

II-370

地下河川の立坑形状と混入空気量に関する一考察

京都大学工学部 学生員○府川 新
 京都大学防災研究所 正 員 戸田圭一
 京都大学防災研究所 正 員 井上和也

1. はじめに: 近年, 大都市部で地下空間を有効利用することを念頭に置いた地下河川計画が進められているが, 地下河川のトンネル部に空気が混入することは, 1. トンネル部の疎通能力を低下させる, 2. 下流端にポンプが設置されている場合は, ポンプの効率を低下させる, 3. 地下河川内でエアだまりが形成され, 圧縮されて調節池や立坑から吹き出す恐れがある, との理由より施設運用上好ましくない. よって可能な限り混入空気を抑止できる立坑形状を考えることが重要である. これまでにも混入空気の軽減を目指した案が提案され, その効果が実験的に確認されてはいるが, 各々の成果は個別の施設を対象としたものであり, 他の実験結果と比較しての議論はなされていない. また, 基礎的な検討の意味あいで, 立坑の混入空気と水理量の関係も系統的に調べられていないのが現状である. よってここでは, これまで行われた調査, 実験結果を基に, 渦流式立坑を基本形としたものを対象にして, 立坑形状, 水理量と混入空気濃度 (混入空気量/立坑流入流量) との関係を検討するとともに, 工夫された形状の効果についても考察を加えることとする.

2. 解析に用いた資料: 参考文献(1)~(5)に示す5つの調査結果を解析の対象とした. これらは

渦流式立坑を基本としたものであり, 標準的なもの, らせん案内板式のもの, 狭窄部付きのものの3種類が含まれている (図1参照). 混入空気濃度の計測法に関しては, いずれの資料もその計り方はほぼ同様であり, 減勢池の下流部で流下した混入空気を体積が既知のポリエチレン袋に集め, 袋が一杯になるまでの時間を求める方法をとっている. 減勢池の容積については, 立坑が地下河川に直接連結され明確に減勢池が存在しないものも含まれていたもので, それらについては図2に示したような範囲として定義し, その値を用いることとした.

3. 水理解析結果: まず, 混入空気濃度に関係が深いと考えられる流量, 落差, 及び減勢池の容積について, 混入空気濃度と各々との関係を調べたところ, 全体的に混入空気濃度は概ね, 落差の増加に伴い増大し, 減勢池容積の増加に対して減少するが, 流量との間では明瞭な関係が得られなかった. 次に, 次元解析の手法を用いて混入空気濃度について整理した. 混入空気濃度 C に関する諸量を書き出し, 数式で表現すると以下の通りである.

$$f(C, g, V, H, Q) = 0 \quad (1)$$

ここに, C :混入空気濃度, g :重力加速度, V :減勢池容積, H :落差, Q :流量である.

次元解析より混入空気濃度 C は, 無次元パラメータを用いて,

$$C = F_1(V/H^3, V/(\sqrt[5]{Q^2/g})^3) = F_2(V/H^3, H/(\sqrt[5]{Q^2/g})) = F_3(V/(\sqrt[5]{Q^2/g})^3, H/(\sqrt[5]{Q^2/g})) \quad (2)$$

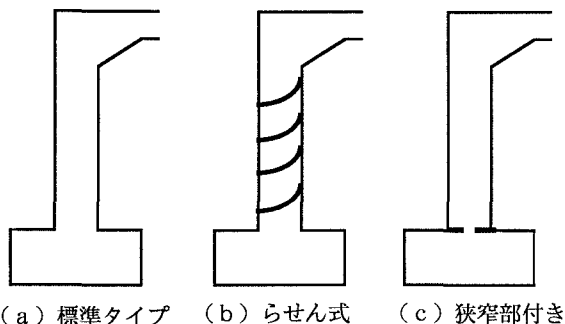


図1 渦流式立坑の種類

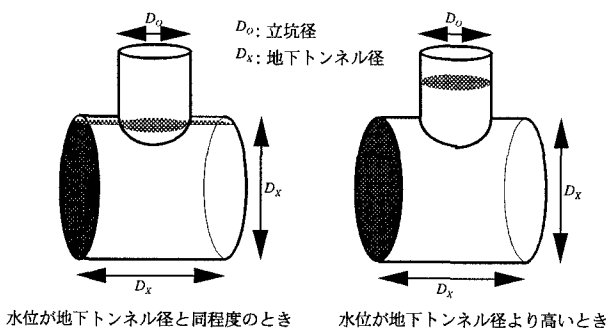


図2 減勢池容積の算定法

と表すことができる。そこで、 $C \sim V/H^3$ 、 $C \sim V/(\sqrt[3]{Q^2/g})^3$ 、 $C \sim H/\sqrt[3]{Q^2/g}$ の3種類の関係の図を描き、 C と無次元パラメーターとの関係を調べてみたところ、空気濃度と流量を含むパラメーターとの間では、狭窄部付きのものを除いて明瞭な関係が見出しづらかったことから、混入空気濃度を3種類の中で最も相関が大きいと考えられる V/H^3 の関数として表すことにした。すなわち

$$C = F(V/H^3) \quad (3)$$

の形で表現することとした。 C と V/H^3 の関係を両対数でプロットしたものが図3である。これより、渦流式とらせん式とで明確な差異が現れており、らせん式の方が空気混入の軽減効果があることが確認される。そして標準的な渦流式に関しては、 C は V/H^3 の-1.1乗に、らせん式は1種類のデータ（図中の◆）を除いて C は V/H^3 の-1.9乗に比例することがわかる。なお左にずれているデータは、減勢池の体積として評価できる部分が他のものと比較して著しく小さいためである。なお、関数 F の式形を $C = a(V/H^3)^b$ (a, b :定数) において、近似式を求めてみると、それらは渦流式とらせん式で分離され、それぞれ、

$$C = 5.9 \times 10^{-2} \left(\frac{V}{H^3} \right)^{-1.1} \quad (\%) (\text{渦流式}) \quad (4)$$

$$C = 2.9 \times 10^{-4} \left(\frac{V}{H^3} \right)^{-1.9} \quad (\%) (\text{らせん式}) \quad (5)$$

となる。なお上記の近似式を求めるにあたって◆の実験データは対象から外している。実験値と近似式との整合度を調べたものが、図4である。図より、らせん式に対する式(5)は、実験値を比較的良く近似しているが、渦流式に対する式(4)は、ばらつきが見られる。

4. おわりに: 流量が混入空気濃度に与える影響は定かではないが、巨視的に見て混入空気濃度は落差と減勢池の容積からなるパラメータ V/H^3 の関数として表現できることがわかった。また、研究者が異なる実験結果を統合してみても、標準的な渦流式立坑に比べてらせん案内板式立坑は、明らかに混入空気濃度を軽減する効果があることが確認できた。なお、狭窄部を有する立坑については、文献(4)にあるように流量に対して減勢池を十分確保することによりその効果が発揮されることが考えられる。今後の課題としては、実験データの集積を増やして、信頼度を上げることとともに、空気混入のメカニズムに立脚した理論的な解析も必要となろう。

なお、本研究を実施するにあたり河川環境管理財団の補助を受けた。関係各位に謝意を表します。

5. 参考文献: (1) 永井秀樹, 玉井信行, 徐海州:案内板付高落差立坑の水理実験, 第50回土木学会年次学術講演会概要集, 2-A, 1995. (2)(財)国土開発技術研究センター:地下河川流入施設基礎検討業務報告書, 1993. (3) Kennedy, J.F., Jain, S.C. and Quinones, R.R.: Helicoidal-Ramp Dropshaft, J. Hydr. Eng. SCE 114(3), 1988. (4) 戸田圭一, 井上和也, 今本博健, 江尻哲雄:狭窄部を有する渦流式立坑の水理特性について, 水工学論文集 第40巻, 1996. (5) 大阪府土木部都市河川課他:寝屋川北部地下放水路取水減勢施設水理模型実験総括報告書, 1993.

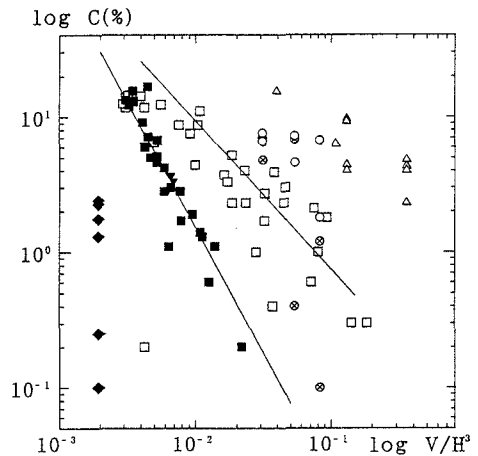


図3 $\log C$ と $\log V/H^3$ の関係

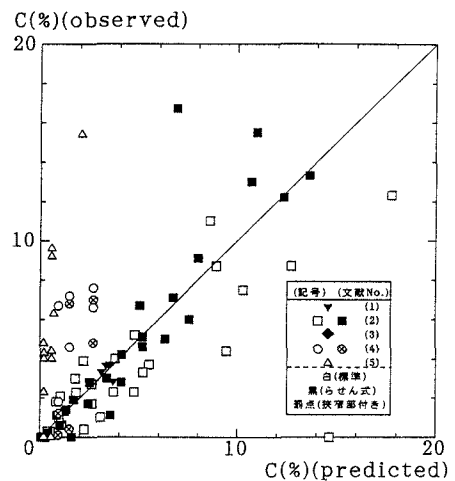


図4 実験値と近似式の整合度