

砕波帯における浮遊砂の観測

愛媛大学大学院 学生員 〇栗原 薫
愛媛大学工学部 正 員 伊福 誠
愛媛大学工学部 正 員 柿沼忠男

1 はじめに 漂砂輸送の大部分は砕波帯において生じているといわれているが、砕波帯内の水理現象の複雑さおよびその測定の困難さなどの理由により、現地観測に基づく砕波帯での浮遊砂に関する研究は極めて少ないのが現状である。こうしたことから、本研究は、1983年1月8日、愛媛県松山市の梅津寺海岸において海岸堤防から沖合120m、平均水深2.03mの地点に設置した電磁誘導型流速計3台(内1台圧力計内蔵)および散乱光方式濁度計で得た波浪、流速および浮遊砂濃度資料を解析して砕波帯における浮遊砂の特性を明らかにしようとしたものである。流速計センサは、それぞれ海底上7、65.5、98.5cm、圧力計および濁度計は、それぞれ、72.5および4cmの高さにある。さらに1980および1982年に愛媛県伊予市中予海岸の砕波帯外(平均水深6.5m)および砕波帯内(平均水深1.52m)で得た波浪および流速資料をもとに砕波帯内外での乱れの構造を明らかにし、Prandtlの運動量輸送理論に基づいて鉛直渦動粘性係数を求めようとしたものである。なお、両海岸における砕波型式はspilling型である。

2. 解析結果 浮遊砂濃度およびKármánの定数: 図-1は圧力変動、岸沖方向の下部の流速、浮遊砂濃度および岸沖浮遊漂砂量の経時変化を示したものである。この図を見ると、圧力変動が大きいところで岸沖方向の流速変動も大きくなり、それに伴い浮遊砂濃度および岸沖浮遊漂砂量も大きくなっている。また、観測期間中の海底上4cmの高さでの浮遊砂濃度が250ppm以上であることから、砕波帯ではシルトあるいは比較的粒径の小さい砂粒子が常に浮遊していると考えられる。また、海底から4cmの高さでの浮遊砂濃度から志村(1957)に従って求めたKármánの定数はほぼ0.36であり純水の場合のそれより10%程度小さいことがわかった。

乱れの定義: 砕波の乱れをどのように定義するかが問題となるが、ここでは岩垣ら(1981)に従い波動成分分離法を使用して乱れを抽出した。波動成分分離法を使用し乱れを定義する際に、どの周波数帯を波動成分と見なすかが問題となる。砕波のパワースペクトルをみるとピーク周波数より低周波数側にかなり大きなエネルギー密度を持つ周波数帯があり、これをどう取り扱うかによって乱れの大きさが異なってくる。そこで本研究では、水粒子速度記録をFFT法によりフーリエ級数展開し、波動成分のピーク周波数の2倍周波数成分を持つエネルギー密度より高いエネルギー密度を持つ周波数帯を取り出し再合成したものを平均流速と定義した。図-2は上部の岸沖方向、下部の岸沖方向、鉛直方向および沿岸方向の濾波前の水粒子速度(細い実線)および上述の方法で求めた濾波後の水粒子速度(太い実線)を示したものである。

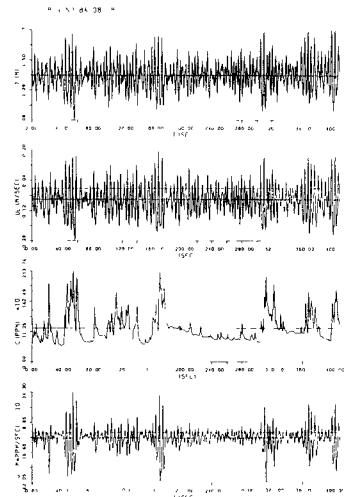


図-1 圧力変動、岸沖方向の下部の流速、浮遊砂濃度および岸沖浮遊漂砂量の経時変化

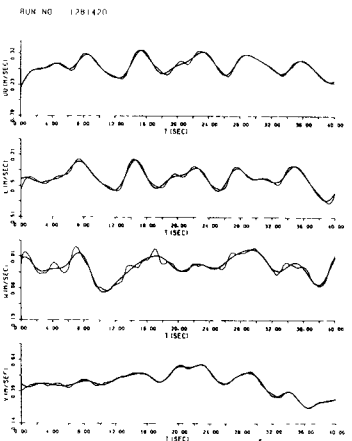


図-2 上部岸沖方向、下部の岸沖方向、鉛直方向および沿岸方向の濾波前および濾波後の水粒子速度

乱れの強度およびレイノルズ応力：上述した方法により求めた砕波および非砕波の岸沖方向水粒子速度の乱れの強度と鉛直方向水粒子速度のそれとの関係を示したものが図-3である。これより式(1)の関係を導いた。

$$\frac{\sqrt{w'}}{c} = 0.34 \left(\frac{\sqrt{u'}}{c} \right)^{1.03} \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 u' および w' は、それぞれ岸沖方向および鉛直方向水粒子速度の乱れ速度である。 c は波速であり、非砕波および砕波では、それぞれ、微小振幅波理論および孤立波理論により求めた。鉛直方向の乱れの強度は岸沖方向のそれが大きくなるにつれて大きくなり、岸沖方向のほぼ0.3倍であることがわかる。図-4は、岸沖方向および鉛直方向水粒子速度の乱れの強度の積 $\sqrt{u'} \sqrt{w'}$ とレイノルズ応力 $-\overline{u'w'}$ との関係を示したものである。これより式(2)の関係を導いた。

$$-\frac{\overline{u'w'}}{c^2} = 0.66 \left(\frac{\sqrt{u'} \sqrt{w'}}{c^2} \right)^{0.99} \quad \text{----- (2)}$$

レイノルズ応力は岸沖方向および鉛直方向の乱れの強度の積が大きくなるにつれて大きくなり、乱れの強度の積のほぼ0.7倍であることがわかる。式(1)を式(2)に代入すると式(3)となる。

$$-\frac{\overline{u'w'}}{c^2} = 0.23 \left(\frac{\sqrt{u'}}{c^2} \right)^{1.01} \quad \text{----- (3)}$$

混合距離および鉛直渦動粘性係数：Prandtlの運動量理論から、混合距離 l および鉛直渦動粘性係数 ε_z は、それぞれ、式(4)および式(5)で与えられる。

$$l = \sqrt{\frac{-\overline{u'w'}}{\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}}} \quad \text{----- (4)}, \quad \varepsilon_z = l^2 \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right| \quad \text{----- (5)}$$

ここで、Kármánの仮定から混合距離を式(6)で表わすと、鉛直渦動粘性係数 ε_{zk} は式(7)となる。

$$l = \frac{\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}}{\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}} \quad \text{----- (6)}, \quad \varepsilon_{zk} = K^2 \frac{\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^2}{\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right)^2} \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right| \quad \text{----- (7)}$$

ここで、 K はKármánの定数である。

さらに、岸沖方向および鉛直方向の水粒子速度から得た式(3)と式(4)および式(5)から鉛直渦動粘性係数 ε_{ze} が式(8)で求まる。

$$\varepsilon_{ze} = \frac{0.23 \left(\frac{\sqrt{u'}}{c^2} \right)^{1.01} c^2}{\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}} \quad \text{----- (8)}$$

図-5は、岸沖方向および鉛直方向水粒子速度から経験的に求めた鉛直渦動粘性係数 ε_{ze} およびKármánの仮定より求めたそれ ε_{zk} の関係を示したものである。なお、 ε_{ze} は上部と中間部および中間部と下部の乱れの強度から求めた鉛直渦動粘性係数の平均値である。また、式(8)中のKármánの定数は、浮遊砂濃度より求めた0.36を使用した。これを見ると、経験式より求めた鉛直渦動粘性係数は、Kármánの仮定より求めたもののほぼ0.2～0.7倍であることがわかる。

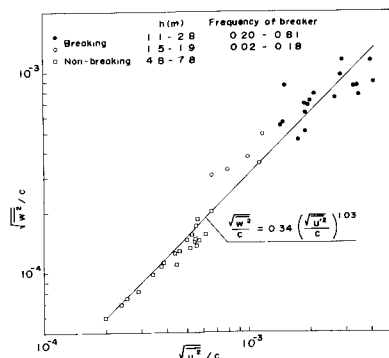


図-3 砕波および非砕波の岸沖方向水粒子速度の乱れの強度と鉛直方向のそれとの関係

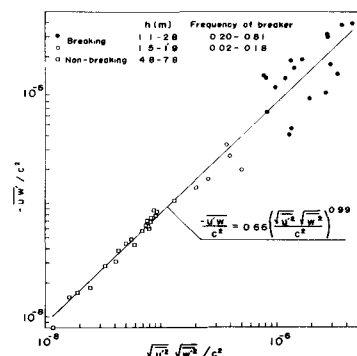


図-4 岸沖方向および鉛直方向水粒子速度の乱れの強度の積とレイノルズ応力との関係

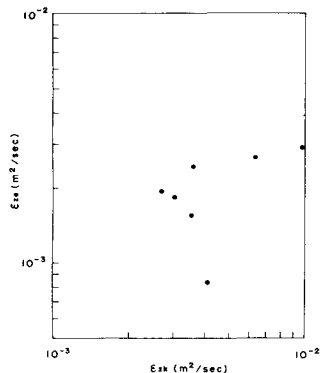


図-5 ε_{ze} と ε_{zk} との関係