

ニュー・ジェック 正員○戸田 圭一

同 正員 陳 活雄

1. はじめに：接線型の呑み口を有する渦流式減勢立坑は、図-1に示すように、円形断面のシャフトの呑み口部で強制的に渦を発生させ、遠心力を効かせて壁面沿いの流れを生じさせ、壁面の摩擦によりエネルギーを減勢させようとするものである。また、一旦立坑内に取り込まれた空気を、シャフト中心を軸とした空気柱（エアコア）を経て、呑み口部から逸脱させる機能も兼ね備えている。この減勢立坑は、大深度の地下河川や地下放水路への落とし込み分水路の一タイプとして、最近、我が国でも注目を浴びてきている。

前報¹⁾において、渦流式立坑内の流れは、Jain²⁾の解析解によって適切に表現されることを、解析解と実験値の比較により確認した。ここでは、Jainの解析解を基にして、減勢効果の支配因子である鉛直方向の運動量が、落差と流量の変化によっていかなる特性を示すかを調べるとともに、渦流式立坑の適用性に関して若干の考察を行った。

2. Jainの解析解：Jainは減勢立坑内の渦流流れをモデル化し、解析解を導いている。彼は①流れは軸対象である、②接線方向の流速分布は $v_r = \Omega r$ で与えられる（ v ：接線方向の流速、 r ：半径、 Ω ：循環）、③軸方向の流速は断面にわたって一様である、④流速の半径方向の成分は0である、との仮定のもとに、現象を以下に示す3式でモデル化した（図-2参照）。

$$\text{連続式} \quad Q = AV \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{鉛直方向運動量方程式} \quad \frac{d}{dz} \left(QV + \frac{P}{\rho} \right) = gA - \frac{\pi D \tau_v}{\rho} \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{角運動量方程式} \quad \frac{d}{dz} (Q\Omega) = - \frac{2\pi D \tau_t}{\rho} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 Q ：流量、 A ：流水断面積、 V ：鉛直方向の平均流速、 z ：軸方向距離、 P ：圧力、 ρ ：流水の密度、 g ：重力加速度、 D ：立坑の直径、 τ_v 、 τ_t ：剪断応力の鉛直成分、水平成分である。Jainは、摩擦力をDarcy-Weisbachの式形で評価し、(2)式の圧力項が運動量フラックスの項より十分小さいと仮定し、(1)(2)(3)式を無次元化した後、解析解を得ている。

解析解の詳細は前報に記載したとおりである。

3. 鉛直方向の運動量の特性：図-3は、落差と流量を変化させた際の鉛直方向の運動量を、Jainの解析解を用いて等鉛直運動量曲線の形で整理したものである。流量と立坑径の関係は、Jainら³⁾が実験から得た、

$$D / (Q^2 / g)^{1/5} = 1.16 \quad \dots\dots(4)$$

を用いている。呑み口部の形状は、Jainら³⁾が同じく実験を通して求めた最適形状（ $e/D=0.25$ 、 $\beta=27.5^\circ$ 、 e ：絞り込みの幅、 β ：勾配角）を採用している。また、Darcy-Weisbachの摩擦損失係数 λ は、 $\lambda=0.02$ を用いている。

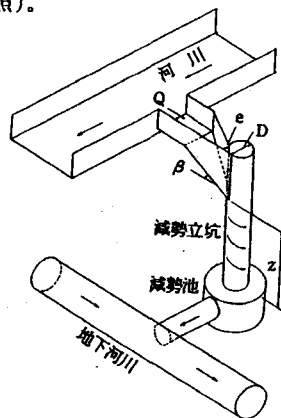


図-1 ドロップシャフト概念図

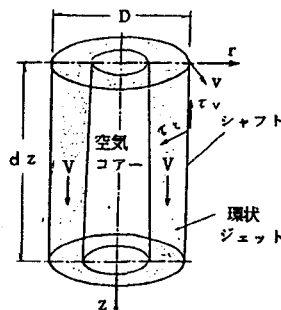


図-2 コントロールボリューム概念図

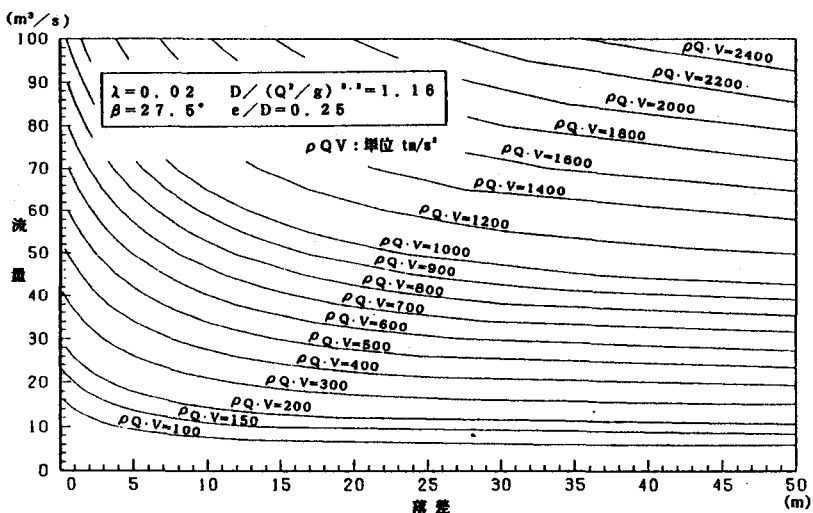


図-3 等鉛直運動量曲線

図より、等鉛直運動量曲線は、緩やかな右下がりの様相を呈しており、特に、落差が25mを越えると、同一流量に対し、落差が増大しても鉛直運動量はほとんど変化しなくなる。一方、同一落差においては、流量の変化に対して鉛直運動量は敏感に変わる。

上述した特性より、渦流式減勢立坑は、高落差を処理する上で優れた立坑形状であることが認められる。高落差の際でも、流水が壁面沿いを流れ、壁面の摩擦力を受けることにより、鉛直方向の速度成分が重力により加速されるのを防ぐことができるからである。一方、流量の変化に対しては、流量の増減に相当するだけの鉛直運動量の変化が現われるので、大流量に対して一定の減勢効果を確認するためには、立坑の下方に、流量に見合った容量の減勢池を設ける必要があると考えられる。またこのことは、幾つかの設計・施工検討実績⁴⁾とも合致している。

4. おわりに：Jainの解析解を基にした解析により、鉛直方向の運動量に着目して渦流式立坑の減勢効果を検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- ①渦流式立坑は、その水理的特性において、高落差の処理に効果を発揮する。
- ②流量が大きくなるにつれて、立坑に連なる減勢池も減勢効果の重要な一要因となる。

今後は水理実験等を通して、渦流式立坑の減勢池（適切な形状や規模）について検討していきたい。また、地下河川が管路流の際には、減勢立坑からの空気混入の問題も重要となっており、混入空気量を軽減させる立坑形状の検討もあわせて進めたいと考えている。最後に、本研究を進めるにあたって協力を惜しまれなかった（株）日本工業試験所の樋口克己氏、並びに（株）ニュージェック水理実験所の諸氏に謝意を表します。

5. 参考文献：

- (1)戸田,陳,樋口,「渦流式減勢立坑の減勢効果に関する一考察」,平成4年度関西支部概要集,1993.
- (2)Jain,S.C.,“Free-surface swirling flows in vertical dropshaft”,J.Hydr.Eng.ASCE113(10) 1987.(3)Jain,S.C.,and Kennedy,J.F.,“Vortex flow dropstructures for the Milwaukee Metropolitan Sewerage District inline storage system”,IIHR Rep.No.264,U.of Iowa,1983.
- (4)例えば、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.