

高圧ローラーゲートの拡散水脈に関する理論的研究

Theoretical Analysis on Water Surface of the Dispersed Flow
from High Pressure Gate

東洋大学工学部 正員 荻原国宏
日本鋼管株式会社 松山孝弘
一柳直樹

1. はじめに

高圧ローラーゲートよりの放流水脈は、その水流の高速性および圧力の高さによって、強い拡散性を持つ流れである。特に放水路中に拡幅部があると、その部分では横方向の拡散を起し激しく乱れた流れとなる。特に通常のローラーゲートの場合には放流水脈の出口に拡幅部（戸みぞ）があるために高速水流が戸みぞ部に流れ込み強い上昇流を発生させることがある。これをさけるために、戸みぞの位置を下流側にずらすことによって、上昇流を減少させることが出来ることが実験によって確かめられた。

この論文は、この放流水脈の放流直後における拡散は放流水脈の水面形の変化に強く依存しているのではないかと考え理論解析をするとともに設計資料を得ようとしたものである。水面形が水路床とはほぼ平行になった状態では、高速水流の横方向の拡散がごく少ないことを考えると、静水圧のこの現象への寄与は小さいと考えて良い。水面形が下向の曲率を持つ範囲では、水粒子の運動も鉛直下向きの速度成分を持つので、この成分の大きい所ほど、水路拡幅部で横方向の拡散が大きいと考えられる。

まづ理論的な扱いの前に実験による結果についてとりまとめておこう。

2. 放流水脈の拡散

図-1の様に段差（Drop）、助走長（Length）を変えて、拡散角を測定する実験をした。その結果が次のページの図-2である。

このグラフは縦軸に拡散角をラジアンで表示し横軸がゲート開度である。またグラフの奥から手前に向かって段差0.25, 5.0 cmの3つの組合せで助走長0.246 cmのケースで並んでいる。

これを見ると判るごとく助走長0のケース、図中の一番原点に近いグラフでは拡散角がかなり大きく、手前に向かって激減していることが判る。

拡散角の最っとも大きなケースは段差が0で助走長0の場合であり、拡散角は40~80度程度までになっている。

もう一つの特徴は助走のない場合には、小開度ほど拡散が大きいのに比して、助走長がある場合には60%以上になって拡散角が大きくなっていることである。

また段差が無い場合には放流口を出て、すぐに拡散を始めるのに比して、段差の有る場合には、一度空気中に出た後で水路床に衝突して拡散を始める。この水路床に衝突した後の拡散はかなり大きい、戸みぞのある付近では空気中にあるために、戸みぞに対しては良い結果を示している。

それと段差をつけることによって、戸みぞ内の水の排水および水路床へのエアレーションが可能

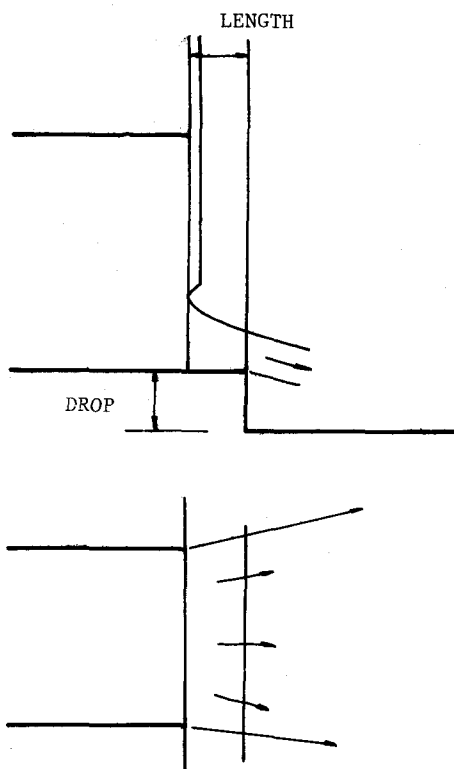


図-1

となる。

このような傾向は水路にこう配がついている場合にも当てはまる。特に傾斜水路に鉛直にゲートがついている場合には拡散がかなり軽減されることが判っている。

拡散角が最も大きくなるケースについて段差と助走長を両軸にとり、等拡散角線を引いたのが図-3である。

これから判るごとく助走長の小さい所では、段差より助走長の効果の方が強く、助走長が大きくなってから段差の効果がでてくることが判る。

3. 放流水脈の水面形について

放流水脈の水面形についての測定結果は次ページの図-4である。

いずれの場合にも水面形は上流側の水頭に左右されない結果が出ており、水面の曲率の変化は水路こう配がつくにしたがって小さくなっていることが判る。

また、このときに水路壁の圧力を図-5の測点について測定した。

この結果、水面が変化している部分では、一様水深

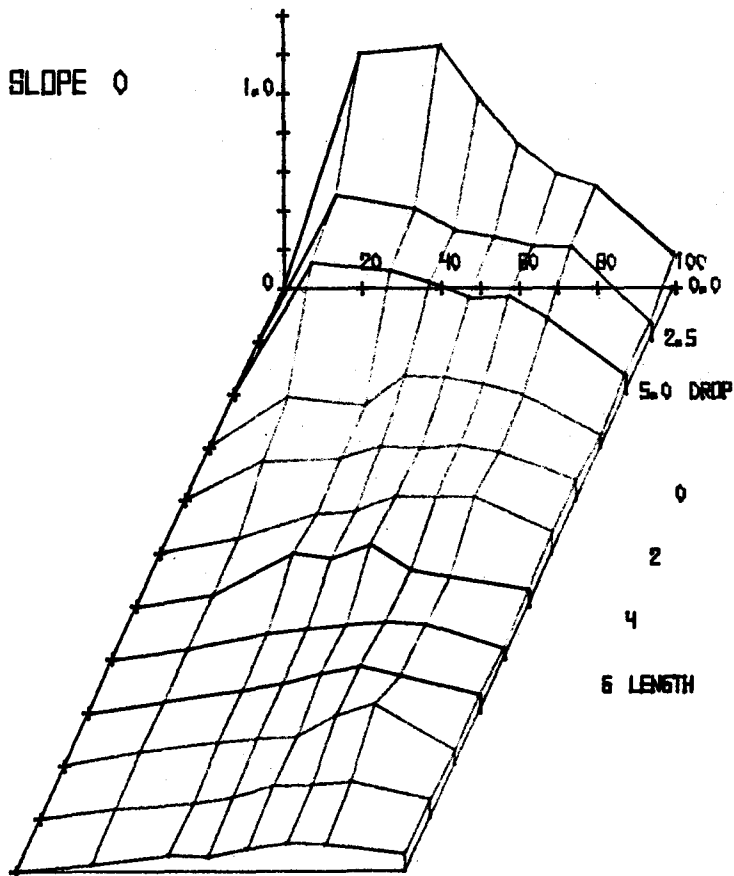


図-2

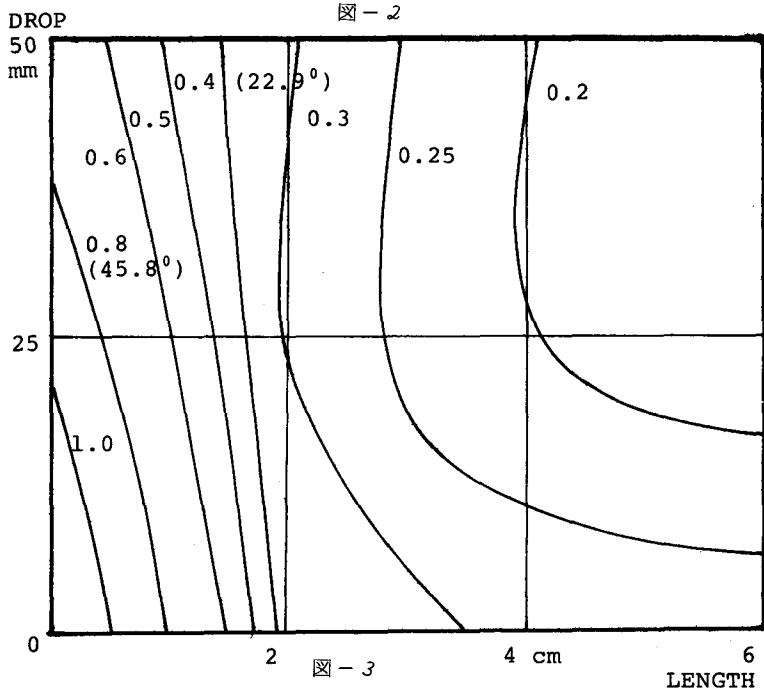


図-3

の場合と異なり、静水圧分布にならないし、また流下方向に直線的に減圧してゆくとはかぎらない。測定結果によると、鉛直方向の圧力分布は直線分布とはならず曲線分布となり、放流口に近いほど底部に一樣分布の圧力が残っている。それが下流にゆくにしたがって静水圧分布に近い形となっている。

この傾向は水路こう配によって変わりなく水面形によっている。

この側壁部の圧力を上流のヘッドで無次元化して示したのが図-6である。横軸は放流口より下流への距離であり、縦軸は無次元化した圧力である。

測点はヘッドによって変わった無次元圧力の最大と最小を線で結んでその範囲を示している。この結果から判るごとく、 $S=0^\circ$ の水平水路の場合が最も残圧があり $S=30^\circ$ の水路の場合が最も少ない残圧を示している。

また残圧の減少は直線的でなく、かなり下流まで残圧がありことが判る。

この結果と先の水面形の結果と比較すると、水路にこう配がついている程早目に水面形も水路床に平行になり、また残圧も早目に少なくなっていることが判る。

4 拡散角と戸みぞ幅との関係

実際に戸みぞを設置するように放流口よりの助走長をつけて開口部を作製して、その開口部の幅を変えて水流の入る限界を測定してみた。

この開口部の幅が戸みぞ幅に相当している。この場合に限界をどのように設定するかが問題となるが、下流の水面以上に上がらない状態を限界としてまとめたのが図-7であり Tomizo Hiraki 1としている。

図-7の縦軸は戸みぞの開き幅であり単位はcmである。横軸は下流の側壁の形状である。1は曲線形を入れて水路幅を変えない場合、2~4は下流水路幅を広げた場合で、数

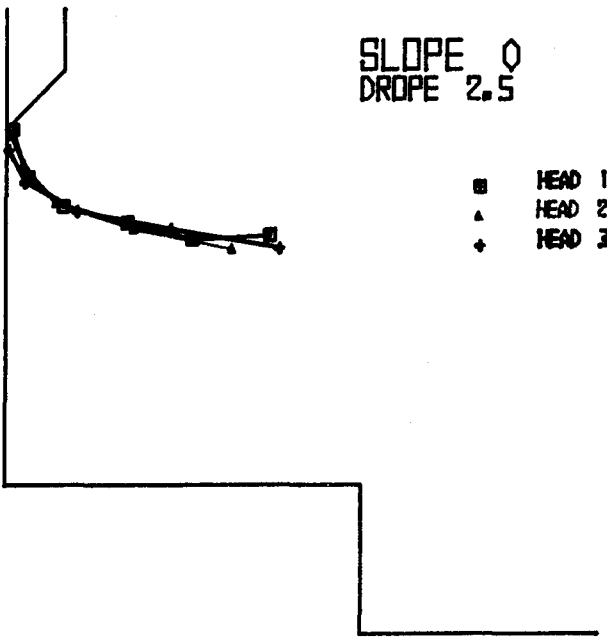


図-4-1

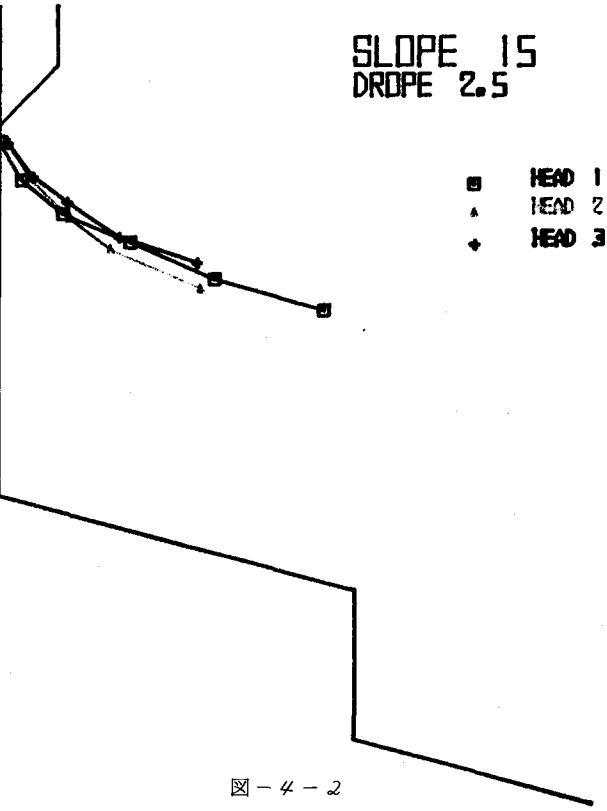


図-4-2

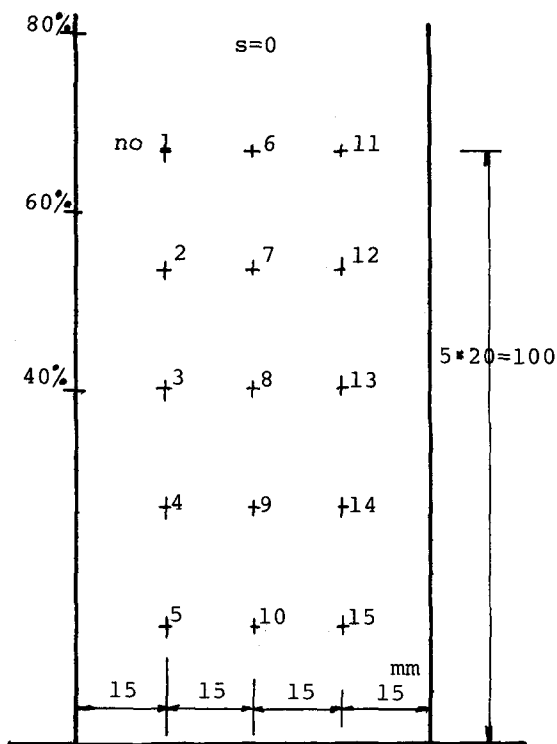


図-5

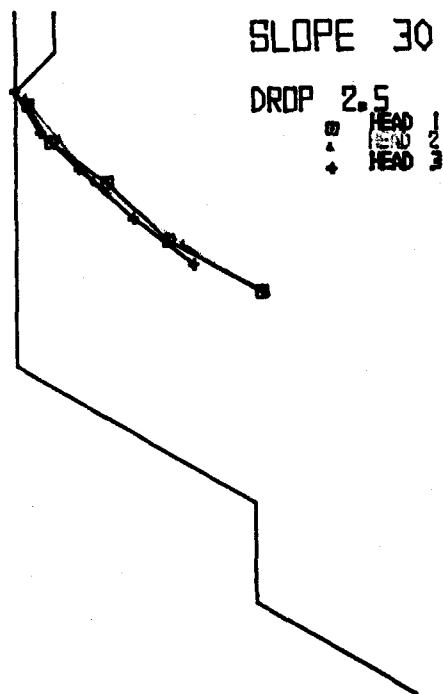


図4-3

字は模形での拡幅の大きさで mm である。これをグラフの横軸にとり開度 60% と 70% の場合について示してある。グラフは原点より手前に向かって助走長を 0.246 cm と変えたグループを段差 0.2550 cm の順に並べてある。

この縦軸の値が大きい程効果的であることを示しておりグラフから判るごとく助走長が大きくなつていく程良くなつていくことが判る。

しかしその程度は助走長の方がより大きな効果を示している。

次にこの戸みぞ幅と拡散角との関係を取りまとめたのが図-8である。これは同図中に書いてある拡散角より求めた水脈の浸入限界 l_1 と戸みぞの限界実験より求めた限界幅

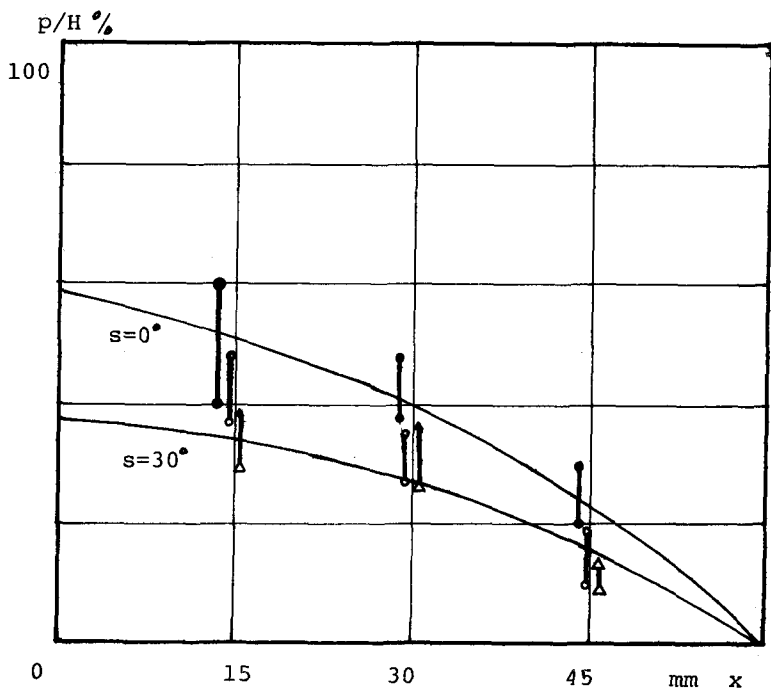


図-6

l_2 の関係をプロットしたものであり、ほぼ直線関係になっている。

そこで、
 $1z/1_1$ の値を
 計算して、各
 場合の平均を
 求めると、段
 差0の場合に
 は1.0~1.7
 、段差2.5の
 場合は2.0~
 2.7の値を、
 さらに段差が
 5.0の場合に
 は2.2~3.2
 となっている
 ことが判り、
 段差をつける
 ことによって
 拡散角で求め
 たより実際の
 の戸みその幅
 は大きくして
 良いことが判
 った。

上記の数値
 の幅は助走長
 の大きさによ
 って変わって
 いる。

5. 放流水脈 についての理 論解析

結局これら
 の実験結果より判明したことは、水脈が縮流
 している部分での水脈の横方向への拡散が強
 いことがわかり、したがって、この水脈の縮
 流部についての理論解析ができれば、今後の
 解析に好都合である。

ここに示した実験結果には水路のこう配に
 よる影響のものは省略されているが、その結
 果によると水路こう配がゆるい程、戸みぞ内
 に水の入る度合が小さい、これは水脈の変化
 の度合が小さいことから当然とも考えられる
 。

このように考えると放流水脈の水面形につ
 いての理論解析ができればこの辺のことも判
 るはずである。

このようなことより図-9のような流れの
 場合の水面形について解析をする。この種の

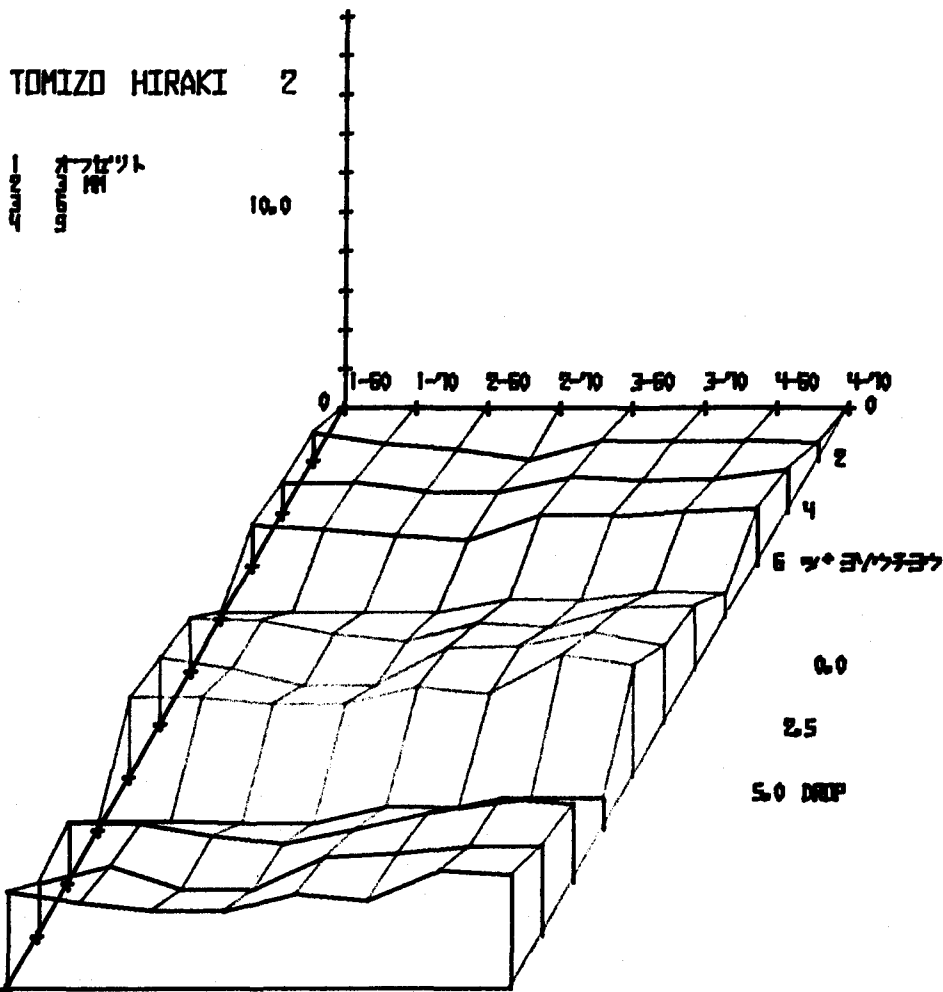


図-7

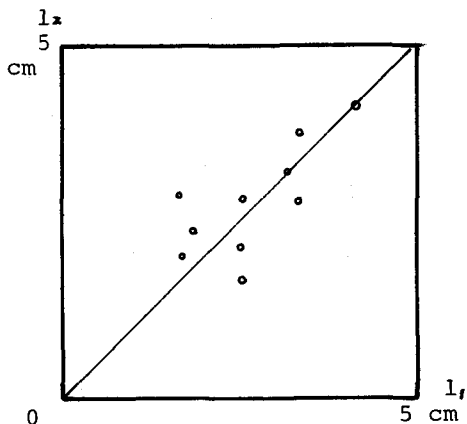


図-8

解析については既に筆者によりゲートリップ部の流れ(1)として行なわれ、この結果を若干書きかえることによって求めることができる。

z, w, Ω 面を t 面に写像して t をパラメーターにして解析することにする。詳細については先の論文にゆずることにして結果をまとめると次のごとくなる。

$$W = \log \left[\frac{t}{a} \cdot \frac{a+1}{t+1} \right] \quad (1)$$

$$\Omega = A \log \frac{\Theta_4 \left[\frac{u-a}{2K} \right]}{\Theta_4 \left[\frac{u+a}{2K} \right]} + Bu + C \quad (2)$$

$$A = \frac{\phi_0}{\pi} = \frac{1}{n}, \quad B = i \frac{(\phi_0 - \phi_1)}{K}$$

$$\begin{aligned} C &= -i\phi_0 - \log \cdot q_0 \\ &= -i\phi_0 \left[\frac{a}{K} + 1 \right] - (\phi_0 - \phi_1) \frac{K'}{K} \end{aligned} \quad (3)$$

$$x^2 = \frac{1}{t} = \operatorname{sn}^2 u \quad (4)$$

$$a = k^2$$

$$\begin{aligned} \Omega &= \log \left(\frac{dz}{dw} \right) \\ &= \log \left(\frac{1}{q} \right) + i\theta \end{aligned} \quad (5)$$

$$W = i\psi + \phi$$

$$z = x + iy$$

今回の高圧放流ゲートでは $\phi_0 = 0$ であるので
 $1/n = 0$ となり、結局これらの式は

$$\Omega = \log \frac{\exp \left[-\frac{\phi_1}{\pi} \cdot \frac{u}{K} \cdot i\pi \right]}{q_0} \quad (6)$$

となり、(5)式より

$$\frac{dz}{dw} = \frac{\exp \left[\left(-\frac{\phi_1}{\pi} \cdot \frac{u}{K} \right) \cdot i\pi \right]}{q_0} \quad (7)$$

また(7)式は微分形で書くと

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{t(t+1)} \quad (8)$$

となる。 t と u とは(4)式で結合されているので t の代りに u をパラメーターとして解を求めることにした。

次に水面形は DC 間、ゲート部分は DD' 間、下流の水脈間は BC 間であるので、それぞれについて $\phi = 0$ の dz を数値積分で求めることにした。

DC 間は図-9の u 軸をみると判るごとく、 $u = -iK' \sim -iK' + K$ まで変化しているの

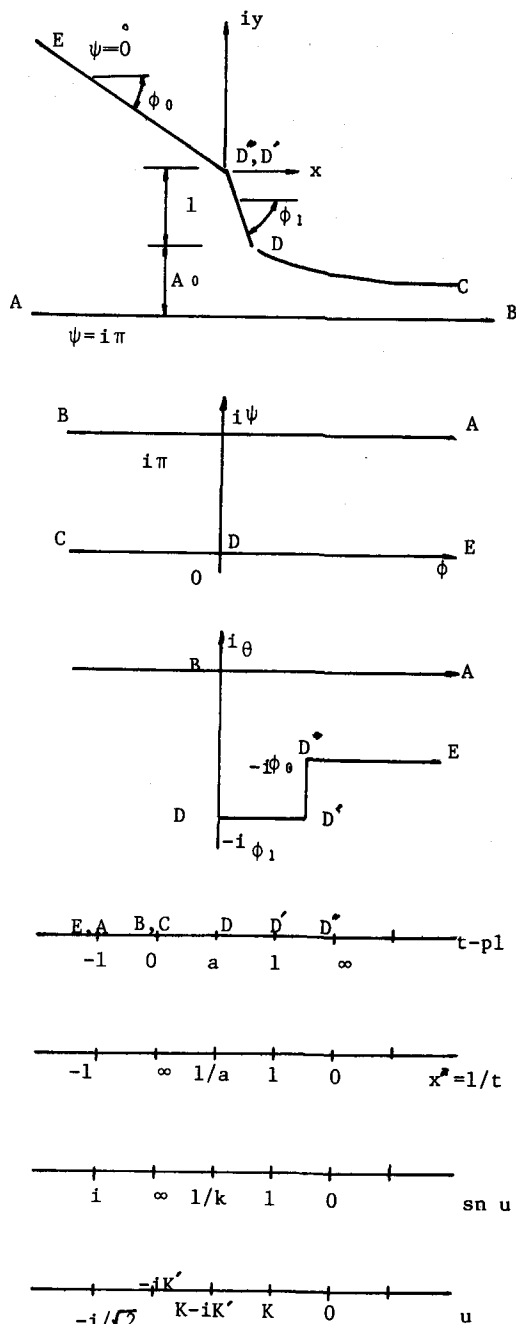


図-9

$$u = -iK' + K - u_2 \quad (9)$$

として $u_2 = 0 \sim K$ の間で変化させることにする。これを (4) 式に入れて整理すると

$$t = k^2 \frac{cn^2 u_2}{dn^2 u_2}$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{t(t+1)}$$

$$dz = [\cos \phi_1 (1 - \frac{u_2}{K}) - i \sin(1 - \frac{u_2}{K}) \phi_1] dw \quad (10)$$

として求められる。

KAKUDO 75.0

また DD' 間は $u = K - iK' \sim K$ 故

$$u = K - i u_1, \quad u_1 = K' \sim 0$$

として同様に整理すると

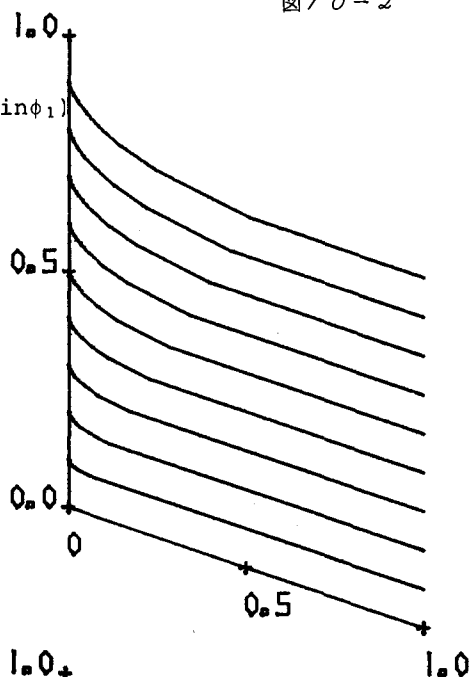
$$t = \bar{dn}^2 u_1$$

$$dz = \text{Exp}[\frac{\phi_1}{K}(K' - u_1)] (\cos \phi_1 - i \sin \phi_1)$$

となる。B C 間は u 軸上では同一点であるので、 z 面上での y 座標の変化は dw より表はれ、 $dz = i\pi$ となる。

各ゲート開度での水面形を求めるのはだ円関数の母数を変化させて求めれば良い。結果をグラフにしたのが図 10 である。開度が大きくなるにしたがって縮流部分が下流の方につれていることが判る。またその度合も 90 度の

図 10-2



KAKUDO 50.0

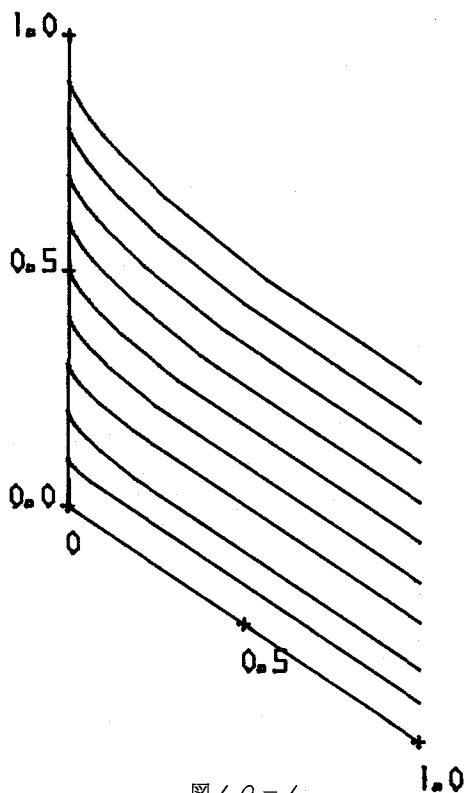


図 10-1

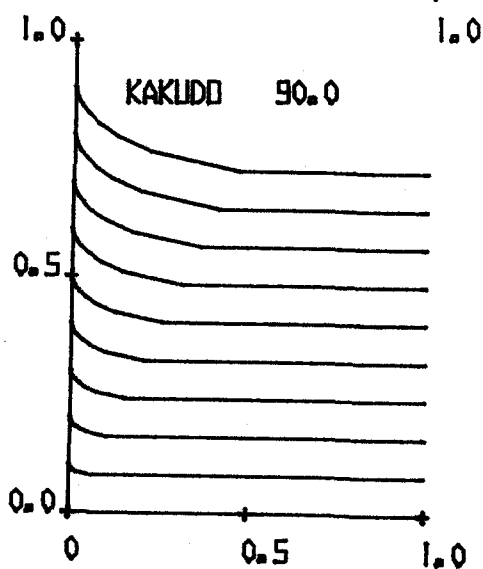


図 10-3

場合が最も大きく
75, 60になる
にしたがって小さ
くなっていること
が判る。縮流の程
度を表はすパラメ
ーターとして水面
こう配を角度で表
はし、助走長を水
路高さで無次元化
した流下長でグラ
フにしたのが図-
//である。図中
の1~9はゲート
開度10~90%を
示しており、開度
が大きい程縮流現
象が下流の方に及
んでいる。また
10~60%までの
縮流の変化に比し
て60~90%の
変化は小さいこと
が判る。

このことより実
験で60~80%
で戸みぞ内に水が
入る度合の大きか
ったことがうなづ
ける。また残留圧
力と理論解析の結
果との比較、縮流
の水面こう配と水
脈の横方向の拡散
角との関係等、ま
だ多くの取り残さ
れた問題があるが
、これらについて
はいづれかの機会
にとりまとめて発
表したいと考えて
いる。

(/) ゲート
リップ付近の圧力

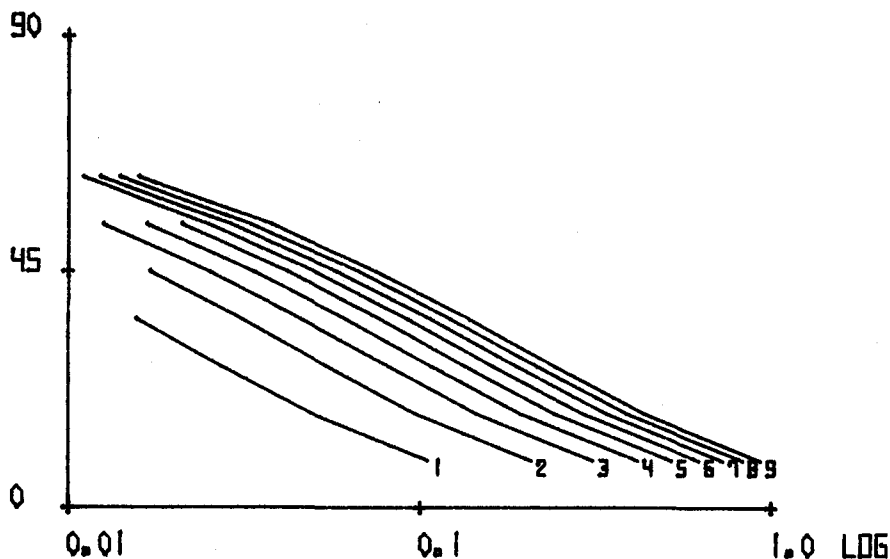
分布についての理論解析 土木学会論文報告集 第258号 / 1977年2月

(2) ローラーゲートの新手法とその水理実験 水門鉄管 No / 27 / 1981年5月

(3) ローラーゲートの戸みぞに関する研究 土木学会年次学術講演会 / 1981年10月

図-// - /

KAKUDO 90.0



KAKUDO 60.0

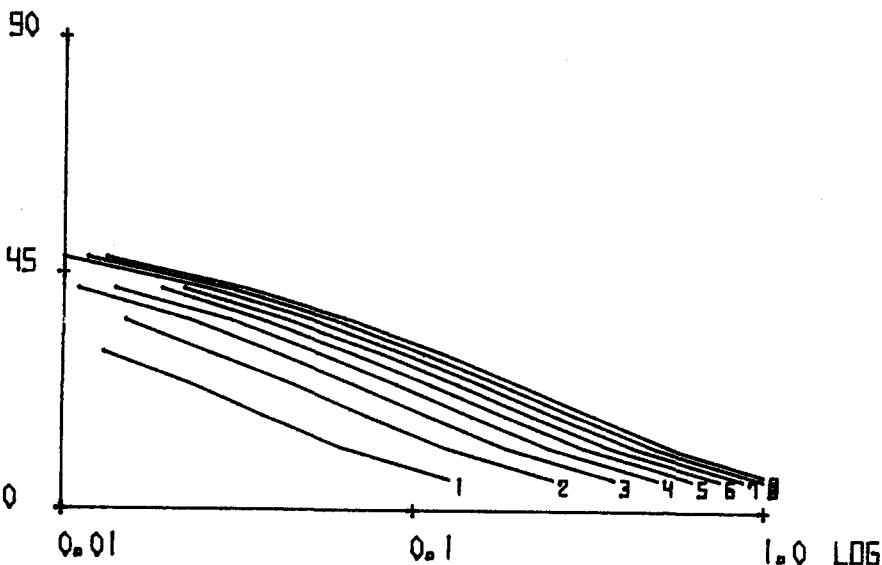


図-// - 2