

II-2 シル型減勢工の水理計算例

日大理工 正 大 津 岩 夫
日大大学院理工 学 ○ 山 中 康 資

下流水深が跳水必要水深よりも小さい場合には、シルの設置によって水叩き始端から跳水を形成させてエネルギーを減勢させることが多い。従来、シルによる強制跳水の諸特性については不明な点が多く、シル型減勢工の設計計算例についても適切なものが見受けられない。最近、文献^(1,2)により鉛直シルによる強制跳水の特性が、かなり明らかにされた。この報告は、文献^(1,2)に基づきシル型減勢工の設計計算例について述べたものである。

1. 設計に必要な関係式

水平水叩きに設置された幅厚の無視できる単一の長方形鉛直連続シルによる強制跳水を支配する基本水理量間の関係式は、次のように示される。^(1,2)

[1] I型跳水(図-1) I型跳水(シル前方の流況が下流水深の影響を受ける場合)を支配する水理量間の関係式は、次のように示される。

$$h_t/h_i = h_z/h_i \left[1 - 1.90 F_1 \{ (S/h_i) / (h_z/h_i) (L_j/h_z) (x_s/L_j) \}^2 \right] \quad (3 \leq F_1 \leq 9.5, x_s/L_j \leq 0.7) \quad (1)$$

$$\text{ここに、} h_z/h_i = \frac{1}{2} (\sqrt{8F_1^2 + 1} - 1) \quad (2) \quad L_j = 5.5h_z (3.5 \leq F_1 \leq 9.5), 5.2h_z (3 \leq F_1 \leq 3.5) \quad (3)$$

[2] II型跳水(図-2) II型跳水(シル前方の流況が下流水深の影響を受けない場合)が形成されるための必要シル高についての関係式は、次のように示される。

$$S/h_i = -1.05(F_1 - 2)(1 - x_s/L_j) + 1.08F_1 - 1.56 \quad (3 \leq F_1 \leq 9.5, (x_s/L_j)_{\min} \leq x_s/L_j \leq 1) \quad (4)$$

$$(x_s/L_j)_{\min} = (0.1875F_1 - 0.182) / (F_1 - 2) \quad (5)$$

さらに、 $h_z/h_i < h_s^*/h_i$ の場合に II型跳水が形成されるための最小必要シル高 S_c は、次式で示される。

$$S_c/h_i = 0.227F_1 + 0.349 \quad (2.5 \leq F_1 \leq 9.5) \quad (6)$$

h_s^*/h_i については、次式で示される。

$$h_s^*/h_i = h_z/h_i - 1.90F_1 (S/h_i)^2 / \{ [1 + (0.951S/h_i - 1.03F_1 + 1.48) / (F_1 - 2)]^2 (L_j/h_z)^2 (h_z/h_i) \} \quad (7)$$

(1)~(7)式を図-3(流況分類図)に示す。なお、 $h_t/h_i = h_s^*/h_i$ のとき I型跳水と Spray との境界を示し、 h_s/h_i は次式で示される。

$$h_s/h_i = h_z/h_i - (S/h_i)^{1.89} \quad (8)$$

[3] 遷移領域の長さ⁽¹⁾と剝離領域の長さ(図-4) 遷移領域の長さ(跳水始端断面から、シル下流側の流況が流下方向にほとんど変化しなくなる断面までの長さ) L_t と剝離領域の長さ(跳水始端からシル背後に生じる渦の終端までの x 方向の長さ) L_r は、I, II型跳水共に x_s にかかわらず次式によって求められる。

$$H_i = H_t + H_L \quad (9) \quad H = v^2/2g + h \quad (10)$$

$$\log_{10}(L_t/H_L) = -1.71(H_t/H_i) + 1.72 \quad (11) \quad \log_{10}(L_r/H_L) = -1.71(H_r/H_i) + 1.40 \quad (12)$$

$$(3 \leq F_1 \leq 9.5, x_s/L_j \leq 0.7)$$

$T_n = T_c$ の場合、 L_t を水叩きの長さとするれば、河床洗掘は生じないことが確かめられている。⁽³⁾

2. 設計計算例

[1] $F_1 = 9.0$, $h_i = 1.00\text{m}$, $h_t = 10.00\text{m}$ の場合の S , x_s , L_t を求める。

(1)~(8)式から流況分類図を描くと図-5 が得られる。(2),(3)式より、 $h_z = 12.24\text{m}$, $L_j = 67.3\text{m}$ 。 $h_z/h_i = 10.00$ の場合、図-5 から I型跳水のみが形成される。図-5 および(8)式から跳水が形成されるための S/h_i の範囲は、 $S/h_i \geq 1.53$, $S \geq 1.53\text{m}$ である。また、(1)式より、 $h_t/h_i = h_z/h_i \{ 1 - 1.90F_1 (S/x_s)^2 \}$ であるから、 $S/x_s = 0.103$ となる。各 S に対する x_s の値を $S/x_s = 0.103$ から求めると表-1 のようになる。 L_t , L_r は、(9)~(12)式から、 $L_t = 85.4\text{m}$, $L_r = 40.9\text{m}$ となる。

[2] $F_1 = 9.0$, $h_1 = 1.00\text{ m}$, $h_c = 6.00\text{ m}$ の場合の S , X_s , L_t を求める。

(2), (3) 式より, $h_2 = 12.24\text{ m}$, $L_d = 67.3\text{ m}$, $h_c/h_1 = 6.00$ の場合, 図-5 から II 型跳水のみが形成される。(5), (6) 式から, $S_c = 2.39\text{ m}$, $(X_s)_{\min} = 14.5\text{ m}$ となる。各 S とそれに対する X_s の値を (4) 式から求めると表-2 のようになる。 L_t , L_r は, (9)~(12) 式から, $L_t = 69.2\text{ m}$, $L_r = 35.7\text{ m}$ となる。

(注) 跳水の常流水深確保のための副ダム高¹⁾ (4) 式に $X_s/L_d = 1.00$ を代入し, $S = 8.16\text{ m}$ を得る。このとき, シル前方には自由跳水と同様の跳水が形成され, 常流水深 h_2 が確保される。従来用いられている岩崎の式により副ダム高を計算すると, $S = 6.02\text{ m}$ となる。この場合, $X_s = L_d = 5.5h_2$ となるためには, 堤頂幅 l は, $l \geq H/0.7 = 9.29\text{ m}$ ($H = 3/2 h_c = 6.50\text{ m}$) であることが必要である。なお, $l \leq H/1.9$ の場合, $S = 6.02\text{ m}$ のとき $X_s/L_d = 0.709$ ($X_s = 3.9h_2$) となる。

[3] $F_1 = 9.0$, $h_1 = 1.00\text{ m}$, $h_c = 8.00\text{ m}$ の場合の S , X_s , L_t を求める。

$h_c/h_1 = 8.00$ の場合, 図-5 からシル高によつて I 型跳水と II 型跳水のいずれかが形成される。

i) I 型跳水の場合 図-5 から I 型跳水の形成される S/h_1 の範囲は, $2.15 \leq S/h_1 \leq 3.60$, $2.15\text{ m} \leq S \leq 3.60\text{ m}$ である。(13) 式からこれに対応する X_s が, [1] と同様にして求まる。 $15.1\text{ m} \leq X_s \leq 25.4\text{ m}$

ii) II 型跳水の場合 図-5 から II 型跳水の形成される S/h_1 の範囲は, $S/h_1 \geq 3.60$, $S \geq 3.60\text{ m}$ である。(4) 式からこれに対応する X_s が, [2] と同様にして求まる。 $X_s \geq 25.4\text{ m}$ また, $L_t = 76.3\text{ m}$, $L_r = 36.5\text{ m}$ である。

3. まとめ 以上のように, フールド数 F_1 , 跳水始端水深 h_1 , 下流水深 h_2 が既知であれば, その場合のシル高 S およびシル設置位置 X_s を計算することができる。また, $\tau_n = \tau_c$ の場合, そのときの水叩きの長さも計算される。なお, $\tau_n < \tau_c$ の場合は, 水叩きの長さを L_t より小さくすることが可能である。このときの水叩きの長さについては, 河床洗掘から検討する必要がある。最適な X_s については, シルに作用する圧力の分布や変動, および跳水内部の流速や乱流特性等から検討の必要がある。最後に, 本研究を行うにあたって, ご指導戴いている栗津清蔵教授に感謝申し上げます。

(記号)

h_1 : 跳水始端の水深 F_1 : 跳水始端のフルード数 L_r : 鉛直領域の長さ
 h_2 : 自由跳水の場合の共役水深 S : シル高 h_c : I 型跳水と II 型跳水の境界の下流水深
 h_c : 跳水下流端の水深 X_s : 跳水始端のシル設置位置までの長さ τ_n : S の設置位置以前の下流河川への掃流力
 L_d : 自由跳水の場合の跳水長 L_t : 遷移領域の長さ τ_c : 限界掃流力
 H_1 : 跳水始端の比エネルギー H_2 : 跳水終端の比エネルギー H_L : 遷移領域の損失エネルギー(水頭)

(文献)

1) 大津岩夫: 鉛直シルによる強制跳水, 土木学会論文報告集, 第311号, 1981年7月 2) 大津岩夫: 鉛直シルによる強制跳水, 第36回土木学会(年誌), 1981年 3) 大津岩夫: シル域域エトにおける水叩きの長さについて, 第34回土木学会(年誌), 1979年 4) 大津岩夫: 種々の水路における跳水長の統一表示, 第35回土木学会(年誌), 1980年

表-1

X_s/L_d	$(X_s)_{\min}/L_d$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
S (m)	1.53	2.08	2.77	3.47	4.16	4.85
X_s (m)	14.9	20.2	26.9	33.7	40.4	47.1

表-2

X_s/L_d	$(X_s)_{\min}/L_d$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
S (m)	2.39	3.02	3.75	4.49	5.22	5.96
X_s (m)	14.5	20.2	26.9	33.7	40.4	47.1

図-3

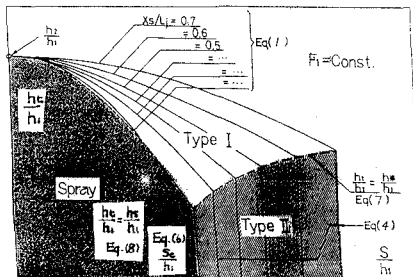


図-5

