オリフィス周辺の内向突出が流量係数に及ぼす影響⁽¹⁾

(昭和15年11月23日 応用力学講演會に於て講演)

正員 松本 容吉⁽²⁾

正員 岩浪 繁藏⁽³⁾

JES. 第162号ポンプ試験方法には『堰板の内面は成るべく平面にして水流を乱す如き突起物を有せず、特に切欠の縁より約10cmの間は滑なる平面と為すこと』と規定してゐる。然るに工場等で實際使用してゐる量水堰では製作の便宜上切欠の縁だけを幅の狭い黄銅板等で作り、これを堰板の内側にとりつけて用ひてゐるのを屢々見受ける。その場合板の縁は黄銅板の厚さだけ内側へ突出することになる。(第1図

第1図 薄刃三角堰

参照) この種の突出が流量係数に及ぼす影響を直角三角堰に就て沼知博士が⁽⁴⁾実験調査した处によると、或程度の突出があると流量係数が極く僅か(0.7~0.8%)であるが却て増すと云ふ結果になつてゐる。然るに同様のことをオリフィスについて考へると、オリフィスの縁が内向に著しく突出した場合はボルダの呑口に相當し、流量係数は當然減する筈である。そこで突出と流量係数との関係には常識的に判断したのとは何か異なつた所があるのではないかと考へたのがこの実験に著手した動機である。

実験に使用した装置は溢れ水槽の側壁に直径 d が約 35 mm のオリフィスを設けたもので、オリフィス中心における水頭 H は 2010 mm に保つた。而して水槽の内壁より測つたオリフィス周辺の内向突出の高さ t と突出の幅 b とを種々變へて流量を測つた。

オリフィスは第2図(a)の様に円筒の一端に設け、円筒の他端の外周にはねちが切つてある。従て円筒を廻しゴムパッキンの厚さを適當に變へてしめつけると、 t を任意に變へることが出来る。この種の円筒で突出幅 b の値の異なつたも

のを数箇準備した。又突出の幅 b の極めて大きな場合に対しては、第2図(b)に示す様にオリフィス円筒の周囲に種々な幅を有する黄銅環をはめることにした。この様にして t を 0~50 mm の範圍に又 b を 0~69.9 mm の範圍に變化させて実験を行つた。

第2図 (a) 内向突出オリフィス

第2図 (b) 内向突出オリフィス

先づ第3図(a)の様に突出の幅 $b=0$ の場合、即ちボルダの内向呑口の縁を鋭くした場合について突出高さ t を變化せしめ実験した結果は突出を少し出すと外径 d_0 を基準にして計算した流量係数 C_0 が第4図の上を示す曲線の様に急に減じ $t/d_0 > 0.6$, ($t > 21$ mm) で殆ど一定値になる。

次に第3図(b)の様に突出の幅 b を變化せしめ b/d_0 の

(1) Influence of the inside projection of the periphery of an Orifice on the Coefficient of discharge. (2) Yōkiti MATSUMOTO, Member, Tōkyō University of Engineering. 東京工業大学。

(3) Sigezō IWANAMI, Member, Tōkyō University of Engineering. 東京工業大学。

(4) 沼知福三郎外2名、機械学会論文集3巻11号(昭12-5), 174頁。

第3図 ボルダの呑口

値が 0.0060 , ($t=0.21$ mm), 0.0143 , ($t=0.5$ mm), 及び 0.0263 , ($t=0.92$ mm) の場合について実験したがこの範囲では C_0 の値がボルダの場合、即ち $b=0$ の場合と殆ど同一曲線上にのる(第4図参照)。この結果は $b/d_0 < 0.0263$, ($b < 0.92$ mm) の範囲では噴流がオリフィスの内側の縁に触れてゐない事を示す。従て内径 d を基準にした流量係数 C を計算することは不合理である。

更に b の値を増し $b/d_0 = 0.044$, ($b=1.52$ mm, $b/d = 0.0475$) とすると外径基準にした流量係数 C_0 の値は第4図の下に示す曲線の様に著しく小さくなり且今迄の曲線の形と全然異なり t の大きさに依て余り影響されない。これは噴流がオリフィスの内側に触れて出てゐるためと考へられる。この様に噴流がオリフィスの内側の縁に触れてゐる場合には外径 d_0 を基準にして流量係数を計算することは無意味である。そこで $b/d_0 > 0.044$ 即ち $b/d > 0.0475$, ($b > 1.52$ mm) の場合に対しては内径 d を基準として流量係数 C を計算した。この C の値を縦に t/d の値を横にとつて点記すると第5図の様になる。

第5図の上欄に示す曲線群は $b/d = 0.0475$, ($b=1.52$ mm) 及び $b/d = 0.0578$, ($b=2.02$ mm) の二つの場合に相當し、突出 t が極く低い場合は C の値が $t=0$ の場合の値より一度減じ更に t を増すと C は再び増加し $t/d > 0.5$, ($t > 17.5$ mm) に於ては殆ど一定値となる。第5図の中欄に示すのは $b/d = 0.141$, ($b=4.94$ mm), $b/d = 0.281$, ($b=9.86$ mm), 及び $b/d = 0.355$, ($b=12.46$ mm) の三つの場合に相當し、大体に於て t が増すと C が稍減じ、 $t/d > 0.3$ ($t > 10.5$ mm) になると C は殆ど一定値になる。更に第5図の下欄に示すのは $b/d = 0.567$, ($b=19.9$ mm), $b/d = 1.137$, ($b=39.9$ mm), 及び $b/d = 1.992$, ($b=69.9$ mm) の三つの場合に相當し、 t が増しても C の値は殆ど減少せず、且 $t/d > 0.3$, ($t > 10.5$ mm) では殆ど一定値になる。

第4図 流量係数 C_0 と t/d_0 の関係 (内向突出の幅 b が非常に小さい場合) 第5図 流量係数 C と t/d の関係 第6図 流量係数 C と b/d の関係

次に t を一定に保つて b を変化せしめた場合における C の曲線を第6図に示す。第6図の上欄の曲線群は $t/d = 0.025$, ($t=0.875$ mm), $t/d = 0.1$, ($t=3.5$ mm), 及び $t/d = 0.2$,

第 7 図 内向突出の幅 b が大きい場合 第 8 図 内向突出の幅 b が稍大きい場合 第 9 図 内向突出の幅 b が小さい場合

第 10 図 ボルグの呑口に相当する場合

($t=7.0$ mm) の三つの場合に相当し、曲線の形は t の値によつて夫々多少変つてゐる。又中欄並に下欄の曲線群はそれぞれ $t/d=0.3$, ($t=10.5$ mm), $t/d=0.5$, ($t=17.5$ mm) 及び $t/d=0.6$, ($t=21$ mm), $t/d=0.8$, ($t=28$ mm), $t/d=1.3$, ($t=45.5$ mm) 等の場合に相当し、何れもよく似た形を示す。而して $b/d=0.171$, ($b=6$ mm) 内外に於て C は略最小値を示し、更に $b/d>0.5$, ($b>17.5$ mm) に於ては C が略一定値となる。

次にアルミニウム粉末を浮べた二次元流について前述の実験に相当する場合の写真を撮影し、それを参考にして b 及び t が C に及ぼす影響を考察した。その結果について述べると

(I) t が充分大きな場合

(i) b も充分大きければ第 7 図 (a) 及び (b) のやうに突出のない普通のオリフィスの場合と同様にオリフィスに近寄る壁近くの流線は壁面に殆ど並行である。

(ii) b が稍小さい場合 即ち $b/d=0.14\sim 0.35$, ($b=4\sim 12$ mm) の範囲では第 8 図 (a) 及び (b) のやうに一度壁を離れた噴流の表面がオリフィスの内側縁に衝突するため C の値が (i) の場合より少し小さくなる。

(iii) b が小さい場合、即ち $b/d=0.047\sim 0.058$, ($b=1.5\sim 2.0$ mm) の範囲では噴流がオリフィス内側に僅かに触れる程度であるため (第 9 図参照)、 C は (ii) の場合より少し増し、 b を更に小さくすると第 10 図 (a) 及び (b) のやうにボルグの呑口の場合に相当する流れとなる。

第 11 図に示す平面的のボルグの呑口について噴流の自由表面が呑口の縁を内向に離れてから 180° 近く轉向し、外向になつて再び呑口の縁を含む平面に戻つた点と縁までの距離を b'_0 とすると等角写像の計算に依て

$$b'_0 = 0.1116 d_0$$

であり、この断面における噴流の幅 d'_0 は

$$d'_0 = 0.7766 d_0$$

第 11 図 ボルダの呑口

である。而してこの噴流の幅が結局 $0.5d_0$ に縮むのである。

然るに断面が円い立体的噴流はその直径が $\sqrt{0.5d_0} = 0.707d_0$ に収縮する。而して円い噴流が呑口の縁を含む断面に未だときの径 d_0 は同様にして

$$d_0 = \sqrt{0.7776} d_0 = 0.88 d_0$$

となると見なすと、この断面における噴流の自由表面と呑口の外縁との距離 b_0 は

$$b_0 = \frac{1-0.88}{2} d_0 = 0.06 d_0$$

となる。この仮定に基づく計算の結果が正しいとすると上の $b/d = 0.0475 \sim 0.0578$ 、即ち $b/d_0 = 0.044 \sim 0.052$ の範囲では噴流がオリフィスの縁に全然触れてゐない筈である。併し実際の流に於ては表面が多少乱れるためその一部がオリフィスの縁に触れ、その結果 C の値はさう大きくならない。

(II) 次に b を一定として

(i) b が小さい場合、突出の影響が殆ど認められない程度

に t の値が極く小さいと C の値は普通のオリフィスの場合と同様になる。然るに $t=0.7 \text{ mm}$ 、 $t/d=0.02$ 附近では C が最小値 0.594 を示す。これは第 12 図の様に壁に沿ふてオリフィスに近寄る流線が内向の成分を有するためと考へられる。

第 12 図

内向突出の幅 b が小さくて突出の大きさが極く小さい場合

t が更に増すと呑口の外壁に僅か触れて流れるボルダの場合の流れになるから (I, iii) の場合となり、 C は再び増大する。

(ii) b が稍大きくなった場合、この場合 t が極く小さいと t の影響が殆どなく普通のオリフィスの場合のようになる。然るに t が大きくなると (I, ii) のやうな状態になつて行くから C の値が減少すると考へられる。而して b, d が大きくなる程 t の影響は小さくなる。

(iii) b が充分大きくなると普通のオリフィスと同様の流となり C は t によつて影響されない。

最後に沼知博士の三角堰に関する実験結果⁽⁵⁾との比較であるが、今出口における噴流の断面形だけについて考へると直角三角堰よりの流れは正方形オリフィスよりの流れの半分の流れと見ることが出来る。而して沼知博士の実験は 200 mm 前後の水頭を中心として行はれてゐるからこれは対角線の長さが 400 mm である正方形オリフィスからの流れに相當する。更にこれを円形オリフィスの場合に比較すると直径が約 350 mm 程度のオリフィスに相當し、本実験のオリフィスの約 10 倍の寸法に當る。そこで沼知氏の実験における $t=10 \text{ mm}$ は本実験のオリフィスにおける $t=1 \text{ mm}$ に相當し $b=53 \text{ mm}$ 及び 83 mm は $b=5.3 \text{ mm}$ 及び 8.3 mm に相當する。然るにオリフィスについては上記程度の突出における流れは普通のオリフィスの場合の流れに略同じであつて C の値は増大しない。従て上記の突出に依て C が増大したとの沼知氏の実験結果とは一致しないことになる。即ち堰とオリフィスにおける噴流は突出による僅かな影響以上に差異が大きく、両者は同様に比較する事が出来ないものと考へられる。

(昭和 16 年 3 月 25 日受付)

(5) 脚註 (4) に同じ。