

# 潮汐流および洪水流による 人工ワンドへの土砂流入と環境への影響

## EFFECT OF SEDIMENT TRANSPORTATION INTO ARTIFICIAL EMBAYMENT BY TIDAL AND FLOOD FLOW ON ENVIRONMENT OF EMBAYMENT

湯谷賢太郎<sup>1</sup>・内田哲夫<sup>2</sup>・佐々木寧<sup>3</sup>・田中規夫<sup>4</sup>  
Kentaro YUTANI, Tetsuo UCHIDA, Yasushi SASAKI and Norio TANAKA

<sup>1</sup>正会員 学博 埼玉大学大学院助教 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

<sup>2</sup>非会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

<sup>3</sup>正会員 理博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

<sup>4</sup>正会員 工博 埼玉大学大学院教授 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

The effect of sediment transportation into the artificial embayment by tidal and flood flow on the environment of embayment is considered. Changing of flow velocity and water depth by tidal event, and depth of accumulated sediment by flood event were investigated. It is thought that accumulated sediments in the embayment are transported by tidal flow, and accumulation of silt leads sediment of embayment to the anaerobic condition. Direct inflow of sediment in flood can be prevented with good devised configuration of the embayment and appropriate arrangement of vegetation.

On the embayment in tidal area, there is some possibility that effect of daily tidal flow on eco-environment is larger than that of irregular flood event.

**Key Words :** Tidal flow, Flood flow, Sediment transportation, Sediment accumulation, Embayment

### 1. はじめに

ワンドとは河川本川と接続されている半閉鎖水域であり、河川流や潮汐流、時には地下水流により水の交換が行われる。このような場所は河川本川とは異なった生態環境が形成され、豊かで多様な河川環境を形成する要因となる。特に、生物の幼生の生育場として、また、洪水時の生物の避難場として重要な意味を持っており、注目されている。一方では、ワンドは河川本川と比較して人間のアクセスが容易であることから、高い親水機能を持つと考えられ、環境教育をはじめとした地域環境活動のシンボルとして近年特に注目され、人工的にワンドを造成する試みも各地で行われている。特に、河川感潮域に形成されるワンドは、潮汐流によって日々水の交換がなされ、特異な環境を生み出すことから、河口干潟同様に地域生態系において重要な存在である。

木曾川水制周辺にはワンドが形成され、良好な河川環境を形成している事例が多く紹介されている<sup>1)・3)</sup>。水制周辺に形成されるワンドは、最初こそ人的作用によるものであるが、ワンド形成自体は自然作用であり、形成後

安定して存在していることが報告されている。しかし、人工的に形成したワンドでは、内部環境の悪化や、土砂の堆積によるワンドの閉塞により期待した機能を得られない事例もある<sup>4)</sup>。これは本来ワンドが形成されない場所にワンドを造成したことや、河川による土砂移動を十分考慮しなかった為と考えられる。

このように、人工的に造成したワンドでは、ワンド内環境を良好に維持し続けることが課題であり、そのためには、特に土砂の流入と水交換特性、底質環境の変化を適切に把握し、時には人為的に保全事業を実施することが必要である。近年ではワンドに関する研究や報告は容易に発見され、多くの事例を目にすることが出来る。しかし、多くは潮汐の影響を受けず、水の交換と物質の輸送は洪水によってもたらされる事例であり、感潮域ワンドの報告例の多くは木曾川の事例である。ワンドの性質は河川ごとの地域特性を反映していると考えられ、今後、ワンドを造成、保全していくためには多くの事例が必要と考えられる。そこで本研究では、荒川の感潮域に人工的に造成されたワンドに着目し、潮汐流と2007年9月の台風9号の洪水流による土砂の流入特性の違いを把握し、それぞれがワンド環境へ与えるインパクトについて考察

した。台風9号による堆積物のデータは採取から日が無く、十分な分析は行われていないが、速報値として紹介することをお断りしたい。

## 2. 観測対象のワンド（北区子供の水辺）

今回観測対象とした「北区子供の水辺」は、荒川下流の隅田川を分派する岩淵水門の上流約1.3 km、河口から約21.5 kmの右岸に位置している。全体面積は2.4 haで、荒川の本川に沿って下流側に水の出入り口となる開口部を持つ2つの小規模なワンドから構成されている。今回観測対象としたワンドは、そのうちでも大きな通称大池と呼ばれ、二股に分かれたY字型の構造をしており、開口部から少し高水敷側に入ったところに木杭と盛土が設置されて、ワンドの入り口となっている（図-1）。整備は2005年に完了し、その後定期的にモニタリングが行われてきた。ワンドとその周囲は地域の環境活動や環境学習の場とすることが目的であり、植生の一部は意図的に刈取られている。また、ワンド内は子供らが水に入ってくる活動できるように、大型抽水植物の侵入は許されていない。2007年現在、ワンド内にはコカナダモが全面に繁茂しており、ワンドの本川から見て上流側はオギを中心とした植生が覆っている。

本ワンドは、水位がワンドの周囲地盤高以下の小規模な洪水時に土砂が大量に流入することを避けるため、開口部は下流側に一箇所だけ設置されている。そのため、小規模の洪水では河川水がワンド内に浸入することは無く、水の出入りは主に潮汐流によってもたらされる。しかし、ワンド完成以降にワンドが冠水するような洪水は無かったにもかかわらず、2年間でワンド内には25 cm程度の土砂が堆積し、ワンドの閉塞と底質環境の悪化による生物量の減少が懸念されている。さらに、2007年9月の台風9号による洪水で土砂の堆積を受けた。そこで、ワンド内に土砂堆積をもたらした要因を調査するとともに、洪水時の土砂堆積を防ぐように考慮したワンド形状が、その効果を発揮したかどうかを確かめることも本研究の目的とする。

## 3. 観測方法

ワンド内の堆積土砂の分析を2007年7月に行った。土砂は金柄杓を用いて表層だけでなく、ある程度の深さまでワンド内の30箇所から採取し、それぞれ500 mlのカップへ移し替えた。同時に、採取点はGPSを用いて記録した。採取した土砂は、ワンド外へ持ち出したのち、直ちに土壌用Eh計（藤原製作所 EHS-120）を用いてカップ内の3点で酸化還元電位を計測し、平均値を求めた。その後、採取した土砂は大学へ持ち帰り、100℃で十分に

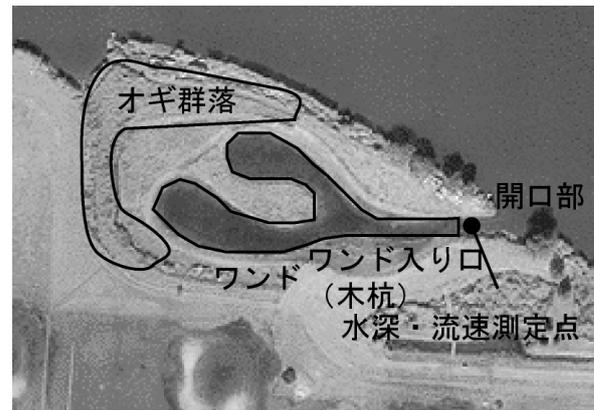


図-1 観測対象ワンドの航空写真

乾燥させた後、ふるい（0.059 cm, 0.021 cm）を用いて粒度の分析を行った。本研究では以下、粒径0.059 cm以上を粗砂、0.059から0.021 cmのものを細砂、0.021 cm以下のものをシルトと呼ぶ。

次に2007年9月にワンド開口部付近において、潮汐による水深の変化と流速の変化及び、ワンドに流入する水の濁度の計測を行った。計測を行った日は中潮にあたる。計測は上げ潮により河川水がワンドに流入を開始する時刻から行い、水深に変化がほぼ見られなくなるまで行った。濁度の計測には多項目水質計（HORIBA U-21DX）を用いた。水深の計測は容量式波高計（KENEK CH-501DC, CHT5-200）を現地に設置して行った。流速の計測も波高計を設置した地点と同じ場所で行い、電磁流速計（KENEK VM2000, VMT2-200-04P）を用いて行った。水深と流速は地上部に設置したAD変換機（KENEK ADS1016）を通した後、PCでデータを収集した。水深と流速の計測は1～10分程度の間隔で行い、サンプリングレート10 Hzで10秒間のデータを収集し、平均値を計測値として用いた。流速の測定は、当初、床上2.5 cmの箇所で行ったが、機器の性質上、水没を避けるために水深の増加とともに順次計測箇所を引き上げた。

計測地点は平坦で均質な河床材料で構成されており、流速の鉛直分布は対数則分布であると仮定し、粗面水路に対する対数則を適用して底面での摩擦速度を算出した。カルマン定数には0.4を用い、相当粗度には、観測地点底面に堆積している河床砂の平均粒径として0.01 cmを用いた。次に、限界掃流力に関する岩垣の公式<sup>5)</sup>を用いて、それぞれの摩擦速度に対する砂の移動限界粒径を算出した。

2007年9月に関東地方に上陸した台風9号により、荒川は増水し、観測対象のワンド近くの高水敷（AP 3.6 m）上1 m以上冠水し、総冠水時間は19時間に及んだ。また、ワンド周辺地盤（AP2.2 m）の最大冠水深は2.9 mで、冠水時間は44時間、そのうち1 m以上冠水したのは23時間に達した。その結果、ワンドの内外に土砂の堆積が見られたため、増水から2日後の堆積当初の状態を維持しているうちに堆積物の採取を行った。採取には内径7.5 cm

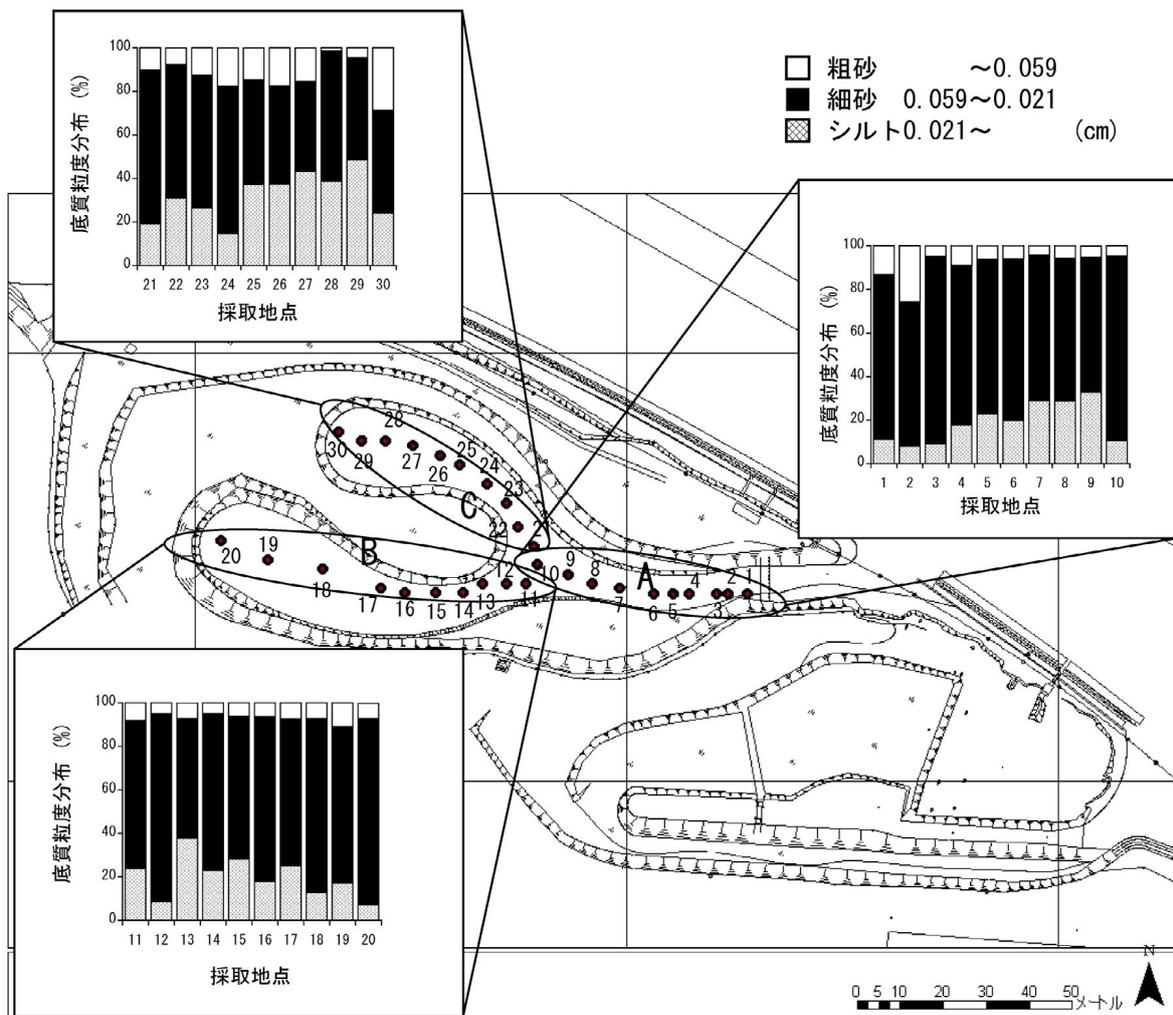


図-2 ワンド内の堆積土砂採取地点及び、各地点の粒度分布

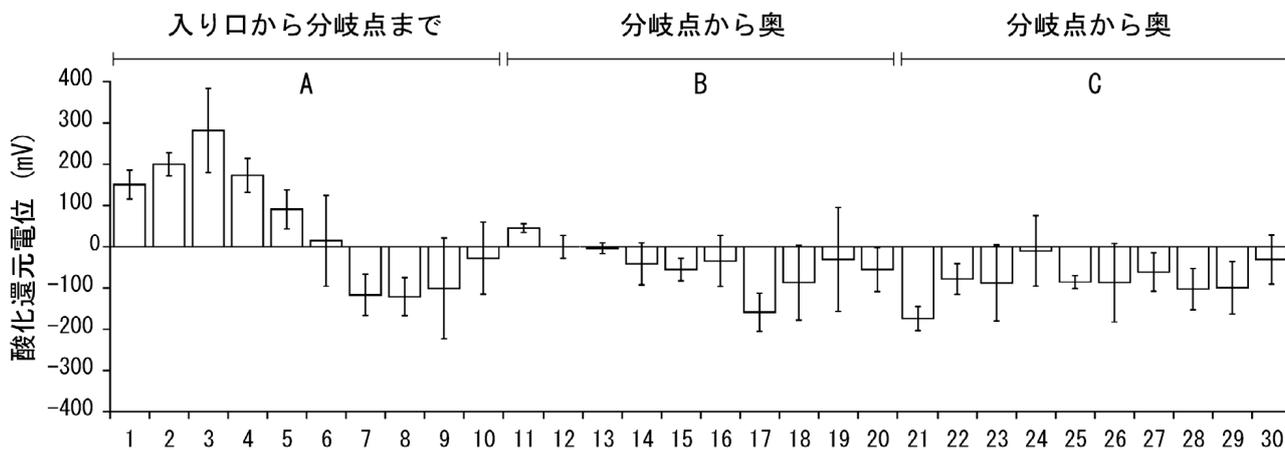


図-3 ワンド内底質の酸化還元電位 (バーは標準偏差)

の塩ビパイプを用いて一定の面積内から採取した。採取はワンド内外の45箇所で行った。採取した堆積物は大学に持ち帰り、100℃で十分に乾燥させた後、重量を計測した。

#### 4. 結果

##### (1) ワンド内堆積土砂及び底質の酸化還元電位

図-2にはワンド内堆積物を採取した地点及び粒度の分析結果を示した。図から、ワンド内で最も多く堆積しているのは細砂であることが見て取れる。入り口からY字状の分岐点まで(A区域, No.1~10)の平均細砂含有率は73%であり、南側の分岐点より奥まで(B区域, No.11~20)も同様に73%であった。しかし、北側の分岐点より奥まで(C区域, No.21~30)では、平均で55%の細砂含有率であった。その代わりに、C区域では

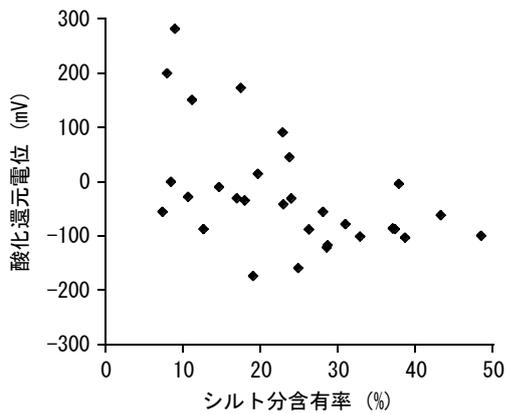


図-4 底質のシルト含有率と酸化還元電位の関係

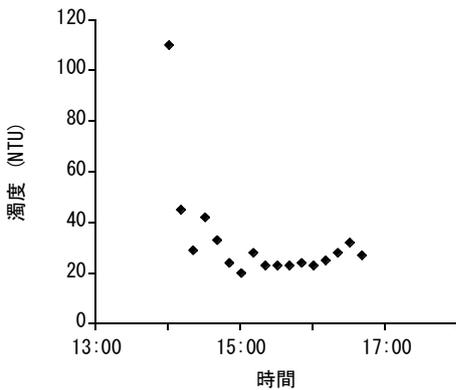


図-5 ワンド内へ流入する水の濁度

シルト成分が非常に多く堆積しており、平均で32%の含有率であった。この堆積土砂の粒度分布の違いから、ワンド内の潮汐流がワンド形状によって影響を受け、Y字分岐点より奥の北側と南側で異なっている可能性がある。

図-3にはワンド内底質の酸化還元電位の計測結果を示した。ワンドへの流入口付近で特に高い酸化還元電位が計測され、底質が好氣的であることが分かる。しかし、分岐点付近から奥の酸化還元電位はマイナスの値が多く計測されており、ワンド底質が嫌氣的になっていることがわかる。入り口からY字状の分岐点まで(A区域)の平均酸化還元電位は54であり、南側の分岐点より奥まで(B区域)は-42、北側の分岐点より奥まで(C区域)では、-82であった。流入口付近に好氣的な底質環境が形成されていることから、この付近でワンドから河川本川へ向けて鉛直方向の地下水流が生じている可能性が考えられる。一方で、シルト分の多く堆積している北側奥部において嫌氣的な底質が分布していることから、シルト成分と酸化還元電位との関連が伺われた。そこで、シルト成分の含有率と酸化還元電位を比較した結果を図-4に示す。図から、堆積しているシルト成分が多いほど底質内が嫌氣的に成ることが分かる(スピアマンの順位相関係数 $r = -0.572$ ,  $p = 0.002$ )。これは、本稿でシルトと分

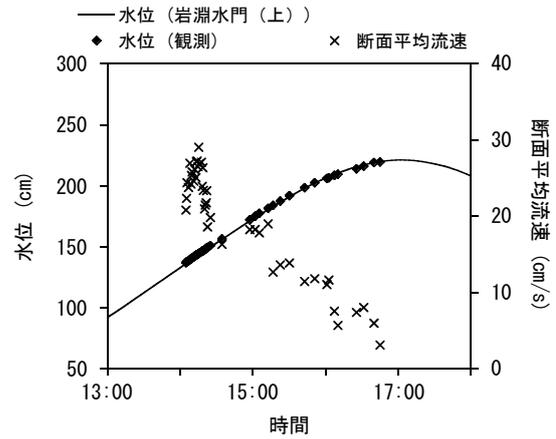


図-6 ワンドへ流入する潮汐流の水深と流速

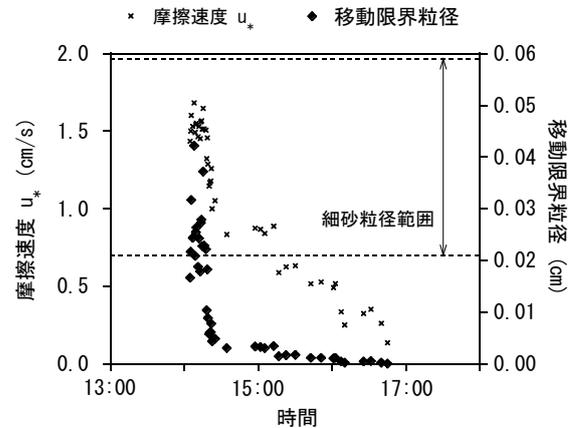


図-7 底面での摩擦速度と移動限界粒径

類した底質成分中に有機物も含まれていたためと考えられる。そのため、シルトの溜まりやすい環境は、有機物の蓄積を招き易いと言え、環境の悪化につながる恐れがある。

## (2) ワンド流入水の濁度と潮汐流および移動限界粒径

図-5は潮汐流によってワンド内へ流入する水の濁度の計測結果を示している。流入水の濁度は、ワンドへの流入開始初期に非常に高い濁度を示し、110 NTUを記録した。その後、濁度は急速に減少し、20~25 NTU程度で推移した。濁度の増加は、水中に浮遊する微細粒子の増加を意味する。そのため、ワンド内底質の嫌氣化を引き起こしているシルト成分は、上げ潮時初期に記録された流入水の高い濁度によってもたらされたと考えられる。

次に、図-6には水深と流速の計測結果を示してある。水深は水位(AP)に補正して示し、流速は対数則を適用して計算した断面平均流速を示してある。また、比較のため、岩淵水門(上)水位観測所のデータも示してある。計測を行った地点はワンド開口部近くであったため、水位の変化は本川と同様の变化を示している。一方で、流速はワンド内への水の流入開始後約10分で最大流速29

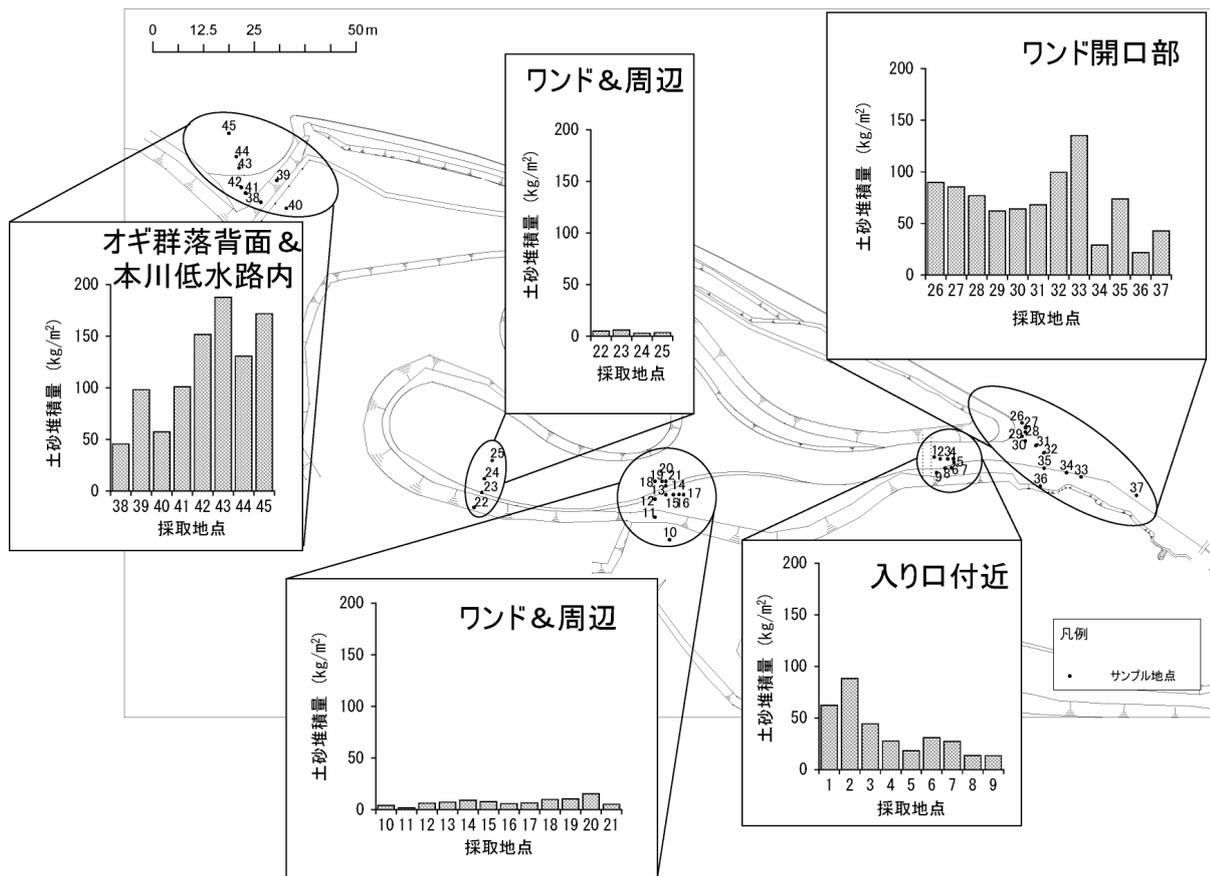


図-8 洪水によるワンド内外への土砂堆積量

cm/sを記録した。その後、水位の上昇ともなって流速は減少した。

図-7には流速と水深から計算された底面における摩擦速度と、その時点での移動限界粒径が示してある。摩擦速度は、ワンドへの流入初期に高く、その後に減少することが分かる。この時、移動限界粒径は最大で0.042 cmとなり、ワンド内に堆積していた細砂が移動可能という結果になった。さらに、図-7内には細砂の粒径を範囲で示してある。このことから上げ潮時の初期段階には、ワンド内に堆積している細砂を移動させるだけの摩擦速度が生じることが分かった。また、初期の段階で掃流砂が生じている可能性があることから、流入初期に計測された流入水の高い濁度は、底質の巻き上げによって生じている可能性が示唆された。

### (3) 洪水による土砂堆積

最後に、図-8に台風9号による増水によって生じた堆積物の観測結果を示す。ワンド内外の堆積傾向は、大きく3つに分類された。一つはワンド入り口付近であり、堆積物はシルトに多少の砂分が含まれている。堆積量は非常に多く、低い場所に特に多く堆積していた。観測された最大の堆積量は88 kg/m<sup>2</sup>である。次に、ワンド開口部及び上流側のオギ群落背面と本川低水路内である。堆積物には砂が多く、シルト分も含む。この範囲の堆積量

も多く、低い場所に多く堆積していた。また、オギ群落外縁部に多くの堆積物が見られるという特徴を示した。オギ群落外縁部に堆積した平均の土砂量は67 kg/m<sup>2</sup>である。最後にワンド及びその周辺部である。この範囲の堆積物はシルトであった。砂分は見られず、シルトの堆積も極わずかであった。さらに、ワンド内はわずかにシルトの堆積が見られるものの、洪水の影響によって堆積したと思われる砂は見られなかった。この範囲に堆積したシルトの平均量は6.6 kg/m<sup>2</sup>である。

本川との合流点付近及びワンド入り口付近への堆積は、増水時にこの範囲では開口部下流側からワンド上流部へ向かい、ワンド入り口付近で再び下流側へ流れを変える時計回りの循環流が発生し、土砂が運搬されてきた可能性を示している。一方で、オギ背面に見られた堆積は、オギ群落がフィルターの効果を発揮し、背面で砂を堆積させたものと考えられた。その結果、ワンド内には土砂が流入せず、洪水時の土砂堆積によるワンドの閉塞が回避された。

## 5. 考 察

今回研究対象とした「北区子供の水辺」では、2年間で25 cmもの土砂堆積が確認され、整備以降に大きな洪

水も無かったことから、土砂を移動させた要因は潮汐流が疑われた。本研究の結果、潮汐流によって細砂が移動可能であることが示された。同様に、潮汐流による底質移動に関しては宇野らが河口干潟について検討した事例がある<sup>9)</sup>。彼らの検討結果によれば、大潮時で最大1.3 cm/s程度の摩擦速度が引き起こされる。今回の観測では最大で1.7 cm/sであり、同程度の値を取る事から計測の妥当性は示されたといえる。一方で、本研究のほうが大きな摩擦速度を記録した要因としては、ワンドの形状が大きく影響しているものと考えられた。観測対象のワンドは、開口部から細長く伸びており、入り口には木杭と盛土が設置されている。そのため、上げ潮時には河川本川とワンドとの間で水位差が発生し、流入速度を増加させた可能性もある。また宇野ら<sup>9)</sup>は、干潟での観測で下げ潮時においても同様な大きな掃流力が生じることを報告しており、ワンド内に流入した細砂が下げ潮によって運び去られ、ワンド内には堆積しないことも考えられる。しかし、前述のようにワンド内にはコカナダモが繁茂しており、一度堆積した土砂の再浮上を妨げる効果を発揮することが考えられる。そのため、本ワンドは細砂の流入が卓越する環境であり、ワンド内部に堆積した細砂は潮汐流によって運び込まれたものと考えることが出来る。しかし、今回の観測では潮汐流によって流入する土砂量の定量的な把握には至っておらず、潮汐流のみによって25 cmもの土砂が2年間で堆積したのかどうかの結論は出せず、今後も調査を続ける予定である。

また、洪水時にワンド本体への土砂堆積が僅かであったことから、洪水時の土砂堆積を防ぐように考慮したワンド形状が、その効果を発揮したことが確かめられた。しかし、上流側からの土砂流入を防いだのは、周囲のオギ群落の効果が大きい。そのため、洪水時の土砂流入を防ぐためには、ワンド周辺の植生を維持していくことが大切である。一方、ワンド開口部を下流側に細く設置したことによって、下流側からの土砂流入も防がれた。しかし、入り口前面に堆積した土砂が、今後の潮汐流によってワンド内に運搬されることも考えられ、注意深く観測を続ける必要が有る。

最後に、本研究により感潮域にあるワンドでは、潮汐流による砂やシルトの流入がワンド内環境を悪化させる可能性が示された。さらにその影響は、条件次第では洪水によるインパクト以上になることも示された。洪水による土砂の流入は、上述のようにワンド形状の工夫と周囲に適切に植生帯を設置することによって、ある程度防ぐことができよう。しかし、潮汐流による土砂流入は防ぐことが難しい。ワンドの開口部を広げて流入時の流速を下げることによって土砂流入量を減らせる可能性もあるが、開口部を広げた場合には洪水時に本川から直接ワンド内に土砂が流入する可能性もあり、注意が必要である。ワンドの適切な形状を議論するには、モデルによる実験や数値モデルによる検討が必要であり、今後の課題で

ある。また、今回の観測対象ワンドのように、レクリエーション目的に用いられるワンドでは、定期的に人工的に土砂を排出させるなど、運用面の工夫も必要だろう。

## 6. まとめ

本研究により得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 潮汐流の摩擦速度から移動限界粒径を計算すると、ワンド内に堆積した細砂を移動させるのに十分であった。そのため、ワンド内に堆積した細砂は、潮汐流によってもたらされたと考えられる。さらに、底質の嫌気化はワンド内が有機物を蓄積しやすい環境であることを示すものと考えられる。
- (2) 台風9号の洪水流によってもたらされた土砂は、オギ等の植生によって捕捉され、ワンド内への流入は少なかった。また、ワンド入り口付近には多く堆積したものの、洪水時の循環流が直接ワンド内に土砂を運び入れた痕跡は見られなかった。そのため、ワンド形状の工夫と周囲への適切な植生配置は、洪水時の土砂堆積によるワンド環境への影響を最小限に抑える可能性がある。

**謝辞：**本研究は、埼玉大学総合研究機構プロジェクト（代表：湯谷）、および財団法人河川環境管理財団河川整備基金助成金（代表：佐々木）により援助を受けました。また、観測に際しては、荒川下流河川事務所、北区の方々にお世話になりました。また、北区・子供の水辺協議会の方々には多大なご協力をいただきました。最後に、観測は植木宏君の多大な尽力により成されたものであります。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 武田誠, 木村一郎, 松尾直規, 山崎美彦, 藤田晶子, 木曾川ワンドにおける水温変動とその数値解析モデルに関する研究, 水工学論文集, No.46, pp.1097-1102, 2002.
- 2) 木村一郎, 北村忠紀, 鷺見哲也, 武田誠, 鬼東幸樹, 庄健治朗, 大塚康司, 木曾川感潮域に設置された水制郡周辺のワンド形成過程と河川環境に関する共同研究, 河川技術論文集, No.8, pp.365-370, 2002.
- 3) 鷺見哲也, 鷺津善之, 辻本哲郎, 木曾川ワンド部での水域・堆積域間水交換, 河川技術論文集, No.8, pp.371-376, 2002.
- 4) 河川環境管理財団, 流水・土砂の管理と河川環境の保全・復元に関する研究(改訂版)「6. ワンド・タマリの水理および生態系機能と保全・復元」, pp.149-218, 河川環境管理財団, 2005.
- 5) 土木学会編: 水理公式集[平成11年度版], 土木学会, 1999.
- 6) 宇野宏司, 中野晋, 古川忠司: 河口干潟と砂州の底質移動に及ぼす潮汐流の効果, 河川技術論文集, No.9, pp.281-286, 2003.

(2007. 9. 30受付)