

IV-38 水域施設計画へのシミュレータの応用

運輸省港湾技術研究所 正会員 奥山 育英

運輸省港湾技術研究所 正会員 清水 勝義

三井造船 昭島研究所 平野 雅祥

1. はじめに

電子計算機の驚異的な発展によって、従来では実験で確認していた事柄が数値計算にとって代わるようになった。実際、シミュレーションという術語も当初は乱数を利用したモンテカルロシミュレーションを意味していたが、現在では熱伝導や拡散計算等に見られるように現象を説明する理論式を立てて、その理論式を計算機によって解く場合に熱伝導シミュレーションとか拡散シミュレーションと呼んでいる。シミュレータはシミュレーションに含まれるが、計算ばかりでなく時間も実時間に合わせ環境も実際と同じようにしているのが一般的である。航空機や船舶等の操縦シミュレータは、乗員の訓練等に利用されている。また、港湾技研では、既に船舶の操縦シミュレータをもとにしてリアルタイム型のシミュレータを水域施設計画に利用することを試みた¹⁾²⁾。その利用をとおして、水域施設の計画では、実時間である必要性が無い場合もあること、機能の付加・拡充にはシステムとして一体的なシミュレータでは融通が効かないことから、ファーストタイム型でしかも機能の付加・拡充に適する多くのサブルーチンからなるソフトウェアを開発した。ここでは、その概要と適用について報告する。

2. シミュレータソフトウェアの構成

本ソフトウェアは、船舶の操縦シミュレーション計算を、実際の運航に即した条件のもとで行うものであり、時々刻々の船の運動に応じた流体力および外力を操縦運動数学モデルによって計算するサブルーチン群、船の運動を計算する数値計算サブルーチン、これらをコントロールするメインプログラムにより構成されている。このソフトウェアは船体関係については、①船体流体力、②プロペラ力、③舵力、主機はディーゼル機関として応答計算を行い、外力は①風圧力、②波浪漂流力、③潮流力、④浅水影響、⑤側壁影響、⑥タグボートの使用を同時に計算できる。さらに、時々刻々の①操船指令、②環境条件、③船の運動、④船にかかる力およびモーメントを出力できる。本ソフトウェア全体のフローチャートを図-1に示す。シミュレーションは、図の(2)～(5)のプロセスを必要なだけ繰り返して終了する。

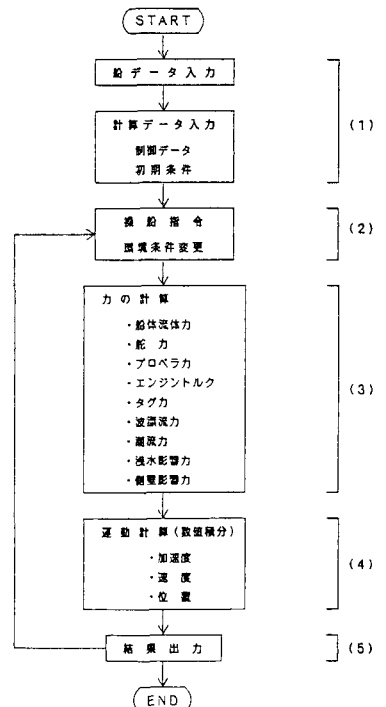


図-1 フローチャート

3. 操縦運動計算法

本ソフトウェアで取扱う操縦運動は、水平面の運動(前進、横流れ、旋回)にプロペラ回転系を加えたものであり、運動方程式は図-2に示す船の重心に原点を置いた船体固定座標系を用いて次式で表わされる。

$$\text{前進} \quad m(\dot{u} - v r) = X_H + X_P + X_R + X_T + X_W + X_{WV} + X_C + X_B$$

$$\text{横流れ} \quad m(\dot{v} - u r) = Y_H + Y_P + Y_R + Y_T + Y_W + Y_{WV} + Y_C + Y_B$$

$$\text{旋回} \quad I_{ZZ} \cdot \dot{r} = N_H + N_P + N_R + N_T + N_W + N_{WV} + N_C + N_B$$

$$\text{プロペラ回転} \quad 2\pi I_{PP} \cdot \dot{n} = Q_E + Q_P$$

ここで、 u, v は対地速度の X, Y 成分を表わし、添字 $H, P, R, T, W, WV, C, B, E$ を付した項は、各々、船体、プロペラ、舵、タグ、風、波、潮流、側壁、主機による力およびモーメントを表わす。

図-3にタグ力、風、波、潮流の方向を示し、図-4に側壁影響を算定する際に必要な量の定義を示す。

図-2で、 $u, v, r, V, X, Y, N, n, \psi, \delta, \beta$ は、船速の X 成分、 Y 成分、回転角速度、船速

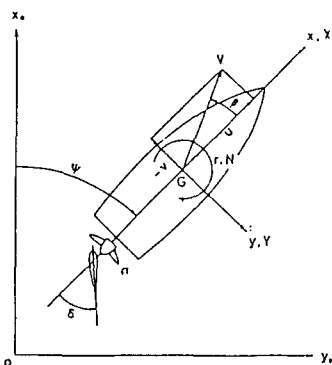


図-2 座標系

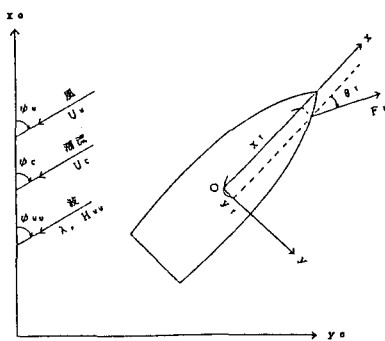


図-3 タグ力、外乱

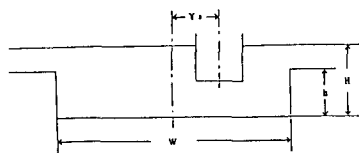


図-4 水路断面

、船に働く力のX成分、Y成分、船に働くモーメント、プロペラ回転数、回頭角、舵角、横ゆれ角である。図-3で、 F_T 、 θ_T 、 x_T 、 y_T 、 O 、 U_W 、 ψ_W 、 U_C 、 ψ_C 、 λ 、 H_{WV} 、 ψ_{WV} は、タグ力、タグ力方向、タグ位置X成分、Y成分、船の重心、風速、風向、潮流速度、潮流方向、波長、波高、波方向を示す。図-4で、 Y_B 、 W 、 h 、 H は水路中央からの偏差、水路幅、水路深さ、水深である。

各々の力およびモーメントは、時々刻々の船体運動(位置、速度、加速度)、操作量(舵、プロペラ、タグ力の大きさや方向)、環境条件(外乱、地形)の関数となるが、これらは理論および実験データによって裏づけされた数学モデルを用いて表現されている。この数学モデルによりある時刻の船体に働く力が計算されると上記の運動方程式から船体あるいはプロペラ回転の加速度が求まり、さらにこれらを数値積分することによって時々刻々の速度および位置が計算される³⁾。

4. 水域施設計画への適用

ここでは、水路の計画で問題となる屈曲部の隅切りとキックの検討の一例として図-5を示す。これは、25万トタンカーの60°変針の例であり、あらかじめ操縦法を入力して置いて演算時間は1秒である。表-1は、初速15.8ノット、初期回転数124rpmで35°旋回の実験の一例である。これら結果の数値を用いて各種の解析や図表の作成を行う。

5. おわりに

港湾や航路の計画にあたって実際の水路を用いた模型実験に代る方法としてシミュレータの利用は非常に有効である。しかし、従来のシミュレータは船舶の性能追求や操船の訓練に重きが置かれていた。そのため、実際の船舶の挙動を忠実に再現し、かつ、水域施設計画に利用し易いシミュレータの開発は、現状では港湾サイドで行わざるを得ない。従って、今回紹介したシミュレータは、今までのリアルタイム型シミュレータに続く第2ステップのシミュレータである。最後に、本報告にあたって連名者の制限から港湾技研の早藤、吉田、阿式技官を連名者として挙げられなかったのが、ここで改めて厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 奥山：海上交通計画情報に関する研究、港湾技研資料 No.536、運輸省港湾技術研究所、1985.9.
- 2) 奥山、早藤、吉田：水域計画シミュレータの操船実験について、土木学会第41回年次学術講演会
- 3) 平野：初期設計時における船の操縦運動計算法について、日本造船学会論文集 147、1980、pp.144～153.

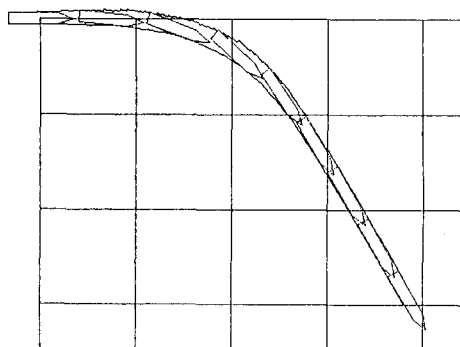


図-5 隅切りとキック

表-1 実験の記録の一例

TIME (SEC)	RUDDER ANGLE (DEG)	ADVANCE (M)	TRANSFER (N)	SPEED (KTS)	HEADING ANGLE (DEG)	ANGULAR VELOCITY (DEG/SEC)	RPM NO1
0.0	0.0	0.00	0.00	13.80	0.00	0.000	124.0
10.0	22.2	81.21	-0.08	13.73	0.67	0.232	124.0
20.0	34.9	161.26	0.85	13.30	3.04	0.674	124.0
30.0	35.0	228.24	7.01	14.70	13.34	0.767	124.0
40.0	35.0	310.73	22.14	13.99	23.69	1.120	124.0
50.0	35.0	376.08	47.44	13.23	33.23	1.182	124.0
60.0	35.0	432.24	82.71	12.47	47.12	1.192	124.0
70.0	35.0	477.76	123.29	11.74	59.00	1.178	124.0
80.0	35.0	512.00	173.29	11.11	70.67	1.134	124.0
90.0	35.0	533.00	224.01	10.52	82.09	1.124	122.3
100.0	35.0	547.23	272.29	10.00	92.19	1.092	121.1
110.0	35.0	549.41	323.38	9.52	103.98	1.062	120.0
120.0	35.0	542.12	373.07	9.10	114.47	1.034	118.9
130.0	35.0	528.99	416.72	8.72	124.69	1.008	118.0
140.0	35.0	508.28	453.44	8.39	134.67	0.983	117.2
150.0	35.0	482.30	489.20	8.09	144.42	0.964	116.4
160.0	35.0	452.30	517.02	7.81	153.98	0.943	115.8
170.0	35.0	419.49	536.67	7.57	163.23	0.928	115.2
180.0	35.0	384.31	554.68	7.33	172.36	0.912	114.6
190.0	35.0	348.52	564.52	7.10	181.61	0.898	114.2
200.0	35.0	312.41	568.37	6.97	190.54	0.885	113.7
210.0	35.0	276.76	567.11	6.81	199.34	0.874	113.0
220.0	35.0	242.76	560.46	6.67	208.03	0.862	113.0
230.0	35.0	210.97	549.10	6.53	216.62	0.854	112.7
240.0	35.0	181.29	533.43	6.41	225.13	0.846	112.4
250.0	35.0	155.29	514.03	6.30	233.34	0.838	112.2
260.0	35.0	122.43	491.39	6.20	241.89	0.831	112.0
270.0	35.0	113.29	464.09	6.11	250.17	0.824	111.8
280.0	35.0	98.34	438.74	6.03	258.28	0.818	111.6