

砂州における溜まりや植生の立地 環境特性と伏流水との係わり

RELATIONSHIPS BETWEEN SEEPAGE FLOW AND SITE CHARACTERISTICS OF PONDS AND VEGETATION ON SAND BAR IN FLOODPLAIN

原田守博¹・西村智樹²・武井 剛³・太刀川恭子⁴

Morihiro HARADA, Tomoki NISHIMURA, Tsuyoshi TAKEI and Kyoko TACHIKAWA

¹ 正会員 工博 名城大学助教授 理工学部土木工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

² 学生会員 名城大学大学院 理工学研究科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501)

³ 愛知県土木部 (〒460-8501 名古屋市中区三の丸 3-1-2)

⁴ 中日本建設コンサルタント(株) (〒460-0003 名古屋市中区錦 1-8-6)

The sand bars in alluvial floodplain are fundamental elements characterized the river environment. The vegetation covering the bar plays important roles in the river eco-system as a habitat for insects and birds, and the ponds which stud on the bar provide precious habitats for aquatic insects, amphibians and fishes. Needless to say, since the stream water in channel seeps into the sand bars because of high permeability of the sediment materials, the vegetation and ponds on the bar seem to be strong affected by the seepage water.

The present paper shows that relationships between the seepage flow and the site characteristics of the vegetation and ponds are researched in an isolated sand bar of the Shonai River. Especially, how the seepage water affects hydraulic properties of the ponds and spatial distribution of the vegetation is considered through field investigations and hydraulic analyses of the phenomena.

Key Words : seepage flow, sand bar, vegetation, pond, habitat, eco-system, floodplain

1. はじめに

河川の中流域では、寄州や中州などの砂州が堤外地に数多く分布し、河川の景観や生態系を構成する重要な要素となっている。とくに、砂州上に繁茂する植生は、昆虫や鳥類・小動物に生息環境を提供し、生態系の基礎となっているとともに、川辺を訪れる人々に緑と安らぎを与えている。また、砂州に入り込んだワンドや砂州上に点在する溜まりは、水棲昆虫や小魚、両生類などの生息に必要な止水域として、河川生態系のなかで重要な役割を果たしている。当然のことながら、砂州は透水性の良い土質から構成されるため、河川水は容易に伏流浸透し、雨水の浸透も盛んである。したがって、砂州上の植生や水域の形成と維持には、河道からの伏流水や降雨の浸透水が密接に関わっていると考えられる。

一方、近年の多自然型川づくりにおいて、こうした砂州上の植生やワンド・溜まりの取り扱いが重要な検討課題となっている。たとえば、川辺の植生をどのように残し、また、どのように再生するか、

種々の議論がなされているが、そもそも自然の河川植生がどのような立地環境にあるのか十分検討されているとは言えない。また、砂州上の溜まりには、降水が一時的に貯留されたものや、河川水が砂州内へ浸透した伏流水によって恒久的に維持されているものなど多様な形態がある¹⁾が、その成立条件や水質特性、河川との水理応答など、調査された例はほとんどない。

本研究は、こうした現状を背景として、名古屋市を流れる庄内川中流域の中州を対象に、植生の空間分布と溜まりの水理・水質挙動が砂州への伏流水とどのような係わりにあるかを、現地調査を通じて検討したものである。

2. 対象砂州の概要

本研究で対象とする砂州は、庄内川中流域の水分橋下流(河口から21.7km地点)に位置する(図-1)。中州は、大きな出水時には写真-1のように冠水し、その形状が若干変化するものの、近年は徐々に堆積

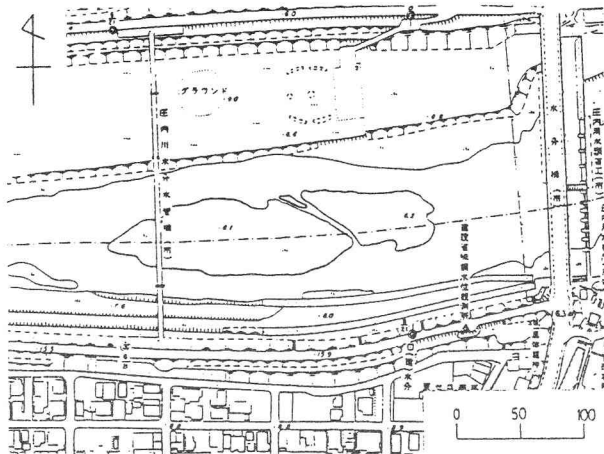


図-1 対象とする庄内川の中州

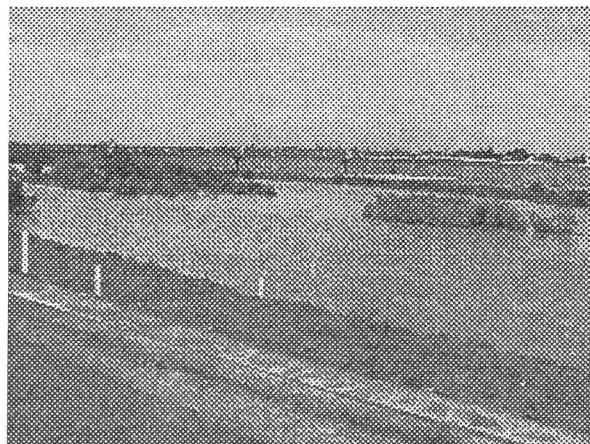


写真-1 出水時に冠水した中州

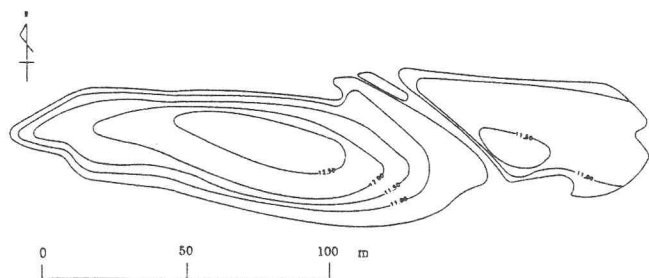


図-2 中州の微地形

が進み、植生が繁茂する傾向にある（写真-2）。図-2は、測量によって得た中州の微地形図である。図から分かるように、中州の地形は中央の平坦地を挟んで、上流側に微高地、下流側に高地がある。これらの高地部分には土壌層が形成され、オギなどの植生が繁茂している。平坦地は砂礫層が堆積し、ツルヨシやカワヤナギなどが生育している。

3. 植生分布の調査

(1) 調査方法

中州内の植生分布について、Braun-Blanquetの方

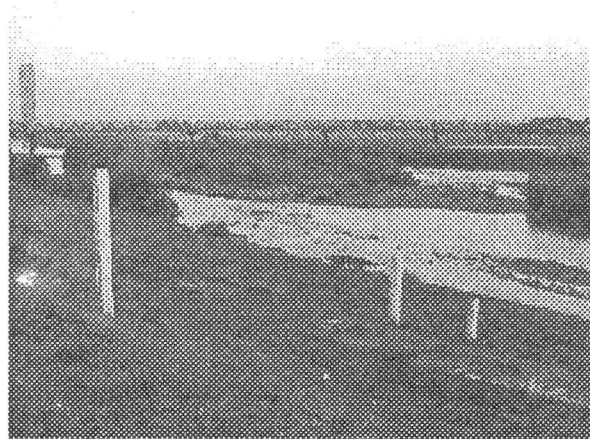


写真-2 平常時の中州

法による組成調査を行い、既存植生図と比較しながら植生図を作成した。この調査方法は、対象区域内に方形枠のコードラートを設置し、各コードラート内すべての植物を把握し、各植物の被度・群度を記録するものである²⁾。図-3に現地調査の結果を示す。これから分かるように、対象砂州の植生は、ツルヨシ群落、カワヤナギ群落など11種類の群落型に区分でき、確認した植物種は7科21種であった。

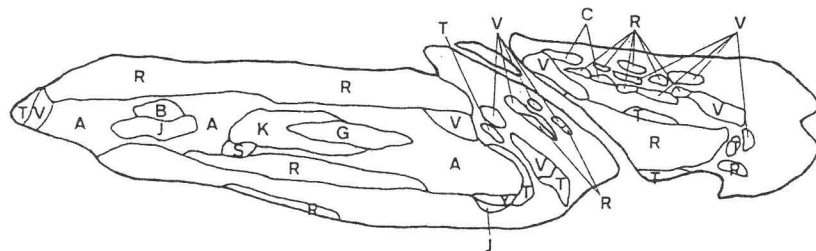


図-3 中州の植生分布

T	ツルヨシ群落
V	ヤナギタデ群落
C	シバ群落
R	カワヤナギ群落
J	セイバンモロコシオオクサキビ群落
Y	ヨモギ群落
A	オギセイタカアワダチソウ群落
G	ジャヤナギマルバヤナギ群落
S	セリ群落
K	カムナグラ群落
B	ブタクサ群落

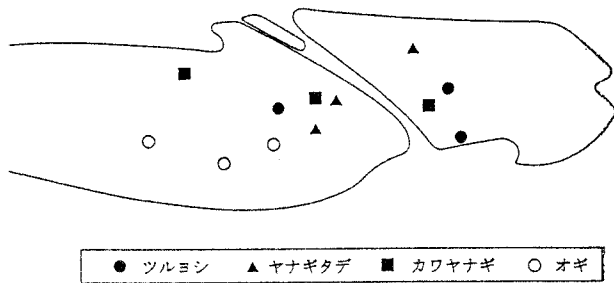


図-4 表層土壌の採取地点

(2) 植生分布と微地形との関係

詳細な測量による中州の標高図(図-2)と植生分布(図-3)とを比較すると、中州の地形は中央の平坦地を挟んで、上流側に微高地、下流側に高地があり、標高の違いに付随して植生にもかなりの分布の違いが見られた。中州内の植物は、2つの大きなグループ、すなわち、河道の縁辺や砂礫堆の中の河道跡などの流水面からの比高が低い不安定なところに生える植物と、流水面より1m以上の標高の高い安定したところに分布の中心がある植物に分けられた。両者のグループは、互いにすみわけていると考えられ、ツル植物やランナーによる進入以外には、植生ごとの遷移段階としてつながらない群落であると推定される。

(3) 植生分布と表層土壌との関係

中州内の植生の構成要素として代表的なツルヨシ、ヤナギタデ、カワヤナギ、オギーセイタカアワダチソウの植物群落が生育している表層堆積物の粒径を調べ、立地環境について比較した。図-4に土壌採取地点を、図-5にふるい分けによって得られた粒径加積曲線を示す。図より、水際に生えるツルヨシは礫の多い土壌、ヤナギタデとカワヤナギは砂礫の交じり合う土壌、オギーセイタカアワダチソウは、砂地の土壌に多く生育していることが分かった。

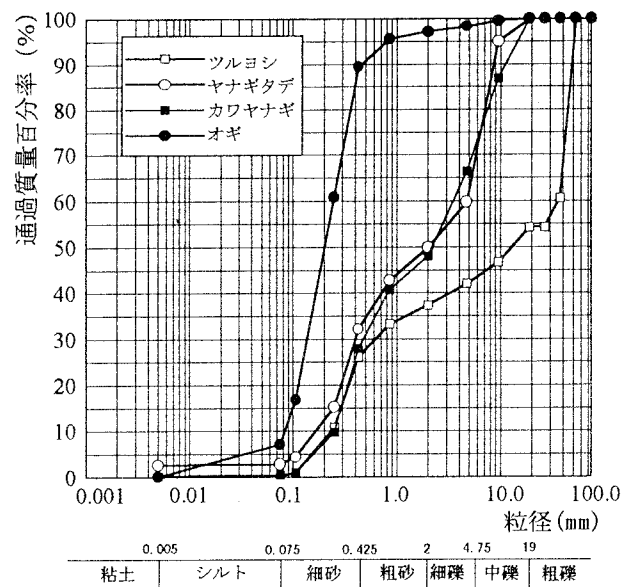


図-5 各植生の生育土壌の粒径加積曲線

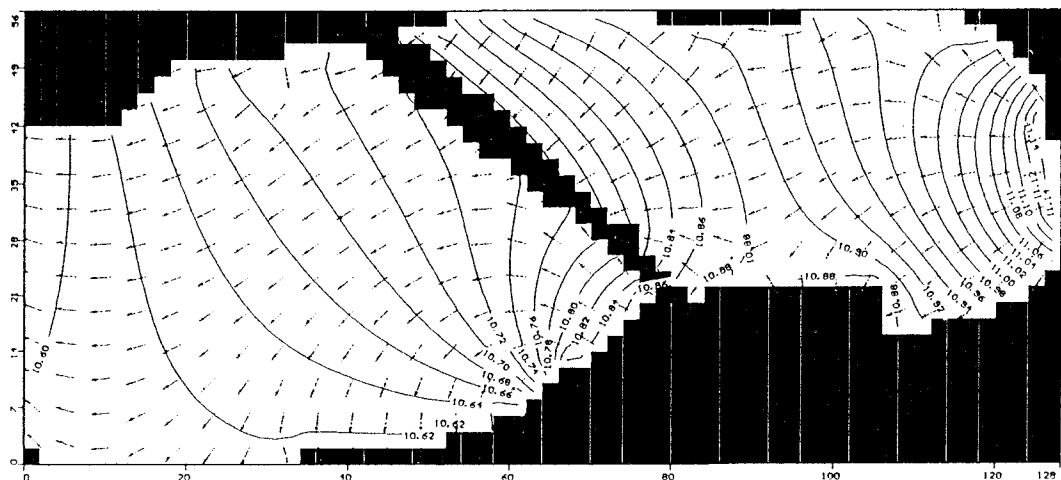
4. 植生分布と伏流水との係わり

(1) 砂州内の伏流水の数値解析

中州における伏流浸透流を平面二次元流れと仮定し、支配方程式(1)を数値解析した。

$$n_e \frac{\partial h}{\partial t} = kh_o \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) + kh_o \left(\frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) + r \quad (1)$$

ここに、 h : 伏流水位、 h_o : 透水層の厚さ、 k : 透水係数、 n_e : 有効間隙率、 r : 鉛直涵養強度である³⁾。ここではまず、無降雨時($r=0$)での定常状態を求めた。伏流水位の境界条件を与えるために、中州周縁に量水標を設置し、河川水位を詳細に計測した。数値計算には広域地下水の差分解析ソフトウェア MODFLOW⁴⁾を用いた。なお、透水係数 k と有効間隙率 n_e には砂礫としての値を採用した。解析から得られた伏流水位と流向の空間分布を図-6に示す。



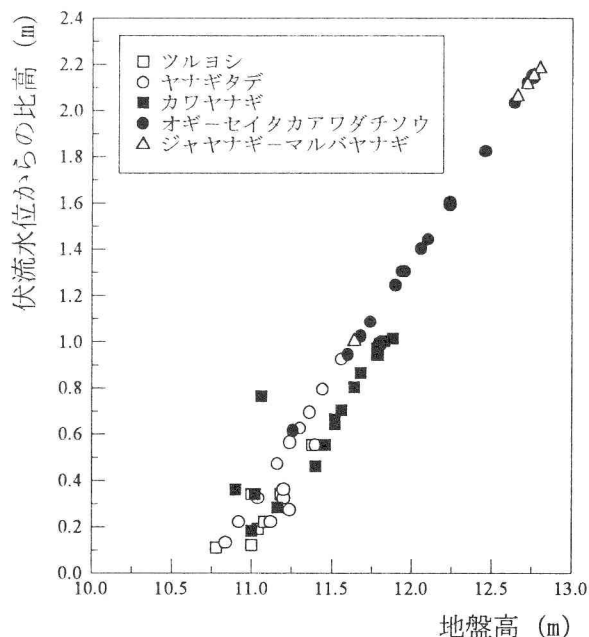


図-7 地盤高と比高による植物分布

(2) 伏流水位からの比高と植生分布の対応

解析による伏流水位分布(図-6)と植生分布(図-2)を照合して、伏流水位と中州の植生分布との関連について検討した。図-7は、中州の植生の構成要素として重要なツルヨシ、ヤナギタデ、カワヤナギ、オギーセイタカアワダチソウ、マルバヤナギ、ジャヤナギ、5種の各群落ごとの立地環境について比較したものである。図では、出水時に冠水する頻度を表わす地盤高を横軸に、伏流水面から植物への水分供給を表わす比高を縦軸にとり、上記の5種のそれぞれ調査地における生育場所を区別してある。この図より、ツルヨシやヤナギタデなど乾燥に弱い植物は、比高が0.5m以下の湿潤域に集中して分布しており、逆にオギなど伏流水の影響を好まない植物は、比高が1m以上の高いところに分布していることが分かる。

5. 人工溜まりにおける現地観測

対象砂州には、凹地に降水が一時的に貯留された天然の溜まりも見られたが、ここでは河川水位に対する溜まりの水位応答や水質・水温の変動特性を検討する目的で、砂州上の2ヶ所に溜まりを人工的に掘削し、現地調査を行なった(写真-3)。図-8に人工溜まりの設置場所を示す。溜まりAは伏流が卓越すると思われる河道近くに、溜まりBは標高のやや高い地点に設置した。

計測は、中州周縁の河川水位と溜まり内の水位変化を量水標により測定するとともに、溜まりの水質項目として、塩分を投入したあとの導電率と、水温やpHの時間変化を計測した。

(1) 溜まりにおける導電率の変化

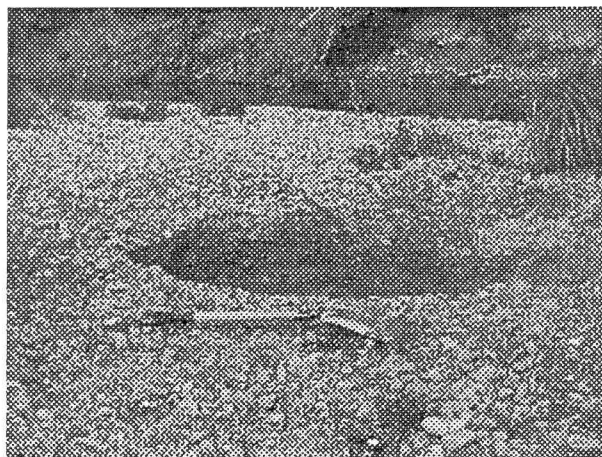


写真-3 人工溜まりの掘削

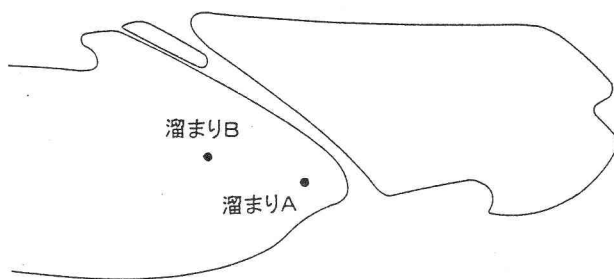


図-8 人工溜まりの掘削地点

溜まりの水質に伏流水がどのように関わっているかを調べるため、2ヶ所の溜まりに塩水を投入し、溜まり水の導電率 EC の時間的変化を観測した。図-9はその計測結果をプロットしたものである。塩水投入前の導電率は溜まりA、Bともに0.2 mS/cmで、河川水の導電率も同様であったが、投入後は図に示したように、導電率はどちらの溜まりにおいても急速に減少している。図によると、溜まりの水質が元の状態に落ち着くまでには2日以上を要している。溜まりAがBに比べ、元の水質に戻るまでの時間が短いのは、Aの方が河道に近く、伏流水による希釈効果が高いためと思われる。

(2) 導電率変化の理論的検討

こうした導電率の変化過程を検討するために、伏流水による溜まり水の希釈過程を検討する。塩分投入後の溜まり内の塩分質量 $S(t)$ について、塩分の流出量を $O(t)$ とすると、連続方程式は式(2)となる。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -O(t) \quad (2)$$

体積 V の溜まりへの伏流水の流入・流出量 Q を定常と考えると、塩分流出量 $O(t)$ は

$$O(t) = S(t) \cdot Q/V \quad (3)$$

となる。浸透流速はダルシー則に従い、透水係数 k

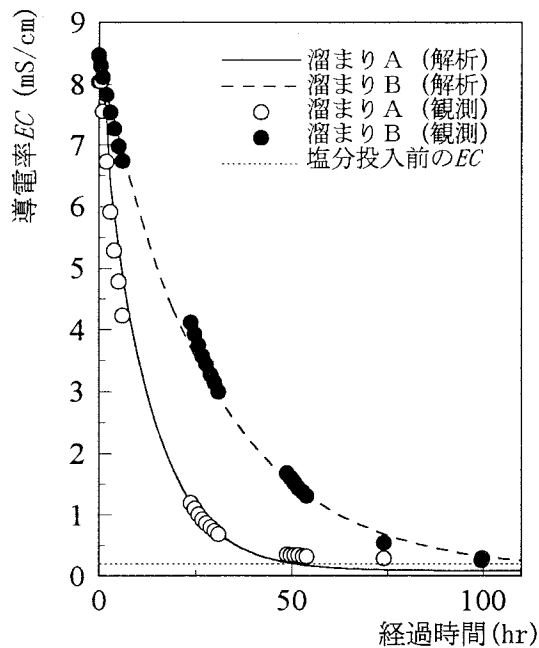


図-9 溜まりにおける導電率の時間変化

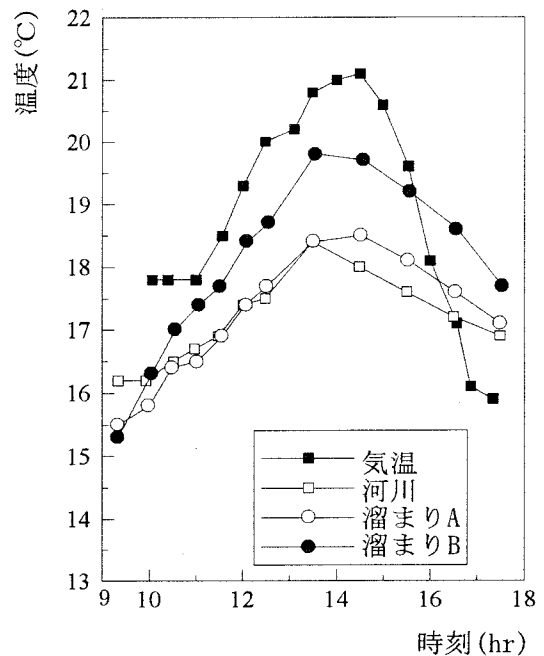


図-10 河川と溜まりの水温の時間的変化

は場所的に一定として解くと、塩分質量 $S(t)$ は

$$S(t) = S_0 \exp\left(-\frac{Q}{V}t\right) = S_0 \exp\left(-\frac{kIa}{V}t\right) \quad (4)$$

ここに、 S_0 ：初期時刻 $t = 0$ における塩分投入量、 I ：動水勾配、 a ：溜まり内の流出断面積である。塩分質量 $S(t)$ から塩分濃度 $\alpha(t) = S(t) / (\rho \cdot V)$ を求め (ρ ：淡水の密度)、 $\alpha(t)$ と導電率 EC の関係を室内実験で定めることにより、式(4)より EC の時間的変化の理論値を得ることができる。パラメータのうち溜まり周辺の動水勾配は、前述した伏流水位の解析から、 $I_A = 0.0048$ 、 $I_B = 0.0034$ である。また、溜まりの流出断面積は、 $a_A = 2500 \text{ cm}^2$ 、 $a_B = 2200 \text{ cm}^2$ である。透水係数は砂州の堆積物が砂礫であることから、 $k = 3 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ とした。図-9 にここで得られた解析値を併記すると EC の計測値は理論値とよく適合している。したがって、溜まり A の方が B に比べて EC の低減が早いのは、河道から EC の低い水が浸透することにより、溜まりの水質が浄化されるためであることが裏付けられた。

(3) 溜まりにおける水温の日変化

図-10 は、河川および溜まりの水温と気温の日変化である。溜まり B では気温の影響を強く受け、気温が上昇するにつれて水温も急上昇している。一方、溜まり A では河川の水温変化と酷似した変動を示している。これは、溜まり A が河川に近く、伏流水の影響を強く受けているためと推察される。

6. 溜まりと河川水位との応答特性

(1) 溜まりおよび河川の水位変動

中州内の伏流水位の時間的変動を把握するために、中州周縁と溜まり A・B に量水標を設置し観測を行った。溜まりおよび河川の水位変動は小さく微量であるので、わかりやすく表すために、計測開始時刻を基準とした水位変動量で示したものを図-11 に示す。図によると、2ヶ所の溜まりの水位は、河川の水位変動(平均値)より少し遅れて変動する傾

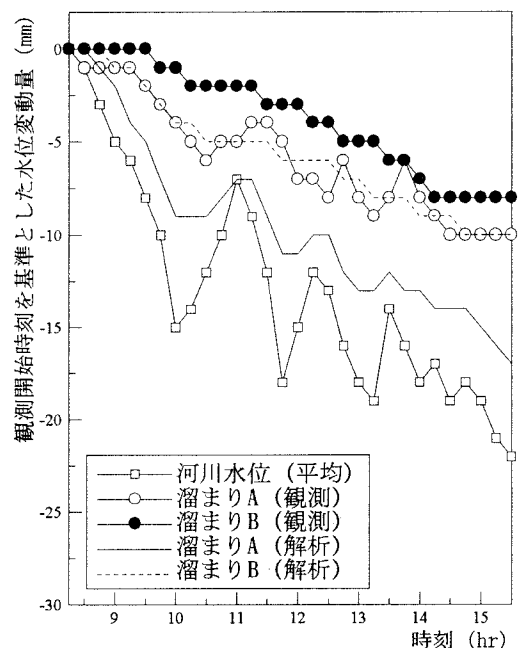


図-11 河川と溜まりの水位変動

向がみられる．とくに溜まりAの水位変動は，全体的に河川と類似した傾向を示した．これは溜まりAが河川に近いためと思われる．一方，溜まりBはAに比べ緩やかな変動を見せている．これは，溜まりBが河川から離れた場所に位置するため，河川水位の変動の影響を受けにくいためであると推察される．

(2) 溜まり水位の数値解析と観測データの比較

中州周縁の非定常な河川水位を境界条件として，溜まり周辺地域の伏流水位の変動を，式(1)をもとにMODFLOWにより非定常解析した．図-12は，解析による溜まり周辺域の伏流水位分布の一例である．この図より，河道近くにある溜まりAに比べ砂州内部の溜まりBの方が，導水勾配が緩やかであり，溜まりへの浸透水の流入も少ないことが分かる．解析によって得られた溜まりA・B地点の伏流水位の変動曲線を図-11に併記した．この図によると，水位変動量が微小であるため，解析結果は計測データと値そのものは一致していないが，溜まりAに比べてBの方が，水位変動が緩慢であることがよく再現できている．すなわち，外部条件である河川水位の変動は，河道に近い溜まりAには明確に伝播するものの，さらに内部にある溜まりBには緩慢にしか伝わらない様子が表現できている．

7. まとめ

庄内川中州における植生および溜まりと伏流水との係わりについて，現地調査を基礎として検討した．植生に関する調査の結果，対象とする中州では，

- 1) 植生はツルヨシ群落，カワヤナギ群落など11種類の群落型に区分でき，植物種は7科21種であった．
- 2) 微地形標高図との対応から，中州内の植物は，河道の縁辺や砂礫堆の中の河道跡などの流水面近くに生えるものと，流水面より1m以上高い安定したところに分布の中心があるものに分けられた．
- 3) 表層堆積物の粒度と植生分布を比較したところ，ツルヨシは礫の多い土壌，ヤナギタデとカワヤナギは砂礫の交じり合う土壌，オギーセイタカアワダチソウは，砂地の土壌に多く生育することが分かった．
- 4) 数値解析による伏流水位分布と植生分布を照合したところ，ツルヨシやヤナギタデなど乾燥に弱い植物は伏流水面からの比高が0.5m以下に集中して分布し，逆にオギなどは比高が1m以上のところに分布することが明らかになった．

つぎに，対象砂州上に2ヶ所の人工溜まりを掘削し，河川水位に対する溜まりの水位応答や水質・水温の変動について調査した結果，

- 1) 溜まりに塩水を投入した後の導電率の時間変化は指数低減的であり，河道に近い溜まりの方が元の

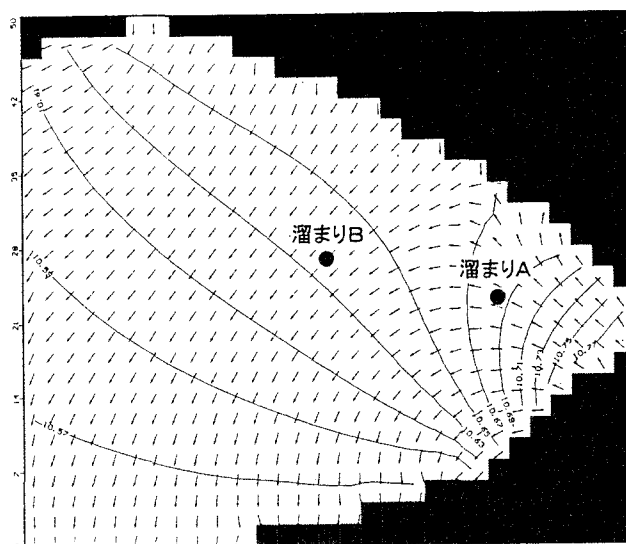


図-12 溜まり周辺の伏流水位分布の解析結果

水質に戻るまでの時間が短い．

- 2) 溜まりの水温は，砂州中央の溜まりでは気温の影響を強く受けるが，河道に近い溜まりでは河川水温に酷似した変動を示す．
- 3) 溜まりの水位は河川の水位変動より遅れて変動するが，河道に近い溜まりでは河川と類似の変動傾向を示し，中州中央の溜まりの変動は緩慢である．
- 4) 2つの溜まりの水位変動特性は，伏流水の数値解析によって再現された．

以上のように，溜まりの形成・維持と水理・水質挙動に伏流水が密接に係わっていることが示された．

今回の調査は，河川生態系と伏流水に関する研究の第一歩として行なったもので，不十分な点も多々見受けられる．今後，本格的な調査研究に向けて，本調査の成果を活かしていきたいと考えている．

謝辞：本研究を行なうに当たり，貴重な資料を頂いた建設省庄内川工事事務所に謝意を申し上げます．

参考文献

- 1) 建設省淀川工事事務所河川環境課：木津川たまりにおける魚類調査結果，平成10年2月．
- 2) 奥田重俊・佐々木寧編：「河川環境と水辺植物」，ソフトサイエンス社，pp. 11～19，1996．
- 3) 今本博健・板倉忠興・高木不折：新体系土工学 21 「水理学の基礎」，技報堂出版，pp. 161～163，1982．
- 4) 藤縄克之監訳：「地下水モデル —実践的シミュレーションの基礎—」，共立出版，246p.，1994．

(1999. 4. 26受付)