

落差工水理計算システム

Ver1.2

土地改良仕様「水路工」

(水クッション型)

出力例

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	$=$	2.480 (m ³ /s)
重力加速度	g	$=$	9.800 (m/s ²)
水の単位体積重量	γ_w	$=$	9.800 (kN/m ³)
動水勾配	I	$=$	3.000 (‰)
粗度係数(底)	n	$=$	0.013
水路底幅	B	$=$	4.500 (m)
粗度係数(左)	n_L	$=$	0.000
コロビ(左)	k_L	$=$	2.000
粗度係数(右)	n_R	$=$	0.013
コロビ(右)	k_R	$=$	2.000

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、 $h_c = 0.2897262573$ (m) となる。

よって、 $h_c = 0.290$ (m)

$$V_c = 2.480 / \{0.290 \times 4.500 + 0.290^2 \times (2.000 + 2.000) / 2\}$$
$$= 1.683 \text{ (m/s)}$$

$$h_{vc} = 1.683^2 / (2 \times 9.800)$$
$$= 0.145 \text{ (m)}$$

$$H = 0.290 + 0.145$$
$$= 0.435 \text{ (m)}$$

落差工水理計算（水クッション型）

下流設計条件

設計流量	$Q =$	2.480 (m ³ /s)
重力加速度	$g =$	9.800 (m/s ²)
水の単位体積重量	$\gamma_w =$	9.800 (kN/m ³)
動水勾配	$I_2 =$	2.500 (‰)
粗度係数(底)	$n_2 =$	0.013
水路底幅	$B_2 =$	4.000 (m)
粗度係数(左)	$n_{L2} =$	0.013
コロビ(左)	$k_{L2} =$	1.800
粗度係数(右)	$n_{R2} =$	0.013
コロビ(右)	$k_{R2} =$	1.800

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、 $h_2 = 0.327$ (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

$$\begin{aligned} \text{よって、} A &= 4.000 \times 0.327 + 0.327^2 \times (1.800 + 1.800) / 2 \\ &= 1.500 \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 4.000 + 0.327 \times \{(1 + 1.800^2)^{0.5} + (1 + 1.800^2)^{0.5}\} \\ &= 5.347 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= 2.480 / 1.500 \\ &= 1.653 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_v &= 1.653^2 / (2 \times 9.800) \\ &= 0.139 \text{ (m)} \end{aligned}$$

落差工水理計算（水クッション型）

落下水脈の形状

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

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。

堰上げ高さの決定

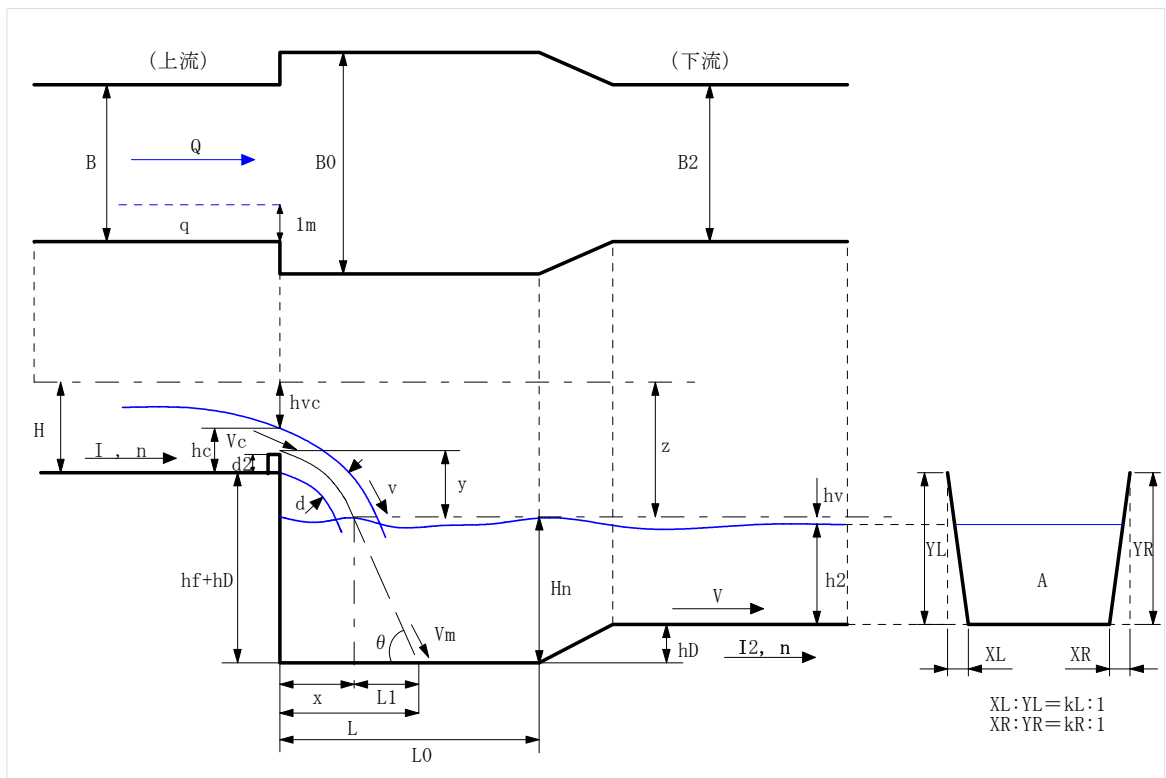
- $d_2 = H_3 - h_{vc} - h_c$
- $H_3 = h_2 + h_v$

- 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 (kN)
 - 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) (kN)
 - γ_w : 水の単位体積重量 (kN/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 : 上下水路の段落差 (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

$$\begin{aligned} B_0 &= 5.000 : \text{水クッションの幅 (m)} \\ h_D &= 3.000 : \text{水クッションの深さ (m)} \\ z &= 1.000 : \text{エネルギー線から水脈中心までの落差 (m)} \end{aligned}$$

落水脈の形状

$$\begin{aligned} \bullet y &= z - h_c / 2 - h_{vc} = 1.000 - 0.290 / 2 - 0.145 \\ &= 0.710 \quad (\text{m}) \\ \bullet x &= 1.155 \times \{(y/H) + 0.333\}^{0.5} \times H = 1.155 \times \{(0.710/0.435) + 0.333\}^{0.5} \times 0.435 \\ &= 0.704 \quad (\text{m}) \\ \bullet \theta &= \tan^{-1}\{1.50 \times (x/H)\} = \tan^{-1}\{1.50 \times (0.704/0.435)\} \\ &= 67.612 \quad (^\circ) \\ \bullet v &= (2 \times g \times z)^{0.5} = (2 \times 9.800 \times 1.000)^{0.5} \\ &= 4.427 \quad (\text{m}) \\ \bullet d &= ((B^2 + 2 \times Q \times (k_L + k_R) / v)^{0.5} - B) / (k_L + k_R) \\ &= ((4.500^2 + 2 \times 2.480 \times (2.000 + 2.000) / 4.427)^{0.5} - 4.500) / (2.000 + 2.000) \\ &= 0.118 \quad (\text{m}) \\ \bullet h_f &= z + h_v + h^2 - h_c - h_{vc} = 1.000 + 0.139 + 0.327 - 0.290 - 0.145 \\ &= 1.031 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

水クッション中の下向き水脈

$$\begin{aligned} \bullet H_n &= h_D + h_2 + h_v = 3.000 + 0.327 + 0.139 \\ &= 3.466 \quad (\text{m}) \\ \text{よって、} H_n &\geq z/3 \text{を満足する。} \\ \bullet S &= H_n / \sin \theta = 3.466 / \sin(67.612) \\ &= 3.749 \quad (\text{m}) \\ \bullet 5.82 \times d &= 5.82 \times 0.118 \\ &= 0.687 \quad (\text{m}) \\ S &> 5.82 \times d \text{となるため、} \\ \bullet V_m &= 2.41 / (S/d)^{0.5} \times v = 2.41 / (3.749/0.118)^{0.5} \times 4.427 \\ &= 1.893 \quad (\text{m/s}) \end{aligned}$$

水クッションの規模

$$\begin{aligned} \bullet L &= x + H_n / \tan \theta = 0.704 + 3.466 / \tan(67.612) \\ &= 2.132 \quad (\text{m}) \\ B_0 &= 5.000 > B = 4.500 \text{となるため、} \\ \bullet L_0 &\geq 2.5 \times L = 2.5 \times 2.132 \\ &\geq 5.330 \quad (\text{m}) \\ \bullet P &= \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2 = 9.800 \times 5.000 \times 3.466^2 / 2 \\ &= 294.322 \quad (\text{kN}) \\ \bullet M &= \gamma_w \times Q \times V_m / g = 9.800 \times 2.480 \times 1.893 / 9.800 \\ &= 4.695 \quad (\text{kN}) \\ \text{よって、} P &> 3 \times M \text{を満足する。} \end{aligned}$$

堰上げ高さの決定

$$\begin{aligned} \bullet H_3 &= h_2 + h_v = 0.276 + 0.161 \\ &= 0.437 \quad (\text{m}) \\ \bullet d_2 &= H_3 - h_{vc} - h_c = 0.437 - 0.145 - 0.290 \\ &= 0.002 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

<比較一覧表>

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

Q = 2.480 x = 0.704 y = 0.710 z = 1.000
 B = 4.500 θ = 1.180 v = 4.427 d = 0.118

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	hf
2.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.586	2.910	1.308	3.924	21.062	21.650	OUT	0.002	1.031
2.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.667	2.244	1.720	5.160	59.595	16.695	OK	0.002	1.031
2.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.749	1.893	2.132	6.396	117.729	14.084	OK	0.002	1.031
3.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.586	2.910	1.308	3.924	31.593	21.650	OK	0.002	1.031
3.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.667	2.244	1.720	5.160	89.393	16.695	OK	0.002	1.031
3.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.749	1.893	2.132	6.396	176.593	14.084	OK	0.002	1.031
4.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.586	2.910	1.308	3.924	42.123	21.650	OK	0.002	1.031
4.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.667	2.244	1.720	5.160	119.191	16.695	OK	0.002	1.031
4.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.749	1.893	2.132	6.396	235.458	14.084	OK	0.002	1.031
5.000	1.000	OK	1.466	OK	1.586	2.910	1.308	3.270	52.654	21.650	OK	0.002	1.031
5.000	2.000	OK	2.466	OK	2.667	2.244	1.720	4.300	148.988	16.695	OK	0.002	1.031
5.000	3.000	OK	3.466	OK	3.749	1.893	2.132	5.330	294.322	14.084	OK	0.002	1.031
6.000	1.000	OK	1.466	OK	1.586	2.910	1.308	3.270	63.185	21.650	OK	0.002	1.031
6.000	2.000	OK	2.466	OK	2.667	2.244	1.720	4.300	178.786	16.695	OK	0.002	1.031
6.000	3.000	OK	3.466	OK	3.749	1.893	2.132	5.330	353.187	14.084	OK	0.002	1.031

<Excelへの出力例>

落差工

Q = 2.480 x = 1.037 y = 1.710 z = 2.000
 d = 4.500 θ = 1.298 v = 6.261 d = 0.085

B0	hD	$B \leq B0 \leq 2 \cdot B$	Hn	$Hn \geq z/3$	S	Vm	L	L0	P	3・M	$P > 3 \cdot M$	d2	hf
2.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.522	3.566	1.447	4.341	21.062	26.531	OUT	0.002	2.031
2.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.561	2.749	1.727	5.181	59.595	20.453	OK	0.002	2.031
2.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.599	2.319	2.006	6.018	117.729	17.253	OK	0.002	2.031
3.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.522	3.566	1.447	4.341	31.593	26.531	OK	0.002	2.031
3.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.561	2.749	1.727	5.181	89.393	20.453	OK	0.002	2.031
3.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.599	2.319	2.006	6.018	176.593	17.253	OK	0.002	2.031
4.000	1.000	OUT	1.466	OK	1.522	3.566	1.447	4.341	42.123	26.531	OK	0.002	2.031
4.000	2.000	OUT	2.466	OK	2.561	2.749	1.727	5.181	119.191	20.453	OK	0.002	2.031
4.000	3.000	OUT	3.466	OK	3.599	2.319	2.006	6.018	235.458	17.253	OK	0.002	2.031
5.000	1.000	OK	1.466	OK	1.522	3.566	1.447	3.618	52.654	26.531	OK	0.002	2.031
5.000	2.000	OK	2.466	OK	2.561	2.749	1.727	4.318	148.988	20.453	OK	0.002	2.031
5.000	3.000	OK	3.466	OK	3.599	2.319	2.006	5.015	294.322	17.253	OK	0.002	2.031
6.000	1.000	OK	1.466	OK	1.522	3.566	1.447	3.618	63.185	26.531	OK	0.002	2.031
6.000	2.000	OK	2.466	OK	2.561	2.749	1.727	4.318	178.786	20.453	OK	0.002	2.031
6.000	3.000	OK	3.466	OK	3.599	2.319	2.006	5.015	353.187	17.253	OK	0.002	2.031