

感潮部河川においても河床の確保および水質保全のため、ヘドロ混じりの底泥の浚渫事業が行われている。経費の制約から「つば掘り」型の浚渫は止むを得ないが、その後の再堆積は急速であるという。そうした河川の底泥の流送実験ならびに、潮流流による浮遊砂濃度の観測を行なったのでその検討を含めて報告する。

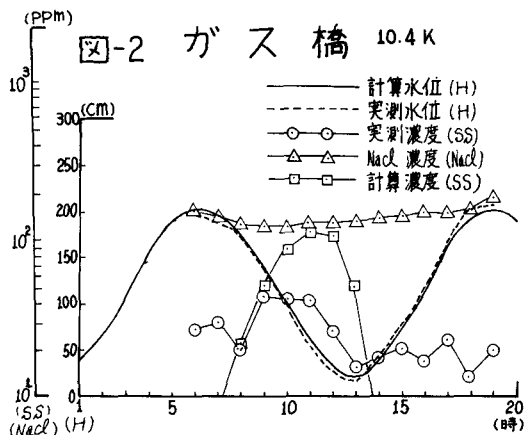
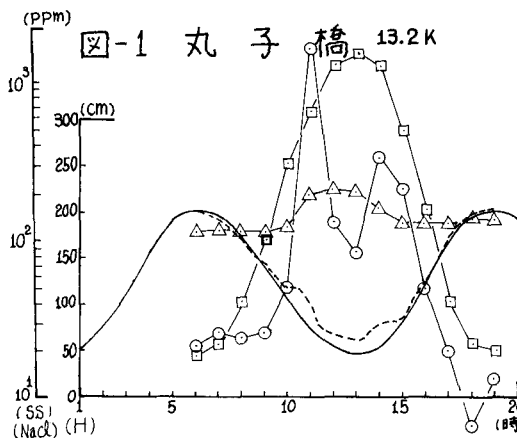
1. 低水時浮遊砂濃度の観測値

観測を実施したのは多摩川下流部の感潮区間 -2.0^{Km}(東京湾) ~ 13.4^{Km}(調布堰) で、調布堰地点で潮汐の效果は完全に消滅する。観測は大師橋(2.4^{Km})、六郷橋(5.6^{Km})、多摩川大橋(8.6^{Km})、ガス橋(10.4^{Km})および丸子橋(13.2^{Km})の5橋上にて、各断面の最深の流心部において、1時間間隔に鉛直方向には1^m間隔の採水を行なった。水位観測は30分間隔で、午前6時(満潮) ~ 午後7時(満潮)までの13時間にわたって行なった。採水資料は積分球式濁度計によって浮遊砂濃度を決定し、また電導度測定によってNaCl濃度を求めた。水温は各場所・各時刻で変化したが9.8℃ ~ 15.8℃の範囲にあった。図-1, 2は丸子橋およびガス橋における水位、浮遊砂重量濃度(鉛直方向の単純平均値)、NaCl濃度を示す。丸子橋ではたまたまこの日時に、調布堰の開放があったため、堰上流河床の堆積物質の流下を採水することになったもので、極端に浮遊砂濃度が高く、また開放中断、再開放のため山型が生じている。常時にはこうした高い濃度は観測されないものと考えられる。またそれによって、NaCl濃度も若干上昇した。

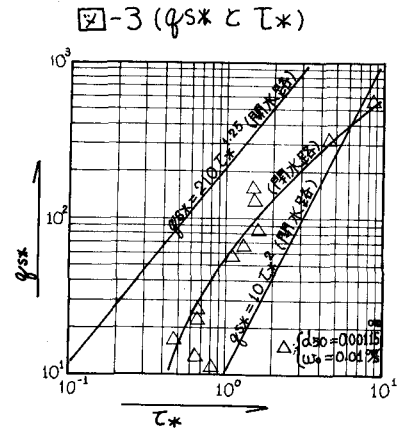
他の3橋の浮遊砂濃度はガス橋とほぼ同程度の濃度で、逆流時に高い濃度(多摩川大橋)、干潮時前後の比較的高い濃度(六郷橋、大師橋)などの傾向がある。観測期間中の塩水楔の先端は多摩川大橋(8.6^{Km})付近にあり当日16時頃先端が同地点に達したことが確認された。

2. 不定流計算と平衡浮遊砂濃度の推定

不定流計算はDronkersの陰形式差分法を用い、 $\Delta x \approx 200^m$, $\Delta t = 60^{sec}$ で行なった。境界条件は-2.0^{Km}で川崎の潮位推算値を余弦曲線近似であたえ、13.4^{Km}地点の流量は堰開放にともない相当変化したので、丸子橋地点の水位に合うよう調布堰の派出流量を不定流計算の逆算によって求めた。多摩川下流部の底泥は砂分を多量に含むヘドロで、そうした河床材料の浮遊流送特性について着るうは水路実験で調査してきたが、それによると、砂分によってアーミングが起こり以後ヘドロの浮遊化が停止する。数時間の流送実験によって



濃度が平衡に達し（アーミング完了）た浮遊砂濃度を整理して図-3の $q_{sx} = 210 \cdot \tau_*^{1.25}$ を得た。また図中閉水路のデータは、砂分のごく少ないヘドロを長方形断面の閉水路の実験で著者らの1人が求めたものである。限界掃流力以下の掃流力でも微細物質が浮遊し、その量は上式で表わせるようなので、河道の非一様性、不定流という現象を無視し、直ちに平衡浮遊砂濃度が出現するものとして、不定流計算から得られた掃流力を使って浮遊砂濃度を推定したのが図-1, 2中の口印である。観測値との対応は当然良好とは云えず、不定流、河道の非一様性を考慮した計算法の開発が望まれる。



3. 不定流下における非平衡浮遊砂濃度推定法について

沈降速度を有し河床との交換の存在する浮遊砂の非平衡時の濃度確立過程については、基本的には定常一樣流れの場合で合田(1956)、最近では土屋・星畑(1969)、Mei(1970)、Sümer(1971)などの研究があり、非一樣流れの場合で芦田(1970)によって取り扱われている。

非定常流れ下における浮遊砂の連続の関係を示す式は

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\beta \bar{U} \cdot \bar{C} - \bar{E}_x \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}) = -\frac{1}{R} (\bar{E}_x \frac{\partial C}{\partial z} + w_0 C)_{z=a} \quad (1) \quad \beta = h / \left(\int_a^h \bar{U} \cdot C dz \right) / \left(\int_a^h \bar{U} dz \right) \quad (2)$$

ここに $\bar{C} = (1/A) \int C \cdot dA$ 、 C は浮遊砂の鉛直方向分布、 A は流れの断面積、 $\bar{U}$ は断面平均流速 $= \int_a^h \bar{U} dz$ である。
(1) 式右辺を $\bar{C}$ で表示することを考える。芦田(1970)によって採用されたことがあるように、厳密ではないが $(\bar{E}_x \frac{\partial C}{\partial z})_{z=a} = -w_0 C_{sa} = -\alpha w_0 \bar{C}_s$ を採用する。ここに α は河床からの微小距離、 h は水深、 R は径深とする。また C_{sa} は一樣流れにおける平衡状態の浮遊砂濃度分布における底面濃度 ($z=a$)、 $\bar{C}_s$ はその平均値である。ここに $\bar{C}$ 、 $\bar{C}_s$ は通常の意味の断面平均濃度とは異なる。 $\alpha = C_a / \bar{C}$ であり、浮遊砂の鉛直方向拡散係数 $\bar{E}_x$ を一定と考え、 C の分布をカルンスキー型 $C = C_a \exp\{-(z-a)/\bar{E}_x\}$ で近似すれば、 $\alpha = C_a / \bar{C} = 15 (w_0 / u_*') / \{-\exp(-0.95 \times 15 w_0 / u_*')\}$ 、但し w_0 は沈降速度、 $\bar{E}_x = u_*' h / 15$ 、 $\alpha / h = 0.05$ の場合となる。従って

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \beta \bar{U} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} - \bar{E}_x \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x^2} = -\frac{\alpha w_0}{R} (\bar{C} - \bar{C}_s) \quad (3) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \bar{U} \frac{\partial M}{\partial x} - \bar{E}_x \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = -\frac{\alpha w_0}{R} M \quad (4)$$

ここに $M = \bar{C} - \bar{C}_s$ 、 $\bar{C}_s$ は区間距離 Δx および計算時間 Δt 内では一定と考えている。(3) 式を実際運用するにあたっては、 u_*' が小さいとき $\alpha \rightarrow \infty$ の恐れがある。このこと u_*' が小さい時予想外に急速な沈降堆積を招来するし、実情にもぐわぬ計算結果となる。この意味では $\alpha = 1$ とおいた方が実用的と考えられる。

(4) 式を解くに当って 初期条件 $M(x, 0) = \bar{C}(x, 0) - \bar{C}_s(x, 0) = f(x)$ 、境界条件 $M(0, t) = \bar{C}(0, t) - \bar{C}_s(0, t) = g(t)$ とおくと、解は

$$M = \frac{e^{-r^2 t + \lambda x}}{2\sqrt{\pi \bar{E}_x}} \left\{ x \int_0^t G(\theta) \frac{e^{-\frac{x^2}{4\bar{E}_x(t-\theta)}}}{(t-\theta)^{\frac{3}{2}}} d\theta + \frac{1}{\sqrt{t}} \int_0^\infty F(\mu) \left\{ e^{-\frac{(\mu-x)^2}{4\bar{E}_x t}} - e^{-\frac{(\mu+x)^2}{4\bar{E}_x t}} \right\} d\mu \right\} \quad (5)$$

ここに $F(x) = f(x) e^{-\lambda x}$ 、 $G(t) = g(t) e^{r^2 t}$ 、 $\lambda = \beta \bar{U} / 2\bar{E}_x$ 、 $r^2 = (\beta^2 \bar{U}^2 + 4\alpha w_0 \bar{E}_x / h) / 4\bar{E}_x$ である。また $\bar{E}_x = 5.9 u_*' h$ 、(5) 式について実際に検討された例はないと考えるが、(3)、(4) 式の定常状態の場合には良好な結果（但し変数のタイプが若干異なる）をあたえているので、同様な成果が期待される。不定流計算結果と連動して(5) 式を解くにはかなり技巧を要する。講演時には計算を終了して観測値との比較結果を示せるよう努力したい。