

II-477

粗視度に対応させた統計量による海岸線形状と津波高さの解析

神戸市役所 正会員○中林孝英
東北大学工学部 正会員 今村文彦

1. はじめに 一見複雑で不規則であると思われる形状や現象でも、ある構造を持ち単純な指標で表わせるものもある。例えば、リアス式海岸線、流路網、樹木の枝構造などは自己相似性(フラクタル次元)で説明されている。三陸海岸などへ押し寄せる津波の高さも沿岸での地形に影響され複雑な分布を持つが、その分布特性や地形との関連性については未だ論議されていない。本研究では、粗視度の違いによる統計量の変化に注目し、海岸線及び津波高さ分布の複雑さと構造を解析し、その関連性を検討する。

2. 海岸線形状の線分長さや方向 対象海岸線として図-1下に示す三陸海岸を取り上げた。平面上の位置は2つの自由度により構成されている。海岸線を構成する線分を考えると、1つは線分長さで、もう1つは方向となる。前者に注目して海岸線形状を解析する方法が、拡張フラクタル次元(Dm)の解析方法の1つにある。今村らの方法(1990)によりこの次元を求めた結果が図-2の丸印である。次元が1.0に近いほど1次元的な直線であり、大きくなるにつれて複雑さを増す。平面上での関数であるので2.0を越えることはない。

一方、後者については議論されてなく、前者と関連性があるのか独立なのかも分からない。ここでは方向として方向角を考え、粗視度に対応させた各統計量を求めた。結果を図-3に示す。図-2の次元と比べると変動係数が極めて類似しており、尖度が逆の傾向を持ち、ひずみ係数は相関が低いことが分かる。この結果から長さの変化と方向のばらつきは相関があり、変動係数はDmの代用となり得るであろう。

3. 津波高さ分布の特性 対象津波は1968年十勝沖地震津波と1960年のチリ地震津波であり、三陸に襲った代表的な近地と遠地津波である。図-1の津波高さは数値計算(高さは沿岸に沿って200m毎にある)による結果である。

①分布関数による解析 ここでは、津波高さのスケールの違いによる存在確率(分布関数)の変化を調べる。一般にスケールを変えても構造が変化しない性質を持つものが自己相似性(フラクタル性)であり、この条件を満たす関数型は分布関数がべき型に限られる。図-4に示す存在確率の勾配が、フラクタル次元を表わす。平均値以上の値に関しては次元が存在するが、ばらつきが大きく、自己相似性を持つとは言えない。

②自己相関関数による解析 一方、基本的な統計量の1つに相関関数があり、その関数型から分布特性を調べることが出来る。特徴的な長さを持たない自己相関関数は相関の落ち方はいつも同じであり、やはりべき乗の関数になる。津波高さ分布の自己相関性を図-5に示すが、自己相似性を有しているとは言いがたく、十勝沖津波では20km毎に、チリ津波では40km毎に相関が高くなっている。すなわち、このスケールで周期性(特性)を持つことが示されている。図-2 拡張フラクタル次元(丸印)と標準偏差変化率

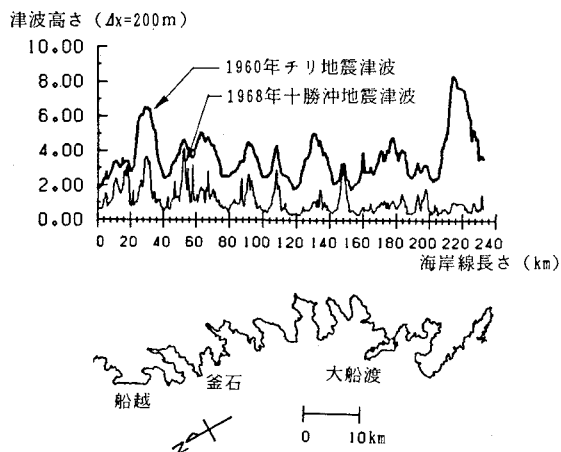


図-1 海岸線形状(下)と津波高さ分布(上)

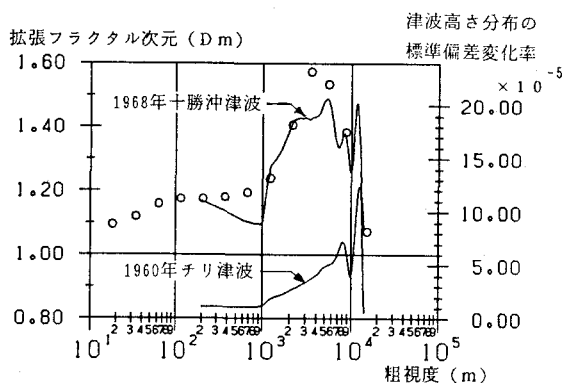


図-2 拡張フラクタル次元(丸印)と標準偏差変化率

4. 海岸線形状と津波高さ分布との関連

①湾内振動 湾の形状に依存する固有振動周期と津波の入射波周期が近いとき、共鳴現象を生じて湾奥波高が増幅する。一般には1つの湾内での振動を考えればよいが、いくつかの湾が隣合って存在する場合には湾と湾との振動現象もあると考えられ、後者の方がここでは顕著となる。

まず、海岸線形状から振動現象の生じるスケールを見積る。図-2に示された D_m は5km付近で卓越した値を示し、これは海岸線形状の中でこのスケールが支配的であることを意味する。従って、このスケールを持つ湾の大きさを5kmで代表させると、隣同志の湾奥の間隔は2倍の10kmとなる。しかし、ここで用いた津波高さの間隔が200mであるので、粗視度の差（5kmと200m）によって生じる倍率約2.0倍を乗じる必要がある。これにより、湾奥の間隔すなわち振動現象の生じるスケールは約20kmとなる。

次に、津波の入射波長との関係調べる。図-5との比較があるため、ここでは波長に置き換えて議論する。十勝沖津波、チリ津波の周期は、15分、60分であり、湾内での平均水深は50m程度であるので、それぞれ湾内の波長は20km、80kmとなる。一方、湾と湾との固有振動は両端が腹になる重複波となるので、その固有振動波長は $N/2 \times L$ ($N=0, 1, 2, \dots$, L : 波長) となり、十勝、チリの場合、それぞれ10km、40km毎の固有振動波長をとる。以上から、この湾と湾とのスケールは20kmであることを考慮に入れると、十勝、チリで20km、40km毎に振動現象が卓越すると予想され、実際に図-5の結果と一致する。

②津波高さの変動係数との関係 海岸線形状の指標である拡張7次元と対応を調べる。そのためには、先ほどの分布関数や相関関数などのように津波高さ自体のスケールの違いでなく、海岸線のスケール（粗視度）の違いを調べる必要がある。そこで、図-1の津波高さ分布の移動平均を行い、その変動係数の変化を調べた。その結果を図-2中実線に示す。海岸線の拡張7次元と比べると、十勝沖津波は粗視度4kmから5kmで最大値を示し分布が似ている。チリ津波の方は最大値をとる粗視度こそ右にずれているが同様な傾向を示す。チリ津波は周期が長いために、変動係数の最大値はさらに大きいことによる。このように津波高さの分散（変動係数）を見ると、海岸線の拡張7次元との関連性があるものと考えられる。

5. おわりに ある代表的粗視度が海岸線で卓越する場合に、津波高さは自己相似性は成立しにくく、むしろある距離間隔で周期性を持ち、これは湾の間での共振現象で説明がつくと思われる。海岸線と津波高さの指標として、それぞれ拡張7次元と変動係数の変化率が考えられ、お互いに関連性があるようである。

参考文献：今村・西山(1990)、海岸工学論文第37巻。

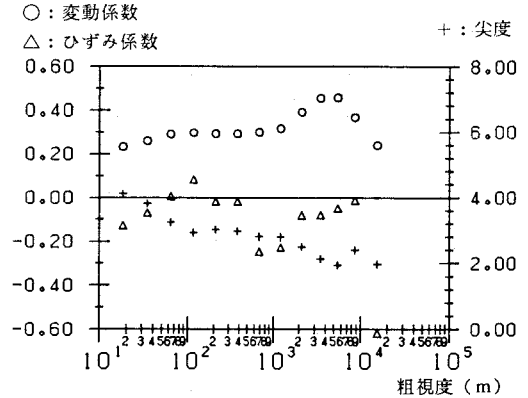


図-3 方向角の統計量

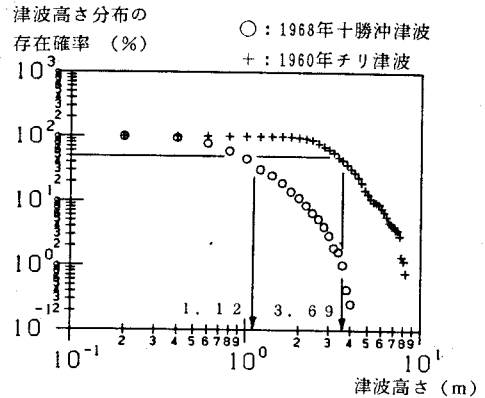


図-4 津波高さの分布関数

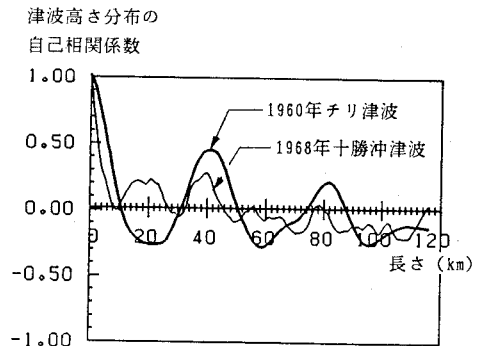


図-5 津波高さの自己相関関数