

導水による都市河川網の水質制御

Water Quality Control in Urban Rivers by Water Conduction

中野 晋*・山下 智**・小津慶久**・三井 宏***

by Susumu NAKANO, Satoshi YAMASHITA, Yoshihisa OZU and Hiroshi MITSUI

The effect of water conduction by a pump system on water quality of urban rivers was investigated. The object river system of this study is the Shinmachi river system which flows through the center of Tokushima city. By using field observations and a numerical analysis of Holly-Preissmann method, it was found that the concentration of BOD in the Suketoh river decreases from 14.7 ppm to 7.7 ppm when the pump system was operated only in the ebb tide.

Keywords: water conduction, urban river, water quality, BOD

1. はじめに

本研究は徳島市内を網目状に流れる新町川水系の水質改善の一助となることを意図したものである。図-1に示すように新町川水系は7つの中小感潮河川により構成される。この水系は昭和62年度に「ふるさとの川モデル事業」河川に指定され、新町川中流部、助任川では水際公園など親水性緑地としての整備が進められている。昭和40年代には多量の工業排水の流入などのため、BOD濃度が70ppm以上の箇所もあるなど汚濁の進んだ河川であったが、排出規制、河川底泥の浚渫事業、浄化用水の導入などの諸対策の実施の結果、水質は良好な状態に近づきつつある。昭和60年度の徳島県¹⁾の調査によると75%のBOD値は新町橋(新町川)、助任橋(助任川)、福島橋(福島川)、大岡新橋(大岡川)、左矢橋(田宮川)の各地点でそれぞれ3.9, 3.3, 3.5, 11.0, 11.0ppmと田宮川など一部を除くと河川C類型を満たしている。しかし近年の河川環境に対する住民の要望の高まりから水系全体の水質改善と良好な環境の維持が望まれている。この研究は水質改善工法の一つと考えられる吉野川からの清浄水導入による水質改善効果について数値解析を通して調べたものである。

* 正会員 工修 徳島大学講師 工学部建設工学科

** 学生会員 徳島大学大学院 工学研究科修士課程土木工学専攻

*** 正会員 工博 徳島大学教授 工学部建設工学科

(〒770 徳島県徳島市南常三島町2-1)

2. 数値計算の方法

数値解析は以下に示す1次元の連続式，運動方程式，物質収支式に基づいて行った。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAI_f = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (AC) + \frac{\partial}{\partial x} (AUC) = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_L \frac{\partial C}{\partial x} \right) + q' \quad (3)$$

ここで A は断面積， Q は流量， q は横流入流量， H は水位， I_f は摩擦勾配， C は物質濃度， U は断面平均流速， D_L は移流分散係数， q' は物質の横流入量である。計算対象地域を図-2 に示すように不等間隔 (100~650m) の54断面で分割した。図中に示した断面で流量と水位を計算し，2断面の中央で物質濃度の計算をした。BODは輸送中に供給や自然浄化等があり，時間的にも変化する非保存性物質であるので，式(3)では不十分であるが，BODの浄化係数など不明の点が多く残されていることも考慮して，塩分などの保存性物質と同様の取扱いをした。すでに著者ら²⁾は物質収支式の差分計算を1次精度の風上差分法を用いて計算した結果について発表しているが，この方法には移流項の差分計算に大きな数値拡散が導入されることが知られているので，今回はより高精度な移流項の数値計算法を用いることにした。つまり移流による輸送と分散による輸送とを別々に求めるsplit-operator approach³⁾に基づき，移流項の計算はHolly and Preissmann⁴⁾の提案したtwo-point fourth-order schemeで，分散項はCrank-Nicholson schemeでそれぞれ差分化して計算した。流れの計算は須賀ら⁵⁾の提案した1次元の陰形式差分法を用いた。以上の計算法の詳細は著者ら⁶⁾を参照されたい。

外海との境界などの条件として新町川河口，新町樋門，沖洲樋門の水位は周期が半日 (120分) で潮差が1.2mの余弦波として与えた。大岡川，田宮川の流れはほぼ生活排水等によるもので，固有の流量はわずかである。そこで上流端での流入流量は $0 \text{ m}^3/\text{s}$ とした。また，ポンプ稼働時には，新町樋門でポンプの吐出量を境界条件として与えた。各河道への横流入流量 $q (\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s})$ およびBODの横流入量 $q' (\text{g}/\text{m} \cdot \text{s})$ は徳島県¹⁾の昭和60年度の調査による年平均値をもとに図-2に示すように各河道に配分した。

計算の初期条件として各断面の流量を $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ，水位を新町川河口潮位と等しいとした。BOD濃度は新町樋門，沖洲樋門で0.9ppm，新町川河口で0.5ppmを与え，河道内のBOD初期濃度は0ppmとした。摩擦勾配に用いるManningの粗度係数 n は著者ら⁷⁾の流速測定結果より，水系全体にわたり0.035の一定値を与えた。移流分散係数 D_L は著者ら⁸⁾が塩分散の再現計算の結果から求めた $D_L = 20 \text{ m}^2/\text{s}$ を採用した。また計算のタイムステップは120秒，助走計算時間は20日である。

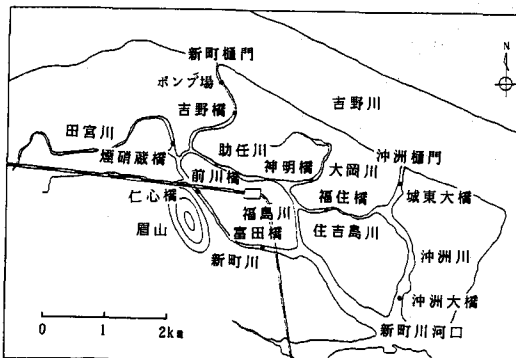


図-1 新町川水系の概要図

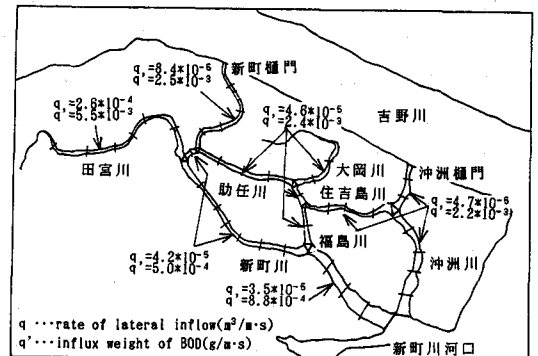


図-2 横流入流量とBODの横流入量

3. 導水ポンプの運転方式と各河川の水質改善効果

3・1 導水ポンプの水系に及ぼす流れの影響

新町樋門に設置されている導水ポンプの流れに及ぼす影響を調べるため、1990年7月25日、26日（中潮）に流れに関する現地観測を実施した。流速と水位の測定を8:00～16:00に仁心橋（新町川本川）、前川橋（助任川）の2カ所で行った。ポンプの運転による効果を明確にするため、25日はポンプの運転を休止して樋門を解放して自然流出入させた。これに対し、26日は9:00～15:00の間、導水ポンプを稼働させて $4\text{ m}^3/\text{s}$ の一定流量で吉野川の河川水を流入させた。流速は電磁流速計（横河ナビテック社製）により、河川横断方向5地点の鉛直分布を測定した。また水位は深浅レットを用いて測定した。両者の測定は20分間隔に実施した。図-3に流速分布の測定例（7/25, 10:20）を示す。5点の流向はいずれも河口向きであるが、その値は場所によってかなり異なっており、卓越した河川流量のない本河川網の流速測定の難しさを表している。このような流速分布を基に断面通過流量を求めて、ポンプ運転の流れに及ぼす影響を調べることにした。

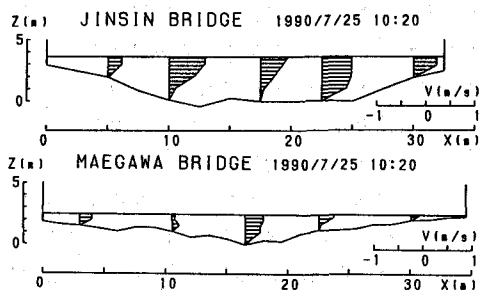


図-3 流速分布の測定例

図-4には左側にポンプ運転日（7月26日）、右側にポンプ停止日（7月25日）の流量と水位の測定結果を示している。流量の計算値を一点鎖線、観測値を●印で示し、水位の計算値は実線、観測値を▲印で示した。この計算では河口と各樋門での水位には小松島港での潮位を40分潮の合成から計算して与えている。また○印と点線はそれぞれ小松島港（徳島気象台が観測）、新町川河口（徳島県が観測）での水位の観測値を

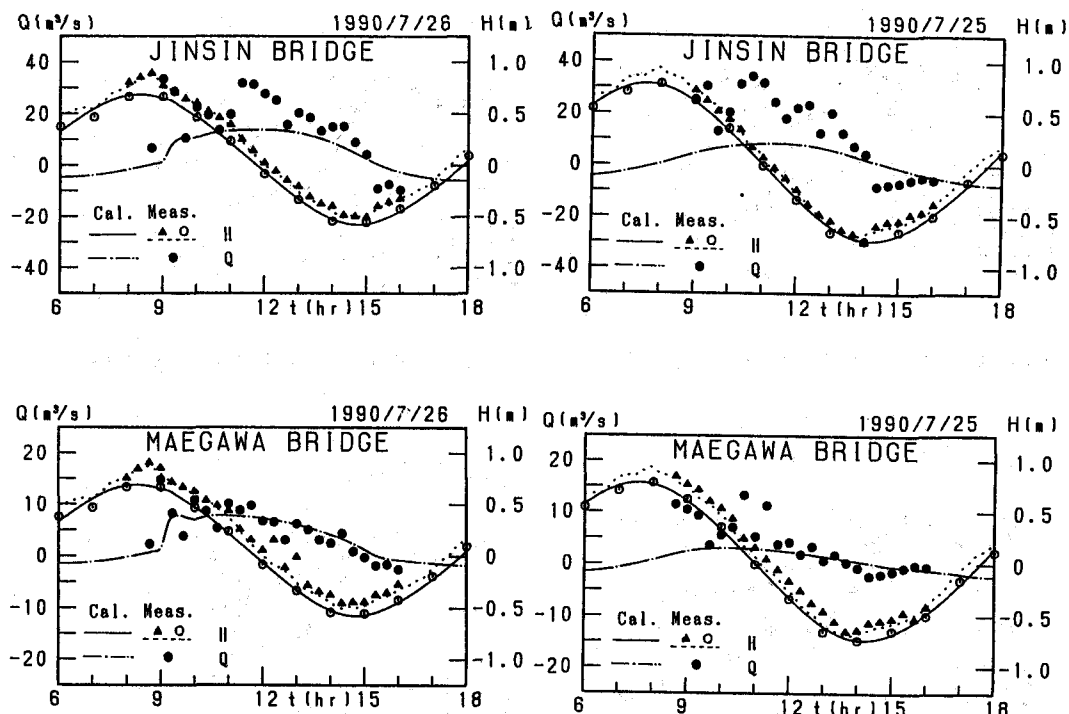


図-4 ポンプ導水の流れに及ぼす影響

示している。ポンプは7月26日の下げ潮時の9:00～15:00の6時間運転されている。前川橋での両日の流量変化をみるとポンプ運転直後には観測値、計算値とも振動がみられるが、運転時間中には $5\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量増加が確認され、ポンプの効果が現れていることがわかる。これに対し、仁心橋ではポンプ休止、運転に関わらず、流量の観測値は10:00～14:00にかけて計算値を大幅に上回っており、ポンプの効果は認められない。前川橋でも10:00～12:00には大きな流量が観測されており、昼間の時間帯には多量の生活系・産業系の排水が流入し、相対的にポンプ導水の効果が小さくなるものと考えられる。

3・2 導水ポンプの運転方法と水質改善効果

(1) 現在稼働中の導水ポンプについての検討

ここでは現在稼働中の導水ポンプの水質改善効果を検討するため、以下の計算を行う。つまり、ポンプの運転方法を停止（新町樋門は開放）、連続運転、下げ潮時のみ運転（吉野川から導水）、上げ潮時のみ運転（新町川から排水）の4種類に変化させて各運転方式の水質制御効果をBODの1日平均濃度の点から検討する。

図-5はポンプを停止し、自然流出入させた場合のBOD濃度の空間的な分布である。各河川での1日平均流量は排水を主とする横流入だけに依存しているため、いずれの河川でもBOD濃度が高くなっている。

図-6はポンプを連続運転し、吉野川の清浄水を強制的に流入させた場合（ $Q=4\text{m}^3/\text{s}$ ）の計算結果で、ポンプ停止の場合に比べて、新町川上流部、助任川、住吉島川などでBOD濃度が低下しているのがわかる。

図-7は下げ潮時にポンプを運転した場合の結果で図-6とほぼ同様の水質改善効果がみられる。これに対し、図-8は上げ潮時に新町川の水を吉野川に排水するようにポンプを運転する場合で、田宮川からの汚濁

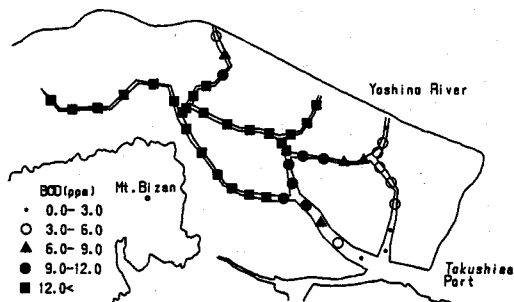


図-5 BOD濃度の空間分布（ポンプ停止）

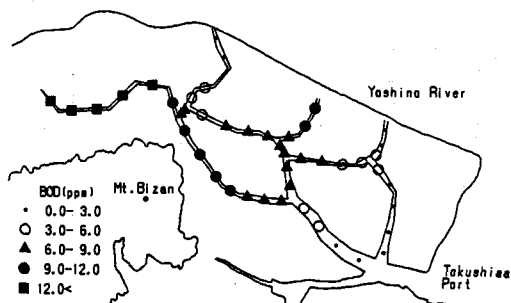


図-6 BOD濃度の空間分布（連続運転）

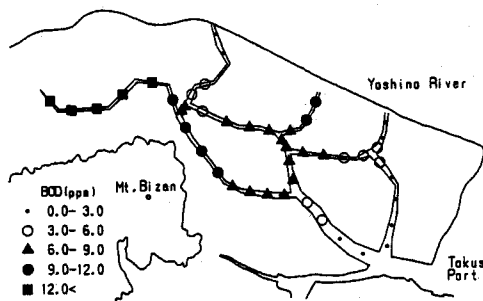


図-7 BOD濃度の空間分布（下げ潮時運転）

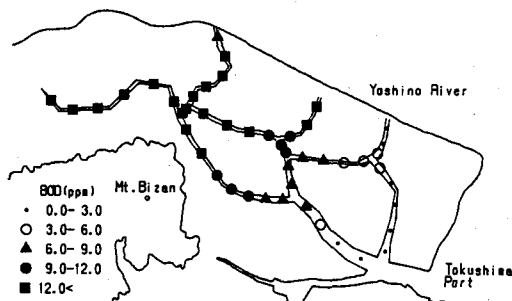


図-8 BOD濃度の空間分布（上げ潮時運転）

水が新町川上流に向かうため、ポンプ排水のために水質が低下している区間もみられ、あまり効果が期待できないことがわかる。図-9 は同じ計算を風上差分法（ただし $D_L=3\text{m}^2/\text{s}$ ）による計算結果（下げ潮時のみ運転）である。図-7 と比較すると風上差分法の場合、数値上の拡散効果が大きい結果、全体的に BOD 濃度は低めの計算結果となっている。図-10 は下げ潮時のみ運転する場合の各断面を通過する一日平均流量を表したものである。この場合には排水の横流入量を考慮してもポンプ導水量である $4\text{m}^3/\text{s}$ 以上の清浄水が吉野川から流入し、新町川、助任川の水質改善に寄与することがわかる。

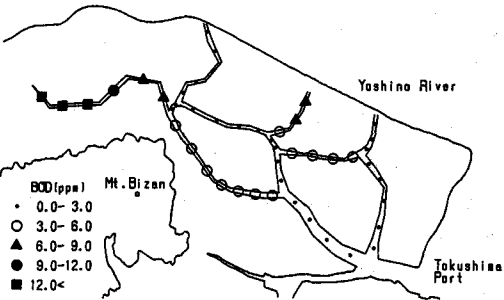


図-9 BOD濃度の空間分布（風上差分法）
 $(D_L=3\text{m}^2/\text{s}, \text{下げ潮時のみ運転})$

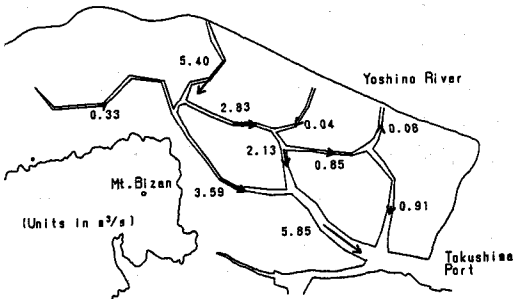


図-10 1日平均流量の空間分布
 (下げ潮時のみ運転)

図-11は新町川下流域、助任川、田宮川下流域を対象としてポンプの運転方法と BOD 濃度の関係をわかりやすく表示したものである。図には現地観測値（徳島県、昭和60年度）も同時に示しているが、BOD 濃度が最も低くなる下げ潮時のみ運転の場合でも 2 倍程度大きな値を示している。この原因として今回の計算に BOD の自然浄化効果が考慮されていないことや計算の基礎となる汚濁負荷量の推定が難しいことなどが考えられる。計算結果から水質改善効率をみると下げ潮時のみ運転の場合が BOD 濃度低減効果が大きく、その中でも特に助任川の水質改善効果が大きく、ポンプ停止時の 14.7ppm から 7.7ppm へ低下していることがわかる。また田宮川（新町川との合流点から約 2.5km ）では 効果が大きくないことがわかる。

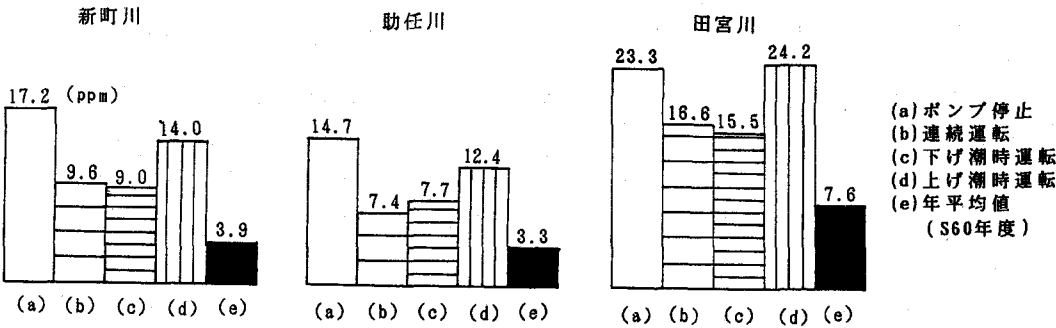


図-11 ポンプの運転方法と各河川の水質改善効果

(2) 田宮川への導水による水質改善効果

既設の浄化ポンプ施設だけでは田宮川の水質改善効果は大きくないため、田宮川への導水を実施した場合を仮定して、その水質改善効果について考察する。導水にともなう水質改善効果は導入される水の水質、量、導水位置が重要であるが、ここでは新町川との合流点から約 5.5km 上流の位置に吉野川の河川水を $6\text{m}^3/\text{s}$ の割合で導水する場合を考える。図-12は田宮川への導水は連続的に行い、新町樋門では下げ潮時のみポンプ

による導水を間欠的に実施する場合のBOD濃度の空間的な分布を示す。図から明らかなように田宮川をはじめ、水系全域のBOD濃度は図-7の場合に比べ大幅に低減し、水質改善効果が顕著であることがわかる。

4. おわりに

この研究は徳島市の市内河川である新町川水系の水質改善を目的としたものである。そのため現在稼働中の導水ポンプ施設の流れに及ぼす効果を調べ、水質改善効果が最も得られる運転方式を検討した。

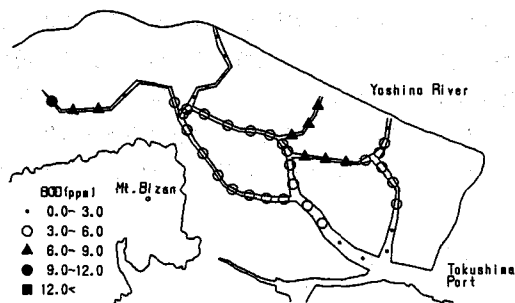


図-12 田宮川への導水の水質改善効果

その結果下げ潮時のみ吉野川の清浄水を流入する場合が最も水質改善効果が得られることがわかったが、現状のポンプ導水では田宮川に対する水質改善効果は大きくなかった。そこで田宮川への導水を実施した場合の水質改善効果についても検討したが、田宮川への導水は田宮川、新町川、助任川のいずれの河川に対して効果的に改善できることが明らかになった。なおBODの計算値は現況値に比べ大きな値を示しており、未だ満足できる結果とはなっていない。今回考慮しなかったBODについての自然浄化能についての検討や汚濁負荷量の正確な把握を行い、さらに計算精度の向上に努めたいと考えている。

謝辞：本研究を実施するにあたり、徳島大学工業短期大学部教授村上仁士博士、同助教授細井由彦博士には研究の全般にわたり貴重な御助言、御協力を頂いた。また徳島県土木部、同徳島土木事務所、同小松島港開発事務所からは貴重なデータを御提供頂いたほか、現地観測の際は浄化ポンプの特別運転などの御配慮も頂いた。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 徳島県公害対策審議会資料：新町川の将来水質予測について，1987.5
- 2) 山下 智・中野 晋・小津慶久・三井 宏：ポンプ導水による徳島市都市河川の水質改善効果，45回年講，pp.222-223，1990
- 3) 小松利光：環境水理学における拡散問題，第26回水工学に関する夏期研修会講義集，A-3，1-25，1990
- 4) Holly F.M. and A. Preissmann：Accurate calculation of transport，A.S.C.E. 103，HY11，pp.1259-1277，1977.
- 5) 須賀亮三・葛西敏彦：陰形式差分法による不定流計算法，土木技術資料，24-4，27-32，1982.
- 6) 中野 晋・山下 智・小津慶久・三井 宏：感潮河川網の水質拡散計算，水工学論文集，35，1991.
- 7) 山下 智・中野 晋・三井 宏：都市河川網における流動シミュレーション，第44回年講，472-473，1989