

落差工水理計算システム

Ver1.2

適用基準

土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」
基準書 技術書 (H26/3)

出力例

水クッションタイプ計算書

開発・販売元

(株)SIP システム お問い合わせ先 : 堺事務所 (技術サービス)

〒591-8002 大阪府堺市北区北花田町3丁-17-24-303

TEL : 072-268-5181 FAX : 072-268-5182

<https://www.sipc.co.jp> mail@sipc.co.jp

落差工水理計算（水クッション型）

水面落差（Z）を固定した計算例

上流設計条件

| | | | |
|----------|------------|---|----------------------------|
| 設計流量 | Q | = | 5.000 (m ³ /s) |
| 重力加速度 | g | = | 9.800 (m/s ²) |
| 水の単位体積重量 | γ_w | = | 1.000 (tf/m ³) |
| 動水勾配 | I | = | 0.500 (‰) |
| 粗度係数(底) | n | = | 0.013 |
| 水路底幅 | B | = | 3.800 (m) |
| 粗度係数(左) | n_L | = | 0.013 |
| コロビ(左) | k_L | = | 1.000 |
| 粗度係数(右) | n_R | = | 0.013 |
| コロビ(右) | k_R | = | 1.000 |

上流水路の水理諸元

- $F_r = V_c / (g \times h_c)^{0.5}$
- $V_c = Q / \{B \times h_c + h_c^2 \times (k_L + k_R) / 2\}$
- $h_{vc} = V_c^2 / (2 \times g)$
- $H = h_c + h_{vc}$

ここに、 F_r : フルード数

h_c : 限界水深 (m)

V_c : 限界流速 (m/s)

h_{vc} : 限界流速水頭 (m)

H : 比エネルギー (m)

Q : 設計流量 (m³/s)

B : 水路底幅 (m)

g : 重力加速度 (m/s²)

限界水深 h_c は、フルード数 F_r が1になるように値を変化させると、 $h_c = 0.5343023323$ (m) となる。

よって、 $h_c = 0.534$ (m)

$$V_c = 5.000 / \{0.534 \times 3.800 + 0.534^2 \times (1.000 + 1.000) / 2\}$$
$$= 2.160 \text{ (m/s)}$$

$$h_{vc} = 2.160^2 / (2 \times 9.800)$$
$$= 0.238 \text{ (m)}$$

$$H = 0.534 + 0.238$$
$$= 0.772 \text{ (m)}$$

落差工水理計算（水クッション型）

下流設計条件

| | | |
|----------|--------------|----------------------------|
| 設計流量 | $Q =$ | 5.000 (m ³ /s) |
| 重力加速度 | $g =$ | 9.800 (m/s ²) |
| 水の単位体積重量 | $\gamma_w =$ | 1.000 (tf/m ³) |
| 動水勾配 | $I_2 =$ | 0.700 (‰) |
| 粗度係数(底) | $n_2 =$ | 0.013 |
| 水路底幅 | $B_2 =$ | 3.500 (m) |
| 粗度係数(左) | $n_{L2} =$ | 0.013 |
| コロビ(左) | $k_{L2} =$ | 1.000 |
| 粗度係数(右) | $n_{R2} =$ | 0.013 |
| コロビ(右) | $k_{R2} =$ | 1.000 |

下流水路の水理諸元

- $V = Q/A$
- $A = B_2 \times h_2 + h_2^2 \times (k_{L2} + k_{R2}) / 2$
- $P = B_2 + h_2 \times \{(1 + k_{L2}^2)^{0.5} + (1 + k_{R2}^2)^{0.5}\}$
- $h_v = V^2 / (2 \times g)$

ここに、 V : 流速 (m/s)

A : 流積 (m²)

h_2 : 水深 (m)

h_v : 流速水頭 (m)

P : 潤辺 (m)

Q : 設計流量 (m³/s)

B_2 : 水路底幅 (m)

g : 重力加速度 (m/s²)

水深 h_2 は、下記式を満足するように値を変化させると、 $h_2 = 0.803$ (m)となる。

$$Q = A \times (A/P)^{2/3} \times I_2^{0.5} / n$$

ここに、 $n = 0.013$: 合成粗度係数

$$\begin{aligned} \text{よって、} A &= 3.500 \times 0.803 + 0.803^2 \times (1.000 + 1.000) / 2 \\ &= 3.455 \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 3.500 + 0.803 \times \{(1 + 1.000^2)^{0.5} + (1 + 1.000^2)^{0.5}\} \\ &= 5.771 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= 5.000 / 3.455 \\ &= 1.447 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_v &= 1.447^2 / (2 \times 9.800) \\ &= 0.107 \text{ (m)} \end{aligned}$$

落差工水理計算（水クッション型）

堰上げ高さの決定

- $d_2 = H_3 - h_{vc} - h_c$
- $H_3 = h_2 + h_v$

落下水脈の形状

- $y = z - h_c - h_{vc} + d_2$
- $x = 1.155 \times \{(y/H) + 0.333\}^{0.5} \times H$
- $\theta = \tan^{-1}\{1.50 \times (x/H)\}$
- $v = (2 \times g \times z)^{0.5}$
- $d = ((B^2 + 2 \times Q \times (k_L + k_R) / v)^{0.5} - B) / (k_L + k_R)$
- $h_f = z + h_v + h_2 - h_c - h_{vc}$

水クッション中の下向き水脈

- $H_n = h_D + h_2 + h_v$
- $H_n \geq z/3$ を満足しなければならない。
- $S = H_n / \sin \theta$
- $S < 5.82 \times d$ の時、 $V_m = v$
- $S > 5.82 \times d$ の時、 $V_m = 2.41 / (S/d)^{0.5} \times v$

水クッションの規模

- $B_0 > B$ の時、 $L_0 \geq 2.5 \times L$
- $B_0 = B$ の時、 $L_0 \geq 3.0 \times L$
- $L = x + H_n / \tan \theta$
- $P = \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2$
- $M = \gamma_w \times Q \times V_m / g$
- $P > 3 \times M$ を満足しなければならない。

ここに、 x : 落ち口下流端を原点として下流向きに測った水平距離 (m)

y : 落ち口下流端を原点として下流向きにとった鉛直距離 (m)

z : エネルギー線から水脈中心までの落差 (m)

θ : 任意点(x 、 y)の水脈”中心線の傾斜角” (°)

v : 流速 (m/s) (下流)

d : 落下水脈の厚さ (m)

h_c : 落ち口の限界水深 (m) (上流)

h_{vc} : 落ち口の限界流速水頭 (m) (上流)

H : 上流水路の限界水深位置における比エネルギー (m) (上流)

g : 重力加速度 = 9.800 (m/s²)

B : 上流水路底幅

k_L : 左側コロピ

k_R : 右側コロピ

H_n : 水クッション末端位置における水深 (m)

h_D : 水クッションの深さ (m)

h_2 : 水路水深 (m) (下流)

h_v : 流速水頭 (m) (下流)

S : 突入距離 (m)

V_m : 落下水脈の水クッション底到達時の流速 (m/s)

L : 落下水脈の水平距離 (m)

L_0 : 水クッションの長さ (m)

P : 水クッション末端の静水圧 (tf)

M : 落下水脈が水クッション底に到達した位置で持つ運動量の単位時間の変化の割合(力) (tf)

γ_w : 水の単位体積重量 (tf/m³)

B_0 : 水クッションの幅 (m)

Q : 設計流量 (m³/s)

d_2 : 堰上げの高さ (m)

H_3 : 設計水頭 (m)

h_f : 落ち口下流端から下流水路敷までの落差 (m)

上記式を用いて落下水脈の形状の計算を行う。

落差工水理計算（水クッション型）

基本条件

$$\begin{aligned} B_0 &= 4.100 : \text{水クッションの幅 (m)} \\ h_D &= 1.000 : \text{水クッションの深さ (m)} \\ z &= 1.000 : \text{エネルギー線から水脈中心までの落差 (m)} \end{aligned}$$

堰上げ高さの決定

$$\begin{aligned} \bullet H_3 &= h_2 + h_v = 0.847 + 0.082 \\ &= 0.929 \quad (\text{m}) \\ \bullet d_2 &= H_3 - h_{vc} - h_c = 0.929 - 0.238 - 0.534 \\ &= 0.157 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

落下水脈の形状

$$\begin{aligned} \bullet y &= z - h_c - h_{vc} + d_2 = 1.000 - 0.534 - 0.238 + 0.157 \\ &= 0.385 \quad (\text{m}) \\ \bullet x &= 1.155 \times \{(y/H) + 0.333\}^{0.5} \times H = 1.155 \times \{(0.385/0.772) + 0.333\}^{0.5} \times 0.772 \\ &= 0.813 \quad (\text{m}) \\ \bullet \theta &= \tan^{-1}\{1.50 \times (x/H)\} = \tan^{-1}\{1.50 \times (0.813/0.772)\} \\ &= 57.664 \quad (^\circ) \\ \bullet v &= (2 \times g \times z)^{0.5} = (2 \times 9.800 \times 1.000)^{0.5} \\ &= 4.427 \quad (\text{m/s}) \\ \bullet d &= ((B^2 + 2 \times Q \times (k_L + k_R) / v)^{0.5} - B) / (k_L + k_R) \\ &= ((3.800^2 + 2 \times 5.000 \times (1.000 + 1.000) / 4.427)^{0.5} - 3.800) / (1.000 + 1.000) \\ &= 0.277 \quad (\text{m}) \\ \bullet h_f &= z + h_v + h_2 - h_c - h_{vc} = 1.000 + 0.107 + 0.803 - 0.534 - 0.238 \\ &= 1.138 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

水クッション中の下向き水脈

$$\begin{aligned} \bullet H_n &= h_D + h_2 + h_v = 1.000 + 0.803 + 0.107 \\ &= 1.910 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

よって、 $H_n \geq z/3$ を満足する。

$$\begin{aligned} \bullet S &= H_n / \sin \theta = 1.910 / \sin(57.664) \\ &= 2.261 \quad (\text{m}) \\ \bullet 5.82 \times d &= 5.82 \times 0.277 \\ &= 1.612 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$S > 5.82 \times d$ となるため、

$$\begin{aligned} \bullet V_m &= 2.41 / (S/d)^{0.5} \times v = 2.41 / (2.261/0.277)^{0.5} \times 4.427 \\ &= 3.734 \quad (\text{m/s}) \end{aligned}$$

水クッションの規模

$$\begin{aligned} \bullet L &= x + H_n / \tan \theta = 0.813 + 1.910 / \tan(57.664) \\ &= 2.022 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$B_0 = 4.100 > B = 3.800$ となるため、

$$\begin{aligned} \bullet L_0 &\geq 2.5 \times L = 2.5 \times 2.022 \\ &\geq 5.055 \quad (\text{m}) \\ \bullet P &= \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2 = 1.000 \times 4.100 \times 1.910^2 / 2 \\ &= 7.479 \quad (\text{tf}) \\ \bullet M &= \gamma_w \times Q \times V_m / g = 1.000 \times 5.000 \times 3.734 / 9.800 \\ &= 1.905 \quad (\text{tf}) \end{aligned}$$

よって、 $P > 3 \times M$ を満足する。

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

$Q = 5.000$ $x = 0.813$ $y = 0.385$ $z = 1.000$ $h_r = 1.138$
 $B = 3.800$ $\theta = 1.006$ $v = 4.427$ $d = 0.277$

| B0 | hD | $B \leq B0 \leq 2 \cdot B$ | Hn | $Hn \geq Z/3$ | S | Vm | L | L0 | P | 3・M | P>3・M | d2 |
|-------|-------|----------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.000 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 2.024 | 3.947 | 1.896 | 4.740 | 5.848 | 6.041 | OUT | 0.157 |
| 4.000 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.142 | 3.837 | 1.959 | 4.898 | 6.552 | 5.873 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.261 | 3.734 | 2.022 | 5.055 | 7.296 | 5.715 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.379 | 3.641 | 2.085 | 5.213 | 8.080 | 5.573 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.497 | 3.554 | 2.149 | 5.373 | 8.904 | 5.440 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 2.024 | 3.947 | 1.896 | 4.740 | 5.994 | 6.041 | OUT | 0.157 |
| 4.100 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.142 | 3.837 | 1.959 | 4.898 | 6.716 | 5.873 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.261 | 3.734 | 2.022 | 5.055 | 7.479 | 5.715 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.379 | 3.641 | 2.085 | 5.213 | 8.282 | 5.573 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.497 | 3.554 | 2.149 | 5.373 | 9.127 | 5.440 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 2.024 | 3.947 | 1.896 | 4.740 | 6.141 | 6.041 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.142 | 3.837 | 1.959 | 4.898 | 6.880 | 5.873 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.261 | 3.734 | 2.022 | 5.055 | 7.661 | 5.715 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.379 | 3.641 | 2.085 | 5.213 | 8.484 | 5.573 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.497 | 3.554 | 2.149 | 5.373 | 9.349 | 5.440 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 2.024 | 3.947 | 1.896 | 4.740 | 6.287 | 6.041 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.142 | 3.837 | 1.959 | 4.898 | 7.044 | 5.873 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.261 | 3.734 | 2.022 | 5.055 | 7.843 | 5.715 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.379 | 3.641 | 2.085 | 5.213 | 8.686 | 5.573 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.497 | 3.554 | 2.149 | 5.373 | 9.572 | 5.440 | OK | 0.157 |

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

$Q = 5.000$ $x = 0.874$ $y = 0.485$ $z = 1.100$ $h_r = 1.238$
 $B = 3.800$ $\theta = 1.039$ $v = 4.643$ $d = 0.265$

| B0 | hD | $B \leq B0 \leq 2 \cdot B$ | Hn | $Hn \geq Z/3$ | S | Vm | L | L0 | P | 3・M | P>3・M | d2 |
|-------|-------|----------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.000 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.984 | 4.089 | 1.881 | 4.703 | 5.848 | 6.259 | OUT | 0.157 |
| 4.000 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.101 | 3.974 | 1.940 | 4.850 | 6.552 | 6.083 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.217 | 3.869 | 1.999 | 4.998 | 7.296 | 5.922 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.333 | 3.771 | 2.058 | 5.145 | 8.080 | 5.772 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.449 | 3.681 | 2.117 | 5.293 | 8.904 | 5.634 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.984 | 4.089 | 1.881 | 4.703 | 5.994 | 6.259 | OUT | 0.157 |
| 4.100 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.101 | 3.974 | 1.940 | 4.850 | 6.716 | 6.083 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.217 | 3.869 | 1.999 | 4.998 | 7.479 | 5.922 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.333 | 3.771 | 2.058 | 5.145 | 8.282 | 5.772 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.449 | 3.681 | 2.117 | 5.293 | 9.127 | 5.634 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.984 | 4.089 | 1.881 | 4.703 | 6.141 | 6.259 | OUT | 0.157 |
| 4.200 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.101 | 3.974 | 1.940 | 4.850 | 6.880 | 6.083 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.217 | 3.869 | 1.999 | 4.998 | 7.661 | 5.922 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.333 | 3.771 | 2.058 | 5.145 | 8.484 | 5.772 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.449 | 3.681 | 2.117 | 5.293 | 9.349 | 5.634 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.984 | 4.089 | 1.881 | 4.703 | 6.287 | 6.259 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.101 | 3.974 | 1.940 | 4.850 | 7.044 | 6.083 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.217 | 3.869 | 1.999 | 4.998 | 7.843 | 5.922 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.333 | 3.771 | 2.058 | 5.145 | 8.686 | 5.772 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.449 | 3.681 | 2.117 | 5.293 | 9.572 | 5.634 | OK | 0.157 |

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

$Q = 5.000$ $x = 0.931$ $y = 0.585$ $z = 1.200$ $h_r = 1.338$
 $B = 3.800$ $\theta = 1.066$ $v = 4.850$ $d = 0.254$

| B0 | hD | $B \leq B0 \leq 2 \cdot B$ | Hn | $Hn \geq Z/3$ | S | Vm | L | L0 | P | 3・M | P>3・M | d2 |
|-------|-------|----------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.000 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.954 | 4.214 | 1.876 | 4.690 | 5.848 | 6.450 | OUT | 0.157 |
| 4.000 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.068 | 4.096 | 1.932 | 4.830 | 6.552 | 6.269 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.182 | 3.988 | 1.987 | 4.968 | 7.296 | 6.104 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.297 | 3.887 | 2.042 | 5.105 | 8.080 | 5.949 | OK | 0.157 |
| 4.000 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.411 | 3.794 | 2.097 | 5.243 | 8.904 | 5.807 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.954 | 4.214 | 1.876 | 4.690 | 5.994 | 6.450 | OUT | 0.157 |
| 4.100 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.068 | 4.096 | 1.932 | 4.830 | 6.716 | 6.269 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.182 | 3.988 | 1.987 | 4.968 | 7.479 | 6.104 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.297 | 3.887 | 2.042 | 5.105 | 8.282 | 5.949 | OK | 0.157 |
| 4.100 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.411 | 3.794 | 2.097 | 5.243 | 9.127 | 5.807 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.954 | 4.214 | 1.876 | 4.690 | 6.141 | 6.450 | OUT | 0.157 |
| 4.200 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.068 | 4.096 | 1.932 | 4.830 | 6.880 | 6.269 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.182 | 3.988 | 1.987 | 4.968 | 7.661 | 6.104 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.297 | 3.887 | 2.042 | 5.105 | 8.484 | 5.949 | OK | 0.157 |
| 4.200 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.411 | 3.794 | 2.097 | 5.243 | 9.349 | 5.807 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 0.800 | OK | 1.710 | OK | 1.954 | 4.214 | 1.876 | 4.690 | 6.287 | 6.450 | OUT | 0.157 |
| 4.300 | 0.900 | OK | 1.810 | OK | 2.068 | 4.096 | 1.932 | 4.830 | 7.044 | 6.269 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.000 | OK | 1.910 | OK | 2.182 | 3.988 | 1.987 | 4.968 | 7.843 | 6.104 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.100 | OK | 2.010 | OK | 2.297 | 3.887 | 2.042 | 5.105 | 8.686 | 5.949 | OK | 0.157 |
| 4.300 | 1.200 | OK | 2.110 | OK | 2.411 | 3.794 | 2.097 | 5.243 | 9.572 | 5.807 | OK | 0.157 |

落差工水理計算 (水クッション型)

上流設計条件

| | |
|----------|-------------------------------------|
| 設計流量 | $Q = 2.000 \text{ (m}^3/\text{s)}$ |
| 重力加速度 | $g = 9.800 \text{ (m/s}^2)$ |
| 水の単位体積重量 | $\gamma_w = 1.000 \text{ (tf/m}^3)$ |
| 動水勾配 | $I = 0.010 \text{ (‰)}$ |
| 粗度係数(底) | $n = 0.015$ |
| 水路底幅 | $B = 4.000 \text{ (m)}$ |
| 粗度係数(左) | $n_L = 0.015$ |
| コロビ(左) | $k_L = 0.000$ |
| 粗度係数(右) | $n_R = 0.015$ |
| コロビ(右) | $k_R = 0.000$ |

上流水路の水理諸元

- $q = Q/B$
- $h_c = 0.467 \times q^{2/3}$
- $V_c = Q/(h_c \times B)$
- $h_{vc} = V_c^2/(2 \times g)$
- $H = h_c + h_{vc}$

ここに、 q : 単位幅当たり流量 ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)

h_c : 限界水深 (m)

V_c : 限界流速 (m/s)

h_{vc} : 限界流速水頭 (m)

H : 比エネルギー (m)

Q : 設計流量 (m^3/s)

B : 水路底幅 (m)

g : 重力加速度 (m/s^2)

$$\begin{aligned} \text{よって、} q &= 2.000/4.000 \\ &= 0.500 \text{ (m}^3/\text{s}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_c &= 0.467 \times 0.500^{2/3} \\ &= 0.294 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 2.000/(0.294 \times 4.000) \\ &= 1.701 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{vc} &= 1.701^2/(2 \times 9.800) \\ &= 0.148 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 0.294 + 0.148 \\ &= 0.442 \text{ (m)} \end{aligned}$$

落差工水理計算（水クッション型）

下流設計条件

| | | |
|----------|--------------|----------------------------|
| 設計流量 | $Q =$ | 2.000 (m ³ /s) |
| 重力加速度 | $g =$ | 9.800 (m/s ²) |
| 水の単位体積重量 | $\gamma_w =$ | 1.000 (tf/m ³) |
| 動水勾配 | $I_2 =$ | 4.040 (‰) |
| 粗度係数(底) | $n_2 =$ | 0.015 |
| 水路底幅 | $B_2 =$ | 2.500 (m) |
| 粗度係数(左) | $n_{L2} =$ | 0.000 |
| コロビ(左) | $k_{L2} =$ | 0.000 |
| 粗度係数(右) | $n_{R2} =$ | 0.000 |
| コロビ(右) | $k_{R2} =$ | 0.000 |

下流水路の水理諸元

- $V = Q/A$
- $A = B_2 \times h_2 + h_2^2 \times (k_{L2} + k_{R2}) / 2$
- $P = B_2 + h_2 \times \{(1 + k_{L2}^2)^{0.5} + (1 + k_{R2}^2)^{0.5}\}$
- $h_v = V^2 / (2 \times g)$

ここに、 V : 流速 (m/s)

A : 流積 (m²)

h_2 : 水深 (m)

h_v : 流速水頭 (m)

P : 潤辺 (m)

Q : 設計流量 (m³/s)

B_2 : 水路底幅 (m)

g : 重力加速度 (m/s²)

水深 h_2 は、下記式を満足するように値を変化させると、 $h_2 = 0.375$ (m) となる。

$$Q = A \times (A/P)^{2/3} \times I_2^{0.5} / n$$

ここに、 $n = 0.013$: 合成粗度係数

$$\begin{aligned} \text{よって、} A &= 2.500 \times 0.375 + 0.375^2 \times (0.000 + 0.000) / 2 \\ &= 0.938 \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 2.500 + 0.375 \times \{(1 + 0.000^2)^{0.5} + (1 + 0.000^2)^{0.5}\} \\ &= 3.250 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= 2.000 / 0.938 \\ &= 2.132 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_v &= 2.132^2 / (2 \times 9.800) \\ &= 0.232 \text{ (m)} \end{aligned}$$

落差工水理計算（水クッション型）

落下水脈の形状

- $y = z - h_c - h_{vc}$
- $x = 1.477 \times \{ (y/H) + 0.242 \}^{0.567} \times H$
- $\theta = \tan^{-1} \{ 0.866 \times (x/H)^{0.763} \}$
- $v = (2 \times g \times z)^{0.5}$
- $d = q/v$
- $z = h_f - h_v - h_2 + h_c + h_{vc}$

水クッション中の下向き水脈

- $H_n = h_D + h_2 + h_v$
- $H_n \geq z/3$ を満足しなければならない。
- $S = H_n / \sin \theta$
- $S < 5.82 \times d$ の時、 $V_m = v$
- $S > 5.82 \times d$ の時、 $V_m = 2.41 / (S/d)^{0.5} \times v$

水クッションの規模

- $B_0 > B$ の時、 $L_0 \geq 2.5 \times L$
- $B_0 = B$ の時、 $L_0 \geq 3.0 \times L$
- $L = x + H_n / \tan \theta$
- $P = \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2$
- $M = \gamma_w \times Q \times V_m / g$
- $P > 3 \times M$ を満足しなければならない。

ここに、 x : 落ち口下流端を原点として下流向きに測った水平距離 (m)

y : 落ち口下流端を原点として下流向きにとった鉛直距離 (m)

z : エネルギー線から水脈中心までの落差 (m)

θ : 任意点(x 、 y)の水脈”中心線の傾斜角” (°)

v : 流速 (m/s) (下流)

d : 落下水脈の厚さ (m)

h_c : 落ち口の限界水深 (m) (上流)

h_{vc} : 落ち口の限界流速水頭 (m) (上流)

H : 上流水路の限界水深位置における比エネルギー (m) (上流)

g : 重力加速度 = 9.800 (m/s²)

B : 上流水路底幅

k_L : 左側コロビ

k_R : 右側コロビ

H_n : 水クッション末端位置における水深 (m)

h_D : 水クッションの深さ (m)

h_2 : 水路水深 (m) (下流)

h_v : 流速水頭 (m) (下流)

S : 突入距離 (m)

V_m : 落下水脈の水クッション底到達時の流速 (m/s)

L : 落下水脈の水平距離 (m)

L_0 : 水クッションの長さ (m)

P : 水クッション末端の静水圧 (tf)

M : 落下水脈が水クッション底に到達した位置で持つ運動量の単位時間の変化の割合 (力) (tf)

γ_w : 水の単位体積重量 (tf/m³)

B_0 : 水クッションの幅 (m)

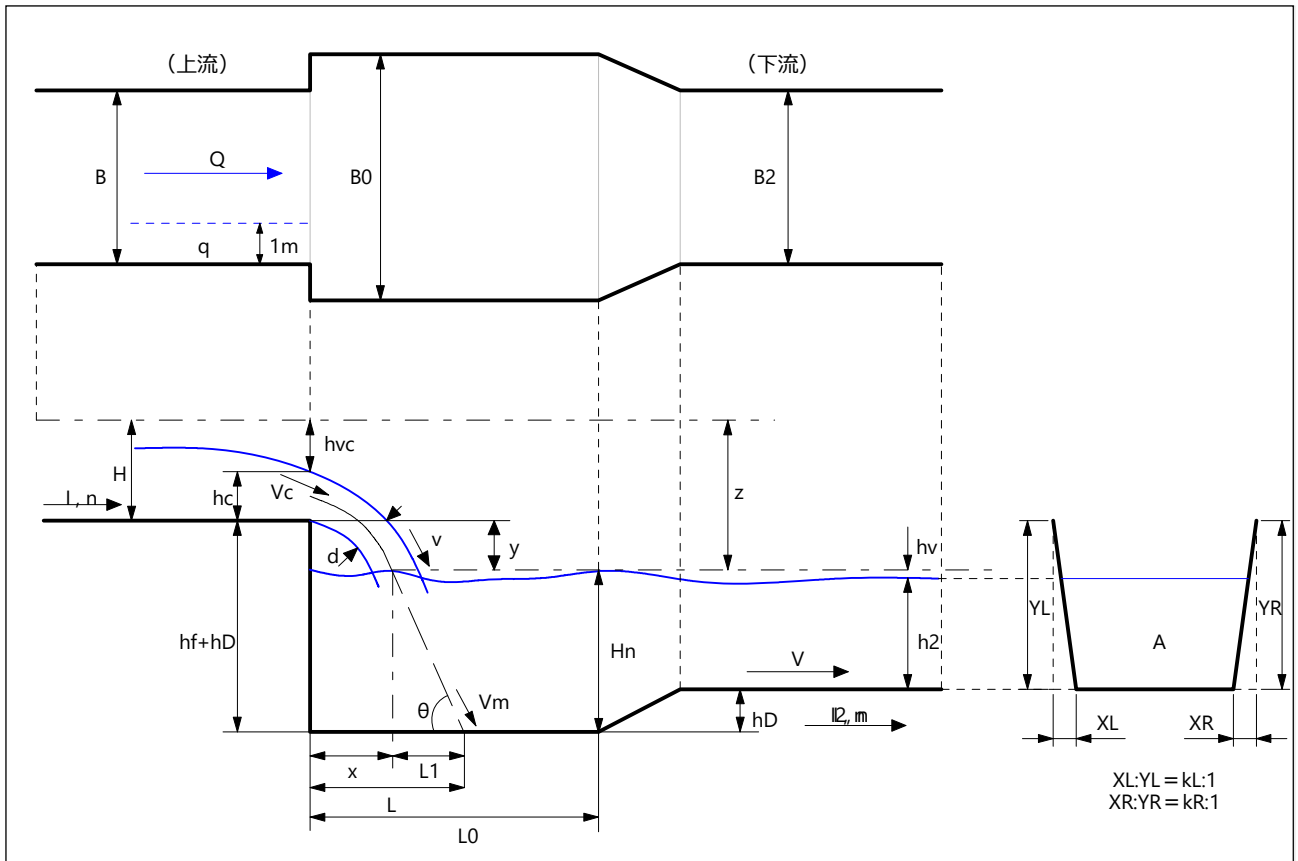
Q : 設計流量 (m³/s)

h_f : 落ち口下流端から下流水路敷までの落差 (m)

上記式を用いて落下水脈の形状の計算を行う。

落差工水理計算（水クッション型）

落下水脈の説明図



落差工水理計算（水クッション型）

基本条件

$$\begin{aligned} B_0 &= 4.000 : \text{水クッションの幅 (m)} \\ h_D &= 0.500 : \text{水クッションの深さ (m)} \\ h_f &= 2.000 : \text{落ち口下流端から下流水路敷までの落差 (m)} \end{aligned}$$

落下水脈の形状

$$\begin{aligned} \bullet z &= h_f + h_c + h_{vc} - h_v - h_2 = 2.000 + 0.294 + 0.148 - 0.232 - 0.375 \\ &= 1.835 \text{ (m)} \\ \bullet y &= z - h_c - h_{vc} = 1.835 - 0.294 - 0.148 \\ &= 1.393 \text{ (m)} \\ \bullet x &= 1.477 \times \{ (y/H) + 0.242 \}^{0.567} \times H = 1.477 \times \{ (1.393/0.442) + 0.242 \}^{0.567} \times 0.442 \\ &= 1.305 \text{ (m)} \\ \bullet \theta &= \tan^{-1} \{ 0.866 \times (x/H)^{0.763} \} = \tan^{-1} \{ 0.866 \times (1.305/0.442)^{0.763} \} \\ &= 63.183 \text{ (}^\circ\text{)} \\ \bullet v &= (2 \times g \times z)^{0.5} = (2 \times 9.800 \times 1.835)^{0.5} \\ &= 5.997 \text{ (m/s)} \\ \bullet d &= q/v = 0.500/5.997 \\ &= 0.083 \text{ (m)} \end{aligned}$$

水クッション中の下向き水脈

$$\begin{aligned} \bullet H_n &= h_D + h_2 + h_v = 0.500 + 0.375 + 0.232 \\ &= 1.107 \text{ (m)} \end{aligned}$$

よって、 $H_n \geq z/3$ を満足する。

$$\begin{aligned} \bullet S &= H_n / \sin \theta = 1.107 / \sin(63.183) \\ &= 1.240 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet 5.82 \times d &= 5.82 \times 0.083 \\ &= 0.483 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$S > 5.82 \times d$ となるため、

$$\begin{aligned} \bullet V_m &= 2.41 / (S/d)^{0.5} \times v = 2.41 / (1.240/0.083)^{0.5} \times 5.997 \\ &= 3.739 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

水クッションの規模

$$\begin{aligned} \bullet L &= x + H_n / \tan \theta = 1.305 + 1.107 / \tan(63.183) \\ &= 1.865 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$B_0 = 4.000 = B = 4.000$ となるため、

$$\begin{aligned} \bullet L_0 &\geq 3.0 \times L = 3.0 \times 1.865 \\ &\geq 5.595 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet P &= \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2 = 1.000 \times 4.000 \times 1.107^2 / 2 \\ &= 2.451 \text{ (tf)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet M &= \gamma_w \times Q \times V_m / g = 1.000 \times 2.000 \times 3.739 / 9.800 \\ &= 0.763 \text{ (tf)} \end{aligned}$$

よって、 $P > 3 \times M$ を満足する。

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

Q = 2.000 x = 1.305 y = 1.393 z = 1.835 h_r = 2.000
B = 4.000 θ = 1.103 v = 5.997 d = 0.083

| B0 | hD | $B \leq B0 \leq 2 \cdot B$ | Hn | $Hn \geq Z/3$ | S | Vm | L | L0 | P | 3・M | P>3・M |
|-------|-------|----------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.000 | 0.500 | OK | 1.107 | OK | 1.240 | 3.739 | 1.865 | 5.595 | 2.451 | 2.289 | OK |