# UVP による砕波波峰方向流速分布の計測

Measurements of Transverse Velocity Profiles in Breaking Waves by Using Ultrasonic Velocity Profiler (UVP)

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 大塚淳一 (Junichi Otsuka) 北海道大学准教授大学院工学研究科 正会員 渡部靖憲 (Yasunori Watanabe)

## 1. はじめに

砕波帯では連続する砕波ジェット着水によって極めて 複雑な三次元渦が生成され、それらは砕波帯の物質輸送 拡散に大きく寄与することが指摘されている. 近年, 砕 波に関する多くの研究(例えば Watanabe ら, 2005)によ って, 砕波帯の流速分布, 乱れおよび三次元渦構造の生 成発達機構が説明されているが、渦の長さ・速度スケー ルの遷移およびそれらを特徴付けるパラメータに関して は未だ解明されていない. これらを明らかにするために は,砕波ごとに異なる位置で発達する非再現的な瞬時三 次元渦分布とその特徴化を可能とする計測手法の開発が 必要であるといえる.著者ら(2006)は超音波放射軸上 の瞬時流速プロファイルを計測可能な Ultrasonic Velocity Profiler (UVP) によって砕波帯の波峰方向流速分布を計 測し、それらに対して Wavelet 波数スペクトル解析を行う ことにより、砕波遷移に伴う乱れおよび三次元渦スケー ルの時空間変化を特徴化している.

本研究は,著者ら(2006)が行った UVP を用いた波峰 方向流速分布の計測を砕波形式がそれぞれ異なる条件で 行い,各砕波形式における速度および乱れの時空間変化 について特徴化,定量化することを目的としている.

#### 2.実験装置と実験条件

実験は全長 8.00m, 幅 0.25m, 高さ 0.60m, 水路勾配 1/20 の小規模二次元造波水路で行った(図-1 参照).座 標系は砕波点の静水面から波の進行方向に x 軸, 側壁の 一端から水路横断方向を y 軸,静水面から鉛直方向を z 軸と定義した. UVP (UVP-DUO, Met-flow 社製) による 波峰方向流速分布の計測では、水路側壁(厚さ 15mm の アクリル製)の外側に設置した超音波トランスデューサ ーから水路横断方向(y方向)に超音波パルスを照射し, 両側壁間の超音波放射軸上 128 点(計測間隔 2.0mm)の 波峰方向流速をサンプリング周波数 50Hz で取得した.岸 沖方向の計測点は砕波ジェット着水点近傍,遷移領域, ボア領域とし、各計測点のトラフレベルから底面まで 2cm 間隔で計測を行った.計測回数は全計測点において 30回とし、アンサンブル平均ベースの乱流統計量を算出 した.本実験では全計測において造波開始から同一時刻 の流速を取得するため、造波板前面に設置した容量式波 高計が1 波目のゼロアップクロス信号を検知すると同時 に出力される TTL トリガー信号によって UVP を起動し た. また, 同一トリガー信号によって計測点上に設置し た別の容量式波高計を起動し、流速計測と同時に水位変 動の記録を行った.なお、本実験では水路アスペクト比 (水路幅と水深の比)が波峰方向流速分布の時空間変化



図-1 実験装置(小規模造波水路, (a); 側面図, (b); 平面図)

表-1 実験条件

	砕波波高 (cm)	周期 (s)	<b>砕波水深</b> (cm)	Surf similarity parameter	砕波形式
CASE 1	9.0	1.2	16.5	0.215	Spilling
CASE 2	13.6	1.4	17.5	0.253	Spilling- Plunging
CASE 3	11.7	2.5	12.1	0.555	Plunging
CASE 4	9.0	1.1	16.0	0.213	Spilling

に及ぼす影響を調べるため,全長 24.0m,幅 0.60m,高さ 1.00m,水路勾配 1/20 の中規模 2 次元造波水路において も同様に実験を行った(超音波放射軸上 128 点の計測間 隔は 4.4mm).小規模造波水路における実験条件は砕波 形式がそれぞれ異なる 3 ケース(表-1, CASE1-CASE3) とし,中規模造波水路では CASE1 とほぼ同一の Surf similarity parameter に設定した(表-1, CASE4).

なお、本論文では遷移領域のトラフレベルで計測され た結果について議論する.各ケースの砕波点から遷移領 域までの距離はそれぞれ 70 cm、70 cm、80cm、70cm で あり、水深は 13.0cm、14.0cm、8.1cm、13.0cm であった.

#### 3. 結果

図-2 は小規模造波水路で計測された各実験条件におけ る水位変動(上段),波峰方向流速分布の時系列(中 段),乱れエネルギー分布の時系列(下段)を示してい る((a)(b)(c); CASE1,(d)(e)(f); CASE2,(g)(h)(i); CASE3). 各ケースの砕波フロント通過後に水路中央部から両側壁 へ向かう波峰方向流速がトラフレベルに発生する(図-3(b)(e)(h)).また,底面近傍では両側壁から水路中央部 へ向かうトラフレベルとは正負が逆転する波峰方向流速 が発生することが確認された.著者ら(2006)は同一小 規模造波水路における比較的砕波規模の大きいケース

(Spilling-Plunging, Plunging) において本実験と同様な波 峰方向流速分布を取得し, さらにそれらに対して Wavelet



図-2 小規模造波水路で計測された各実験条件における水位変動(上段),波峰方向流速分布の時系列(中段),乱 れエネルギー分布の時系列(下段)((a)(b)(c); CASE1, (d)(e)(f); CASE2, (g)(h)(i): CASE3)

波数スペクトル解析を行うことにより、砕波フロント通 過後に水路側壁面,底面および水面を経由する一対のセ ル状循環流が発生することを示している.本実験では, 砕波規模が小さい Spilling (CASE1) においてセル状循環 流の発生を示す波峰方向流速分布が確認されたことから, 小規模造波水路では砕波規模に依存せず砕波フロント通 過後にセル状循環流が発生するものと推測できる. 乱れ エネルギー分布の時間変化は砕波形式によって大きく異 なり, Spilling (図-2(c)) では砕波フロント通過後に水路 横断方向に広く分布する比較的弱い乱れエネルギーが発 生し長時間継続する一方, Spilling-Plunging (図-2(f)) お よび Plunging (図-2(i)) では砕波フロント通過時に強い乱 れエネルギーが比較的短時間で発生する. Spilling-Plunging では強エネルギー領域が次の波が来襲するまで 空間的にパッチ状に現れるのに対して, Plunging では砕 波フロント通過時のみ強エネルギー領域が現れる.

図-3 は中規模造波水路で計測された水位変動(上段), 波峰方向流速分布の時系列(中段),乱れエネルギー分 布の時系列(下段)を示している.中規模造波水路の側 壁はガラス製であり,音響インピーダンスが大きく超音 波の伝播性が低下した.そのため,両側壁から約10cm ま での流速を取得できなかったが,水路中央部における波 峰方向流速が空間的に正負の細かい変動を示しているこ とから(図-3(b)),中規模造波水路ではセル状循環流は 発生しない,もしくはより高次(二対以上)のセル状循 環流が発生していると考えられる.また,Surf similarity parameter がほぼ等しい小規模造波水路の結果(図-2(b)(c))と比較した場合,水路アスペクト比が大きい中 規模造波水路のほうが流速、乱れ共にやや小さい値を示 すことが確認された(図-3(b)(c)).

# 4. 結 論

本研究で得られた主要な結論を以下に示す.

小規模造波水路では砕波形式に依存せず、砕波フロント通過後に水路側壁面、底面および水面を経由する一対のセル状循環流が発生する.



図-3 中規模造波水路で計測された水位変動(上 段),波峰方向流速分分布の時系列(中段),乱れエ ネルギー分布の時系列(下段)(実験条件; CASE4)

2) 乱れエネルギー分布の時間変化は砕波形式によって 異なり、砕波規模が大きくなるにつれて強い乱れエネル ギーが比較的短時間で発生する.

3) 中規模造波水路ではセル状循環流は発生しない,も しくは高次(二対以上)のセル状循環流が発生している 可能性がある.

4) 水路アスペクト比の大きい中規模造波水路では波峰 峰方向流速,乱れエネルギーともに小規模造波水路より も小さな値を示す.

### 5. 参考文献

- Watanabe, Y., Saeki, H. & Hosking, R. J. 2005, Threedimensional vortex structures ender breaking waves. J. Fluid Mech 545, 291-328.
- 大塚淳一・渡部靖憲・横山馨・武田靖 (2006): 三次元的 砕波遷移に伴う波峰方向流速と渦スケールの時空間 変化,海岸工学論文集,第53巻, pp.86-90.