

II-541

礫間接触水路における初期損失水頭について

若築建設 正員 上原功 熊谷組 正員 門倉信行
 大都工業 大井千秋 フジタ 廣田修
 本間組 田中修 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より内湾や沿岸域における水質環境の改善が望まれている。運輸省港湾技術研究所と民間17社から構成されるシーブルーテクノロジー工法研究会は海水浄化の一方法として礫間接触酸化法について大型実験水路を用いて実験中である。礫間接触酸化法を利用した浄化施設を設計するためには礫の透水性を知ることが必要である。しかし粒状体の透水性に関する研究は土の浸透性や砂濾過の損失水頭のように粒子の小さい低レイノルズ数領域に適用されているものが主体であり、礫のような粒子の大きなレイノルズ数の高い領域における研究は少ない。よって本報告では大型実験水路で礫間に目詰まりを起こしていない状態で行った損失水頭実験の結果を示し、既往の式との比較検討を行った。

2. 実験施設および実験条件

実験水路は長さ30m、幅1m、高さ1.3mの水路3本を使用した（図-1）。各々の水路に粒径の異なる碎石を高さ1.2mまで敷き詰め礫層を構成した。粒径測定は各水路から任意に抽出した礫50～100個の体積を測定し、体積が等しい球体の直径として粒径分布を求めた。空隙率測定は礫を敷き詰めた水路に海水を注水し、注水体積と注水面以下の水路体積の比によって求めた。実験は水位が礫表面より上がらないように流量と流出堰高を調整し、そのときの流量と水位を測定した。実験条件を表-1に、粒径分布を図-2に示す。この実験におけるレイノルズ数（ $Re = v \cdot d_{50} / \nu$ ）の範囲は26～1600である。

3. 実験結果および既往式との比較

図-3～5に実験結果および以下に示す既往の3つの式による計算値を示す。他の式についても比較を行ったがこれらの式が実験値に対し比較的近い値を示した。

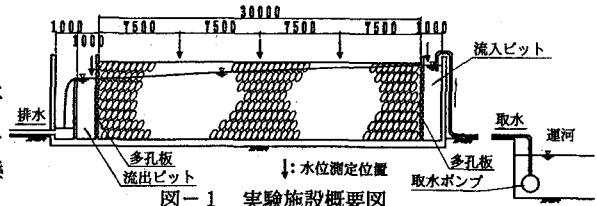


図-1 実験施設概要図

表-1 実験条件

実験番号	礫	50%粒径 d_{50} (cm)	$\bar{d}$ (cm)	均等係数 U	空隙率 λ	流量 Q (m^3/hr)
No.1	小礫	2.46	2.41	1.28	0.459	3.8～30.0
No.2	中礫	4.22	4.22	1.26	0.466	7.5～30.0
No.3	大礫	11.30	10.13	1.46	0.487	7.5～50.0

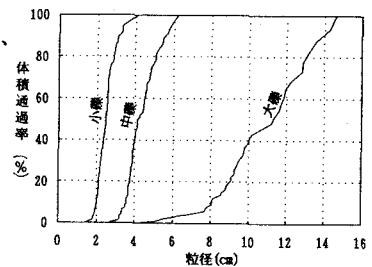
注) $\bar{d}$ は (3) 式参照

図-2 粒径分布

$$\text{Fair-Hatch} \quad I = 0.178 \frac{C_D}{g} \frac{v^2}{\lambda^4} \frac{A}{V}, \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34, \quad d = d_{50} \quad (1)$$

, $A/V = 6/d$ (球形値)

$$\text{Ergun} \quad I = 150 \frac{(1-\lambda)^2 v}{g \lambda^3 d^2} + 1.75 \frac{1-\lambda}{g \lambda^3 d} v^2, \quad d = d_{50} \quad (2)$$

$$\text{富永} \quad I = \left(\frac{1000}{Re'} + \frac{29.3}{\sqrt{Re'}} + 4.3 \right) \frac{1-\lambda}{g \lambda^3 \bar{d}} v^2, \quad Re' = \frac{v \bar{d}}{(1-\lambda) \nu}, \quad \bar{d} = 1/\Sigma (Wi/di) \quad (3)$$

ここに、 I ：動水勾配、 g ：重力加速度、 v ：空塔速度、 λ ：空隙率、 A/V ：比表面積、 C_D ：粒子の抵抗係数、 ν ：動粘性係数、 d 、 $\bar{d}$ ：代表粒径である。これらの式のうち(1)、(2)式は砂濾過の損失水頭の算出に用いられているもので低レイノルズ数領域に適用されている式であり、(3)式は本実験とほぼ等しい粒径の礫で行った実験から提案された式である。

図より小礫については実験値と(1)式、中礫については(3)式、大礫については(1)式、(2)式と良く一致しており、全ての実験値が1つの式に一致する結果とはならなかったが、全体としてレイノルズ数の変化に対する動水勾配の変化傾向は良く一致し、また動水勾配の値についても比較的良く一致している。また図-6は礫間接触水路の抵抗係数 f を下式のように考えた場合の実験結果と各式の計算値を示したものである（計算値の $\lambda = 0.47$ ）。

$$I = f \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

(4)式を(1)、(2)、(3)式と比較すると f はレイノルズ数と空隙率の関数であることが推察されるが本実験においては各礫層の空隙率がほぼ等しいので、実験結果を抵抗係数 f とレイノルズ数の関係で整理するとほぼ1つの曲線上に集中することが予想される。図を見ると実験値は計算値に近くて平行な、幅を持った帯の中に分布しているのがわかる。このことから実験値と計算値は比較的一致していると言える。また、実験値が幅を持つということは、各式に表されているパラメータの他に礫層の持っている特性、つまり粒子の形状や粒径分布等が損失水頭に影響を与えているということであると思われる。よって設計を行うにあたっては、これらの影響を考慮に入れる必要がある。

4. おわりに

本実験により礫のような粒子の大きなレイノルズ数の高い領域における損失水頭についても既往の式と比較的良く一致することが確認できた。今後は礫間接触水路の目詰まりの進行とともに増加する損失水頭の観察を行いそのメカニズムを解明することが必要であると考ええる。

参考文献 1) 富永正照：海岸堤防の水理に関する実験的研究、土木研究所資料第766号(1972) 2) 水理公式集、土木学会 3) 細川恭史ら：生物膜法による低濃度汚濁海水の高度処理、第25回水質汚濁学会(1991)

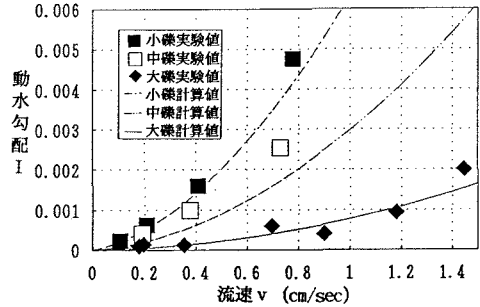


図-3 実験値と(1)式の比較

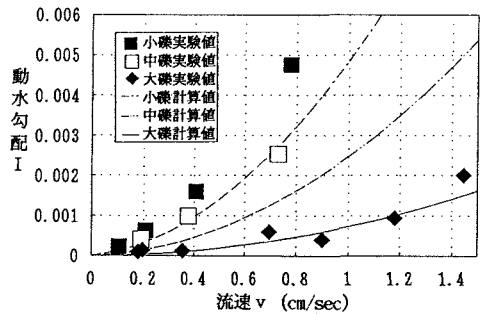


図-4 実験値と(2)式の比較

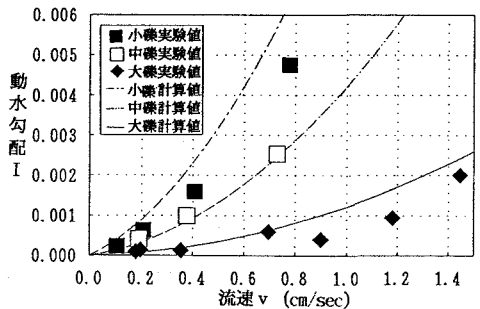


図-5 実験値と(3)式の比較

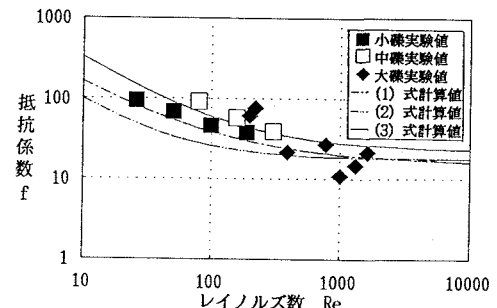


図-6 抵抗係数 f の比較