると共にピーク波長が移動する。
- ⑤ 振幅成分の大きさは、Parkerの理論解よりも長谷川の理論解の方が実験値に適合するが、ピークの位置は、長谷川の理論解よりもParkerの理論解の方が実験値に適合する。

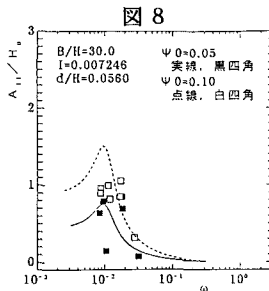
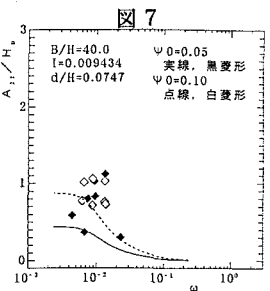
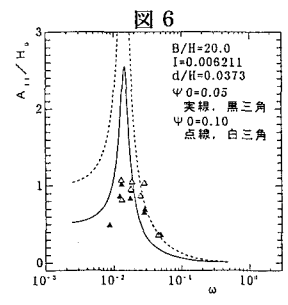
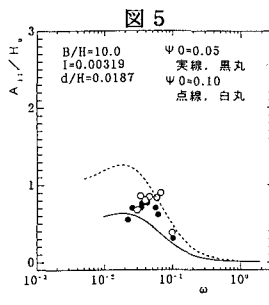
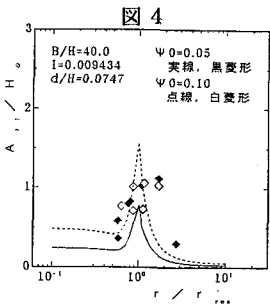
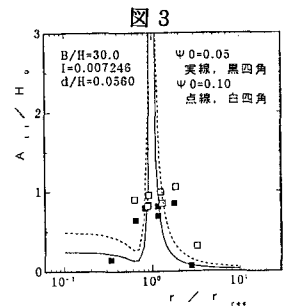
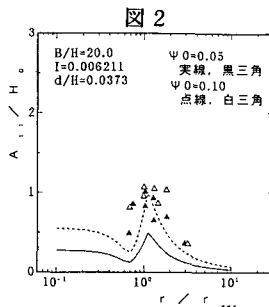
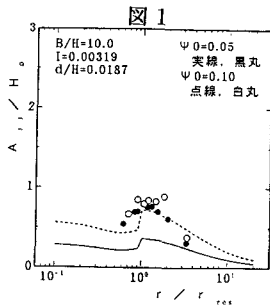


図1～図4

Parkerの理論解と
実験値との比較

図5～図8

長谷川の理論解と
実験値との比較

参考文献

- (1)長谷川、中村、清水、渡邊、鳥谷部：土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993.
- (2)鳥谷部、渡邊、清水、長谷川、中村：土木学会北海道支部論文報告集、第49号、1993.
- (3)長谷川、中村、鳥谷部、渡邊、清水：土木学会第48回年次学術講演会講演概要集1993.
- (4)Parker, M. and. Johansson: AGU WATER RESOURCES MONOGRAPH 12, River Meandering, 1989.
- (5)長谷川和義：北海道大学学位論文1983.