

離散渦法による円柱まわりの流れ

○福井高専 正員 前島 正彦
大同工大 正員 久保田 稔
大同工大大学院 学生員 豊田 敏文

1. はじめに

パイプラインの安定性に関する研究は、海から流体を輸送するために、あるいは、パイプ状の保護物で海底ケーブルを安定させるために必要と成り、1980年代になってから特に精力的に行われている。

これまで、堅い海底盤上でのパイプラインの初期運動に対する横方向安定条件は提案されているが、軟らかい海底上のパイプラインの安定条件はまだ提案されていない。つまり、軟らかい海底上のパイプラインの安定設計に際しては、パイプライン周辺に発生する洗掘現象や土砂輸送現象を解明する必要がある。そこで、ここでは、パイプ周辺に発生した渦が路床にどのような影響を与えるかを、離散渦法によって数値計算し、パイプ周辺に発生した渦による洗掘現象への影響および渦によって励起されるパイプの振動と洗掘現象の関係を明らかにすることを目的としている。

2. 路床と円柱を境界として持ち離散渦点のある流れのポテンシャル

2次元流れの単一渦による複素ポテンシャル Φv は、任意の点を Z 、渦点を W_m とすると、

$$\Phi v = -i K \ln (Z - W_m) \quad (1)$$

ただし、 i は虚数単位、 K は渦の強さである。このポテンシャルは、路床の境界条件も、円柱表面の境界条件も満足しない。円柱表面の境界条件を満足する渦ポテンシャルとしては、

$$\Phi v_m = -i K (\ln (Z - W_m) - \ln (Z - \bar{W}_m a)) \quad (2)$$

ただし、円周上の点を r とすると $W_m a$ は、 $W_m \bar{W}_m a = r \bar{r}$ の関係を満足する円柱内部の点である。

路床を有する流れに対するポテンシャルとしては、von Müllerのdipoleポテンシャルがある。このdipoleポテンシャルを二つ組み合わせて、次式のようにすると円柱周りの境界条件を満足することをHansen等が示している。

$$\Phi d_m = M (1 / (Z - Z_m) - E_m / (Z - Z_m a)) \quad (3)$$

$$Z_m \bar{Z}_m a = r \bar{r}, E_m = -Z_m / \bar{Z}_m \quad (4)$$

ただし、 Z_m は路床内部の点、係数 M はdipoleの強さである。

路床上の一樣流の中に円柱が存在し、円柱から剥離した離散渦がある場合のポテンシャルとして次の式が考えられる。

$$\Phi = U_{\infty} (Z + r \bar{r} / Z) + \sum \Phi v_m + \sum \Phi d_m \quad (5)$$

ただし、記号 U_{∞} は、無限遠での実軸方向に流れる一樣流の速度、総和記号は、渦点についてはその数だけ、dipoleについては路床の境界条件を選点法的に満足し、流れの状態を乱さないだけの適当な数だけ総

和を取る事を意味する。(5)式のポテンシャルはすべて円柱上の境界条件を満足するので、満足しなければならない路床上の条件は、路床上の選点Hmで、(5)式のポテンシャル Φ の虚部が一定値を取ることである。円柱のある程度以上の上流部が水平であれば、その部分では(5)式第1項の一樣流ポテンシャルだけで十分であると前述のHansen等は述べている。

3. 離散渦解析

(5)式のポテンシャルから渦点の速度が求まり、渦点の数だけの連立常微分方程式となるが、これをEuler法で数値積分する。この積分の時間間隔、渦点の発生位置、大きさ、発生時間間隔については、単独円柱について成された過去の解析例にならう。

渦は、円柱の上下の剥離点から発生するが、その位置は厳密に定めなくても、剥離点近傍の適当な位置から発生させれば流れによって剥離点に移動するという報告があるので、発生点として円柱の真上と真下で、Sarpkaya等にならい半径の1%だけ円柱から離れた点とした。渦の大きさはK、剥離せん断層外側速度をUsとすると、 $K = \frac{1}{2} U_s^2 / 2\pi$ 、渦導入時間間隔 Δt は、円柱の半径をRとすれば、 $\Delta t = 0.0314 \sim 0.3 R / U_s$ 、積分時間間隔はそれと同じか、半分が使われている。ここでは、ともに $0.2 R / U_s$ を使用した。

粘性構造を考慮するために、渦速度Vが次の式で表されるよう(5)式の渦ポテンシャルを修正した。

$$V = K (1 - \exp(-r^2 / 4\nu t)) / r \quad (6)$$

ただし、rは渦中心からの距離、 ν は流体の動粘性係数である。実際の計算には $Re = 6000$ を使用した。速度ベクトルの計算結果の一例を示す。

参考文献

1. von Mülle, W.: Systeme von Doppelquellen in der ebenen Stromung. zeitschrift f. angew. Math. und Mech., 9. Heft 3, pp.200-213, 1929.
2. Hansen, E. A., Fredsøe, J. and Ye M.: Two-dimensional scour below pipelines. proc.5th Int. Symp. on Offshore Mech. and Arctic Engrg., ASME, Tokyo Japan, april 1968, pp.670-678
3. 高見頼郎、桑原邦郎: 物体と渦、日本機械学会誌、第83巻739号、昭和55年6月、pp.11-19
4. 日本機械学会編: 流れの数値シミュレーション、コロナ社、昭和64年

