て径間中央の正曲げモーメントの軽減を計つてゐるに對し,著者は固定的對重を附する代りに桁端に碇着棒を附して之を橋臺に連結し棒に裝置した伸縮裝置によつて之に適當の引張力を與へ,斯くして桁端に負曲げモーメントを與ふると共に軸推力を與へるのであつて,簡單に目的を達する事が容易なのある。且つ此の方法を用ふれば橋臺の安定も亦良好となるのである。但し連續梁的性質を持つてゐるから,下部構造の沈下特に回転は主桁に危險なる應力を發生せしめる惧れがある。斯くの如き軟弱地盤の場合は碇着棒の伸縮裝置により容易に調節しうる事は勿論であり,碇着棒の長さが長いときは被害は僅小であるが,決して本法を適用すべきでは無いのである。

本法は未だ實施した成績を持つてゐない。よつて細部に亙る問題は玆に省略したのである。

下水流量計としてのベンチュリ フリュームに就て

(昭和 13 年 7 月 16 日土木学會第 2 回年次学術講演會に於て)

會員 北 澤 貞 吉*

要旨 下水流量計としてベンチュリ フリュームの特異性を述べ,之を円形渠に用ひた場合の理論流量算定式を誘導し,其の勢力水頭を定むる方法を述べたものである。

1. 緒言

下水の如き汚物,土砂を帶行する水流は,其の流量測定に堰樣のものを設くれば沈澱を生じ,延いては其の腐敗の爲に新たなる困難の源を作るのみならず,水頭の損失大にして,且つ公式作製當時の狀態を現出すること困難なれば,ベンチュリ フリュームを応用するが最も便なるべしとの考へが次第に强調されて來た。元來管渠の水流は,之を限界狀態で流すときは A: 流積, B: 水面幅, $\mathfrak{M}_{cr}$: 限界流深函數とすれば,其の流量 Q は次式で算定出來る。

$$Q=\sqrt{(A^3/B)_{cr}}\sqrt{g}=\mathfrak{M}_{cr}\sqrt{g} \quad \cdots\cdots(1)$$

此の限界狀態を現出せしむるに,沈澱其の他の困難を比較的伴はないのがベンチュリ フリュームの特徴である。而して之に生ずる限界流深函數は,其の咽喉部の断面形狀によつて異なるも,一般に其の勢力水頭 H の函數であるから $\mathfrak{M}_{cr}=\phi(H)$ で,從つて

$$Q=\mathfrak{M}_{cr}\sqrt{g}=\phi(H)\sqrt{g}=f(H) \quad \cdots\cdots(2)$$

となし得る。

此の種のメーター中にパーシャル メーター(1)とて,其の咽喉部を 20 cm 以上も窪め其の下流水路を全体として 7.6 cm 丈低めたものがあり,此の低窪に依つて限界狀態の出現を判然たらしめ得る利あるを以て精度も高く,米國に於ては特に灌漑水路に多く賞用されて居る。然るに下水渠の如きには此の低窪は極めて困難にして,既設下水渠には全然応用することが出來ない。且つ水位測定用靜水桶內に汚物が沈澱して腐敗する不利もある。依つて斯くの如き渠底の低窪をなさずして,限界狀態を現出せしむる方法として,著者は 圖-1 の如く断面を狹窄することのみに依て之を達せんと試みた。以下は其の報文で,他日機會を得て實験に附し度いと希つて居る。

---

* 工学士 熊本高等工業学校教授

(1) R. L. Parshall:—The Improved Venturi Flume, P. A. S. C. E., Vol. 51, Sept. 1925, p. 1340.

2. ベンチュリ フリュームの理論

1. 等流に於ける限界深と流量 図-2 の如き咽喉部に於て，其の長さが適當であるときは大体に於て等流狀態を現出し，其の水流は限界狀態で流れ，普通廣頂堰に於けるが如く將に瀑下せんとする附近に於て限界深を生ずる。併し此の限界深の位置は，パーシャル メーターの如く低窪部でも作らない限りは不確で，決定が容易でない。然るに勢力水頭は，トランシジョン部の設計に注意すれば實用上一定し居るを以て[2]，咽喉部を限界狀態で流れる樣に設計してありさへすれば，位置は判らずとも勢力水頭から咽喉部の流速水頭を減ずることに依つて，直ちに限界深の値を定めることが出來る。即ち v: 流速，d: 流深，d_c: 限界深，h: 流速水頭，h_c: 限界流速水頭，H: 勢力水頭とすれば

$$H=d+v^2/2g=d+h=d_c+h_c \qquad \cdots\cdots(3)$$

且つ Q の流下割合の最大なるは限界區域であるから，$\partial Q/\partial h=0$ より h_c を見出す方法を取ることゝする。但し之は等流に於てのみ応用されることで，curvilinear flow に於ては或る補正を施さなくてはならない。之に關しては Bakmeteff 博士の嚴に戒めて居るところで[3] 其の爲に咽喉部を相當の長さとなして，curvilinear flow となるを可及的避けるのであるが，尙且幾分の補正を要することゝ思はれる。

図-1. 咽喉部の形状

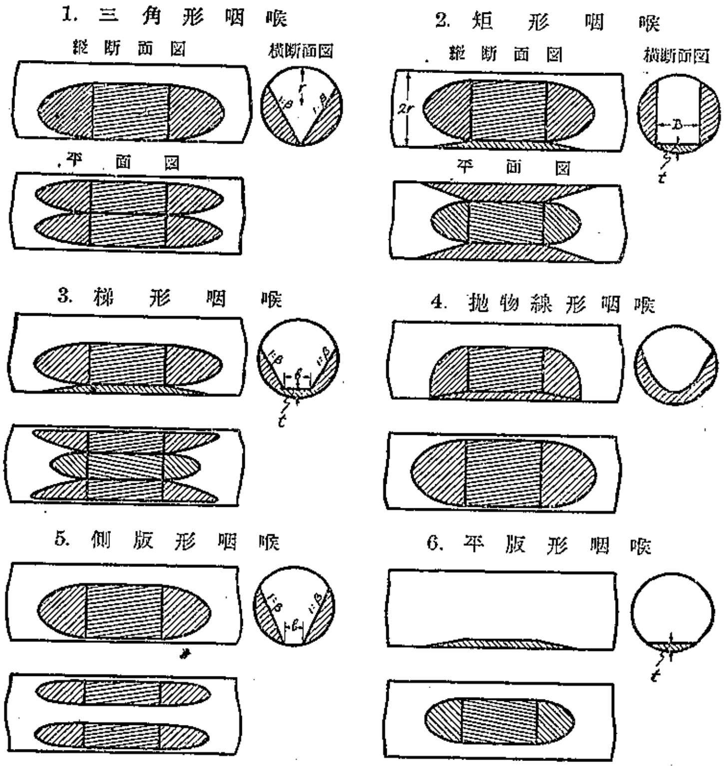
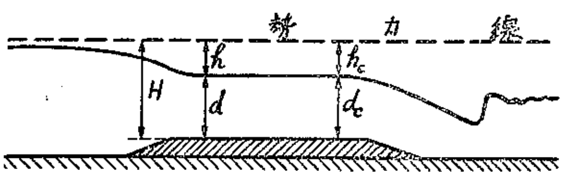


図-2. 廣頂堰に於ける水流



(2) 米國の Hinds 氏が 29 回の試驗を行つた結果，此の勢力水頭損失は，咽喉部と管渠部との兩流速水頭の差の平均 4%，最大 10% であつた。—Judian Hinds: The Hydraulic Design of Flume and Siphon Transition, T. A. S. C. E., Vol. 92, 1928, p. 1423.

又 Palmer 氏等が Los Angeles County Sanitation District の下水道に於て，長 3: 横 1 の割合のトランシジョンを用ひた實驗の結果は，1.5 mm 以上の損失の生じなかつたことを記錄して居る。—Harold K. Palmer and Fred D. Bowlus: Adaptation of Venturi Flume to Flow Measurement in Conduits. P. A. S. C. E., Vol. 61, Sept. 1935, p. 961.

(3) Bakmeteff: Hydraulics of Open Channels, p. 28, 42.

2. 円形渠に応用したるベンチュリ フリュームの理論流量算定式の誘導

(1) 三角形咽喉の場合 (図-1 の 1 參照)

β: 側版の法勾配, Q_0: 理論流量とすれば

$$Q_0=A\cdot v=\beta(H-h)^2\sqrt{2gh}$$

之を等流と見做せば, 限界狀態に於ては

$$\frac{\partial Q_0}{\partial h}=\sqrt{29}\cdot\beta(H-h)\left(\frac{H-h}{2\sqrt{h}}-2\sqrt{h}\right)=0$$

$$\therefore\ H-5h=0 \quad 即 \quad h_c=0.2H \cdots\cdots(4)$$

之を Q_0 の式に代入すれば

$$Q_0=0.64\beta\times\sqrt{2\times9.8}\times\sqrt{0.2}\,H^{2.5}=1.267\,\beta\,H^{2.5} \cdots\cdots(5)$$

(2) 矩形咽喉の場合 (図-1 の 2 參照)

B: 水面幅とすれば, 同樣にして $Q_0=\sqrt{2gh}\,B(H-h)$

$$\partial Q_0/\partial h=0 \text{ より } h_c=H/3 \cdots\cdots(6)$$

從つて $$Q_0=\sqrt{2g}\,B\sqrt{H/3}\,(2H/3)=1.704\,BH^{1.5} \cdots\cdots(7)$$

(3) 梯形咽喉の場合 (図-1 の 3 參照)

b: 底邊長とすれば, $B=b+2\beta(H-h)$

$$Q_0=\sqrt{2gh}\,[b+\beta(H-h)](H-h)$$

$\partial Q_0/\partial h=0$ より $5\beta h^2-3(b+2\beta H)h+(b+\beta H)H=0$

之を解いて $$h_c=0.3\frac{b}{\beta}+0.6H-\sqrt{\left(\frac{0.3b}{\beta}+0.6H\right)^2-\frac{H}{5}\left(\frac{b}{\beta}+H\right)}\fallingdotseq0.28H \cdots\cdots(8)$$

$$\therefore\ Q_0=\sqrt{2g}\sqrt{0.28H}(0.72H)(b+0.72\beta H)=1.688(b+0.72\beta H)H^{1.5} \cdots\cdots(9)$$

(4) 拋物線形咽喉の場合 (図-1 の 4 參照)

横軸を x に, 縱軸を y として其の最低部に原點があるものとすれば, 拋物線の方程式は p をパラメーターとして

$x^2=py$, 故に $x=\sqrt{py}$

$$B=2\sqrt{py}=2\sqrt{p}\sqrt{H-h}$$

$$Q_0=(4/3)\sqrt{p}\sqrt{H-h}\,(H-h)\sqrt{2gh}=(4/3)\sqrt{2g}\sqrt{p}\,(H-h)^{1.5}h^{0.5}$$

$\partial Q_0/\partial h=0$ より $h_c=H/4=0.25\,H \cdots\cdots(10)$

從つて之を上式に代入して

$$Q_0=(4/3)\sqrt{2g}\sqrt{p}\,(0.75)^{1.5}\sqrt{0.25}H^2=1.917\sqrt{p}\,H^2 \cdots\cdots(11)$$

(5) 側版形咽喉の場合 (図-1 の 5 參照)

下底部の側版以下の深さを t, 幅員を b とすれば, 渠半徑を r として $b=2\sqrt{r^2-(r-t)^2}$ なる關係より $t=r-\sqrt{r^2-b^2/4}$ を得。

$$B=b+2\beta(H-h),\quad A=b(H-h)+\beta(H-h)^2+(2/3)bt$$

$$Q_0=\sqrt{2g}\{b(H-h)\sqrt{h}+\beta(H-h)^2\sqrt{h}+(2/3)bt\sqrt{h}\}$$

$\partial Q_0/\partial h=0$ より $5\beta h^2-3(b+2\beta H)h+\beta H^2+bH+(2/3)bt=0$

之を解いて $$h_c=\frac{3(b+2\beta H)}{10\beta}\pm\sqrt{\left[\frac{3(b+2\beta H)}{10\beta}\right]^2-\frac{2}{10\beta}\left[\beta H^2+bH+\frac{2}{3}bt\right]}\quad\cdots\cdots(12)$$

根號内を展開して高次のものを捨て，且つ正號は不合理なれば之を捨てると，近似的に次の如くなる。

$$h_c\fallingdotseq\frac{\beta H^2+bH+(2/3)bt}{3(b+2\beta H)}$$

之に $t=r-\sqrt{r^2-b^2/4}$，及 $r=2b$ を代入し，且つ法勾配 β は 1/3～1/2 の間を適當と考へられるを以て之を1/2.5 とすれば

$$h_c\fallingdotseq\frac{1}{6}\left[H+\left(1.25-\frac{1}{120}\right)b\right]$$

又 $r=H/1.5$ と假定すれば，$b=0.5r=H/3$

$$\therefore\quad h_c\fallingdotseq\frac{1}{6}(1+0.414)H=0.236H \text{ 即 } 0.24H\quad\cdots\cdots(12\cdot1)$$

依て $$A_c=[b+\beta(H-h_c)](H-h_c)+(2/3)bt=0.76[(b+0.76\beta H)H+0.028br]$$

$$\therefore\quad Q_0=1.65[(b+0.76\beta H)H+0.028br]H^{0.5}\quad\cdots\cdots(13)$$

(6) 底版形咽喉の場合（圖-1 の 6 參照）

t: 底版の最大厚，r: 渠半徑として円の方程式を作れば $x^2+[y-(r-t)]^2=r^2$ となる。然らば $x=\sqrt{r^2-(y-r+t)^2}$

$$\therefore\quad \text{流積 } A=2\int_0^{H-h}\sqrt{r^2-(y-r+t)^2}dy=(H-h+t-r)\sqrt{r^2-(H-h+t-r)^2}$$
$$+r^2\left(\sinh\frac{H-h+t-r}{r}-\sinh\frac{t-r}{r}\right)+(r-t)\sqrt{r^2-(t-r)^2}$$

$$Q_0=\sqrt{2gh}\{(H-h+t-r)\sqrt{\quad}+\cdots\cdots\}$$

$\partial Q_0-\partial h=0$ を出し，且つ $t=0.2r$ とすれば

$$(H-5h-0.8r)\sqrt{r^2-(H-h-0.8r)^2}+r^2\left(\sinh\frac{H-h-0.8r}{r}+0.927\right)+0.48r^2=0$$

然るに $H-h-0.8r\ll1$ なるを以て，根號内と円函數とを展開して高次のものを捨て，$r=H/1.5=0.67H$ と假定して之を整頓すれば

$$h^3-1.021Hh^2-0.776H^2h+0.316H^3=0$$

本式を解くに Horner 氏の方法を用ふれば

$$h_c=0.316H \quad \text{即}\quad 0.32H\quad\cdots\cdots(14)$$

依つて $$A_c=1.36(Hr-0.37/r)[(0.68H+t-r)^3-(t-r)^3]$$

$$\therefore\quad Q_0=3.41(Hr-0.37/r)[(0.68H+t-r)^3-(t-r)^3]H^{0.5}\quad\cdots\cdots(15)$$

若し $t=0.2r$ とすれば

$$Q_0=1.071(Hr-0.37/r)[(H-1.18r)^3+1.63r^3]H^{0.5}\quad\cdots\cdots(15\cdot1)$$

3. 實際流量への補正 上記 6 種の算式は何れも等流と見做して誘導したるも，實際には軽微ながらも curvilinear flow をなすを以て，之に對して ζ なる補正係數を乘ずるの要がある。又堰としての流量係數 C を各に乘じなくてはならない。從つて實際流量 Q は

$$Q=\zeta CQ_0=KQ_0\quad\cdots\cdots(16)$$

となすべきである。茲に C, ζ, K は夫々實験によつて定められる定數。

3. 勢力水頭の定め方

上記誘導式の勢力水頭 H は (3) 式に示す如く流深及流速の函數であつて，普通の堰に於ては其の上流 2.5H 以上の地點に靜水桶を設けて，其の水位の測定によつて定めて居る。蓋し靜水桶に於ては流速は流速水頭の形を取り，結局其の水位は (3) 式の如き勢力水頭となり居るを以て，之を其のまゝ使用すればよいのである。パーシャル メーターも同様な方法を用ひて居る。然るに下水渠に於ては既に述べたる如く，下水を靜水桶に貯へることは幾多の不都合を生ずるを以て，他の方法を用ひなくてはならない。著者は其の一法として人孔を利用して浮子を以て流深を定め，流速水頭は試算的に之を定め以て H となさんとする方法を考へて見た。蓋しベンチュリ フリュームは人孔を伴ふを以て，先づフリュームを人孔部より少し下手に設け，運用に當つては浮子に依る流深の測定だけを人孔内で行はんとする趣旨からである。圖-3 は人孔に於て浮子應用の水頭測定裝置の略圖である。而して $\frac{v^2}{ag}=\frac{Q^2}{2g}\frac{1}{A^2}$ なるを以て，$v^2/2g$ に任意の値を與へ，$Q^2/2g$ の與へられる値とより A の値を算出して表-1 を作り，$v^2/2g$ を縱距に，之に對應する A の値を横距に取つて置點し，之等の點を平滑な曲線で結べば 圖-4 の上半部を得る。

次に該圖の下半部へ 表-2 の値を以て流深 d を縱距に，流積 A を横距とした流深-流積曲線を畫く。斯くて上記の浮子にて d を測定し，之に底版厚 t を加へて $d_0=d+t$ となし，此の長さ丈に管渠の流深-流積曲線より鉛直に上方に取り，流速水頭 $v^2/2g$ は $Q^2/2g$ を假定し，圖の如く零位線より該假定曲線迄の鉛直高を以て其の値となし，$d+v^2/2g=(d_0-t)+v^2/2g=H_1$ として，前記の誘導式に應用して流量を算定する。而して算出流量より $Q^2/2g$ の値を

圖-3. 下水渠に設くるベンチュリ フリューム と其の水頭測定裝置

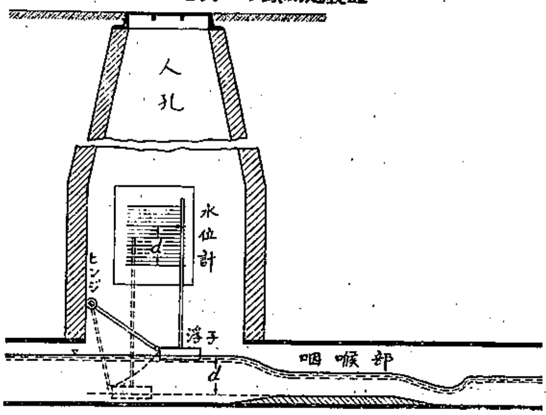


圖-4. 勢力水頭 $H=d+v^2/2g=(d_0-t)+v^2/2g$ を求むる圖

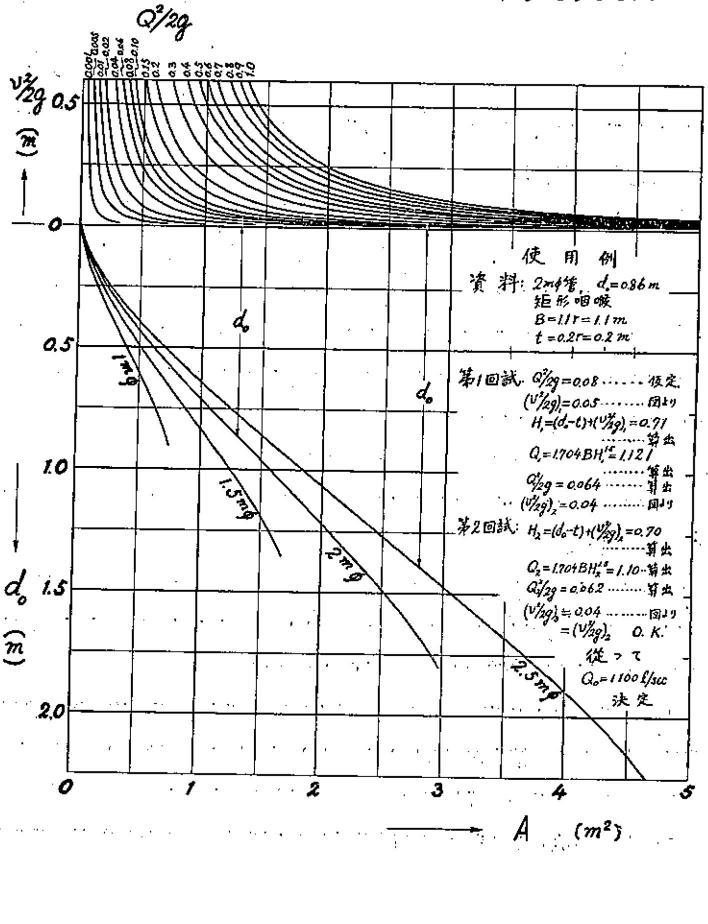


表-1.　$v^2/2g$, $Q^2/2g$ 及 A との相關値

流速水頭 $v^2/2g$	對應流速 v (m/sec)	$A=Q/v$ の算出値 (m²) $Q^2/2g$ =0.001																	
		$Q^2/2g$ =0.001	.005	.01	.02	0.4	.06	.08	.10	.15	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.80	.90	1.0
		Q=0.140	.313	.443	.626	.885	1.084	1.252	1.400	1.715	1.980	2.425	2.800	3.130	3.329	3.604	3.960	4.200	4.427
0.01	0.443	0.316	0.707	1.000	1.413	1.998	2.447	2.825	3.160	3.871	4.470	5.474	6.321	7.066	7.515	8.135	8.939	9.481	9.993
.02	.626	.224	.500	.708	1.000	1.414	1.732	2.000	2.236	2.740	3.163	3.874	4.473	5.000	5.318	5.757	6.326	6.709	7.072
.04	.885	.158	.354	.501	.707	1.000	1.225	1.415	1.582	1.938	2.237	2.740	3.164	3.537	3.762	4.072	4.475	4.746	5.002
.06	1.084	.129	.289	.409	.578	.816	1.000	1.155	1.292	1.582	1.827	2.237	2.583	2.888	3.071	3.325	3.653	3.875	4.084
.10	1.400	.100	.224	.316	.447	.632	.774	.894	1.000	1.225	1.414	1.732	2.000	2.236	2.378	2.574	2.829	3.000	3.162
.16	1.771	.079	.177	.250	.354	.500	.612	.707	.791	.968	1.118	1.369	1.581	1.767	1.880	2.035	2.236	2.372	2.500
.20	1.980	.071	.158	.224	.316	.447	.548	.632	.707	.866	1.000	1.225	1.414	1.581	1.681	1.820	2.000	2.121	2.236
.25	2.214	.063	.141	.200	.283	.400	.490	.566	.632	.775	.894	1.095	1.265	1.414	1.504	1.628	1.789	1.897	2.000
.3	2.425	.058	.129	.183	.258	.365	.447	.516	.577	.707	.817	1.000	1.155	1.291	1.373	1.486	1.633	1.732	1.826
.4	2.800	.050	.112	.158	.224	.316	.387	.447	.500	.613	.707	.866	1.000	1.118	1.189	1.287	1.414	1.500	1.581
.5	3.130	.045	.100	.142	.200	.283	.346	.400	.447	.548	.633	.775	.895	1.000	1.064	1.151	1.265	1.342	1.414
.6	3.329	.042	.094	.133	.188	.266	.326	.376	.421	.515	.595	.728	.841	.940	1.000	1.083	1.190	1.262	1.330

計算し，前に假定したる $Q^2/2g$ の値と一致すればよし，然らざれば此の算出値を假定値として再び $d+v^2/2g=H_2$ を出して，上記同様の算定をなせばよい。

表-2.　円形渠の流深と流積との相關値

流深 d: 直徑	流積の計算値 A (m²) d=1.0 m	1.2 m	1.5 m	1.8 m	2.0 m	2.5 m
0.05 d	0.015	.021	.033	.048	.059	.092
.1 〃	.041	.059	.092	.132	.164	.256
.2 〃	.112	.161	.252	.362	.447	.699
.3 〃	.198	.285	.446	.642	.793	1.230
.4 〃	.293	.423	.660	.951	1.174	1.834
.5 〃	.393	.566	.884	1.272	1.571	2.454
.6 〃	.492	.709	1.107	1.592	1.968	3.075
.7 〃	.587	.846	1.321	1.903	2.349	3.670
.8 〃	.674	.970	1.516	2.182	2.694	4.210
.9 〃	.745	1.072	1.675	2.412	2.978	4.653

4. 結　　言

以上を要するに，管渠に適當なる咽喉を設くれば此處に限界狀態を生ずるを以て，必ずしもパーシャル メーターの如き渠底の低窪を行はずとも，流量測定裝置として充分可能性がある。此の見地に立つて理論流量算定式 (4)～(15) 式を誘導したのであるが，何れも等流と見做して其の理論を導いた。從つて設計に當つては可及的等流を現出せしめ得る様に努むべきで，其の設計上注意すべき點は

(1) 入口部には適當な漸開角を有するトランシジョンを設け，咽喉部長を適當にする。之は少くも渠徑以上の長さを要する。全体が餘り短かきに過ぐれば，入口部と咽喉部との影響が重複して咽喉部を通じて等流を期待することは出來ないし，さりとて長きに失すれば咽喉部全長に亙つて反射波が起り易いから，適當な長さに止めることが肝要で，又之が重要な研究項目であらう。

(2) 渠底を僅かに流れる如き小流量を測定する場合は，咽喉部は三角形又は底部を狹くして両側へ傾擴せる形狀がよいと思ふ。

(3) 円形渠には梯形咽喉のものがよいであらう。蓋し其の底版は僅少流量の場合には，廣頂堰として働かしめるに便なるを以て，底版は緩勾配渠には薄くして汚物土砂の沈澱を防ぎ，急勾配渠には少しく厚くする方が良果を得ると思ふ。抛物線形咽喉も亦之に應用して妙であらう。

(4) 矩形咽喉は円形渠よりも馬蹄形，矩形又は半楕円形渠等に於て良果を與へると考へられる。但し之は流量が非常に少くなると精度が降りはしないかと思はれる節があるし，又管渠の全設計流量を流下せしむることは不可能であらうから，其の一般使用には制限を要するであらう。

(5) 多量の流量ある所にては円形渠たると矩形渠たるを問はず，底版形咽喉を用ひてよいであらう。之は既設下

水渠等で營業中に既製版を取り付けて，以てメーターとなす如き時に妙ではないかと考へられる。

(6) 同様に，大流量には適當なトランシジョンを有する側版形咽喉を應用して良いであらう。

函館驛の現況と將來に對する考察

（昭和 13 年 7 月 16 日土木学會第二回年次学術講演會に於て）

會員 江 藤 智*

1. 緒 言

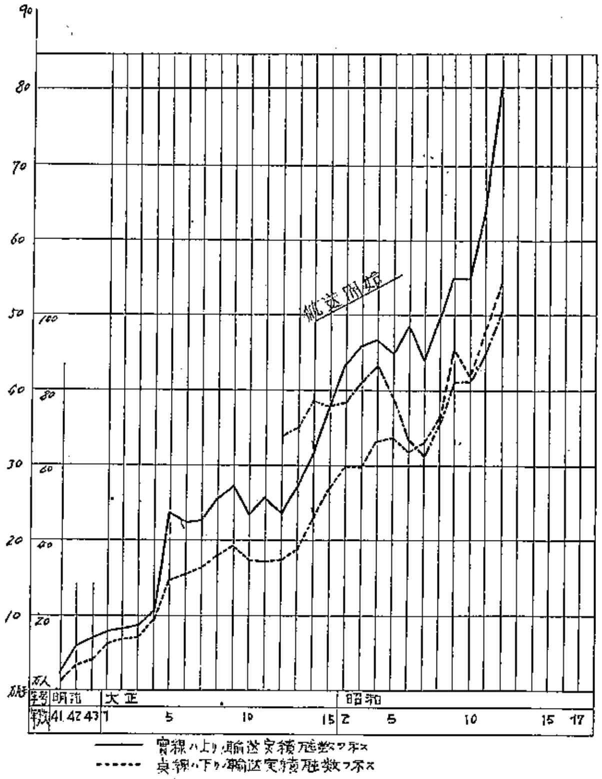
函館驛は北海道の咽喉を扼し對本州運輸交通の要衝を占む。

近時本道の發展と生産の躍進とは當然青函間運輸量の激増を來し，遂に昨年來の繁忙期に於ては現行船舶能力の最大限 10 運航を以てして尚之に應じ得ぬ狀態に立到つたのである（図-1）。依てその緩和策として省に於ては貨車航送船第 3 青函丸を新造し來春就航を見る豫定であるが，航送施設の行詰りは單に船舶の不足のみならず構內施設全般に亙つて之を見る狀態である。

一方目下建設中の福山線及戸井線の全通も昭和 16 年度に迫り又本道拓殖計畫による函館港第 2 期擴張工事も昭和 21 年度に完成の豫定である。又港內埋立工事も目下着々實施せられ，倉庫地帶及工場地帶として發展目覺しく，之等は何れも臨港鉄道或は專用側線を以て省線との連絡を計るべき事は明かである（図-2）。

即ち目下の函館驛の現狀は青函間運輸の增加に對し急速に而も根本的に解決策を樹立せねばならぬ時機にある。本講演は先づ函館驛の現狀を檢討し以て將來の改良計畫に對する考察を下さんとするものである。

図-1. 青函間航路輸送實績



2. 函館驛の現況 （平面図省略）

1. 運輸概況 （省略）
2. 青函連絡 （省略）
3. 設 備 （省略）

---

* 鉄道局技師 工学士 函館保線事務所長