

# 死水域の浮遊砂堆積過程に関する 水理パラメータ依存特性

## CHARACTERISTICS OF SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT IN OPEN CHANNEL FLOWS WITH A DEAD ZONE

木村 一郎<sup>1</sup>・細田 尚<sup>2</sup>・村本 嘉雄<sup>3</sup>

Ichiro KIMURA, Takashi HOSODA and Yoshio MURAMOTO

<sup>1</sup>正会員 工博 和歌山工業高等専門学校助手 環境都市工学科 (〒644 御坊市名田町野島77)

<sup>2</sup>正会員 工博 京都大学助教授 工学研究科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

<sup>3</sup>フェロー 工博 京都大学教授 工学研究科 (〒606 京都市左京区吉田本町)

The characteristics of the suspended sediment transport in the open channel flows with a rectangular dead zone are investigated experimentally and numerically. The properties of the deposition in the dead zone are classified into 4 patterns. The influences of the hydraulic parameters on the deposition patterns in the dead zone are examined through the laboratory test by changing the hydraulic conditions. The deposition processes are simulated numerically by the plane 2-D flow model. The numerical results indicate that the large scale vortex at the interface promotes the transport of suspended sediment into the dead zone.

**Key Words :** *Suspended sediment, Open channel flow, Numerical simulation, River environment*

### 1. はじめに

近年の「多自然型川づくり」では、生態系の維持を目的として河川側岸に人工ワンド等の死水域を設ける試みが行われている。このような死水域では、浮遊砂の堆積に伴う死水域形状の変遷や開口部の閉塞等が生じる場合があり<sup>1)</sup>、生態系に影響を及ぼすことが予想される。

死水域周辺の水理特性については、従来から実験的研究、数値解析的研究が行われ、その特性が明らかになってきた。すなわち、死水域内の定常的な循環流とともに、死水域・主流界面のせん断混合層における周期的大規模渦の発振、死水域内の水面振動(セイシュ)の発生等の非定常現象の重要性が指摘された。また、これらの非定常現象はフルード数に依存することが指摘されている<sup>2), 3), 4), 5)</sup>。さらに、このような流れの非定常性は、死水域周辺の浮遊砂輸送・堆積過程にも影響を及ぼすことが予想される。

本研究では、側岸に長方形死水域を有する開水路流れにおける浮遊砂輸送・堆積過程について、水理実験と数値解析により検討を行うものである。まず、水理実験結果より堆積パターンを4つに分類し、水理パラメータが堆積パターンに及ぼす影響を検討する。次に、平面2次元モデルによる数値解析により、

堆積過程の数値シミュレーションを試みる。このとき、非定常現象が浮遊砂輸送・堆積に及ぼす影響を検討するため、①流れの非定常性を考慮した堆積計算、②定常流(時間平均流)場における堆積計算、の2通りを実施し、両者の比較を行う。

### 2. 水理実験による浮遊砂堆積過程の検討

#### (1) 水理実験の概要

実験は、幅25cm、長さ4mの亚克力製長方形断面水路を用いて行った。水路の側岸に図-1示すような長方形の死水域が設けてある。死水域の形状は表-1に示す3通りとした。

浮遊砂のモデルとしては、塩化ビニル粉末(平均粒径 $d=81\mu$ 、比重 $s=1.21$ )を用いた。ルベイの式によると、この粉末の沈降速度 $w_0$ は、およそ0.42cm/sとなる。この塩化ビニル粉末をあらかじめ水と混合しておき、実験水路の上流端から水路幅全体にわたってほぼ一様に流入させた。このとき、主流の浮遊砂の体積百分率が0.05%となるように、浮遊砂混合液の流入流量を調節した。

表-2は、この実験における水理諸量を示したものである。主流流量 $Q$ 、下流端水深 $h_e$ 、水路床勾配 $\sin\theta$ 、死水域形状等を変化させて14通りの条件で

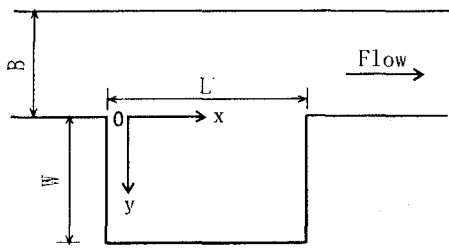


図-1 死水域の模式図と座標系

表-1 死水域の形状

| Type   | L(cm) | W(cm) | B(cm) | アスペクト比(L/W) |
|--------|-------|-------|-------|-------------|
| Type 1 | 22.5  | 15.0  | 25.0  | 1.5         |
| Type 2 | 37.5  | 25.0  | 25.0  | 1.5         |
| Type 3 | 50.0  | 25.0  | 25.0  | 2.0         |

表-2 水理実験の条件

| Exp. | 主流流量<br>$Q$ (cm <sup>3</sup> /s) | 平均水深<br>$h$ (cm) | 水温<br>$T$ (°C) | 死水域形状<br>Type | 水路床勾配<br>$\sin \theta$ |
|------|----------------------------------|------------------|----------------|---------------|------------------------|
| F-1  | 600.0                            | 1.33             | 26.9           | Type 1        | 1/1000                 |
| F-2  | 1354.0                           | 3.30             | 15.0           | Type 1        | 1/300                  |
| F-3  | 1354.0                           | 1.84             | 15.0           | Type 1        | 1/300                  |
| F-4  | 1354.0                           | 1.69             | 15.0           | Type 1        | 1/300                  |
| F-5  | 1354.0                           | 5.70             | 15.0           | Type 1        | 1/300                  |
| F-6  | 1177.0                           | 9.10             | 22.2           | Type 1        | 1/300                  |
| F-7  | 1177.0                           | 10.19            | 22.2           | Type 2        | 1/300                  |
| F-8  | 1177.0                           | 1.50             | 22.2           | Type 2        | 1/300                  |
| F-9  | 1177.0                           | 3.60             | 22.2           | Type 3        | 1/300                  |
| F-10 | 1307.3                           | 2.39             | 13.0           | Type 1        | 1/1000                 |
| F-11 | 758.3                            | 1.89             | 13.0           | Type 1        | 1/1000                 |
| F-12 | 719.0                            | 6.00             | 13.0           | Type 1        | 1/1000                 |
| F-13 | 324.3                            | 1.24             | 13.0           | Type 1        | 1/1000                 |
| F-14 | 591.3                            | 1.32             | 14.0           | Type 1        | 1/1000                 |

表-3 各実験条件の水理パラメータ

|      | $Fr$ | $Re$ | $u_{*m}/w_0$ | Pattern |
|------|------|------|--------------|---------|
| F-1  | 0.50 | 2737 | 2.71         | C       |
| F-2  | 0.29 | 4747 | 2.29         | B       |
| F-3  | 0.69 | 4747 | 4.11         | A       |
| F-4  | 0.79 | 4747 | 4.47         | A       |
| F-5  | 0.13 | 4747 | 1.33         | C       |
| F-6  | 0.06 | 4925 | 0.72         | D       |
| F-7  | 0.05 | 4925 | 0.64         | D       |
| F-8  | 0.82 | 4925 | 4.36         | A       |
| F-9  | 0.22 | 4925 | 1.81         | C       |
| F-10 | 0.45 | 4343 | 3.09         | B       |
| F-11 | 0.37 | 2519 | 2.43         | C       |
| F-12 | 0.06 | 2389 | 0.73         | D       |
| F-13 | 0.30 | 1078 | 1.80         | C       |
| F-14 | 0.50 | 2018 | 2.81         | C       |

$Fr$ : 主流のフルード数、 $Re$ : 主流のレイノルズ数

実験を行っている。表-3には、各実験条件における水理パラメータの値を示した。

## (2) 水理実験結果の考察

### a) 実験における浮遊砂堆積特性のパターン分類

写真-1(a)~(d)は、浮遊砂流入開始後10分間経過した時点における死水域内の浮遊砂の堆積の様子であり、Exp.F-3、Exp.F-2、Exp.F-14、Exp.F-12の4

Flow →



(a) Exp.F-3 (Pattern A)



(b) Exp.F-2 (Pattern B)



(c) Exp.F-14 (Pattern C)



(d) Exp.F-12 (Pattern D)

写真-1 浮遊砂の堆積の様子 (堆積開始後10分)

つの実験について示している。これらの結果は定性的に異なる堆積状況を呈しており、他のRunについてもこれら4種類の堆積形態のいずれかと類似の特性を有することがわかった。そこで、各条件における堆積形態を4つのパターンに分類し、それぞれ、Pattern A,B,C,Dと呼ぶことにする。

図-2は、これらの堆積パターンを模式的に図示したものである。また表-3中には、各実験条件の堆積

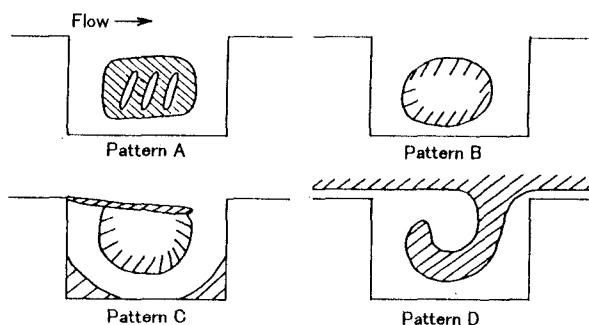


図-2 実験における4つの堆積パターン

パターン (A~D) を示した。各パターンの堆積過程の特徴を次にまとめる。

・**Pattern A** : 浮遊砂は死水域内の中央付近にほぼ長方形に堆積し、堆積領域には縞状の河床波の形成が見られる。主流および界面付近には堆積はみられない。死水域奥の隅角部には若干の堆積がみられる。これは、死水域内の時計回りの循環流によって輸送されてきた浮遊砂が、隅角部付近の流速の小さい領域で沈降するためと考えられる。また、Pattern Aは後述のようにフルード数の比較的大きい場合に生じる。フルード数が大きい場合、死水域に顕著なセイシュが発生する<sup>5)</sup>。この影響により、死水域内の堆積領域において、セイシュとともに浮遊砂の堆積とフラッシュが周期的に繰り返される様子が観察された。

・**Pattern B** : 死水域中央付近にほぼ楕円状に堆積がみられ、堆積領域の中央付近に浮遊砂の少ない領域が存在するドーナツ状の堆積パターンとなっている。主流、および界面付近にはほとんど堆積がみられない。主流では浮遊砂が複数の帯状になって流下する様子が観察された。これは、断面内2次流の発生に対応すると考えられる。死水域奥の隅角部にも若干の堆積がみられる。

・**Pattern C** : 主流部にも浮遊砂の堆積がみられ、Pattern Bでみられた主流内の縦筋も観察される。また、死水域内の浮遊砂堆積領域が大きくなり、界面付近にまで及ぶ。界面付近には特徴的な帯状の堆積がみられ、その主流側の混合層付近には、局所的に浮遊砂の堆積が少ない領域が存在する。これは、せん断不安定による渦の発振に伴い、浮遊砂がフラッシュされるためと考えられる。死水域中央付近には主流側の開いた馬蹄形の堆積がみられる。隅角部付近の堆積はPattern A, Bよりも明瞭である。また、死水域下流側の壁面に沿う領域でも、堆積がみられない。これは、主流が下流側壁面に衝突し、死水域内に進入するとき、大きい流速が生じるためと考えられる。

・**Pattern D** : 主流内にほぼ全域にわたって堆積がみられる。死水域内にも広い範囲にわたって浮遊砂が堆積しているが、時計回りの循環流に沿った渦巻状の形状を示し、混合層付近では主流の堆積領域とつながっている。また、死水域下流側壁面付近で堆積の少ない箇所がみられる点は、Pattern Cと同様である。

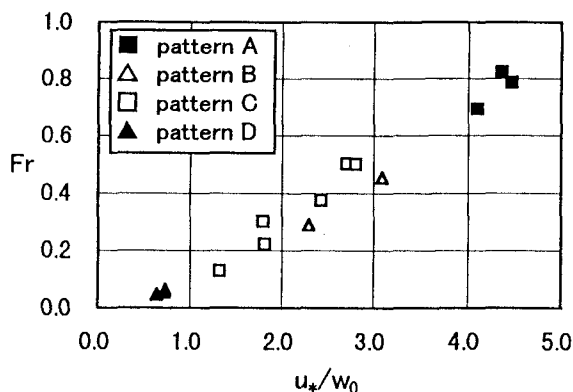


図-3 堆積パターンと水理パラメータの関係

なお、死水域内の浮遊砂堆積領域の面積は、Pattern A→B→C→Dの順で大きくなる。

#### b) 浮遊砂堆積特性に及ぼす水理パラメータの影響

死水域内の浮遊砂輸送・堆積過程を支配するパラメータとして、本研究では  $u_{*m}/w_0$  と主流におけるフルード数  $Fr$  の2つを考える。ここに、 $u_{*m}$  : 主流の摩擦速度である。パラメータ  $u_{*m}/w_0$  は、浮遊砂の浮上の程度を表す指標として一般的に用いられている。一方、フルード数  $Fr$  を支配パラメータとしてとりあげる理由は、次の通りである。すなわち、死水域内の流れの特徴の一つであるセイシュの発生が、浮遊砂の輸送・堆積に影響を及ぼすと考えられる。このセイシュの発生は、フルード数に大きく依存する<sup>5)</sup>。よって、支配パラメータの一つとしてフルード数を取り上げる。

図-3は、横軸に  $u_{*m}/w_0$ 、縦軸にフルード数  $Fr$  をとり、実験結果をパターン分類してプロットしたものである。 $u_{*m}/w_0$ 、あるいはフルード数の値が小さくなるにつれて、Pattern A→B→C→Dの順で堆積特性が変化することがわかる。この図では実験結果の点がほぼ一直線上に並んでおり、平面的な分布が得られていない。これは、浮遊砂として塩化ビニル粉末のみを用いており、 $w_0$  の値が全ての条件で等しいためである。

なお、本実験では死水域の形状を3通りに変えて実験を行っている。しかし、本研究で行った実験の範囲内では、死水域形状の違いによる堆積特性の変化は認められなかった。

### 3. 浮遊砂堆積過程の数値シミュレーション

#### (1) 基礎式

本研究で用いた基礎式は、次に示す水深積分された開水路平面2次元流れの式(連続式および運動方程式)と、浮遊砂の連続式、および浮遊砂のみを考慮した河床の連続式である。

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

[x-方向運動方程式]

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial \beta u M}{\partial x} + \frac{\partial \beta v M}{\partial y} + gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial x} =$$

$$gh \sin \theta - \frac{f}{2} u \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial -u'^2 h}{\partial x} + \frac{\partial -u' v' h}{\partial y}$$

$$+ \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\}$$

[y-方向運動方程式]

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial \beta u N}{\partial x} + \frac{\partial \beta v N}{\partial y} + gh \frac{\partial (h + z_b)}{\partial y} =$$

$$- \frac{f}{2} v \sqrt{u^2 + v^2} + \frac{\partial -v' u' h}{\partial x} + \frac{\partial -v'^2 h}{\partial y}$$

$$+ \nu \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\}$$

[浮遊砂の輸送方程式]

$$\frac{\partial}{\partial t} (ch) + \frac{\partial}{\partial x} (cu h) + \frac{\partial}{\partial y} (cv h) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ h \left( D_L \cos \theta_f + D_x \right) \frac{\partial c}{\partial x} \right\} +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left\{ h \left( D_L \sin \theta_f + D_y \right) \frac{\partial c}{\partial y} \right\} + q_{su} - w_0 c_b$$

[河床の連続式]

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} (q_{su} - w_0 c_b) = 0 \quad (5)$$

ここに、 $(x, y)$ :空間座標 (図-1参照)、 $t$ :時間、 $h$ :水深、 $(u, v)$ :水深平均流速ベクトルの $(x, y)$ 方向成分、 $(M, N)$ :各々 $M=hu$ 、 $N=hv$ で定義される流量フラックス、 $(u', v')$ :変動流速の $(x, y)$ 方向成分、 $-u'_i u'_j$ :水深平均されたレイノルズ応力テンソル、 $\nu$ :動粘性係数、 $\sin \theta$ 水路床勾配、 $f$ :摩擦損失係数でレイノルズ数の関数、 $(\tau_{bx}, \tau_{by})$ :底面せん断応力ベクトル、 $\beta$ :運動量係数、 $c$ :浮遊砂の水深平均体積濃度、 $z_b$ :河床高、 $w_0$ :浮遊砂沈降速度、 $\lambda$ :空隙率 (本研究では $\lambda=0.5$ とした。)、 $D_L$ :は移流分散係数、 $\theta_f$ :流線方向と $x$ -軸方向がなす角度、 $(D_x, D_y)$ : $(x, y)$ 方向の乱れによる拡散係数、 $q_{su}$ :砂粒子の河床からの浮上量、 $c_b$ :は浮遊粒子濃度 (指数型の水深方向濃度分布を河床から水面まで積分し、その平均値をとることにより求められる。)を表す。

上式中の項 $(q_{su} - w_0 c_b)$ は、浮遊砂の浮上堆積項である。また、 $\theta_f$ は流線と $x$ -軸がなす角度であり、 $\sin \theta_f$ 、 $\cos \theta_f$ はそれぞれ次のように表される。

$$\sin \theta_f = \frac{|v|}{\sqrt{u^2 + v^2}}, \quad \cos \theta_f = \frac{|u|}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (6)$$

拡散係数や浮上堆積項等の具体的な形は、それぞれ次式で表される。

$$D_L = 5.9hu_*^2, \quad D_x = D_y = 0.3hu_*^2 \quad (7)$$

$$q_{su} = w_0 c_b, \quad c_b = \frac{\beta c}{1 - e^{-\beta}}$$

ここに、 $c_b$ は基準面濃度と呼ばれる。本研究では、鉛直方向の変動速度により浮上する粒子のフラックスと沈降する量を等しいとおき、砂粒の鉛直方向の速度変動の分布が正規分布であると仮定した、芦田・道上のモデル<sup>6),7)</sup>を用い、次式で与えた。

$$c_b = 0.025 \left\{ \frac{g(\zeta_0)}{\zeta_0} - G(\zeta_0) \right\} \quad (8)$$

ここに、

$$\zeta_0 = \frac{4w_0}{3u_*}, \quad g(\zeta_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-0.5\zeta_0^2) \quad (9)$$

$$G(\zeta_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\zeta_0}^{\infty} \exp(-0.5\zeta^2) d\zeta$$

である。浮遊粒子濃度である $c_b$ における係数 $\beta$ は、 $\beta = w_0 h / \varepsilon_s$ で表される。ここで、 $\varepsilon_s$ は深さ方向の拡散係数であり、水深平均の渦動粘性係数に等しいと考え $\gamma \kappa u_* h / 6$ で与える。また、 $\kappa$ :カルマン定数 ( $\kappa=0.4$ )、 $\gamma$ :定数で1.0とする。以上より、係数 $\beta$ は次式のように表される。

$$\beta = \frac{w_0 h}{\varepsilon_s} = \frac{6w_0 h}{\gamma \kappa u_* h} = \frac{15w_0}{u_*} \quad (10)$$

なお、河床の浮遊砂堆積厚が $10^{-2}\text{mm}$ 以下の場合には、浮上量 $q_{su}$ を0とおいて計算を行った。

## (2) 数値解析の手順

次に、(1)に示した基礎式を用いた数値解析の手順について述べる。数値解析法としては、有限体積分法を用い、陽解法で時間方向に計算を進める。運動方程式、浮遊砂の連続式の移流項には可変格子系における2次元QUICKスキームを用い、時間積分にはアダムス・バッシュフォース法を採用した。基礎式の離散化の詳細は他の文献<sup>2)</sup>に譲り、省略する。

流れに関する式 (連続式と運動方程式) と、浮遊砂の連続式および河床の連続式は、本来同時に解かれるべきである。ところが、実際に計算を試みた結果、計算の収束のためには、運動方程式の計算における計算時間間隔 $\Delta t$ と比較して、浮遊砂の連続式における $\Delta t$ を1オーダー小さく設定しなければならないことがわかった。このため、浮遊砂を含む数値計算は、流れのみを対象とする計算に比べて多くの計算時間を必要とする。この点を考慮して、次に示すRun IとRun IIの2つの方法で計算を行い、計算結果の比較を行うことにする。

・**Run I**: 流れに関する方程式 (連続式と運動方程式) と、浮遊砂の輸送方程式、河床の連続式を同時に解く方法であり、流れの非定常性を考慮した厳密な方法といえる。ただし、前述のように多くの計算時間 (Run IIのおよそ3倍) を要する。

・**Run II**: 計算時間の短縮のために、流れの非定常性が浮遊砂輸送および堆積及ぼす影響は小さいとい

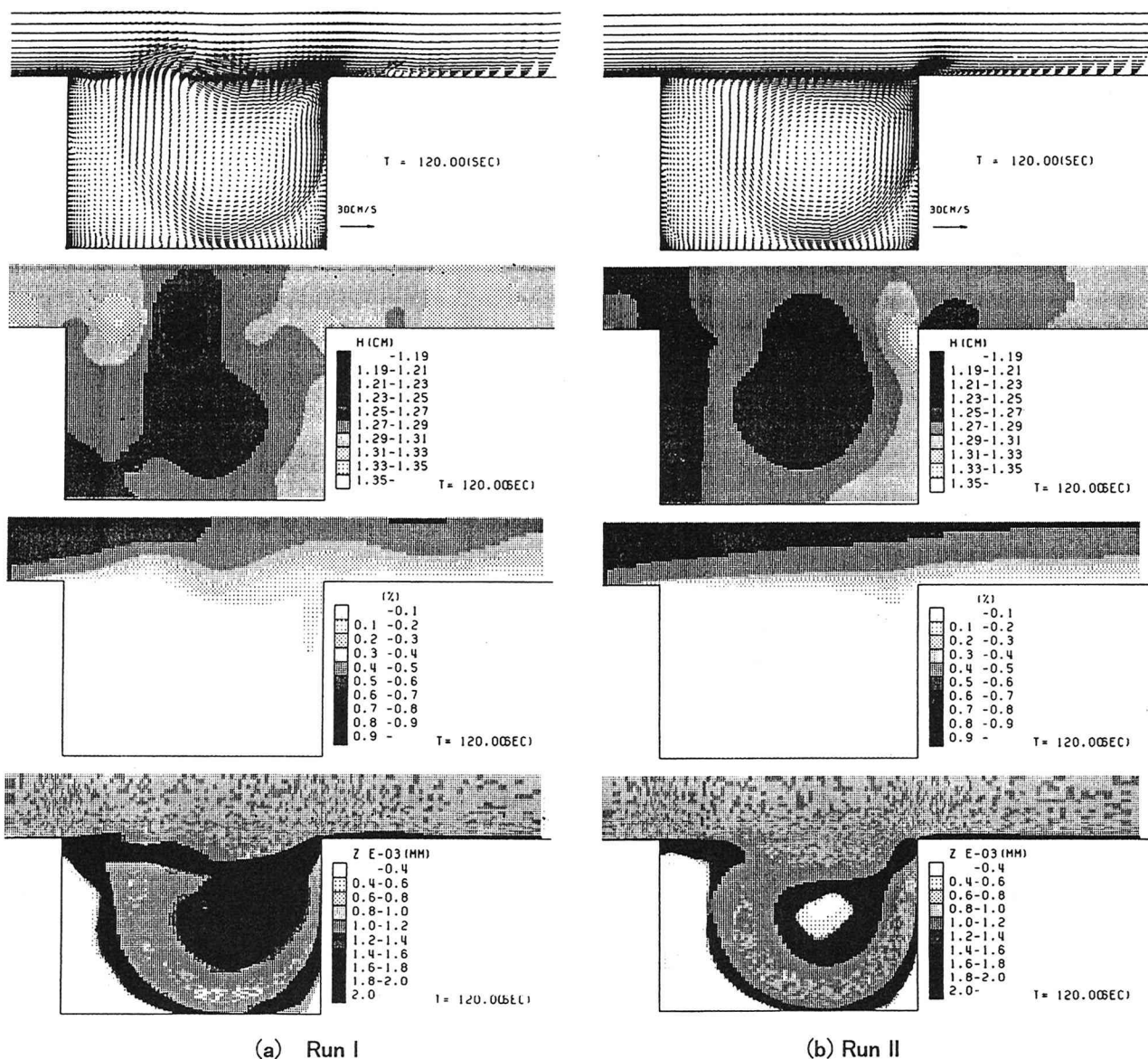


図-4 数値解析結果（浮遊砂流入開始後2分） 上から流速ベクトル、水位分布、濃度分布、河床高

う仮定のもとに、流れの計算を先行して行い、その後浮遊砂の計算を実行する。すなわち、まず流れの式（連続式と運動方程式）のみを用いて初期条件から計算を開始し、定常過程と判断された後の約10周期分について時間平均をとることにより、時間平均流速場を求める。次に、この時間平均流速場の流速および水深を固定した状態で、浮遊砂の輸送方程式と河床の連続式を解く。

### (3) 数値解析結果の考察

#### a) 堆積形状に関する検討

図-4(a)は、実験Exp.F-14 (Pattern C) について、Run Iの方法により計算を行った場合の計算結果であり、浮遊砂流入開始後2分経過した時点の様子である。上から、流速ベクトル、水位分布、濃度分布、河床変動を示している。流速ベクトル、水位分布より、界面付近に大規模渦が再現されていることがわかる。河床変動をみると、死水域の中央付近に堆積

がみられる点は実験結果と定性的に一致する。しかしながら、その形状は実験結果と異なり、上流側に凹みのある円状となっている。また、この堆積領域の面積は実験結果と比較するとかなり小さいことがわかる。死水域中央付近の堆積の外側では、隅角部付近にも実験結果と同様に浮遊砂の堆積がみられるが、その位置が実験結果と比べて死水域中央側によっている。また、形状も若干異なり弧を描くように堆積している。死水域・主流界面付近には、上流端からの帯状の堆積領域の張り出しがみられる。これは、写真-1(c)にもみられる界面付近の浮遊砂の筋に対応すると考えられる。ただし、この筋の幅は実験に比べて大きい。界面の下流端の壁面付近には、塊状の浮遊砂の堆積がみられるが、実験結果ではこの箇所にはほとんど堆積がみられない。

このように、Run Iの数値計算結果では、実験結果との良好な一致が得られているとはいえない。しかしながら、死水域中央付近および隅角部付近の堆

表-4 浮遊砂堆積量、最高河床高の比較

|                        | Run I | Run II |
|------------------------|-------|--------|
| 堆積量 (cm <sup>3</sup> ) | 1.59  | 0.73   |
| 最高河床高 (cm)             | 0.524 | 0.568  |

積、界面付近の帯状の堆積が再現されており、定性的には実験結果をある程度再現していると考えらる。

一方、図-4(b)は、実験Exp.F-14と同条件のもとで、Run IIの方法により計算を行った場合の結果であり、計算開始後2分経過した状態を示している。流速ベクトル、水深分布では、界面付近の大規模渦の発生は平均化されて消滅しており、定常循環流のみが存在する。河床変動について検討すると、Run Iによる計算結果と比較した場合、最も大きな違いは界面付近の帯状の堆積が死水域界面の上流付近のみにとどまっている点である。これより、実験でみられた界面付近の浮遊砂の帯の発達、大規模渦の通過に起因するものと推測される。また、死水域中央付近の楕円状の堆積領域には、中央付近に堆積がみられない箇所が明確に存在し、ドーナツ状の領域を形成している。これは、循環流の中央付近の流速が小さく、浮遊砂が輸送されてこないためと考えられる。一方、Run Iでは明確なドーナツ形状とはならず、死水域中央付近にも堆積がみられる。これは、Run Iでは大規模渦と水面振動に伴い循環流の中心位置が絶えず移動しているためと考えられる。

なお、本解析で対象とした実験Exp.F-14は、フルード数が約0.5であり、従来の研究<sup>5)</sup>よりこの条件では強いセイシュは生じないことが指摘されている。セイシュの顕著な条件のもとでは、Run IとRun IIの計算結果がさらに相違する可能性がある。

#### b) 堆積量、および最高河床高の比較

表-4は、堆積計算開始後2分経過した時点における、死水域内の浮遊砂堆積量（体積）と、最高河床高をRun IとRun IIで比較したものである。まず、堆積量についてみると、Run IIはRun Iのおよそ1/2倍となっている。この結果より、大規模渦の発振は界面付近の横断方向の物質輸送を促進し、死水域内への浮遊砂輸送量を増大する効果があることが予想される。したがって、死水域周辺の流れ場に簡易的なRun IIの方法を用いると、浮遊砂堆積量を過小評価する危険性があることが指摘された。

次に、最高河床高について検討してみよう。最高河床高は、Run I、Run IIともに、死水域の入り口付近の界面上（図-1の原点付近）で生じている。これは、主流によって運ばれてきた浮遊砂が、死水域の上流端で死水域内へ進入した際、流速が急激に減速され、堆積したものと考えられる。最高河床高については、Run Iの方が若干小さいものの、両者はほぼ一致している。

## 4. 結 語

本研究により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 水理実験結果から、死水域内の浮遊砂の堆積

過程は定性的特性の異なる4つのパターン（図-2参照）に分類できることを示した。

- 2) 堆積パターンは、図-3に示したように2つの水理パラメータ（主流のフルード数、および  $u_{*m}/w_0$ ）に依存することが示された。
- 3) ①流れと浮遊砂の輸送・堆積を同時に解く計算法（Run I）と、②時間平均流を用いて浮遊砂の輸送・堆積を計算する方法（Run II）、の2通りの方法で再現計算を試みた。この結果、Run Iでは実験結果を定性的に再現できた。
- 4) Pattern Cの界面付近の帯状の浮遊砂の堆積は、Run Iでは再現されたがRun IIでは再現されなかった。これより、この帯状の堆積は大規模渦の通過に起因するものと推測される。
- 5) 簡易的なRun IIの方法は死水域内の浮遊砂堆積量を過小評価する点を指摘した。これは、界面の大規模渦の発振が死水域内への浮遊砂輸送を助長するためと考えられる。
- 6) 最高河床高については、Run I、Run IIともに、死水域入り口の界面上で生じ、その高さは両者でほぼ一致した。

以上、開水路死水域周辺の浮遊砂輸送、堆積過程について水理実験と数値解析により検討を行ったが、堆積機構の十分な解明には至っていない。今後、さらに検討を進め、堆積機構の解明に努めたい。

謝辞：本研究の遂行にあたり、橋本市職員村上アオイさん、北見工業大学学生中尾吉子さんより実験補助等の御協力をいただいた。また、本研究は文部省科学研究費奨励研究(A)（課題番号09750604）の補助を受けて行われたことを付記し、これに深謝する。

## 参考文献

- 1) 阿久津政巳，島谷幸宏，鈴木興造：ワンドにおける魚類の生息実態に基づいたワンド計画手法に関する研究，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.208-209，1994。
- 2) Kimura, I. and Hosoda, T. : Fundamental properties of flows in open channels with dead zone, J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol.123, No.2, pp.98-107, 1997.
- 3) 木村一郎，細田 尚，友近文志：死水域を有する開水路流れの非定常振動特性，水工学論文集，第38巻，pp.425-430，1994。
- 4) 中川研造，Julil, M. A., 河原能久，菅 和利：人工ワンド周辺部の流れに関する実験的研究，河道の水理と河川環境シンポジウム講演論文集，pp.89-94，1993。
- 5) 木村一郎，細田 尚，村本嘉雄，安永 良：開水路流れ死水域周辺の水面振動・流体混合特性，水工学論文集，第41号，pp.711-716，1997。
- 6) 芦田和男，道上正規：浮遊砂に関する研究(1)－河床付近の濃度－，京都大学防災研究所年報，第13号B，pp.223-242，1970。
- 7) 中川 一：洪水における土砂氾濫災害の危険度評価に関する研究，京都大学博士論文，pp.120-123，1989。

(1997. 9. 30受付)