

(II-80) 負圧を利用した海水循環促進工法に関する基礎的実験

運輸省港湾技術研究所海洋環境部 正会員 古川恵太*

運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所環境課長 非会員 花田邦幸**

運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所環境課 非会員 伊藤弘樹**

1. はじめに

海域における水質改善工法の1つとして、停滞している海水を強制的に循環させる方法がある。鉛直循環を促進するためには、空気をコンプレッサーで導入したり、海水を直接ポンプでジェット状に噴出する方法、湧昇流堤を利用する方法等があり、水平循環を促進するためには、波力を利用する海水導流堤やポンプによる造流、潜堤を用いる方法等が検討されている。

海水の循環を促進させることは、直接的な海水浄化工法として高い効果が期待できる。しかし、効果を持続させ、かつ周囲への2次的な影響を最小限に留めるためには、維持・管理が容易であることやクリーンなエネルギーを利用すること、必要以上の循環を起こさないこと等が工法の選択の条件となる。

本研究では、潮汐などによる流れのエネルギーを利用した鉛直循環促進工法の開発を目指して、「負圧型導水管」の導水機構の把握と現実問題への適用可能性の検討を目的として基礎的な実験を行った。

2. 負圧型導水管の原理と実験の方法

導水管を用いて揚水するための外力として端部に負圧を発生させる必要がある。その機構として次の2つを想定した。ひとつ目は、大域的な圧力低下を利用する方法である。図-1.(a)のように、一様水深の流れ場にマウンドを設置した場合、マウンド上では水面が静水面より低下する。このため、一様水深部とマウンド上（潜堤の場所）をつなぐ様に導水管を設置した場合、マウンド上において負圧が生じる。ふたつ目は、局所的な圧力低下を利用する方法である。図-1.(b)のように、一様流中に導水管を設置すると、管上端部に剥離渦が発生し、運動エネルギーの消散により圧力が低下し、同じく導水管端部で負圧を生じる。

これら2つの機構の効果を検討するため水理模型実験を実施した。実験水槽は、長さ 50m × 高さ 1.2m × 幅 0.6m の循環流発生装置付きの二次元長水路であり、マウンドの模型縮尺を 1/40、剥離渦の模型縮尺を 1/30 とした。接近流速はフルード則に基づき現地換算で 5cm/s ~ 25cm/s の 5 ケースとした。

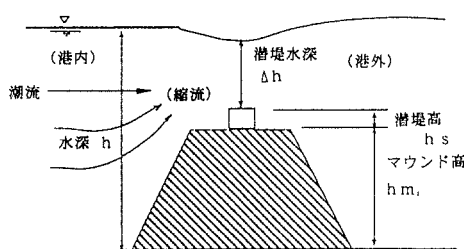


図-1.(a) マウンドに起因する負圧

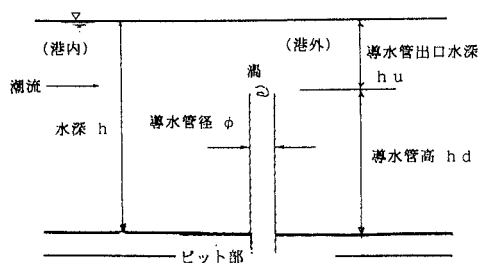


図-1.(b) 剥離渦に起因する負圧

マウンドの実験では、水路内にマウンドを設置し、導水管を取り付けるための潜堤をつけた場合と潜堤をつけない場合の水面形と底面圧力の測定をした。一方、剥離渦の実験では、管径 1.5 m、3.0 m、4.5 m（現地換算）の3種類の導水管を流れに対して直角に設置し、流速計と圧力計により、導水管上部の乱れと管内流速及び管内圧力を計測した。なお、導水管底面での流れによる影響を除くため、水路底面に設けた深さ 25 cm のビットを利用して、導水管底面での流速がゼロの条件と設定した。

キーワード：海水交換、潮流、負圧力、導水管、渦、水理模型実験

* 連絡先：〒239-0826 横浜市長瀬3-1-1

** 連絡先：〒231-0003 横浜市中区北仲通5-57 横浜第二合同庁舎13F

3. 主な実験結果と考察

(1) マウンド実験

潜堤がない場合、マウンド上の水位低下量は現地換算で約1cm 程であったが、潜堤を設置した場合では、逆に潜堤上で約5cm 程度の水位上昇が起こり、導水管による揚水の可能性が否定された。これは潜堤による流れの攪乱が原因ではないかと考えられた。

(2) 剥離渦実験

導水管端部では、写真-1 及び図-2 に示すとおり、一様流の接近により剥離渦が生じていることが観察された。この剥離渦は、直径約1.5m 程であり、境界層に沿って流下することが判った。なお、渦と渦の間隔は約1.5m ～2.5m 程度であり、渦の幅は管径よりやや大きい馬蹄状であった。この渦による局所的な負圧の発生と揚水が期待できることが判った。

図-3 は、剥離渦の規模を推定するために行った流速測定による境界層の層厚測定結果である。導水管径 4.5m、接近流速15m/s の条件における導水管中心線上での水平(x)、鉛直(z)方向及び合成流速の実験値と N-S 方程式を差分化した数値シミュレーションによる計算値の各測点における流速分布を比較した。なお、実験値は 30 秒間の平均値であり、太実線は合成流速を示し、点線が計算値を示す。その結果、実験値の流速は、管直上から 90cm まではほぼゼロであり死水域であるが、これに対して計算値は対数分布を示し、まだ境界層の発達前であることが判る。管頂部から 1.5m 以上の場所では、実験値と計算値は良く一致しており、概ね 90cm から 2.4m の高さで境界層が発達することが判った。

揚水量を推定するために、導水管径の変化による導水流量を比較した結果が図-4 である。潮流の接近流速が 5cm/sec では、管内流量はゼロであり導水の効果はないが、接近流速が増大するにつれ、ほぼ線形的に増加の傾向を示すとともに、管径が大きくなるにつれ流量も増大することが判った。これは、管径が大きくなると共に剥離渦も大きくなっていることに対応していると考えられる。

以上より、負圧型導水管による導水機構として、主に導水管上部の流れが剥離現象により渦を発生させ乱流状態となることで、導水管上部の圧力が低下し、導水管下部から上部へ向かう流れが発生するものと考えられた。

4. おわりに

本研究では潮流による接近流速を利用した「負圧型導水管」の導水機構を把握することから現実への適用可能性があることが実験より確認することができた。現在は、現実への適用にむけて模型縮尺効果の検討や、導水管の形と渦の発生・発達機構との関係の検討等、引き続き検討を鋭意進めているところである。

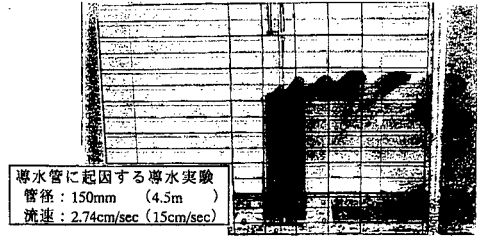


写真-1 導水実験 (管径 4.5m、流速 15cm/sec)

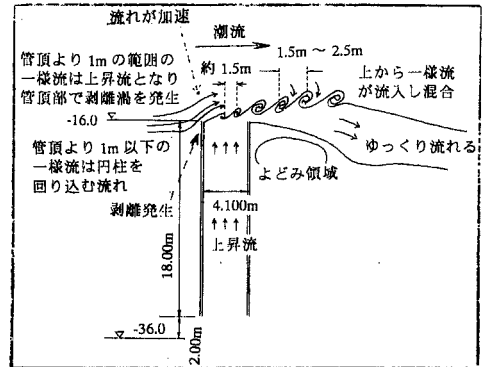


図-2 目視観測 (管径 4.5m、流速 15cm/sec)

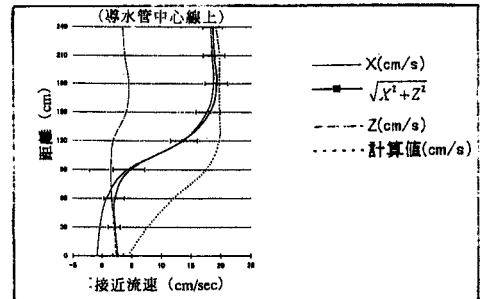


図-3 数値計算と実験流速の比較

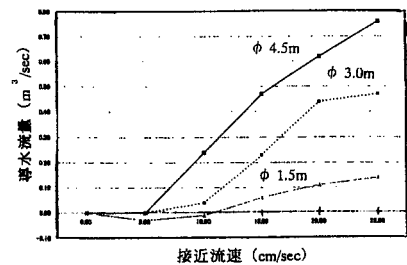


図-4 導水管内流量 (現地換算値)