

トンネル式洪水吐の給気孔に関する実験的研究

広島大学工学部 正員 I博 金丸 昭治
 〃 〃 〇星 健三
 中電技術コンサルタント 〃 池田 穰
 〃 〃 田中 弘泰

1. 要旨

トンネル式洪水吐のような高落差、急勾配の水路の上流端に設けられる流量調節用水門の直下流部には、激しい渦乱と空洞現象を発生し、水門操作を困難にするとともに、構造上好ましくない異常な振動などを生ずるおそれがあるので、水門の直後方には十分な給気孔を設ける必要がある。

この研究は、小規模ではあるが、多くの関連要素を変化させて多種類の実験を行ない、一先づ的確な給気孔断面積を求めることを目的として始めたものであって、ここではその第一段階として、上記の現象に関与する諸要素がどのような関係にあるかを実験的に追究した結果を述べることにする。

2. 基礎的考察

図-1 に於て、給気孔が0の場合には、満流となるはずであるから、一般的なベルヌーイの定理から断面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲについて、

$$H + Z = Z - \Delta h + \frac{U^2}{2g}(1 + f_i) = \frac{U^2}{2g} \left(\frac{h_g}{B} \right)^2 (1 + \Sigma f) \quad \text{--- (1)}$$

が成り立つ。ここに f_i は U にもとづくゲートによる損失係数、 Σf は満流流速にもとづく総損失係数、 Δh は断面Ⅱの水路内減圧水頭（ゲージ圧）である。

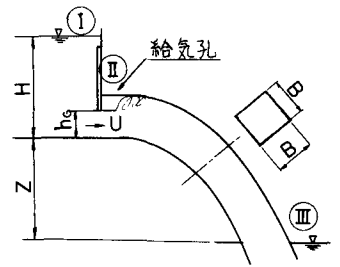


図-1. トンネル式洪水吐

したがって、給気孔が0の場合には、

$$(\text{流量}) Q_0 = Bh_g \sqrt{\frac{2g(H + \Delta h_0)}{1 + f_i}} \quad \text{--- (2)}$$

$$\frac{H + \Delta h_0}{H + Z} = \frac{1 + f_i}{\left(\frac{h_g}{B} \right)^2 (1 + \Sigma f)} \quad \text{--- (3)}$$

のように諸量の関係があらわされる。（ここに添字0は、とくに給気孔のない場合の値を示す。）しかしながら、給気孔を設けると、空気が流入して Δh 、 Q が減少し、もはや上記の関係を満足しない。この場合の水の流量 Q と空気流量 G とは、それぞれ次式で求められる。

$$Q = Bh_g \sqrt{\frac{2g \left\{ H + \frac{P_0}{\omega} \left(1 - \frac{P}{P_0} \right) \right\}}{1 + f_i}} \quad \text{--- (2')}$$

$$G = a \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \frac{P_0}{\omega_a} \left\{ \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right\}} = a F \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad \text{--- (4)}$$

（空気の場合 $k=1.4$ ）

ここに、 P_0 は大気圧、 P は断面Ⅱの水路内気圧、 ω と ω_a はそれぞれ水と空気の単位体積重量、 a は給気孔断面積、 k は（等圧比熱）／（等積比熱）である。

3. 実験装置と実験の種類

実験 (1)

実験装置の略図と図-2に示す。

水路：プラスチック製、水路巾（B）10cm, 8.2cm, 7.1cmの正方形断面のもの3種類、いずれも水平部長さ15cm、傾斜部長さ180cm、勾配45°。

給気孔：直径0.39cmの穴を10個程孔けて、その穴を塞ぐことにより給気孔断面積を変化させた。（給気孔1個の断面積 $a_1 = 0.12 \text{ cm}^2$ ）

減圧測定：内径0.5cmのガラス管内を減圧により上昇する水頭 Δh と測定した。

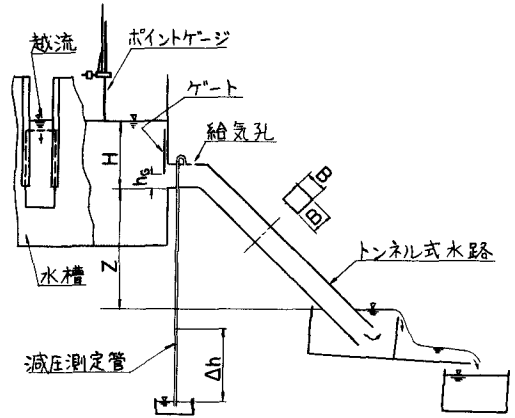


図-2 実験装置の略図

実験の種類：下表に示す全ての組合せについて実験した。

水路長(傾斜部長さ)(cm)	180
水路巾 B (cm)	10, 8.2, 7.1
上流水深 H (cm)	20, 25, 30, 35
ゲートの開き比	0.2, 0.4, 0.6
給気孔の数 n (個)	0, 1, 2, ---

水路長(傾斜部長さ)(cm)	180, 150, 120
水路巾 B (cm)	8.2
上流水深 H (cm)	25
ゲートの開き比	0.2, 0.5, 0.8, 1.0
給気孔の数 n (個)	0, 1, 2, ---

実験 (2)

水路：既設高圧水槽のオーバーフローパイプの流入口に一边8.2cmの正方形断面水路（長さ15cm）を水平に取りつけた。このパイプは、内径3インチ、落差約12mであるが、途中に約2mの水平部分が2箇所あるため、後述するように実験(1)の結果とは多少異なる結果を生じた。

給気孔：直径0.24cm, 0.39cm, 1.0cmの穴をそれぞれ5個孔けた。断面変化の方法は実験(1)と同様。

減圧測定：水銀マノメーターを使用、この実験での減圧水頭は0.3~9.7m。

この実験の組合せは下表の通り。

上流水深 H (cm)	30 ~ 40	ゲートの開き比	0.18 0.24 0.40
流入口水路巾 B (cm)	8.2	給気孔断面積 (cm ²)	0 ~ 4.7

4. 実験結果

一先づ実験結果を比較的簡単に総合的に表現する関係について検討してみよう。従来の研究の一例として、

F.B. Cambel の提案したフルード数を用いた関係式

$$G/Q = 0.04 (Fr - 1)^{0.85}$$

Fr: ゲート開度80%のときのゲート直下流のフルード数

があるが、図-3からわかるように、実験値との間に相当異なった傾向が認められ、満足する関係は得られなかった。（ただし、実験値のGは理論空気量である。）

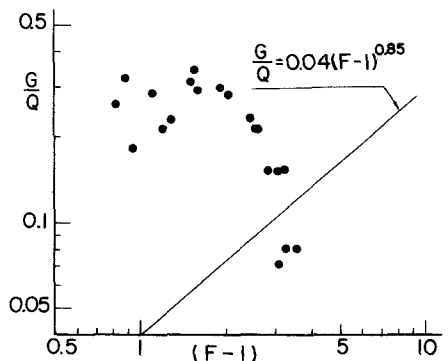


図-3 G/Q と $(F-1)$ の関係

そこで、いろいろな要素間の組合せについて検討した結果、最終的には現象を簡単に表現する関係として図-4に示すものが適当と考えられる。この図から、 $\Delta h/\Delta h_0$ がほぼ0.05を境として現象の性格が変化していることがわかる。すなわち、 $\Delta h/\Delta h_0$ が0.05程度以上では、トンネル内流況は空気が泡の状態で水流に混入し、それが下流まで満流となって流れている場合である。ところが給気孔を増加していくと、逐には空気を一部混入した水流と空気とは別個に流下するようになる。つまり、水流によって空気を下流に運搬する強制力が急激に減少するわけであるが、その状態では $\Delta h/\Delta h_0$ はほぼ0.05以下となっている。これらの関係を実験式としてあらわすと、近似的に

$$1 - \frac{\Delta h}{\Delta h_0} = 82 \frac{a}{B h_g} \quad (\Delta h/\Delta h_0 > 0.05) \quad \text{--- (5)}$$

$$0.07 - \frac{\Delta h}{\Delta h_0} = 1.75 \frac{a}{B h_g} \quad (\Delta h/\Delta h_0 < 0.05) \quad \text{--- (6)}$$

のようになる。

以上は、実験(1)の場合であって、 Δh が比較的小さく、勾配一定の場合について実験した結果である。

次に、実験(2)の結果を示したものが図-5である。このような実験(1)と(2)との差異は、空気の流入速度が大となると流入損失も大となり、それだけ給気孔断面積を大きくする必要のあること、又、水路の勾配がゆるやかである程、満流状態から空気と水とが別個に流下する状態になりにくい(Δh が減少しにくい。)ことを示していると思われる。

一般に、洪水吐としては実験(1)と(2)の間のものが大部分であるから、空気の流入損失の影響と空気と水の共存流の遷移点とが求められれば、図-5

によって必要な給気孔断面積(h_g と Δh_0 は(2)、(3)式から求められる)の大体の値を求めることが出来るが、前述の遷移点の厳密な値は、今後の研究課題として残されている。

5. 結語

従来この方面の研究は、水の流速が減圧に無関係に定まるとき、つまり標高差乙か0に近い場合の状態を取り扱っているように思われる。この研究は、流速は減圧に關係し、減圧は乙に多大の影響を受けるという実際の流況にもとずいて考察し、整理したわけであって、実験(1)の場合を基準として、これに標高差ひいては空気流入速度と水路勾配の影響を加味すれば、実験的には一応給気孔決定の指針が得られるものと思う。

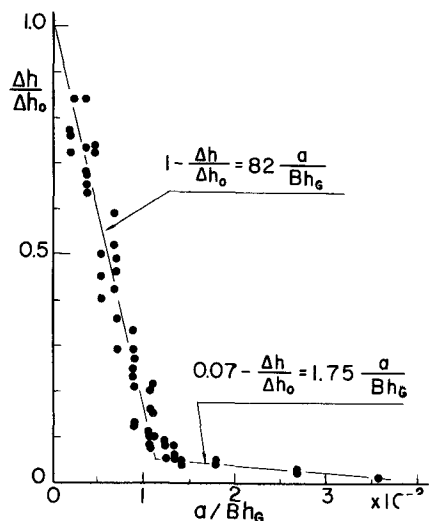


図-4. $\Delta h/\Delta h_0$ と a/Bh_g の関係。

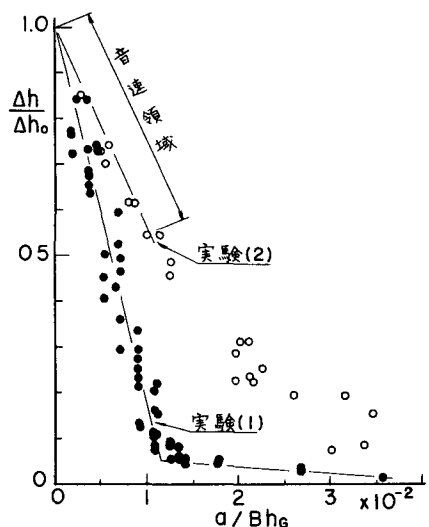


図-5. $\Delta h/\Delta h_0$ と a/Bh_g の關係に空気の流入損失と水路勾配の与える影響。