

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 : 大阪事務所 (技術サービス)

〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501

TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233

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

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	=	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	=	9.800 (kN/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	γ _w	=	9.800 (kN/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)

h₂ : 水深 (m)

h_v : 流速水頭 (m)

P : 潤辺 (m)

Q : 設計流量 (m³/s)

B₂ : 水路底幅 (m)

g : 重力加速度 (m/s²)

水深 h₂ は、下記式を満足するように値を変化させると、h₂ = 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

$$\begin{aligned} \text{よって、} A &= 3.500 \times 0.803 + 0.803^2 \times (1.000 + 1.000) / 2 \\ &= 3.455 \text{ (m}^2\text{)} \\ P &= 3.500 + 0.803 \times \{(1 + 1.000^2)^{0.5} + (1 + 1.000^2)^{0.5}\} \\ &= 5.771 \text{ (m)} \\ V &= 5.000 / 3.455 \\ &= 1.447 \text{ (m/s)} \\ h_v &= 1.447^2 / (2 \times 9.800) \\ &= 0.107 \text{ (m)} \end{aligned}$$

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)

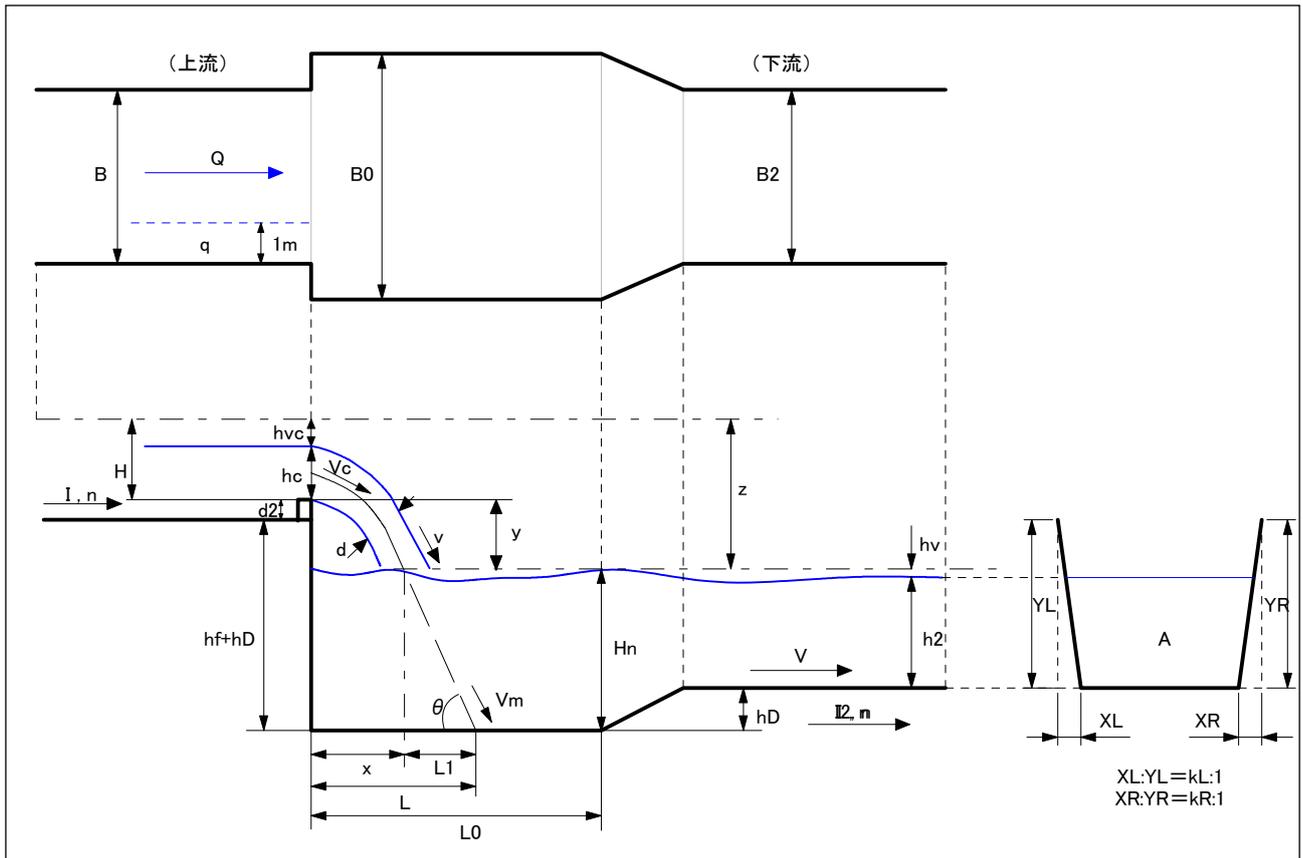
H_3 : 設計水頭 (m)

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

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

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、

$$\begin{aligned} \bullet L_0 &\geq 2.5 \times L = 2.5 \times 2.022 \\ &\geq 5.055 \quad (\text{m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet P &= \gamma_w \times B_0 \times H_n^2 / 2 = 9.800 \times 4.100 \times 1.910^2 / 2 \\ &= 73.290 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet M &= \gamma_w \times Q \times V_m / g = 9.800 \times 5.000 \times 3.734 / 9.800 \\ &= 18.670 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

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

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

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	57.312	59.205	OUT	0.157
4.000	0.900	OK	1.810	OK	2.142	3.837	1.959	4.898	64.212	57.555	OK	0.157
4.000	1.000	OK	1.910	OK	2.261	3.734	2.022	5.055	71.503	56.010	OK	0.157
4.000	1.100	OK	2.010	OK	2.379	3.641	2.085	5.213	79.186	54.615	OK	0.157
4.000	1.200	OK	2.110	OK	2.497	3.554	2.149	5.373	87.261	53.310	OK	0.157
4.100	0.800	OK	1.710	OK	2.024	3.947	1.896	4.740	58.745	59.205	OUT	0.157
4.100	0.900	OK	1.810	OK	2.142	3.837	1.959	4.898	65.817	57.555	OK	0.157
4.100	1.000	OK	1.910	OK	2.261	3.734	2.022	5.055	73.290	56.010	OK	0.157
4.100	1.100	OK	2.010	OK	2.379	3.641	2.085	5.213	81.166	54.615	OK	0.157
4.100	1.200	OK	2.110	OK	2.497	3.554	2.149	5.373	89.443	53.310	OK	0.157
4.200	0.800	OK	1.710	OK	2.024	3.947	1.896	4.740	60.178	59.205	OK	0.157
4.200	0.900	OK	1.810	OK	2.142	3.837	1.959	4.898	67.422	57.555	OK	0.157
4.200	1.000	OK	1.910	OK	2.261	3.734	2.022	5.055	75.078	56.010	OK	0.157
4.200	1.100	OK	2.010	OK	2.379	3.641	2.085	5.213	83.145	54.615	OK	0.157
4.200	1.200	OK	2.110	OK	2.497	3.554	2.149	5.373	91.624	53.310	OK	0.157
4.300	0.800	OK	1.710	OK	2.024	3.947	1.896	4.740	61.611	59.205	OK	0.157
4.300	0.900	OK	1.810	OK	2.142	3.837	1.959	4.898	69.027	57.555	OK	0.157
4.300	1.000	OK	1.910	OK	2.261	3.734	2.022	5.055	76.865	56.010	OK	0.157
4.300	1.100	OK	2.010	OK	2.379	3.641	2.085	5.213	85.125	54.615	OK	0.157
4.300	1.200	OK	2.110	OK	2.497	3.554	2.149	5.373	93.806	53.310	OK	0.157

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

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

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	57.312	61.335	OUT	0.157
4.000	0.900	OK	1.810	OK	2.101	3.974	1.940	4.850	64.212	59.610	OK	0.157
4.000	1.000	OK	1.910	OK	2.217	3.869	1.999	4.998	71.503	58.035	OK	0.157
4.000	1.100	OK	2.010	OK	2.333	3.771	2.058	5.145	79.186	56.565	OK	0.157
4.000	1.200	OK	2.110	OK	2.449	3.681	2.117	5.293	87.261	55.215	OK	0.157
4.100	0.800	OK	1.710	OK	1.984	4.089	1.881	4.703	58.745	61.335	OUT	0.157
4.100	0.900	OK	1.810	OK	2.101	3.974	1.940	4.850	65.817	59.610	OK	0.157
4.100	1.000	OK	1.910	OK	2.217	3.869	1.999	4.998	73.290	58.035	OK	0.157
4.100	1.100	OK	2.010	OK	2.333	3.771	2.058	5.145	81.166	56.565	OK	0.157
4.100	1.200	OK	2.110	OK	2.449	3.681	2.117	5.293	89.443	55.215	OK	0.157
4.200	0.800	OK	1.710	OK	1.984	4.089	1.881	4.703	60.178	61.335	OUT	0.157
4.200	0.900	OK	1.810	OK	2.101	3.974	1.940	4.850	67.422	59.610	OK	0.157
4.200	1.000	OK	1.910	OK	2.217	3.869	1.999	4.998	75.078	58.035	OK	0.157
4.200	1.100	OK	2.010	OK	2.333	3.771	2.058	5.145	83.145	56.565	OK	0.157
4.200	1.200	OK	2.110	OK	2.449	3.681	2.117	5.293	91.624	55.215	OK	0.157
4.300	0.800	OK	1.710	OK	1.984	4.089	1.881	4.703	61.611	61.335	OK	0.157
4.300	0.900	OK	1.810	OK	2.101	3.974	1.940	4.850	69.027	59.610	OK	0.157
4.300	1.000	OK	1.910	OK	2.217	3.869	1.999	4.998	76.865	58.035	OK	0.157
4.300	1.100	OK	2.010	OK	2.333	3.771	2.058	5.145	85.125	56.565	OK	0.157
4.300	1.200	OK	2.110	OK	2.449	3.681	2.117	5.293	93.806	55.215	OK	0.157

落差工水理計算（水クッション型）

比較検討一覧表

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

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	57.312	63.210	OUT	0.157
4.000	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	64.212	61.440	OK	0.157
4.000	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	71.503	59.820	OK	0.157
4.000	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	79.186	58.305	OK	0.157
4.000	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	87.261	56.910	OK	0.157
4.100	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	58.745	63.210	OUT	0.157
4.100	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	65.817	61.440	OK	0.157
4.100	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	73.290	59.820	OK	0.157
4.100	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	81.166	58.305	OK	0.157
4.100	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	89.443	56.910	OK	0.157
4.200	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	60.178	63.210	OUT	0.157
4.200	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	67.422	61.440	OK	0.157
4.200	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	75.078	59.820	OK	0.157
4.200	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	83.145	58.305	OK	0.157
4.200	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	91.624	56.910	OK	0.157
4.300	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	61.611	63.210	OUT	0.157
4.300	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	69.027	61.440	OK	0.157
4.300	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	76.865	59.820	OK	0.157
4.300	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	85.125	58.305	OK	0.157
4.300	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	93.806	56.910	OK	0.157

落差工

$$\begin{array}{llll}
 Q = 5.000 & x = 0.931 & y = 0.585 & z = 1.200 \\
 d = 3.800 & \theta = 1.066 & v = 4.850 & d = 0.254
 \end{array}$$

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
4.000	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	57.312	63.210	OUT	0.157	1.338
4.000	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	64.212	61.440	OK	0.157	1.338
4.000	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	71.503	59.820	OK	0.157	1.338
4.000	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	79.186	58.305	OK	0.157	1.338
4.000	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	87.261	56.910	OK	0.157	1.338
4.100	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	58.745	63.210	OUT	0.157	1.338
4.100	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	65.817	61.440	OK	0.157	1.338
4.100	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	73.290	59.820	OK	0.157	1.338
4.100	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	81.166	58.305	OK	0.157	1.338
4.100	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	89.443	56.910	OK	0.157	1.338
4.200	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	60.178	63.210	OUT	0.157	1.338
4.200	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	67.422	61.440	OK	0.157	1.338
4.200	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	75.078	59.820	OK	0.157	1.338
4.200	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	83.145	58.305	OK	0.157	1.338
4.200	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	91.624	56.910	OK	0.157	1.338
4.300	0.800	OK	1.710	OK	1.954	4.214	1.876	4.690	61.611	63.210	OUT	0.157	1.338
4.300	0.900	OK	1.810	OK	2.068	4.096	1.932	4.830	69.027	61.440	OK	0.157	1.338
4.300	1.000	OK	1.910	OK	2.182	3.988	1.987	4.968	76.865	59.820	OK	0.157	1.338
4.300	1.100	OK	2.010	OK	2.297	3.887	2.042	5.105	85.125	58.305	OK	0.157	1.338
4.300	1.200	OK	2.110	OK	2.411	3.794	2.097	5.243	93.806	56.910	OK	0.157	1.338