

曳航自沈式アンカー（ジャイロアンカー）の沈降挙動に関する理論的考察

ゼニヤ海洋サービス株式会社 水環境室 正会員 ○西田秀紀
大友英明、佐藤明久

1. はじめに

ダム湖・池等の内水面における浮体構造物等を係留する際、最も一般的な水中アンカーは、重力式のコンクリートアンカーブロックである。この方法はアンカーブロック自体のコストは他の工法に比較して安価であるが、沈設作業にクレーン台船等の仮設機材を必要とするためトータルコストが割高となる。

このような背景の基、著者らはこれらの問題を解決するため「曳航自沈式アンカー」（以降、ジャイロアンカー）を開発し、模型実験により極めて高い沈設精度を有することを確認した¹⁾。

本稿では、この沈設精度について理論的検討を加えると共に、簡易モデルによるシミュレーション値と実験値との比較を行った結果、極めて高い再現性を確認したので報告する。



写真-1 ジャイロアンカー外観

2. ジャイロアンカーの構造と特長

ジャイロアンカーは、写真-1 及び図-1 に示すように、本体周りに旋回翼を備え内部には自力で浮くための空気室を備えている。ジャイロアンカーの特長は以下のとおりである。

- ①自力で浮くための空気室を具備させることにより小型作業船での曳航を可能とし、仮設機材を不要としたため、大幅なコスト縮減と工期短縮が図れる。
- ②沈設作業は、注水によりジャイロアンカー内部の空気室の空気を抜くことによって自沈させるため、沈設作業が容易である。
- ③さらに、ジャイロアンカーの沈降中は、旋回翼による回転力によって水抵抗を制御するため、極めて高い沈設精度を有する。

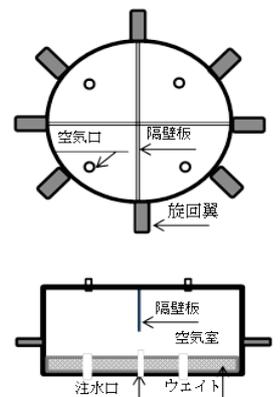


図-1 ジャイロアンカー構造

3. 沈降挙動の理論的検討

3. 1 ジャイロアンカーの考え方

直方体が傾斜して沈降する様子を図-2 に示す。ある速度で沈降する物体には上向きの抗力と傾斜した向きに揚力が作用する。流体の流れ方向に作用する力が抗力、それに直角する方向に作用する力が揚力と定義される。揚力は物体の沈降方向を水平方向に向ける作用を持っており、物体には大きな横移動距離が発生する。一方、ジャイロアンカーは周囲に配置された旋回翼による回転モーメントと傾斜に伴う揚力の作用により生じる公転によって、極めて高い沈設精度を有する。以下、ジャイロアンカーの自転および沈設精度の向上に寄与する機構について述べる。

3. 2 ジャイロアンカーの自転機構

水面に浮上しているジャイロアンカーは、注水を開始すると沈降を始める。初期段階での沈降速度は小さいが沈降しながらも内部への注水は継続されるため速度は加速される。ジャイロアンカーの周囲に配置された旋回翼には傾斜角が設定されており、図-3 に示すように抗力と揚力が作用する。図中に緑の矢印で示された揚力はジャイロアンカーに鉛直軸周りのモーメントを発生させる。このモーメントによりジャイロアンカーは自転を開始する。

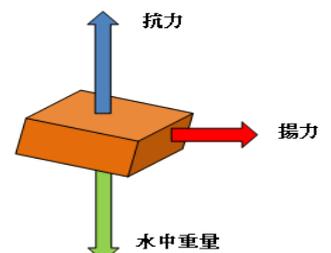


図-2 物体に作用する力

3. 3 ジャイロアンカーの沈設精度の向上機構

沈降するジャイロアンカーには、旋回翼による自転とジャイロアンカーの傾斜に応じた水平方向の揚力による横移動が発生する。しかしながら、ジャイロアンカーの場合、傾斜した方向、即ち揚力の作用する方向が自転に伴い変化する。その結果、ジャイロアンカーは自転の周期と同一の公転を生じ、その沈降軌跡は図-4 に示すようなスパイラル状となる。つまり、沈降するジャイロアンカーはスパイラル軌跡の中心軸回りの公転半径内を自転しながら着底するため、自転のない場合に比べて、その沈設精度は飛躍的に向上する。

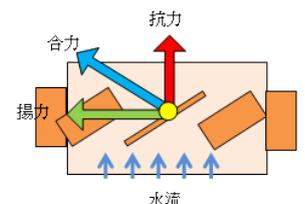


図-3 旋回翼に作用する流体力

キーワード：アンカー、挙動、理論解析、自沈式、低コスト、着底精度、短工期、再浮上

連絡先：ゼニヤ海洋サービス(株) 東京都中央区八重洲 2-7-12 TEL. 03-3510-2631 FAX. 03-3510-2632

4. 沈降挙動のモデル化

ジャイロアンカーが沈降中の流体力を利用して自転および公転することを前章までに示した。ここでは、沈降するジャイロアンカーの挙動のモデル化を行う。

ジャイロアンカー内部への注水によって経時的にアンカーの水中重量が増加する現象は、経過時間を T_s 、注水による単位時間当たりの質量変化を W_L 、初期質量を W_I とすると、アンカーの質量 W は 1) 式で与えられる。

$$W = W_I + W_L T_s \quad 1)$$

1) 式を用いて、ジャイロアンカーの上下方向の運動方程式は 2) 式で与えられ、さらにジャイロアンカーの傾斜による水平方向の移動速度 v は、沈降速度との比 C_1 を用いて 3) 式で与えられる。なお、 Z は 0 (ゼロ) である。

$$Z = (W + W_z)\dot{u} + 0.5\rho C_D S u^2 - Wg + B \quad 2)$$

ここに、 \dot{u} : 上下方向加速度、 u : 上下方向速度、 ρ : 水の密度、 C_D : 上下方向の抗力係数、 S : ジャイロアンカーの上下方向投影面積、 B : ジャイロアンカーの浮力、 W_z : 上下方向の付加質量である。

$$v = C_1 u \quad 3)$$

一方、ジャイロアンカーの回転モーメント M の運動方程式は、旋回翼によって発生するモーメント M_z (4 式) を用いて、5) 式で表現できる。

$$M_z = z F_H R \quad 4)$$

ここに、 Z : 翼の枚数、 F_H : 揚力、 R : 流体力の作用中心からアンカー中心の距離である。

$$M = (I_{zz} + J_{zz})\ddot{\phi} + D_{zz}\dot{\phi} + M_z \quad 5)$$

ここに、 $\ddot{\phi}$: 回転角加速度、 $\dot{\phi}$: 回転角速度、 I_{zz} : ジャイロアンカーの慣性モーメント、 J_{zz} : アンカー周囲の水による付加慣性モーメント、 D_{zz} : 回転方向の抵抗係数である。なお、 M は 0 (ゼロ) である。

5) 式から、単位時間 Δt 秒後の回転角 ϕ は $\dot{\phi}\Delta t$ である。ここに、傾斜を持ったジャイロアンカーが、ある時刻に角速度 $\dot{\phi}$ と水平方向の速度 v を持った場合を考える。ジャイロアンカーが回転角速度 $\dot{\phi}$ による自転運動を持ち、同時に水平方向の速度 v を持った場合は公転運動の角速度も $\dot{\phi}$ 同一であるので、公転運動の水平移動の X 成分および Y 成分は、6) 式および 7) 式で表される。

$$X = v T_s \cdot \sin \phi \quad 6)$$

$$Y = v T_s \cdot \cos \phi \quad 7)$$

5. シミュレーション計算結果と実験値との比較

ジャイロアンカーの沈降運動は、角速度と水平方向の移動速度の両方を発達させながら行われる。角速度発達の影響が大きければ公転運動の半径は小さくなり、水平方向の移動速度の影響が比較的大きければ公転運動の半径は大きくなる。図-5 にシミュレーション計算結果の一例を示す。図は、直径 2.5m のジャイロアンカーが水深 20m の水底まで沈降する様子を上面から見た軌跡である。角速度の発達と水平方向速度の発達により、水底に達するまでに 1.5 回転の公転を行ったことが分かる。

表-1 は、ジャイロアンカー模型(直径:300mm、高さ:130mm)を沈設した場合の着底誤差および旋回数に関する実験値と計算値の比較である。表から、実験値と計算値は、ほぼ一致していることが分かる。

6. おわりに

本研究により得られた結論を以下に示す。

- ① ジャイロアンカーの自転および公転に関するメカニズムを明らかにした。
- ② ジャイロアンカーの挙動に関するシミュレーションモデルは、実験値の再現に有効である。

参考文献: 1) 西田秀紀他: 曳航自沈式アンカー(ジャイロアンカー)の開発, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014.

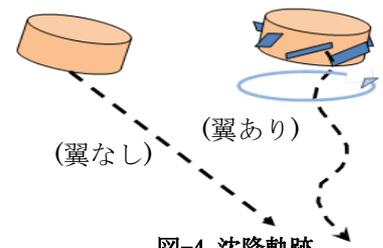


図-4 沈降軌跡

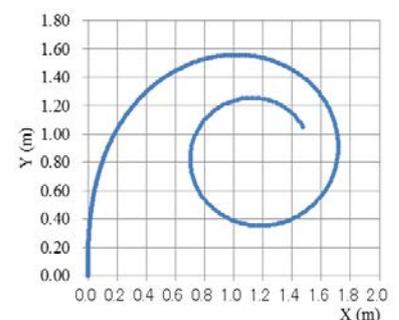


図-5 ジャイロアンカーの旋回軌跡

表-1 実験値と計算値の比較

Case	水深 (m)	実験値		計算値	
		着底誤差 (mm)	旋回数 (回)	着底誤差 (mm)	旋回数 (回)
1	1.6	91	0.35	100	0.32
2	4.6	136	1.25	108	1.23