

確率沖波算定システムの開発

四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 建設管理官 富本正

1. はじめに

これまで確率沖波は、港湾施設及び海岸施設の設計を行うため、必要に応じ港毎で波浪推算を行い、確率沖波の算定を行ってきた。そのため、算定期間の違いから有義波法とスペクトル法が混在し、沖波の不整合が生じ、施設形状の不整合に至っている。また、推算した港から離れた場所では別途波浪推算を行わなければ確率沖波が出せない状況であった。

四国沿岸域のどの場所でも同一精度の確率沖波を容易に算定することが出来れば、波浪推算費用のコスト縮減となる。また、各行政機関において別々に設定されていた沖波を一元化することにより、施設安全性の整合も図れると共に、沖波条件の相違による断面の不整合も解消出来る。そのためには、各行政機関が波浪推算結果を共有し、必要な時に使用出来るようにするために、沖波のシステム化が重要な課題であった。

以上のことから、これまでの弊害を一掃し、四国沿岸域の確率沖波を容易に算定するための「確率沖波算定システム」の開発を行うに至った。

2. 第三世代モデルの登場

波浪推算手法は、スペクトル法又は有義波法が標準であるが、うねりを含む波の発達・変形の状況が把握できることからスペクトル法による波浪推算が多用される傾向にあり、なかでも第三世代の波浪推算モデルとされるWAMモデルが近年実用化されている。「確率沖波算定システム」では、このWAMモデルを採用し推算値の高精度化を図った。

世代モデル	非線形相互作用考慮	代表モデル名称
第一世代モデル	全く考慮されず	D Pモデル等
第二世代モデル	パラメータ近似式	C Dモデル等
第三世代モデル	高精度評価式	WAMモデル等

表1. 世代モデル一覧

表中の非線形相互作用とは、波浪の発生・発達において、もともとエネルギーを持っていない周波数・方向成分にもエネルギーを輸送する働きのこと、波浪の発達・減衰を支配する重要な過程であり Hasselmann(1962)によって定式化されたが、厳密に計算するには膨大な計算量・計算時間が必要であったため、波浪推算モデルへ組み込むことは近年まで困難であった。しかし、パソコン性能の向上により実用化が可能となり、WAMモデルにより高精度な算定が行えるようになってきた。

WAMモデルによる推算値の特徴としては、波浪の発達・減衰を適正に再現することから、非線形相互作用が無視されていた従来法よりも、一般的に波高・周期とも従来法に比べて若干大きくなる傾向となる。

四国沿岸域の海域特性は、大きく分けて太平洋沿岸と瀬戸内海沿岸の2つに分類出来る。WAMモデルには深海用と浅海用があり、適用するWAMモデル及び格子間隔を以下のとおり設定し、推算精度を高めた。

深海用WAMで算定された沖波は、一般的な沖波として使用しても問題ないが、浅海用WAMの値は海底地形の影響を受けて変形(屈折・浅水)したものとなっている。そのため、浅海用WAMで得られた瀬戸内海沿岸の推算結果の取り扱いには、既に変形を受けた波であることを十分認識の上、活用する必要がある。

海 域	海域特性	適用WAM	格子間隔(緯度経度)
太平洋沿岸	島が少ない, 水深が深い	深海用WAM 海底地形の影響による変形はしない	1/32° = 約 3.0km 間隔
瀬戸内海沿岸	島が多い, 水深が浅い	浅海用WAM 海底地形の影響により変形しながら発達をする	1/64° = 約 1.7km 間隔

表 2. 海域特性と適用WAM

3. 推算値の問題と対策

ここで、高知港の波高計の観測値と推算値の検証結果(98年10号台風)を示す。特にピーク値で波高・周期ともよく再現された結果となっており、WAMモデルの精度の良さが確認出来る。(波向)

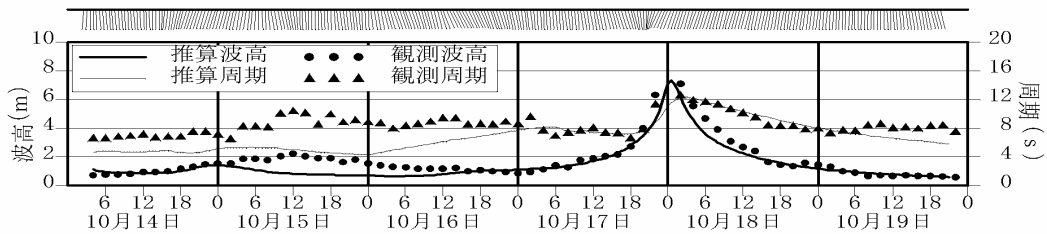


図 1. 波浪検証図

しかし、波浪推算結果は必ずしも観測値と一致しない場合がある。原因としては、6時間毎の天気図データを空間内挿することによる誤差等が考えられる。よって、推算値は観測値により適正な補正を行うことが必要である。

波浪観測地点の全く無い海域や、観測地点から離れた海域の補正を正確に行うことは非常に困難である。近年の波浪推算精度向上により、全体的な誤差は少なくなったと考えられるが、推算結果の使用には上記を認識の上、十分注意が必要である。

3. 1. 太平洋沿岸域

太平洋側は、室津・高知・上川口に波高計が設置されている。そのため、波高計の観測値により推算値の補正を行っている。以下に高知港の補正を示す。このように、WAMモデルの推算値でもバラツキは大きく、適切な補正が必要となる。

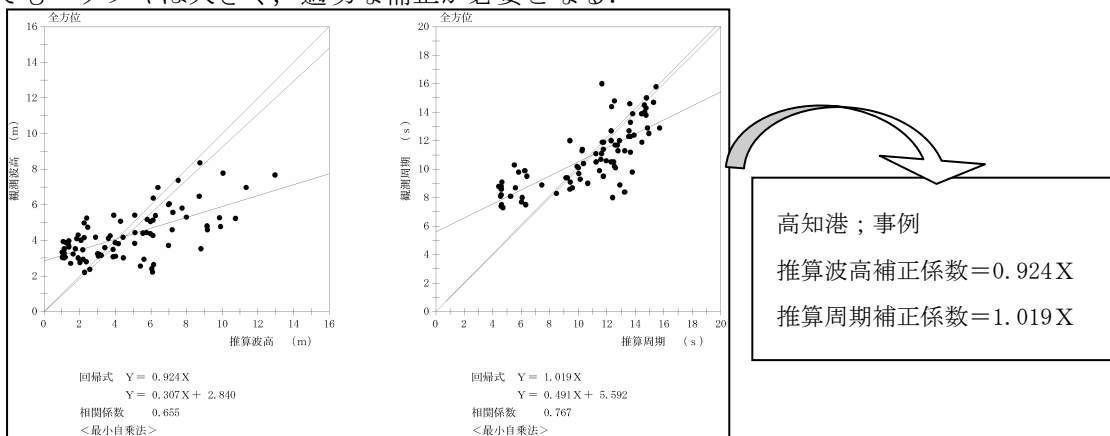


図 2. 推算値と観測値の関係(高知港)

3. 2, 瀬戸内海沿岸域

瀬戸内海における波浪観測地点は少なく地形も複雑なため、太平洋側のように観測値による推算波浪の補正は好ましくない。そのため、推算風を面的に補正することで対応することとした。しかし、海上風観測地点は数地点しか存在せず、その位置も偏っている。それに対してG P V (気象庁が陸上地形の影響を考慮して作成している気象数値予報格子点値; 10km 格子間隔) を使用すると面的な補正が可能となる。観測風とG P Vの比較を行い、G P Vを補正した値を、推算風速との検証に使用した。

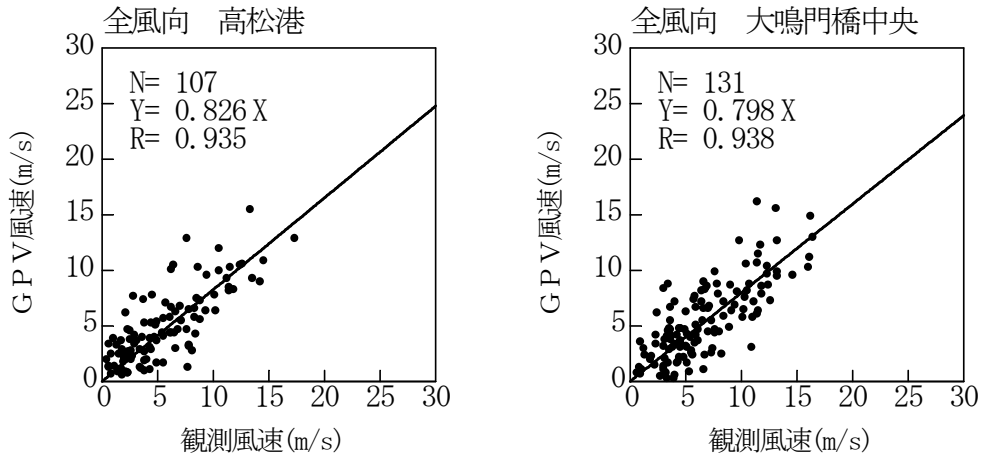


図3. G P Vと観測風の関係

推算値と観測値の整合を図ることは、波浪推算結果の活用のために非常に重要な作業となるが、太平洋沿岸域は、波浪観測値と整合させることで、瀬戸内海沿岸域も、観測期間は短い引田・今治の波浪観測値で最終的に推算精度の検証を行い、波浪観測値と整合させている。このような処理を行うことで、四国沿岸域の波浪推算結果を実用上問題のない精度とすることが出来た。

4, システム概要

1950年～2003年の気象擾乱(約300擾乱)の波浪推算を行い、計算格子毎の推算値をデータベース化している。そのデータを使用して、任意地点の波浪推算結果を極値統計解析することで、確率沖波を算定するシステムである。

四国沿岸域の離島を含む全港湾の確率沖波を算定出来るほか、計算領域の任意地点の算定を行うことも可能なため、港湾以外の海岸部分での活用も可能である。

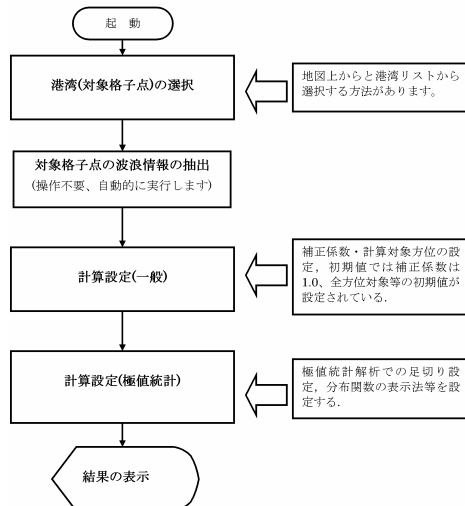


図4. 操作フロー図

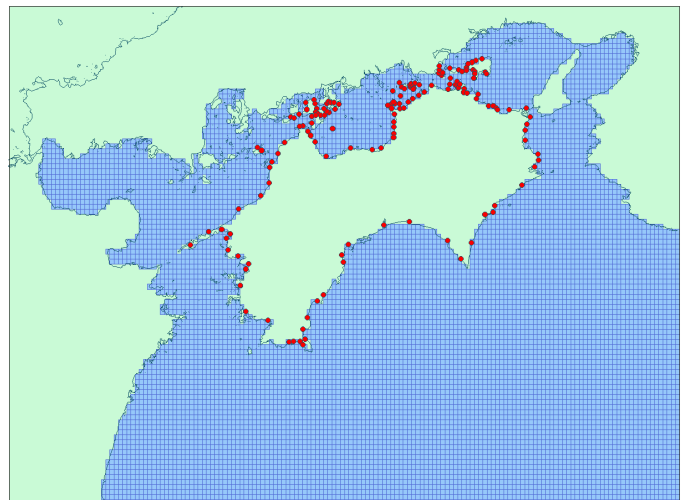


図5. データ領域及び港湾位置図

出力内容は、確率沖波表示のほかにも計算格子毎に、擾乱毎の16方位波浪推算値を表示出来る。また、必要に応じ推算結果の補正等を行える機能を備える。

高知港		確率沖波算定結果一覧 (再現期間 50年)																凡例																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		極大値統計 離岸沖波								等最大値統計 離岸沖波								上段: M/R 値																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		方位								方位								中段: 波高(m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		方位								方位								下段: 周期(s)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>方位</th> <th>極大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>等最大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>方位</th> <th>極大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>等最大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>方位</th> <th>極大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>等最大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>方位</th> <th>極大値統計</th> <th>離岸沖波</th> <th>等最大値統計</th> <th>離岸沖波</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>6.388</td> <td>3.852</td> <td>5.473</td> <td>4.971</td> <td>2.00</td> <td>2.50</td> <td>3.21</td> <td>3.80</td> <td>20.00</td> <td>分</td> <td>0.71</td> <td>1.00</td> <td>1.40</td> <td>2.00</td> <td>2.30</td> <td>3.21</td> <td>3.80</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>E NE</td> <td>1.570</td> <td>1.023</td> <td>1.388</td> <td>1.301</td> <td>3.45</td> <td>4.05</td> <td>4.78</td> <td>5.32</td> <td>4.30</td> <td>4.12</td> <td>4.43</td> <td>4.58</td> <td>4.69</td> <td>4.15</td> <td>4.40</td> <td>4.56</td> <td>4.65</td> <td>4.85</td> <td>4.95</td> </tr> <tr> <td>NE</td> <td>1.748</td> <td>1.066</td> <td>1.356</td> <td>1.301</td> <td>4.22</td> <td>4.82</td> <td>5.55</td> <td>6.09</td> <td>4.95</td> <td>4.77</td> <td>5.08</td> <td>5.23</td> <td>5.34</td> <td>4.80</td> <td>5.05</td> <td>5.21</td> <td>5.30</td> <td>5.50</td> <td>5.60</td> </tr> <tr> <td>NNE</td> <td>0.918</td> <td>0.744</td> <td>1.033</td> <td>1.023</td> <td>1.041</td> <td>1.093</td> <td>1.150</td> <td>1.210</td> <td>1.270</td> <td>1.330</td> <td>1.390</td> <td>1.450</td> <td>1.510</td> <td>1.570</td> <td>1.630</td> <td>1.690</td> <td>1.750</td> <td>1.810</td> <td>1.870</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>0.960</td> <td>0.786</td> <td>1.075</td> <td>1.065</td> <td>1.083</td> <td>1.135</td> <td>1.190</td> <td>1.245</td> <td>1.300</td> <td>1.355</td> <td>1.410</td> <td>1.465</td> <td>1.520</td> <td>1.575</td> <td>1.630</td> <td>1.685</td> <td>1.740</td> <td>1.795</td> <td>1.850</td> </tr> <tr> <td>NW</td> <td>0.662</td> <td>0.504</td> <td>1.140</td> <td>1.050</td> <td>0.850</td> <td>0.920</td> <td>1.010</td> <td>1.100</td> <td>1.190</td> <td>1.280</td> <td>1.370</td> <td>1.460</td> <td>1.550</td> <td>1.640</td> <td>1.730</td> <td>1.820</td> <td>1.910</td> <td>2.000</td> <td>2.090</td> </tr> <tr> <td>NW</td> <td>0.800</td> <td>0.600</td> <td>1.122</td> <td>1.050</td> <td>0.850</td> <td>0.920</td> <td>1.010</td> <td>1.100</td> <td>1.190</td> <td>1.280</td> <td>1.370</td> <td>1.460</td> <td>1.550</td> <td>1.640</td> <td>1.730</td> <td>1.820</td> <td>1.910</td> <td>2.000</td> <td>2.090</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>2.242</td> <td>1.098</td> <td>2.027</td> <td>2.027</td> <td>2.146</td> <td>2.146</td> <td>2.265</td> <td>2.265</td> <td>2.384</td> <td>2.384</td> <td>2.503</td> <td>2.503</td> <td>2.622</td> <td>2.622</td> <td>2.741</td> <td>2.741</td> <td>2.860</td> <td>2.860</td> <td>2.979</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>2.492</td> <td>1.098</td> <td>2.027</td> <td>2.027</td> <td>2.146</td> <td>2.146</td> <td>2.265</td> <td>2.265</td> <td>2.384</td> <td>2.384</td> <td>2.503</td> <td>2.503</td> <td>2.622</td> <td>2.622</td> <td>2.741</td> <td>2.741</td> <td>2.860</td> <td>2.860</td> <td>2.979</td> </tr> <tr> <td>WSW</td> <td>0.499</td> <td>0.712</td> <td>1.023</td> <td>1.023</td> <td>0.814</td> <td>0.823</td> <td>0.832</td> <td>0.841</td> <td>0.850</td> <td>0.859</td> <td>0.868</td> <td>0.877</td> <td>0.886</td> <td>0.895</td> <td>0.904</td> <td>0.913</td> <td>0.922</td> <td>0.931</td> <td>0.940</td> </tr> <tr> <td>SW</td> <td>1.498</td> <td>1.141</td> <td>1.200</td> <td>1.200</td> <td>0.853</td> <td>0.862</td> <td>0.871</td> <td>0.880</td> <td>0.889</td> <td>0.898</td> <td>0.907</td> <td>0.916</td> <td>0.925</td> <td>0.934</td> <td>0.943</td> <td>0.952</td> <td>0.961</td> <td>0.970</td> <td>0.979</td> </tr> <tr> <td>SSW</td> <td>0.850</td> <td>0.971</td> <td>1.092</td> <td>1.092</td> <td>0.804</td> <td>0.813</td> <td>0.822</td> <td>0.831</td> <td>0.840</td> <td>0.849</td> <td>0.858</td> <td>0.867</td> <td>0.876</td> <td>0.885</td> <td>0.894</td> <td>0.903</td> <td>0.912</td> <td>0.921</td> <td>0.930</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>0.843</td> <td>0.964</td> <td>1.085</td> <td>1.085</td> <td>0.804</td> <td>0.813</td> <td>0.822</td> <td>0.831</td> <td>0.840</td> <td>0.849</td> <td>0.858</td> <td>0.867</td> <td>0.876</td> <td>0.885</td> <td>0.894</td> <td>0.903</td> <td>0.912</td> <td>0.921</td> <td>0.930</td> </tr> <tr> <td>SSE</td> <td>1.838</td> <td>1.024</td> <td>1.702</td> <td>1.702</td> <td>0.804</td> <td>0.813</td> <td>0.822</td> <td>0.831</td> <td>0.840</td> <td>0.849</td> <td>0.858</td> <td>0.867</td> <td>0.876</td> <td>0.885</td> <td>0.894</td> <td>0.903</td> <td>0.912</td> <td>0.921</td> <td>0.930</td> </tr> <tr> <td>ESE</td> <td>0.800</td> <td>1.18</td> <td>1.358</td> <td>1.358</td> <td>0.804</td> <td>0.813</td> <td>0.822</td> <td>0.831</td> <td>0.840</td> <td>0.849</td> <td>0.858</td> <td>0.867</td> <td>0.876</td> <td>0.885</td> <td>0.894</td> <td>0.903</td> <td>0.912</td> <td>0.921</td> <td>0.930</td> </tr> <tr> <td>方位別</td> <td>0.800</td> <td>1.18</td> <td>1.358</td> <td>1.358</td> <td>0.804</td> <td>0.813</td> <td>0.822</td> <td>0.831</td> <td>0.840</td> <td>0.849</td> <td>0.858</td> <td>0.867</td> <td>0.876</td> <td>0.885</td> <td>0.894</td> <td>0.903</td> <td>0.912</td> <td>0.921</td> <td>0.930</td> </tr> </tbody> </table>																方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	E	6.388	3.852	5.473	4.971	2.00	2.50	3.21	3.80	20.00	分	0.71	1.00	1.40	2.00	2.30	3.21	3.80	10.00	10.00	E NE	1.570	1.023	1.388	1.301	3.45	4.05	4.78	5.32	4.30	4.12	4.43	4.58	4.69	4.15	4.40	4.56	4.65	4.85	4.95	NE	1.748	1.066	1.356	1.301	4.22	4.82	5.55	6.09	4.95	4.77	5.08	5.23	5.34	4.80	5.05	5.21	5.30	5.50	5.60	NNE	0.918	0.744	1.033	1.023	1.041	1.093	1.150	1.210	1.270	1.330	1.390	1.450	1.510	1.570	1.630	1.690	1.750	1.810	1.870	N	0.960	0.786	1.075	1.065	1.083	1.135	1.190	1.245	1.300	1.355	1.410	1.465	1.520	1.575	1.630	1.685	1.740	1.795	1.850	NW	0.662	0.504	1.140	1.050	0.850	0.920	1.010	1.100	1.190	1.280	1.370	1.460	1.550	1.640	1.730	1.820	1.910	2.000	2.090	NW	0.800	0.600	1.122	1.050	0.850	0.920	1.010	1.100	1.190	1.280	1.370	1.460	1.550	1.640	1.730	1.820	1.910	2.000	2.090	W	2.242	1.098	2.027	2.027	2.146	2.146	2.265	2.265	2.384	2.384	2.503	2.503	2.622	2.622	2.741	2.741	2.860	2.860	2.979	W	2.492	1.098	2.027	2.027	2.146	2.146	2.265	2.265	2.384	2.384	2.503	2.503	2.622	2.622	2.741	2.741	2.860	2.860	2.979	WSW	0.499	0.712	1.023	1.023	0.814	0.823	0.832	0.841	0.850	0.859	0.868	0.877	0.886	0.895	0.904	0.913	0.922	0.931	0.940	SW	1.498	1.141	1.200	1.200	0.853	0.862	0.871	0.880	0.889	0.898	0.907	0.916	0.925	0.934	0.943	0.952	0.961	0.970	0.979	SSW	0.850	0.971	1.092	1.092	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930	S	0.843	0.964	1.085	1.085	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930	SSE	1.838	1.024	1.702	1.702	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930	ESE	0.800	1.18	1.358	1.358	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930	方位別	0.800	1.18	1.358	1.358	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930
方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波	方位	極大値統計	離岸沖波	等最大値統計	離岸沖波																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
E	6.388	3.852	5.473	4.971	2.00	2.50	3.21	3.80	20.00	分	0.71	1.00	1.40	2.00	2.30	3.21	3.80	10.00	10.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
E NE	1.570	1.023	1.388	1.301	3.45	4.05	4.78	5.32	4.30	4.12	4.43	4.58	4.69	4.15	4.40	4.56	4.65	4.85	4.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NE	1.748	1.066	1.356	1.301	4.22	4.82	5.55	6.09	4.95	4.77	5.08	5.23	5.34	4.80	5.05	5.21	5.30	5.50	5.60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NNE	0.918	0.744	1.033	1.023	1.041	1.093	1.150	1.210	1.270	1.330	1.390	1.450	1.510	1.570	1.630	1.690	1.750	1.810	1.870																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
N	0.960	0.786	1.075	1.065	1.083	1.135	1.190	1.245	1.300	1.355	1.410	1.465	1.520	1.575	1.630	1.685	1.740	1.795	1.850																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NW	0.662	0.504	1.140	1.050	0.850	0.920	1.010	1.100	1.190	1.280	1.370	1.460	1.550	1.640	1.730	1.820	1.910	2.000	2.090																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
NW	0.800	0.600	1.122	1.050	0.850	0.920	1.010	1.100	1.190	1.280	1.370	1.460	1.550	1.640	1.730	1.820	1.910	2.000	2.090																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
W	2.242	1.098	2.027	2.027	2.146	2.146	2.265	2.265	2.384	2.384	2.503	2.503	2.622	2.622	2.741	2.741	2.860	2.860	2.979																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
W	2.492	1.098	2.027	2.027	2.146	2.146	2.265	2.265	2.384	2.384	2.503	2.503	2.622	2.622	2.741	2.741	2.860	2.860	2.979																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
WSW	0.499	0.712	1.023	1.023	0.814	0.823	0.832	0.841	0.850	0.859	0.868	0.877	0.886	0.895	0.904	0.913	0.922	0.931	0.940																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SW	1.498	1.141	1.200	1.200	0.853	0.862	0.871	0.880	0.889	0.898	0.907	0.916	0.925	0.934	0.943	0.952	0.961	0.970	0.979																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SSW	0.850	0.971	1.092	1.092	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
S	0.843	0.964	1.085	1.085	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SSE	1.838	1.024	1.702	1.702	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
ESE	0.800	1.18	1.358	1.358	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
方位別	0.800	1.18	1.358	1.358	0.804	0.813	0.822	0.831	0.840	0.849	0.858	0.867	0.876	0.885	0.894	0.903	0.912	0.921	0.930																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

表3. 確率沖波算定結果一覧表

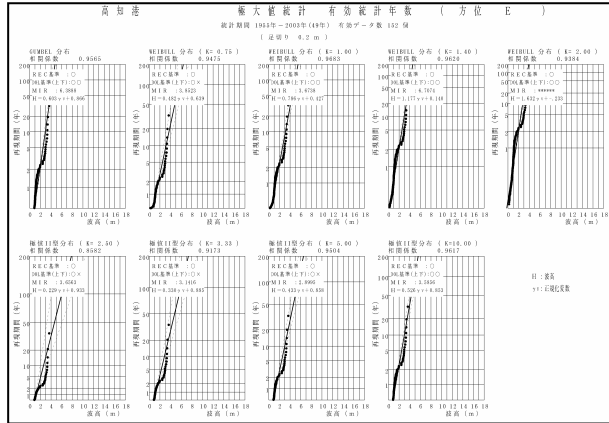


表4. 極値統計解析グラフ

5. さいごに

今後はシステムを広く公開し普及を図る，活用方針は以下に示す。

- 「四国の全沿岸域の確率沖波は、本システムで一元化」
- 「被災原因の究明と、復旧断面作成へ活用」
- 「防護ライン設定及び見直しへ活用」
- 「信頼性設計に対応するための極値波浪情報として活用」

今後の課題としては、波浪観測値がなく推算精度の検証が行われていない海域で観測値を得られる機会があれば、検証を行い推算結果の精度を上げていくと共に、波浪推算モデル自体の精度向上を図る。また、新たな気象擾乱の蓄積による、データベースの定期的な更新を図る。

現在、全国的に第三代モデルによる波浪推算が行われている状況の中で、一般に広く公開し活用するためのシステムは、全国でも例がない。四国は海岸線も長く、台風による高波の被害も非常に多い。今後、波浪を扱う行政にとって、本システムが重要なツールとなることを期待する。