

# 複断面高水敷に設けられた凹部の流れ構造と土砂堆積機構に関する研究

16418569 鄭 載勲

**1. はじめに** 近年，頻発する水害を受けて河道の流下能力を向上させるため複断面河道の高水敷の一部を掘削して河積の拡大を図っているが，このように造成された高水敷凹部では低水路・高水敷境界部の斜昇流と大規模平面渦の相互作用により高水敷への浮遊砂堆積が発生する．本研究では揖斐川において行われた高水敷掘削工事によって形成された高水敷凹部の土砂堆積を予測する上で必要となる流れ構造を解明することを念頭に置いている．そこで，複断面流れにおいて高水敷に設けられた凹部上の流れ構造を実験的に明らかにし，凹部への土砂堆積機構を検討することを目的としたものである．

**2. 実験方法** 実験としては可視化PIV法による流速ベクトル計測と砂堆積実験を行った．PIV実験水路は全長 7.5m，全幅 0.3m，高さ 0.4mの勾配可変型開水路を用いる．また，砂堆積実験では長さ 4m，幅 0.3m，勾配 1/500 のアクリル製長方形断面水路を用い，水路左岸に幅 10cmの塩ビ板を設置し高水敷上を非越流する場合は高さ 6cm，越流する場合は高さ 4cmの高水敷を作り，一部区間を低くした凹部を設けた．実験ケースを図-1 に，実験条件を表-1 に示す．長方形形状をケースT，台形形状をケースDとし，凹部の底面高さをケース名の後に付ける．ここで，d：凹部内高さ，D：高水敷高さ，Q：流量，H：低水路水深，h：高水敷上水深， $U_m$ ：断面平均流速，I：水路床勾配である．PIV計測の流れの可視化には，直径 50 ミクロン，比重 1.02 のナイロン樹脂粒子を用い，厚さ約 3mmのシート状にしたアルゴンレーザー光を開水路鉛直断面(x-z平面)と水平断面(x-y平面)に照射した．レーザーシートの照射位置は鉛直に 6 断面(y=5,25,50,75,95,105mm)，水平断面に 5 断面(z=5,15,25,35,45mm)を設定した．この可視化画像は高速ビデオカメラを用いて 1/120sで撮影した．画像計測にはVISIFLOW(AEA Technology)PIVシステムを用い，相互相関法により画像解析し，約 16 秒間平均値の流速ベクトルデータを取得した．砂堆積実験は，平均粒径 0.025mmの珪砂を用い，貯水槽に 300lの水と 1kgの砂を入れ攪拌した状態でポンプにより循環させた．浮遊砂の濃度は低水路を流れ方向に対して左岸，河道の中央，右岸に分けてその上層，中層，

表-1 実験条件

ケース名	d(cm)	D(cm)	Q(l/s)	H(cm)	h(cm)	$U_m$ (cm/s)	I
T0,T1,T2,T3,T4	0,1,2,3,4	6	3.7	5.0	0	37	1/500
D0,D1,D2,D3,D4							
T0E	0	4	3.8	6.0	2	27	
T2E	2						
D0E	0						
D2E	2						

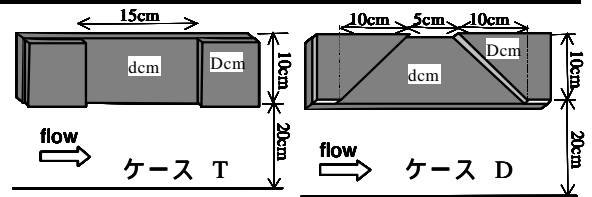


図-1 実験ケース

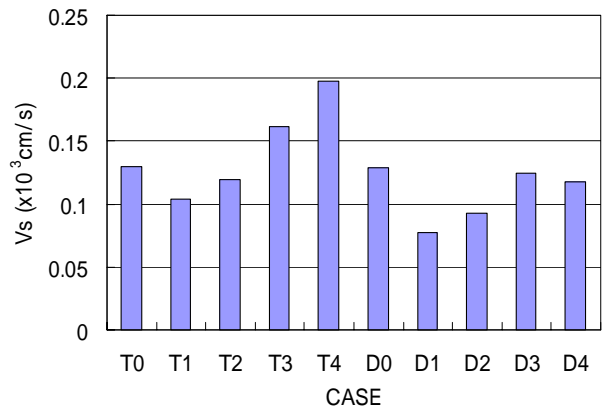


図-2 浮遊砂移入速度

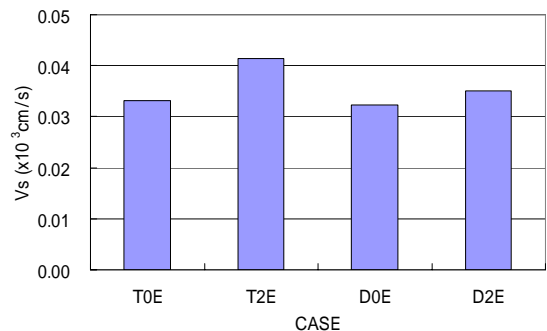


図-3 高水敷越流時の砂移入速度

下層に流れる浮遊砂の濃度を測った．堆積量は凹部内堆積量は凹部に薄いフィルムを敷いて 1 時間後にそこに溜まった砂の量を計測した．

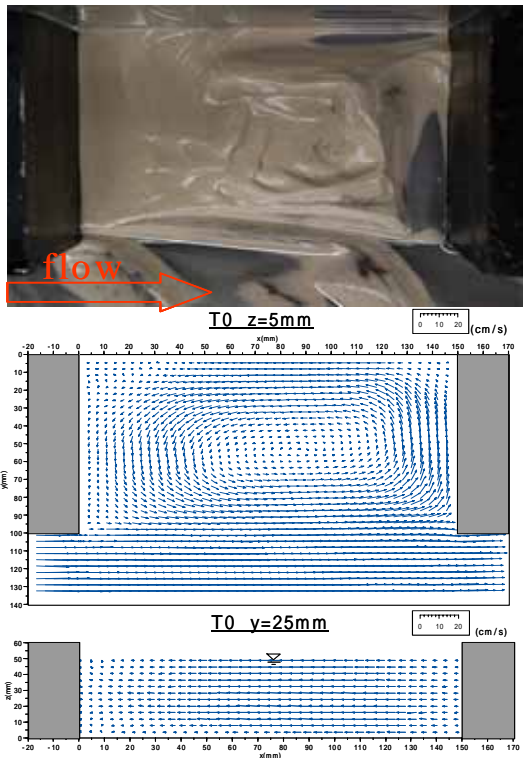


図-4 T0の砂堆積形状と流速ベクトル

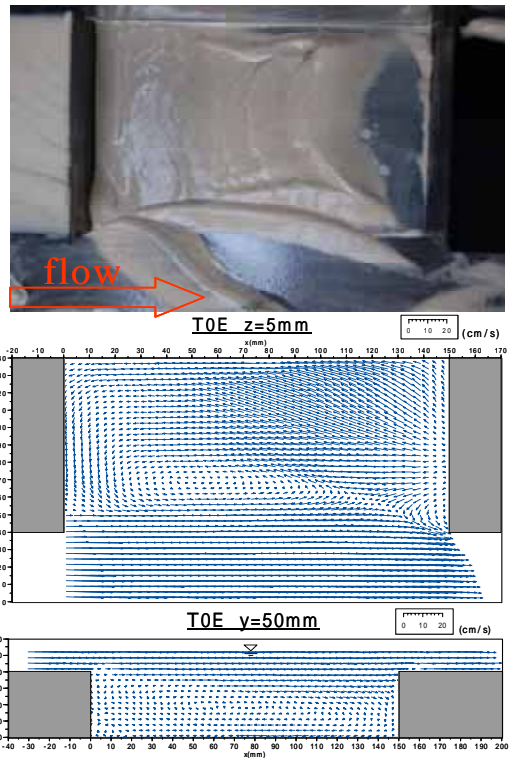


図-5 T0Eの砂堆積形状と流速ベクトル

**3. 高水敷凹部への浮遊砂堆積機構** まず高水敷非越流の場合において低水路から凹部への浮遊砂移入速度  $V_s$  を次のように求めた。

$$V_s = G / (\rho_s h L T) \quad (1)$$

ここに、 $G$ ：凹部内の砂堆積質量、 $\rho_s$ ：砂の密度、 $L$ ：凹部幅、 $T$ ：砂堆積量計測時間である。長方形及び台形における実験結果を図-2に示す。低水路底面では砂が河床波を伴い掃流砂となっており、高水敷高さがゼロであるケースT0、D0では掃流砂の流入が含まれる。他のケースでは凹部への堆積はすべて浮遊砂によるものと考えられる。長方形における浮遊砂だけの移入速度は凹部底面高さが高くなるほど大きくなっている。これは、凹部への流入境界面積の割合より高い割合で浮遊砂が移入していることを意味している。今回の低水路の浮遊砂濃度分布計測では底面から離れるほど減少することが確認されている。したがって、高水敷凹部へは何らかの3次元流により通常の浮遊砂濃度分布以上の砂が凹部へ移入していることを示すものである。このメカニズムとして、複断面開水路の低水路高水敷境界部で発生する斜昇流を含む2次流の存在が考えられる。台形凹部についても同様の傾向を示すが、移入速度は台形の方が小さいことがわかる。図-3に高水敷越流時の砂移入速度を示す。このケースでは非越流のケースに比べて平均流速が小さくこれとの直

接の比較は困難である。また、高水敷越流の場合は高水敷へ乗り上げた浮遊砂が掃流砂状に高水敷を輸送され、これが凹部へ堆積するため、低水路から凹部への移入量のみを取り出すことはできない。したがって、越流のケースにおいてのみ比較する。越流の場合は凹部高さが2cmのとき、掃流砂の流入があると考えられる凹部高さゼロのケースよりも移入速度が大きくなっており、非越流と異なる点である。これは高水敷上の流れの侵入による3次元流れ構造が関係すると考えられる。

**4. 実験結果および考察** 図-4にケースT0の砂堆積形状と流速ベクトルを示す。T0では水平断面で凹部全域にかけて大規模平面渦が確認できる。下流端に見られる凹部内の壁面に向かう流れスケールは上流端の主流部への流れスケールの約1/2であることが認められる。鉛直断面 $y=25\text{mm}$ では逆流が発達して上流側に $z=25\text{mm}$ を境とした上昇流と下降流が見られる。砂堆積形状を見ると比較的流速の速い凹部壁面では土砂が堆積しておらず、 $x=55\text{mm}$ を頂点とした山ができています。凹部の高さが0mmである本ケースについては、凹部内へ流入する土砂は低水路の掃流砂と浮遊砂である。凹部内には凹部中央から奥を中心とする平面渦が形成されているため、流速の比較的遅い凹部の中央部に土砂が多く堆積することがわかる。図-5にT0Eの砂堆

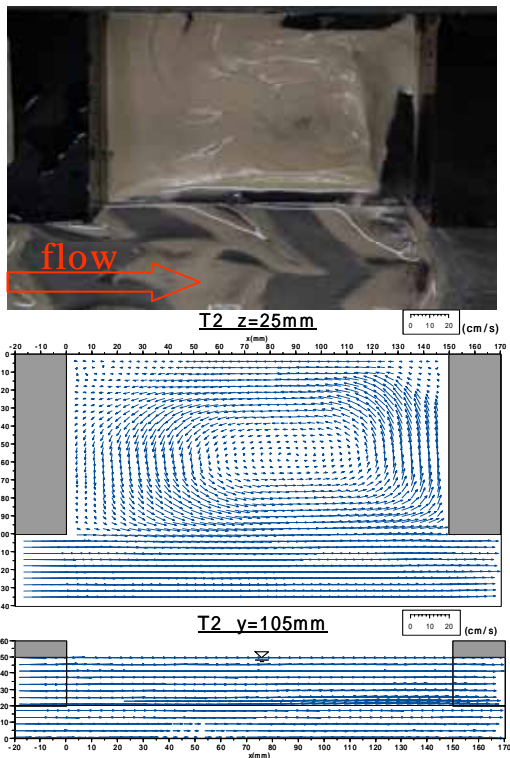


図-6 T2の砂堆積形状と流速ベクトル

積形状と流速ベクトルを示す。このケースでは $z=5\text{mm}$ の近傍に鉛直渦が流下方向に大きく発達し、低水路からの主流の入り込みが少なくなる。凹部の上流側壁側と下流先端部を結ぶ対角線より下流側においての広い範囲で逆流が見られ、 $y<50\text{mm}$ では側壁に向かう成分が大きくなっている。下流の段上がり先端付近では逆流から大きく主流側に偏向して流出している。鉛直断面 $y=50\text{mm}$ では、凹部全体に及ぶ横断渦構造が認められる。砂堆積形状との関係では横断渦の大きさが堆積形状に関係していると推測される。下流側の凹部壁面付近に形成される横断渦により下流側に非堆積領域が見られる。

図-6にケースT2の砂堆積形状と流速ベクトルを示す。T2では主流の凹部への入り込みと流出がはっきりしていて凹部内の高さが高くなるほどそれが認められる。鉛直断面 $y=105\text{mm}$ では凹部の底面付近で水面に向かう斜昇流が現れており、これは低水路の流れと凹部上の流れとが干渉し、複断面流れに特有な渦が形成されたものである。砂堆積形状から見ると凹部内が低水路底面より $20\text{mm}$ 高くなったため低水路からの掃流砂の流入は考えられず、浮遊砂による堆積が支配的だと判断できる。このケースでも凹部の中央部を中心とした循環流の影響で凹部の中央部に土砂の堆積が多くなっている。また、主流からの速い流れが開口部に流

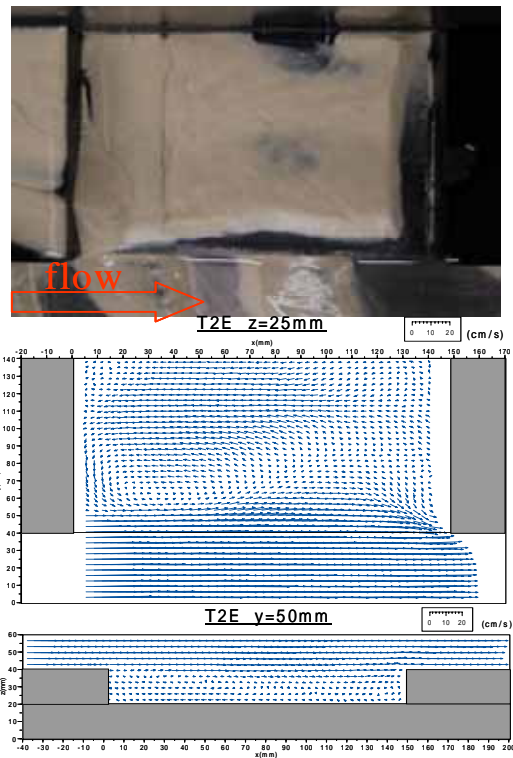


図-7 T2Eの砂堆積形状と流速ベクトル

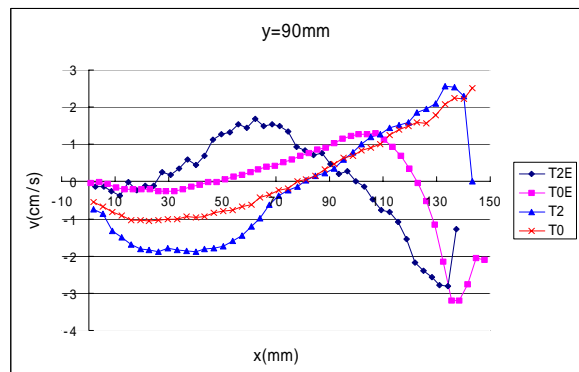


図-8 縦断面横断方向流速分布

入するため、凹部の開口部付近での少なくなっていると考えられる。

図-7にT2Eの砂堆積形状と流速ベクトルを示す。ケースT2Eの $z=25\text{mm}$ の凹部底面付近では、鉛直方向の軸を持つ鉛直渦が上流側に存在し、凹部上流側壁側の領域で逆流が見られる。凹部開口部の下流側から主流が湾曲して入り込み、下流側より大きく低水路側に曲げられながら流出する。鉛直断面では横断方向の軸を持つ横断渦が上流側半分に見られる。また、下流側段上がり部で上昇流が発生しているのが認められる。このように、このケースでは凹部上流域で鉛直渦が比較的小さく、横断渦が側壁側で支配的となっているといえる。凹部下流側では明確な渦構造はみられない。砂堆積形状を見ると、段落ち部の高水敷上の掃流砂が凹

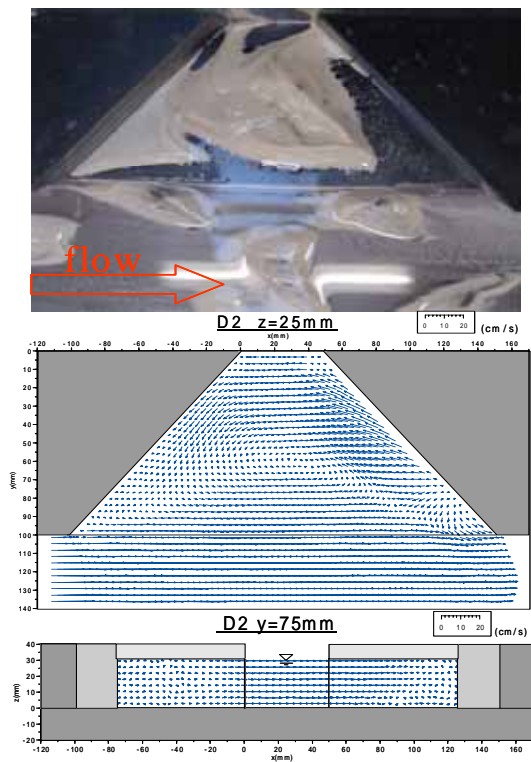


図-9 D2 の砂堆積形状と流速ベクトル

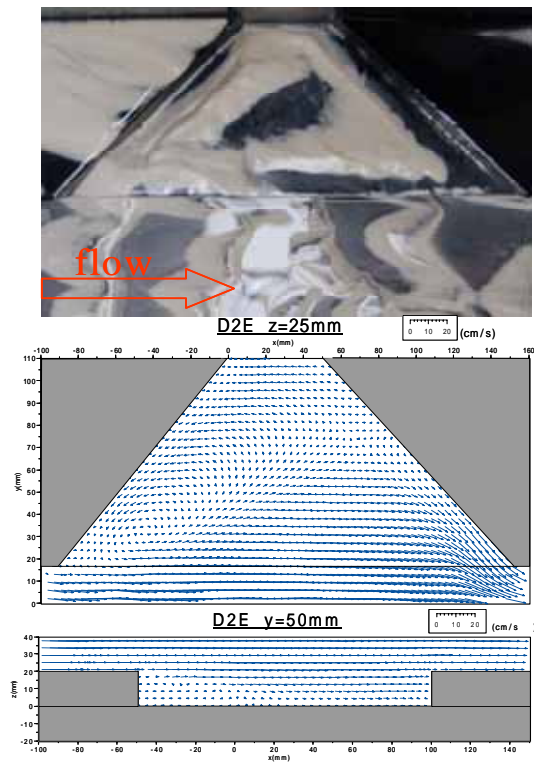


図-10 D2E の砂堆積形状と流速ベクトル

部に落ちてきて上流側の凹部壁面に堆積している。また、開口部に主流が湾曲して入り込み、その流れで凹部内の砂が持ち去られて開口部に非堆積領域が形成されると考えられる。図-8 に長方形凹部の開口部付近における縦断面横断方向流速分布を示す。これは開口部付近の主流の凹部への入り込みと流出を示したもので正の値は凹部への流入を負の値は凹部から低水路への流出を意味する。高水敷非越流の場合は凹部の下流側から主流が入り込んで上流側では低水路への流出していくのが分かる。しかし、高水敷越流の場合は高水敷上の流れによりそれとは反対の傾向が見られる。

図-9 に D2 の砂堆積形状と流速ベクトルを示す。D2 の水平断面では下流部の凹部壁面に沿う流れによって凹部内に入り込んだ主流方向の流れが強く低水路側へ押し出される。その流れによって凹部内の砂が低水路に持ち去られると考えられる。鉛直断面  $y=75\text{mm}$  では  $x=20\text{mm}$  の位置から順流が見られており、下流側で小規模横断渦が形成されている。それは水平断面で見られた下流側凹部壁面での二分された流れの現れだと考えられる。砂堆積形状では、開口部の上流側から非堆積領域がみられ、それが下流側まで広がっているのがわかる。図-10 に D2E の砂堆積形状と流速ベクトルを示す。ケース D2E の凹部底面近傍の  $z=25\text{mm}$  では、凹部の奥深くまで主流成分が卓越しており、この流れが

下流側の斜め段上がり部にぶつかり、これに沿って低水路側への強い流れを引き起こしている。一方、上流側の斜め段落ち部に沿うように鉛直渦が形成されている。鉛直断面  $y=50\text{mm}$  では、再付着点距離が約  $70\text{mm}$  と凹部深さの  $3\sim 4$  倍程度となり、長方形の場合に比べて短くなっている。これより下流では順流が現れ、下流端においても上昇流は見られない。堆積形状を見ると鉛直断面で見られた高水敷上からの流れが凹部内中央部に再付着することで広い範囲で非堆積領域が現れる。また、主流の進入で開口部に中央から下流部にかけて砂の堆積は見当たらない。

**5. 終わりに** 複断面河道の高水敷を掘削して作られる凹部内の流れ構造と砂堆積について、凹部形状と底面高さに着目して実験的に検討した。今回の実験では非越流状態と越流状態の流れの違いにより異なる堆積形状が現れた。また、凹部の高さが高いほど、長方形より台形の方が凹部内の砂堆積量が少ないことがわかった。したがって、複断面高水敷上に凹部を造成する際には台形状凹部の高さが高いほうが有用であるといえる。今後の課題として浮遊砂の測定方法の改善と砂の循環量を一定に保つことなどが挙げられる