

建設省土木研究所 ○ 福本晃久

建設省土木研究所 阿部宗平

建設省土木研究所 矢沢昭夫

はじめに

床固工や帯工等の横工の下流は、河床材料との粗度が異なるため局所洗掘深を起しやすいので、垂直壁などの基礎部を保護するために護床工を設ける例が多い。護床工の天端高は、河床高に一致させて施工することが通例のようであるが、護床工の下流で局所洗掘を受けて護床工の維持が困難となる場合もある。

砂防ダムや床固工の下流の局所洗掘に関する研究は、林<sup>1)</sup>や鈴木<sup>2)</sup>によるものがあるが、局所洗掘を防止することを考慮した護床工に関する研究は例が無いようである。筆者は、水たたぎの高さを基準面とする低段差を有する護床工を設けて、流水を減勢させ、横工前庭部の局所洗掘深を小さくして、基礎部を保護することを考え、必要な段差と護床工の長さを実験的に検討した。

### 1 既設流路工にみられる床固工の設置条件

実験条件を設定するに際して、流路工計画での水たたぎ上のフルード数( $F_{r1}$ )と、横工間での等流水深に対するフルード数( $F_{r0}$ )がどのようになっているかを、既設流路工調査資料<sup>3)</sup>を用いて、図-1及び図-2に整理した。図-1より、等流水深に対するフルード数( $F_{r0}$ )は、 $0.5 \leq F_{r0} < 20$ が全体の65%を占めている。一般に流路工を計画するような急勾配河川での流れはほとんどが射流といわれているが、図-1に示すように、常流の流れは全体の44%を占めている。図-2より、水たたぎ上のフルード数( $F_{r1}$ )の最頻値は2~3で全体の43%で、 $1 \leq F_{r1} < 4$ の流れが82%を占めていることがわかる。

### 2 実験の概要

実験は、幅0.9mと1.5mの水路を使用して行った。床固工の前庭部は移動床とし、図-3に示す $d_m = 1.7mm$ の河床材料を用いている。

給砂の条件は無給砂とし、河床高は、水たたぎの高さに合わせて水平

に整形し、床固工間隔は流路幅の約2倍とした。既設流路工の例を参考に、流量 $Q$ は10~26 $l/s$ 、床固工の高さ $H$ は、5~25cmで、 $F_{r0}$ は0.4~0.9、 $F_{r1}$ は2.7~6.8の範囲で実

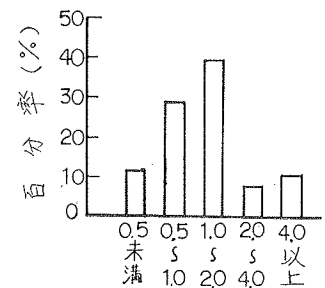
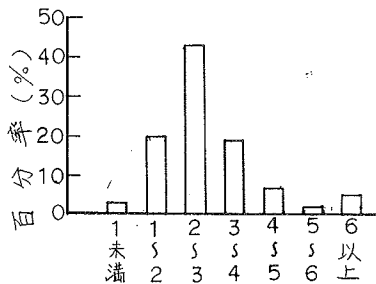
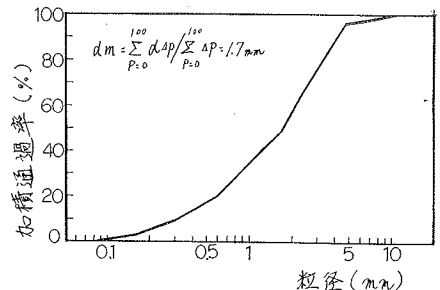
図-1 等流水深に対するフルード数( $F_{r0}$ )図-2 水たたぎ上のフルード数( $F_{r1}$ )

図-3 実験使用砂粒径加積曲線

験を行った。なお、護床工は、水たたと同じ木製で、段差は、0から水たたき上の射流水深 $h_0$ の6倍で、護床工の長さ $L$ は、0から護床工の最大水深 $h_3$ の6倍の範囲で変化させた。図-4は本文中に用いる記号を説明している。

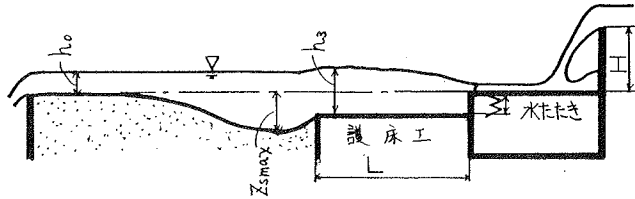


図-4 概念図

ここに、 $H$ は床固工の高さ、 $W$ は水たたと護床工の段差、 $L$ は護床工の長さ、 $h_0$ は等流水深、 $h_1$ は水叩き上の射流水深、 $h_3$ は護床工上の最大水深、 $Z_{smax}$ は局所洗掘深の最大値である。

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 水位・河床高の縦断変化

水理条件は同じで、護床工の段差 $W$ 、護床工の長さ $L$ を変化させた水位及び河床高の縦断変化を図-5、図-6、図-7、図-8に示した。図-5と図-6を比較すると、護床工を設けた場合は、水たたきの天端を基準とする局所洗掘深は小さくなるのがわかる。図-6と図-7を比較すると、図-7の護床工の長さが短い場合に前庭部の局所洗掘深が大きい。図-6の場合には、護床工の天端を基準面とする最大水位が護床工上で生じているのに対して、護床工が短い場合には、最大水位は護床工の下流で生じていることから局所洗掘深を小さくするためには、最大水位が護床工上で生じる護床工の長さが必要であることが示唆される。

—側壁沿いの水位—河道中央の水位—側壁沿いの河床—河道中央の河床

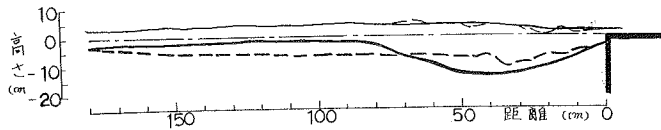


図-5 水位・河床高の縦断変化(護床工無し)

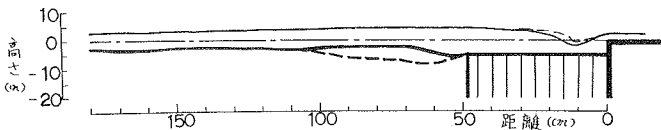


図-6 水位・河床高の縦断変化( $W=4.5\text{cm}$ ,  $L=49\text{cm}$ )

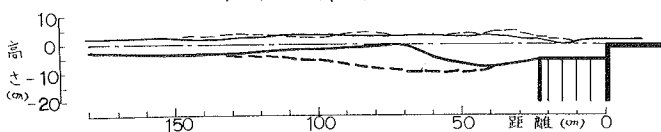


図-7 水位・河床高の縦断変化( $W=4.5\text{cm}$ ,  $L=23\text{cm}$ )

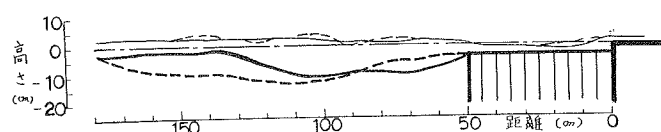


図-8 水位・河床高の縦断変化( $W=3\text{cm}$ ,  $L=50\text{cm}$ )

護床工の長さ $L$ は同じで段差 $W$ を変化させた場合の局所洗掘深を図-6と図-8で比較すると、段差 $W$ の低い図-8の方が護床工上の水深が小さく、洗掘深は大きく護床工の無い場合と水たたき面を基準とする局所洗掘深とほとんど変わらない。このことから、局所洗掘を小さくするために必要な護床工上の水深が存在し、水深は段差によって変化することがわかる。

#### 3.2 局所洗掘深

1) 水たたき面を基準とする局所洗掘深の最大値 $Z_{smax}$ が、護床工上の最大水深 $h_3$ によってどのように変化するかを示したのが図-9である。図-9で、 $h_1$ は水たたき上の射流水深で、 $W$ は、水たたきと護床工の段差である。図-9より $h_3$ が大きくなると $Z_{smax}$ は小さくなるが、 $h_3/h_1 \geq 5$ では、 $Z_{smax}$ に差がないことがわかる。

2) 護床工の長さによって、 $Z_{smax}$ がどのように変化するかを示したのが図-10である。図-10で $h_0$

は床固工間の等流水深で、 $Fr_1$ は水たたき上のフルード数である。図-10より、洗掘深 $Z_{smax}$ は、 $L/W$ が大きくなると小さくなって、 $L/W$ が同じであれば、フルード数 $Fr_1$ が小さい程 $Z_{smax}$ も小さくなっていることがわかる。フルード数 $Fr_1$ をパラメータとして整理すると図-11のようになる。なお、パラメータ $h_3/h_c$ は、 $Fr_1$ とに次のような関係がある。

$$(1/Fr_1)^{2/3} = h_3/h_c \quad \text{.....(1)}$$

### 3.3 護床工上の水深

護床工上の最大水深 $h_3$ と護床工の段差 $W$ の関係を、それぞれ水たたき上の水深 $h_1$ 及び限界水深 $h_c$ を用いて無次元化して示したのが図-12である。図-12で $\ominus$ 印は、図-8に示すように護床工で流水は減勢されないで流下していることを示しており、流水を減勢するためには、 $W/h_c \geq 1$ となるような段差が必要となる。

### 3.4 護床工の効果

護床工を設けると、局所洗掘深の最大値 $Z_{smax}$ が、護床工を設けない場合の最大洗掘深 $Z_{s1}$ と比べてどのように変化するかを $h_3/h_1$ の関係で示すと図-13のようになる。なお、局所洗掘深は、いずれの場合も水たたき天端を基準高としている。図-13より、 $Z_{smax}/Z_{s1}$ の値は、 $h_3/h_1$ が大きくなると減少し、 $h_3/h_1$ が5付近で最少値となり、 $h_3/h_1 > 5$ では、 $Z_{smax}/Z_{s1}$ の値は再び大きくなる傾向があることがわかる。 $h_3/h_1 > 5$ の領域で、洗掘深が大きくなるのは、図-12に示したように $h_3/h_1$ は、段差 $W$ に関係していて、図-14に示すように $W$ を大きくすることは、護床工の無い状態での洗掘深 $Z_{s1}$ に近づくことになり、護床工の高さまでは洗掘されることを意味している。このことから、局所洗掘深の最大値 $Z_{smax}$ を低減するには

$h_3/h_1 = 5$ となる護床工の形状が効果的であることになる。

### 4 まとめと

#### 今後の課題

水たたきの天端と護床工の天端に段差を設け

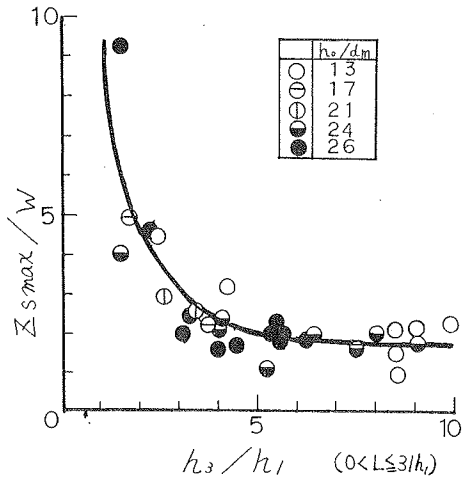


図-9 局所洗掘深の最大値と護床工の最大水深の関係

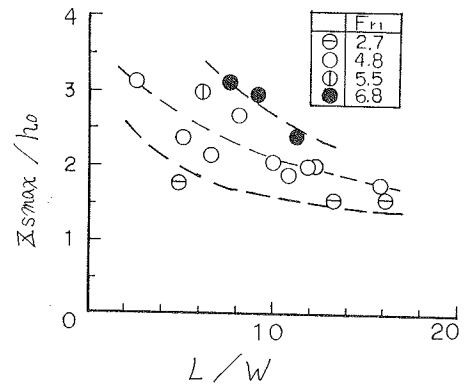


図-10 局所洗掘深の最大値と護床工の長さの関係 ( $W \geq h_3$ )

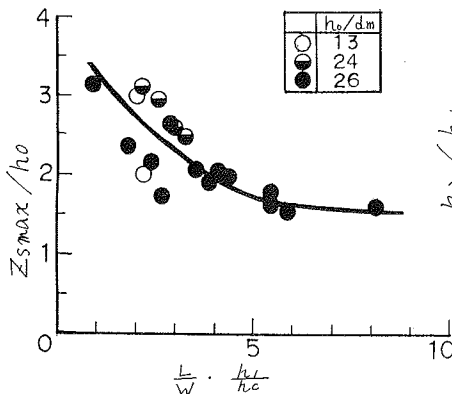


図-11  $Z_{smax}/h_c$ と  $\frac{L}{W} \cdot \frac{h_3}{h_c}$  の関係 ( $W \geq h_3$ )

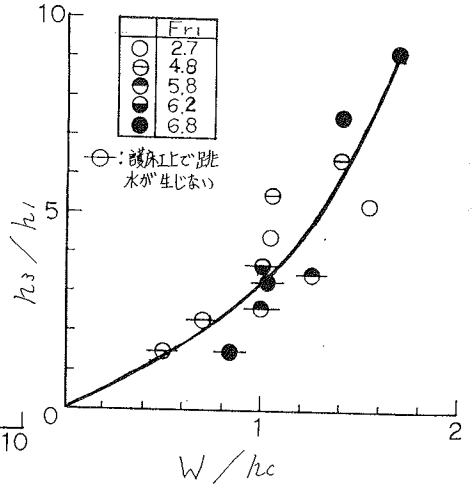


図-12 護床工上の最大水深と護床工の段差の関係 ( $L \geq 9.0W$ )

ることにより、護床工上で流水を減勢することができ、水たたき下流の局所洗掘深を低減する効果があることがわかった。局所洗掘深の効果は、護床工の形状によって異なり、十分な効果を得るための護床工の形状は、本実験条件においては、護床工の段差 $W$ を限界水深程度とし、護床工の長さは、図-13より得ることができる。

本実験は、床固工間の等流水深に対するフルード数 $F_{r0}$ が常流の場合の実験であって、射流の流れに対する実験的検討は行っていない。また、護床工の粗度は、水たたきと同じにしており、護床工の粗度と形状の関係についての検討を行っていない。今後は、これらの残された課題に対してさらに実験的研究を進めて実河川への適用をめざしたい。

#### 参考文献

- 1) 林 拙郎：砂防ダム下流部における洗掘深さについて(Ⅱ) 新砂防 117 1980年11月PP10~14
- 2) 鈴木幸一 道上正規 川津幸治：床固め直下流部の流れと局所洗掘について、第26回水理講演会論文集
- 3) 田畑茂清 阿部宗平：流路工に関する研究(Ⅱ)-全国既設流路工データ集-、土木研究所資料 943号 1974年3月

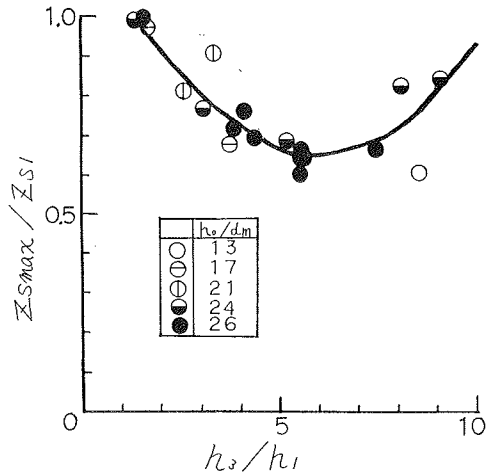


図-13 護床工の効果

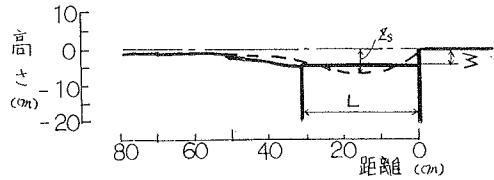


図-14 河床の縦断変化