

加古川河口右岸に形成されるワンド内の物理環境

巽 光* 宇野 宏司**

Physical Conditions in Wando at Right Bank of the Kakogawa River Mouth

Hikaru TATSUMI* Kohji UNO**

ABSTRACT

Wando is a semi-closed water area which is different from the hydraulic characteristics of the river. It served as spawning place and nursery ground of fish juveniles. However, the dead water zone like *wando* decreased by the river improvement works. As a result, habitat environment of the aquatic organisms is threatened, especially in urban area. Maintenance and creation of *wando* is working in various regions of Japan now. It is necessary to comprehend physical conditions such as wind, tidal current and salinity field.

In this study, field observations were carried out to understand physical conditions of *wando*. Study site is at the right bank of the Kakogawa River mouth.

The change of salinity of pore water at a depth of 50cm was not able to be confirmed neither in the river nor in *wando*. However, salinity just below the river bed has decreased by the rain. On the other hand, the change of salinity was not confirmed in *wando*. As a result, it has been understood that the *wando* forms steady salinity field.

Keywords: *wando*, dead water zone, salinity, field observation, maintenance and creation

1. はじめに

ワンドとは河川本流と何らかの形でつながっている、本流と水理条件の異なる静水に近い半閉鎖性水域のことであり、平水時に開口部のない「たまり」と区別される。ワンドには安定して水が供給されることによって一年中水がある恒久的水域になっているものもあれば、湧き水や伏流水変動により一年の一時期だけ湛水しているものもある。ワンドは止水性が強く、河川本流と異なる環境をもたらすため、河川に生息する魚類の産卵場所や稚魚の育成場を提供するなど貴重な自然空間となっている。また、滞留による洪水リスクの低減や、ヨシなどの植生による水質浄化も期待されている¹⁾²⁾。特に、河川感潮域に形成されるワンドは、潮流の影響などによって水の交換や塩水の浸入など、特異な生息環境を生み出すことから、干潟や砂州と同様に重要な存在として注目されている³⁾。

これまで我が国では低水護岸を設置して直線化する河川改修が多く行われてきた。その結果、流速と水深の分布が単調な空間のみ残り、ワンドのような多様な

空間を有する止水域は減少し、そこに棲む生物の生息環境も脅かされるようになった。1997年の新河川法制定以来の河川整備⁴⁾では、治水・利水・環境の多機能を同時に満足することが求められるようになったが、一つの機能を一つの構造物で担うことは難しいとされている。河川のさまざまなかたち、流れと土砂と地形、植生からなる河川そのもので多くの機能を担っている状態、これを河川景観と呼ぶが、その管理・整備を行っていくという考え方が重要になっている。ワンドの保全・創造には、まずワンドの有する環境機能について把握する必要があり、これまでも多くの観測事例が報告されているが、十分な知見が得られるには至っていない。

このような社会的背景を踏まえ、本研究では、加古川河口右岸に形成されるワンドを対象に、ワンド内の物理環境、特に間隙水中の塩分変動特性についての実態把握を目的とした現地調査を行った。

2. 調査方法

2.1 調査地点 加古川は総延長96km、流域面積1730km²に及ぶ県下最大の一級河川であり、瀬戸内海に流れ込む。河口付近には絶滅危惧Ⅱ類に指定されてい

* 専攻科 都市工学専攻

** 都市工学科 准教授

るハクセンシオマネキ (*Uca lactea*) が生息し、渡り鳥の飛来地としても貴重な自然空間となっている。また、河川敷に咲く菜の花の一大群落は播磨の春の風物詩であり、ウインドサーフィンのメッカとしても有名な場所である。

本研究では、**図-1**に示す加古川河口右岸に形成されるワンドにおいて、以下の現地調査を行った。

2.2 連続モニタリング調査 中期的な間隙水中の塩分挙動の把握を目的として、加古川本川・ワンドに簡易的な観測井を設け、水位・塩分(河床から約0.5m深)の計測を1分間隔で行った。また、河床のごく表層付近の塩分挙動の把握を目的として、水温塩分計を直接埋設する方法でも同様の計測を行った。なお、計器設置時の人的攪乱の影響をなるべく抑えるため、各計測は計器設置から1時間後に開始している。

2.3 1 潮汐間集中調査 河川感潮域は潮汐流の浸入により複雑な物理環境を形成する。そこで、潮汐流がワンドに浸入することにより、塩分や流速がどのような挙動を示すのかをより詳細に把握するため、水位

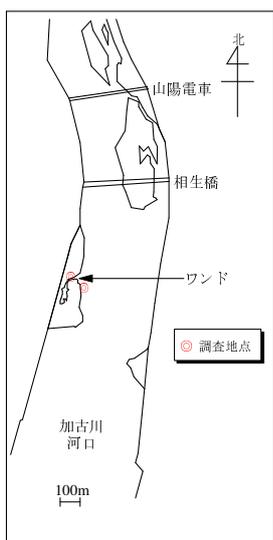


図-1 加古川河口図

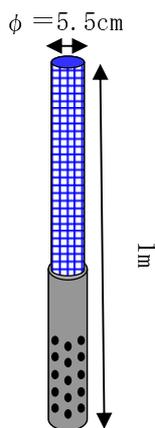


図-3 観測井概要図

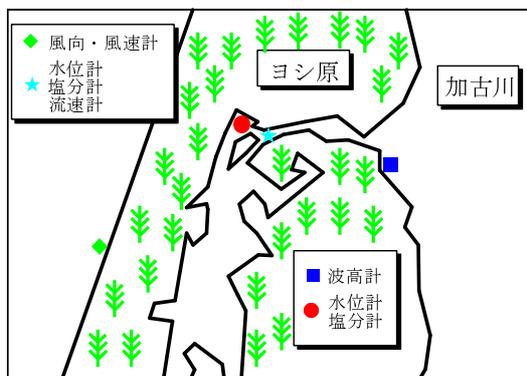


図-2 計測器設置点

表-1 各計測器の名称

計測項目	計測器名称
水位	HOBO U20
塩分	OMPACT-CT
流速	INFINITY-EM
風向・風速	KADEC21
表層流	GPSmap 60CSx
波高	COMPACT-WH

{ワンド・みお筋とも計測間隔 1sec}, 塩分{ワンド・みお筋表層・みお筋底層/1sec}, 流速{みお筋/0.5sec}, 風向・風速{ワンド地上 5m/1sec}, 表層流{ワンド表層/10sec}, 波高{本川/0.25sec}の計測を行った。**図-2**に加古川河口右岸における計測器設置点を、**表-1**に使用した計測器の名称を示す。

2.4 観測井の諸元 **図-3**に観測井の概要図を示す。観測井には直径 5.5cm, 長さ 1~2m の塩化ビニール製のパイプを用い、地中に打設した。底部には、間隙水が浸透するように複数の穴を設けた。また、パイプ内への砂の侵入を防ぐため、パイプ中にはメッシュを巻いた⁵⁾。

2.5 表層・底層の塩分測定方法 表層塩分は水位変化に対応できるようにみお筋上にポールを立て、水位に応じて浮きを昇降するようにした。塩分計をこの浮きの底面に吊るし、表層から約 20cm 深で計測を行った。底層塩分はポール付近の河床直上で計測を行った。

3. 調査結果

3.1 各地点の試料 底質は本川・ワンドとも地表から約 30cm 地点で採取した。粒度試験 (JIS A 1204)⁶⁾により粒径加積曲線を作成し中央粒径 D_{50} を求めた。均等係数 U_c ・淘汰係数 S_0 については式(1), (2)により求めた。

$$U_c = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \quad (2)$$

ここに D_{60} : 60%通過粒径
 D_{10} : 10%通過粒径
 D_{75} : 75%通過粒径
 D_{25} : 25%通過粒径 である。

また、定水位透水試験 (JIS A 1218)⁶⁾により透水係数 k を算出した。加古川本川とワンドの底質特性値 (**表-2**) を比較すると底質中央粒径には大きな差が見られる。均等係数・淘汰係数から加古川本川は粒径が均質化しているのに対し、ワンドでは粒径が不均質で粒度分布幅が大きいのとなっていることがわかる。また、ワ

表-2 各地点の試料

	加古川本川	ワンド
中央粒径 D_{50} (mm)	0.24	0.041
均等係数 U_c	3.11	17.86
淘汰係数 S_0	1.54	2.17
透水係数 k (cm/s)	2.5×10^{-2}	2.86×10^{-4}

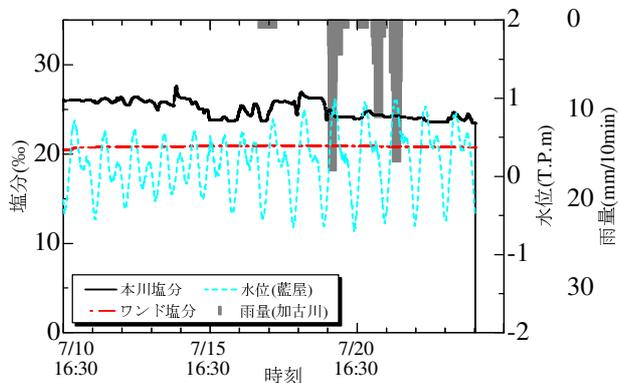


図-4 塩分の経時変化(連続モニタリング)

ワンドは加古川本川に比べ、底質の透水係数が非常に小さいことがわかった。

3.2 連続モニタリング調査

図-4に2009年7月10日から7月24日の塩分の経時変化を示す。この期間、ワンドでの観測井内の塩分は降雨・潮汐流の影響を受けず、塩分が一定に保たれている。加古川本川においては塩分の変化が見られるが、降雨が始まる前にもわずかに塩分が低下しており、通常の降雨によるワンド内および河川底質の間隙水の塩分変化の影響は小さいと考えられる。

次に、本川における潮汐流の影響を考慮するため、塩分・水位の時系列データにおいて10分間平均での変化量を調べたところ、一次近似式は

$$\Delta S = 0.3261\Delta H - 0.0012 \quad (3)$$

となった。ここに、 ΔS :塩分変化量、 ΔH :水位変化量である。相関係数は $R=0.20$ と低く、水位変化と土壌間隙水中の塩分変化の間に有意な相関は見られなかった。この原因として、観測点が河口から1km地点であるために、沖側からの塩分供給が卓越していることが考えられる。

土壌間隙水中の塩分変動については、特にワンド内で見られなかったため、次に水温塩分計を地盤内に直接埋設することにより、表層近くの間隙水塩分の計測を行った。図-5に2009年8月6日から8月11日の塩分の経時変化を示す。本川の塩分は降雨によって塩分が減少している。しかし、ワンドについては、今回の観測でも塩分変動が見られず、ワンドの間隙水中の塩分はこの程度の降雨に対しては常に一定に保たれる

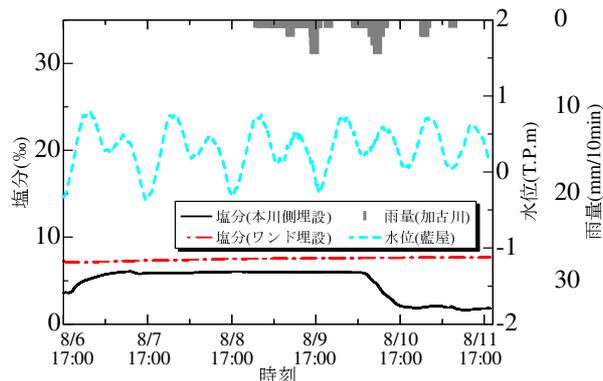


図-5 塩分の経時変化(連続モニタリング)

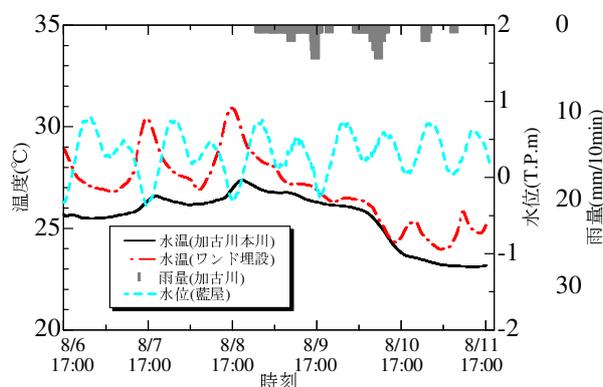


図-6 水温の経時変化(連続モニタリング)

ということが確認できた。表-2よりワンドの透水係数は加古川本川のものに比べて非常に小さく、ワンド内の底質においては、降雨や潮汐流による間隙水の交換が起こりにくいとされる。

図-6に2009年8月6日から8月11日の水温の経時変化を示す。ワンドでは日較差が $3\sim 4^\circ\text{C}$ であるのに対し、本川は $1\sim 2^\circ\text{C}$ の変動しか見られず、加古川本川はワンドに比べて水温変化が小さいことがわかる。各地点の水温に注目すると、干潮時に最大になり、水位が上昇すると水温が下がっている。つまり、潮汐による影響を受けていることがわかる。本川側はワンドよりも地盤高が低く、干出時間が短いほどそれほど大きな変動は見られなかったものと考えられる。ただし降雨時には、干潮時でも日射による加熱がないため、両者とも温度の変動は見られない。

3.3 1 潮汐間集中調査 [河川水中の塩分挙動]

図-7に2010年8月29日、9月11日の河川水中の塩分挙動を示す。両日も水位と塩分の連動する様子が見られ、ワンド内に潮汐流の浸入が確認できる。河川水降下による塩分の減少は全体図(図-7上)では確認しにくいので、拡大すると(図-7下)、9月11日13時前後においてわずかな塩分の減少が見られる。また、

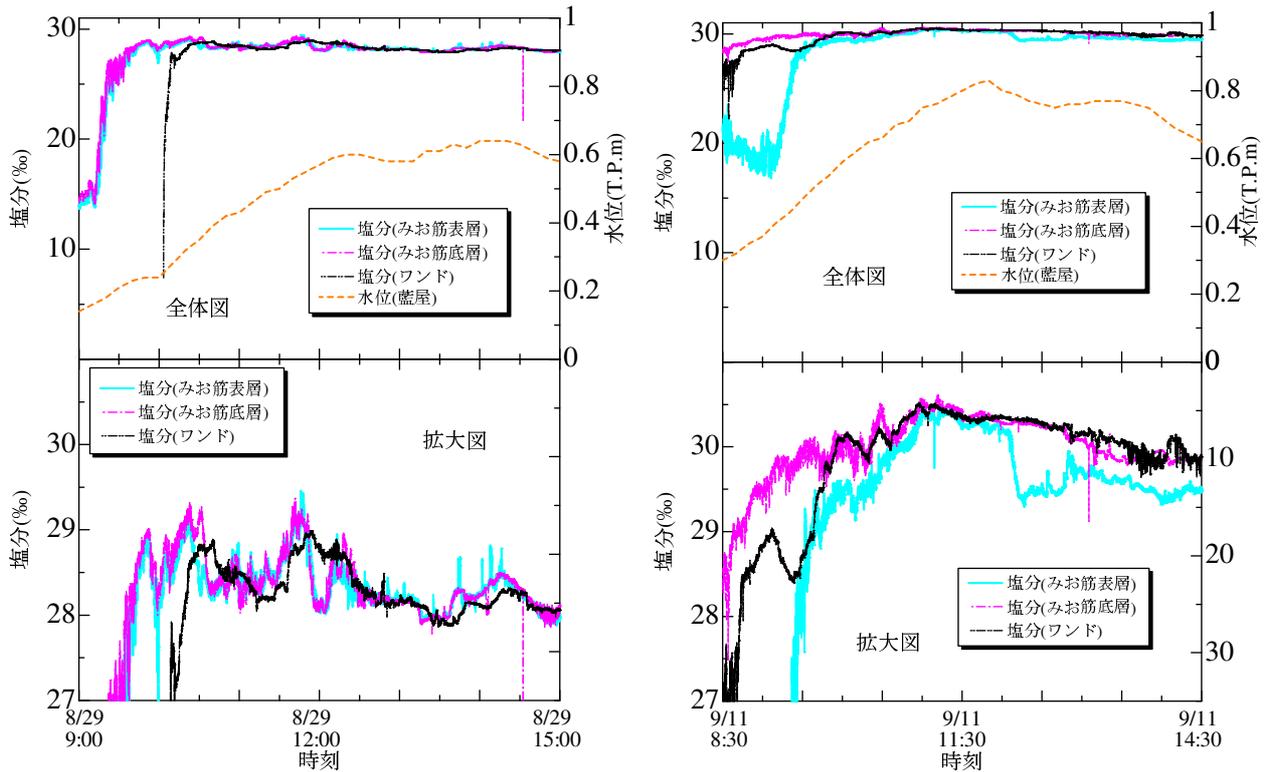


図-7 河川水中の塩分挙動

みお筋の表層と底層で塩分差を確認したところ、8月29日においては、ほとんど差はなく9時から11時にかけてわずかに表層の塩分が小さい程度に留まった。9月11日においては、9時から11時にかけて表層と底層で大きな塩分差が生じており、8月29日と比較すると塩分差が顕著であった。ただし、水深が十分ではなかったため、塩水楔の形成によるものとは考えにくく、底層からの高塩分水の供給によるものと思われる。

ワンド内での塩分は河床上で計測したため、満潮付近以降はみお筋底層のものと似た塩分挙動を示すが、それ以前ではタイムラグが生じている。これは、干出時にワンド内のたまりの残留した水が混合するためであると考えられる。

[表層流移動] 図-8に浮きによる表層流の観測結果を示す。8月29日においては、一定の場所で動かずに、14:45頃から調査対象としているワンドへと進入し、河川本流へと流れず滞留した。9月11日においては、上げ潮時はみお筋からワンド奥へと進入し、一定の場所で動かなくなり、水位が下がり始める14:30頃から調査対象とするワンドへと動き、その場で留まった。これらの結果から、上げ潮時はみお筋に沿って遡上するような移動が確認できた。一方、下げ潮時はワンド奥から河川の方へと流れるが、一度ワンド内に進入すると滞留する傾向が強いことがわかった。

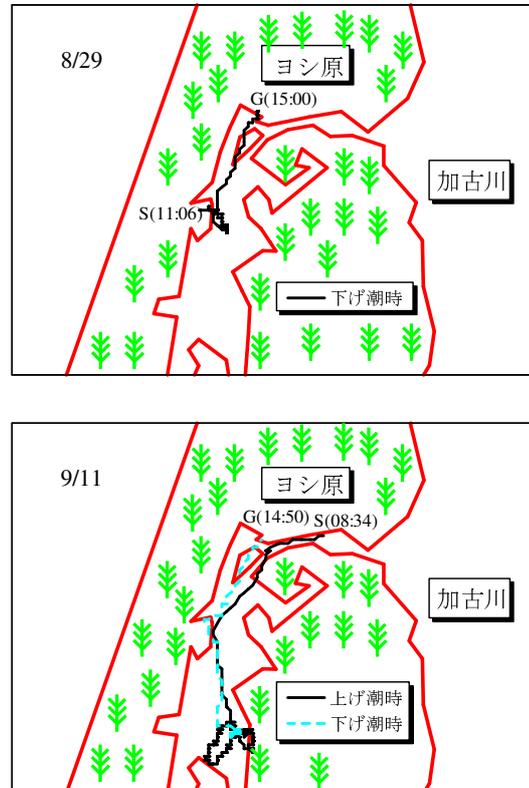


図-8 浮きによる表層流の観測結果

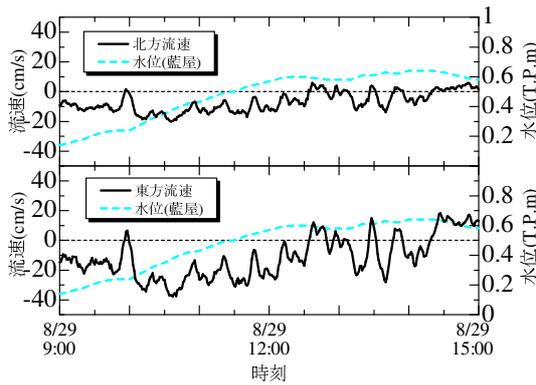


図-9 流速時間変化(みお筋)

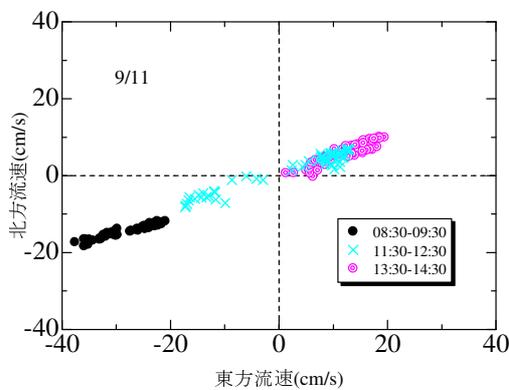
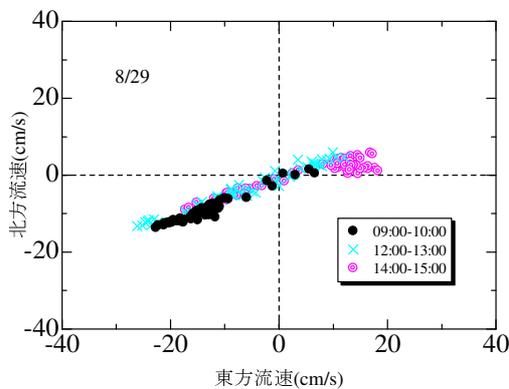
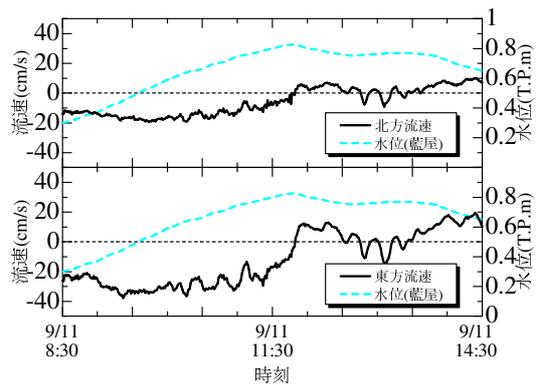


図-10 時間別の出現流向流速

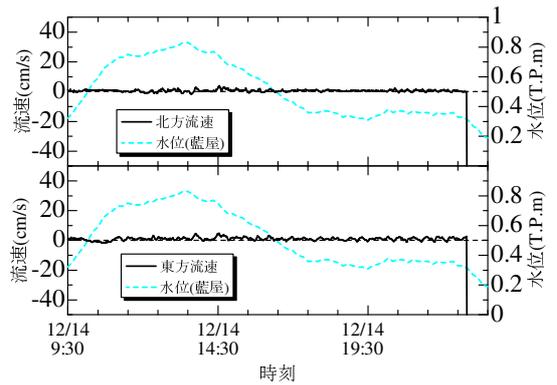


図-11 流速時間変化(ワンド)

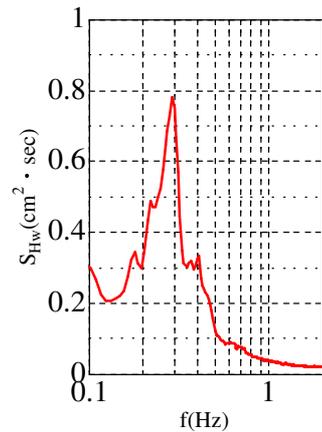


図-12 波高データのスペクトル解析結果

表-3 波の分類

種類	周期
表面張力波	0.07 秒以下
重力波	数秒から 20 秒
長周期波	30 秒程度

[みお筋流速] 図-9にみお筋に設置した流速計のデータを示す。8月29日、9月11日ともに、上げ潮時では流速が速く、満潮付近になると流速が遅くなる傾向が見られ、みお筋上では潮汐による流速変化が見られることがわかる。図-10に時間別出現流向流速の変化を示す。上げ潮時は南西方向へと流れる傾向が強いが、満潮付近では卓越した流れの方向は見られない。下げ潮時には上げ潮時と逆方向の流れが卓越しており、このことから上げ潮時には本川からワンドへの潮汐流が卓越し、下げ潮時はワンドから本川への流れが卓越する傾向がうかがえる。

図-11に過去に得られたワンド内の流速(2008年12月14日)を示す。図-9と比較すると、みお筋の最大流速は約45cm/sであるのに対し、ワンド内での最大流速は約7cm/sと緩やかな流れとなっている。この時のみお筋上の流速は計測できていないが潮位変化

を比較すると2008年12月14日の方が2010年8月29日、9月11日より大きくなっており、流速も速かったものと予想される。その状況下においても、ワンドの流速は緩やかであったことから、ワンド内の流動はみお筋に比べても静穏であると言える。

【遡上する波浪】 図-12に波高計データをスペクトル解析したものを、表-3に周期による波の分類⁷⁾を示す。周波数 f は0.25~0.3Hzで卓越していることから、波の周期は3~4秒となる。表-3から、この範囲は主に重力波に分類される。重力波は風波とうねりによるものが主であり、加古川河口は風の影響が強く、遡上する波は風波が卓越していることがわかった。

4. まとめ

加古川河口の本川・ワンドの物理環境を現地調査することにより以下のことがわかった。

- ・土中間隙水中の塩分変動を把握するために、本川とワンドで底質表層から30cm地点と底質表層付近で計測したところ、ワンドにおいてはいずれの深さにおいても塩分の増減はほとんど見られなかった。また、台風などの出水時も塩分の減少は見られず、安定した塩分場を形成していることがわかった。
- ・一方、本川では、底質表層から0.5m地点では降雨による間隙水中の塩分変動が確認できなかったが、底質表層付近では台風による出水で塩分の減少が確認できた。
- ・1 潮汐間集中調査では、表層と底層の塩分は似た変動傾向を示すが、干出時のワンド内のたまりの残留水の影響を受けるため、わずかに底層の塩分が濃くなる傾向が見られた。
- ・ワンド内の流動場の傾向として上げ潮時は河川から

みお筋を経てワンド内へと流入するが、下げ潮時はこれと逆方向の流れが卓越するのではなく、局所的な風の影響を受けて、ワンド奥へと滞留する向きの流れが卓越していた。

- ・得られた波高計のデータをスペクトル解析すると、周期が3~4秒の波が卓越しており、遡上してくる波の多くは風波であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 有田正光, 池田裕一, 中井正則, 中村由行, 道奥康治, 村上和男: 水圏の環境, pp. 180-198, pp. 276-311, pp. 324-371, 東京電機大学出版局, 1998.
- 2) (財)河川環境管理財団 大阪研究所: わんどの機能と保全・創造~豊かな河川環境を目指して~, pp. 151-156, pp. 177-206, 1999.
- 3) 湯谷賢太郎, 内田哲夫, 佐々木寧, 田中法夫: 潮流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, 水工学論文集, 第52巻, pp. 697-702, 2008.
- 4) 国土交通省河川局 <http://www.mlit.go.jp/river/>
- 5) 辻本哲郎: 河道砂州の水・物質循環機構と植生の影響, 河川整備基金助成事業, pp. 1-29, 2004.
- 6) 土質試験—基本と手引き— (第一回改訂版), pp. 27-38, pp. 91-102, 社団法人 地盤工学会, 2001.
- 7) 平山秀夫, 辻本剛三, 島田富美男, 本田尚正: 環境・都市システム系 教科書シリーズ 9 海岸工学, pp. 19-22, pp. 80-98, コロナ社, 2003.