

II - 277

接線式渦流立坑の水理模型実験

建設省土木研究所 正会員 木内 豪
 " 正会員 栗城 稔
 群馬県 正会員 池田 幸徳
 建設省土木研究所 正会員 田中 義人

1. はじめに

地上から大深度地下の河川・調節池へ洪水を導くために各種の取水立坑が考案され、実用化しているが、その一つに接線式渦流立坑がある。この形式は、比較的小断面で大流量を流下させられることから最近国内における実構造物への適用例がいくつかみられる。接線式渦流立坑の水理特性についてはIOWA大学における研究成果を参考にすることができるが、単一の立坑導水路形状に関する実験とそれに基づく解析のため、その適用性について確認が必要である。そのようなことから、複数の導水路形状に対して水理模型実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 模型実験の概要

実験には、図1に示す実験装置（アクリル模型、付帯構造物、電磁流量計、ピエゾメータ等）を用いた。立坑のアクリル模型は、導水路、立坑部、減勢池、管体から成る（以下、導水路のうち底面勾配のある部分を漸縮部と呼ぶ）。導水路の形状に関して、10通りの漸縮幅・勾配等の組み合わせに対して実験を行った（図2、表1）。流れの状態としては、管体内が開水路流れの場合と導水路と立坑部の間でいわゆる潜り越流状態になる場合を設定し、それぞれの場合について流量を数通り変えて水深等の計測を行った。

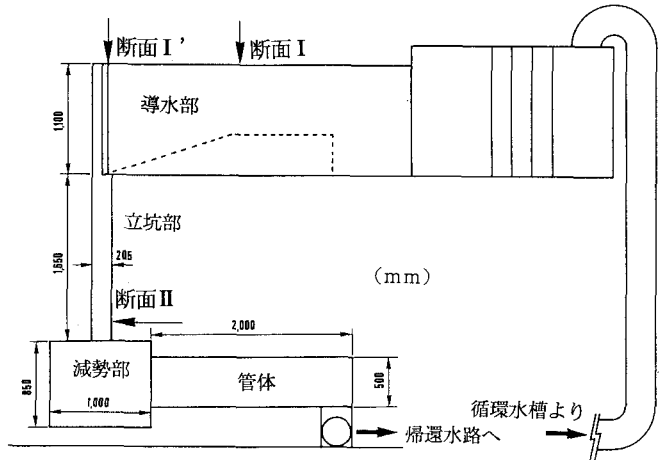


図1 実験施設諸元

3. 実験結果

3.1 導水路部の水理特性（開水路流れの状態）

実施設において、導水路の水深は上流越流部における越流状態を左右することから設計に際しての重要な要素である。開水路流れ状態での導水路の水深と流量の関係については既にJain(1982)¹⁾によって整理がなされており、エネルギー保存則から次のような理論式を提示している。

$$y^* + \frac{1}{2y^{*2}} = E^* \quad (E^* > 3/2) \quad \cdots (1a)$$

$$y^* = 1 \quad (E^* \leq 3/2) \quad \cdots (1b)$$

ここに、 $y^* = y/y_c$ 、 $E^* = 3/2(B \cos \beta / e)^{2/3} - z^*$ 、 $z^* = z/y_c$ 、 $y_c = ((Q/B)^2 / g)^{1/3}$ 、 Q : 流量、 y : 導水路水深（図2）である。今回の実験結果を上式に当てはめたところ、漸縮部の勾配 β の値に

表1 導水路形状の諸元

e	L	Z
4.1	61.5	41.0
4.1	82.0	41.0
4.1	123.0	41.0
5.1	61.5	41.0
5.1	82.0	41.0
5.1	123.0	41.0
5.1	123.0	61.5
7.2	61.5	41.0
7.2	82.0	41.0
7.2	123.0	41.0

D=20.5 (単位: cm)

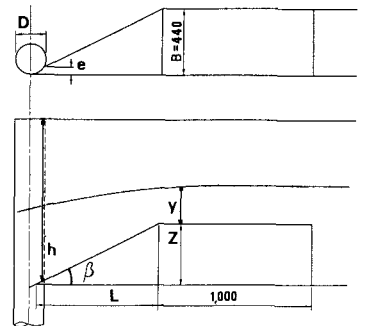


図2 導水路の形状

よって適合性が悪くなることがわかった。そこで、比較的流量が多く漸縮部下流で限界水深となる場合には底面勾配が急でも水面勾配が緩いことから、断面Ⅰ'（図1）における全水頭及び平均流速を次のように定義した。

$$\text{全水頭 } E = v^2/2g + h + z_0, \quad v = \lambda \frac{Q}{e h \cos \beta}, \quad h: \text{漸縮部下端水深}$$

これより限界水深を求めて上流水深 y との関係を定めれば、導水路形状、漸縮部上端の水深と流量の関係は前述の式1と同じで、この場合は無次元比エネルギー $E^* = 3/2 \lambda' (B/e \cos \beta)^{2/3} - z^*$ となる。ここで、 λ は流速の補正係数である（ $\lambda' = \lambda^{1/3}$ ）。実験結果を新たに定義した E^* と y^* の関係で y^* 表すと図3のようになる。図3には、Jain and Kennedyの実験結果²⁾及び大津放水路の実験結果³⁾を合わせて表示した。図3における λ' の値は0.92であり、式1と実験結果が良く合致している。

3.2 圧力流れ時の水理特性

接線式渦流立坑を圧力流れ（地下河川吐出口と立坑部の水位差による流れ）状態に適用するにあたって、取水立坑全体としてのエネルギー損失量を把握する必要がある。なぜならば、実施設においてエネルギー損失が大きいと所定の流量において導水路水位が高くなり越流量に影響を及ぼすからである。逆に、越流量に影響を及ぼさない水位まで導水路の水位を下げるために排水先の水位をその分下げる必要が生じてくる。したがって、取水立坑全体でのエネルギー損失は少ない方が望ましい。

実験では、管体下流に据え付けられたバルブの開度を調節することにより導水路に水位がある状態を保ち、計測を行った。立坑部では激しい渦流が立坑部下端まで到達していた。実験結果より、導水路上流（断面Ⅰ）での全水頭と立坑部下端（断面Ⅱ）における全水頭（ピエゾメータの読みと立坑中心軸方向の平均流速から求めた速度水頭の和）の差は、漸縮部下端において定義した速度水頭 $v^2/2g$ と比例関係にあることがわかった（図4）。

4. おわりに

接線式渦流立坑の導水路水深の推定式により、従来用いられていた式よりも安全側で導水路の水深を決定できる。また、圧力流れ時のエネルギー損失と漸縮部の速度水頭の関係から導水路水深が求められる。

謝 辞：実験に際して（財）土木研究センターの協力を得たので、ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) Jain, S.C., Tangential Vortex-Inlet, J. Hyd. Div., ASCE., vol. 110, No. 12, 1983.

2) Jain, S.C., and Kennedy, J.F., Vortex-Flow Drop Structures for the Milwaukee Metropolitan Sewerage District Inline Storage System, IHR Report, No. 264, The University of Iowa, 1983.

3) 滋賀県大津土木事務所、大津放水路単独河川改良業務報告書、平成4年3月。

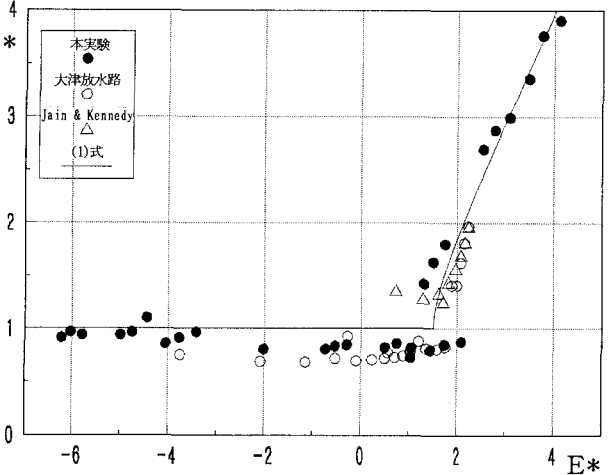


図3 実験結果（漸縮部上流水深と比エネルギー）

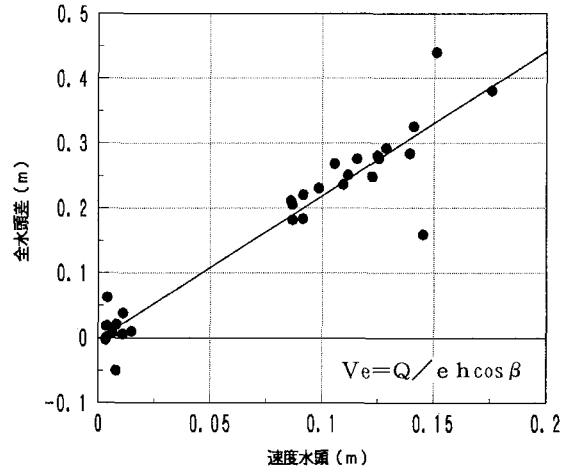


図4 実験結果（全縮部下端速度水頭と全水頭差）