

II-338 波浪による底泥の再浮上機構に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生員 川添正寿
九州大学工学部 正員 楠田哲也
九州大学工学部 正員 二渡了

1. はじめに

海域において浮遊・堆積する底泥は、波浪の作用により巻き上げ、あるいは移動などの現象を繰り返している。近年、沿岸域においてこのような底泥の挙動が水質汚濁の問題を引き起こし、また、工学的にも港湾泊地あるいは航路の埋没等の問題を引き起こしている。これらの問題の解決のために沿岸域における底泥の挙動を知ることは極めて重要であるが、従来これらに関する研究は余り行なわれていない¹⁾。このような目的のために、本研究は波の存在下での底泥の挙動を明らかにしようとしたものである。本報では、剪断応力と巻き上げに関する実験を行い、若干の知見を得たので以下に報告する。

2. 実験装置及び方法

実験は図-1に示すような全長14.0m、幅0.5m、深さ1.0mの亚克力製直線造波水路を用いて行なった。剪断応力の測定は図-2に示す装置を用いて行なった。本研究の応力測定用の移動板は47.0cm×5.0cm×0.05cmの塩基板であり、これをスプリング4本で支えている。この板より下の部分では流体が乱れを生

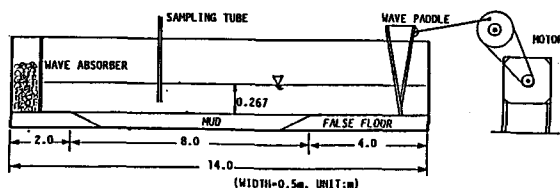


図-1

じないように箱型にして閉じた系とし、移動板と隣接した板の隙間を0.5mm以下に抑えている。またこの移動板と周りの高さは同一平面になるよう調整している。内部にはGAP SENSERを取付け、移動板と共に動く金属板との距離を検出できるようにしている。この装置を造波板から水路の約2/3の位置の水路床に埋め込み移動板の動きを応力として計る仕組になっている。実験は表-1の条件の下で行なった。SS測定のための採水は、RUN 1-1、1-2、1-3では水路底に4cm厚で8m泥を敷き詰めて底泥表面から5cm上の所、RUN2-1、2-2では5cm厚で8m泥を敷き詰めて底泥表面2cm上、水表面から5cm下の所でサイフォンにより行なっている。なお実験で使用した底泥は熊本港で採取したものである。

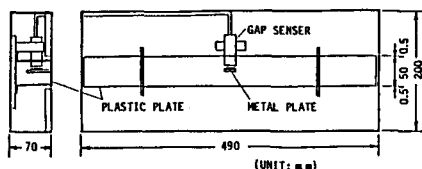


図-2

表-1

RUN No.	含水比ω(%)	間隔T(S)	波高H(cm)	水深h(cm)	
1-1	222	1.08	6.4	26.7	採水 (比置1.025)
1-2	222	0.88	6.5	26.7	
1-3	247	1.08	6.4	26.7	
2-1	152	1.08	6.2	20.0	採水
2-2	152	1.26	12.5	26.7	

3. 剪断応力の算定

3-1 実測による剪断応力τ

波動により底面に生じる剪断応力が、 $\tau = b \cos(\sigma t + \epsilon)$ で作用するものとする、剪断応力測定装置の移動板が、 $x = a \cos \sigma t$ で水平方向に移動するとき、この移動板の運動方程式は、

$$M \cdot d^2x/dt^2 + 2A \cdot f_v + kx = \tau A$$

で表される。ここに、 b :振幅、 σ :角速度、 ϵ :位相差、 t :時間、 M :移動板の質量、 k :移動板を支えるスプリングのバネ定数、 f_v :移動板単位面積当りの粘性による抵抗力、 A :移動板の面積、である。また f_v は、応力と移動板の運動間の位相差を考慮して、

$$f_v = \rho_w \nu^{1/2} \sigma^{3/2} \cdot (a \sigma) \cos(\sigma t + 3\pi/4)$$

で与えられる。これを解くと

$$bA/a = [\{(k - M\sigma^2) + 2A\rho_w\nu^{1/2}\sigma^{3/2}\cos 3\pi/4\}^2 + \{2A\rho_w\nu^{1/2}\sigma^{3/2}\sin 3\pi/4\}^2]^{1/2}$$

となり、数値を代入すると、 $M\sigma^2/k$ 、 $(2A\rho_w\nu^{1/2}\sigma^{1/2}\cos 3\pi/4)/k$ の値は 10^{-3} 程度でいずれも1に対して小さく無視できる。このことから、移動板の移動から求めた剪断応力を実験値の剪断応力 τ とした。

3-2理論計算による剪断応力 τ_b

層流境界層として取り扱うと、運動は理想流体としての微小振幅波理論による流れに、底面($z=-h$)での流速に相当する流速(符号は逆)をもつ粘性流を加えることにより、底面での水平流速を0として求める事ができる²⁾。このとき

$$u = a \sigma / \sinh kh \cdot [\cosh k(z+h) \cos(kx - \sigma t) - \exp\{-\beta(z+h)\} \cos\{kx - \sigma t + \beta(z+h)\}]$$

$$\beta = (\sigma/2\nu)^{1/2}$$

であり、 $\tau_b = -\mu \partial u / \partial z |_{z=-h}$

$$= -(\sqrt{2} \mu \beta \sigma a / \sinh kh) \cos(kx - \sigma t - \pi/4)$$

である。

以上より剪断応力を評価したものが表-2である。これによると実測値と理論値は1桁程度異なる。この差が測定装置自体に由来するのか、あるいは理論上の問題であるのかは現在検討中である。

4. 波浪による巻き上げ形態

本実験結果を図-3、4に示す。これらから巻き上げ量Eは時間tの関数となっていることが解る。時間の経過と共に増加した後一定になる傾向がある。また巻き上げ量Eは底質の含水比および底面での波動による剪断応力等の波動特性により異なる。ここでは、RUN1-1,1-2より、 τ の大きい方が、またRUN1-1,1-3より、含水比wの大きい方が巻き上げられることが解る。さらにRUN2-1,2-2より、巻き上げは底質の物性と波動による剪断応力の大きさだけによるものではなく、波動特性そのものにも大きく支配されると言える。具体的には剪断応力の周期性や波高の圧力変化に伴う上下振動の要因などである。図-5には初期巻き上げ速度と τ との関係、図-6には最終巻き上げ量と τ との関係を示す。

5. おわりに

巻き上げの形態は底質及び波動特性により異なる。波動による底泥の巻き上げの特性については未知の部分が多いため、本研究では巻き上げ形態の概略の把握にとどまっている。これまでのところ巻き上げは、時間、剪断応力、底質の物性、波動特性の関数であると言えるが、この詳細な関数形及び実験に際しての装置、方法、データ処理等については今後検討を続けていく予定である。

参考文献

1) Mehta, A. J. and P. Y. Maa: Waves Over Mud: Modeling Erosion, Proc. 3rd International Symp. on River Sedimentation, pp. 588-601, 1986.
 2) Lamb, H. L.: Hydrodynamics, 6th ed., pp. 625-628, 1932.

表-2

試験 No.	τ (N/m ²) [*]		τ_{max} (N/m ²)
	I	II	
1-1	1.83	1.07	0.322
1-2	3.82	2.44	0.318
1-3	1.83	1.07	0.322
2-1	5.82	3.88	0.830
2-2	5.82	3.81	0.861

* τ の算出方法

I: 往復的なゆ動を取りだし、それぞれ(Cosine)の1/4期の算術平均値を算出した。
 II: 空回りの時の速度からの変動分の面積を求め、それぞれの山の底辺の幅でわって求めた。

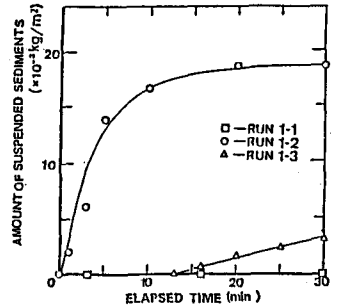


図-3

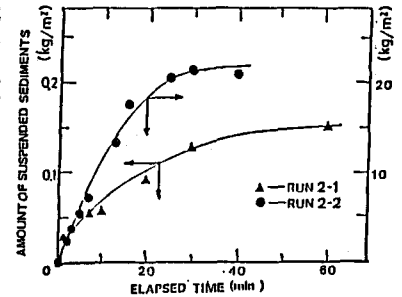


図-4

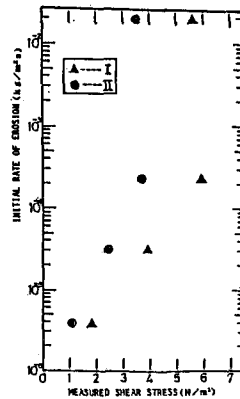


図-5

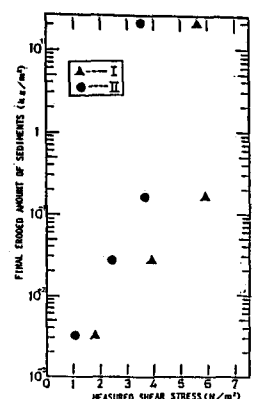


図-6