

II-473 砂層の成層化現象の解析

北海道大学工学部(正) 船水尚行・(正) 高桑哲男・(学) 和田篤也

1. はじめに 演者らは粒径・密度分布をもつ粒子群の回分沈降過程の計算法を提案し、2成分、3成分粒子群への適用結果について先に報告した^{1), 2)}。今回は比較的なめらかな粒径分布をもつ砂粒子群へ回分沈降過程の計算法を適用した結果を報告する。

2. 実験 多成分粒子群の回分沈降過程の計算法の砂粒子群への適用可能性を検討するために回分沈降実験を行った。実験にはふるい分けにより粒径をそろえた8種類の砂粒子を用いた。表-1にこれらの粒径範囲、幾何平均径、密度を示す。表-1の粒子を混合して所定の粒径分布をもつ粒子群を作り、この粒子群を内径約5cm、長さ約50cmのアクリル製沈降管に一樣に懸濁させ回分沈降実験を行った。懸濁媒体は水道水を用いた。本実験では沈降開始時の粒子群の体積濃度を沈降終了後の堆積層厚 h_0 を基準とした膨張率 $e = (h - h_0) / h_0$ (h : 沈降開始時の層厚) で約0.3と一定とした。実験では沈降終了後の堆積層を一定厚さずつかきとり、ふるい分けにより粒径分布を測定した。多成分粒子群を用いた沈降実験に先立ち、各粒子を単独で沈降・堆積させた場合の堆積層の体積濃度を測定し、多成分粒子群の沈降終了後の堆積層の濃度計算のための基礎データを得た。表-1に測定結果を示す。

3. 回分沈降過程の計算法の適用結果

(1) 均等係数を変化させた粒子群への適用結果 粒子群の粒径分布を対数正規分布とし、有効径 (d_{10}) を約0.4mmと一定、均等係数 C_u をそれぞれ約1.3, 1.5, 1.7, 2.0とした粒子群の沈降終了後の堆積層の各深さの粒径分布の実測値と計算値の比較結果を図-1に示す。

なお、砂粒子の濃度と沈降速度の関係を表現する沈降速度式は先に発表したもの³⁾を用いた。図-1より堆積層の各深さの粒径分布の計算値は表層付近(0~1cm)における適合性が低いが実測値をほぼ表現しているといえよう。図-2には粒径分布の指標として d_{10} , d_{60} (60%非超過径) をとり、これらの鉛直方向分布について実測値と計算値の比較結果を示す。図では堆積層の表層からの距離 z を堆積層厚 h_0 で無次元化し、 d_{10} , d_{60} の鉛直方向の変化が観測された表層部分(全堆積層の25%)の状況を示した。図より堆積層の各深さの粒径分布の変化は表層付近に集中しており、粒子群の均等係数の値が大きいくほど粒径分布の変化する部分の層厚が厚くなる傾向があることがわかる。計算結果は d_{60} の値を過小に見積もる傾向があるが実測値をほぼ表現しているといえる。

(2) d_{60} 以上の粒径分布を変化させた粒子群への適用結果 粒子群の有効径を約0.4mm、均等係数を約1.5と一定とし、 d_{60} 以上の粒径分布を図-3のように定めた粒子群を用いた場合の結果を図-4に示す。図より d_{60} 以上の粒径の分布幅が広がるほど表層付近の粒径分布の変化が大きくなっており、計算結果もこの傾向をよく表現している。

(3) 浄水場砂ろ過池砂層への適用結果 回分沈降過程の計算法を浄水場

表-1 実験に用いた砂粒子

No	粒径幅 (mm)	幾何平均径 (mm)	密度 (g/cm ³)	単独堆積時の濃度 (-)
1	1.19~1.00	1.10	2.626	0.485
2	1.00~0.84	0.92	2.626	0.485
3	0.84~0.71	0.77	2.626	0.485
4	0.71~0.59	0.65	2.615	0.486
5	0.59~0.50	0.54	2.802	0.490
6	0.50~0.42	0.46	2.802	0.487
7	0.42~0.35	0.38	2.834	0.493
8	0.35~0.25	0.30	2.890	0.496

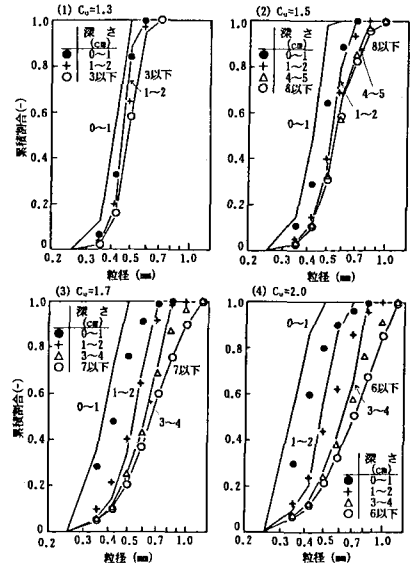


図-1 堆積層各深さの粒径分布-1

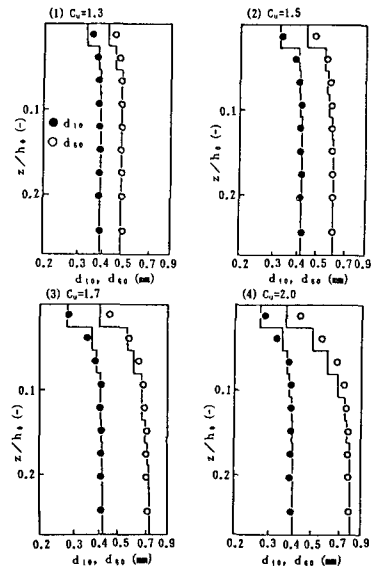


図-2 d₁₀, d₆₀の鉛直分布

砂ろ過池砂層に適用した例を示す。適用を試みたデータは札幌市S浄水場のろ過池砂粒徑調査結果を用いた。実測値と計算値の比較結果を図-5,6に示す。S浄水場のろ過砂は有効粒徑約0.7mm, 均等係数約1.26で, 粒徑の分布幅が狭く, ろ層のうち粒徑分布が変化しているのはろ層厚57~58cmのうち表層0~1cm部分に限られている。計算結果もこの傾向を表現している。

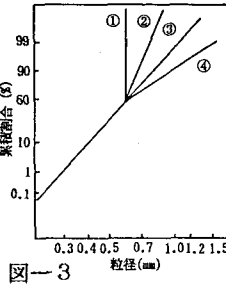


図-3

4. 堆積層中の一定粒徑分布部分の層厚の推定

粒徑分布が一定とみなせる層が堆積層の大部分を占めることが今回の実験, 浄水場のろ過池砂層の調査結果ならびに回分沈降過程の計算法による計算結果より明らかとなった。ここでは, 堆積層の成層を表現する一つの指標として全堆積層厚 h_0 のうち粒徑分布が一定とみなせる層(一定粒徑分布層)の厚さ h^* の割合 h^*/h_0 をとりあげ, h^*/h_0 の推定法を以下に示す。回分沈降過程の計算法によれば, 一定粒徑分布層厚は最大沈降速度をもつ成分の分離面(図-7中 S_{max})と底面より上昇する堆積層(図-7中 S_I)との交点で決定される(図-7)。

最大沈降速度をもつ成分の沈降速度を v_{max} , 堆積層の上昇速度を V_I とすれば, h^*/h_0 は

$$\frac{h^*}{h_0} = \frac{V_I}{V_I - v_{max}} \times (1 + e) \quad (1)$$

となる。また, V_I は

$$V_I = -G_I / (\phi_I - \phi_0) \quad (2)$$

と表現される。ここで G_I は粒子群の全沈降フラックス, ϕ_I は一定粒徑分布層の全体積濃度, ϕ_0 は沈降開始時の粒子群の全体積濃度である。堆積層の平均体積濃度を ϕ_s とすれば, 今回の実験や浄水場の砂粒子群では $\phi_s = \phi_I$ とおくことができ, 式(2)中の $\phi_I - \phi_0$ は $\phi_I - \phi_0 = \phi_s - \phi_0 = \phi_s \times e / (1 + e)$ となる。また, 粒子群の全沈降フラックス G_I は粒子群の平均沈降速度 v_{ave} を用いて $G_I = v_{ave} \phi_0 = v_{ave} \phi_s / (1 + e)$ となる。よって式(1)は

$$\frac{h^*}{h_0} = \frac{1 + e}{1 + (v_{max}/v_{ave})e} \quad (3)$$

となる。式(3)中の v_{max}/v_{ave} 項は粒子群の粒徑分布と沈降開始時の体積濃度によって計算することができ, 粒子群の粒徑のバラツキの程度を沈降速度によって表現している。式(3)の h^*/h_0 と v_{max}/v_{ave} の関係を膨張率 e をパラメータとして図-8に示す。図より v_{max}/v_{ave} の値が小さいほど, e が小さいほど h^*/h_0 が大きい, すなわち一定粒徑分布層の割合が大きくなるのがわかる。また, 図-8には砂粒子群の有効粒徑を約0.6mm, 均等係数を1.2~2.0とした場合の計算結果を示した。これらの結果より, 均等係数1.6~2.0では h^*/h_0 に与える膨張率 e の影響が大きくなっていることがわかる。

参考文献: 1) 船水, 高桑; 水道協会雑誌, 612, (1985) 2) 船水, 高桑; 衛生工学研究論文集, 22, (1986) 3) 船水, 高桑; 土木学会40回年講(1986)

d_{50} 以上の粒徑分布

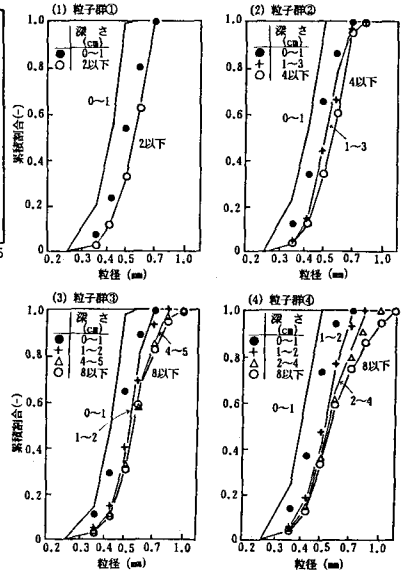


図-4 堆積層各深さの粒徑分布-2

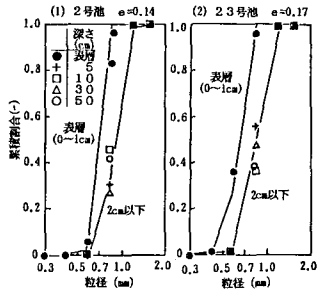


図-5 浄水場ろ過池砂層の粒徑分布(昭和60年4月)

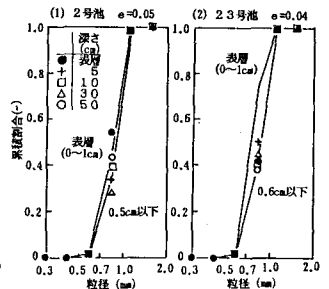


図-6 浄水場ろ過池砂層の粒徑分布(昭和58年8月)

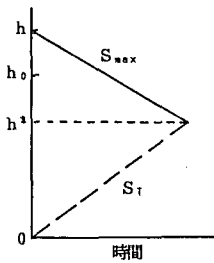


図-7 一定粒徑分布層の形成パターン(模式図)

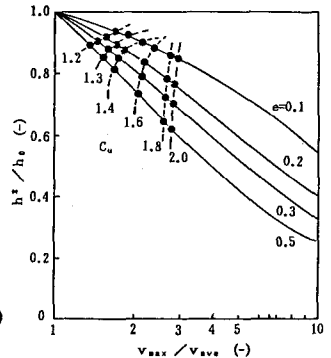


図-8 h^*/h_0 と v_{max}/v_{ave} の関係