

九州大学 の学生員 百田 徹也

正 員 神野 健二

上 田 年比古

1. まえがき 近年海岸埋立て、コンクリート護岸のかわりに土砂による透過性護岸(堤体)を構築し、次に内側海域をしゅんせつ土で埋立てる方法が考えられているが、この場合しゅんせつ土中の水を堤体を透過させて海へ排水する時の堤体の除濁効果と懸濁粒子による堤体の目づまりが問題となっている。本報では長方形二次元堤体による解析および室内実験を行い解析手法の妥当性を検討し、これを用いて実際の堤体での除濁現象を予測した。

2. 基礎式 実際の透過性護岸中の浸透流の水面勾配は小さいので、鉛直流速を無視し、準一様流の仮定のもとに、

$$\text{連続式} \quad \varepsilon \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u h) = 0 \quad -①$$

$$\text{Darcy則} \quad u = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad -②$$

$$\text{懸濁粒子の保存式} \quad \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u C) = -\frac{\partial s(1-\varepsilon_0)}{\varepsilon} \frac{\partial q_s}{\partial t} \quad -③$$

$$\text{懸濁粒子の抑留条件式} \quad \frac{\partial q_s}{\partial t} = \frac{\varepsilon \beta C}{\sigma_s(1-\varepsilon_0)}(1-\beta_2 q_s)(1+\beta_1 q_s) \quad -④$$

$$\text{空げき率} \quad \varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_0)(1 + \frac{\sigma_s q_s}{\sigma_n}) \quad -⑤$$

$$\text{透水係数関係式(実験式)} \quad \frac{k}{k_0} = \exp(-\alpha q_s) \quad -⑥$$

t : 時間(sec) x : 距離(cm)
 h : 自由水面高(cm) u : 断面平均流速(cm/sec)
 ε : 空げき率 ε_0 : 初期空げき率
 k : 透水係数(cm/sec) k_0 : 初期透水係数(cm/sec)
 C : 間げき流体中の粒子濃度(g/cm^3)
 q_s : 堤体砂 1g 当りの抑留量(g/g)
 σ_s : 堤体砂の単位重量(g/cm^3)
 σ_n : 抑留粒子の単位重量(g/cm^3)
 $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$: 実験定数 β_1 は(1/sec) 他は無次元

3. 実験 実験装置を図-1に示す。埋立計画中の博多湾海岸に堆積したヘドロの粒度分布を図-2のa, bに示す。また本海域海底の土質は図中のハッチで示される粒度分布を持つとされている。したがって、この土砂で護岸を構築する場合の堆積時の粒子の分級を考えて、実験の堤体砂として実験室所有のAを用いることにした。また懸濁粒子としては、図中のハッチの土砂の埋立地内での比較的大きな粒子の沈殿除去を考えて(沈降時間、粒径0.1mmで2分/m, 0.01mmで100分/m, 0.001mmで180時間/m)¹⁾、現地採取のヘドロa, bを用いた。実験は、懸濁水を供給しつつ、流出流量、水頭分布、流入・流出および堤体間げき中の濃度と、実験終了後の堤体中の抑留粒子量を測定した。

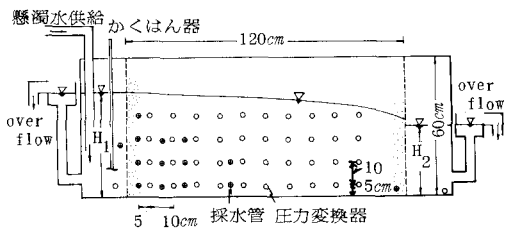


図-1 堤体実験装置

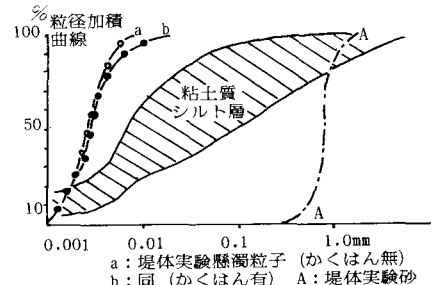


図-2 懸濁粒子および堤体砂粒度分布

4. 実験結果と数値計算との比較 実験結果と数値計算の比較例を図-3～5に示す。数値計算は①～⑥式を差分化し、各実験

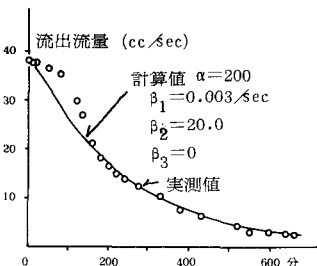


図-3 流出流量の時間変化

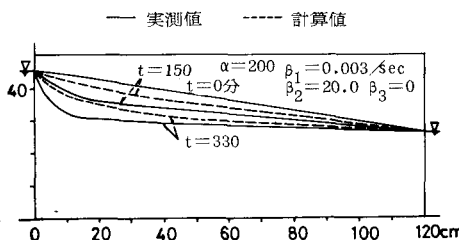


図-4 自由水面形の時間変化

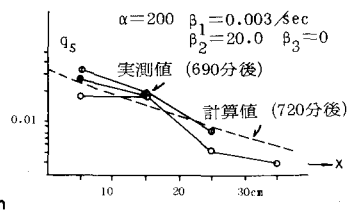


図-5 抑留量 q_s の比較

毎の境界条件を与えて計算した。実験定数 α は実験終了時の堤体各部分のヘドロ抑留量と流量および水頭勾配から求めた透水係数より算定した。この値は初期透水係数等によりばらつきがあるが、 $\alpha=10^2$ 程度であった。 β_1 については、抑留の初期を考えて $q_s \approx 0$ とし、④、⑥式から $\frac{\partial}{\partial t}(R/R_0) = -\alpha \exp(-\alpha q_s) \approx -\alpha \varepsilon_0 \beta_1 C / (\varepsilon_s(1-\varepsilon_0))$ —⑦ 流入端に近い場所で、 $C \approx C_{in}$ (流入濃度) として、実験初期の R/R_0 の時間変化の近似直線の傾きから β_1 を求めることができる。これによると、本実験の組合せ(図-2の曲線Aとa)では β_1 は $10^3/\text{sec}$ 程度となった。 β_2 については、④⑥式より $\frac{\partial}{\partial t}(R/R_0) = -\alpha \{ \exp(-\alpha q_s) \} \frac{\varepsilon \beta_1 C}{\varepsilon_s(1-\varepsilon_0)} (1-\beta_2 q_s)(1+\beta_3 q_s)$ —⑧ いま、充分の時間経過後は $\frac{\partial}{\partial t}(R/R_0) \rightarrow 0$ から $q_s = 1/\beta_2$ 、したがって β_2 は 飽和時の q_s の逆数として求められる。実験から $\beta_2 \approx 20$ がえられた。 β_3 は抑留の進行によって抑留率が增大するパラメーターであるが、今回は $\beta_3 = 0$ とした。図-3,4,5の実験では、流量、水面形、抑留量ともにはば良い一致を示しているようであるが、水面勾配が大きくなると、準一様流の仮定が成り立たなくなるためか、誤差が大きくなる。また流入部でのかくはんの有無を比べると、かくはんした場合図-2の曲線bのように、 α に比べ粒径の大きな粒子が加わる事になるが、かくはんしない時よりも β_1 の値が1ヶタ大きくなり、懸濁水中の比較的粒径の大きな粒子の存在は抑留率 β_1 に大きく影響するようである。

5. 実際の堤体の現象の予測

実際の堤体は図-6のような形状をしているが、この形状での数値計算は複雑であり、本報が抑留の進行の検討を目的とすることから、解析容易な図-6の太線で示す長方形堤体について数値計算を行った。なお、前述のように、室内実験ではほぼ実際の場合を考えた懸濁粒子と堤体砂を用いたことから、ここでは実験定数 α 、 β_1 、 β_2 、 β_3 は室内実験のものに等しくした。以上により、図-6の長方形堤体について抑留過程の数値計算を行った結果を図-7～9に示している。図-7から、流量はほぼ1,2日のオーダーで初期流量の10%以下となっている。また抑留量は流入側の短い幅に集中しているので、自由水面形および透水係数は図-8,9のように流入側の短い範囲で変化が急になっている。次に、流入濃度3000ppmに対して、流出濃度の計算値は最大値で 10^{-10} ppmのオーダーできわめて小さく、室内実験の結果でも10ppmをこえることはなく、除留はほぼ完全に行われると考えて良いようである。

6. むすび

今回は室内実験でのデータを用いて、モデル化された透過性崖岸の抑留現象の予測を行ったが、実際の斜面をもつ堤体でも、抑留現象は流入側から1～2mの範囲で顕著であろうと推測される。今後は円筒を用いた1次元の実験および2次元台形堤体での実験により実験定数 α 、 β_1 、 β_2 、 β_3 の関数形を検討したいと考えている。また、この解析に用いた基礎式を円筒座標に変換して考察を加えれば、比較的高濃度の水を注入井で人工かん養する時の抑留現象をシュミレートできるのではないかと考えている。

参考文献

- 1) 石橋多聞：土木工学，P123，技報堂，昭44年

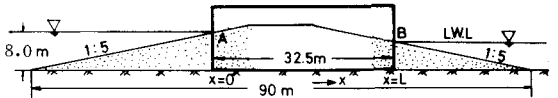


図-6 実際の堤体と計算に用いた長方形堤体

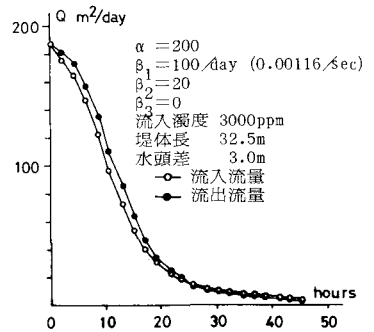


図-7 流量の時間変化

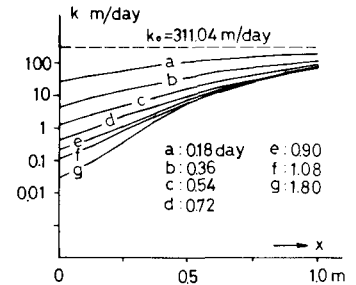


図-8 透水係数の分布

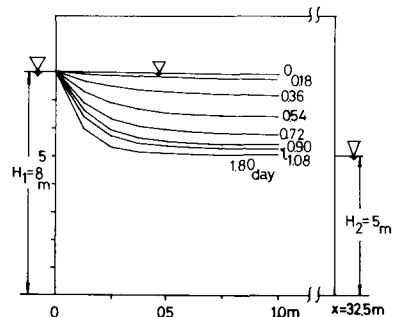


図-9 自由水面形の時間変化