

○ 電力中央研究所	正員	加藤 正進
大成建設 K.K.	正員	水谷 洋一
北大工学部	正員	岸 力

1. はじめに

垂直円管による下層取水に関し昨年度も結果を報告したが、今回は取水管の底面からの突出による限界取水量の変化について昨年の結果を修正し、突出高さと限界取水量の関係を求めその結果を示す。さうに取水管の上方に取り付けられた円形のキャップにより限界取水の特性がどの程度良好になるか、又、最大限界取水量を与える最適のキャップ取り付け位置はどのように決定されるかについて近似理論と実験により調べその結果を示す。

2. 実験方法

実験装置、測定方法は昨年の報告と同様であるため省略する。今回は後に述べる近似理論において、密度は上下層の境界面において不連続に変化していると仮定しているため、実験に用いられた塩淡水二重層は安定度 $E = (dp/dy)/\rho$ が $10^{-2}(\text{cm}^{-1})$ 程度のものである。実験に用いた取水管は内径 3 cm であり、キャップには直径 6, 9, 12 cm の 3 種類の円板を用い、取水口とキャップとの間隔を変化させ実験を行った。

図-1

3. 突出による限界取水量の変化 (キャップなし)

昨年度報告したように図-1 の記号を用いるとキャップがない場合の限界条件は次のようにあらわされる。

$$\frac{V_c}{\sqrt{eg y_0}} = 8\sqrt{2} K_b \frac{y_{ac}}{y_0} \left(\frac{y_{ac}}{y_0} + \frac{b}{y_0} \right) \left(1 - \frac{y_{ac}}{y_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{y_0}{D} \right)^2 \quad (1)$$

$$\frac{y_{ac}}{y_0} = \frac{1}{10} \left[\left(4 - 3 \frac{b}{y_0} \right) + \sqrt{\left(4 - 3 \frac{b}{y_0} \right)^2 + 40 \frac{b}{y_0}} \right] \quad (2)$$

突出がない場合には、上式で $b=0$ として

$$\frac{V_c}{\sqrt{eg y_0}} = 3.24 K_0 \left(\frac{y_0}{D} \right)^2 \quad (3)$$

図-2 に示す実験結果より

$$\frac{V_c}{\sqrt{eg y_0}} = 2.40 \left(\frac{y_0}{D} \right)^2, \quad \left(\frac{b}{y_0} = 0 \right) \quad (4)$$

$$\frac{V_c}{\sqrt{eg y_0}} = 3.80 \left(\frac{y_0}{D} \right)^2, \quad \left(\frac{b}{y_0} = 0.5, 1.0 \right) \quad (5)$$

となり、 y_0 及び他の条件が同一であれば取水管

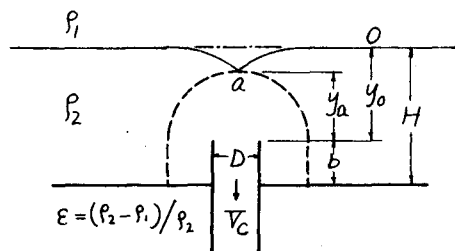
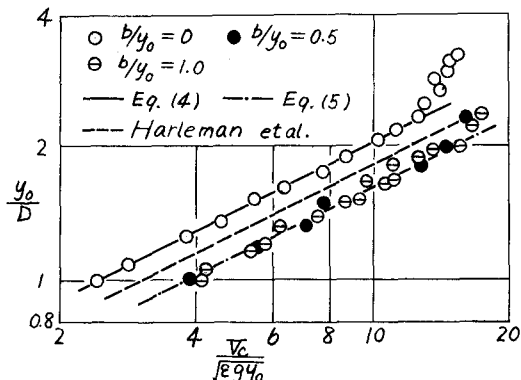


図-2



の突出により限界取水量は増大する。しかし、 $b/y_0 = 0.5, 1.0$ で実験結果に大差がないこと、突出高さがある程度大きくなると底面附近は死水域となり限界取水量は増大しないことがわかる。

(3), (4) 式より K_0 を求めると $K_0 = 0.74$ となり

(1), (2) 式より $b/y_0 = 0.5$ について K_b を求め K_0 と比較すれば、 $K_b/K_0 = 0.97$ となり $K_b \simeq K_0$ と考えてそよく使つて $b/y_0 \leq 0.5$ の範囲では近似理論が適用できる。この結果より全水深 H を用いて限界取水量を求めると次のようになる。

$$Q_{cb} = 6.57 \sqrt{\varepsilon g} \frac{y_{ac}}{H} \left(\frac{y_{ac}}{H} + \frac{b}{H} \right) \left(1 - \frac{b}{H} - \frac{y_{ac}}{H} \right)^{\frac{1}{2}} H^{\frac{5}{2}} \quad (6)$$

($0 \leq b/H \leq \frac{1}{3}$)

$$\frac{y_{ac}}{H} = \frac{1}{10} \left[\left(4 - 7 \frac{b}{H} \right) + \sqrt{\left(4 - 7 \frac{b}{H} \right)^2 + 40 \frac{b}{H} \left(1 - \frac{b}{H} \right)} \right] \quad (7)$$

$$Q_{cb} = 2.98 \sqrt{\varepsilon g} \left(1 - \frac{b}{H} \right)^{\frac{5}{2}} H^{\frac{5}{2}}, \quad \left(\frac{1}{3} \leq b/H \leq 1 \right) \quad (8)$$

(6), (7), (8) 式より取水管の突出による限界取水量の変化を調べると次のようになる。

$$\frac{Q_{cb}}{Q_{co}} = 3.49 \frac{y_{ac}}{H} \left(\frac{y_{ac}}{H} + \frac{b}{H} \right) \left(1 - \frac{b}{H} - \frac{y_{ac}}{H} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad 0 \leq b/H \leq \frac{1}{3} \quad (9)$$

$$\frac{Q_{cb}}{Q_{co}} = 1.64 \left(1 - \frac{b}{H} \right)^{\frac{5}{2}}, \quad \frac{1}{3} \leq b/H \leq 1 \quad (10)$$

Q_{cb} , Q_{co} は突出がある場合、ない場合の限界取水量であり、以上の結果より取水管の突出による限界取水量の変化は図-3に示すことができる。

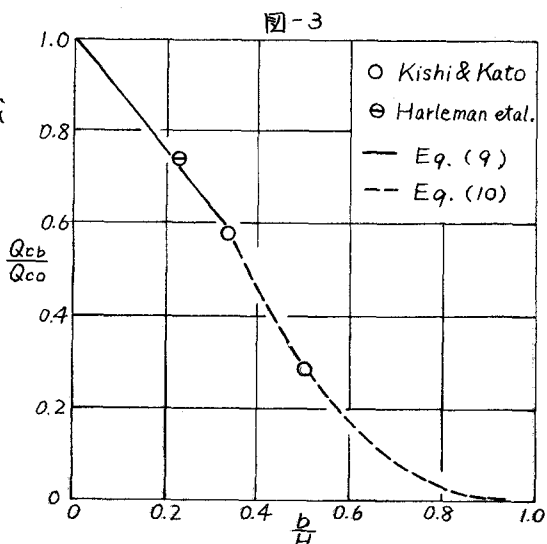


図-4

4. キャップ付き取水管の特性

円形キャップ付き取水管の限界取水条件を決定するための近似理論は図-4のモデルを用い次のように示される。

図中の a 点での流速は Bernoulli の式より

$$v_a^2 = 2g\varepsilon(y_0 - y_a) \quad (11)$$

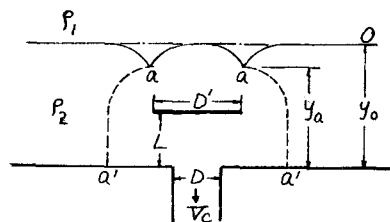
キャップの上方では流体は静止しているのと考えれば図の $a-a'$ の回転面を通過する流体の平均流速は

$$V_a = Q / 2\pi \left[y_a^2 + \left(\frac{\pi}{4} D' - L \right) y_a - \frac{\pi-2}{4} D' L \right] \quad (12)$$

さらに、 $V_a = K_c v_a$ なる関係を仮定すれば取水量は

$$Q^2 = 8\pi^2 K_c^2 \varepsilon g \left[y_a^2 + \left(\frac{\pi}{4} D' - L \right) y_a - \frac{\pi-2}{4} D' L \right]^2 (y_0 - y_a) \quad (13)$$

(13) 式を y_a に関して微分し $dQ/dy_a = 0$ と置けば



$$\frac{y_{ac}}{y_0} \frac{1}{10} \left[\left(4 + 3 \frac{L}{y_0} - \frac{3\pi D'}{4 y_0} \right) + \sqrt{\left(4 + 3 \frac{L}{y_0} - \frac{3\pi D'}{4 y_0} \right)^2 - 20 \left(2 \frac{L}{y_0} - \frac{\pi D'}{2 y_0} - \frac{\pi-2}{4} \frac{D' L}{y_0 y_0} \right)} \right] \quad (14)$$

結局限界取水量は次式であらわされる。

$$Q_{cco} = 2\sqrt{2} \pi K_c \sqrt{\varepsilon g} \left[\left(\frac{y_{ac}}{y_0} \right)^2 + \left(\frac{\pi D'}{4 y_0} - \frac{L}{y_0} \right) \frac{y_{ac}}{y_0} - \frac{\pi-2}{4} \frac{D' L}{y_0 y_0} \right] \left(1 - \frac{y_{ac}}{y_0} \right)^{\frac{1}{2}} y_0^{\frac{5}{2}} \quad (15)$$

(15)式を(1)式と同様な形に書きかえと

$$\frac{V_c}{\sqrt{\varepsilon g y_0}} = 8\sqrt{2} K_c \left[\left(\frac{y_{ac}}{y_0} \right)^2 + \left(\frac{\pi D'}{4 y_0} - \frac{L}{y_0} \right) \frac{y_{ac}}{y_0} - \frac{\pi-2}{4} \frac{D' L}{y_0 y_0} \right] \cdot \left(1 - \frac{y_{ac}}{y_0} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{y_0}{D} \right)^2 \quad (16)$$

図-5 (a, b, c, d) に取水管の突出がない場合のキャップ付き取水管による実験結果を示す。

図より限界取水量は D'/L がある値の時に最大となる傾向がありこれは $D'/D=3, 4$ の場合に認められた。

実験結果より K_c を求めると図-6 のように変化した。図より実験式として次式を得る。

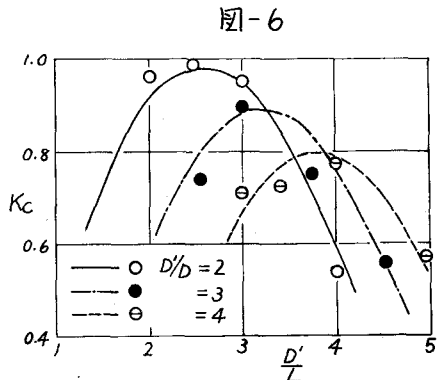
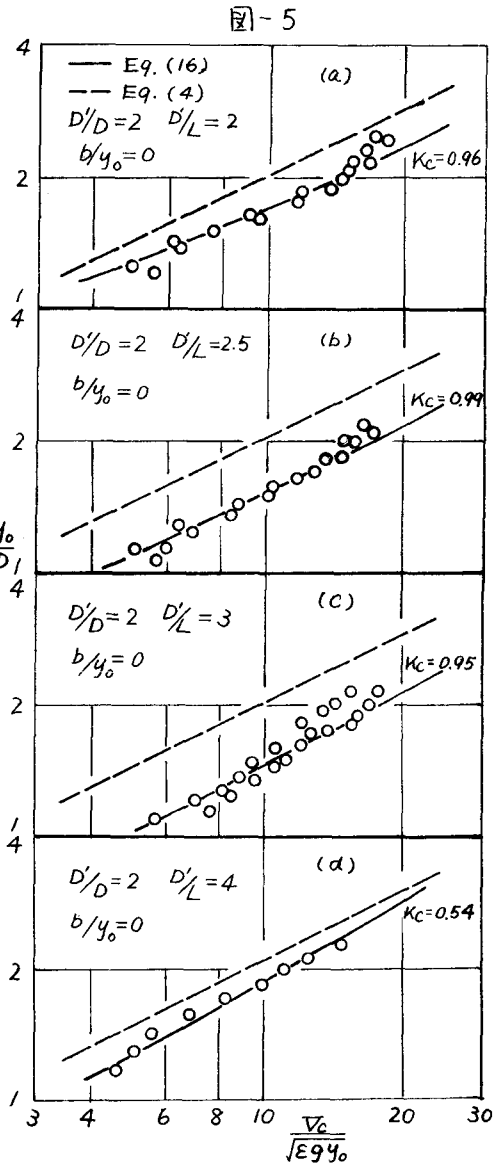
$$\left. \begin{aligned} K_c &= -0.2 (D'/L - \alpha)^2 + \beta \\ \alpha &= 0.57 (D'/D) + 1.50 \\ \beta &= -0.09 (D'/D) + 1.16 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

(17)式で K_c の変化が判明したので次に、最大の限界取水量を与える最適なキャップの取り付け位置すなわち最適間隔 L_0 を求める。(15), (16)式において

$$F\left(\frac{D'}{y_0}, \frac{L}{y_0}\right) = 8\sqrt{2} \left[\left(\frac{y_{ac}}{y_0} \right)^2 + \left(\frac{\pi D'}{4 y_0} - \frac{L}{y_0} \right) \frac{y_{ac}}{y_0} - \frac{\pi-2}{4} \frac{D' L}{y_0 y_0} \right] \left(1 - \frac{y_{ac}}{y_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

と置けば最大限界取水量は他の条件が同一であれば $K_c \cdot F(D'/y_0, L/y_0)$ が最大の時に生じ、この時の間隔が最適間隔 L_0 である。

$K_c \cdot F(D'/y_0, L/y_0)$ は図-7 のように変化した。 D/y_0 の値により $K_c \cdot F(D'/y_0, L/y_0)$ の Peak の位置、大きさは変化するが Peak における D'/L の値と D/y_0 の



値との関係を図-8となり最適間隔 L_0 は次のように決定される。

$$L_0 = D' / \left[0.6 \left(\frac{D'}{y_0} \right) + 0.55 \left(\frac{D'}{D} \right) + 1.55 \right] \quad (19)$$

キャップを(19)式で計算される最適間隔 L_0 に取り付けられた場合の最大限界取水量 Q_{cco} とキャップがない場合の限界取水量 Q_{co} （両者とも突出なし）とを比較すれば次式となり、この関係は図-9に示れる。

$$\frac{Q_{cco}}{Q_{co}} = 0.42 Kc \cdot F \left(\frac{D'}{y_0}, \frac{L_0}{y_0} \right) \quad (20)$$

図よりキャップの効果により限界取水量はかなり増加することがわかる。次にキャップ付き取水管を底面より突出させた場合の実験結果を図-10に示す。キャップがない場合、 y_0 が一定であれば $b/y_0 \leq 0.5$ で限界取水量は増加したが、キャップ付き取水管の場合にはこの傾向は認められない。

すなわち、キャップがない場合の $0.5 \leq b/y_0 \leq 1$ の場合と同様に、取水口以下の突出部分の付近は死水域となってしまうことを示しているから、突出がある場合の限界取水量は、取水口上方の部分だけを考えることにより突出がない場合と同様に計算できる。

参考文献

岸 力，加藤 正進：垂直内管による下層取水に関する研究，才23回年次学術講演会，P.295～298

図-7

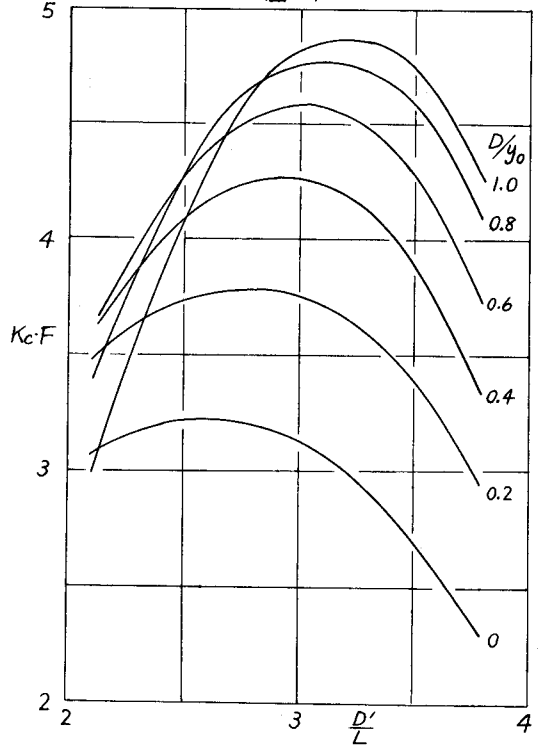


図-8

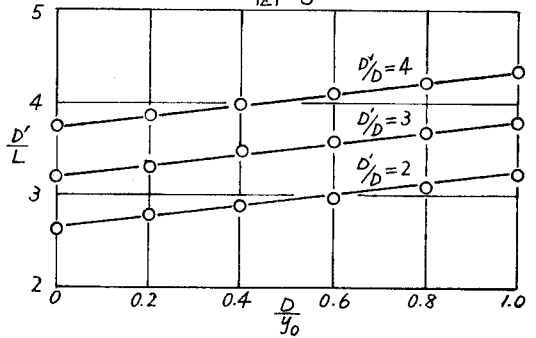


図-10

