

この報告は、自由跳水および鉛直連続シルによる潜り越流型強制跳水¹⁾において、射流から岸流への遷移領域の長さ(参照)を明らかにし、さらに工字型下流の洗掘に関する従来の実験結果²⁾に検討を加え、シル型減勢工における水叩きの長さについて新たな知見を得ようとしたものである。^{(1) 33 年誌 II-332, 1978 (2) Rand. ASCE 104, 1970, 4)}

1. 遷移領域の長さ

自由越流型強制跳水¹⁾の場合は、与えられた F_1 , S/R_1 に対して、シル前方の強制跳水の大きさ x_s/L_j は下流水深 R_2/R_1 にかかわらず一定であるが、遷移領域の長さは R_2/R_1 によって種々変化する(図-1)。

潜り越流型強制跳水の場合は、 F_1 , S/R_1 が与えられたとき、一つの R_2/R_1 に対して一つの x_s/L_j が対応し、一つの遷移領域の長さが確定する(図-2)。

以下、潜り越流型の遷移領域の長さ L_t について検討する。

強制跳水によるエネルギー損失 H_L の達成される長さを L とすると、 L は式(1)で示されるものと推論され、無次元化すると式(2)が得られる。⁽³⁾

$$L = f(H_1, H_L)$$

$$L/H_L = f(H_L/H_1) \quad (H = v^2/2g + R) \quad (2)$$

L は巨視的にみると剥離領域の長さ L_r に比例するものと推論される。

$$L_t \propto L_r \quad (3)$$

さらに、遷移領域の長さ L_t は剥離領域の長さ L_r に比例するものと推論される。

$$L_t \propto L_r \quad (4)$$

式(1)~(4)より次式が推論される。

$$L_t/H_L = f(H_L/H_1) \quad (5)$$

なお、潜り越流型強制跳水の場合、跳水内の流速特性⁴⁾、遷移領域の長さを勘案すると、 $F_1 \geq 3.5 \sim 4$ の場合、シルの効果は式(6)によって示される範囲において大きいものと考えられる。^(4) 土木学会関東支部年報 II-5, 1979)

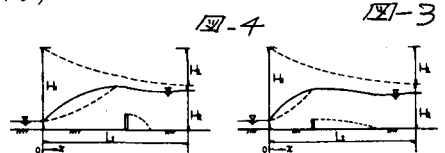
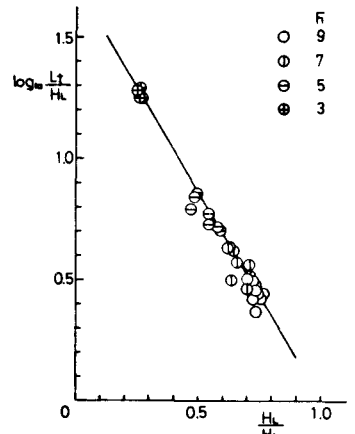
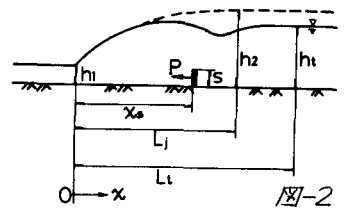
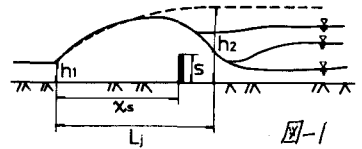
$$x_s/L_j \leq 0.7 (\div L_{tj}/L_j) \quad (\text{すなわち } x_s \leq L_{tj} (\div 0.7 L_j)) \quad (6)$$

従って、潜り越流型の場合は、シル設置位置が $x_s/L_j \leq 0.7$ の場合を考察の対象とする。^{(L_j は跳水の長さ、 L_{tj} はローラーの長さ(図-6参照)である)}

式(5)に基づき実験値を整理すると、図-3に示されるように

良い相関が得られる。実験によると、強制跳水の上下流端の水理条件を一定にして(従って $H_L = H_1 - H_2$ を一定にして)シル高を変えた場合、図-4に示されるように、シル高が大きいとシル前方の渦が小さく、シル後方の渦は小さくなり、シル高が小さいとシル前方の渦が小さく、シル後方の渦は大きくなるのが観察される。また、シル高が非常に小さい場合は、シル後方の渦は非常に小さく、自由跳水の場合とほぼ同様のローラーが形成されることが推定される。すなわち、与えられた H_L を得るためには、剥離領域の

(注)シル下流において水面がレベルとなり、流速の水路方向の変化が急に小さくなったシル下流の最初の断面を遷移領域終端断面とし、この断面を水面形の測定およびピトー管による流速測定結果によって決定した。この断面よりも上流では流れは大きく変化した。この断面よりも下流において流れは通流の開水路流に漸近する。遷移領域の長さを跳水始端から遷移領域終端までの長さとする。



長さ L_r 従って L_t が H_L に結びつくものと推定されるから シル高にかかわらず ほぼ等しい遷移領域の長さ L_t となり、図-5 に示されるように良い相関が得られたものと考えられる。なお、実験式を求めると式(7)が得られる。

$$\log_{10}(L_t/H_L) = -1.71(H_L/H_1) + 1.72 \quad (7)$$

$$X_s/L_j \leq 0.7 \quad 3 \leq F_1 \leq 9.5$$

さらに設計に便利のように、式(7)を式(8),(9)を用いて式(10)の関係に変換し 図示すると図-5 (実線) が得られる。

$$L_t/R_1 = (L_t/H_L)(H_L/R_1) \quad (8)$$

$$H_L/R_1 = \{ (F_1/2) + 1 \} - \{ F_1/2 (R_1/R_2)^2 + (R_1/R_2) \} \quad (9)$$

$$H_L/H_1 = f(F_1, R_1/R_2) \quad (32\text{回年報 II-160, 1979})$$

$$f(L_t/R_1, F_1, R_1/R_2) = 0 \quad (10)$$

また、式(7)は自由跳水の場合も成立することが確かめられる。すなわち式(7)は $S=0$, $R_1/R_2 = R_2/R_1 = (\sqrt{8F_1^2+1} - 1)/2$ の場合を含む統一的表示であり、この場合、式(7)を式(8)および式(11)を用いて式(12)の関係に変換して図-5 (実線) に示す。 ($f(L_t/R_1, F_1) = 0$ に変換し、図-6(実線)に示す)

$$H_L/R_1 = (\sqrt{8F_1^2+1} - 3)^3 / 16(\sqrt{8F_1^2+1} - 1) \quad (11)$$

$$f(L_t/R_1, F_1) = 0 \quad (12)$$

以上により、与えられた F_1 に対して 鉛直シル ($X_s/L_j \leq 0.7$ の場合) による潜り越流型強制跳水の遷移領域の長さ L_t/R_1 は自由跳水の遷移領域の長さと同程度 あるいは それよりも短いことが示され シル設置の有効性が確かめられる。

2. シル下流の洗掘とエプロンの長さ

図-7 に示されるように シル下流が移動床の場合で 固定床における遷移領域下流 ($X \geq L_t$) と同一の流況のもとで移動限界となる粒径の砂礫によって河床物質が構成されている場合 (すなわち、ダム設置以前の下流河川の掃流力を τ_n とするとき、 $\tau_n \approx \tau_c$ (限界掃流力) の場合)、式(13)が成立するものと推論される。ここに、 L_e は洗掘領域 (図-7.8) を示す。

$$L_e \propto L_t \quad (13)$$

ただし、ダム上流側からの浸透流による Seepage force は無視できる場合を考えている。

Rand²⁾ はシル下流が移動床の場合に遷移領域下流で移動限界となるような粒径の砂礫を用いて、自由跳水の場合 ($R_1/R_2 = R_2/R_1$)、および潜り越流型と自由越流型との境界状態 ($R_1/R_2 = R_2/R_1$) で強制跳水を形成させ、洗掘実験を行なった。このときの $X_s/L_j \leq 0.7$ の場合の実験資料 (L_e の測定値) を再整理し、先に論じた固定床実験における遷移領域の長さ L_t を示す式(10),(12)と比較したものを図-5 (○印) に示す。これより、自由跳水および $X_s/L_j \leq 0.7$ のときの潜り越流型強制跳水の場合 (図-5, ○印), L_e は L_t と同程度であることが示される。また、自由跳水、潜り越流型強制跳水ともに $X = L_e$ までエプロンを延長し、固定床とすると河床洗掘は生じないことが確かめられている。 $X_s/L_j > 0.7$ の場合は、 L_e は $X_s/L_j \leq 0.7$ の場合よりかなり大きいことが示される (図-5, +, × 印)。従って $\tau_n \approx \tau_c$ の場合、与えられた F_1 , R_1/R_2 に対して シル設置位置は $X_s/L_j \leq 0.7$ であることが必要であり、水叩の必要長さは L_t/R_1 であることが示された。なお、 $\tau_n < \tau_c$ の場合は $L_e < L_t$ となることが推定される。