

河床上の窒素・リン巻上げフラックスに関する現地直接計測

東京理科大学理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科

学生員 稲垣貴文
正会員 二瓶泰雄

1. 序論

富栄養化が進行している河川や湖沼、内湾における汚濁化の主要因の一つとして、栄養塩溶出等の底質 - 水間の物質フラックスが挙げられる。この物質フラックスについては、底泥が浮遊しない程度の「静的」な水理条件下の溶出過程に関する研究はこれまで比較的多く行われている。一方、流れや風浪等により底泥巻上げが顕著となる「動的」な水理条件下では、既存の研究対象はSSに限定されており、窒素NやリンPの巻上げフラックスに関する研究は皆無に等しい。そこで本研究では、現地直接計測により、底質浮遊が生じる「動的な」水理条件下での底質 - 水間における窒素・リンフラックスを把握することを試みる。具体的には、現地直接計測が可能な巻上げ装置¹⁾を用いて、現地都市河川において底質浮遊状態を再現した形で採水調査を行い、そのサンプル水の水质分析を介して、底質 - 水間の窒素・リンフラックスを求める。このような動的条件下では、河床から懸濁物質とともに高濃度の間隙水が溶存態として水中に輸送されることが予想されるため、ここでは、懸濁態物質と溶存態物質に分けてN, Pフラックスを算出する。また、このN, Pフラックスと比較するために、底質のコアサンプルを採取し、底質中の窒素・リン含有量や間隙水濃度を測定する。

2. 現地観測の概要

巻上げ調査としては、図1に示す大小二つの円筒容器からなる巻上げ装置を河床に突き立て、円筒間の隙間(7cm)を様々な速度条件で攪拌し、平常時から洪水時にわたる底質浮遊条件を再現する。このときの攪拌速度を0.133~1.34m/sの計8種類を設定した。攪拌を2分間行った後、手動ポンプにより河床上15cmから0.8L採水する。得られたサンプル水について、濁度、SS, T-N, T-P, D-N, D-P, NO₂+NO₃-N, PO₄-P, SS, 粒径分布を測定する(T-, D-, P-は全、溶存態、懸濁態成分を各々示す)。その際には、N, Pの分析にはオートアナライザー(swAAAt, BLTEC(株)製)を用いる。粒径分析にはレーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100, (株)島津製作所製)を用いる。観測場所は、千葉県大堀川北柏橋(河口より1.05km)とする。観測日時は、2006年10月27日~12月19日のうち計7回である。また、底質調査として、直径4.0cmのアクリルパイプを用いて厚さ10cmのコアサンプルを乱さないように採取し、厚さ1~3cmの計5サンプルにスライスする。そのサンプルについて、底質中の窒素・リン含有量や間隙水濃度を測定する。

3. 結果と考察

(1) 攪拌速度と窒素・リンの関係

底質浮遊条件下における窒素・リン濃度の挙動を調べるために、様々な攪拌速度と懸濁態成分(SS, P-N, P-P)と溶存態成分(NO₂+NO₃-NとPO₄-P)の相関図を図2に示す。ここでは、一例として、2006年10月27日における観測結果が示されている。まず、懸濁態成分については、攪拌速度とともにSSが増加する、というよく知られた結果のみならず、そのSSと類似してP-NやP-Pも増加している。最も攪拌速度が大きいときのP-NやP-Pは、巻上げ試

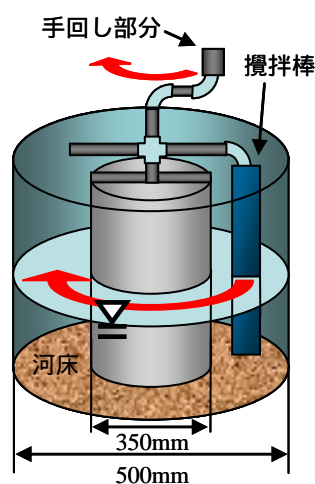
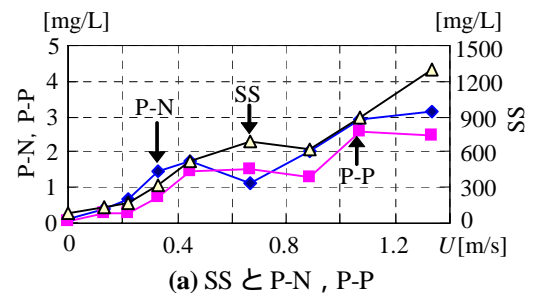
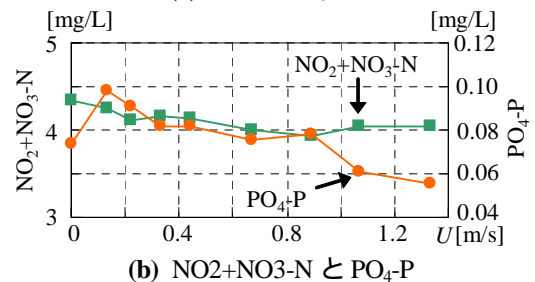


図1 巻上げ装置の概要



(a) SS と P-N, P-P



(b) NO₂+NO₃-N と PO₄-P

図2 巻上げ観測時における攪拌流速 U と SS・栄養塩濃度の関係 (2006/10/27)

キーワード：巻上げフラックス, 窒素, リン, 底質浮遊, 都市河川

連絡先：郵便番号 278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL: 04-7124-1501 (内線 4069) FAX: 04-7123-9766

験前の値の28倍, 61倍となり, 底質浮遊に伴って水中の懸濁態窒素やリンが著しく増加する, という洪水時特有の結果が現われている. また, 巻上げ観測時における N/P 比は 1.20~2.16 となり, 河川水の N/P 比(10程度)よりも大きく下回る. 一方, 巻上げ観測中における溶存態成分の硝酸・亜硝酸窒素 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ とリン酸態リン $\text{PO}_4\text{-P}$ は, 攪拌速度に反比例する形で減少しており, 懸濁態成分と大きく異なる挙動を示す. これらの傾向は, 大局的には他の観測日でも生じており, 以下では, 懸濁態・溶存態フラックスやその要因を検討する.

(2) 懸濁態栄養塩巻上げフラックス

懸濁態栄養塩に関する巻上げフラックスを算出するために, まず, SS と懸濁態栄養塩濃度の相関関係を調べたところ, 相関係数 r は P-N, P-P について 0.9 以上と高い結果が得られた. これより, SS に関する巻上げフラックスの算定法を懸濁態栄養塩フラックスに準用することが可能である. 具体的には, 河床上における巻上げフラックス P_k と沈降フラックスが等しい, という局所平衡の仮定 ($P_k = w_0 C_a$, w_0 : 沈降速度, C_a : 基準点濃度) に基づいて懸濁態栄養塩フラックスを求める. この際, 沈降速度 w_0 を浮遊土砂の中央粒径より算出し, 基準点濃度 C_a にはラウス分布から求める. この手順により算出した P-N の巻上げフラックスと底面せん断力 τ_b の相関図を図 3 に示す. ここでは降雨イベント直後 10 月 27 日とその 5 日後(11 月 1 日), 10 日後(11 月 6 日)の結果を示す. このように, 全体的には, 降雨イベントから時間が経つと巻上げフラックス P_{KN} は大きくなり, SS の場合と同じ傾向が見られる. また, 巻上げフラックス P_{KN} と底面せん断力 τ_b にはある程度の相関性が見られ, 同図中の実線で描かれている, SS に対して一般に適用されるべき関数 ($P_k = a\tau_b^\eta$, a, η : 係数) が近似曲線として有効である. 巻上げフラックスの全データに対してこの近似式を適用し係数 a, η を算出したところ, a については P-N では $1.7 \sim 6.5 \times 10^{-7}$, P-P では $0.88 \sim 5.9 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2/\text{s}$, η に関しては P-N では $0.36 \sim 0.63$, P-P では $0.37 \sim 0.56$ となった. 以上より, SS の巻上げフラックスの評価式として一般的に用いられるべき関数により, 懸濁態栄養塩の巻上げフラックスを近似し得ることが示された.

(3) 溶存態濃度変化に対する間隙水の影響

図 2 (b) に示した巻上げ試験時における溶存態栄養塩が減少する要因を検討するために, 河川水および底質中間隙水の溶存態リンの鉛直分布を図 4 に示す. ここでは, 2006 年 12 月 6 日の結果を表示する. これより, 間隙水濃度のピークが現われる表層 1cm の値は河川水濃度を上回るが, 深さと共に間隙水濃度は減少し河川水濃度より小さいことが分かる. このような間隙水と河川水が底質浮遊時に混合した時の D-P 変化量 ΔDP_2 と巻上げ試験における D-P 変化量 ΔDP_1 を比較した結果を図 5 に示す. ここでは, 表層 2cm 及び 5cm の間隙水が河川水と混合する 2 ケースの結果を示す. これより, 巻上げ試験時の濃度変化量 ΔDP_1 と比べて, 間隙水との混合による濃度変化量 ΔDP_2 は非常に小さく, 巻上げ試験時の D-P 変化に対して, 間隙水との混合による濃度変化の寄与は極めて小さい. これより, 底質浮遊時には溶存態リンの減少要因としては, 間隙水との混合ではなく, 浮遊した底質粒子にリンが吸着したものと推察される. また, 溶存態窒素の減少要因が間隙水との混合効果でないことも確認された. さらに, 底質浮遊時の溶存態窒素・リンの変化量から算出された溶存態フラックスは窒素では懸濁態フラックスの -32~2%, リンでは -4~-1% となり, 少なくとも溶存態窒素フラックスについては有意な大きさであることが示された.

参考文献

1) 二瓶ら: 水工学論文集, 第 48 巻, pp.1447-1452, 2004.

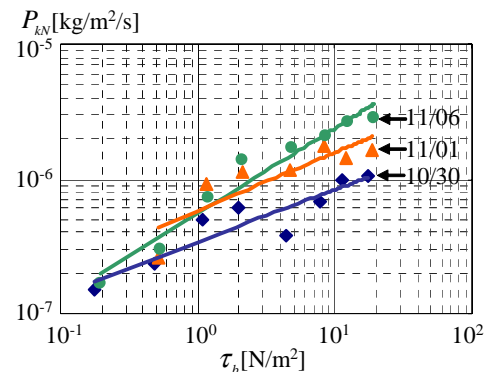


図 3 P-N 巻上げフラックス P_{KN} と底面せん断力 τ_b の関係 (2006/10/30)

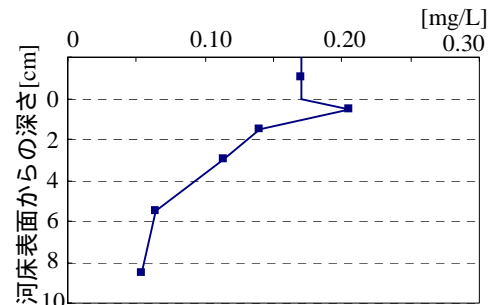


図 4 河川水・間隙水の D-P 鉛直分布 (2006/12/6)

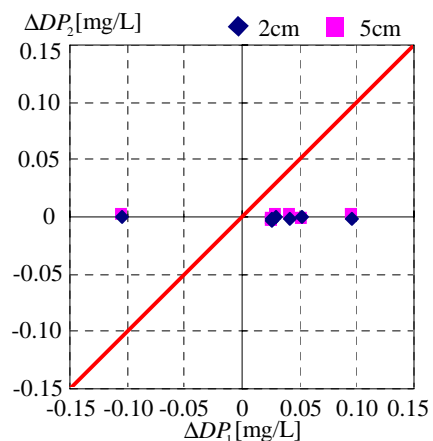


図 5 巻上げ試験における D-N の変化量 ΔDP_1 と間隙水との混合による変化量 ΔDP_2 の関係