

II-540

礫間接触水路の縦分散係数について

清水建設 正員 ○毛利 光男 りんかい建設 山崎 信男
東亜建設工業 須田 有輔 五洋建設 山口 忍
佐伯建設工業 窪田 博公 運輸省港湾技研 正員 細川 恭史

1. はじめに

最近のウォーターフロント開発の進展に伴い、内湾や沿岸域における水質環境の改善が望まれている。このため、汚濁レベルの低い沿岸域の海水の浄化に最も適していると考えられる礫間接触浄化法の研究・開発を大型実験水路を用いて行なっている。海水中の汚濁物質は、礫表面の生物膜による酸化分解、吸着及び接触沈殿等により分解・除去される。礫間接触水路の浄化機構は、上記のような反応項を有する移流分散方程式で表現される。浸透層内の分散係数を流速、構成粒子、空隙率等で表現しようとする研究には、HarlemanとRumer(1963)、Saffman(1959)、神野(1979)等がある。しかし、これらの研究はいずれもRe数が $10^{-1} \sim 10^1$ のいわゆる層流領域での検討であり、今回対象とするRe数が $10^2 \sim 10^3$ の領域の礫間内の分散係数についてはあまり研究されていない。今回は、清澄時の実験水路を用いてトレーサー試験により縦分散係数を求め、既往の文献値や礫が無い場合との比較検討を行った結果について報告する。

2. 実験装置及び実験条件

実験は、充填礫径の異なる3本のコンクリート製水路を用いて行った。水路は、幅1m、高さ1.3m、長さ30mで1.2mの高さまで礫が充填されている。本礫間水路の原水は、東京都江東区砂町北運河の表面下約1mの平均塩分濃度1.8‰の海水であるが、トレーサーには、流れに注入しやすく、入手・調整が簡便かつ流水中で安定である塩水を採択した。トレーサー試験方法は、15‰塩水を原水ピットへ原水流量の5~10%量を原水の水路内滞留時間に応じて5~20分間連続に注入した。原水ピットでは、曝気により注入トレーサーを十分に混合し水路流入点の断面方向のトレーサー濃度が均一になるようにした。図-1に示すように、原水ピットから流下方向に7.5m間隔で30m点までの5ヶ所に導電率計を設置し、塩分濃度を連続的に計測した。原水が海水であるため計測値から原水の塩分濃度を引いて補正した後、モーメント法により平均到達時間と分散係数を求めた。実験条件を表-1に、モーメント法の概略を図-2に示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 縦分散係数の実測値と文献値との比較

トレーサー計測補正值から得られる濃度-時間曲線及び平均到達時間($\bar{t}$)と2次モーメント(σ^2)の関係の一例を図-3に示す。流下に伴いピーク濃度が減衰し、トレーサーが広がっていく様子が判る。 σ^2 と $\bar{t}$ の直線勾配と断面平均流速から縦分散係数 D_L を求めた。今回のRe数が $10^2 \sim 10^3$ の領域の礫間内の分散係数と既往の文献値との比較を行った(図-4)。HarlemanとRumer及び神野等は、浸透層内の縦分散係数を実験的に求め、 $D_L / \nu = a_L \cdot Re^{b_L}$ ($Re = u d_m / \nu$, u : 断面平均空隙流速, d_m : 平均粒径, ν : 動粘性係数)の無次元形で表現した。Harleman・Rumerは $a_L = 0.66$, $b_L = 1.20$, 神野は $a_L = 1.47$, $b_L = 1.14$, 東京大学水理実験室は $a_L = 0.85$, $b_L = 1.40$ である。

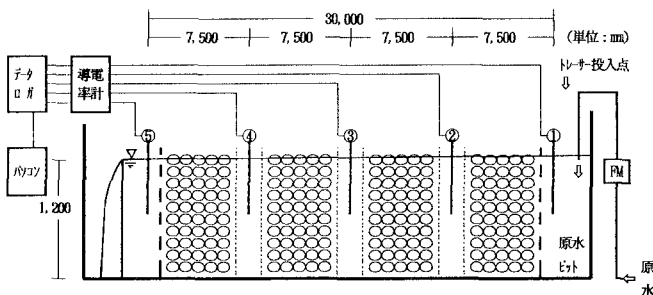


図-1 礫間接触水路とトレーサー実験の概要

表-1 トレーサー実験の条件

水路名称 条件	大礫水路	中礫水路	小礫水路
礫50%径 (mm)	113.0	42.2	24.6
空隙率 (-)	0.487	0.466	0.458
流量 (m ³ /hr)	7.5~30	7.5~30	7.5~30
礫間内平均流速 (cm/sec)	0.35~1.36	0.30~1.49	0.48~1.56
水路平均水深 (cm)	106~120	109~115	103~112
R.数 (-)	390~1523	125~626	118~381

但し、これらは、いずれも Re 数が $10^{-1} \sim 10^1$ の層流領域での検討であり、今回の Re 数の領域($10^2 \sim 10^3$)とは異なる。図-4より礫間内の D_L 値は、層流領域で求められた前述の式の延長上にあることが認められた。従って、礫間内の D_L 値は、前述の式により概ね推定できる。また、今回の実験では、①小礫の b_L 値は、多少ばらつきがあるが、中礫及び大礫とは異なること、②中礫及び大礫の b_L 値は、0.66程度であり、層流領域の式の $b_L=1.14 \sim 1.40$ より小さいことが判った。

3.2 礫が無い場合との比較

トレーサ試験と同じ断面流速で礫が無い場合の縦分散係数を推定し、今回の結果との比較を行う。礫が無い場合の縦分散係数の推定は、Manning式から求めた水面勾配とBilderにより導かれた2次元水路の式($D_L=5.93 \cdot u_* \cdot h$, u_* : 摩擦速度, h : 水深)を用いて行った。粗度係数(n)は、コンクリート壁のため $n=0.012$ とした。礫が無い場合の D_L 推定値と実験より得られた礫間内の D_L 値との比較を図-5に示す。礫間の空隙による力学的な分散機構を考えると、礫が充填された水路は、礫の無い場合に比べて大きな D_L 値を持つことが予想されたが、今回のように礫が大きく Re 数が $10^2 \sim 10^3$ の場合は、図-5に示されるように、さほど D_L 値は大きくならないことが判明した。

4. まとめ

(1)清澄時の礫間接触水路の縦分散係数(D_L)を求めた。(2)礫間水路の D_L 値は、層流領域で得られた式の延長上にある。(3)中礫及び大礫の b_L 値は、層流領域の式の b_L 値より小さい。(4)今回の実験範囲では、礫の有無による D_L 値の差は少ない。尚、本研究は、運輸省港湾技術研究所と民間17社から構成されるシーパルテクノロジー研究会が実施している共同研究の一部である。

参考文献 1) Harleman and Rumer, Fluid Mech.16(1963), 2)神野, 日本地下水学会誌 No.21 Vol.2 (1979), 3)地下水ハンドブック(1979), 4)毛利ら, 25回水質汚濁学会(1991), 5)細川ら, 25回水質汚濁学会(1991)

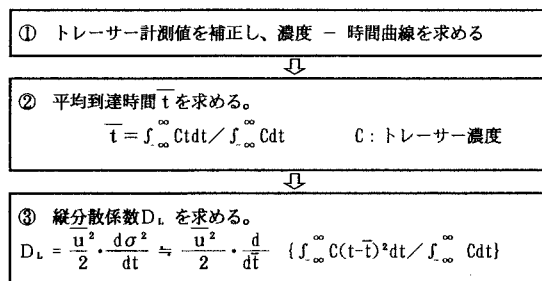


図-2 モーメント法の概要

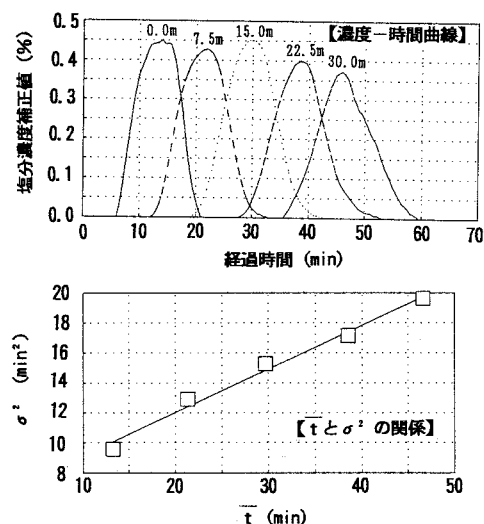


図-3 トレーサ試験結果の一例
(中礫, 原水流量 30 m^3/hr の場合)

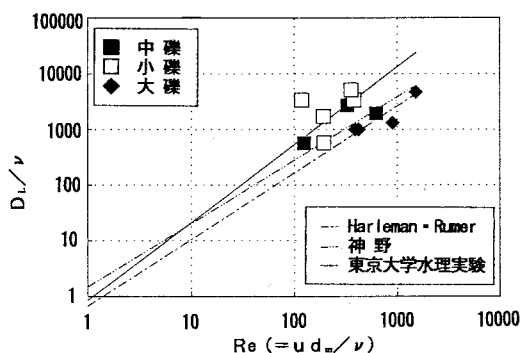


図-4 礫間内の縦分散係数と文献値との比較

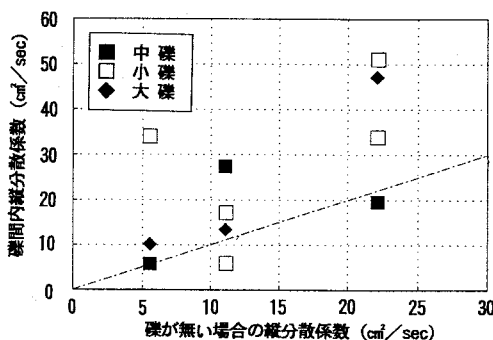


図-5 礫が無い場合の縦分散係数との比較