

## 張り芝側岸の堆積に及ぼす非定常流の影響

北海道大学	学生員	浅井 重政
北海道大学	正 員	長谷川和義
北海道開発局	正 員	渡邊 康宏
北海道開発局	正 員	金高 州吾

### 1. はじめに

環境整備事業に自然環境との調和を求められている現在、河川事業においても治水・防災といった安全性の確保のほかに水辺の生態系を守り、水辺環境の保全と再生を配慮した治水事業が進められるようになってきた。これに伴い、河川空間は防災空間のみならず豊かで潤いある生活環境を作り出す場として積極的に利用されるようになってきている。しかし、高水敷に流水がのり上げるような出水が発生し、低水路で巻き上げられた土砂が高水敷に堆積する場合、それが過剰になると高水敷上の草丈の短い芝が死滅しそが堤防の弱点となる危険性がある。これらへの対策として、高水敷に対する土砂堆積の調査<sup>1)</sup>や、植生が存在することによる流況や流砂への影響に関する研究<sup>2)</sup>がなされてきている。今回は、その一つとして実スケールに近い大型水路を用い、斜面の張り芝が流況、流砂に与える影響について調べる実験を行った。定常流における結果については、金高ら<sup>3)</sup>によって詳しい報告がなされている。

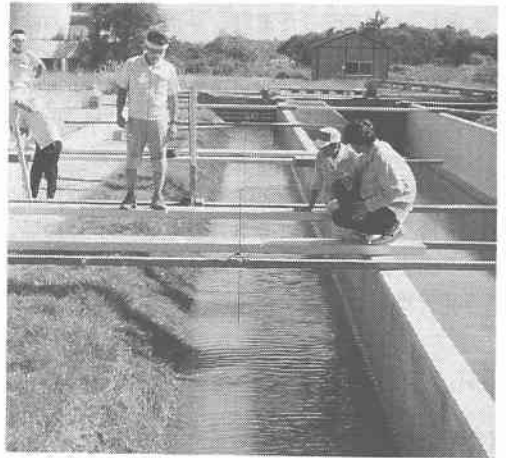


写真-1 実験風景

本研究は、同一実験の後半に行われた非定常流れに関する結果を報告するものであり、流況、流砂機構に対する非定常性の効果を把握することを目的として検討を行っている。

### 2. 実験方法と条件

本実験は屋外に設置された幅4m、長さ40mのコンクリート製直線大型水路に、火山灰からなる図-1のような断面の河岸・河床を設け、その上に通常の河川の高水敷に生えているケンタッキーブルーグラス(配合: タッチダウン33%、メリオン33%、バロン34%)

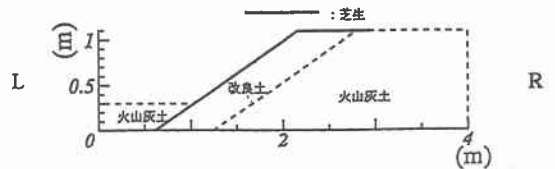


図-1

からなるロール芝を張って行われた。芝は2~3カ月間散水、芝刈り等の維持管理がなされた後、第1回目の実験<sup>4)</sup>(1993年度)に供され、その後1年間放置されて草丈が伸びた状態(14~27cm)にある。非定常実験は勾配を1/1500(case1-6)、1/500(case1-7)とした2ケースが、定常実験<sup>3)</sup>に引き続いて行われた。非定常実

An experimental study on sediment concentration and bank accretion under the unsteady flow in a channel with vegetation

by Shigemasa ASAI, Kazuyosi HASEGAWA, Yasuharu WATANABE, Shuugo KANETAKA

験の各ケースの水力条件を表-1 に示す。

表-1 各ケースの水力条件

実験ケース	I	給砂量l/min	通水時間(分)	$t_p$	$t_e$	$Q_B$	$Q_F$
CASE1-6	1/1500	60	180	60	120	0.38	0.69
CASE1-7	1/500	60	180	37	97	0.66	1.14

$t_p$ :定常状態に達するまでの時間(分)

$t_e$ :定常状態が終了する時間(分)

$Q_B$ :ピークに達したときの流量

$Q_F$ :Base Flowの流量

流水時の計測項目は、水面勾配・流速・浮遊砂濃度(採水)であり、停水後に河床断面・芝草丈・側岸堆積土砂粒度が計測された。それぞれの測定地点、測定時間等の詳細事項を以下に記す。

- (1) 水面勾配: 上流端から4, 12, 20, 28, 36mの5ポイントについて2.5~10分間隔で水位を計測。
- (2) 流速: 上流端から20mの地点において、横断方向に左岸壁から50cm、100cmの場所で鉛直方向に2点、計4点の流速を2.5分間隔で3次元電磁流速計を用いて測定。
- (3) 浮遊砂濃度: 上流端から27mの地点において、流速と同様に横断方向に2箇所、鉛直方向にそれぞれの箇所で2点、計4点で5分間隔につきM T S浮遊砂採水器<sup>5)</sup>を用いて採水。ろ過によって重量%を算定。
- (4) 河床断面測定: 水路上流端からの距離が4~36mまでは4m間隔で9測線、20~25mまでは1.0m間隔で6測線の計15測線について通水前後に水準レベルと河床測定用スタッフにより測定。
- (5) 芝の草丈: 上流端から20m, 23m, 25m, 27mの測線について側岸斜面の上部、中部、下部の3箇所で草丈測定。
- (6) 側岸に堆積した土砂採取: 上流端から20, 23, 25mの測線斜面の上部、中部、下部の3箇所で側岸堆積土砂を採取。ふるい分けにより粒度計測。

なお、紙数の都合により、以下に浮遊砂が活発に生じたcase1-7のみに関して報告を行うことにする。

### 3. 実験条件の検討

#### 3-1. ハイドログラフについて

非定常流実験に際して最も重要な事柄は、どのような流量の時間変化を与えるかということである。本実験は、千歳川の昭和56年洪水のハイドログラフを参考に、同洪水の非定常パラメータ $\beta=(\partial h/\partial t)/(U_i)$ ( $h$ :水深、 $t$ :時間、 $U_i$ :断面平均流速、 $i$ :河床勾配) $=0.56$ の1/4を与えることにした。

この値は1に比してかなり小さく、キネマティックウェーブ状態が想定されたことになる。下流端はピークフローが等流状態に保たれるように可動堰を設定し、実験中を通じて変化させなかった。このため、流量の小さい期間に堰上げの影響が生じたものと考えられる。

#### 3-2. 給砂による影響について

CASE1-6は掃流力が非常に小さいので、無給砂で実験を継続した。このため全体的に断面の浸食拡大が生じた。一方、CASE 1-7においては段階給砂が非常に難しいことから通水時間を通してピーク時の一定の流砂量(60 l/min)を給砂し続けた。このため、過剰給砂による堆積が無視し得なくなった。今、給砂によって生じた浮遊砂が上流端から主にどのあたりまで堆積するかを次式によって大まかに計算してみる。

$$\frac{h}{W_r} U = \frac{0.7}{0.066} \times 0.95 = 10.9 \approx 11$$

ここで、 $h$ :平均水位(m)、 $U$ :平均流速(m/s)、 $W_r$ :給砂された砂の沈降速度(m/s)である。

すなわち、水面から投入された浮遊粒子が底面に達するまでに平均流によって運ばれる距離は、およそ 11m である。

これを踏まえた上でCASE1-6, 1-7の河床の縦断変化(図-2)を比較すると、上流端から11m付近まで過剰給砂による堆積が顕著に現れていることがわかる。しかし、11mより下降部でも影響を受けているようであり、2cm程度の堆積が認められる。よって以下のcase1-7に関する報告では採集した浮遊砂を細砂分とシルト分に分けて比較的この過剰給砂の影響が少ないと推定される細砂分について扱うことにする。

なお、浮遊砂解析のための採水場所は上流端から28m地点であり、基本的な性質の解析が可能であるものと思われる。

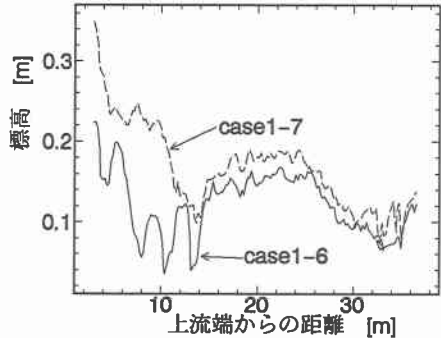


図-2 河床縦断面(左岸から50cm地点)

#### 4. 非定常による摩擦速度の変化

キネマティックウエーブにおけるエネルギー勾配は次式で与えられる。

$$i_0 = i + (1 - \frac{4}{9} Fr^2) \frac{3}{5U} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

また、摩擦速度は次式のようになる

$$U_* = \sqrt{gh} \quad (2)$$

ここで、 $g = 9.8 (m/s^2)$ ,  $Fr$  = フルード数,  $U$  に対してベースフローの値を取ることにすれば  $U = 0.37 (m/s)$  であり、 $i = 0.0010246$  (各通水開始時の値) を用いて計算すると図-3のような結果となる。

これを見ると非定常の摩擦速度の特徴として、水位がピークとなる少し前の時間に突出してピークをむかえることがわかる。

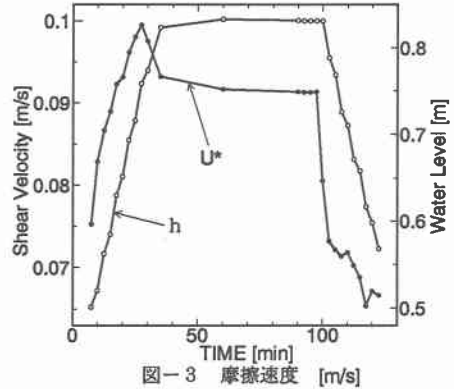


図-3 摩擦速度 [m/s]

#### 5. 浮遊砂濃度の時間変化

##### 5-1) 定常実験でのパラメータ算定

非定常実験では鉛直方向に2点しか浮遊砂を採集していないので、鉛直方向濃度分布を推定するのに定常実験の値を利用する。鉛直方向濃度分布が指数分布とみなせるものとする、分布式は次式のようになる。

$$\frac{C(z)}{C(a)} = \exp\left\{-\frac{W_f}{\epsilon_z} (z-a)\right\} \quad (3) \quad C(a): \text{河床近傍濃度}$$

$\epsilon_z$  : 鉛直方向の拡散係数

(3)式より

$$\text{Log}_{10} \frac{C(z)}{C(a)} = -\frac{W_f}{\epsilon_z} (z-a) * \text{Log}_{10} e = -0.4343 * \frac{W_f}{\epsilon_z} (z-a) \quad (4)$$

よって、定常実験の数ケースから縦軸に  $\frac{C(z)}{C(a)}$  の対数を取り、横軸に  $(z-a)$  を取って図を描くと図-4の

ようになる。これらの相関を取った線の傾き  $\gamma$  は  $-0.4343 \frac{W_f}{\varepsilon_x}$  となるので、 $W_f$  がわかりさえすれば  $\varepsilon_x$

を求めることができる。 $W_f$  は Rubey式<sup>9)</sup>

に河床の粒度分布図から求めた平均粒径  $d = 0.54\text{mm}$  を代入して計算した。

また、 $\varepsilon_x$  は次式のように表すことができる。

$$\varepsilon_x = \frac{W_f}{\gamma} = \frac{U_x h}{m} \quad (5) \quad m: \text{定数}$$

(5)式に先ほど求めた  $\varepsilon_x$  を代入して定数  $m$  を求める。それぞれ求めた  $m$  を平均すると  $m = 11.76$  となるので  $m$  の値を12とすることにした。この値は従来の研究によって知られている値にほぼ一致している。

次に、河床近傍濃度  $C(0)$  を次式のように推定する。

$$\frac{C(0)}{p} = \alpha \left( \frac{U_x}{W_f} \right)^2 \quad (6) \quad p: \text{河床の粒度構成比}$$

粒度分布図から  $p$  の値が0.45と定まるので、係数  $\alpha$  を  $m$  と同様に定常実験の数値を用いて求める。結果  $\alpha$  の値は  $2.85 \times 10^{-4}$  であり、やはり従来の実験による値の中間的な値となった。

非定常の浮遊砂濃度が定常時の式によって表現できるものと考え、上述の諸係数を利用して推定する。

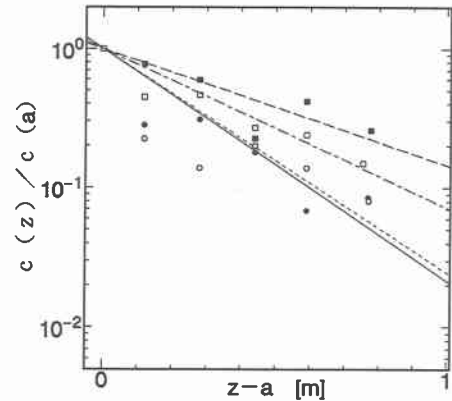


図-4

### 5-2) 非定常の濃度時間変化

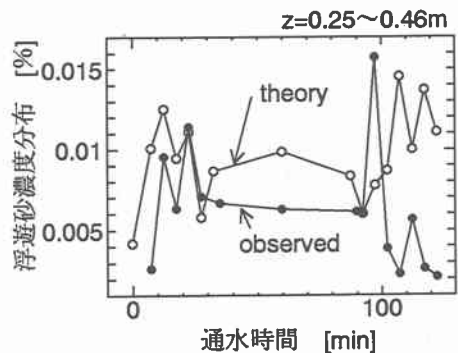
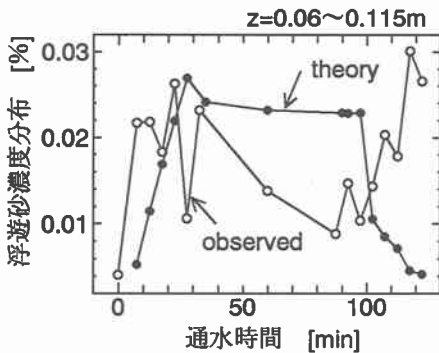


図-5

5-1)で求めたパラメータと式(1),(2)による摩擦速度を用いて非定常実験における各時間の濃度分布を求めて、実際に採集された濃度と比較してみると図-5のようになる。

これから、定常式を使って非定常の濃度分布を推定することがある程度可能なことが分かる。また、このことから過剰給砂の濃度分布への影響がそれほど大きくなかったことが裏付けられたものとする。

## 6. 河床横断面変化

図-6 (a)にcase1-7停水後の断面形とcase1-6停水後の断面形の差の横断方向変化図を示す。

図-6 (b)に定常実験における150分通水後の断面形と初期断面形の差の横断方向変化図を示す。

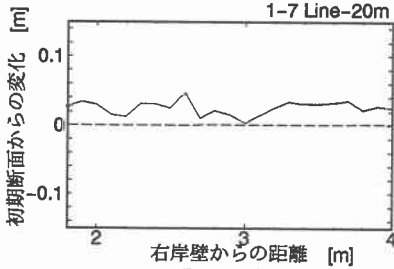


図6-(a)

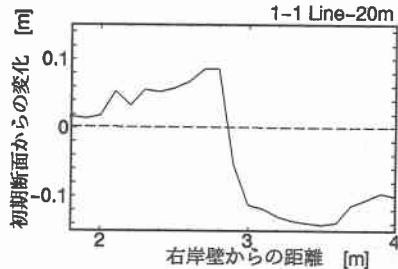


図6-(b)

図-6 (a) の非常定実験の堆積は、定常実験の図-6 (b) の堆積のように斜面上にそのピークができることなく、一様に堆積している。その構成のほとんどが過剰給砂によるものだと見受けられるので、case1-7における横断方向拡散による実質的な堆積は定常実験に比してかなり小さいと言える。その原因として以下に述べる三つが考えられる。

- ①定常実験の後に行われているため、すでに河床の粒度構成比が横断方向拡散が生じなくなって平衡状態に達してしまっていること。
- ②実質的に浮遊砂の生じる時間が短いこと。
- ③定常実験と比して底面勾配が緩い状態から実験が始まっていること。

図-7は図-6 (a)と同様な図を上流端から12~20m間の測線と21~24m間の測線について描き、それぞれ重ねたものである。

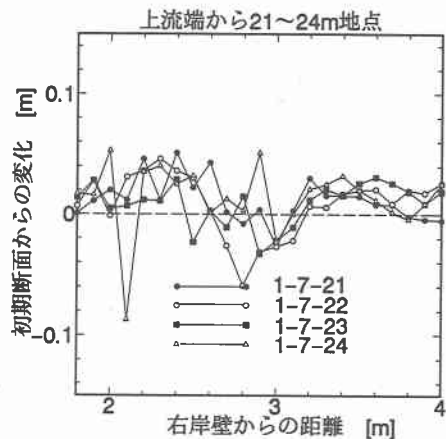
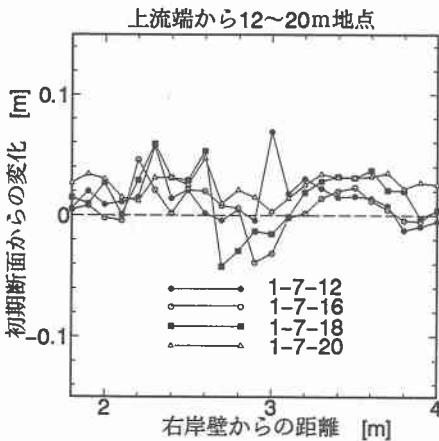


図-7

図-7からわかるように非常定実験における浮遊砂の測岸堆積は流下方向にもほとんど高低変動することなく3~4 cmの様な堆積をしている傾向が見える。また、定常実験では河床部が大きな洗掘を受けていたが非常定実験では逆に斜面と同程度の堆積が見られた。

## 7.まとめ

本実験によって非定常流の浮遊砂の濃度分布はある程度まで定常流における濃度分布によって推定が可能であることが分かった。しかし、斜面域と河床域の間の横断方向拡散によって生ずる堆積が、斜面上の堆積にどの程度関わってくるのかを明確にするためには、流量変化に対応する段階給砂の状態で行う必要がある。また、定常と非定常の濃度の差をより明確に比較するためには、定常の実験と同一の初期状態から非定常の実験を始め、採水するポイント数をできるだけ増やす必要がある。

### 参考文献

- 1) 三谷修司・渡邊康宏・北條紘次；平成4年8月鶴川洪水による高水敷の土砂堆積状況、第49回年次学術講演会、1994
- 2) 福岡捷二・新井田浩・佐藤健二；オギの河道侵食抑制機構と耐力の評価、水工学論文集第35巻、1991
- 3) 金高州吾・渡邊康宏・長谷川和義・浅井重政；張り芝水路における浮遊砂濃度分布と側岸堆積、水工学論文集第39巻に寄稿中
- 4) 金高州吾・渡邊康宏・長谷川和義・亀田祐二；芝を生やした河岸における大型水理実験、土木学会北海道支部論文報告集47号
- 5) 長谷川和義・道口敏幸・柿崎恒美・大串弘哉；石狩川における乱流と浮遊砂濃度の同時計測、土木学会北海道支部論文報告集50号、1994
- 6) Rubey, W. W. ; Setting Velocity of Gravel, Sand and Silt Particles, Amer. Jour. Sci, Vol. 25, 1933
- 7) 平林桂・山本晃一；酒沼川における河畔堆積物調査、水工学論文集第35巻、1991
- 8) 渡邊康宏・北條紘次・清水康行；樹木の存在する河道の流況特性、水工学論文集第35巻、1991
- 9) 辻本哲郎・北村忠紀・中川博次；植生帯周辺での分級縦筋の形成、水工学論文集第35巻、1991
- 10) 池田駿介；浮遊砂の横断方向拡散係数について、土木学会論文報告集、No434/2-16、1991