

II-138 不透水制の抵抗特性について (2)

京都大学防災研究所 正員 今本博健
京都大学大学院 学生員 池野秀嗣

本報告は、水制の水理機能を解明するための基礎として、固定床の様な水路に多数個設置された不透水制を対象とし、越流時および非越流時のそれぞれについて、抵抗特性と水制長、水制高、水制幅および左右兩岸における水制配列の対称性との関係を実験的に検討しようとするものである。実験装置および方法は既報¹⁾と同様であって、実験水路としては長さ13m、幅40cm、路床こう配1/500の直線水路が、また水制モデルとしては長さ4cm、一辺1.6cmの真ちゅう角材を組み合わせた90組のものが用いられている。

1. 不透水制の抵抗表示

流れの抵抗を表示する方法としては、一般に、Darcy-Weisbachの摩擦損失係数などの抵抗係数、ChézyあるいはManningなどの経験係数、および砂粒粗度の概念を拡張した相当砂粒粗度によるものなどが用いられる。いま、長さ $l=12\text{cm}$ 、高さ $h=1.6\text{cm}$ の水制が一定純間隔 $c=14.4\text{cm}$ ごとに対称に並べられた場合を取り上げ、種々の流量と水深との関係から、摩擦損失係数 f 、Manningの粗度係数 n および相当砂粒粗度 k_s を求め、径深・水制高比 R/h との関係として示すと図-1~3のようになる。ここに有効流水断面算定における路床面の選定基準については不明の点が多いため、図に示される3種のもの、すなわち、水制域における有効路床面を、a) 水制頂面の高さ、b) 水制高の $\frac{1}{2}$ の高さ、c) 水制底面の高さにとったものが用いられている。図より明らかなように、路床基準面の選定法にかかわらず、いずれの抵抗表示も水理条件により複雑な変化を示し、水制を有する流れの抵抗表示法としてつねに適當であるとはいえず、以下においては、抵抗の大きさを表わすもっとも単純なものとして水制底面を基準とした水深を採用し、水制間隔と水深との関係より水制の抵抗特性について検討することにする。

図-4は長さの異なる種々の水制について水制間隔と水深との関係を示したものであって、縦軸は水制が設置されない場合の水深 H_0 により、横軸は水制高 h により無次元化されている。図に見られるように、水制長と水路の半幅との比 $l/B=1$ の全幅水制の場合、すでに棧粗度に関する研究で知られているように、²⁾ 水制間隔の小さな領域では水制間隔が大きくなるにしたがって水深も増加するが、水制間隔の大きな領域では逆に水深の減少する傾向が見られ、水制間隔・水深曲線は $c/h=6\sim 8$ 付近における1種類の極大値によって特性づけられる。これに対し $l/B<1$ の一般の水制については水制間隔・水深曲線には $c/h=2.5$ および $6\sim 8$ 付近

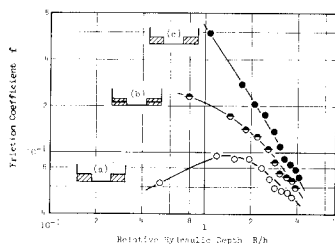


図-1

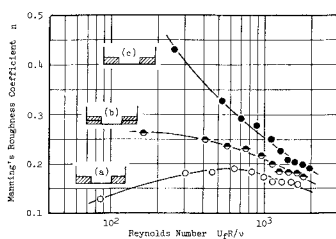


図-2

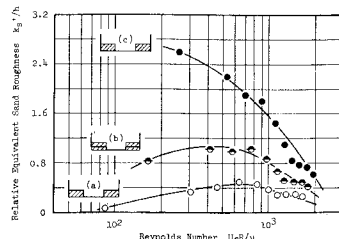


図-3

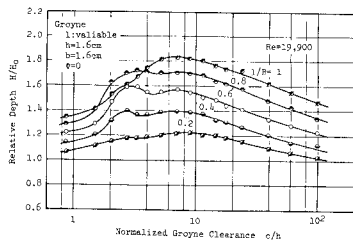


図-4

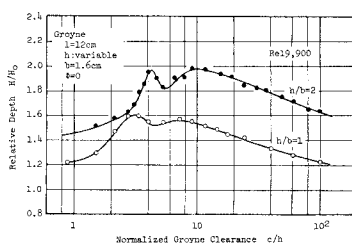


図-5

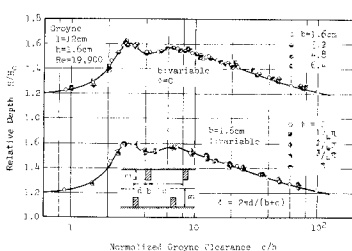


図-6

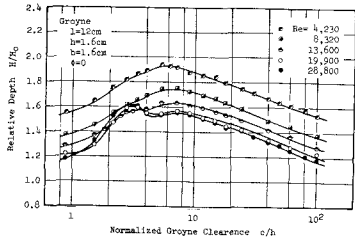


図-7

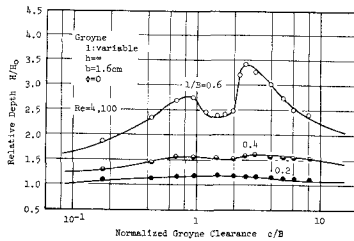


図-8

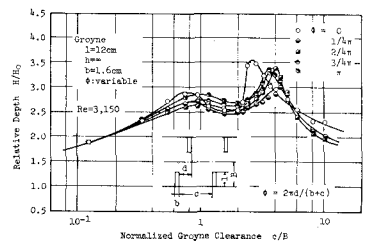


図-9

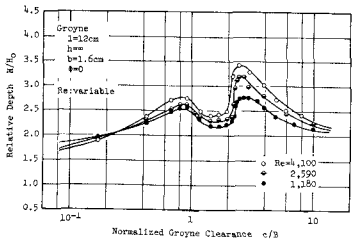


図-10

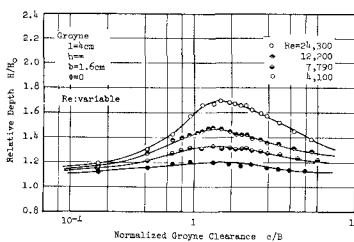


図-11

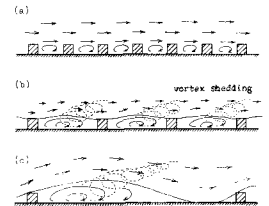


図-12

の2種類の極大値の存在が認められ、全幅水制とはかなり異なる水理特性を有するものと考えられる。また水制高の効果については、図-5に示されるように、水制高が大きいものほど水深は大きくなるとともに、極大水深の発生する水制間隔も大きくなることが知れる。さらに、水制幅および対称性の効果を示した図-6によると、いずれの効果もそれほど顕著ではなく、水制幅変化に伴う水制周辺にみられるはく離域の形状変化の影響はあまり大きくなく、また左右両岸の水制効果は互いに独立と見なされる。

流量すなわち Reynolds 数を変化させた場合の水制間隔・水深曲線は、図-7にみられるように、Re 数が増加するにしたがい、 H/H_0 は一部の領域を除いて減少する傾向とともに、 $c/h=2.5$ 付近の極大水深発生が顕著に認められるようになる。なお、極大水深のうち水制間隔の小さなところで見られる極大水深の発生間隔は Re 数の増加に伴い若干減少し 2.5 という値に近づくのに対し、水制間隔の大きなところでのものの発生水制間隔は Re 数が大きくなると増加し 8 という値に近づく傾向が見られる。

一方、非越流時の抵抗特性についてはつぎのようである。図-8は水制間隔・水深曲線に及ぼす水制長の効果について示したものであって、 $1/B=0.6$ および 0.4 の場合については $c/B=0.8$ および 2.4 付近で明瞭な極大水深の発生が見られるが、 $1/B=0.2$ についての極大水深の発生は不明瞭である。また、左右両岸での水制配列の位相を変化させた場合を示した図-9によると、越流時の場合とは対照的に、位相差 ϕ によって極大水深発生時の水制間隔ならびに極大水深の大きさはかなり変化している。このような ϕ の変化に伴う水制間隔・水深曲線の変化は水制近傍の流れが左右両岸間で互いに干渉しあうことを意味している。

つぎに、Re 数の変化に伴う水制間隔・水深曲線の変化についてみると、図-10 および 11 に示されるように、 $l=12\text{cm}$ については Re 数に関係なく2種の極大水深の発生が認められ、発生時の水制間隔は Re 数にほとんど関係しない。また、 $l=4\text{cm}$ の場合については Re 数の大きいとき $c/B=1.6$ 付近で1種類の極大水深の発生が見られる。この水制間隔を水制長との比で表わすと $c/l \approx 8$ となり、越流時の一方と類似しており、水制長の小さな場合の非越流時の水制周辺に形成される水平面内の渦の機構と越流時にみられる鉛直面内の渦の機構との間に相似性のあることを意味するように思われる。

2. 極大水深の発生機構

以上より明らかなように、不透水制の設置された開水路流れの水制間隔・水深曲線は、水制長がきわめて小さい場合を除くと、越流時および非越流時のいずれについても2種の極大水深の発生によって特性づけられるが、以下においてはこのような極大水深の発生機構について若干の考察を加える。

図-12は水素気泡法により観測された越流時における水制要素周辺の流況を定性的に表わしたものであるが、水制間隔が小さい場合、水制要素周辺に形成されるはく離域の広がりや水制頂面の高さに押えられ、は

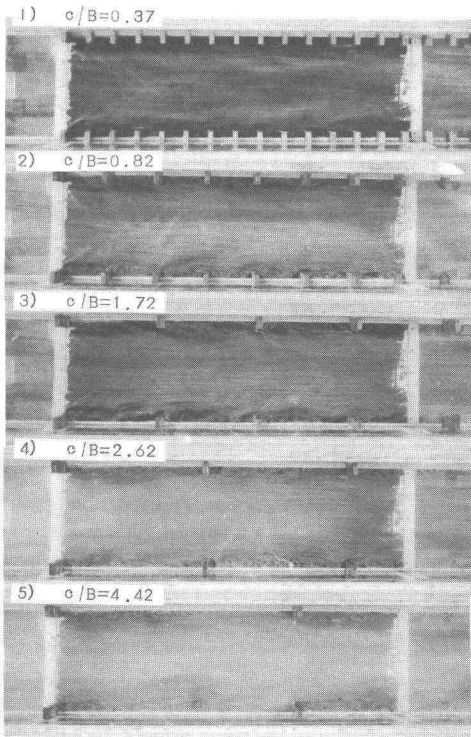


写真-1 非越流時の自由表面上の流況
(水制長 1 = 4 cm)

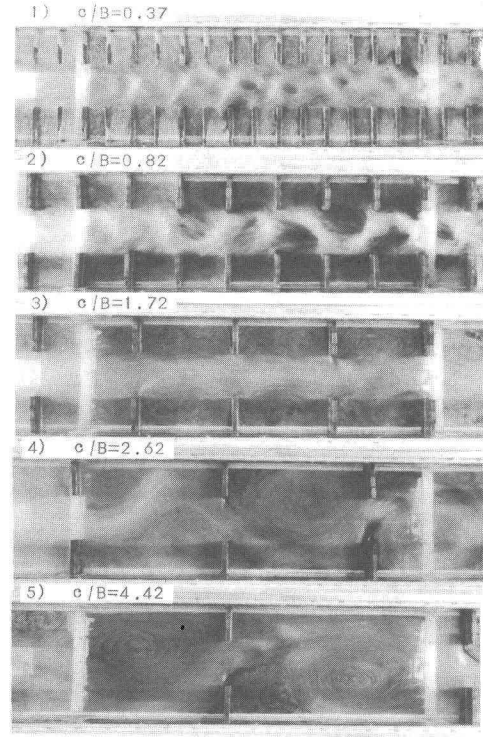


写真-2 非越流時の自由表面上の流況
(水制長 1 = 12cm)

く離域内の流体はほとんど静止しているが、水制間隔が大きくなるにしたがって離域は若干上方に広がるとともに、はく離域内の流体は間欠的にはく離域外の流体と入れかわるようになり、いわゆる渦の離脱現象が見られるようになる。さらに水制間隔が大きくなると、上流側水制下流部に形成されるはく離域と下流側水制上流部に形成されるはく離域とは分離され、孤立水制の場合に近づくようになる。このような流況特性から極大水深の発生機構について考えると、一つの推測として、水制を有する流れのエネルギー損失には渦の離脱によるものとはく離境界面での摩擦損失によるものとがあり、これらは互いに異なる水制間隔で最大となるとともに、水制幅が水路全体にわたらないときには前者によるものが複断面効果により助長されることにより2種の極大水深の発生がみられることになるという推測が成り立つ。一方、図-12に示されたようなはく離域の広がり水路幅方向についても認められることより、鉛直方向および横方向へのはく離域の広がり互いに異なる水制間隔で最大となるために2種の極大水深の発生が見られることになるとも考えられ、いずれの推測がより妥当であるかについてはさらに詳細な検討が必要である。

写真-1および2はおがくずトレーサー法による非越流時における自由表面上の流況観測結果を示したものであるが、図-8において1種類の極大水深の発生しか認められなかった $l=4\text{cm}$ の場合にはいずれの水制間隔についても水路中央部の流れはほぼ直線的であるのに対し、2種類の極大水深の発生が見られる $l=12\text{cm}$ の場合については、図-8あるいは10に示された極大水深の発生間隔、すなわち、 $c/B=0.82$ および 2.62 では顕著なだこ現象が認められ、水深が極小となる $c/B=1.72$ ではほとんどだこ現象が見られない。このような事実より推測すると、非越流時については、水制長が短いときには側壁粗度の増加としての取扱いが許されるが、水制長が大きくなると、水制周辺に形成されるはく離域の不安定性に基づくだこ現象が支配的となり、2種類の極大水深が発生するようになるものと考えられる。

参考文献

- 1) 今本博健，池野秀嗣：不透水制の抵抗特性について，昭49土木学会関西支部年講，昭49.5.
- 2) たとえば，足立昭平：流水抵抗と安定河道，水工水理学(石原藤次郎編)，丸善，pp. 237~263，昭47.