

建設省土木研究所 正員 馬場洋二

弯曲部における流砂の特異な運動については定性的には各所で論じられているが、その運動と弯曲部の河床形成との関係についてはまだ不明の所が多い。しかし河道計画に際して度々、弯曲部内岸の堆積の時間的進行度や堆積場所・規模の予測が要求される。このような場合弯曲部内岸側の堆積現象を予測するの一歩として、弯曲部内における掃流砂や浮遊砂の運動機構について調べる必要がある。

1. 考察 弯曲部での掃流砂の詳細な運動機構については、既に芦田博²⁾が先駆的実験を行ない検討を加えられている。芦田²⁾は実用的な意味で、Rozovski¹⁾の与えた流速分布より得られる(1)式の関係が成立することも確かめ、また同式による砂礫堆の境界線の計算を試みられている⁴⁾。

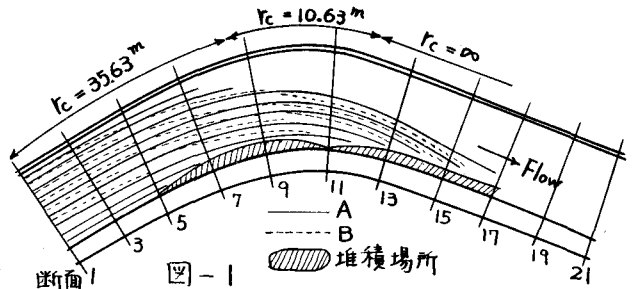
$$\tan \varphi = \frac{V_{rb}}{V_{ob}} = D \frac{r}{r} \quad \text{---- (1)} \quad \frac{gt_c}{U_m^2} \log \frac{r+a}{r_0+a} = D \cdot \theta \quad \text{---- (2)}$$

ここに φ は流線と接線とのなる角度で r は水深、 r_0 は流線の曲率半径および D は定数である。 V_{rb} 、 V_{ob} はそれぞれ流砂のある付近の高土の半径、接線方向流速成分である。同式により底面付近の流線で、従って掃流砂の移動速度が V_{rb} 、 V_{ob} に比例するものと仮定すれば掃流砂の運動経路をも計算できる。通常の円柱座標をとり、等流状態では $\tan \varphi = V_{rb}/V_{ob} = dr/r d\theta$ とできるから、例えば $r = r_1 + (r-r_1)U_m^2/gt_c$ （一様流速分布 U_m 仮定、 r_1 :内岸水深、 r_1, r_0 :内岸および水路中心線の曲率半径、 g :重力加速度）と考えれば、河床面付近の流線および掃流砂の経路の式は(2)式のようなになる。ここに $a = r_1 + gt_c r_1/U_m^2$ で、 r_0 は弯曲始端での流線の半径あるいは種々定数である。(2)式は流線の半径 r が漸減する曲線を表わし、また自由渦や強制渦等の仮定に対しても同様に簡単に計算できる。

2. 実験および結果 実験は大型河川模型の一部で掃流砂の経路を求める実験をA、B、2ケース行なった。A実験は掃流砂の経路を河床に残すために、河床に一樣にしかも密に粗度石を置いた。粗度石は直径7~8mmで間隔20mmの格子状に水路の弯曲に沿わせておき、できるだけ一様に2次流に影響を与えるようにした。B実験では粗度石を除き、予め弯曲始端の横断方向に前記粗度石を20mm間隔に並列し、流れにより粗度石の後方に発達するwakeの跡の方向に、縦断的に20mm間隔で更に粗度石を投入して後流の跡を強調した。砂の流送経路は、こうして河床に残った砂の帯状の筋の中央部を測定して求めた。水路は平面的にみて弯曲始端と終端とを決め、巾35~43mm、長さ約20mm、半径は図-1に示す様に2つの円弧を組み合わせた砂状で、断面はほぼ矩型(計画断面)でモルタル製である。流量は391ℓ/sの等流、水深は約34mm、平均粒径0.21mmの石炭粉(φ=1.5)を掃流材料に用いた。両実験とも実験開始前に^(石炭粉を)弯曲部上流に敷きつめておいた。A実験では8時間、Bでは4時間通水した。通水後河床に残された石炭粉の筋の中央を測定して求めたのが図-1 流線図である。同図にはA、Bの測定結果を同時に示した。B実験の場合後流を長くせずに、上流部、中央部および下流部の縦断的に3つの正円に分けておいた。

3. 検討 図-1に示す石炭粉の筋をそのまま石炭粉の流送経路と考えるのは問題があるが、集团的でしかも巨視的な意味ではそう考える事が許されるであろう。またA実験の場合、流線は粗度石によって若干矯正される事は免れない。各流線はA、B実験とも水路中心より一様に偏向しており、

(2)式に示す傾向と一致ししかも芦田らの実験結果と部分的には一致する。外岸側の筋が途中で消えているのは、その地質から湾曲に近い状態で流送されたものであり、他方内岸側の筋が消えているのは、堆積部内にはり、筋を識別できぬからである。内岸の2ヶ



所の初期堆積には浮遊砂の沈降によるものが相当含まれているが、石炭粉の径路がその中には入っているから、掃流砂も堆積していると考えられる。断面11~15の石炭粉の径路が集中している様な場所は、単位中流能力以上に供給される部分が堆積し始めるであろう。このような実験により使用砂の粒径と適当に選べば湾曲部の堆積・洗掘の境界線はかなり明確にできる。図-1より各流線について $\Delta r/L$ ($\equiv dr/d\theta$) の縦断的变化を調べてみたが(図省略)、湾曲中央でB実験の値が大きい以外には、データは $\Delta r/L = 0 \sim 0.1$ の間で不規則にバラつき、また半径方向の変化も顕著でなくその傾向を把握できなかった。次に図-3, 4は縦軸に流線の湾曲始端(図-1の断面I)からの総偏移距離、横軸に縦断距離をとってプロットしたもので、無次元化していない。

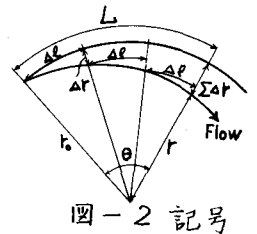
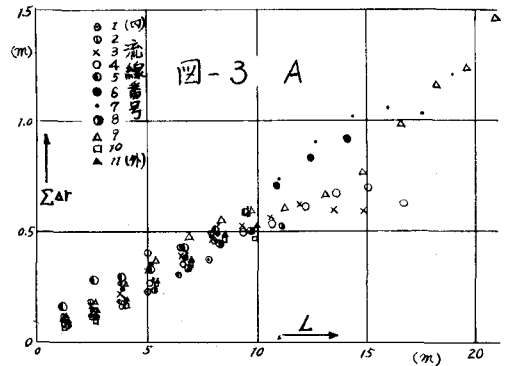


図-3(A実験)では各流線にもそれぞれ直線的な傾向があり、11個の流線の平均勾配は $\Delta r/L$ の図(略)の平均値に大略一致する。図-4(B実験)の場合には湾曲中央部のデータ(●印)が上下流に比べて少し大きく、大きい偏向を受けている様である。これらのデータより、この湾曲部の場合、多くても3つの小区間に分けた1区内では $\Sigma(\Delta r) \sim L$ の関係はほぼ直線的であるを見る事ができる。この湾曲部では r が大でしかも湾曲偏角が比較的小だから $L \approx \Sigma(\Delta r)$ と考え、またこの小区内では $\Delta r/L \approx \text{const.}$ と仮定すれば



$$\Sigma(\Delta r)/L \approx \Sigma(\Delta r)/\Sigma(\Delta r) \approx \Delta r/L = v_{rb}/v_{ob} = \text{const.}$$
となる。この時小区内の流線径路は $r/r_o = \exp\left\{\frac{v_{rb}}{v_{ob}} \theta\right\}$ で示される。ここに v_{rb} は負の値をとり、A実験では $v_{rb}/v_{ob} = -0.06$ 、B実験では中央部で -0.12 、上下流で -0.074 程度であった。これは(1)式で $R = \text{const.}$ に相当する。

4. まとめ 大型水路実験で掃流砂の進行径路を求め、河道計画断面初期の土砂堆積現象がある程度明らかとなった。今後定半径湾曲部での実験で無次元化の方向を考え、堆積が進行した後での取り扱いおよび外岸の洗掘と内岸の堆積の同時現象について追究したいと考えている。参考文献 1) 吉川「河川工学」朝倉書店 2) 芦田「堀見「水路における砂礫堆の水理特性について」京大防災研年報、第9号 昭和41年 3) 芦田・村本・坂本「湾曲水路における河床変動に関する研究」第22回年次学術講演会講演概要282(4)前出 2)

