

# 中海干拓防潮水門の水力模型実験 I

—淡水における du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の値の検討—

末沢慶康・豊国永次（農業工学研究室）

桑野定美・沢田敏男・南 勲・

高須俊行・大塚忠夫

Yosiyasu SUEZAWA, Eiji TOYOKUNI, Sadami KUWANO, Tosio SAWADA,

Isao MINAMI, Tosiya TAKASU, Tadao OTUKA.

Hydraulic Model Study on the Tide-gate of

Nakaumi Sea Reclamation I

—Investigation on the Value of Discharge

Coefficient- $\mu$  of du Buat's Formula

in the Fresh Water—

## まえがき

中海干拓事業の目的は、中海の一部を締め切って大規模な干拓を行ない、あわせて中海・宍道湖を淡水化して、干拓地と沿岸既耕地の農業用水をはじめ工業・上水道などの水利総合開発をはかるものである。

この事業において、締切水門の機能いかんはコウ水排除能力、淡水化の過程、水門操作管理法などに重大な影響を与えるものであって、干拓・淡水化を左右するといっても過言ではない。締切計画地点は日本海につらなる境水道と中海とが接続するところであって、そこに設置される水門の規模・構造の諸元はつぎの通りである。

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| 計画高水流量 | 3,871 $\text{m}^3/\text{s}$ |
| 締切延長   | 414.5m                      |
| 水門     | 幅20m×16連×高8.15m             |
| ゲート型式  | 2段式越流型ローラーゲート               |
| 開門     | 3基                          |

このような条件の下に、計画される水門がはたして計画高水量を流下しうるか、および水門操作上淡・塩水における流水状況はどうかを検討することは重要な問題であって、このためには淡水および淡・塩水における水門の流量係数を正確に把握しなければならない。

本事業計画において、水門の流量算定は du Buat 公式を用いているが、その流量係数の採用にあたって従来の数値をそのまま用いてよいか、はなはだ疑問である。ここにおいて、これらの問題点を実証的に解明しようとして、淡水および淡・塩水における流量、水門の開閉条

件などによる流量係数を検討するために水力模型実験を行なったのである。

淡水における水門の流量係数を解明するための一連の水力模型実験については、ほぼ所期の目的を達したので、ここにそれらの結果を発表する。しかし、淡・塩水における流量係数およびその場合の塩分濃度の追跡については、さらに今後の精密な実験を続ける必要があるので後報にゆずることとする。

## 1. 実験の目的および計画

(1) コウ水時防潮水門を全開する場合、水門流出量を支配する流量係数を淡水について求め、計画に用いる du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の値を検討する。実験における流量、ゲート、外水位の制約条件は表-1の通りである。

(2) 管理水位を保持するための上段ゲート进行操作して放流する場合、計画に用いる du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の値を検討する。実験における流量、ゲート、外水位の制約条件は表-2の通りである。

## 2. 実験施設および模型の設置

### 2.1 実験施設

実験施設は島根農科大学構内に設置し、忌部川を水源とした。

#### (1) 実験施設の規模

模型の縮尺は実物の $1/50$ とした。コンクリート製の実験水路の直線部の諸元は長さ 15 m、内幅 1.84 m、深さ 0.50 m である。この水路の中央部に模型水門 4 連を設置

表-1 淡水における流量，ゲート，外水位条件

| 流 量                     |        | ゲート上端高 |     | 外 水 位                         |                                   |
|-------------------------|--------|--------|-----|-------------------------------|-----------------------------------|
| 実 物                     | 模 型    | 実 物    | 模 型 | 実 物                           | 模 型                               |
| 1,414 m <sup>3</sup> /s | 20 t/s | 全 開    | 全 開 | TP.+4.537~-4.394mの範囲<br>で9段階  | 水門敷上の水深 22.074~4.212<br>cmの範囲で9段階 |
| 2,828                   | 40     | "      | "   | TP.+4.390~-3.570mの範囲<br>で12段階 | 21.781~5.860cmの範囲で12段<br>階        |
| 4,950                   | 70     | "      | "   | TP.+4.336~-2.600mの範囲<br>で9段階  | 21.672~7.799cmの範囲で9段<br>階         |
| 7,072                   | 100    | "      | "   | TP.+4.282~-1.655mの範囲<br>で10段階 | 21.564~9.691cmの範囲で10段<br>階        |
| 9,194                   | 130    | "      | "   | TP.+4.184~-0.905mの範囲<br>で10段階 | 21.368~11.190 cm の範囲で10<br>段階     |
| 11,315                  | 160    | "      | "   | TP.+4.402~-0.110mの範囲<br>で9段階  | 21.804~12.779 cm の範囲で9<br>段階      |

表-2 淡水における流量，ゲート，外水位条件

| 流 量                   |           | ゲ ー ト 上 端 高 |                    | 外 水 位      |                       |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------------|------------|-----------------------|
| 実 物                   | 模 型       | 実 物         | 模 型                | 実 物        | 模 型                   |
| 100 m <sup>3</sup> /s | 1.414 ℓ/s | TP.+0.40 m  | 水門敷上の水深<br>13.8 cm | 各流量に対して    | 各流量に対して (水門<br>敷上の水深) |
| 200                   | 2.828     | TP.+0.40    | 13.8               | TP.+1.50 m | 16 cm                 |
| 300                   | 4.242     | TP.+0.40    | 13.8               | TP.+1.00   | 15                    |
| 500                   | 7.070     | TP.+0.40    | 13.8               | TP.+0.50   | 14                    |
|                       |           |             |                    | TP.±0.00   | 13                    |
|                       |           |             |                    | TP.-0.50   | 12                    |

| 流 量                   |           | ゲ ー ト 上 端 高 |                    | 外 水 位      |                       |
|-----------------------|-----------|-------------|--------------------|------------|-----------------------|
| 実 物                   | 模 型       | 実 物         | 模 型                | 実 物        | 模 型                   |
| 300 m <sup>3</sup> /s | 4.242 ℓ/s | TP.-0.80 m  | 水門敷上の水深<br>11.4 cm | 各流量に対して    | 各流量に対して (水門<br>敷上の水深) |
| 600                   | 8.484     | TP.-0.80    | 11.4               | TP.+1.50 m | 16 cm                 |
| 900                   | 12.726    | TP.-0.80    | 11.4               | TP.+1.00   | 15                    |
| 1,200                 | 16.968    | TP.-0.80    | 11.4               | TP.+0.50   | 14                    |
|                       |           |             |                    | TP.±0.00   | 13                    |
|                       |           |             |                    | TP.-0.50   | 12                    |

| 流 量                   |           | ゲ ー ト 上 端 高 |                   | 外 水 位      |                       |
|-----------------------|-----------|-------------|-------------------|------------|-----------------------|
| 実 物                   | 模 型       | 実 物         | 模 型               | 実 物        | 模 型                   |
| 600 m <sup>3</sup> /s | 8.484 ℓ/s | TP.-2.00 m  | 水門敷上の水深<br>9.0 cm | 各流量に対して    | 各流量に対して (水門<br>敷上の水深) |
| 900                   | 12.726    | TP.-2.00    | 9.0               | TP.+15.0 m | 16 cm                 |
| 1,200                 | 16.968    | TP.-2.00    | 9.0               | TP.+1.00   | 15                    |
| 1,500                 | 21.210    | TP.-2.00    | 9.0               | TP.+0.50   | 14                    |
|                       |           |             |                   | TP.±0.00   | 13                    |
|                       |           |             |                   | TP.-0.50   | 12                    |

した。水門の下流側を塩水にする必要があるので、塩水混合水槽および揚水ポンプを設けた。

計画高水流量 3,871 m<sup>3</sup>/s の模型流量は 54.7 t/s (水門4連) であるが、模型縮尺の変更あるいは測定範囲の拡大を考慮して最大 160 t/s を流しうるようにした。

(図一 1 施設平面図)

(2) 施設の細部

1) 揚水施設

渦巻ポンプ4台(口径150mm, 揚程5m, 揚水量40 l/s/台)を忌部川左岸に設置し揚水する。吸水槽は生松丸太の杭に18mm目の金網を2重に張り、その間に砂利を入れた防塵施設とした。

2) 流量調整水槽

ポンプで揚水した水は内幅1.85m×2.30mの流量調整水槽の下部より多孔板を通過して整流されながら水槽上部へ上る。この水槽上部に長さ1.85m, 幅0.20m, 高さ0.20mの鉄ピの余水吐3本を設けた。この流量調整水槽は直径0.40mのコンクリート管(前端に流量調節水門設置)および微小流量調節可能な76mm エスロンパイプ(パイプ中に流量調節バルブ設置)で流量測定槽前部と連絡する。

3) 流量測定部

流量の測定は直角三角セキによる。このセキの上流に整流装置としてレキ詰スクリーンをとりつけた。直角三角セキは厚さ6mm鉄板に厚さ6mm真鍮製越流板をとりつけ、刃先の厚さを2mm仕上げとした。なお本三角セキの流量を実測検討した結果 J I S 公式がよく合うことがわかり、適用範囲外の越流水深 H=0.425m でも5%程度の誤差であった。

4) 実験水路部

三角セキより落下する水はクッションおよびレキ詰スクリーンで整流し水路部に入る。直線水路は延長15mでその下流は外海に横して拡大した。そして下端に水位調節をはかるため水門4連(一門幅0.80m)を設けた。模型水門は直線水路部上端から6mのところ設置した。

5) 塩水混合循環装置

実験水路に隣接して所定の塩分濃度をつくる塩水補給水槽(内幅2.50m×2.50m, 深さ1.50m)を設けた。ここでつくられた塩水は51mm, 1HPのポンプで模型水門より下流1.80mの地点および下流部の水位調節水門, 上流1.30mの2地点から51mmエスロンパイプで噴出さすようにした。

6) 観測施設

a) 観察窓

水流を観測するため、コンクリート水路部の3カ所に

ガラス板を挿入した。

b) 水位観測

水路底に水路を横断して、水位観測用有孔パイプを4カ所、水位測定孔18カ所を設け、ここからはいる水はビニール管(内径9mm)で水位測定板に固定したイルリガツールに連絡し、各地点の水位をフックゲージで1/20mmまで読みとれるようにした。

c) 塩分濃度測定

塩水使用の場合、同一時刻の各水深における塩水をビニール管で採取し、比重計または電導度計ではかる。

d) 流速測定

ピトー管、微流速計で測定する。

2. 2 模型の設置

実験水路の上端から6mの位置に縮尺1/50の模型水門(4連)を設置した。(図一2, 模型水門平面図, 側面図) 模型は米ヒの乾燥材を使って組み立て、防水塗料を数回塗って含水によるヒズミを防ぐようにした。模型の敷高は水路底と一致させた。

実物と模型の相似関係については、現象が主として重力および慣性力に支配されると考えられるので Froude の相似法則にしたがい、粗度係数については、

$$\frac{1}{n_{Mm}} R_m^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n_{Mp}} R_p^{\frac{1}{2}}$$

したがって、

$$\frac{n_{Mm}}{n_{Mp}} = r^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

なる関係を満足さすようにした。

ただし、n<sub>M</sub> は Manning 公式の粗度係数、m, p の尾字はそれぞれ模型、実物の記号、R は径深、r は水平鉛直方向の長さの縮尺。

$$r = \frac{x_m}{x_p} = \frac{h_m}{h_p} = \frac{R_m}{R_p}$$

この条件を満足する実物に対する模型水路の粗度係数、計画高水流量の値は表一のようなになる。

できあがった模型水路の粗度係数を確かめるため、不等流の式を用いて Manning 公式の粗度係数を求めた。

Δl 区間について(底勾配 i = 0), 不等流の流れは連続の式を考慮して、

$$\frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{1}{2g} \cdot \frac{\alpha Q^2}{\Delta l} \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) + \frac{Q^2}{C^2 A^2 R} \dots (2)$$
$$n_{Mm} = R^{\frac{1}{2}} / C$$

なる式が成立する。ここに A, R はそれぞれ断面面積、径深で、尾字 1, 2 はそれぞれ (I), (II) 断面の各値で

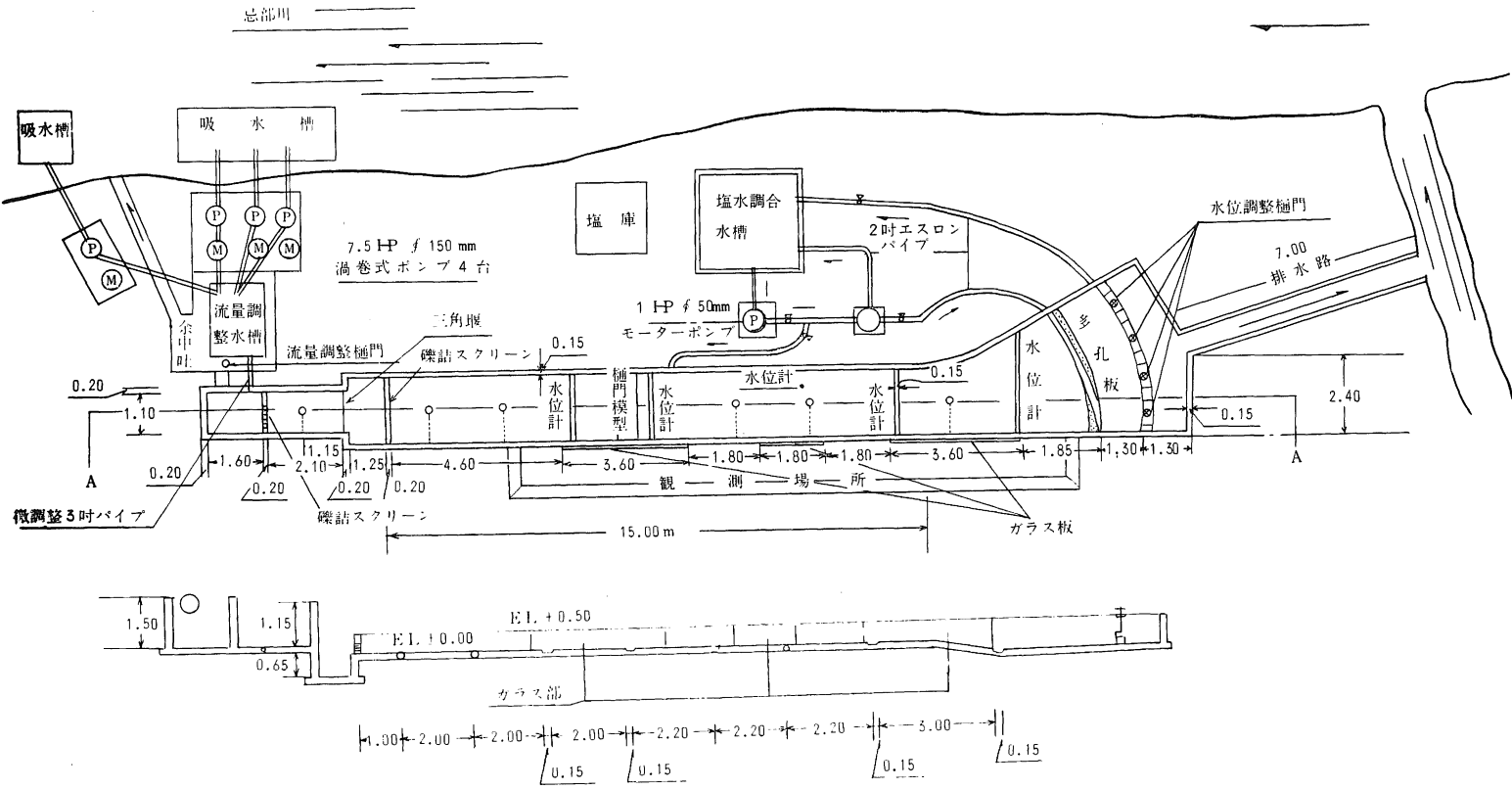


図-1 施設平面図 (単位m) 1/200

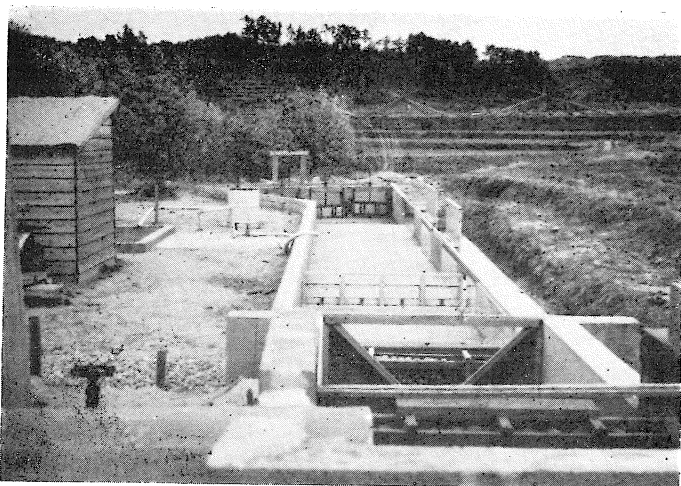


写真 1

実験施設 (水路部) 全景

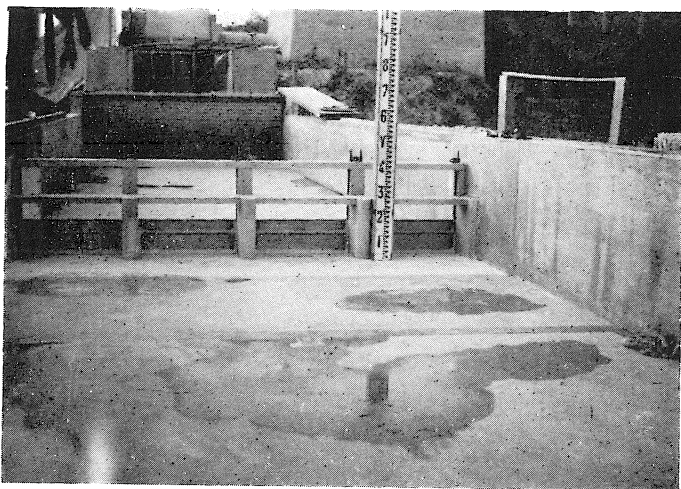


写真 2

水門模型 (下流側よりのぞむ)

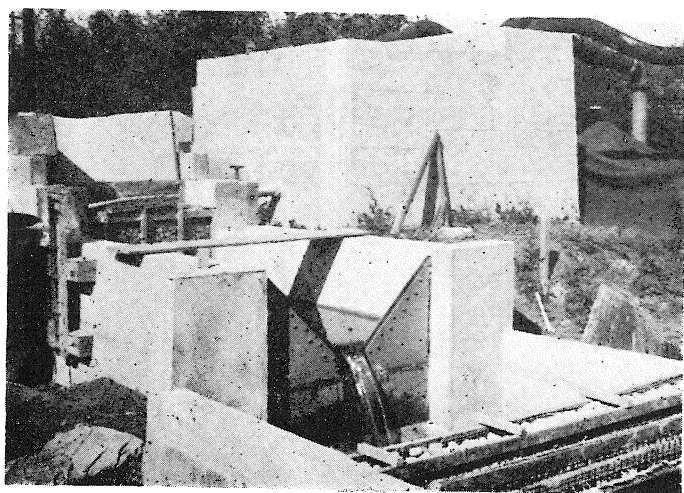


写真 3

三角セキ・スクリーン・流量  
調整水槽

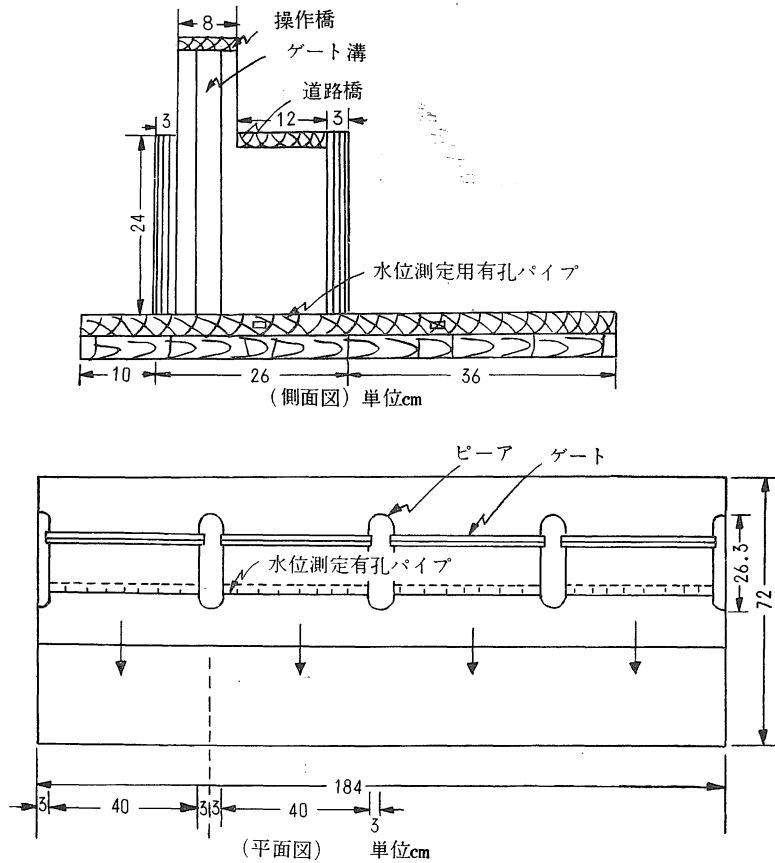


図-2 水 門 模 型

あり、尾字のないものは①、②断面の平均値、CはCh'ezyの係数、 $\alpha$ は流速分布補正係数である。

$n_{Mm}$ を検定する位置は模型水門、断面急変部の影響の少ない場所を選ぶ必要があるので、水位測定孔⑩～⑬、⑭～⑯の断面を選び、2カ所について43ケース調べた。

その最小値、最大値および平均値は表-4に示すとおりである。

これより模型水路の粗度係数は現地の粗度係数とほぼ適切な相似関係にあることが認められる。

表-3 実物と模型の諸量

|     | 縮 尺  | 粗度係数 (m—sec unit) | 計画高水流量 (m <sup>3</sup> /s) |
|-----|------|-------------------|----------------------------|
| 実 物 | 1    | 0.019 ~ 0.024     | 3,871/4                    |
| 模 型 | 1/50 | 0.010 ~ 0.013     | 54.74 × 10 <sup>-3</sup>   |

表-4 実測粗度係数

|       | Q                       | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | R       | C     | n     |
|-------|-------------------------|----------------|----------------|---------|-------|-------|
| 最 小 値 | 0.020 m <sup>3</sup> /s | 0.07540 m      | 0.07530 m      | 0.07005 | 81.51 | 0.008 |
| 最 大 値 | 0.130                   | 0.10320        | 0.09445        | 0.08924 | 59.90 | 0.012 |
| 平 均 値 |                         |                |                |         |       | 0.011 |

3. 淡水における水門全開の水理実験

外海を淡水とみなした場合、防潮水門を全開したときの流量係数を求める実験を行なった。この実測資料によって、du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の値を検討し、あわせて別の式形の流量係数についても若干考察する。

3. 1 実験の方法

この実験は模型水門4連を全開して、実験流量20  $l/s$  (現地全流量1,414  $m^3/s$ ), 40  $l/s$  (2,828  $m^3/s$ ), 70  $l/s$  (4,950  $m^3/s$ ), 100  $l/s$  (7,072  $m^3/s$ ), 130  $l/s$  (9,194  $m^3/s$ ), 160  $l/s$  (11,315  $m^3/s$ ) の6ケースに対し外水位調節用の4門ゲートを操作して10~12段階の外水位を与えた。水門の上流0.7 m, 下流1.4 mの断面平均水位を中心として、図-4に示すNo.1~No.22の一連の水位を4回、波状跳水の傾向のあるときは最大、最

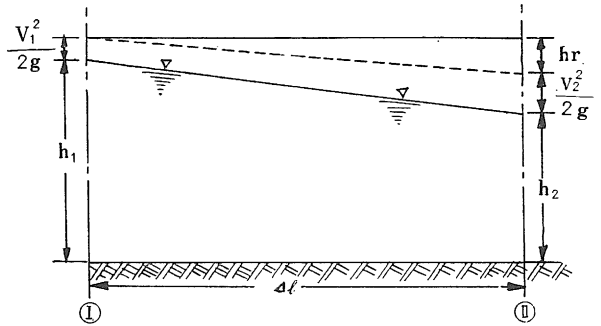


図-3 実験水路における流れ

小の読みを各4回はかり、それぞれの平均値を求めた。このようにして測定した値の一部分を示したものが表-5の通りである。

- ③⑦⑧⑭⑲ 断面平均水位測定カ所
- ①②⑤⑩⑫ 水路中央の水位測定カ所
- ⑬⑯⑰⑳ 水路両側の水位測定カ所
- ④⑥⑨⑪⑮ 水路両側の水位測定カ所
- ⑬⑰⑲⑳

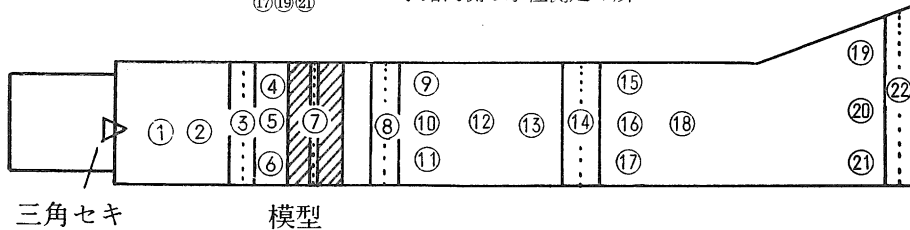


図-4 水位測定用有孔パイプおよび水位測定孔の位置

表-5 測定事項および測定値の1例

注) 測定: 昭和37年8月2日 (14~17時), 水温: 27~28°C, 比重: 0.9975, 三角セキ流量100  $l/s$ , No. 1 (下流水位を最高にとったとき, 4門ゲートの Shaft 高39.5cm)

| 項              | 三角セキ<br>cm | 測定孔<br>1         | 2      | 3                | 4      | 5      | 6      | 7                |
|----------------|------------|------------------|--------|------------------|--------|--------|--------|------------------|
| ゲージの読み<br>(4回) | 30.953     | 22.545           | 22.670 | 22.150<br>22.170 | 22.805 | 22.850 | 22.380 | 21.950<br>21.945 |
|                | 30.953     | 22.570           | 22.690 | 22.185<br>22.195 | 22.830 | 22.880 | 22.400 | 21.980<br>21.980 |
|                | 30.953     | 22.565<br>22.565 | 22.680 | 22.195<br>22.170 | 22.825 | 22.875 | 22.400 | 21.975<br>21.960 |
|                | 30.953     | 22.575           | 22.680 | 22.180<br>22.195 | 22.820 | 22.870 | 22.390 | 21.970<br>21.960 |
| 平均             | 30.953     | 22.564           | 22.680 | 22.180           | 22.820 | 22.869 | 22.393 | 21.965           |
| 水位             | —          | 21.594           | 21.660 | 21.593           | 21.616 | 21.641 | 21.594 | 21.490           |

備考 水位の項は、ゲージ読みの平均値を水門敷をベースとした水位であらわしたもの。

| 項              | 測定孔<br>8         | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |
|----------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ゲージの読み<br>(4回) | 21.990<br>21.990 | 22.320 | 22.240 | 22.150 | 22.320 | 22.245 | 22.640 | 22.365 |
|                | 21.995<br>22.000 | 22.335 | 22.260 | 22.160 | 22.335 | 22.280 | 22.655 | 22.360 |
|                | 21.990<br>21.980 | 22.340 | 22.240 | 22.150 | 22.325 | 22.260 | 22.650 | 22.345 |
|                | 21.980<br>22.000 | 22.345 | 22.260 | 22.150 | 22.325 | 22.280 | 22.650 | 22.350 |
| 平均             | 21.991           | 22.335 | 22.250 | 22.153 | 22.326 | 22.266 | 22.649 | 22.355 |
| 水位             | 21.564           | 21.571 | 21.594 | 21.593 | 21.536 | 21.531 | 21.549 | 21.527 |

| 項              | 測定値<br>16 | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     |
|----------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ゲージの読み<br>(4回) | 22.345    | 22.540 | 22.720 | 22.775 | 22.790 | 22.660 | 22.940 |
|                | 22.355    | 22.540 | 22.745 | 22.810 | 22.810 | 22.695 | 22.955 |
|                | 22.345    | 22.520 | 22.715 | 22.820 | 22.795 | 22.690 | 22.950 |
|                | 22.325    | 22.545 | 22.750 | 22.805 | 22.785 | 22.685 | 22.950 |
| 平均             | 22.343    | 22.536 | 22.733 | 22.803 | 22.795 | 22.683 | 22.949 |
| 水位             | 21.530    | 21.610 | 21.467 | 21.602 | 21.625 | 21.614 | 21.539 |

3. 2 実験結果および考察

実測資料をもとに、まず中海干拓防潮水門の計画に使用する du Buat 公式の流量係数  $\mu$  を算出し、ついで他の式形についても若干検討考察する。

(1) du Buat 公式の流量係数  $\mu$

du Buat 公式は次式で表わされる。

$$Q = \mu b \left( \frac{2}{3} \delta + h_3 \right) \sqrt{2g(\delta + h_3)} \dots \dots \dots (3)$$

$\mu$  : 流量係数,  $b$  : 水門有効幅,  
 $h_1$  : 水門敷からの内水位,

表-6 淡水における水門全開時の実測値および流量係数

| 流量<br>$Q$ $\ell/s$ | 内水位<br>$h_1$ cm | 外水位<br>$h_3$ cm | 水位差<br>$h_1 - h_3$ cm | 水門有効中<br>$b$ cm | 流量係数<br>$\mu$ | 備考                             |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|
| 20                 | 22.075          | 22.047          | 0.001                 | 160             | 1.11          | フックゲージの精度1/20mmより見て、係数の信頼度は低い。 |
| 20                 | 17.250          | 17.246          | 0.004                 | 160             | 1.05          |                                |
| 20                 | 13.340          | 13.328          | 0.012                 | 160             | 0.99          |                                |
| 20                 | 12.460          | 12.437          | 0.023                 | 160             | 0.91          |                                |
| 20                 | 9.548           | 9.519           | 0.029                 | 160             | 0.99          |                                |
| 20                 | 7.580           | 7.549           | 0.031                 | 160             | 1.01          |                                |
| 20                 | 5.803           | 5.727           | 0.076                 | 160             | 0.97          |                                |
| 20                 | 4.546           | 4.364           | 0.182                 | 160             | 0.92          |                                |
| 20                 | 4.390           | 4.212           | 0.178                 | 160             | 0.93          |                                |



| 流 量<br>Q ℓ/s | 内 水 位<br>h <sub>1</sub> cm | 外 水 位<br>h <sub>3</sub> cm | 水 位 差<br>h <sub>1</sub> -h <sub>3</sub> cm | 水門有効巾<br>b cm | 流量係数<br>μ | 備 考                              |
|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|---------------|-----------|----------------------------------|
| 40           | 21.791                     | 21.781                     | 0.010                                      | 160           | 1.06      | } フックゲージの精度1/20mmより見て、係数の信頼度は低い。 |
| 40           | 19.768                     | 19.764                     | 0.004                                      | 160           | 1.12      |                                  |
| 40           | 18.050                     | 18.037                     | 0.013                                      | 160           | 1.06      |                                  |
| 40           | 16.505                     | 16.483                     | 0.022                                      | 160           | 1.03      |                                  |
| 40           | 14.901                     | 14.871                     | 0.030                                      | 160           | 1.02      |                                  |
| 40           | 13.152                     | 13.111                     | 0.041                                      | 160           | 1.01      |                                  |
| 40           | 12.122                     | 12.062                     | 0.060                                      | 160           | 0.99      |                                  |
| 40           | 10.579                     | 10.514                     | 0.065                                      | 160           | 1.01      |                                  |
| 40           | 9.025                      | 8.950                      | 0.075                                      | 160           | 1.03      |                                  |
| 40           | 7.649                      | 7.524                      | 0.125                                      | 160           | 1.01      |                                  |
| 40           | 6.601                      | 6.433                      | 0.168                                      | 160           | 1.02      |                                  |
| 40           | 6.124                      | 5.863                      | 0.264                                      | 160           | 0.98      |                                  |
| 70           | 21.690                     | 21.672                     | 0.018                                      | 160           | 1.09      |                                  |
| 70           | 18.300                     | 18.237                     | 0.063                                      | 160           | 1.02      |                                  |
| 70           | 15.190                     | 15.107                     | 0.083                                      | 160           | 1.03      |                                  |
| 70           | 13.632                     | 13.549                     | 0.083                                      | 160           | 1.05      |                                  |
| 70           | 11.909                     | 11.817                     | 0.092                                      | 160           | 1.06      |                                  |
| 70           | 10.855                     | 10.700                     | 0.155                                      | 160           | 1.03      |                                  |
| 70           | 9.499                      | 9.276                      | 0.223                                      | 160           | 1.03      |                                  |
| 70           | 8.471                      | 8.106                      | 0.365                                      | 160           | 1.00      |                                  |
| 70           | 8.216                      | 7.799                      | 0.417                                      | 160           | 1.00      |                                  |
| 100          | 21.616                     | 21.564                     | 0.052                                      | 160           | 1.07      |                                  |
| 100          | 20.395                     | 20.340                     | 0.055                                      | 160           | 1.07      |                                  |
| 100          | 18.929                     | 18.851                     | 0.078                                      | 160           | 1.06      |                                  |
| 100          | 17.332                     | 17.254                     | 0.078                                      | 160           | 1.07      |                                  |
| 100          | 15.742                     | 15.630                     | 0.112                                      | 160           | 1.06      |                                  |
| 100          | 14.273                     | 14.118                     | 0.155                                      | 160           | 1.05      |                                  |
| 100          | 12.912                     | 12.733                     | 0.179                                      | 160           | 1.06      |                                  |
| 100          | 11.641                     | 11.367                     | 0.274                                      | 160           | 1.04      |                                  |
| 100          | 10.633                     | 10.208                     | 0.425                                      | 160           | 1.02      |                                  |
| 100          | 10.208                     | 9.691                      | 0.517                                      | 160           | 1.00      |                                  |
| 130          | 21.451                     | 21.368                     | 0.083                                      | 160           | 1.07      |                                  |
| 130          | 20.316                     | 20.230                     | 0.086                                      | 160           | 1.08      |                                  |

| 流量<br>$Q$ $\ell/s$ | 内水位<br>$h_1$ cm | 外水位<br>$h_3$ cm | 水位差<br>$h_1 - h_3$ cm | 水門有効巾<br>$b$ cm | 流量係数<br>$\mu$ | 備 考 |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|---------------|-----|
| 130                | 18.633          | 18.524          | 0.109                 | 160             | 1.08          |     |
| 130                | 18.181          | 18.049          | 0.132                 | 160             | 1.07          |     |
| 130                | 16.749          | 16.586          | 0.163                 | 160             | 1.06          |     |
| 130                | 15.085          | 14.869          | 0.216                 | 160             | 1.06          |     |
| 130                | 13.787          | 13.466          | 0.321                 | 160             | 1.04          |     |
| 130                | 12.665          | 12.239          | 0.426                 | 160             | 1.03          |     |
| 130                | 12.003          | 11.342          | 0.661                 | 160             | 1.00          |     |
| 130                | 11.956          | 11.190          | 0.766                 | 160             | 0.98          |     |
| 160                | 21.948          | 21.804          | 0.144                 | 160             | 1.06          |     |
| 160                | 20.421          | 20.309          | 0.112                 | 160             | 1.09          |     |
| 160                | 18.879          | 18.670          | 0.209                 | 160             | 1.06          |     |
| 160                | 17.319          | 17.079          | 0.240                 | 160             | 1.06          |     |
| 160                | 16.067          | 15.734          | 0.333                 | 160             | 1.05          |     |
| 160                | 14.862          | 14.380          | 0.482                 | 160             | 1.03          |     |
| 160                | 14.017          | 13.211          | 0.806                 | 160             | 0.99          |     |
| 160                | 13.833          | 12.890          | 0.943                 | 160             | 0.97          |     |
| 160                | 13.840          | 12.779          | 1.061                 | 160             | 0.96          |     |

$h_3$  : 水門敷からの外水位,

$\delta$  :  $h_1 - h_3$ ,  $h_a$  : 接近速度

上式を用いて算出した結果を表-6に示す.

上表の結果より, 流量  $Q$ , 水位差  $(h_1 + h_a - h_3)$  と流量係数  $\mu$  との関係をあらわしたものが図-5である.

図-5をみると  $(h_1 + h_a - h_3)$  が微小な範囲を除けば,  $\mu$  の値は各流量とも  $(h_1 + h_a - h_3)$  が大きくなるにつれ, ほぼ直線的にわずかに小さくなる傾向がみられる.

実験の範囲は図-6でわかるように潜り流出状態で,

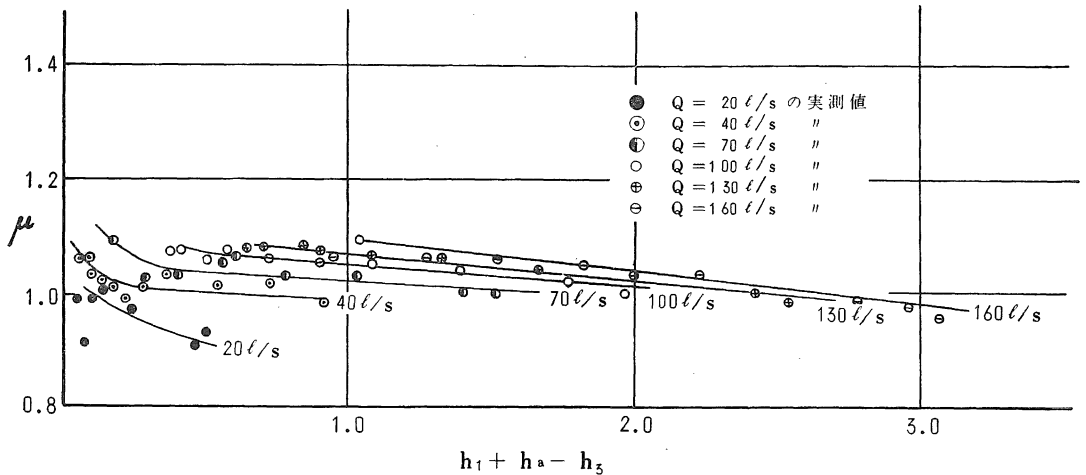


図-5  $\mu$  と  $Q$ ,  $(h_1 + h_a - h_3)$  との関係

この範囲 ( $Q_m=20 \text{ l/s}$ ,  $h_{1m}-h_{3m}=0.012\sim 0.178 \text{ cm}$  :  $Q_p=1,414 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_{1p}-h_{3p}=0.60\sim 8.90 \text{ cm}$  から  $Q_m=160 \text{ l/s}$ ,  $h_{1m}-h_{3m}=0.144\sim 1.061 \text{ cm}$  :  $Q_p=11,315 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $h_{1p}-h_{3p}=7.20\sim 53.02 \text{ cm}$ ) で流量係数  $\mu$  は  $0.91\sim 1.09$  なる値をえた。ただし水位差が微小で、フックゲージの精度よりみて信頼度の低い資料は除外した。

つぎに計画にあらわれる条件の流量係数  $\mu$  の値を図-5を用いて調べてみる。

1) 中小コウ水時について

$Q_p=1,414\sim 2,828 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $Q_m=20\sim 40 \text{ l/s}$

$(h_{1p}+h_{ap}-h_{3p})=7.0\sim 20 \text{ cm}$  :  $(h_{1m}+h_{am}-h_{3m})=$

$0.14\sim 0.40 \text{ cm}$

$\mu=0.91\sim 1.06$

2) 計画高水流量時近傍について

$Q_p=2,828\sim 4,950 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $Q_m=20\sim 40 \text{ l/s}$

$(h_{1p}+h_{ap}-h_{3p})=10\sim 20 \text{ cm}$  :  $(h_{1m}+h_{am}-h_{3m})=$

$0.20\sim 0.40 \text{ cm}$

$\mu=0.98\sim 1.09$

以上の結果より、本実験の範囲においては従来用いられている du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の範囲 ( $0.6\sim 0.95$ ) は少し小さすぎる感があり、特に大、中コウ水時に流量係数  $\mu$  の値は  $1.0$  としていいように考えられる。

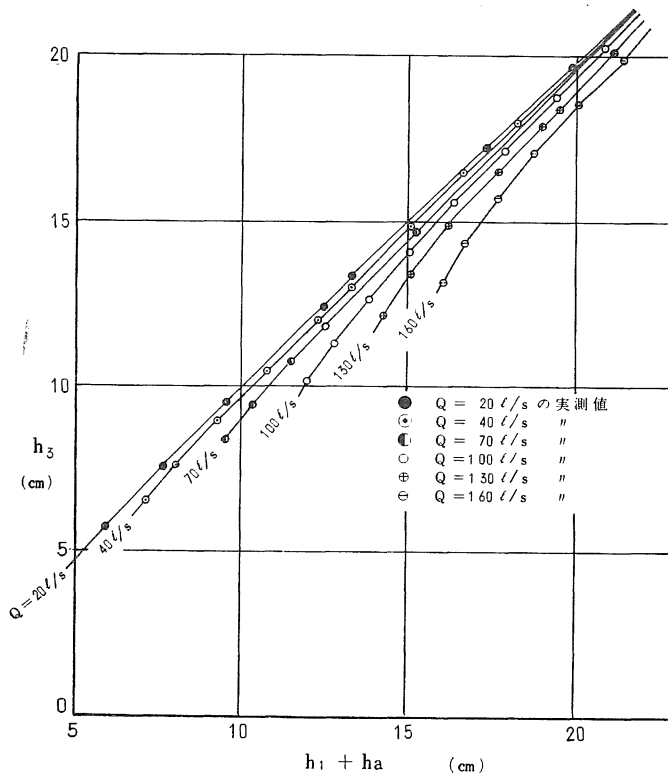


図-6  $(h_1+h_a)$  と  $h_3$  との関係

(2) 流量公式の検討

本実験結果における du Buat 公式の流量係数  $\mu$  は、流量、水位差により  $0.91\sim 1.09$  の範囲に変動することがわかった。

元来この方式は理論的に不備な点があり、式形を、 $Q = \mu \left( \frac{2}{3} \delta + h_3 \right) \sqrt{2g(\delta + h_3)}$  としているので、水門の形状、通水断面の縮小、摩擦、Froude 数の影響などの諸要素が流量係数  $\mu$  の値に集中されることが考えられる。

そこで実用的な面から、通水断面および流速の項をど

のようにとると流量係数  $\mu$  の値の変動が少なくなるか、また変動を与える要素を  $\mu$  の中からとりだして一定値に近い係数がえられるかどうかを、以下各式形について検討してみる。なお断面積の項  $bh$  の  $h$  には、内水位  $h_1$ 、外水位  $h_3$ 、水門敷上の水位  $h_2$ 、をとって  $\mu$  の変動状態を調べる。

1) ケース 1

$$Q = \mu b h_1 \sqrt{2g(\delta + h_a)} \dots\dots\dots(4)$$

$\mu h = K$  において図式的に  $\mu$  の変動範囲を調べたその結果は下記のようなのである。

$h = h_1$ とした場合  $\mu = 0.90 \sim 1.10$  変動範囲 0.20  
 $h = h_2$ とした場合  $\mu = 0.92 \sim 1.19$  変動範囲 0.27  
 $h = h_3$ とした場合  $\mu = 0.92 \sim 1.03$  変動範囲 0.16  
 $h = h_3$ とおいた場合、アメリカで橋脚間の流れの式としてよく用いられる d'Aubuisson の式となるが、本実験結果についても du Buat の式より流量係数  $\mu$  の変動範囲が小さく適合性が高いようである。そのほかの  $h = h_1$ ,  $h = h_2$ とおいた場合は du Buat の式より  $\mu$  の変動範囲が大きくなる。

2) ケース 2

$$Q = \mu b h \sqrt{2g(\varphi + h_a)} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{ただし } \varphi = h_1 - h_2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$\mu h = K$  において図式的に  $\mu$  の変動範囲を調べた、その結果は下記のようなのである。

$h = h_1$ とした場合  $\mu = 0.76 \sim 1.02$  変動範囲 0.26  
 $h = h_2$ とした場合  $\mu = 0.90 \sim 1.20$  変動範囲 0.12  
 $h = h_3$ とした場合  $\mu = 0.79 \sim 1.03$  変動範囲 0.24  
 $h = h_2$ とおいた場合、du Buat の  $\mu$  よりも変動範囲が小さく適合性が高いが、 $h = h_1$ ,  $h = h_3$ とおいた場合はよくない。

なお  $h_2$  は現地では直接求められないので、連続式と運動量方程式より  $h_3$  を与えて  $h_1$  を算出しなければならない。

3) ケース 3

(ケース 1 の縮流効果を考慮した式)

$$Q = \mu(b - 0.04nh_1)h\sqrt{2g(\delta + h_1)} \dots\dots\dots(6)$$

$\mu h = K$  において図式的に  $\mu$  の変動範囲を調べた、その結果は下記のようなのである。

$h = h_1$ とした場合  $\mu = 0.92 \sim 1.14$  変動範囲 0.22  
 $h = h_2$ とした場合  $\mu = 0.92 \sim 1.22$  変動範囲 0.30  
 $h = h_3$ とした場合  $\mu = 0.93 \sim 1.13$  変動範囲 0.20  
 ケース 1 よりも変動の範囲が大きくなり、適合性がよくない。

4) ケース 4

(ケース 2 の縮流効果を考慮した式)

$$Q = \mu(b - 0.04nh_1)h\sqrt{2g(\varphi + h_a)} \dots\dots\dots(7)$$

$\mu h = K$  において図式的に  $\mu$  の変動範囲を調べた、その結果は下記のようなのである。

$h = h_1$ とした場合  $\mu = 0.78 \sim 1.04$  変動範囲 0.26  
 $h = h_2$ とした場合  $\mu = 0.92 \sim 1.04$  変動範囲 0.12  
 $h = h_3$ とした場合  $\mu = 0.84 \sim 1.04$  変動範囲 0.20  
 縮流効果を考えないケース 2 とほぼ同じ変動範囲にあり、 $(b - 0.04nh_1)$  の補正は重要な意味をもたない。

このケースでも  $h = h_2$  とした場合の方が適合性が高い。

5) ケース 5

水門からの流出量がエネルギー差によると考えた式：

$$Q = \mu b h \sqrt{2g(H_1 - H_3)} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \text{ただし } H_1 = h_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \\ H_3 = h_3 + \alpha \frac{V_3^2}{2g} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

上式に縮流効果を考えた式：

$$Q = \mu h(b - 0.04nh_1)\sqrt{2g(H_1 - H_3)} \dots\dots\dots(9)$$

さらに Froude 数を考慮した式：

$$Q = \mu(F_r)h(b - 0.04nh_1)\sqrt{2g(H_1 - H_3)} \dots\dots\dots(10)$$

について、 $\mu h = K$  において図式的に  $\mu$  の変動範囲を調べたが、一様な規則性は見出せなかった。この点に関しては、今後さらに検討したい。

以上実用的な面から、いくつかの流量公式について検討したが、(4)式の  $h = h_2$  とした d'Aubuisson 式および(5)式の  $h = h_2$  とした式、あるいは(7)式の  $h = h_2$  とした式は流量係数  $\mu$  の変動範囲が du Buat 式のそれよりも小さく、適合性が高いことがわかった。

4. 淡水における水門一部開放の水利実験

中海干拓計画における中海の夏期管理水位は TP+0.40m で、水位がこれよりも高くなると上段ゲートをさけてゲート上を越流状態で放流し、管理水位を保つように調節する。このような越流状態における水門の流量係数を淡水について求め、計画に用いる du Buat 公式の流量係数  $\mu$  の値を検討する。

想定される現地の流量、ゲート、外水位の条件は表一 2 に表したとおりである。

4. 1 実験の方法

この実験は、下段ゲートは水門敷まで下し、上段ゲートの上端が敷上 1.38 cm, 11.4 cm, 9.0 cm なる 3 つのゲート条件に対して、それぞれ 4 段階の実験流量を流しながら、実験施設の下端にある外水位調節用の 4 門ゲートを操作して、それぞれ 5 段階の外水位 (16cm, 15cm, 14 cm, 13 cm, 12 cm) を与えた。水門の上流 0.7 m, 下流 1.4 m の断面平均水位を中心に一連の水位を 60 ケース測定した。その測定事項は全開時の淡水実験と同じである。

4. 2 実験結果および考察

実測資料をもとに、中海干拓防潮水門の計画に用いる du Buat 公式の流量係数 C を算出し、考察する。

(1) du Buat 公式の流量係数 C の算定

モグリセキに対する du Buat の式は次のとおりである。

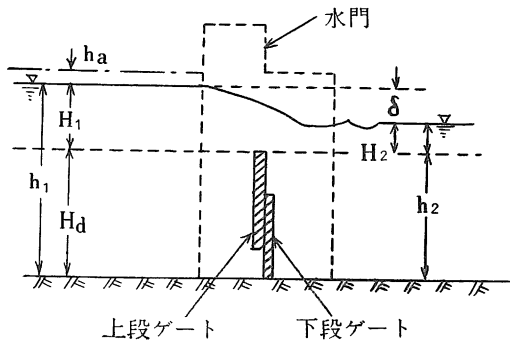


図-7 水門を一部開放した流れ

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b C [(\delta + h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}] + C_2 \sqrt{2g} b H_2 (\delta + h_a)^{\frac{3}{2}}$$

$C_1 = C_2 = C$  とおき、

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b C [(\delta + h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}] + C_1 \sqrt{2g} b H_2 \left. \begin{matrix} (\delta + h_a)^{\frac{3}{2}} \\ H_2 > 0 \end{matrix} \right\} \quad (11)$$

du Buat のモグリセキの式に対応する完全越流の式は次のようである。

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} b C [(H_1 + h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}], \quad H_2 > 0 \dots \dots (12)$$

ここに、 $C$  : 流量係数  $b$  : 水門有効幅  
 $H_1$  : セキ頂よりの内水位  
 $H_2$  : セキ頂よりの外水位  
 $\delta$  :  $h_1 - h_2$   $h_a$  : 接近速度水頭

上式を用いて、実測資料から  $C$  を算出し表-7 に示す。

(2) 流量係数  $C$  の検討

表-7 に示す du Buat の流量係数について考察する。

1) ゲート上端標高 TP. + 0.40 m の場合

この実験範囲はモグリセキから完全越流状態におよぶ。

完全越流の場合 ( $H_2 < 0$ ) : 流量係数は各流量に対してほぼ一定値となり、流量が増すにつれてその値が漸増する傾向がみられる。

$Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 2,888 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.57 \sim 0.58$

$Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 4,242 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.62$

$Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 7,070 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.63$

表-7 淡水における水門一部開放時の実測値および流量係数

1. ゲート上端標高 +0.40 m ( $h_d = 13.8 \text{ cm}$ )

| No. | 流量<br>Q | 内水位<br>$h_1$ | 外水位<br>$h_2$ | 水位差<br>$\delta$ | 水門有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備 考                                        |
|-----|---------|--------------|--------------|-----------------|------------|-----------|---------|-------------------------|--------------------------------------------|
|     |         |              |              |                 |            |           | du Buat | 水深の関係                   |                                            |
| 1   | 1,414   | 16.045       | 16.036       | 0.009           | 160        | —         | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | 流れが定常状態になっていないときの測定値であると考えられるので流量係数は算出しない。 |
| 2   | 1,414   | 15.258       | 15.000       | 0.258           | 160        | —         | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 3   | 1,414   | 14.547       | 13.995       | 0.552           | 160        | —         | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 4   | 1,414   | 14.410       | 13.030       | 1.380           | 160        | —         | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 5   | 1,414   | 14.320       | 11.997       | 2.323           | 160        | —         | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 6   | 2,828   | 16.102       | 16.033       | 0.069           | 160        | 0.66      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | du Buat のモグリセキの範囲に入るが、ほとんど完全越流に近い。(図-8 参照) |
| 7   | 2,828   | 15.161       | 14.970       | 0.191           | 160        | 0.70      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 8   | 2,828   | 14.835       | 14.010       | 0.825           | 160        | 0.58      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 9   | 2,828   | 14.828       | 13.005       | 1.823           | 160        | 0.57      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |
| 10  | 2,828   | 14.824       | 12.026       | 2.798           | 160        | 0.58      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                            |

| No. | 流量<br>Q | 内水位<br>h <sub>1</sub> | 外水位<br>h <sub>2</sub> | 水位差<br>δ | 水門有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備考                                          |
|-----|---------|-----------------------|-----------------------|----------|------------|-----------|---------|-------------------------|---------------------------------------------|
|     |         |                       |                       |          |            |           | du Buat | 水深の関係                   |                                             |
| 11  | 4.242   | 16.171                | 16.028                | 0.143    | 160        | 0.68      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | } dn Buat のモグリセキの範囲に入るが、ほとんど完全越流に近い。(図-8参照) |
| 12  | 4.242   | 15.365                | 14.985                | 0.380    | 160        | 0.67      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 13  | 4.242   | 15.113                | 13.990                | 1.123    | 160        | 0.60      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 14  | 4.242   | 15.085                | 13.018                | 2.067    | 160        | 0.62      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 15  | 4.242   | 15.081                | 12.000                | 3.081    | 160        | 0.62      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 16  | 7.070   | 16.379                | 16.014                | 0.365    | 160        | 0.67      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ | } da Buat のモグリセキの範囲に入るが、ほとんど完全越流に近い。(図-8参照) |
| 17  | 7.070   | 15.805                | 15.020                | 0.785    | 160        | 0.64      | モグリセキ   | $H_2 = \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 18  | 7.070   | 15.618                | 14.005                | 1.613    | 160        | 0.61      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 19  | 7.070   | 15.576                | 13.005                | 2.571    | 160        | 0.63      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |
| 20  | 7.070   | 15.574                | 12.015                | 3.559    | 160        | 0.63      | 完全越流    | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                             |

 2. ゲート上端高標高 -0.08 m (h<sub>d</sub> = 11.4 cm)

| No. | 流量<br>Q | 内水位<br>h <sub>1</sub> | 外水位<br>h <sub>2</sub> | 水位差<br>δ | 水門有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備考                                           |
|-----|---------|-----------------------|-----------------------|----------|------------|-----------|---------|-------------------------|----------------------------------------------|
|     |         |                       |                       |          |            |           | du Buat | 水深の関係                   |                                              |
| 21  | 4.242   | 14.958                | 16.016                | —        | 160        | —         | —       | —                       | } 流れが定常状態になっていないときの測定値であると考えられるので流量係数は算出しない。 |
| 22  | 4.242   | 14.212                | 14.978                | —        | 160        | —         | —       | —                       |                                              |
| 23  | 4.242   | 13.488                | 14.000                | —        | 160        | —         | —       | —                       |                                              |
| 24  | 4.242   | 12.528                | 13.006                | —        | 160        | —         | —       | —                       |                                              |
| 25  | 4.242   | 12.126                | 12.028                | —        | 160        | —         | —       | —                       |                                              |
| 26  | 8.484   | 15.310                | 16.000                | —        | 160        | —         | —       | —                       | } 流れが定常状態になっていないときの測定値であると考えられるので流量係数は算出しない。 |
| 27  | 8.484   | 15.228                | 15.020                | 0.208    | 160        | 0.69      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                              |
| 28  | 8.484   | 14.412                | 14.012                | 0.400    | 160        | 0.65      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                              |
| 29  | 8.484   | 13.788                | 13.015                | 0.773    | 160        | 0.64      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                              |
| 30  | 8.484   | 13.477                | 11.992                | 1.485    | 160        | 0.62      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                              |

| No. | 流 量<br>Q | 内水位<br>h <sub>1</sub> | 外水位<br>h <sub>2</sub> | 水位差<br>δ | 水 門<br>有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備 考                                             |
|-----|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------|-----------|---------|-------------------------|-------------------------------------------------|
|     |          |                       |                       |          |                 |           | du Buat | 水深の関係                   |                                                 |
| 31  | 12.726   | 16.020                | 16.000                | 0.020    | 160             | —         | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | 測定値の信頼度が低いので省く。<br>係数Cの値が少し大きすぎるが、測定上の誤差とおもわれる。 |
| 32  | 12.726   | 15.305                | 14.992                | 0.313    | 160             | 0.83      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 33  | 12.726   | 14.734                | 14.000                | 0.734    | 160             | 0.67      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 34  | 12.726   | 14.302                | 13.000                | 1.302    | 160             | 0.63      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 35  | 12.726   | 13.839                | 11.995                | 1.844    | 160             | 0.74      | モグリセキ   | $H_2 < \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 36  | 16.968   | 16.450                | 15.994                | 0.456    | 160             | 0.71      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | du Buat のモグリセキの範囲に入るが、不完全越流領域に入る。<br>(図-9参照)    |
| 37  | 16.968   | 15.728                | 15.020                | 0.708    | 160             | 0.69      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 38  | 16.968   | 15.168                | 14.010                | 1.158    | 160             | 0.65      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 39  | 16.968   | 14.783                | 13.000                | 1.783    | 160             | 0.64      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                                                 |
| 40  | 16.968   | 14.455                | 11.990                | 2.465    | 160             | 0.68      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | du Buat のモグリセキの範囲に入るが、不完全越流領域に入る。<br>(図-9参照)    |

3. ゲート上端高標高 -2.00 m (h<sub>d</sub>=9.0 cm)

| No. | 流 量<br>Q | 内水位<br>h <sub>1</sub> | 外水位<br>h <sub>2</sub> | 水位差<br>δ | 水 門<br>有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備 考                |
|-----|----------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------|-----------|---------|-------------------------|--------------------|
|     |          |                       |                       |          |                 |           | du Buat | 水深の関係                   |                    |
| 41  | 8.484    | 16.040                | 15.985                | 0.055    | 160             | 0.70      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ | δが小さいので係数Cの信頼度は低い。 |
| 42  | 8.484    | 15.058                | 14.992                | 0.066    | 160             | 0.74      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 43  | 8.484    | 14.108                | 14.000                | 0.108    | 160             | 0.70      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 44  | 8.484    | 13.158                | 13.005                | 0.153    | 160             | 0.73      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 45  | 8.484    | 12.272                | 11.995                | 0.277    | 160             | 0.71      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 46  | 12.726   | 16.117                | 16.010                | 0.107    | 160             | 0.74      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 47  | 12.726   | 15.168                | 15.030                | 0.138    | 160             | 0.76      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 48  | 12.726   | 14.192                | 13.985                | 0.207    | 160             | 0.75      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 49  | 12.726   | 13.338                | 13.016                | 0.322    | 160             | 0.73      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |
| 50  | 12.726   | 12.560                | 11.990                | 0.570    | 160             | 0.69      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |                    |

| No. | 流量<br>Q | 内水位<br>h <sub>1</sub> | 外水位<br>h <sub>2</sub> | 水位差<br>δ | 水門有効巾<br>b | 流量係数<br>C | 越流状態の分類 |                         | 備考 |
|-----|---------|-----------------------|-----------------------|----------|------------|-----------|---------|-------------------------|----|
|     |         |                       |                       |          |            |           | du Buat | 水深の関係                   |    |
| 51  | 16.968  | 16.175                | 16.003                | 0.172    | 160        | 0.77      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 52  | 16.968  | 15.226                | 15.000                | 0.226    | 160        | 0.79      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 53  | 16.968  | 14.340                | 14.002                | 0.338    | 160        | 0.76      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 54  | 16.968  | 13.530                | 12.990                | 0.540    | 160        | 0.73      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 55  | 16.968  | 12.890                | 11.996                | 0.893    | 160        | 0.69      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 56  | 21.210  | 16.248                | 16.002                | 0.246    | 160        | 0.80      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 57  | 21.210  | 15.335                | 14.998                | 0.337    | 160        | 0.79      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 58  | 21.210  | 14.523                | 14.000                | 0.523    | 160        | 0.75      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 59  | 21.210  | 13.812                | 13.010                | 0.802    | 160        | 0.72      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |
| 60  | 21.210  | 13.249                | 11.996                | 1.253    | 160        | 0.68      | モグリセキ   | $H_2 > \frac{2}{3} H_1$ |    |

モグリセキの場合 ( $H_2 > 0$ )：流量係数は各流量とも水位差が増すにつれてその値が減少する傾向がみられ、流量が増すにつれて係数 C の変動が小さくなる。これは完全越流に近づくためと考えられる。

Q = 200 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 2.828 l/s) のとき、

流量係数 C = 0.70 ~ 0.58

Q = 300 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 4.242 l/s) のとき、

流量係数 C = 0.68 ~ 0.60

Q = 500 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 7.070 l/s) のとき、

流量係数 C = 0.67 ~ 0.61

なお、du Buat のモグリセキ領域には完全越流、不完全越流が含まれている。(図-8)

これを考慮すると、No. 8 ~ No. 10, No. 13 ~ No. 15, No. 18 ~ No. 20 は完全越流で、各流量に対する流量係数はほぼ一定値をとっている。つぎに No. 7, No. 12, No. 17 は不完全越流で、とくに No. 7 のように不安定な値がでているが、大体モグリセキと完全越流の間の値となっている。

また No. 6, No. 11, No. 16 はモグリセキと考えられ、C = 0.66 ~ 0.68 の範囲にある。

2) ゲート上端標高 TP. - 0.80 m の場合

この実験範囲は、すべて  $H_2 > 0$  で du Buat のモグ

リセキである。

モグリセキの場合 ( $H_2 > 0$ )：流量係数は各流量とも水位差が増すにつれ、係数値は減少する傾向がみられるが、外水位条件が -0.50 m (h<sub>2</sub> = 12 cm) のところの係数が変動し、不安定である。また同一水位差に対して、流量が大きいほど係数が大きくなる傾向がある。

Q = 600 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 8.484 l/s) のとき、

流量係数 C = 0.69 ~ 0.62

Q = 900 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 12.726 l/s) のとき、

流量計数 C = 0.83 ~ 0.63

Q = 1,200 m<sup>3</sup>/s (Q<sub>m</sub> = 16.968 l/s) のとき、

流量係数 C = 0.71 ~ 0.63

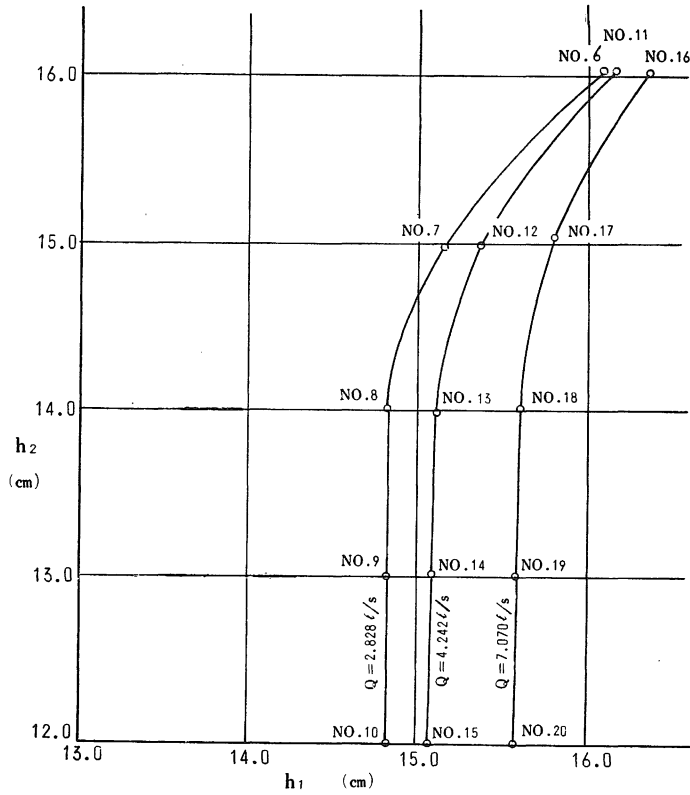
この実験の範囲は、du Buat のモグリセキ領域ではあるが、完全越流から不完全越流が含まれている。(図-9)

外水位条件が TP. - 0.50 m のところ (No. 30, No. 35, No. 40) は完全越流と不完全越流の境界領域で水位が不安定となるため係数 C が変動するものと考えられる。

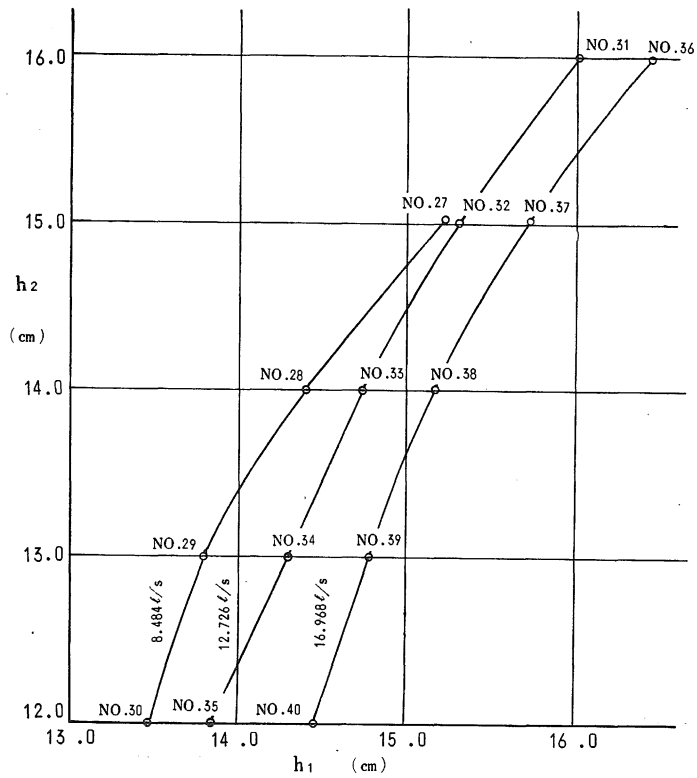
3) ゲート上端標高 TP. - 2.00 m の場合

この実験範囲は、すべて  $H_2 > 0$  で du Buat モグリセキであると同時に、水理的にもモグリセキの状態





図—8  $h_1$  と  $h_2$  との関係 (ゲート上端 TP. + 0.40 m)



図—9  $h_1$  と  $h_2$  との関係 (ゲート上端高 TP. - 0.80 m)

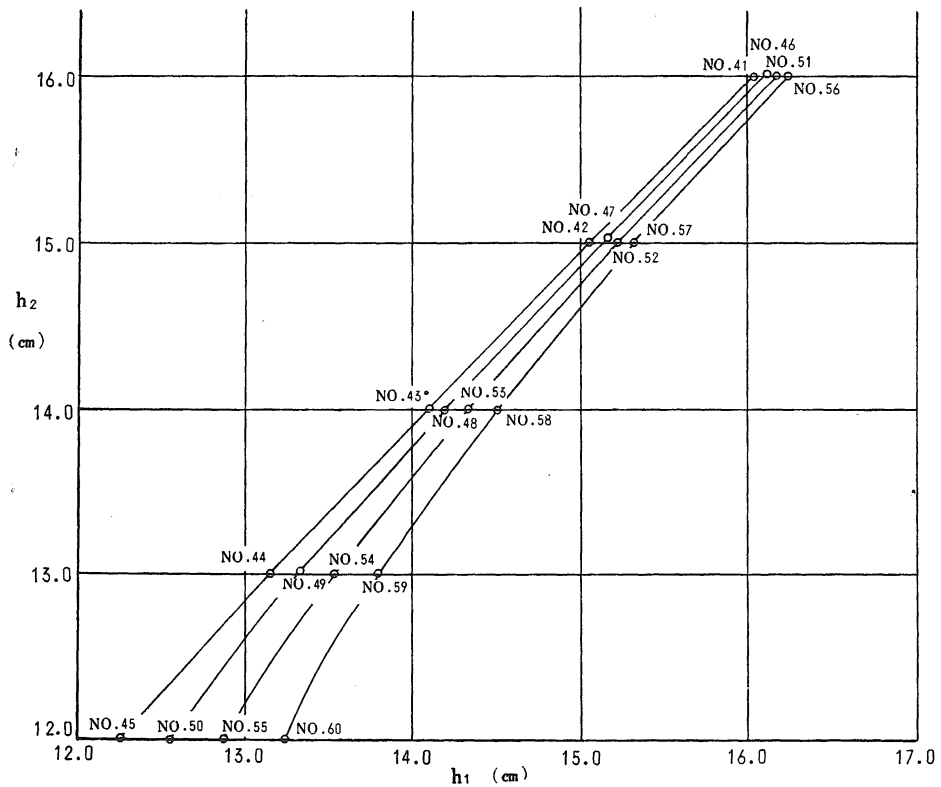


図-10  $h_1$  と  $h_2$  との関係 (ゲート上端高 TP. - 2.00 m)

ある。(図-10)

流量係数は各流量とも水位差が増すにつれ、係数値が減少する傾向がみられる。また同一水位差に対して流量が大きいほど係数が大きくなる傾向がある。

$Q = 600 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 8.484 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.74 \sim 0.70$

$Q = 900 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 12.726 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.76 \sim 0.69$

$Q = 1,200 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 16.968 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.79 \sim 0.69$

$Q = 1,500 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_m = 21.210 \text{ l/s}$ ) のとき、

流量係数  $C = 0.80 \sim 0.68$

上述の本実験範囲についてみると、du Buat 公式の流量係数  $C$  ( $H_2 > 0$  モグリセキ) は一定な値ではなく、流量、水位差により変動する。そして従来用いられている  $C \approx 0.63$  よりは一般に大きい値をとり安全側にあるが、du Buat のモグリセキ条件  $H_2 > 0$  は不完全越流、完全越流をも含むので、この領域では完全越流時の係数値に近くなる。それゆえ完全越流時の係数が 0.63 以下となるゲート上端標高 TP. + 0.40 m の No. 8, No. 13, No. 18, ゲート上端標高 TP. - 0.80 m の No. 30 では

$H_2 > 0$  で du Buat のモグリセキ領域であるが、流量係数が 0.63 よりも小さくなっている。したがって、モグリセキとなる  $H_2 > \frac{2}{3} H_1$  の範囲では、du Buat 式の流量係数  $C$  は 0.63 以上であるといえる。

du Buat 公式については、さきの水門全開の項でもふれたように、式自体に問題があるから、より合理的な式の誘導がのぞまれる。

## 5. む す び

淡水における本実験によって、つぎの結論をえた。

(1) 淡水において水門を全開した場合、du Buat 公式の流量係数  $\mu$  は、この実験範囲において、 $\mu = 0.91 \sim 1.09$  の値をえた。

du Buat 公式の  $\mu$  は従来 0.6~0.95 といわれているが、この実験の結果からみてやや過小の感があり、特に大、中コウ水時のような大流量が流れるときには、水位差の広範囲にわたり  $\mu$  は 1.0 前後の値をとっていいように考える。

(2) 淡水において水門一部を開放した場合、du Buat 公式の流量係数  $C$  は一定の値ではなく、流量、水位差により変動する値をとる。中海干拓計画においては、流量

係数は従来一般に用いられている  $C=0.63$  を採用しているが、実験の結果では一般にこれより大きい値となり、安全側にある。しかし du Buat のモグリモキ条件  $H_2 > 0$  は不完全越流、完全越流を含むのでこの領域では完全越流時の係数值（本実験における最小値=0.57）に近くなる。一般にモグリモキ条件の範囲において du Buat 公式の流量係数  $C$  は 0.63 以上と考えてよい。

### 6. 引用文献

1. 農林省岡山農地事務局：中海干拓及び淡水化事業計画書，1960

2. 永井莊七郎：水理学，1957，東京
3. 椿東一郎・荒木正夫：水理学演習上巻，1961，東京
4. 農業土木学会：農業土木ハンドブック，1931，p. 990~992，1957，東京
5. 農林省農地局編：土地改良事業計画設計基準第2部第4編，4・5・3 (7)~(10)，1952
6. 桑野定美：農業土木研究 24 (2)，：11~15，1956
7. 農林省設計課・農林省水理実験所：水理模型実験報告（国営龍西農業水利頭首工）1954

### Summary

In the Nakaumi Sea Reclamation Planning the discharge through tide-gates has been calculated by du Buat's formula, but it is a question whether the value of discharge coefficient given in the formula is entirely applicable to this case. It was to clarify this question positively that a number of hydraulic model experiments were carried out to investigate how the discharge coefficient is influenced by the fresh and the fresh-salt water.

In the case of fresh water the expected results were obtained as follows:

1. The results obtained under the condition of entirely opened gates indicate that the value of the discharge coefficient  $\mu$  of du Buat's formula ranges from 0.91 to 1.09. The value of  $\mu$  hitherto recognized generally changes from 0.6 to 0.95, but judging from these results it seems too small. Especially in the case of larger discharge, it may be estimated to be as large as about 1.0 extending over a wide difference of water level between inside and outside.

2. The value of the discharge coefficient  $C$  of du Buat's formula is not constant in case of partly opened gates in the fresh water, changing according to the amount of water discharge or the difference of water level. Generally it is more than 0.63 on the condition of a submerged weir.

As for the projected hydraulic model study in the fresh-salt water, it is necessary to continue more minute experiments. That will be dealt with in the following report.