

京都大学工学部 正員 奇島 新

はじめに

本報告は、管理型海面埋立処分場の課外や正室内において片押し型の埋立てを行う場合について、埋立層における水・汚濁物の挙動のモデル化、埋立進行に伴う内水面水質変化の予測方法を示しそのものである。

埋立地構造のモデル化と水・汚濁物挙動に関する主要現象

図-1に示すように、 T 日分の一定量の廃棄物が一度に埋立てられて1ブロックを形成するが、陸上部と海中部分の廃棄物性は異なるとする。見方と見方と見方と、初期内水係数 V_0 は $V_0 = BLh_e$ 、 T 日当り海中埋立係数 $V_e = BLh_e$ 、 T 日当り陸上埋立係数 $V_u = BLh_u$ 、1ブロック係数 $V = V_u + V_e$ となる。

埋立地における水・汚濁物挙動の主要現象としては、1) 廃棄物投入時の通孔中への初期流出と通孔排除、2) 海中埋立部分と通孔排除部分の間隙水中汚濁物の埋立前端面からの拡散溶出、3) 海中埋立部分の圧縮による間隙水と汚濁物の押し出し、4) 陸上埋立部分への降雨の浸透による間隙水と汚濁物の鉛直浸透、5) 層内水平流動による埋立前端面からの流出、6) 降雨の表面流出と汚濁物流出とをとりあげる。2)の機構については埋立ブロック前端面積の拡大率のみを導入する。それらの現象は2)3)と関連するが、埋立段階では浸透水の水平流動を層内通水面上の密度流とみなして独立現象、2)3)を同様に関連現象とする。

水収支と汚濁物流出・溶出・浸出のモデル

1. 水収支モデル

a. 降雨浸透・流出 ; 定常な平均降雨 T のうち t_0 が浸透、 t_0 が表面流出、 t_0 が蒸発するとする。それらの降雨の浸透と水平流動による流出は埋立ブロックの各進行段階で定常であると仮定する。

$$n \text{ ブロックの埋立から次の埋立までの } T \text{ 日間における埋立前端面からの表面流出量 } Q_u^s = nBLt_0T \quad (1)$$

$$n \text{ ブロックの埋立から次の埋立までの } T \text{ 日間における埋立前端面からの浸出水量 } Q_u^i = nBLt_0T \quad (2)$$

b. 圧縮流動 ; 海中部分の間隙率変化のみを対象とし、層高変化の溶出への影響は無視する。投入直後の初期間隙率を f_0 、圧縮後の最終間隙率を f_m 、圧縮可能間隙率を f とし、圧縮による間隙率変化を(3)式で表わす、 n ブロック埋立後 T 日間に $1 \sim n$ ブロックから前端面を通じて押し出される水量 Q_m^p は(4)式となる。

$$f_t = f \exp(-\beta t) + f_0, \quad t: \text{投入後日数}, \beta: \text{圧縮速度係数} \quad (3) \quad Q_m^p = nV_e f \{1 - \exp(-\beta nT)\} \quad (4)$$

c. 投入廃棄物による通孔排除 ; i 日当りの埋立処分重量 G_i 、海中投入重量 G_e 、投入前含孔率 P 、間隙水の真密度 ρ_w 、廃棄物の真密度 ρ_s 、投入後埋立層間隙率を f_0 とすると、1ブロック分の投入による排除通孔量 Q^e は、

$$Q^e = G_e T / \{ (1-P)/\rho_s + P/\rho_w \} \quad (5) \quad V_e \text{ と } G_e \text{ の関係は } V_e = V_s / (1-f_0) = G_e (1-P) / \rho_s (1-f_0) \quad (6)$$

d. 内水面からの水量収支 ; 蒸発量と差引いた降雨量 t_0 とすると、 n ブロック埋立後 T 日間の内水面降雨量 Q_u^r は(7)式。以上より n ブロック前端面から内水面への流出量 Q_u 、内水面から外海への排出量 Q_m^o は(8)、(9)式となる。

$$Q_u^r = (L - nL)BLt_0T, \quad (L/L = N > n) \quad (7) \quad Q_u = Q_u^s + Q_u^i + Q_u^p \quad (8) \quad Q_m^o = Q_u^s + Q_u^i + Q_u^p + Q_u^e + Q^e \quad (9)$$

2. 内水面への汚濁負荷の流出・溶出・浸出のモデル

a. 表面流出に伴う汚濁負荷 ; 流出水濃度を C^s とすれば前端面からの流出汚濁負荷 $M_u^s = C^s Q_u^s$ (10)

b. 降雨浸透に伴う溶出と浸出汚濁負荷 ; 廃棄物単重量当り汚濁物溶出ポテンシャル(最大可能溶出量) δ_{00} のうち、表面溶出量 δ_{s0} 、内部拡散溶出量 δ_{i0} 、生物分解溶出量 δ_{b0} 、 δ_{s0} と δ_{i0} の知見物理・化学溶出量 δ_0 、よって δ_{b0} の任意時間廃棄物中濃度を δ_b とすると、 $\delta_{00} = \delta_{s0} + \delta_{i0} + \delta_{b0}$ (11) $\delta_0 = \delta_{s0} + \delta_{i0}$ (12)

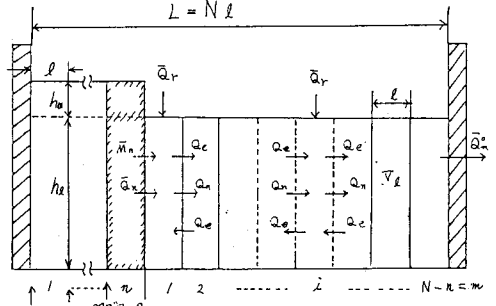


図-1. 埋立地構造モデル

陸上埋立層への汚濁物溶出の挙動は(13)~(15)式、初期・境界条件は(16)式を8つモデル化する。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (1-f)/f \cdot (\frac{\partial \delta}{\partial t} + \frac{\partial \delta_0}{\partial t}) = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x}, \quad v = h_0/f \quad (13)$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = -k_1 \delta (C_s - C) + k_2 C (\delta_0 - \delta) \quad (14) \quad \frac{\partial \delta_0}{\partial t} = -k_b \delta_0 \quad (15)$$

$$C(0, t) = 0, \quad C(x, 0) = C_0, \quad \delta(x, 0) = \delta_0, \quad \delta_0(x, 0) = \delta_{00} \quad (16)$$

C_s ; 間隙水中飽和濃度, k_1, k_2, k_b ; 速度係数, D ; 浸透水の分散係数, v ; 間隙内流速

陸上埋立廃棄物についての実験と解析の基礎に、実条件を対する浸出濃度 $C(h_n, t)$ とする。図-2の $C(h_n) \sim t$ 曲線を得ると、 n ブロックから既埋立方向に数えて、第 j ブロックにおける j 日間の浸出量荷は、 $C \sim t$ 曲線における時間 $(j-1)T$ と jT 間の平均の C と C_j とした(17)式となる。したがって n ブロック前端面から密度差流による浸出は別途解析が必要があるが、埋立層では物理学的減衰を含む(18)式で到達率 F_j を定義する。従って n ブロック埋立後 j 日間に前端面から溶出する $n-(j-1)$ ブロック、全ブロックの量荷は(19)、(20)式となる。

$$\Delta M_{n-(j-1)}^i = h_0 B T C_j \quad (17) \quad F_j = f(j, T) = F_j \exp(-\alpha(j-1)T) \quad (18)$$

$$\Delta M_{n-(j-1)}^i = h_0 B T C_j F_j \quad (19) \quad M_n^i = \sum_{j=1}^n \Delta M_{n-(j-1)}^i = h_0 B \sum T C_j F_j \quad (20)$$

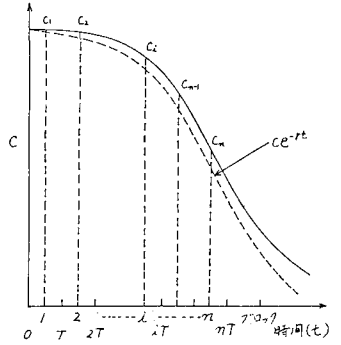


図-2. 浸出濃度曲線

C ; 圧密初期による汚濁物溶出量荷; n ブロック前端面から j 日間に既埋立部分から圧密による溶出する量荷は、間隙水平衡濃度と C として、 $M_n^i = n B h_0 \{1 - \exp(-\beta M T)\}$ (21)

d. 海中埋立層、海底泥積層での溶出; 海中埋立部分では溶出が拡散と支配するので、溶出の影響を定めて有効拡散係数 D_e を定義し、拡散は迅速であることから埋立層を半無限領域と見なすと、溶出・拡散の簡略モデルと初期・境界条件は(21)、(22)式のように表わす。前端面でのフลักス、 j 日間の浸出量荷は(23)、(24)式に解

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (21)$$

$$C(0, t) = C_n^i \text{ (内水面濃度)}, \quad C(x, 0) = C_0 \quad (22)$$

$$F_{x=0} = -D_e \frac{\partial C}{\partial x} \Big|_{x=0} = (C_0 - C_n^i) \sqrt{D_e / \pi t} \quad (23) \quad M_n^i = \alpha B h_0 \int_0^T F_{x=0} dt = 2 \alpha B h_0 (C_0 - C_n^i) \sqrt{D_e T / \pi} \quad (24)$$

e. 海中投入時における溶出量荷; 表面溶出量 δ_{s0} の相当部が平衡関係に従って溶出するが、 C_s, C_{n-1} と δ_{s0} と溶出に関する飽和濃度、 $(n-1)$ ブロック埋立後の前端面での内水濃度とすると、溶出量荷 M_n^i は

$$M_n^i = \delta_{s0} G_e T \{1 - (C_{n-1}^i / C_s)^f\} \quad (25)$$

内水面平衡関係のモデル

a. 完全混合モデル; n ブロック埋立と同時に n が θ^* の水域から排除され、 M_n^i が溶出して完全混合となり、濃度 C_{n0}^i となり、 j 日の間に分解速度 k で濃度減少したのち $(n+1)$ ブロック埋立前他の水量、量荷が流入して完全混合され、濃度 C_{n+1}^i となる。内水面体積と $V_n = V_0 - n V_e$ とすると、

$$C_{n0}^i = \{C_{n-1}^i (V_{n-1} - \theta^*) + M_n^i\} / V_n \quad (26) \quad C_n^i = \{C_{n0}^i e^{-kT} \{V_n - (\theta_n^i + \theta_{n-1}^i + \theta_{n-2}^i + \theta_{n-3}^i)\} + (M_n^i + M_{n-1}^i + M_{n-2}^i + M_{n-3}^i)\} / V_n \quad (27)$$

b. 槽列モデルの計算法; 図-1の8つに槽容積を埋立1ブロックの海中体積 V_e と等しくし、内水面と $m = N - m$ 槽に分割すると、 n ブロックの埋立による $n-1$ ブロックに接する1槽の海水は体積 V_e と等しくし、1槽に接する1槽に形成し、最終槽の海水は外海へ排出され全槽数は m となる。 n ブロックから1槽への流入水量 Q_n と量荷量 M_n 、除流量 $Q_r = \lambda B h_0$ の時間平均値をそれぞれ $\bar{Q}_n, \bar{M}_n, \bar{Q}_r$ とすると、槽間の混合拡散を考慮して時間当りの交換量と $\bar{Q}_e = E V_e$ とすれば、各槽での物質収支は次式のようになる。

$$1 \text{ 槽} \quad V_e \frac{dC_1}{dt} = \bar{M}_1 + C_2 \bar{Q}_e - (\bar{Q}_1 + \bar{Q}_r + \bar{Q}_e) C_1 - k C_1 \quad (28)$$

$$i \text{ 槽} \quad V_e \frac{dC_i}{dt} = \{\bar{Q}_i + (\lambda + 1) \bar{Q}_r + \bar{Q}_e\} C_{i-1} + C_{i+1} \bar{Q}_e - (\bar{Q}_i + \lambda \bar{Q}_r + 2 \bar{Q}_e) C_i - k C_i \quad (29)$$

$$m \text{ 槽} \quad V_e \frac{dC_m}{dt} = \{\bar{Q}_m + (m-1) \bar{Q}_r + \bar{Q}_e\} C_{m-1} - (\bar{Q}_m + m \bar{Q}_r + \bar{Q}_e) C_m - k C_m \quad (30)$$

$$C_{10} = C_{n-1}^i, \quad C_{20} = C_{n-1}^i, \dots, C_{i0} = C_{n-1}^i, \dots, C_{m0} = C_{n-1}^i, \quad (31) \quad C_{1T} = C_1^i, \dots, C_{iT} = C_i^i, \dots, C_{mT} = C_m^i \quad (32)$$

$t=0$ の n ブロックが埋立する直前の各槽濃度は(31)式として(32)式に代入して、 $t=T$ における各槽濃度(32)式が得られる。したがって初期条件となる。但し、 $m=1$ の場合の初期条件、即ち各槽濃度は零である。