

波による底泥の巻き上げ限界

徳島大学大学院 学生員○井上 洋
 徳島大学工学部 正 員 中野 晋
 静岡県庁 正 員 伊東 信幸

1. はじめに 漂砂問題の一つである波による底泥の舞い上がり現象は主として底泥表面に作用する波の最大せん断応力との関係で議論されることが多い。これに対し、底泥の舞い上がり機構と密接に関連する底泥運動や流動化はどちらかといえば底面摩擦力よりも底泥内部の応力に深く関係すると考えられる。そこで本研究では特に底泥内部の最大せん断応力を代表応力パラメータとして用い、底泥運動の発生と巻き上げ限界について検討した。

2. 実験方法と条件 実験は中央付近に底泥床部を設けた水路長16.8m, 幅0.49m, 高さ0.75mの片面ガラス張り迴流装置付2次元造波水槽を用いた。モデル底泥には所定の含水比に調節したカオリナイト(ASP600)を用いた。底泥運動の発生限界の実験では底泥床を長さ1.8mとし、その中央部分に波高計と超音波測深機(正豊工学, MT-EPI-2)を水路直角方向に並べて設置し、同位置の水位と底泥表面の変動を記録した。底泥層厚を3, 6, 9, 12cmの4種類, 水深は30と40cm, 含水比は110~136%, 周期は0.7, 0.8, 0.9, 1.0秒の計64の底泥・波浪条件で底泥運動の発生の有無を測定した。各条件ごとに波高を漸増させて完全に底泥運動が生じたと判断されるまで波高を増加させた。巻き上げ実験では底泥床を長さ5.0m, 厚さ0.155mとして用いた。また実験中は濃度分布が水槽内でできるだけ一様となるように底泥運動に影響を及ぼさない程度の断面平均流速5cm/sの順流を作用させた。浮遊底泥濃度SSは底泥中央部に設置したサイフォン採水装置により造波開始後5, 10, 20, 40, 60, 90, 120分に鉛直5断面(底泥床面上5, 10, 15, 20, 25cm)で採水することによって求めた。

3. 底泥内部の最大せん断応力 底泥内部の最大せん断応力分布 $\tau_m(z)$ は、多孔質弾性体を対象とした Yamamoto et al.¹⁾の理論から飽和土で層厚が ∞ の場合には

$$\tau_m(z) = P_0 k z \exp(-kz) \quad (1)$$

で表される。ここで P_0 は底泥床上での圧力振幅, k は波数である。この式で z が $1/k$ で τ_m は最大となる。これを層厚が有限で h_2 の場合にも近似的に適用する。この場合 h_2 が $1/k$ より小さい場合には底面で τ_m は最大となりこれを τ_{max} とすると次式のようになる。

$$\tau_{max} = P_0 k h_2 \exp(-k h_2) \quad (2)$$

4. 実験結果と考察

(1) 底泥運動の発生限界

底泥表面の上下運動(底泥波)は底泥層の流動化の結果生じると考えられる。そこで底泥が流動化する条件について底泥厚さ, 波高, 周期, 含水比を変化させて検討した。底泥運動の有無は超音波測深機による底泥波高測定と目視観測を併用して決定した。式(2)で計算される τ_{max} と回転粘度計で測定された²⁾降伏値 τ_y との比を無次元底泥層厚 $k h_2$ に対してプロットしたものを図-1に示す。図中で底泥の上下運動が超音波測深機と目視の両方で確認されたものは○, 全く生じなかったものは×, 部分的に水平運動が生じているが, 上下運動は生じていないものは△として区別した。この図より τ_{max}/τ_y が1以下では全く底泥運動が生じず, これが1~1.5程度で流動化が生じることがわかる。また $k h_2$ が大きくなるほど, 流動限界となる τ_{max}/τ_y は増加する傾向がみられるが, これは底泥層厚が大きくなると式(2)で計算される τ_{max} が過大

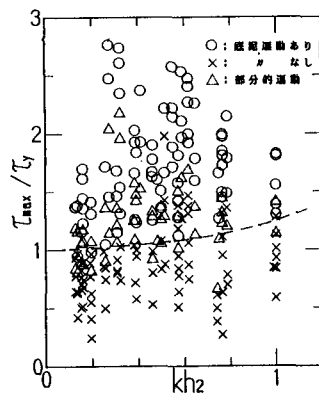


図-1 底泥運動の発生限界

になるためであると考えられる。よって底泥層の流動限界は概ね $\tau_{max}/\tau_y = 1$ で表されることがわかる。

(2) 底泥の巻き上げ限界

図-2に浮遊底泥濃度の時間変化の一例を示す。この図からわかるように迴流させているため濃度は鉛直にはほぼ一様となっている。この濃度分布から平均浮遊底泥濃度 C を求め、これに水路内総水量をかけた後、底泥床表面積で除して時刻 t までの底泥表面単位面積当りの飛び出し総量 P_t を求めた。 P_t の経時変化曲線の勾配から1つのケースの飛び出し率 P_s を求めた。図-3は飛び出し率 P_s と τ_{max}/τ_y との関係を表す。この図から P_s が0になる τ_{max}/τ_y を外挿して求め、巻き上げ限界 τ_{maxc}/τ_y を評価した。図-4はこの実験と同じカオリナイトを用いている楠田ら³⁾、鶴谷ら⁴⁾、三村ら⁵⁾の実験結果もまとめて含水比と巻き上げ限界の関係を示したものである。彼らの実験条件を表-1に示すが、底泥層厚 5.0~15.5cm, 周期 0.8~1.3秒, 断面平均流速 $U = -25 \sim 25$ cm/s とかなり異なる条件下でも巻き上げ限界がこの図で統一的に表示されることがわかる。つまり τ_{maxc}/τ_y は1.5以上で含水比が大きくなるとこの値も大きくなる。含水比が大きくなると流体的となるため、底泥内の応力場はより等方的となり、最大せん断応力は弾性体に比べると低下する。このことから τ_{maxc}/τ_y が含水比に伴って増加するのは τ_{max} が大きめに計算されているためであり、これも考慮して内部応力を計算すれば τ_{maxc}/τ_y は1.5程度になるものと推定される。

底泥の流動限界と巻き上げ限界の実験結果をあわせて考えると、含水比が100%以上の高含水比底泥の舞い上がりは底泥が流動化し、小さな底泥運動が発生した後、初めて生じると考えられる。したがって底泥の舞い上がり機構を考える上で底泥運動や内部応力の予測が重要であることが改めて認識された。

表-1 実験条件

	水深 h_1 cm	底泥厚 h_2 cm	流れ cm/sec	周期 T sec
楠田ら ³⁾	20	10	-25~25	0.8~1.2
鶴谷ら ⁴⁾	26.7	5	0	1.0~1.4
三村ら ⁵⁾	20, 30	10	0	0.87~1.3
本実験	30	15.5	5	1.0~1.2

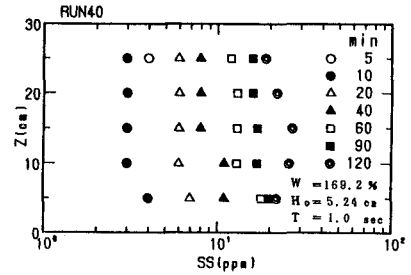


図-2 浮遊底泥濃度の時間変化

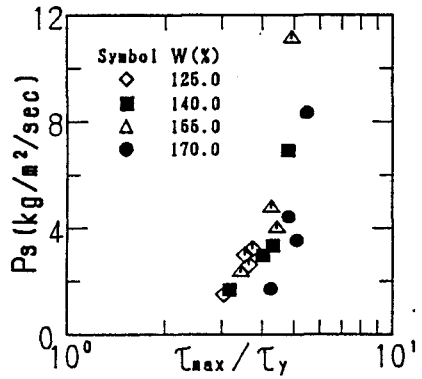


図-3 P_s と τ_{max}/τ_y との関係

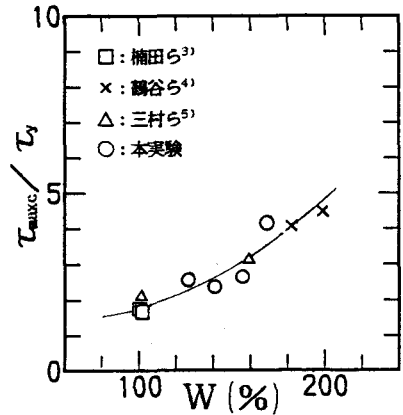


図-4 含水比と巻き上げ限界の関係

謝辞 本研究の一部は科学研究費（総合研究(A)，代表 京都大学 中川博次）の補助を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

1) Yamamoto et al.: J. F. M. 87-1, 193-206, 1978 2) 鶴谷ほか: 港研資料, 566, 1-29, 1986 3) 楠田ほか: 35回海講演集, 1988. 4) 鶴谷ほか: 35回海講演集, 357-361, 1988 5) 三村ほか: 海工論文集, 37, 230-234, 1990