

MOFOR 機能を用いた造波装置の構築

Dr. R. P. Hornby

2015年8月1日にはウェールズ政府が総額450万ポンドを拠出して（総コストが1500万ポンド）、世界で初めての内陸サーフラグーンがウェールズのDolgarrogでオープンした。この施設には毎年75,000人が集まり、世界最高のサーファーを対象とした国際サーフィンイベントが開催される予定である。

サーフパークは、長さ300m、幅110mのラグーンで最高2mの高さのパワフルで安定した波を作り出す、ユニークな造波技術を採用している。

「スノープラウ」形状の水中制波板（ホイール）は、湖の距離にわたる栈橋の下に配置され（図1）、中央の水中軌道に沿って引かれ、約20秒のサーフィン時間を作るホイールの両側にバレルリング波を生成する（図2）。

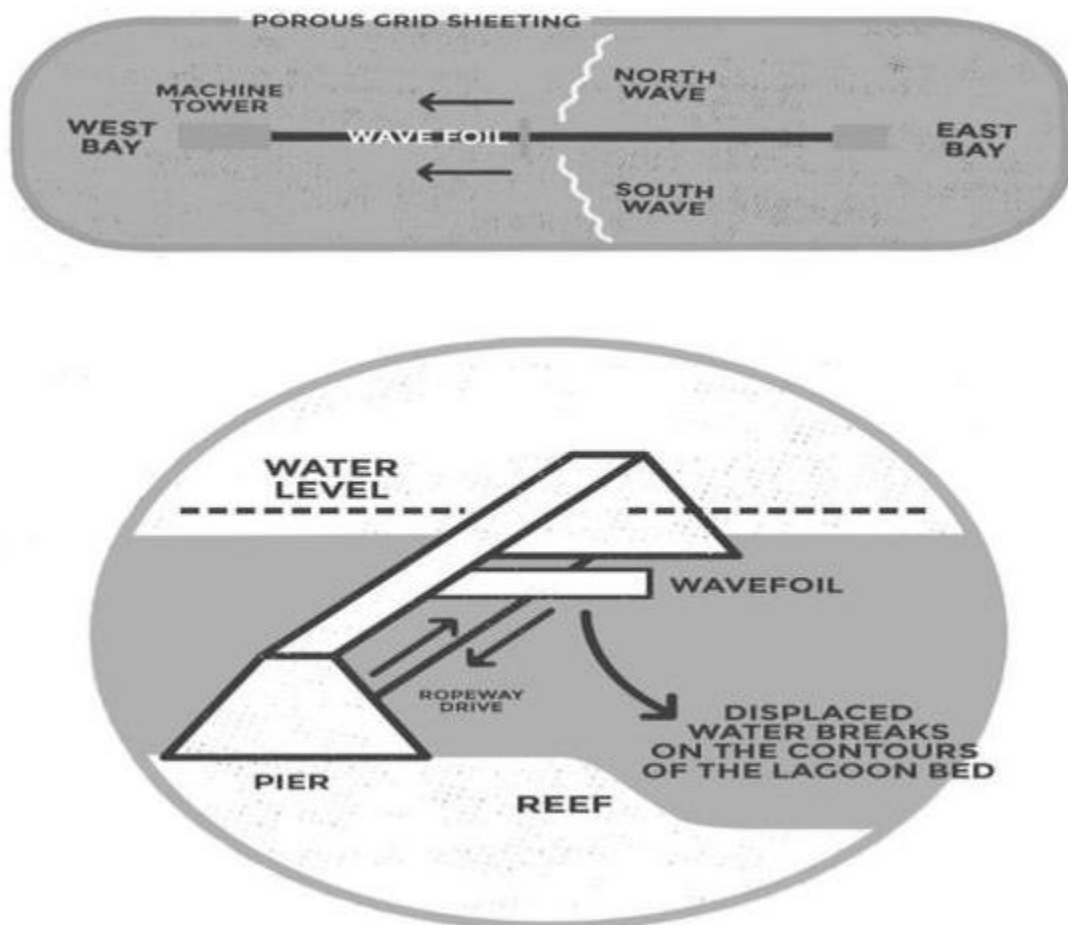


Figure 1. Detail of the wave generating mechanism.

スチール網は、安全上の理由から、近くのサーファーからホイールを隔離し、境界では波を減衰させるための多孔質グリッドシートとしても機能する。

制波板設計およびラグーン輪郭の詳細は機密であり、何年にも渡って開発されてきた。ここでは、このような研究に PHOENICS の自由表面モデル (SEM、Scalar Equation Method) および移動体機能 (MOFOR) を利用することが適切であることを示す。



Figure 2. Surfing waves generated either side of the surf lagoon pier.

PHOENICS モデリング

サーフラグーンは長さ 50m×幅 30m の半断面を計算した。最大水深を 2m とし、解析領域の遠端では深さを 1m にして、4m のエアギャップを水上で使用した。

解析領域全体は、それぞれ x (横) 方向に 55 分割、y (縦) 方向 130 分割、z (深さ) 方向に 30 分割にし、デカルト格子を用いて離散化した。波の崩壊プロセスの詳細を把握するためには、細かいメッシュを使用する必要があるが、今回のメッシュ数は、このモデリング手法の実行可能性を評価するのに十分と考えられる。

モデリングは移動体を使用するため (少なくとも物体の進む方向に) 不均一なメッシュを用いてもはっきりした利点はない。そのため各座標方向一様なメッシュを使用した。

底部境界に平滑な壁摩擦が加えられた層流と仮定し、上の境界は圧力一定の境界とした。

ホイールは、高さが 4m、幅が 3m の断面を持つくさび形と仮定する。波箱の傾斜した背面は、水がコントロールされた形で箱の上を流れることを保証する (図 3)。波箱の速度は、ほぼ横波であることを保証するために、最大波速度よりもわずかに大きい。波箱の運動は、Q1 ファイルの以下の説明文によって有効になる。計算では速度一定で、y 軸に沿った GV に等しく設定したが、時間 (TIM) 関数として設定することもできる。

```
PATCH(MOFOR,VOLUME,1,1,1,1,1,1,LSTEP)
```

```
SPEDAT(SET,MOFOR,MOFFILE,C,NOTSET)
```

```
(MOV OBJ OF B1 IS POS
```

```
(0.0,GV*TIM,0,0,0,0))
```

ただし、B1 は VR エディタで設定したくさび形オブジェクト (上記のホイール) である。

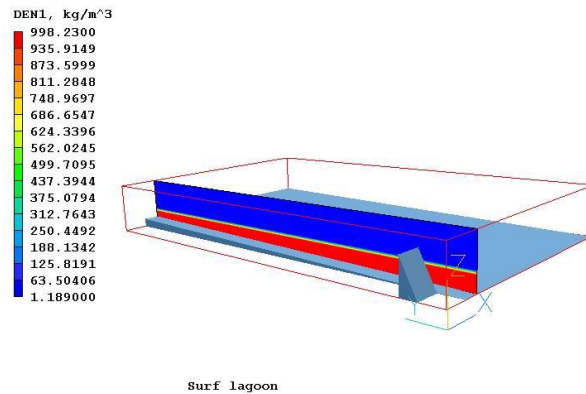


Figure 3. The wedge object representing the wave foil shown positioned in the simulation domain (with sloping bottom).

水/空気界面を追跡し、界面破壊を許す SEM を使用した。この方法は、波の伝播に関する別の研究で用いられ、良好な結果が得られている（参考文献 1）。

これは陽解法であるため、時間刻みは「クーラン数<1.0」の条件を満たす必要がある。

今回の計算では、時間刻みを 0.02 秒とし、計 10 秒の計算を実施した。

この設定は、モデリングの波発生能力を最初に評価するのに十分である。しかも波形発生プロセスのさらに調べるための拡張がよいである。（例えば、メッシュを増やす）

結果

図 4 は、1.8 秒後に 2m を超える高さの波がホイールで形成されることを示している。SEM は、ホイール上の流れおよび後部の斜流をうまく捉えている。

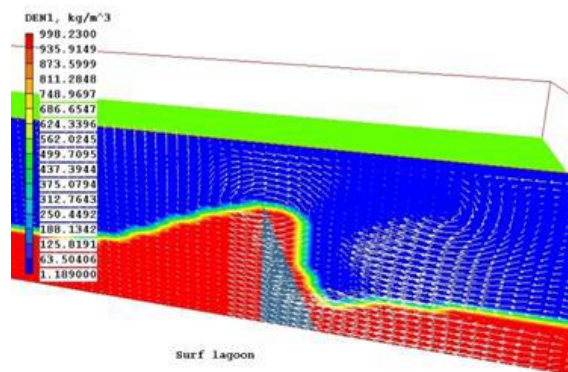


Figure 4. Density distribution in a vertical plane at the wave foil showing the formation of a 2m high wave after 1.8s.

図 5 は、6.9 秒後のサーフラグーンにおける波高 (GWHT、単位メートル) を示す。波は、図 2 の波のようにむしろホイールから扇状に広がるように見え、波の高さはホイールからの距離と共に減少する。

しかし、現在のメッシュがこのプロセスを捕捉するのに十分ではないため、波の崩壊のシナリオを予測するためのパラメータ改良の試みは行われていない。

あらゆる波破碎プロセスの平滑化が、その証拠である。

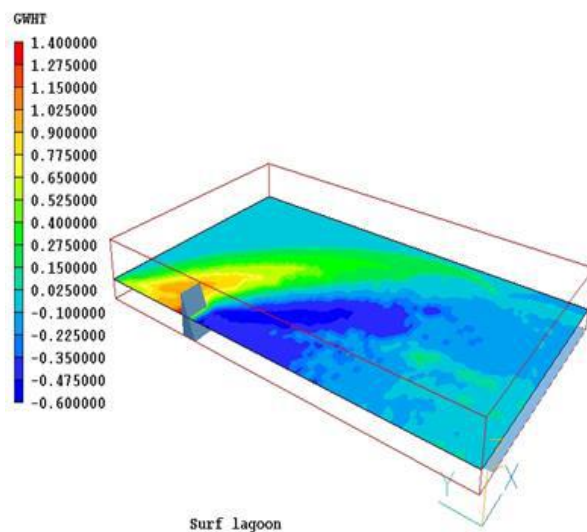


Figure 5. Wave heights (m) after 6.9s.

結論

SEM と組み合わせた PHOENICS MOVOBJ は、造波装置を調べるための柔軟なツールになる。

SEM は陽解法であるが、20 ぐらいのサーフィンの予測に適している。崩壊に近い波プロフィールを予測するにはメッシュを増やすことが必要である。

MOV OBJ 法は、表面波の形成を調べるために波箱の形状および速度を容易に変更できるが、必ず運動方向で均一なメッシュを使用する（計算時間の上で、不利）必要がある。

参考文献

1. PHOENICS modelling of 3-D flow over a surf reef and comparison with experiment. PHOENICS Newsletter, Winter 2012.