

建設省土木研究所 阿部宗平、○ 福本見久
建設技術研究所 中村淳治

はじめに

弯曲部は直線部に比べて、護岸基礎部の洗掘や水位上昇による護岸越水等の災害を受けやすいので、流路工の護岸法線は極力直線となるように計画することと望ましいといわれている。しかし、実際に流路工の法線を計画する場合に弯曲部を設けざるを得ない場合も多い。弯曲部の護岸災害を防止するために、護岸の根入れを深くするか、根固工を施す等の対策がとられているが、局所洗掘は著しく、施工や工事費の兼ねいから局所洗掘に対して安全な護岸の根入れの確保が困難であったり、根固工の維持に問題の生じる恐れのある場合等は局所洗掘を低減する対策工が必要となる。本実験的研究は、①弯曲部に床固工を設置し、床固工に角度をつけることによって流水を整流し局所洗掘を低減させる、②帯工に袖を設置して護岸沿いで局所洗掘を低減させる、③二次流を減勢して局所洗掘を低減させるべし等の局所洗掘防止対策工について検討しているもので、ここにいくつかの知見を得たので報告する。

1 実験の概要

実験に使用した水路は、幅4.5mでR=4.5m、 $\theta = 60^\circ$ の弯曲水路で、上下流に7mの直線水路を接続させている。河床は移動床で、河床勾配は1/100で水路上流端より初期河床勾配を維持する量を定めた。河床材料は図-1に示すような $d_m = 2.1$ mmの混合粒径砂を用いた。弯曲流入部における水理条件は、河幅水深比 $B/H_m = 58$ 、無次元化掃流力 $\alpha = 0.58$ 、フルード数 $F_r = 2.96$ での単列砂礫堆形成領域の実験である。

2 対策工についての実験的考察

2.1 無施設での河床変化

単列砂礫堆形成領域³⁾においては内弯側に砂州が固定され、最大洗掘深は弯曲部の始点を基準におよそ40°の位置で生じるのに対して、単列砂礫堆を形成する本実験($B/H_m = 58$)においては砂礫堆が移動して、最大洗掘深は、図-2に示すように弯曲部の終点付近に生じて、弯曲部終点より下流の直線部での洗掘深が大きい。各々の断面について通水初期河床高に對する洗掘深と堆積深を求め、これを平

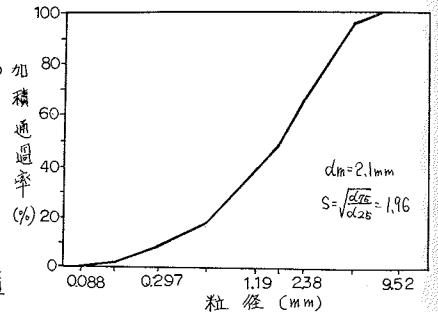


図-1 実験使用砂粒度分布加積曲線

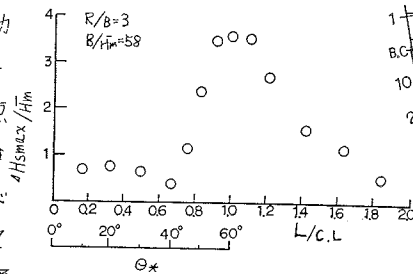


図-2 最大洗掘深の縦断変化(無施設)

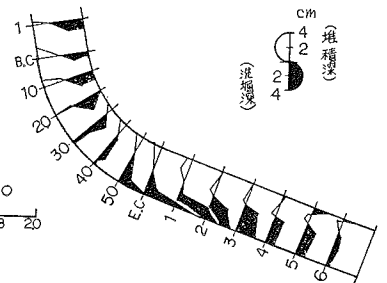


図-3 河床の平面変化(無施設)

面的に表示して図-3に示した。図-3より弯曲流入部においては内弯側で洗掘されていることわかる。

2.2 床固工の位置と方向

床固工は弯曲始点より 30° の位置及び 45° の位置に設置して、各々の床固工について図-4に示すように水路中心線に対して $\alpha = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$ の角度をつけて、床固工の位置、角度の違いが流向と河床変化に与える影響を検討した。

1) $\theta_* = 30^\circ$ の位置に床固工を設置した場合で $\alpha = 10^\circ$ の角度をつけた場合は、 $\alpha = 0^\circ$ と同様に内弯側に砂洲を形成して主流は外弯側に集中する。これに対して $\alpha = 15^\circ$ の場合に流水は整流されて主流は $\alpha = 10^\circ$ の場合のように外弯側に集中することはない。また、流路内では複列状の砂線堆を形成する。

2) $\theta_* = 45^\circ$ の位置に床固工を設置した場合は床固工に $\alpha = 10^\circ$ の角度をつけると流水は整流できる。

3) 各実験ケースごとの測定断面における外弯側の洗掘深の縦断変化を図-5と図-6に示した。図-5は $\theta_* = 30^\circ$ の位置に、図-6は $\theta_* = 45^\circ$ の位置に床固工を設置した場合で、床固工の角度の違いによって河床かどのように変化するかを比較して示している。図-5及び図-6より、床固工の角度が大きくなる程外弯側での洗掘深は小さくなっていて、いずれの場合においても $\alpha = 15^\circ$ の場合に最も洗掘深が小さいことわかる。また、 $\alpha = 15^\circ$ の場合に床固工の位置を変化させても洗掘深はほとんど変わらない。

2.3 帯工と帯工の袖

直線水路で複断面的な河道を形成するのに効果的な袖の形状⁴⁾を有する帯工を弯曲始点、中央($\theta = 30^\circ$)、弯曲終点に設置した場合に外弯側の洗掘深などのように小さくなるかを検討した。弯曲部の上下流の直線部の帯工は、弯曲始点B.C及び弯曲終点E.Cを基準に流路幅の2倍の間隔に設置した。帯工には図-7に示す $B/B_0 = 0.6$, $V/H_m = 0.6$ の袖をつけている。ここで H_m は袖のない状態での等流水深である。非砂線堆形成領域において弯曲部に帯工を設置する場合は、河床の変化を図-8に示すように、帯工を設置しても、無施設と同じ区間での洗掘が著しく、特に帯工の直上流では流水の直撃を受けて洗掘が大きいことわかる。これに対して単列砂線堆形成領域に帯工を設置

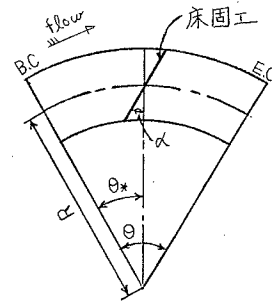


図-4 床固工の位置、角度

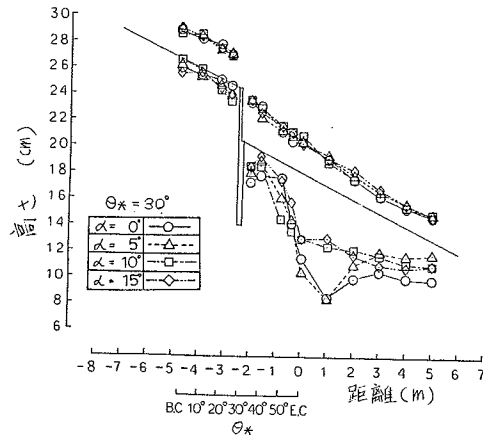


図-5 外弯側の水位・河床高の縦断変化 ($\theta_* = 30^\circ$)

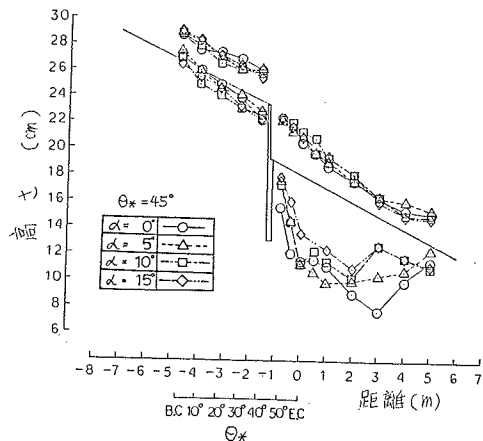


図-6 外弯側の水位・河床高の縦断変化 ($\theta_* = 45^\circ$)

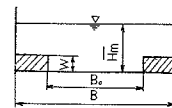


図-7 袖の形状

した場合の河床の変化を図-9に示しているが、図-9からみるように弯曲終点に設置した帯工の前庭部の局所洗掘の大きいことを除くと無施設の場合に比べて洗掘深は小さくなり、さらに帯工に袖を設置すると洗掘深は小さくなっていて、帯工及び帯工の袖の効果の大きいことがわかる。

図-9で袖の有無による水面形状を比較しているが、洗掘深の減少量に比べて袖の影響による水位の上昇量は小さいことがわかる。

2.4 ベーン

流れには、その流下方向の主流の外に横断方向の流れである副流、すなわち二次流が存在することから起きている。特に弯曲部においては二次流の発達が顕著で、外弯側で局所洗掘を発生させる原因となる。二次流を減勢して局所洗掘を低減させる対策工としてベーンが考えられ、急勾配河川で河幅・水深比の小さい ($B/H_m > 12$) 条件での「ベーンに関する実験的研究」によって、ベーンの有効性やベーン的设计手法に関する考察がなされている。ベーンを概念図-10に示した、本実験では、このようなベーンを単列砂碲堆積領域に適用してその効果を検討している。ベーンの設定条件は、これまでの研究成果¹⁾に基づいて決めた。すなわち、ベーンの高さは弯曲流入部における平均水深 H_m に同じで、ベーンの間隔は、 $l/H_m = 2.4$ 、 $l/H_m = 0.5$ 、設置角度 α は図-11に示すように水路の接続方向から $\pm 20^\circ$ の範囲で変化させた実験である。ここに、図-10のベーンを概念図に示すように、 l はベーン設置間隔、 l_0 は1個のベーンの長さ、 $\sum l_0$ は1個のベーンの長さの和、 C は曲線長である。

ベーンの設定角度 α と初期河床高からの洗掘深の最大値 H_{smax} の関係を図-12に示した。図-12よりベーンの設定角度が洗掘深に与える影響は、 B/H_m によって異なっていて、 B/H_m が小さい ($B/H_m = 7$) 場合には、ベーンの設定角度が水路の接続方向に対して $-10^\circ \sim -15^\circ$ のときに最も洗掘深が小さく効果的だといえる。これに対して B/H_m が大きい ($B/H_m = 58$) 場合のベーンは十の方向に角度をつけて設置する方が効果的

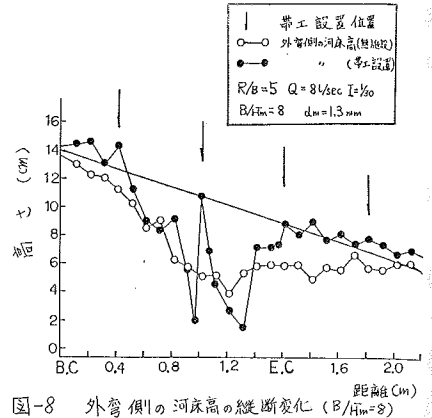


図-8 外弯側の河床高の縦断変化 ($B/H_m=8$)

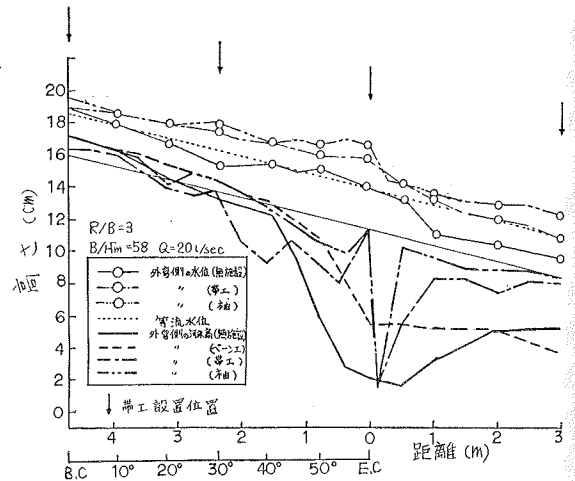


図-9 外弯側の水位・河床高の縦断変化 ($B/H_m=58$)

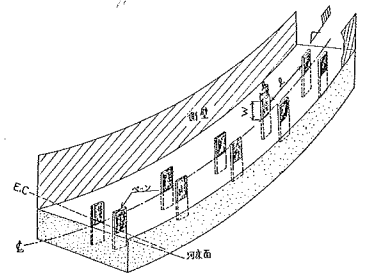


図-10 ベーン工の概念図

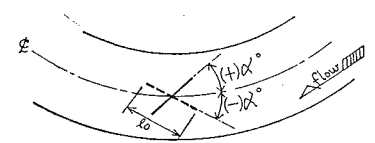


図-11 ベーンの仰角

であって、この場合にはオッドガード¹⁾の理論や実験と同じ結果が得られている。

2-5 局所洗掘深の比較

対策工によって局所洗掘深がどのように変化するかを無施設の場合の局所洗掘深に対して示すと図-9のようになる。

図-9より無施設の場合の洗掘深に比べて最も洗掘深が小さいのは帯工に袖を設置した場合であり、ベーン工の場合には帯工よりも洗掘深が大きいことかわかる。一方、ベーン工の効果に関する実験的研究²⁾で $B/H_m > 10$ の非砂礫堆形成領域にお

いて、帯工では洗掘深を小さくすることはできないが、ベーン工は洗掘深を小さくする効果の大きいことわなっている。このことは洗掘深を低減する対策工の効果は水理条件によって異なることを示している。

3. まとめ

弯曲始点より $\theta_m = 30^\circ$ の位置に床固工を設置し、床固工に $\alpha = 15^\circ$ の角度をつけると流水は整流されて外弯側の局所洗掘深を低減できる効果のあることわかった。本実験では弯曲部に床固工を基礎設置した場合の実験であるので、今後は弯曲部の下流を含めて、洗掘深をより低減するのに最も効果的の床固工の設置位置の検討が必要である。局所洗掘防止対策工としての帯工やベーン工の効果は水理条件によって異なることわかった。本実験によって非砂礫堆形成領域においてはベーン工か、単列砂礫堆形成領域においては帯工が効果的だとの一応の結論を得たが水理条件による適用範囲を明確にすることは今後の課題として残された。

参考文献

- 1) 阿部宗平, 鈴木浩之; 流路工における弯曲部の局所洗掘防止対策に関する実験的考察 - ベーン工の効果 -, 土木技術資料 vol.25-12, 1983
- 2) 阿部宗平, 鈴木浩之; 流路工弯曲部におけるベーンの配置と形状に関する実験的考察, 土木技術資料 vol.27-2, 1985
- 3) 阿部宗平, 鈴木浩之; 流路工の弯曲部に関する実験的考察, 土木技術資料 vol.25-3, 1983
- 4) 阿部宗平, 福本晃久; 流路工における横工の袖の形状に関する実験的考察 昭和60年度砂防学会概要集
- 5) Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F.; Analysis of Sacramento River Bend Flows and Development of a New Method for Bank Protection, IIHR Report No.241, 1982
- 6) Odgaard, A.J. and Kennedy, J.F.; River Bend Bank Protection by Submerged Vanes, ASCE, vol.109, HY8, 1983

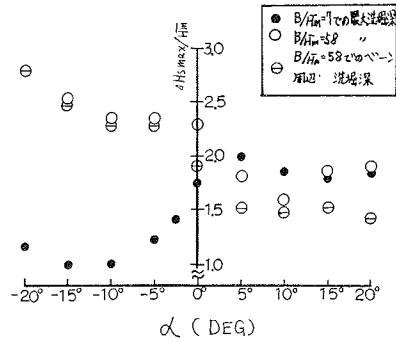


図-12 α と H_{smax}/H_m の関係