

# JIS型四角セキの水量と流量係数

富 永 保 夫

## Discharge and Discharge Coefficients of JIS type Rectangular Thin-plate Weirs

Yasuo TOMINAGA

As to the discharge coefficients for rectangular weirs with two side-contractions two formulas are compared and discussed, one being that deduced by Oki(1929) and the other by Itaya and Teshima (1949).

Mr. Toyoda introduces the "interference factor" whose value is determined from an extreme case in which the channel breadth and depth under weir crest are both infinite.

Mr. Hoshino published the generalized discharge formula for all kinds of rectangular weirs (1962), while new formula of weir was proposed by Kindsvater and Carter in America (1959).

The contents in this paper are as follows:

- ① The writer made the precise table of discharge coefficient which was calculated at the heads of two JIS-type weirs every one mm.
- ② Discharge coefficient  $K$  is divided into  $K_1$  and  $K_2$ , and  $K$  is Obtained easily by graphical solution.
- ③ Eight kinds of table were made to know various range of  $K$ .
- ④ The others.

### 1. ま え が き

ここで単に「四角セキ」と称するセキは両側に縮流部を持つ長方形うす刃セキのことで、全幅セキ・もぐりセキ・平たんセキ等は含まない。四角セキの流量係数式としての沖公式(昭4)や板谷・手島公式(昭26)は何れも多くの実験資料を克明に解析して、資料に忠実で簡潔な形に表現された実験公式である。当時最も優れた精度を持っていたのでそれぞれ旧 JES 式や JIS 式に採用された。その後流体力学的推理を利用した豊田公式(昭31)が作られ、更に小型セキの全領域を含む四角セキ総合公式(昭37)が星野氏によって発表された。一方米国においても1959年に Kindsvater & Carter両氏が A. S. C. E に新公式を提案している現状である。そこで筆者は次のことについて述べることにした。

- ① 最大水頭 270mmと312mmの JIS 型セキについて、水頭  $H$  を 1mm毎に計算した流量係数表をのせた。
- ② 流量係数  $K$  を  $K_1$  と  $K_2$  の 2 つの線図に分けて簡単に  $K$  の値が求められるようにした。
- ③ JIS 式の係数  $K$  の変化のあらましを 8 種の表によって示した。
- ④ JIS 式と他式とを比較して相異点を調べた。

### 2. J I S 式

四角セキ (図1参照)

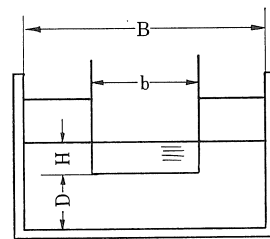


図 1

$$Q = K b H^{1.5} \dots\dots\dots(1)$$

$$K = 107.1 + \frac{0.177}{H} + 14.2 \frac{H}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)H}{DB}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}} \dots\dots\dots(2)$$

- ここに  $Q$  : 水量 ( $m^3/min$ )  
 $b$  : 切欠きの幅 ( $m$ )  
 $H$  : セキの水頭 ( $m$ )  
 $K$  : 流量係数  
 $B$  : 水路の幅 ( $m$ )

D : 水路の底面から切欠き下縁までの高さ

(m)

この算式の適用範囲は下記のとおりとする。

$$B = 0.5 \sim 6.3m \quad b = 0.15 \sim 5m$$

$$D = 0.15 \sim 3.5m \quad \frac{bD}{B^2} = 0.06 \text{ 以上}$$

$$H = 0.03 \sim 0.45\sqrt{b} \text{ (m)}$$

JIS 規格では板谷・手島公式が採用された。

すなわち

$$\left\{ \begin{aligned} Q &= \frac{2}{3} C \sqrt{2g} b H^{1.5} \text{ (m.sec 単位)} \dots\dots\dots(3) \\ C &= \left( 0.605 + \frac{1}{1000H} + 0.08 \frac{H}{D} \right) - 0.145 \sqrt{\frac{(B-b)H}{BD}} \\ &\quad + 0.0115 \sqrt{\frac{B}{D}} \dots\dots\dots(4) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} Q &= K' b H^{1.5} \text{ (m.sec 単位)} \dots\dots\dots(5) \\ K' &= 1.785 + \frac{0.00295}{H} + 0.236 \frac{H}{D} - 0.428 \sqrt{\frac{(B-b)H}{BD}} \\ &\quad + 0.034 \sqrt{\frac{B}{D}} \dots\dots\dots(6) \end{aligned} \right.$$

$$K = 60K' = 177C, \quad K = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C = 2.95C$$

これから逆算すれば  $g = 9.7903m/s^2$  であることがわかる。標準値  $g = 9.80665m/s^2$  を使用すれば  $K = 1$

77.15C,  $K' = 2.952$  となるから注意を要する。K の個々の値は C 式の値に対して大凡  $K = 177.03 \sim 177.08C$  の範囲内にあるようであるが、これは単位を変化させる際の常数値の切上げ、切下げによるためでありその誤差は約0.03%程度で僅少である。

次に四角セキの水量範囲の1例を表にして示すことにする。

四角セキの水量範囲

○印は代表型

幅 B × b	水頭 H (m)	水 量 Q (m³/min)	セキ高さ D (m)
0.6 × 0.24m	0.03 ~ 0.220	0.13 ~ 2.7	0.16
○0.9 × 0.36	0.03 ~ 0.270	0.21 ~ 5.5	0.20
○1.2 × 0.48	0.03 ~ 0.312	0.28 ~ 9.0	0.25
1.5 × 0.60	0.03 ~ 0.349	0.35 ~ 13.3	0.30

3. 流量係数の変化

第1表の㉔から㉒までに水頭  $H = 0.03 \sim 0.35m$ , セキ峯高さ  $D = 0.20 \sim 1.00m$ , 切欠幅比  $b/B = 30\% \cdot 40\% \cdot 50\%$ , 水路幅  $B = 0.9 \sim 1.5m$  の変化範囲に対する K の値が示されている。式の適用範囲外の部分は—印にして数値の記入を省略した。なお \*印はそれぞれの最大水頭を示す。

第1表 ㉔

$K(b/B = 40\%, B = 0.9m)$

\*印最大水頭

$D(m) \backslash H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	111.75	111.68	111.66	111.67	111.71	111.91
0.05	108.56	108.45	108.41	108.44	108.48	108.83
0.10	106.22	105.83	105.64	105.53	105.54	105.93
0.15	106.02	105.25	104.84	104.47	104.37	104.64
0.20	106.61	105.41	104.73	104.07	103.81	103.86
0.25	107.63	105.97	105.00	104.01	103.57	103.34
*0.27	108.12	106.27	105.18	104.05	103.53	103.18
0.30	—	—	—	—	—	—

第1表 ㉒

$K(b/B = 40\%, B = 1.2m)$

\*印最大水頭

$D(m) \backslash H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	112.42	112.28	112.20	112.15	112.14	112.21
0.05	109.23	109.05	108.96	108.91	108.91	109.13
0.10	106.89	106.43	106.19	106.00	105.97	106.23
0.15	106.69	105.85	105.38	104.95	104.80	104.93
0.20	107.27	106.01	105.28	104.54	104.24	104.16
0.25	108.30	106.57	105.55	104.48	103.99	103.64
0.30	109.61	107.39	106.06	104.63	103.95	103.28
*0.312	109.95	107.62	106.21	104.70	103.96	103.20

第1表 ㉔

$K(b/B=40\%, B=1.5m)$

\* 印最大水頭

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	—	112.81	112.69	112.56	112.51	112.48
0.05	—	109.57	109.44	109.33	109.30	109.40
0.10	—	106.96	106.67	106.42	106.34	106.49
0.15	—	106.38	105.87	105.36	105.17	105.20
0.20	—	106.54	105.76	104.96	104.61	104.42
0.25	—	107.10	106.03	104.90	104.36	103.90
0.30	—	107.92	106.54	105.05	104.32	103.54
*0.349	—	108.91	107.22	105.35	104.42	103.30

第1表 ㉕

$K(b/B=50\%, B=0.9m)$

\* 印最大水頭

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	112.42	112.28	112.21	112.15	112.14	112.22
0.05	109.43	109.22	109.12	109.05	109.05	109.22
0.10	107.45	107.14	106.64	106.39	106.32	106.48
0.15	107.52	106.59	106.06	105.54	105.32	105.31
0.20	108.34	106.96	106.15	105.30	104.91	104.63
0.25	109.57	107.71	106.59	105.38	104.79	104.21
0.30	111.06	108.69	107.25	105.66	104.87	103.93
*0.302	111.12	108.74	107.28	105.68	104.88	103.92

第1表 ㉖

$K(b/B=50\%, B=1.2m)$

\* 印最大水頭

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	113.09	112.88	112.75	112.62	112.56	112.51
0.05	110.10	109.82	109.67	109.52	109.47	109.52
0.10	108.12	107.53	107.19	106.87	106.74	106.78
0.15	108.19	107.19	106.61	106.01	105.75	105.61
0.20	109.01	107.56	106.69	105.77	105.33	104.93
0.25	110.24	108.30	107.13	105.85	105.22	104.51
0.30	111.73	109.29	107.80	106.14	105.29	104.23
*0.349	113.38	110.43	108.61	106.51	105.48	104.06

第1表 ㊦

 $K(b/B=50\%, B=1.5m)$ 

最大水頭 0.39m

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	113.68	113.41	113.23	113.04	112.93	112.78
0.05	110.69	110.35	110.15	109.94	109.85	109.79
0.10	108.71	108.05	107.67	107.28	107.12	107.04
0.15	108.78	107.72	107.09	106.43	106.12	105.87
0.20	109.60	108.09	107.18	106.19	105.71	105.20
0.25	110.83	108.83	107.61	106.27	105.59	104.77
0.30	112.32	109.82	108.28	106.55	105.67	104.49
0.35	114.00	110.98	109.11	106.98	105.87	104.32

第1表 ㊧

 $K(b/B=30\%, B=0.9m)$ 

\*印最大水頭

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	111.13	111.13	111.15	111.24	111.32	111.64
0.05	107.77	107.73	107.76	107.87	108.00	108.48
0.10	105.09	104.82	104.72	104.73	104.83	105.43
0.15	104.64	104.02	103.71	103.50	103.50	104.02
0.20	105.01	103.98	103.43	102.94	102.80	103.14
*0.234	105.54	104.22	103.48	102.78	102.53	102.71
0.25	—	—	—	—	—	—
0.30	—	—	—	—	—	—

第1表 ㊨

 $K(b/B=30\%, B=1.2m)$ 

\*印最大水頭

$D(m)$ $H(m)$	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	1.00
0.03	—	111.72	111.70	111.71	111.75	111.94
0.05	—	108.33	108.31	108.35	108.42	108.78
0.10	—	105.42	105.27	105.20	105.25	105.73
0.15	—	104.61	104.26	103.97	103.92	104.32
0.20	—	104.58	103.98	103.41	103.23	103.44
0.25	—	104.98	104.09	103.22	102.86	102.84
*0.27	—	105.22	105.22	103.21	102.78	102.65
0.30	—	—	—	—	—	—

4. 推奨型セキの  $K$ 

JIS 規格の参考寸法として選ばれたA型( $B=0.9m$ ,  
 $b=0.36m$ ,  $D=0.20m$ )とB型( $B=1.2m$ ,  $b=0.48m$ ,

$D=0.25m$ )について水頭 $H$ を1mm毎に計算した精しい  
表を作り、第2表にA型を第3表にB型をのせた。



第3表

K (流量係数) B型( $B=1.2m$ ,  $b=0.48m$ ,  $D=0.25m$ )

$\Delta H(m)$ $H(m)$	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.03	112.28	112.03	111.80	111.57	111.37	111.17	110.98	110.80	110.62	110.46
0.04	110.30	110.15	110.01	109.87	109.74	109.61	109.49	109.37	109.26	109.15
0.05	109.05	108.95	108.85	108.75	108.66	108.57	108.49	108.41	108.33	108.25
0.06	108.18	108.10	108.03	107.96	107.90	107.83	107.77	107.71	107.65	107.60
0.07	107.54	107.49	107.43	107.38	107.33	107.29	107.24	107.19	107.15	107.11
0.08	107.06	107.02	106.98	106.95	106.91	106.87	106.84	106.80	106.77	106.74
0.09	106.70	106.67	106.64	106.61	106.58	106.56	106.53	106.50	106.48	106.45
0.10	106.43	106.41	106.38	106.36	106.34	106.32	106.30	106.28	106.26	106.24
0.11	106.22	106.20	106.19	106.17	106.15	106.14	106.12	106.11	106.10	106.08
0.12	106.07	106.06	106.04	106.03	106.02	106.01	106.00	105.99	105.98	105.97
0.13	105.96	105.95	105.94	105.93	105.93	105.92	105.91	105.91	105.90	105.89
0.14	105.89	105.88	105.88	105.87	105.87	105.87	105.86	105.86	105.86	105.85
0.15	105.85	105.85	105.85	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84
0.16	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.84	105.85	105.85
0.17	105.85	105.85	105.86	105.86	105.86	105.87	105.87	105.87	105.88	105.88
0.18	105.89	105.89	105.89	105.90	105.90	105.91	105.92	105.92	105.92	105.93
0.19	105.94	105.94	105.95	105.96	105.96	105.97	105.98	105.99	105.99	106.00
0.20	106.01	106.02	106.03	106.03	106.04	106.05	106.06	106.07	106.08	106.09
0.21	106.10	106.10	106.11	106.12	106.13	106.14	106.15	106.16	106.17	106.18
0.22	106.20	106.21	106.22	106.23	106.24	106.25	106.26	106.27	106.29	106.30
0.23	106.31	106.32	106.33	106.35	106.36	106.37	106.38	106.40	106.41	106.42
0.24	106.43	106.45	106.46	106.47	106.49	106.50	106.51	106.53	106.54	106.56
0.25	106.57	106.58	106.60	106.61	106.63	106.64	106.66	106.67	106.69	106.70
0.26	106.72	106.73	106.75	106.76	106.78	106.79	106.81	106.83	106.84	106.86
0.27	106.87	106.89	106.91	106.92	106.94	106.95	106.97	106.99	107.00	107.02
0.28	107.04	107.06	107.07	107.09	107.11	107.12	107.14	107.16	107.18	107.19
0.29	107.21	107.23	107.25	107.26	107.28	107.30	107.32	107.34	107.36	107.37
0.30	107.39	107.41	107.43	107.45	107.47	107.49	107.50	107.52	107.54	107.56
0.31	107.58	107.60	107.72	—	—	—	—	—	—	—

5. 線図によって  $K$  の値を求める

JIS 式の流量係数  $K$  は  $B, b, D$  の値があたえられれば水頭  $H$  のみの関数となるから  $K-H$  曲線は 1 本の線として表わされる。  $B, b, D, H$  の 4 変数がともに変化するときには 1 つの図表にて簡単に  $K$  の値を求めることは一般に無理のようであるから、次の様に変化すると便利である。

$$K = f(B, b, D, H) \text{ とせず}$$

$$K = f(b/B, H/D, B/D, 1/H) \dots\dots\dots(7)$$

なお  $K = K_1 + K_2$  に着眼して

$$K_1 = f_1(b/B, H/D), K_2 = f_2\left(\frac{1}{H}, \frac{B}{D}\right) \text{ の形に分ける。}$$

$$K_1 = 107.1 + 14.2 \frac{H}{D} - 25.7 \sqrt{1 - \frac{b}{B}} \sqrt{\frac{H}{D}} \dots\dots\dots(8)$$

$$K_2 = \frac{0.177}{H} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}} \dots\dots\dots(9)$$

第 2 図は  $b/B$  をパラメータにした  $(K_1 - \sqrt{\frac{H}{D}})$  線図であり、第 3 図は  $B/D$  をパラメータにした  $(K_1 - \frac{1}{H})$

線図である。なお第 4 表に代表 A 型と B 型セキの  $K_1, K_2, K$  の関係を示した。第 4 表に示した表を線図にしたものが第 4 図と第 5 図である。

6. 他公式との比較

6.1 沖公式 ( $m = H/b$ )

$$C = 0.623 \left[ 1 + \frac{0.012}{H} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{m}}{10} \left( 1 - \frac{m}{10D} \right) \right\} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{bH}{B(D+H)} \right\}^2 \right] \right] \dots\dots(10)$$

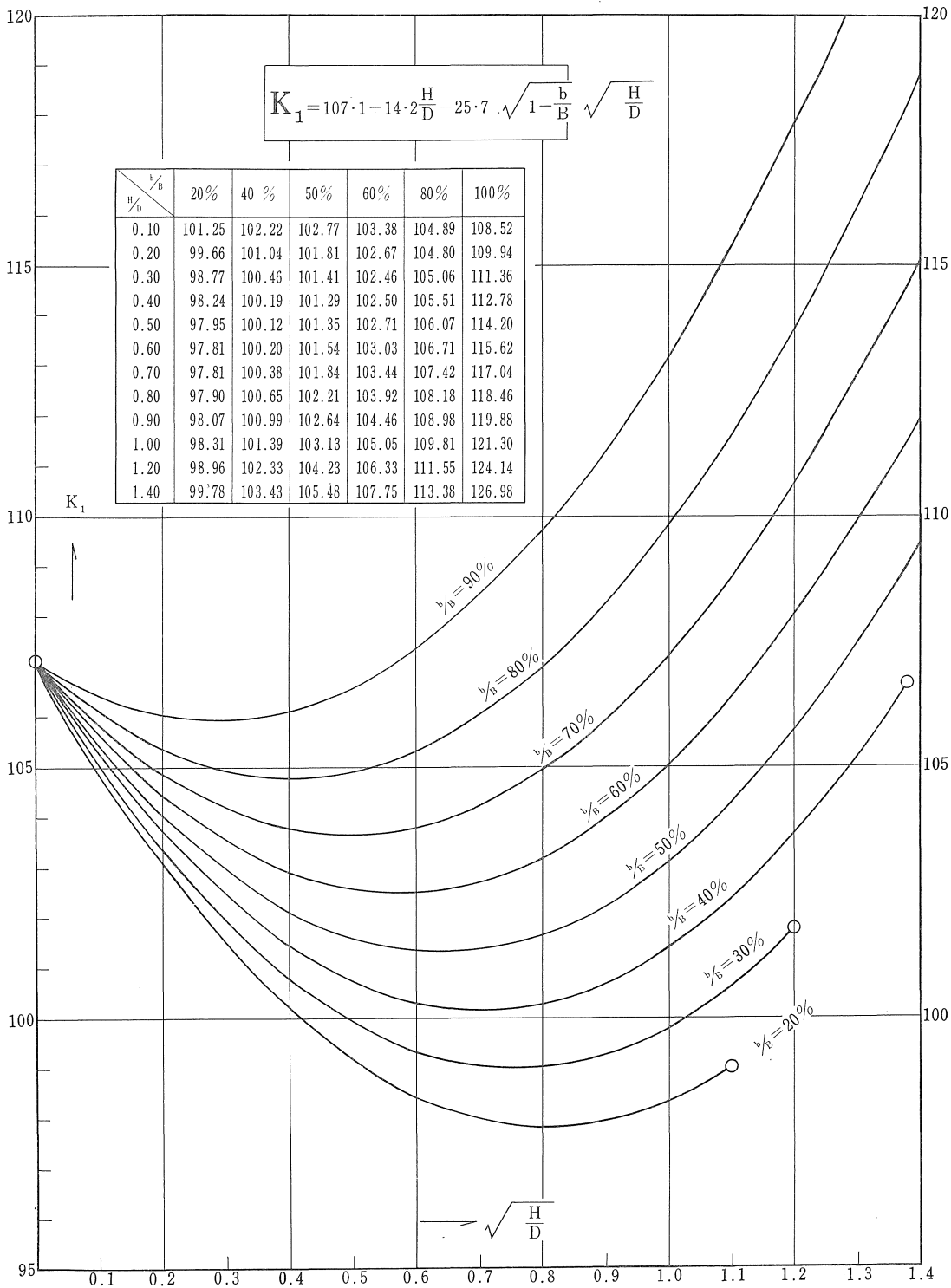
この式は旧 JES 式に採用されたもの第 1 項の常数を 0.6224 より 0.623 に変更したものである。Francis 公式の 3.33 は  $g = 32.1618 \text{ft/sec}^2$  であるから正しい値 0.623 に修正したもので 0.6224 とは 0.1% の差がある。  $m$  の適用範囲も最初  $m \leq 1$  であったものを  $m \leq \frac{2}{3}$  に制限した。

$$D \geq 0.30m, b \geq 0.15m, H \geq 0.02m, B - b > 3H$$

沖公式は主として完全収縮即ち  $b/B, H/D$  が小さい場合を対象にして作られた式である。板谷・手島式は不完全収縮即ち  $b/B$  の大きな場合を対象とし、全幅セキに

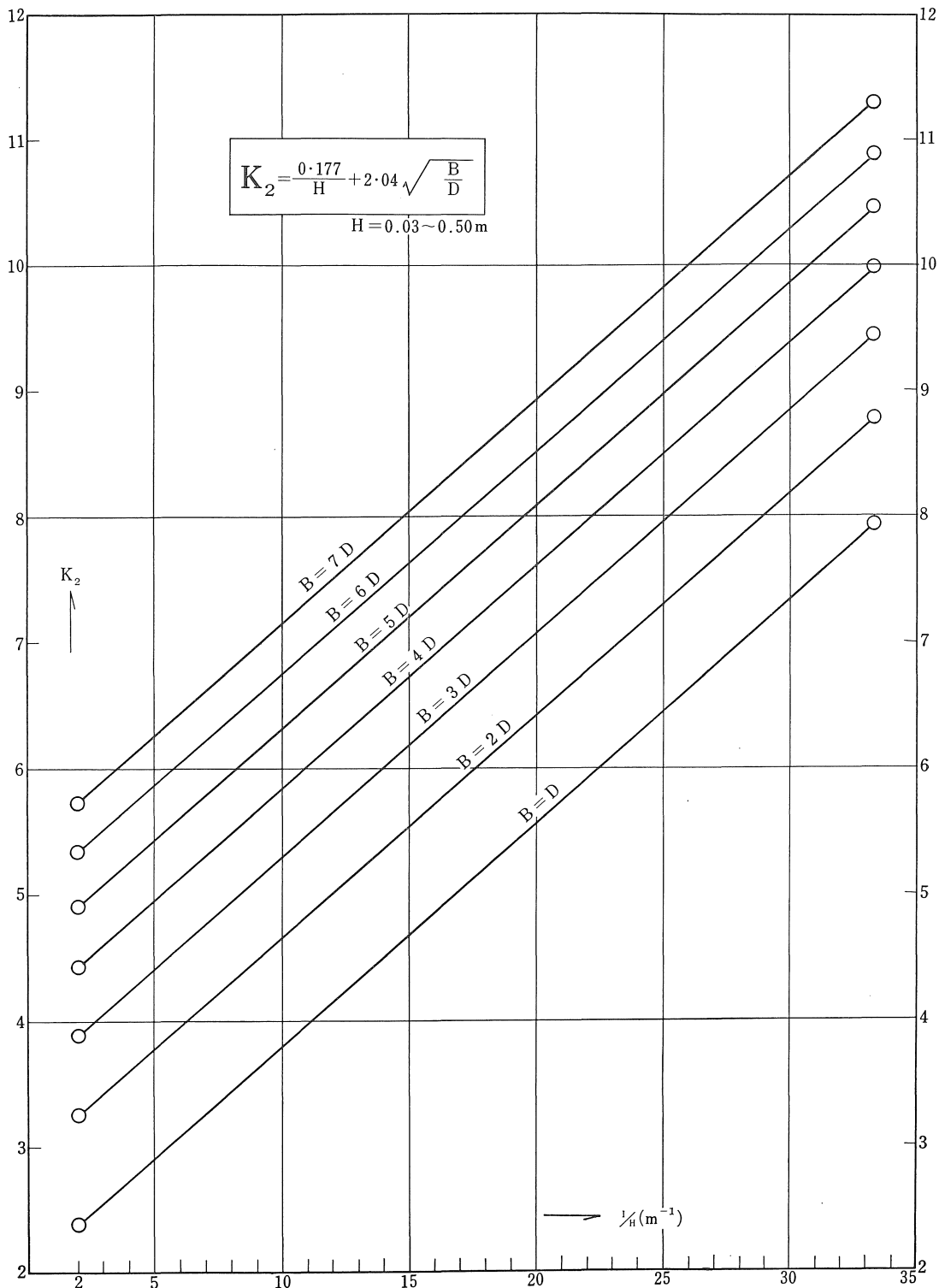
第 4 表 (流量係数) ( $K = K_1 + K_2$ )

$B = 0.9m, b = 0.36m, D = 0.20m$				$B = 1.2m, b = 0.48m, D = 0.25m$		
$K$	$K_1$	$K_2$	$H(m)$	$K$	$K_1$	$K_2$
111.75	101.52	10.23	0.03	112.28	101.91	10.37
109.79	101.04	8.75	0.04	110.30	101.41	8.89
108.56	100.70	7.87	0.05	109.05	101.04	8.01
107.73	100.46	7.28	0.06	108.18	100.76	7.42
107.15	100.29	6.86	0.07	107.54	100.54	7.00
106.73	100.19	6.54	0.08	107.06	100.38	6.68
106.43	100.14	6.29	0.09	106.70	100.27	6.44
106.22	100.12	6.10	0.10	106.43	100.19	6.24
106.08	100.15	5.94	0.11	106.22	100.14	6.08
106.00	100.20	5.80	0.12	106.07	100.12	5.94
105.97	100.28	5.69	0.13	105.96	100.13	5.83
105.98	100.38	5.59	0.14	105.89	100.16	5.73
106.02	100.51	5.51	0.15	105.85	100.20	5.65
106.09	100.65	5.43	0.16	105.84	100.26	5.58
106.31	100.99	5.31	0.18	105.89	100.43	5.45
106.61	101.39	5.21	0.20	106.01	100.65	5.35
106.97	101.84	5.13	0.22	106.20	100.92	5.27
107.40	102.33	5.07	0.24	106.43	101.23	5.21
107.63	102.59	5.04	0.25	106.57	101.39	5.18
107.87	102.86	5.01	0.26	106.72	101.57	5.15
108.12	103.14	4.98	0.27	106.87	101.75	5.12
—	—	—	0.28	107.04	101.93	5.10
—	—	—	0.30	107.39	102.33	5.06
—	—	—	0.312	107.62	102.58	5.04



第 2 図  $K_1 - \sqrt{\frac{H}{D}}$





第 3 図  $K_2 - \frac{1}{H}$

対する Rehbock 式に両側縁による収縮を表わす項を付加しその後修正したもので適用範囲は沖公式より広く小さなセキで大きな水量が測定される。

沖式による誤差  $\varepsilon$  の最大頻度は  $-0.5\%$  のところであり、板谷・手島式のそれは  $+0.3\%$  のところに起きる。即ち実験値は板谷式よりも高く、沖公式より低いこととなるが個々の場合を例にとれば何れが高いとか低いとかは一定していない。

6.2 豊田式

豊田堅三郎氏は2次元オリフィスに関する Mises の理論収縮係数から収縮の干渉係数を考えることにより、あらゆる状態のセキの形と大きさにおける四角セキの縮収係数の一般式を求め、普通の四角セキに対しては(11)式を得た。

$$C = 0.611 \left\{ 1 - 0.116 \sqrt{m} \left( 1 - \frac{m^2}{2} \right) \right\} \left\{ 1 + 0.219 \times \left\{ \left( \frac{b}{B} \right)^2 + \left( \frac{H}{H+D} \right)^2 \right\} + 0.0482 \times \left\{ \frac{bH}{B(H+D)} \right\}^2 \right\} \dots\dots(11)$$

第6図は  $B=1.2m$   $D=0.40m$   $b/B=40\%$  のセキについて豊田式・JIS式・沖式の比較が示されている。

6.3 Kindsvater & Carter の式

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (b + \Delta b) (h + \Delta h)^{1.5} \dots\dots\dots(12)$$

$b/B$	$\Delta b(ft)$	$\Delta h(ft)$	$C_d$
0.20	0.008	0.003	$0.598 + 0.0018 \frac{H}{D}$
0.40	0.009	〃	$0.591 + 0.0058 \frac{H}{D}$
0.60	0.012	〃	$0.593 + 0.018 \frac{H}{D}$
0.80	0.014	〃	$0.596 + 0.045 \frac{H}{D}$

(例1)

$B=0.9m$   $b=0.36m$   $D=0.20m$   $H=0.20m$

$$C_d = 0.591 + 0.0058 \times \frac{0.20}{0.20}$$

=0.5968

$K_d = 177.1 C_d$

=105.69

$$K = 105.69 \left( \frac{0.3627}{0.36} \right) \left( \frac{0.2009}{0.20} \right)^{1.5}$$

=106.97

JIS式の  $K=106.61$

(例2)

$B=1.2m$   $b=0.48m$   $D=0.25m$   $H=0.1m$

$$C_d = 0.591 + 0.0058 \times \frac{0.10}{0.25}$$

=0.5933

$K_d = 177.1 C_d$

=105.07

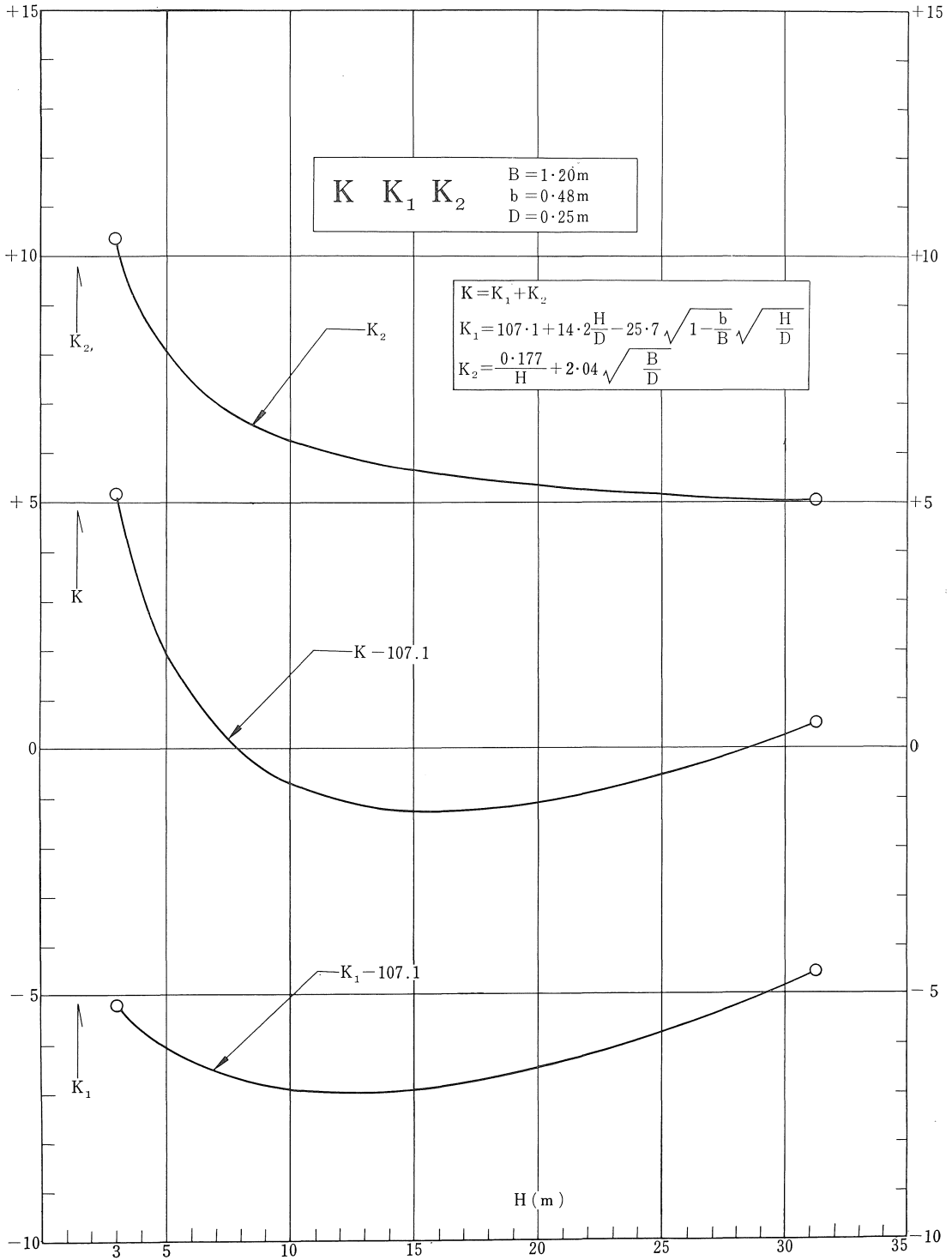
$$K = 105.07 \left( \frac{0.4827}{0.48} \right) \left( \frac{0.1009}{0.10} \right)^{1.5}$$

=106.62

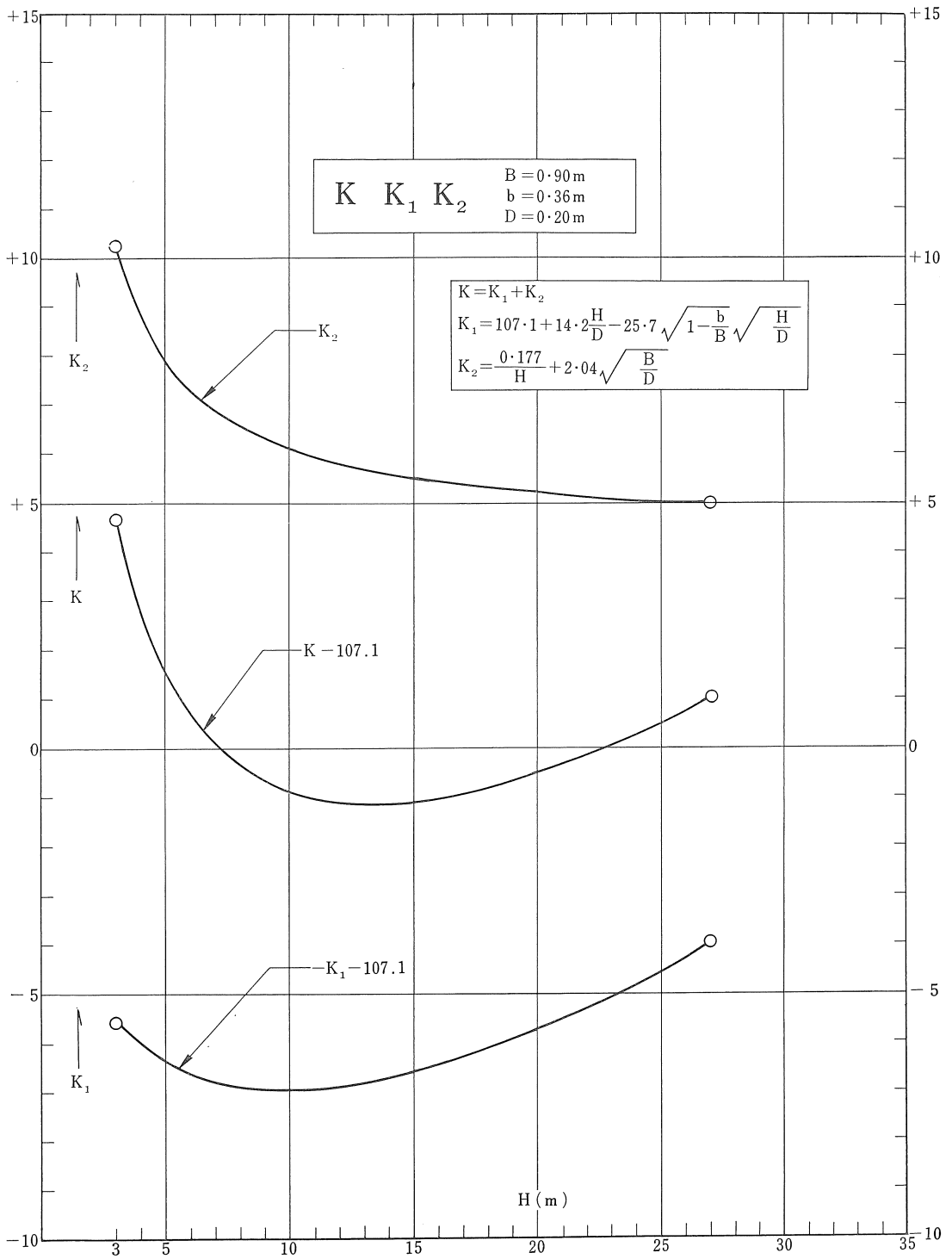
JIS 式の  $K=106.43$

文 献

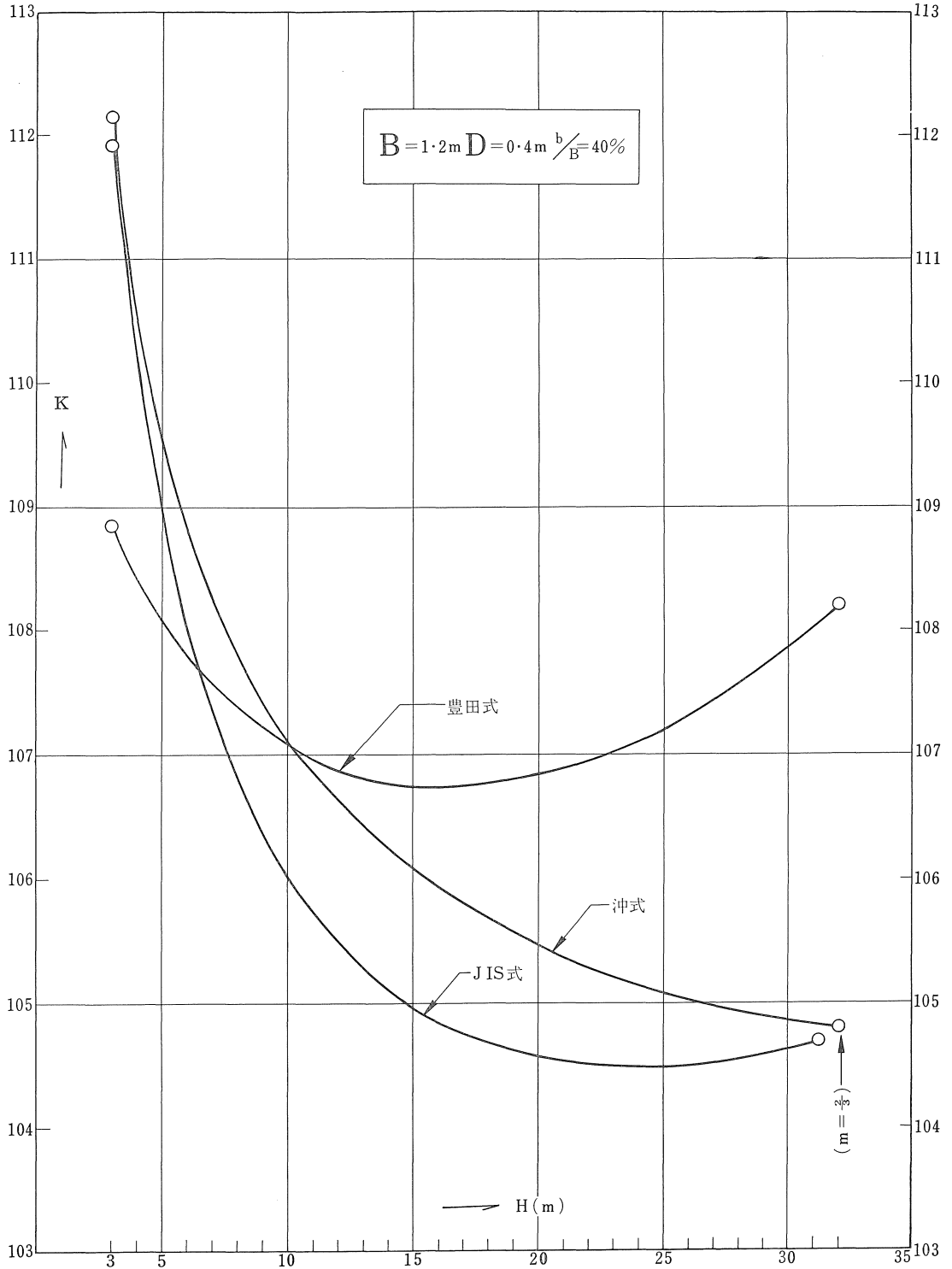
- (1) 星野達郎 “四角セキの総合流量公式”  
機械学会論文集28巻195号 (37年11月号)
- (2) 星野達郎 “各種小形四角セキの総合実験と考察”  
機械学会論文集27巻180号 (36年8月号)
- (3) 下山・星野 “小形四角セキにおける水路幅の影響について” 機械学会論文集26巻171号 (35年11月号)
- (4) Kindsvater & Carter  
“Discharge Characteristics of Rectangular Thin-Plate weirs” Trans. Amer. Soc. Civil Engr. No. 3001 (1959)
- (5) 豊田堅三郎 “大型四角セキの流量係数に関する一見解” 機械学会論文集22巻113号 (31年1月号)
- (6) JIS B 8302 (1954)  
ポンプ揚水量測定方法
- (7) 沖 巖 “四角セキ流量係数の研究現況”  
機械学会論文集20巻89号 (29年1月号)
- (8) 板谷・手島 “レーボックス公式を基としたク形セキの流量公式” 機械学会論文集17巻56号 (26年1月号)
- (9) 富永保夫 “直角三角セキの流量とその係数について” 愛工大研究報告第2号 (昭41年12月)



第 4 図  $K, K_1, K_2-H$



第 5 图  $K_1, K_2 - H$



第 6 図 豊田式JIS式沖式の比較