

CADMAS-SURF による波浪解析入門

 先進技術システムチーム上席主任コンサルタント
 荒木 和博

港湾の設計で波力や越波量の算定等に利用される波浪解析ソフトウェア CADMAS-SURF の概要と、代表的 な利用方法である断面 2 次元解析を対象とした使用方法を初心者向けに解説する.

1 はじめに

堤防などの海岸構造物の設計においては,波が堤 防を越えるかどうか,波の作用力により構造的に安 定かどうかといった評価を行ってから,消波ブロッ クの設置や堤防の嵩上げなどの対策を講じる。評価 においては簡易的な設計公式が利用されることが多 いが,多様な環境条件に適用するため,かなり安全側 の評価になりがちである.このため,水理模型実験に より実際の環境条件に即した詳細な評価を行うこと もあるが,実験にはコストも時間もかかるため,昨今 では実験の代わりに数値解析が利用されることが増 えている.

波浪の数値解析に用いられる代表的なソフトウェ アとして CADMAS-SURF がある. CADMAS-SURF は

「数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会」 により研究・整備された VOF 法に基づく自由表面流 れのシミュレータである.「数値波動水路」とあるよ うに,従来の大規模水路を用いた水理模型実験を CFD に基づく数値計算で置き換えることを期待して 開発された公開のソフトウェアであり,港湾等の設 計現場において,よく利用されている. CADMAS-SURF の機能を表1に示す.

国内では昨今,波浪解析に OpenFOAM を利用する ケースも散見されるようになった. OpenFOAM はプ リポストツールが比較的充実していることや,非構 造格子に対応していること等が利点として挙げられ るが,造波機能に関しては専用プログラムである CADMAS-SURF に一日の長があり,特に造波ソース 機能は他の CFD コードには見られない特徴となって いる.

本稿では、CADMAS-SURF の導入方法と基本的な

使用方法(断面 2 次元の波浪解析が対象)について 解説する.

表 1 CADMAS-SURF の機能

	項目	特徴
	支配方程式	非圧縮流体の Navier-Stokes 方
		程式と連続の式
物	座標系	デカルト座標系
理	自由表面モ	VOF(Volume of Fluid)法
モ	デル	
デ	造波モデル	造波境界,造波ソース
IV	造波関数	ストークス波, クノイド波,
		流れ関数法 B,任意波形(マ
		トリクスデータ使用)
	無反射モデ	Sommerfeld の放射境界および
	1レ	エネルギー減衰帯
	離散化方法	スタッガード・メッシュを用
数		いた差分法,ポーラスモデル
値	時間積分	SMAC 法
計	移流項	1次風上差分と2次中心差分の
算		ハイブリッド差分
法	VOF 関数の	ドナー・アクセプタ法
	移流項	

2 入手方法

書籍「実務計算事例集」¹⁾を購入すると, 付録の CD-ROM に, 計算プログラム calcV51, ポストツール view50, 不規則波データ作成ツール mtbmkG が含ま れている.書籍本体には CADMAS-SURFの理論説明・

使用方法・適用事例等が記載されている. CADMAS-SURF は XZ 断面を対象とした 2 次元のプログラムで ある.

また, CADMAS-SURF を 3 次元に拡張したバージ ョンである CADMAS-SURF/3D も書籍「数値波動水 槽の研究・開発」²⁾から入手可能である.

CADMAS-SURF (2 次元版) と CADMAS-SURF/3D (3 次元版.以下,3 次元版と表記する)の違いは表 2 の通りである.3 次元版は構造物データを作成する ことが難しいため,入門としては2 次元版を勧める.

項目	2 次元版	3 次元版
3 次元計算	不可	न
並列計算機能	無し	有り※1
VOF 関数の移	ドナー・アク	ドナー・アクセ
流項計算手法	セプタ法のみ	プタ法, 勾配を
		考慮した手法
地形の簡易入	有り(折れ線	無し
力機能	データ)	
その他	入力変数名の変	変更あり.ただ
	し、機能的には	はほぼ同等.

表 2 2 次元版と3 次元版の主な違い

※1 ソースコードが入手できない場合,計算環境(並 列ライブラリ等)の制約あり.

3 まずは動かしてみる

「CADMAS-SURF 実務計算事例集」のCD-ROMに 含まれる実行形式ファイル calcV51 と view50 をフォ ルダにコピーする.次に、図1のようなテキストデ ータを作成して, calcV51 らと同じフォルダに data.in というファイル名で保存し、以下の①~③の順に実 行する.

- [計算実行] calcV51 をダブルクリックすると CADMAS-SURFの計算が始まり、10秒も掛から ずに終わる.
- ② [可視化] view50 をダブルクリックしてビューワ を起動する.最初に右上の「ファイル指定」ボタ ンを押すことで結果ファイル data.rsl を読み込む.
 図 2 にビューワ画面を示すが,赤矢印で示した 箇所を設定することで表示が見やすくなる.表示 を調整後,右上の「次の時刻へ」ボタンを繰り返 し押すことで時間を進めることができる.

図1の例は格子が粗いため、可視化しても漠然 とした波浪伝播の状況しか分からない.そこで、 次の③で格子データを細かくして再計算してみる.

 ③ 一度ビューワを閉じて, data.list と data.rsl を削除 する. その後, data.in の GRID X の値を 5m 間 隔(0.5.10......90.95.100.), GRID Z の値を 0.5m 間隔(-5.-4.5.-4.....4.4.55.) に変更し, TIME CONST(時間刻み)の値を 0.1 にする.再 度計算実行(calcV51)と可視化(view50)を行う と, 波の伝播が滑らかに表現される様子が確認で きる.

TIME CONST 0.2
TIME END 999 50.
WAVE W-LEVEL 0.
WAVE BOUNDARY 1
WAVE DEPTH 5.
WAVE HEIGHT 3.
WAVE PERIOD 10.
WAVE FUNC CNOIDAL
GRID X
0. 10. 20. 30. 40. 50. 60. 70. 80. 90. 100.
END
GRID Z
-54321. 0. 1. 2. 3. 4. 5.
END
OBST.TBL
05.
755.
75.001 0.1
100. 0.1
END
B.C. D VP SLIP
B.C. D F FREE
RSL TIME 0. 50. 2.

図 1 data.in ファイルの例



図 2 描画の例

4 断面2次元解析の手順

4.1 概要

CADMAS-SURF は,護岸を含む断面 2 次元の体系 で波力や越波量を算定する際に利用されることが多い(計算体系の例を図 3 に示す).

解析の手順を①~⑥に示す.また,入出力データを 含む処理フローを図4に示す.以下の節では手順毎 の作業について説明する.

- ① 断面形状データの作成
- ② メッシュデータの作成
- ③ 波浪データの作成
- ④ 解析条件の設定(時間刻み,造波条件,出力の指 定等)
- 6) 解析の実施
- 6 解析結果の表示



図 4 入出力データと処理フロー

4.2 断面形状データの作成

断面形状を作成する際,はじめに表計算ソフトを 用いて海底地形や護岸施設の座標値(X座標と高さ の組)を整理しておくとよい(図 5).表計算ソフト で整理したデータは data.in ファイルの OBST.TBL と POROUS.TBL にテーブルデータとして入力する(図 6). OBST.TBL では,海底地形等の形状を指定し, POROUS.TBL では捨石マウンド等の透水性を考慮す

みずほリサーチ&テクノロジーズ技報 Vol.2 No.1

る形状を指定する.テーブルデータの入力ルールとして X 座標値は単調増加でなければならない.このため,直立堤や直立護岸を入力する場合には,天端と底部のX座標を微小値(X方向の格子点間隔の1/1000 程度)だけ変化させて入力する.

3 次元版の場合は、OBST.TBL や POROUS.TBL が 使用できないため、障害物と透水性の構造物を計算 メッシュ単位で入力する必要がある.このため、デー タ作成用にはプリツール CADMAS-MESH が必要と なる. CADMAS-MESH では、STL 形式(バイナリ形 式)の形状データを読み込んで、3 次元版の入力デー タ形式に変換することができる.ただし、書籍「数値 波動水槽の研究・開発」の CD-ROM 付属の CADMAS-MESH は、初期バージョンのため問題が多く、実用に は困難が伴う.今後、中央大学の港湾・海岸研究室の Web サイトを通じて CADMAS-MESH の改良版の公 開が計画されており、3 次元版の利用はその公開を待 つことを勧める.



図 5 表計算ソフト (MS-EXCEL) での整理の様子

OBST.TBI	L	
0.000	-30.000	
200.000	-30.000	
350.000	-20.000	
950.000	-14.000	
990.000	-9.000	
990.001	3.000	
1005.000	3.000	
1005.001	-9.000	
1030.000	-14.000	
1100.000	-14.000	
END		
POROUS.	TBL 0.43 1.2 0.5	
950.000	-14.000	
965.000	-9.000	
990.000	-9.000	
1005.000	-9.000	
1020.000	-9.000	
1030.000	-14.000	
END		

図 6 OBST.TBL,POROUS.TBL の例 (data.in ファイル)

なお、CADMAS-MESH で STL ファイルを取り込 むときに作成する設定ファイル (ST ファイル) に関 して、書籍「数値波動水槽の研究・開発」の説明に間 違いがあり、実際には図7に網掛けで示した3番目 と4番目の数値が追加で必要となる(それぞれ慣性 力係数 CM と抵抗係数 CD で、非透水性の構造物の 場合は0.0にしておけばよい).

4.3 メッシュデータの作成

メッシュデータは、X と Z の 2 方向に関して、そ れぞれ座標値の小さい側から格子点の座標値を列挙 した形式で作成する(例を図8に示す).1行あたり のデータ数に制約はないが、1行は130文字以内の制 限がある.

座標値を定めるにあたり以下の点に留意する.

- ・構造物がある場合は、なるべく構造物の位置に合わせて格子点座標を設定する.
- ・格子点間隔の最小値を予め決めておく.格子点間隔 は計算の時間刻みに影響する.
- ・格子点間隔が急激に変化しないようにする.一定間 隔もしくは等比級数(公比<1.1 程度)で変化させる とよい.

なお,3次元版の場合,Y方向のデータ(GRID Y ~ END)が追加されるだけで,形式は同じである.また,1行の文字数制限は256文字以内に緩和される.

GRID X	
0.0 0.1	0.2 … (略)
… (略)	0.8 0.9 1.0
END	
GRID Z	
0.0 0.1	0.2 … (略)
… (略)	0.8 0.9 1.0
END	

図 8 メッシュデータの例

4.4 波浪データの作成

波浪解析の場合,沖側から入射させる波浪データ (不規則波データ)を用意する必要がある.不規則波 データは「CADMAS-SURF 実務計算事例集」の CD-ROM に収納されたツール mtbmkGを使用して作成す ることができる.mtbmkG(図9)では以下の3つの パラメータから修正 Bretschneider-光易型スペクトル を仮定して不規則波データを作成する.

- ・有義波高
- 有義波周期
- ・水深

図9の「基本事項」ボタンを押して現れる入力項 目を設定した後,「設定値全体」ボタンを押して現れ る画面右下の「計算」ボタンを押すだけで基本的な設 定が可能である.不規則波の解析を行う場合,波浪デ ータの時間の長さは有義波周期の100~200倍程度を 目安にする.計算後,結果を data.mtb というファイル 名で保存する.

なお,入射させる波浪データを観測値から直接作 成したい場合は,書籍「実務計算事例集」に記載の mtb ファイルの書式にしたがってデータを作成する.

4.5 解析条件の設定

形状データ,メッシュデータ以外の入力データは テキストエディタを用いて data.in ファイルに直接記 載する.入力ブロックの順序は自由である.以下,注 意点を示す.

[算法]十	影定信全体	
設定値全体	周波数の選び方(ittype)=1:[[fmin.fmax]の間をncpmax個に分割し、各区間内でひとつのfiを一様乱数により決定] 振波数の選び方(ittype)=24a-{(x ⁻² 3d)}	
基本事項	流速リミッター(iltype)=1:5歳別解析(ゼロダウンクロス)で波別の波速c(i)を計算し、流速をc(i)以上にしない)	
波形出力点	有義問期(T13) =6(s) 有義法高(H13) =4(m) 第19(m)	
スペクトル		
流速計算	☆山空計算了2時間(2月代1) =900(s) 米山空計算入計時(1時の数(nnax) =2400 考慮する広分波の数(の上版(ncpmax) =500	
オブション	間度総約77-mma+761と1/34235/073-考慮Cfmax) =0 温速容計音子を読着方面の2654点方面の2654max) =10 eta(mas-25255)最新化したさの25823と1/35238(mmax) =1000 水(四季みが見なガラる528(mox) =4 +1000	
	idum 1 = 59897 idum 2 = 77815 idum 3 = 84509	
	c 1bm =0.205 c2bm =0.75	
	波形出力点:自動計算	×
	流速計算を行う最上段の位置自動計算	
	スペクトルの合わせ込み行わない	

図 9 mtbmkG の起動画面

時間刻み

時間刻み Δt は水深hと格子サイズ Δx の関係から以下の制限がある.

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh}} \tag{1}$$

時間刻みを自動設定にしても,(1)式の制限は考 慮されないため,時間刻みの固定値もしくは上限 値を入力する際に,(1)式の制限よりも小さい値 を指定する必要がある.

② 造波ソース

入射波は造波境界や造波ソースとして与える.た だし,造波境界の場合は反射波を透過しないため,

不規則波の計算では造波ソースの使用が望まし い.造波ソースは図3の例のように計算領域の 途中に設定する.位置は砕波帯より沖側とし,砕 波に伴って巻き込まれる気泡が造波ソース位置 に達しないようにする.

③ エネルギー減衰帯

造波ソースよりも沖側にはエネルギー減衰帯を 設定する.この領域は反射波を減衰させるための ものであり、1~2波長程度の幅を設定する.ただ し、減衰帯の格子は粗くてもよいので、ソース位 置から徐々に格子間隔を広げて総格子数を抑え るとよい.

④ ポーラスの制限

POROUS LIMIT によりポーラス値下限を設定す ることができる.下限を小さくすることで形状の 近似精度がよくなるが,小さくしすぎると時間刻 みが小さくなり計算時間が増加するため,始めは 0.5 程度で試し,問題なければ必要に応じて値を 小さくすればよい.

4.6 解析の実施

作成した入力ファイル (data.in, data.mtb) のあるフ オルダにおいて, calcV51 をダブルクリックすること で実行する.計算経過のログを保存したい場合は,コ マンドプロンプトを起動した上で,「calcV51.exe > log.txt」のようにすればよい).

3 次元版では、「fmpich2.dll が足りない」というエ ラーが出ることがある. その場合は Intel Fortran コン パイラーの再配布可能ライブラリー (Windows 32bit 版)をインストールする必要がある (Intel のサイト³⁾ から ww_ifort_redist_ia32_*.msi をダウンロード). イ ンストール後は再起動が必要である.

4.7 解析結果の表示

CADMAS-SURF の実行後,以下のファイルが出力 される.

(a) data.list……リストファイル(計算ログ等)

- (b) data.tran……時系列出力ファイル
- (c) data.rsl……詳細結果ファイル

(b)には data.in において TRN で指定した位置の水 位や流速がテキスト形式で出力されている. このフ ァイルは表計算ソフトで開いてスペース区切りのデ ータとして取り込むことができるので,時系列グラ フを作成できる. 図 10は防波堤前面・背面の波力を 時系列でプロットしたもので,図 11は波力最大時の 波圧・揚圧力の分布である.ただし、data.tran には波 カの出力はできないため、防波堤に接する全てのセ ルの圧力の時系列データを出力しておいて、表計算 ソフト上で面積を掛けて積分する.

(c)は付属のビューワ view50で可視化することが可 能である.図12は越波の様子を可視化したものであ る.ビューワでは流速ベクトルの表示も可能である が、ベクトルを間引くことができないという制約が ある.





図 11 グラフの例 2

5 おわりに

CADMAS-SURFの開発にあたって当社の前身であ る富士総合研究所が主にソースプログラムの開発を 担当した経緯から,当社には CADMAS-SURF に関す るノウハウが蓄積されており,本稿では基本部分を 入門という形で紹介した. 波浪解析について,更に 深く学びたい場合は,一般的な波浪の理論を勉強し た上で,先に紹介した「実務計算事例集」¹に記載の

パラメータ設定の推奨値や条件設定の方法を参考に するとよい.本稿が波浪解析を始める際の一助とな れば幸いである.



time=5.6640E+02 vel =2.0000E+01



引用文献

- (2) 磯部ら: CADMAS-SURF 実務計算事例集(沿岸技術研究センター, 2008)
- 2) 磯部ら: CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発(沿岸技術研究センター, 2010)
- インテル® C++/Fortran コンパイラー2018 for Windows 向けの再配布可能ライブラリー, URL: <u>https://www.isus.jp/products/c-compilers/redistributable-</u> <u>libraries-for-2018-compilers-for-windows/</u>