

砕波帯の乱れの位相変化

京都大学工学部 正員 酒井哲郎, 鹿島建設 正員 〇多田幸夫, 大阪府 尾花英次郎

1. まえがき 砕波による乱れの、波の一周期内での位相変化に関しては、これまで若干の実験データとモデルが報告されているものの、その検討はほとんどなされていない。本研究では、現在入手し得る実験データをもとに、波の一周期内での砕波による乱れの位相変化の特性を議論するとともに、既存のモデルを用いた計算結果と比較して、各モデルの特徴および問題点について考察を行う。

2. 実験結果および計算結果 乱れの位相変化に関する Stive(1980)および酒井・稲田(1982)の実験データをもとに、波の一周期内での乱れ強度の位相変化を求めた。図-1中の太い実線は、その結果の例(Stive, test 2, $x=36.5\text{m}$)である。これより、波の進行方向の乱れ強度 u'_{rms} の位相変化は、波の峰の位相あるいはその直後における急激な増加減少部分と、その後の緩やかな減少部分から成っているように思われる。またそのような変化の傾向は、下方にいくにしたがって顕著でなくなり、乱れ強度の最大値の位相にも遅れが生じるように思われる。次に、図-1の破線は酒井・稲田(1982)の turbulent wake 理論を延用したモデルによる計算結果を示している。彼らは波の峰の位相を原点として、各位相での乱れの鉛直分布を次式で与えている。

$$\langle u'_{rms} \rangle(z) = \langle u'_{rms} \rangle(t) \cdot \gamma \{(\eta - z)/l\} \quad (1)$$

ここに η は静水面からの水位、 l は鉛直方向の長さスケール、 z は静水面を原点とし鉛直上向きを正とする座標である。 γ の具体的な関数形は次式で与えられる。

$$\gamma \{(\eta - z)/l\} = \begin{cases} (\eta - z)/l \cdot \exp [1/2 \{(\eta - z)/l\}^2 - 1/2] ; & (\eta - z)/l \geq 1.0 \\ 1.0 & ; 0 \leq (\eta - z)/l < 1.0 \end{cases} \quad (2)$$

l は, turbulent wake 理論にしたがって位相の1/2乗に比例して増加するものとする。 $\langle u'_{rms} \rangle(t)$ は波の峰の位相と乱れの最も弱くなる位相での乱れ強度の値を用いて計算され、位相の1/2乗に逆比例する、各位相での代表的な乱れの強さである。彼らのモデルは乱れ強度の位相変化の全体的な傾向および値をほぼ説明しているが、適用範囲では turbulent wake 理論の self preservation の仮定が成立しないこと、波の峰および乱れの最も弱くなる位相での実測値を用いていることなどの問題点がある。次に図-1の一点鎖線は、Deigaardら(1986)によるモデルの計算結果である。彼らは乱れの運動エネルギーの輸送方程式として次式を用い、乱れ強度の位相変化を計算した。

$$\partial k / \partial t = \partial / \partial y \cdot (\varepsilon / \sigma_k \cdot \partial k / \partial y) + \text{PROD} / \rho - C_d k^{3/2} / l \quad (3)$$

ここに ε は渦動粘性係数、 σ_k 、 C_d は定数である。また PROD は乱れのエネルギーの生産量であり、次式で与えている。

$$\text{PROD} = E_{\text{loss}} \cdot 36 / (H \beta T)^2 \cdot z(1 - z/H) \cdot t(1 - t/\beta T) \quad (4)$$

ここに E_{loss} は波高と同じ高さを有する跳水のエネルギー損失、 H は波高、 T は周期、 β は定数である。彼らのモデルは全体的な傾向と値をほぼ説明しているが、数値計算の労力の割には酒井・稲田(1982)と同程度に終わっている。Svendsen(1987)は、彼らが計算した時間平均した乱れのエネルギーの鉛直分布が、Stive, test 2 の実験結果と比べ、その勾配が急であり値も大きいことの原因として、式(3)では移流項を無視していることを指摘している。しかしそれ以外にも、彼らの用いた境界条件(底面での乱れエネルギーが0)や式(3)での生産項の見積りにも問題があるように思われる。最後に図-1の細い実線は Svendsen(1987)のモデルによる計算結果を示している。彼は乱流輸送の一方程式モデル(式(3))において消散項のみを考慮し、乱れ強度 $\sqrt{k}$ が最大値をとる位

Tetsuo SAKAI, Yukio TADA, Eijiro OBANA

相を原点として、その位相変化を次式で与えた。

$$\sqrt{k} = \sqrt{k_0} / (0.09 / 0.4h \cdot \sqrt{k_0} t + 1) \quad (5)$$

ここに $\sqrt{k_0}$ は乱れ強度の最大値である。彼のモデルでは、波の峰の位相付近での急激な増減は説明できないが、その後の緩やかな減少の勾配は説明できると思われる。

3. 乱流輸送の一方程式モデルにおける移流項および生産項の効果 Stive, test 2, $x=40.5\text{m}$ の実験データの $t/T = 0.025$ (波の峰の位相直後), $z = -1.8, -2.7, -3.7\text{cm}$ における乱れ強度の値を用いれば、Deigaardらのモデルの式(3)の各項の値は以下になる。

$$\begin{aligned} \partial k / \partial t &= 253.3 \text{ cm}^2 / \text{sec}^3, & \partial / \partial y \cdot (\varepsilon / \sigma_k \cdot \partial k / \partial y) &= 49.5 \text{ cm}^2 / \text{sec}^3, \\ \text{PROD} / \rho &= 5.74 \times 10^3 \text{ cm}^2 / \text{sec}^3, & -C_d \cdot k^{3/2} / l &= -69.9 \text{ cm}^2 / \text{sec}^3 \end{aligned}$$

まず Svendsen の指摘した移流項について、移流項が拡散項と同程度の効果を持つと仮定すれば、鉛直流速を v として次式が成り立つ。

$$-v \cdot \partial k / \partial y = \partial / \partial y \cdot (\varepsilon / \sigma_k \cdot \partial k / \partial y) \quad (6)$$

ここで上述の値を用いれば、

$-v = 1.7\text{cm/sec}$ を得る。実験データによれば同測定点での同位相付近の水平流速の値は $15\text{--}20\text{cm/sec}$ 程度であり、 v の値が先述の値をとる可能性は十分に考えられる。次に生産項については、上述の計算結果より、生産項が他の項に比べてきわめて大きい値をとっており、少なくとも波の峰の位相付近では生産項が支配的であることを示している。したがって乱流輸送方程式モデルでは生産項の効果を厳密に見積る必要があると考えられる。

4. 参考文献 ① Stive, M.J. F., (1980), Proc. 17th Conf. on Coastal Eng. ASCE, pp. 547-566, ② 酒井哲郎, 稲田義和, (1982), 第29回海岸工学講演会論文集, pp. 164-168, ③ Deigaard, R., J. Fredsøe and I. B. Hedegaard, (1986), Jour. of Coastal and Ocean Eng. ASCE, Vol. 112, No. 1, pp. 115-128, ④ Svendsen, I. A., (1987), JGR, Vol. 92, No. C5, pp. 5115-5124.

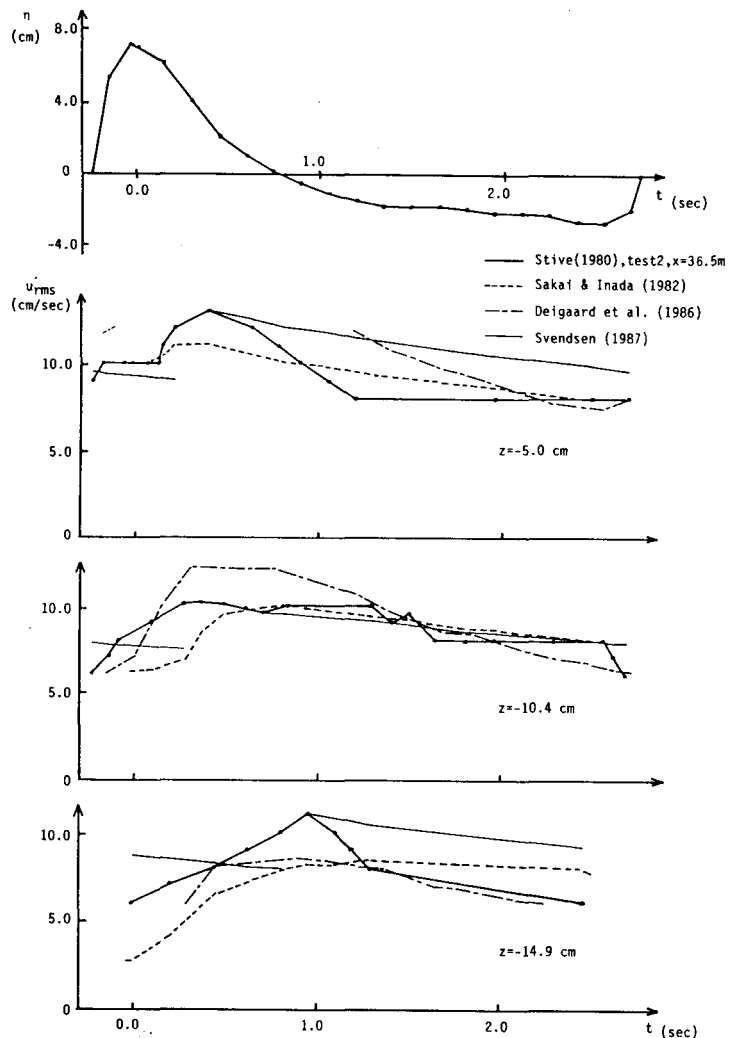


図-1 砕波帯の乱れ強度の位相変化の実測値とモデルの比較