

川崎重工業(株) 正員 ○宇治 貞宏
京都大学工学部 正員 佐 恒

1) はじめに

ブロックの成長過程を論じる際、ブロックが流体から受ける剪断力による破壊を無視することはできない。筆者等が前回、ブロックの破壊について破壊強度と考える実験および数値計算による考察を示した。ブロックは衝突・合と破壊と絶えずくり返していると考えられ、観測される最大安定ブロック径は破壊強度の影響を受けていると思われる。本報はこゝに、実験に立ち、最大安定径に注目することにより前回示し得たが、ブロック破壊強度に関する知見を得ようと試みたもので、その一部を報告する。

2) 衝突・合と破壊の平衡として考えられる最大安定ブロック径

ブロックが衝突・合と破壊とを絶えずくり返している場合の最大安定ブロック径を次のように考える。体積 V_f のブロックに注目すると、衝突・合によるブロック体積の増加速度 $(dV_f/dt)_F$ と考えると、

$$\left(\frac{dV_f}{dt}\right)_F = \int_0^\infty \alpha_f P(V_f, V') n(V', t) V' dV' \quad (1)$$

ここで α_f : 衝突・合率、 $n(V', t)$: 体積 V' のブロック数密度であり、乱流場におけるブロック衝突頻度 $P(V_f, V')$ の値を代入すると

$$\left(\frac{dV_f}{dt}\right)_F = 9 \alpha_f \beta \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu}} \int_0^\infty \left\{1 + \left(\frac{V'}{V_f}\right)^{\frac{1}{3}}\right\}^3 V_f V' n(V', t) dV' \quad (2)$$

ここで β : 定数、 ε_0 : エネルギー・逸散率、 μ : 粘性係数である。また、破壊によるブロック体積の減少速度 $(dV_f/dt)_B$ を次式のように考える。

$$\left(\frac{dV_f}{dt}\right)_B = - \int_0^\infty \alpha_b R_1(V_f) R_2(V_f, V') V' dV' \quad (3)$$

ここで α_b : 係数、 $R_1(V_f)$: 体積 V_f のブロックが破壊抵抗以上の力を単位時間に受ける頻度、 $R_2(V_f, V')$: 体積 V_f のブロックが破壊した時体積 V' のブロックが生じる確率である。最大安定径のブロックでは $(dV_f/dt)_F + (dV_f/dt)_B = 0$ と考えられる。ブロック破壊強度 $R_1(V_f)$ と前回同様に

$$R_1(V_f) = K_b V_f^{m_1} \varepsilon_0^{m_2} \quad (K_b, m_1, m_2: \text{定数}) \quad (4)$$

と表すと最大安定径を示す式として次式を得る。

$$d_{max} = K \sqrt[3]{\frac{1}{3(m_1+m_2-1)}} \varepsilon_0^{-\frac{m_2-1}{3(m_1+m_2-1)}} \quad (5)$$

ここで $\sqrt[3]{\frac{1}{3(m_1+m_2-1)}}$: フロック体積密度、 ε_0 : 形成域内の平均的エネルギー・逸散率、 K, m_1, m_2, m_3 : 定数 であり

$$\int_0^\infty R_2(V, V') V' dV' = K_m V^{m_3}, \quad \int_0^\infty \left\{1 + \left(\frac{V'}{V}\right)^{\frac{1}{3}}\right\}^3 n(V', t) V' dV' = K_f V_f$$

としている。(5)式よりエネルギー・逸散率 ε_0 およびブロック体積密度 $\sqrt[3]{\frac{1}{3(m_1+m_2-1)}}$ と最大安定径との関係と観測することにより(4)式で示された破壊強度に関する知見が得られることが予測される。

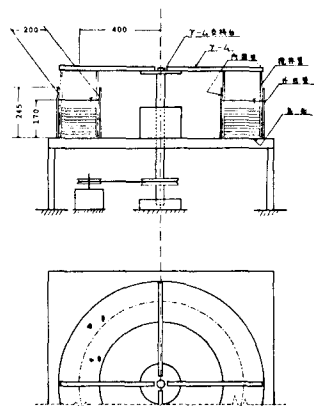


図-1 円形ブロック形成概

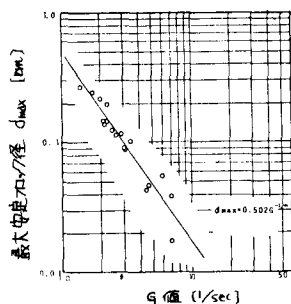


図-2 ε_0 値と最大安定ブロック径との関係

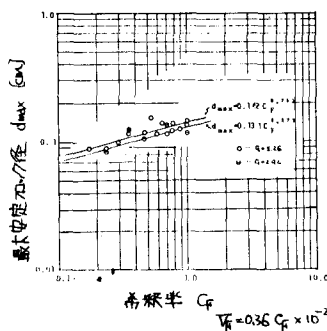


図-3 希疎率と最大安定ブロック径の関係

3) 実験装置および方法

本実験は図-1に示した円形フロック形成槽(容量85L)を用い、2種のフロックについて種々の流速攪拌速度およびフロック体積濃度における最大フロック径を写真撮影により求めた。なおフロック体積濃度は流速攪拌終了後上澄水で希釈して変化させた。

4) 実験結果および考察

図-2,3は濁度計リ士砂50ppm,硫酸バン土55ppm,アルギン酸ソーダ1ppm,NaOH約75ppmにて形成したフロックにおける結果である。これらの図よりつぎの関係式が得られる。

$$d_{max} = 2.4 V_F^{0.27} G^{-1.44} \quad [cm] \quad (G: G \text{ 値 } (1/sec)) \quad (6)$$

このように最大安定フロック径は形成槽内の平均的G値(あるいはエネルギー消散率)だけでなく、フロック体積濃度に依存する。これは形成槽内のエネルギー消散率の分布が均一でないためフロックが破砕速度(拍撃力)以上のカランダムに受けているためと考えられる。この場合の破砕速度は式(4), (5), (6)より次式のようになる。ただし m_3 を1としている。

$$P_b(u) = K_B u^{1.23} \Sigma_0^{3.17} \quad m_1 = 1.23, m_2 = 3.17 \quad (7)$$

実際の池のフロックと比較するため大津市柳ヶ崎浄水場に図-1の形成槽を設置し、前記の実験と同じ条件でのフロック形成を行なった。ただし、この場合浄水場の懸濁固相地からサイフォンで水を引き上げ、直ちに流速攪拌を行なった。なお当浄水場では通常、硫酸バン土約30ppm用いられ、アルカリ剤、凝集剤は用いられていない。実験結果を図4,5に示す。これらの図よりつぎの関係式が得られ、破砕速度が求められる。

$$d_{max} = 2.5 V_F^{0.17} G^{-0.98} \quad (8)$$

$$P_b(u) = K_B u^{1.92} \Sigma_0^{3.36} \quad (9)$$

式(7), (9)より破砕速度は $P_b(u) \propto K_B u^{1.23} \Sigma_0^{3.17}$ と表わせた。 Σ_0 に関する指数がほぼ同じである、たのはかはん条件が同じである、たためと考えられる。 Σ_0 の指数に差があるのは、フロックの性質が異なるため破砕抵抗力が異なるからと考えられる。フロックの有効密度を測定した結果を図-6,7に示す。これらの図より浄水場フロックの方がフロック径が大きくなるにつれ空隙率が高くなる。それにもかかわらず最大安定径が大きいのは結合強度が大きいためと思われる。

5) おわりに

最大安定フロックに及ぼす破砕速度の影響を解明することにより、前回は示し得た、Fフロック破砕速度に関する知見を得ることができた。今後、フロック破砕速度を定量化するためにはエネルギー消散率の空間分布を定量化する必要がある。

〈参考文献〉

- (1) 住友・宇治・平井; フロックの破砕に関する基礎的研究, 土木学会第32年次講演会要集(昭和54年)
- (2) 宇治; フロキュレータによるフロックの成長と破砕に関する研究, 京都大学修士学位论文(昭和54年)

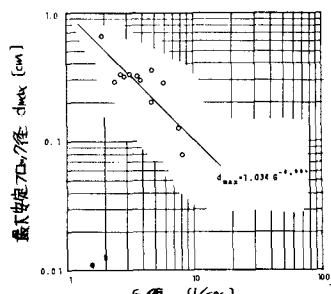
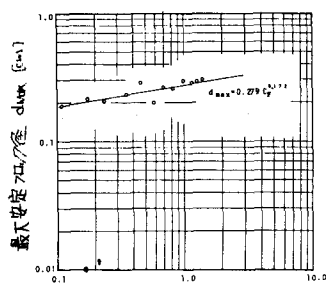


図-4 浄水場フロックにおけるG値と最大安定フロック径の関係



希釈率 Q_F $V_F = 0.58 Q_F \times 10^2$
図-5 浄水場フロックにおける
希釈率と最大安定フロック径の関係

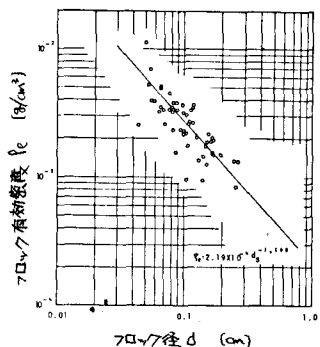


図-6 フロック有効密度

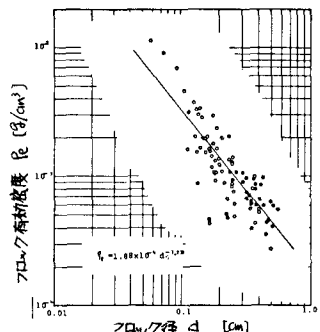


図-7 浄水場フロックの
フロック有効密度