

九州大学工学部 正 員 栗谷 陽一

学生員 ○楠田 哲也

田中 紘彦

I. はしがき 本研究は水量負荷の変動によるスラッジブランケット(以下ブランケットと略す)界面の挙動と、ブランケット層内および界面附近での濃度分布とを調べることにによりブランケット層内での渦動拡散係数を求めブランケットの安定性および乱流場における凝集およびフロック形成の機構を明らかにすることを目的としている。本論文ではブランケット層内の濃度が比較的高い場合の層内の渦動拡散係数およびブランケット界面の挙動について若干の考察を加えてみたい。

II. 基礎理論 ブランケット層内の同一水平断面において現象は等しいものとして一次的に考える。ブランケット層の下端を起点とし鉛直上向きに x 軸をとると、フロックの保存式は、

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}\{(u-w)C\} + \frac{\partial}{\partial x}\left(k \frac{\partial C}{\partial x}\right) \quad (1)$$

ここで C : フロックの濃度 k : 渦動拡散係数

w : フロックの干渉沈降速度 t : 時間

u : 上昇流速 $[(\text{水量負荷})/(\text{ブランケット層の断面積})]$

(1)の右辺第一項は上昇流速とフロックの沈降速度との差に起因するフロックの増分を、第二項は拡散によるフロックの増分を示す。フロックの干渉沈降速度は次のように仮定する。

$$w = w_0 - \alpha C \quad (2)$$

ここで w : フロックの干渉沈降速度 C : フロックの濃度

w_0 : フロックの単一粒子としての沈降速度 α : 係数

ブランケット層内におけるフロックは離合集散を繰返すが、破壊してオーバーフローすることはないと仮定すると、フロック重量は常に一定となる。したがって、

$$\int_0^H C(x) dx = W = \text{const.} \quad (3)$$

ここで H : ブランケット層の下端から計ったブランケット層の高さ

W : ブランケット層内の単位垂直面積当りのフロック重量

渦動拡散係数 k および(2)の係数 α は濃度 C には独立の常数と仮定する。ある定常状態においてブランケット層内の濃度 C は一定であると仮定する。記号の添字[1]は初めの定常状態を、[2]は水量負荷変化後の定常状態を示す。水量負荷が増加する場合と減少する場合に分けて理論式を導く。

1) 上昇流速(水量負荷)を増大させた場合 $C_1 > C_2$ である。上昇流速を増加させた後は

$$u = u_2 = u_0 - \alpha \cdot C \quad (4) \quad \text{また} \quad v = \alpha \cdot C_1 \quad (5)$$

移動系をとり $x' = x - v \cdot t$ (6) また $C' = C - (C_1 + C_2)/2$ (7)

とすると、以上4式によって(1)は次のようになる。

$$\frac{\partial C'}{\partial t} = -2 \cdot \alpha \cdot C' \frac{\partial C'}{\partial x} + k \frac{\partial^2 C'}{\partial x^2} \quad (8)$$

境界条件は次のようになる。

$$x' \longrightarrow +\infty \text{ で } C' = (C_1 - C_2)/2, \quad x' \longrightarrow -\infty \text{ で } C' = (C_2 - C_1)/2 \quad (9)$$

(8), (9)の近似解を求めるために

$$C' = C'(\xi), \quad \xi = x'/f(t) \quad (10)$$

とおくと(8)は次のようになる。

$$\frac{\xi}{f} \frac{df}{d\xi} \frac{dC'}{d\xi} = 2 \cdot \alpha \cdot C' \cdot \frac{1}{f} \frac{dC'}{d\xi} - \frac{k}{f} \frac{dC'}{d\xi^2} \quad (11)$$

(11)が f ともに関する常微分方程式となるためには、 A, B を常数

$$\text{として} \quad 2 \cdot \alpha \cdot C' \cdot \frac{dC'}{d\xi} = A \cdot \xi \cdot \frac{dC'}{d\xi} \quad (12)$$

$$k \frac{d^2 C'}{d\xi^2} = -B \xi \frac{dC'}{d\xi} \quad (13)$$

(12)(13)を(11)に代入して $t=0$ で $f=0, t=\infty$ で $f=\infty, f/t \rightarrow 1$ とすると $A=1$

$$\text{として} \quad t = f - B \ln \left(1 + \frac{f}{B} \right) \quad (14)$$

(12), (13)は同一の関係を与えなければならない。(12)と(9)を満足する解は

$$C' = \begin{cases} (C_1 - C_2)/2, & \xi \geq \alpha \cdot (C_1 - C_2) \\ \xi/2 \cdot \alpha, & |\xi| < \alpha \cdot (C_1 - C_2) \\ (C_2 - C_1)/2, & \xi \leq -\alpha \cdot (C_1 - C_2) \end{cases} \quad (15)$$

(13)と(9)を満足する解は

$$C' = \frac{C_1 - C_2}{2} (2B/\pi \cdot k)^{1/2} \int_0^\xi e^{-(B\xi^2/2k)} d\xi \quad (16)$$

(15)と(16)の C' の値の差を $0 < \xi < \infty$ の範囲で積分したものが0に等

しいと置くことによってこれらの解が近似的に同一であると見なして B を求める。すなわち

$$B = 2 \cdot k / \{ \pi \cdot \alpha^2 (\Delta C)^2 \} \quad (17) \quad \Delta C = (C_1 - C_2)/2 \quad (18)$$

(5)(6)(7)(10)(14)(15)(16)を用いると C を x と t の函数として求めることができる。したがってこの関係と(3)

(15)を用いるとフランクットの高さ H の変化が求められる。解は(15)にしたがって三段階に分けられる。

濃度変化の境界を x_a, x_b とし $x > x_a$ では $C=C_1, x < x_b$ では $C=C_2$ とすると(6)(10)(15)から

$$x_a = \alpha \cdot (C_1 \cdot t + 2\Delta C \cdot f) \quad (19) \quad x_b = \alpha \cdot (C_2 \cdot t - 2\Delta C \cdot f) \quad (20)$$

a) $H > x_a$ のとき---- H は一定速度で上昇する。

$$H = W/C_1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta C \cdot t \quad (21)$$

t の上限は $H = x_a$ となる時刻 t_a であり(14)(19)(21)から

$$C_1 f_a - 2 \cdot k \cdot C_2 \cdot (1 + f_a/B) / \{ \pi \cdot \alpha^2 (\Delta C)^2 \} = W/\alpha \cdot C_1 \quad (22)$$

上式により f_a が求まると(14)(19)から t_a, H_a が求まる。

b) $x_b < H < x_a$ のとき---- H の上昇速度は漸減する。

$$H = \alpha \cdot C_1 \cdot t + 2 \cdot \alpha \cdot f \cdot \left[\left\{ W/(\alpha \cdot f) + C_1 \cdot C_2 (1 - t/f) \right\}^2 - (C_1 + C_2)/2 \right] \quad (23)$$

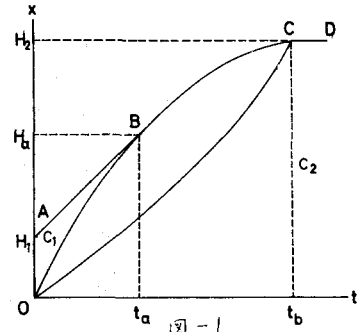
(14)(17)(23)から t と H の関係が求まる。 $H = x_b$ となる時刻を t_b , そのときの f を f_b とすると(20)(23)により

$$C_2 f_b - 2 \cdot k \cdot C_1 \cdot (1 + f_b/B) / \{ \pi \cdot (\alpha \cdot \Delta C)^2 \} = W/\alpha \cdot C_2 \quad (24)$$

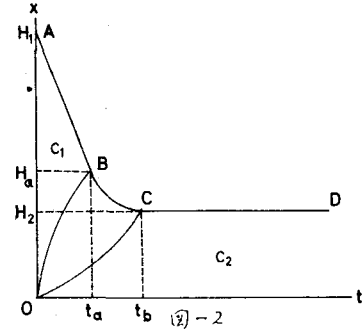
c) $H < x_b$ のとき---- H は一定値となる。(14), (24)から t_b が求まる。

$$t \geq t_b \quad \text{で} \quad H = W/C_2$$

この状態を図-1に示す。A-Bは直線, B-Cは曲線, C-Dは直線となる。ここでA-B-C-Dはフランク



水量負荷増加時の界面の挙動



水量負荷減少時の界面の挙動

ット界面の挙動を、O-B, O-CはC₁からC₂への濃度の遷移領域の変化を、H₁, H₂は定常になった時のフランクセット層の高さをそれぞれ示している。

2) 上昇流速(水量負荷)を減少させた場合 C₁ < C₂である。前述の場合と同様に解は三段階に分けられる。(14)(17)に相当する式として(25)(26)を得る。ただしΔCは(18)と同じである。

$$t = A \cdot [f + \ln(1-f)] \text{-----} (25) \quad A = -k \ln 2 / (\alpha \cdot \Delta C)^2 \text{-----} (26)$$

a) $H > X_0$ のとき----Hは一定速度で下降する。

$$H = W/C_1 - 2 \cdot \alpha \cdot t \cdot \Delta C \text{-----} (27)$$

$$f_a \cdot C_1 + C_2 \ln(1-f_a) = W / \alpha \cdot C_1 \cdot A \text{-----} (28)$$

(28)によりf_aが求まり(25)(26)によりH = X₀となる時刻t_aが求まり(27)によりH_aが求められる。

b) $X_0 < H < X_0$ のとき----Hの下降速度は漸減する。

$$H = \alpha \cdot C_1 \cdot t + 2 \cdot A \cdot \alpha \cdot f \{ [W / (\alpha \alpha \cdot f) + C_1 \cdot C_2 (1-t/A \cdot f)]^{1/2} - (C_1 + C_2) / 2 \} \text{---} (29)$$

(25)(26)(29)からtとHの関係が求まる。H = X₀となる時刻をt_b, そのときのfをf_bとすると,

$$C_2 f_b + C_1 \ln(1-f_b) = W / A \cdot \alpha \cdot C_2 \text{-----} (30)$$

c) $H < X_0$ のとき----Hは一定値となる。(25)(26)(30)からt_bが求まる。

$$t \geq t_b \text{ で } H = W/C_2$$

この状態を図-2に示す。なお渦動拡散係数k = 0と仮定すると、B点とC点は一致する。

III. 実験装置と方法 長さ4.0m, 内径58mmのアクリル樹脂管を使用した。管断面のいたるところで一様な上昇流をえ、またフロックの逆流を防止するために管の下端に61のガラスフィルターをつけてある。ヘッドタンクを下った水は流量計を通過後このフィルターを通り管内を上昇し、管の上端からオーバーフローするようになっている。この管の上端から下端までスライド可能な台に豆球を用いた光源とフォトランジスタとこのスライド台のレベルを電氣的に示すための接点が取付けられている。フォトランジスタはフロックによる反射光のみを受光するようになっている。したがってフォトラの電流はフロックの濃度に比例するものと考えられる。スライド台に取付けられた接点の対の接点は別の支柱に1cm間隔に設けてある。使用フロックは学内水道水(アルカリ度54°, PH 7.1, 水温10°C)と指宿小谷カオリン5.0%を混和した原水に硫酸バンド(aal₂(SO₄)₃)30%を注入後水平攪拌式ジャーテストにて300rpmで30秒間攪拌し、さらにセパラン2610を20%注入し300-60rpmで10-20分間攪拌し15分間静置後上澄水を捨て

さり得たものである。なお実験中のオーバーフロー水は実験の組ごとにすべてバケツにとり破壊して流出したフロック重量の算出に用いた。

IV. 実験結果 結果の一部を表-1に示す。平衡時濃度は(フロック重量)/(平衡時フランクセット高)で求めた。フロック重量は実験終了後管内に存在したフロックの乾燥重量に破壊してオーバーフロー

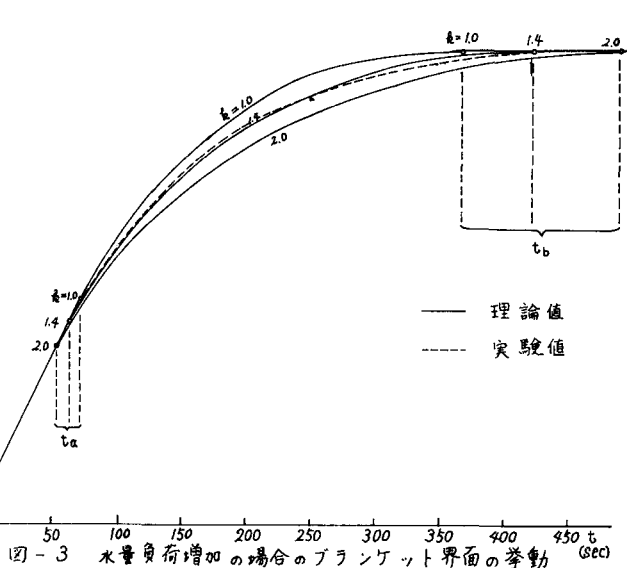
番号	上昇流速 mm/sec	平衡時フ ランクセ ット高cm	平衡時濃 度mg/cm ³	界面物 の方向	推定平均 分散係数 cm ² /sec	(2)の係数 α cm ² /g ²	理論式で 求めたt _a sec	理論式で 求めたt _b sec
1	1.0717	28.9	94.21	上	2.0	3.020	35.7	344
2	1.3553	32.1	84.82	上	2.0	2.818	45.4	478
3	1.6213	36.0	75.52	上	1.4	3.283	62.3	423
4	1.9296	35.9	73.50	上	1.7	3.341	70.8	619
5	2.2791	41.0	66.11	上	1.4	4.083	94.0	586
6	2.6747	40.4	66.77	上	0.2	3.765	203	314
7	2.2926	42.7	65.31	下	0.4	3.588	127	270
8	1.9202	46.2	57.31	下	0.6	3.020	93.3	276
9	1.6052	45.4	58.44	下	0.7	2.848	70.6	250
10	1.3381	43.1	53.44	下	0.7	2.836	56.6	200
11	1.0335	38.3	63.87	下				

たものを補正した重量である。表-1にお

表-1 フランクセット界面の挙動と推定平均分散係数

い) 番号3~4の変化とは上昇流速が 1.623 cm/sec から 1.9296 cm/sec へ、平衡時ブランケット高が 35.90 cm から 41.0 cm へ、平衡時濃度が 65.50% から 66.11% への変化のことである。そしてその間の長が 1.4 で α が 3.283 であることを示している。推定平均拡散係数は(2)の係数 α を理論式に代入して計算した結果を描いた理論曲線と実験値から求めた曲線を重ねることにより推定した。上昇流速が増大する場合の例(表-1の3~4に相当)を図-3に示す。上昇流速が減少する場合の例(表-1の8~9に相当)を図-4に示す。渦動拡散係数 k が小さいほど図-1,2における t_a が長く、 t_b が短くなる。

V. 考察 ブランケット層内での濃度を一定と仮定して計算をすすめたが理論値と実験結果がかなりの一致を示すことからこの仮定が本実験の濃度範囲内ではほぼ正しいと推察される。表-1から明らかなように水量負荷の増加時の渦動拡散係数の平均値は 1.7 、減少時のそれは 0.5 とそれぞれ異なっているが、これは現象が前者は不安定後者は安定であるというように異なっているためであろう。また k が C が小さくなると k も小さくなり C が大きくなると k も大きくなることが水量負荷の増減時にみられる。別の実験から C がかなり大きくなると(表-1の番号1あるいは10の濃度 C 以上)渦動拡散係数 k が減少することが見いだされているので、 k は極大値を持つ C の関数といえるようである。なお水量負荷の増加時と減少時のブランケット上端の挙動の差は時間 t_{∞} としたときに図-1,2における $O-B$, $O-C$ の開きが増加時には無限大、減少時には有限となることによるからである。



VI. おわりに 今後はフロック濃度の稀薄な場合について実験を行なっていきたい。なお本研究の計算には九州大学中央計数施設のOK I T A C - 5090-H電子計算機を使用した。

文献

1) J.A.W.W.A, Vol.140 No.2 1948 P113

