

京都大学 工学部 正会員 佐友 恒
同上 学生員 松岡 謙
鹿島建設 刈谷 健孝

1. はじめに

従来、河川合流部における水質混合現象については、その水理機構の複雑さのため、確たる理論は提唱されてはいない。横方向拡散係数を基本的なパラメータとする従前の研究は現象の記述という点にその集約がみられた。そこでここでは水質混合の機構解析という立場から、乱れ測定にもとづきこの横方向拡散モデルの評価を試みるものである。実験水路内でのやや理想条件下での乱れ計測に関する検討は別途試みているので、²⁾以下では実河川における具体的な検討が中心となる。

2. 基礎式による考察

河川における汚染物の混合に関する基礎式としては一般に次式が採用されるべきが多い。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{U} \bar{C})}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) \quad (1)$$

ここで、上ツキバー記号は時間的平均、 x は流下方向、 y は横方向、 E_y は y 方向拡散係数を表す。二のように単純化しうるのは複雑な水質混合要因を主として E_y に集約して表現しうるのであり、その適用に当たってはその物理的意義について十分慎重でなければならない。また、一方、より水質混合機構に則した表現としては、乱流理論から式(2)をえる。ここでダッシュ記号は時間的変動量を表す。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{U} \bar{C} - \overline{U' C'}) = \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v' C'}) \quad (2)$$

式(1)、(2)を直接比較するためには、つぎの2点に留意する必要がある。

$$1) \frac{\bar{U} \bar{C}}{\overline{U' C'}} \gg 1.0 \quad , \quad 2) \left. E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right|_{\text{式(1)の同様評価}} = \overline{v' C'} \Big|_{\text{式(2)の直接評価}}$$

したがって、ここでは実河川合流部にいたる式を用いるのがより好都合な検討しつつ、式(2)の混合機構に考察を進めるのが主目的であるから、具体的に上記1)、2)の比較を検討を重視するはばい。

3. 実測検証

河川合流部における上記目的を検証するため、以下のような実測を行なった。実測河川としては京都市内の桂川・鴨川合流点で、その概況は図-1に示す。流速は700ペラ式発電型流速計により、水質は電導度計で連続測定し、同時記録した。実測は図-1に示す2断面で行ない、それぞれ平均流速 $\bar{U}$ 、平均濃度 $\bar{C}$ 、乱流濃度 $\bar{C}^2$ 、乱流水質輸送量 $\overline{U' C'}$ およびそれらのスペクトルを求めた。合流点より流下するにしたがって、両川水質の性状が境界混合によって失われゆくことがみえる。(図-2、図-3参照)。

3-1. 二点の実測結果をもとに上述1)、2)について以下検討を加える。図-2、図-3に示す実測値から $\bar{U} \bar{C} / \overline{U' C'}$ を求めると、上流境界付近でほぼ1.4、下流についてはほぼ 1.7×10^2 の値を得る。したがって、1)の仮定は下流断面のように比較的等方性に近い場においてのみ成立し、上流断面のように濃度および速度勾配の大きい場では成立しないことを指摘しうる。すなわち、みかけ上水質は水速度(流速)と違ひ、固有な移動速度をもつことがみえる。

3-2. つぎに2)について考へる。式(1)の E_y の評価は別途式(1)の差分式から数値計算により、 $E_y = 10 \text{ cm}^2/\text{sec}$ と求められている。⁴⁾ 図-4に実測値との比較を示す。厳密には多くの問題が残すが、この値が図-2、図-3の測定時に適用しうるものとして、 $E_y \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}$ を求めれば、上流側には22 ppm·cm/sec程度、下流側においては

8.1 ppm·cm/sec 程度となり、 $\overline{u'c'}$ をほぼ $\overline{v'c'}$ がほぼ同じ程度と仮定すれば、 $\overline{u'c'}/\epsilon_y$ は、上流側で1/2程度、下流側で1~1.5程度となる。境界面付近で1に近い値を取るが、これはこの付近では、純乱流拡散に近いことを示している。

4. 河川合流部における水質混合に関する解釈:

上記、3における検討方法は、あまりおこなわれていない $\overline{u'c'}$ の直接計測を新たに実施した結果、はじめて可能となった興味深い一つの解析と考える。その結果、すでに3-1, 3-2にも指通しているように、本対象河川合流部では、合流的直後にて、流れ方向にも乱れ成分 $\overline{u'c'}$ が大きく、また式(1)の拡散項はほぼ純乱流拡散とみなしうる。

一方、下流に進むにつれ(約50m位)、式(2)での移流項が卓越し、境界面以外については、純乱流拡散以外の分散効果を包含してくる。さらに言及すれば、河川合流部以下における水質解析では、合流部付近および境界面に沿う流れの時は、純乱流拡散係数 ϵ_y を用いて、式(1)を活用すればよいことがわかる。しかし、50mも下流にすすみ、境界面からやや離れるまでの水質挙動を解析するにあたっては、純乱流拡散係数 ϵ_y 以外の ϵ_L 、あるいは、せん断効果をも考慮してゆく必要がある。また、このことは、一般河川における水質混合機構にいても、ある程度の示唆を与えうる。

おわりに、本研究は、末石量太郎教授の指導をえたものである。また、 ϵ_y の決定については、大阪市・山田豊実氏、ならびに、東京ガス・吉越巨氏の協力を得た。ここに感謝の意を表す。

<参考文献> <1> 南即祥(1958)土木学会論文集59 <2> 末石・住友・松岡(1973) 第28回年講 <3> 松岡謙(1973) 京都大学卒業論文 <4> 刈谷健彦(1972) 京都大学卒業論文

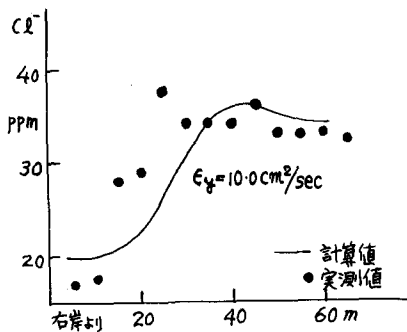


図-4

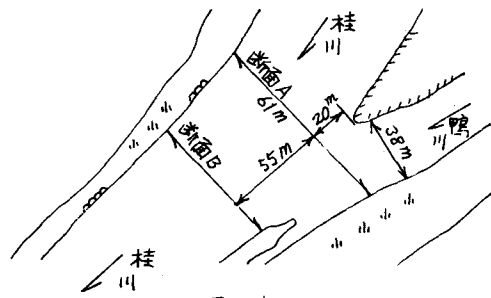


図-1

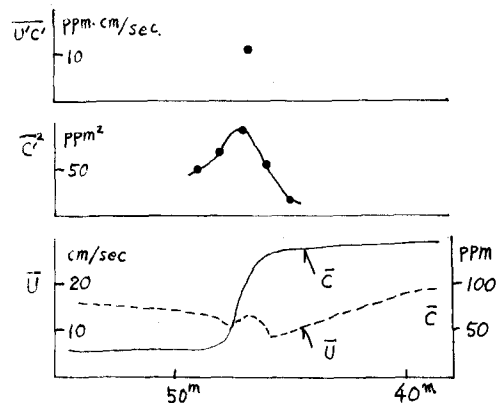


図-2 (断面 A)

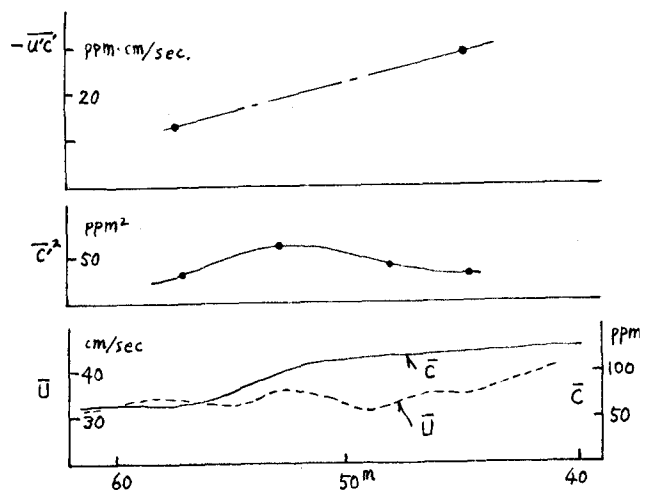


図-3 (断面 B)