

清水建設(株) 技術研究所(正) 田中正博 同 土木開発部 宮沢和夫
同 生産技術部 中川秀彦 五洋建設(株) 土木技術開発部 新田義治

1. はじめに

大型海洋構造物の沈設は、一般にクレーン船で支持しながらオペレーターの経験と勘に頼って行っているが、誰でも容易に沈設することができるよう予測計算に基づく自動制御沈設システムの開発を手がけた。本システムを適用すれば特別な経過がなくても、形状の複雑な構造物や隔室の多い構造物でも正確、迅速かつ安全に沈設できると考えられる。本システムの演算機能は、①浮体のつり合い状態と復原力の計算、②修正すべき浮体の姿勢とそれに必要なバルブパターンの計算、③隔室に流入するバラスト水量の計算の3つからなるが、本報では②の浮体の姿勢制御の方法と本システムによる姿勢制御の計算例を報告する。

2. 姿勢制御の方法

本システムは、浮体の姿勢状態を予測計算することによりバルブの開閉状態とそれに伴うバラスト水の注排水量を決定し目標の姿勢状態を得るものである。ここでいう姿勢とは、①傾斜方向 θ 、②傾斜角 ϕ 、③平均吃水 H である。姿勢制御の全体フローは図-1に示すとおりで、基本的な考え方は、仕役の時刻における浮体の傾斜方向と傾斜角の計算値(θ_1, ϕ_1)と、それらの目標値(θ_2, ϕ_2)との比較によりバルブの開閉状態とバラスト水量を決定し、吃水に対する仕役の時刻の計算値 H_1 と目標値 H_2 との比較により目標の姿勢に達したか否かをチェックするものである。すなわち、 θ_1, ϕ_1 と θ_2, ϕ_2 を比較し両者の差が許容範囲内の場合は全てのバルブを開き、両者の差が許容範囲を越えている場合は修正すべき傾斜方向 θ_2 と傾斜角 ϕ_2 を計算し、 θ_2, ϕ_2 を得るために必要なバルブの開閉状態を決定する。設定されたバルブ状態に従って所定の時間 Δt に注水(又は排水)されるバラスト水量を隔室に加え Δt 時間後の姿勢を予測する。また、 H_1 と H_2 を比較し両者の差が許容範囲内になった時目標の姿勢が得られたものとして予測計算を終了する。一方、予測計算により求められたバルブ状態とバラスト水量により浮体の姿勢が期待どおりに制御されているか否かのチェックは一定時間毎に取込まれる実測値との照合により行う。浮体の姿勢やバラスト水位の実測値とその時刻に対応する計算値との差が許容範囲内の場合は計算を続行し、両者の差が許容範囲を越えた場合には実測値をその時刻における初期値としてリセットしそれ以降の計算をやり直す。ところで、点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ を θ_2 方向(z 軸まわりに時計回りを正)に ϕ_2 回転した点を $P_2(x_2, y_2, z_2)$ とすると両者の関係は次式で表わされる。

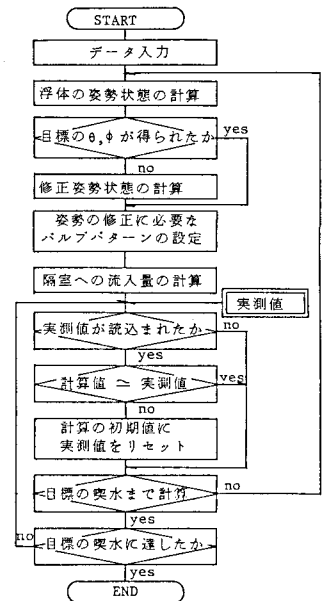


図-1 姿勢制御フロー

の照合により行う。浮体の姿勢やバラスト水位の実測値とその時刻に対応する計算値との差が許容範囲内の場合は計算を続行し、両者の差が許容範囲を越えた場合には実測値をその時刻における初期値としてリセットしそれ以降の計算をやり直す。ところで、点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ を θ_2 方向(z 軸まわりに時計回りを正)に ϕ_2 回転した点を $P_2(x_2, y_2, z_2)$ とすると両者の関係は次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin\theta_2 + \cos\theta_2 \cos\phi_2 & \sin\theta_2 \cos\theta_2 (1 - \cos\phi_2) & \cos\theta_2 \sin\phi_2 \\ \sin\theta_2 \cos\theta_2 (1 - \cos\phi_2) & \sin\theta_2 \cos\phi_2 + \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 \sin\phi_2 \\ -\cos\theta_2 \sin\phi_2 & \sin\theta_2 \sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = [F_2(\theta_2, \phi_2)] \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

(1) 式の関係より、 $\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2, \theta_3$ および ϕ_3 の間には(2)式のような関係が成立するので、修正すべき姿勢の傾斜方向 θ_2 および傾斜角 ϕ_2 は(3)式のような関数で与えられる。

$$[F_y(\theta_s, \phi_s)] = [F_2(\theta_2, \phi_2)][F_1(\theta_1, \phi_1)] \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \theta_2 &= G_1(\theta_s, \phi_s, \theta_1, \phi_1) \\ \phi_2 &= G_2(\theta_s, \phi_s, \theta_1, \phi_1, \theta_2) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2), (3)式からわかるように θ_1, ϕ_1 の状態を θ_s, ϕ_s の状態に姿勢変更するためには θ_2 方向に ϕ_2 傾斜するようなバルブの開閉状態を設定すればよいが、傾斜方向が θ_2 に一致するようなバラスト水の注水(又は排水)状態は特定の方向や多くの隔壁が均一に配置されている場合を除いて存在しない。そこで、本システムでは図-2に示すように θ_2 方向との法線 l によって区切される陰影領域内に重心がある隔壁のバルブを開じる(注水の場合)という方法をとった。直線 l の位置は ϕ_2 と ϕ_1 の差によって変えることができる。また、バルブ状態の継続時間 Δt は、沈設中一定にする方法と、 Δt の範囲を与えバルブ状態が設定される度にプログラム中で設定範囲内の Δt を決定する方法をとっている。

3. 姿勢制御の計算例

図-3に示すような67m²、41m高で16個の隔壁を有する構造物(重量84240t、重心高18.8m)の姿勢制御の計算例を示す。浮体の姿勢制御は傾斜姿勢の変更と吃水の変更よりなるが、ここでは上載荷重(3000t)により135°方向に3°傾斜した状態(吃水19m)を0°方向に3°傾斜させ吃水29mの状態に制御する例を示す。バラスト水は構造物の両側に設けてある取水口から配管(径90cm)を通して自然注水される。バルブの操作時間間隔 Δt を5分に固定したケース①と、2~10分で自動計算したケース②の傾斜方向と傾斜角の変化をそれぞれ図-4と図-5に示す。傾斜方向については両者の差はないが、傾斜角については修正モーメント量からそのつど計算した方がよい姿勢制御となっている。また、表-1は前述の2ケースと全てのバルブを開いて水平に沈降させる場合(ケース③)の沈設時間、バルブ状態の変更回数、バルブの総操作回数である。表からわかるように、 Δt をバルブのパターンや傾斜角の目標値と計算値との差に対応して変化させる方が、バルブ操作が少なく、速くかつ正確に姿勢を制御できる。

表-1 姿勢制御結果の比較

ケース	沈設時間 (分)	バルブ状態の 変更回数	バルブの 総操作回数
①	45	1	16
②	70	12	71
③	53	7	37

表-1は前述の2ケースと全てのバルブを開いて水平に沈降させる場合(ケース③)の沈設時間、バルブ状態の変更回数、バルブの総操作回数である。表からわかるように、 Δt をバルブのパターンや傾斜角の目標値と計算値との差に対応して変化させる方が、バルブ操作が少なく、速くかつ正確に姿勢を制御できる。

4. あとがき

本システムにより海洋構造物の沈設に対し、事前に細部に及び検討ができるし、オペレーターは特別な経験なしで正確かつ迅速な沈設ができる。今後、本自動制御沈設システムの実スケール実験を行う予定である。尚、紙面の制約上割愛したが、浮体のつり合い、復原力、バラスト流量の計算については模型実験によりその妥当性を検証した。

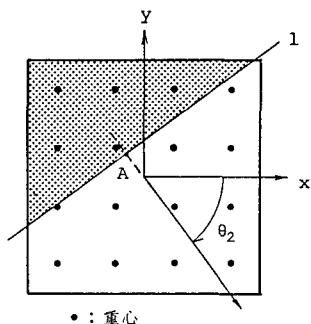


図-2 バルブパターンの決め方

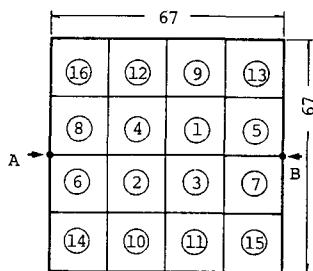


図-3 姿勢制御計算モデル

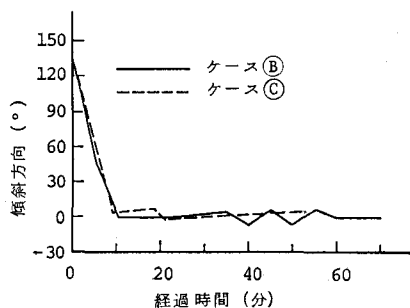


図-4 姿勢制御傾斜方向

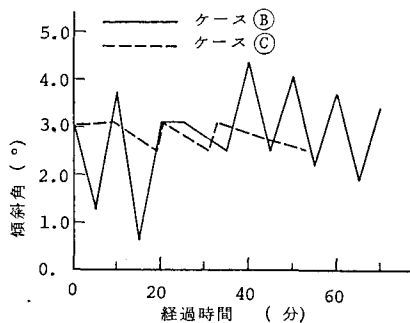


図-5 姿勢制御傾斜角