

波浪による底質の浮遊機構に関する研究

九州大学工学部 学生員○川添正寿

同上 正員 楠田哲也

同上 正員 栗谷陽一

同上 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おこし、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おこしている。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1.0

m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った。本研究の応力測定用の移動板は48.8cm×5.0cm×0.05cmの塩ビ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以下に抑えてある。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 SENSOR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みになっている。

SS測定のための採水は水路底に4cm厚で8m泥を敷き詰めて、底泥表面から5cm上の所でサイフォンを用いて行った。

実験は、①含水比 222% 周期 1.08s 波高 5cm、②含水比 222% 周期 0.865s 波高 7.5cm、③含水比 247% 周期 1.08s 波高 5cm、について、いずれも水深26.7cmで行った。実験で使用した底泥は熊本港で採取したものであり、実験は塩水(比重1.025)のもとで行った。

3. 実験結果及び考察

3-1 剪断応力 τ

波動により底面に生じる剪断応力が、

$$\tau = b \cos(\sigma t + \varepsilon) \quad (1)$$

ここに、 b : 振幅、 σ : 角速度、 ε : 位相差、 t : 時間、である。

剪断応力測定装置の移動板が、

$$x = a \cos \sigma t \quad (2)$$

で水平方向に移動するものとする。この移動板の運動方程式は、仮定①剪断応力を受けて板が運動する際、その移動量は小さいのでもとの剪断応力の大きさには影響を与えない、②現象は線形で解の重畳が可能である、③移

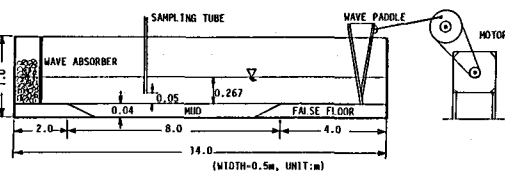


図-1 実験装置

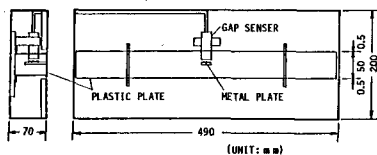


図-2 剪断応力測定装置

動板のエッジ効果は無視できる、④水深はStokes層厚より充分大きい、のもとで、

$$M \cdot d^2 x / d t^2 + 2 A \cdot f_v + k x = \tau A \quad (3)$$

ここに、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、

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

で与えられる。式1、2、4を式3に代入すると、

$$b A / a = [\{(k - M \sigma^2) + 2 A \rho_w \nu^{1/2} \sigma^{1/2} \cos 3\pi/4\}^2 + \{2 A \rho_w \nu^{1/2} \sigma^{1/2} \sin 3\pi/4\}^2]^{1/2} \quad (5)$$

となる。得られたデータ（図-3参照）より、式5の値を求めると、 $M=29.6\text{g}$ 、 $k=412\text{N/m}$ 、 $A=244\text{cm}^2$ 、 $\rho_w=1\text{t/m}^3$ 、 $\nu=0.001\text{Pa}\cdot\text{s}$ として、 $T=1.08\text{s}$ のとき、 $M\sigma^2/k=2.4\times 10^{-3}$ 、 $(2 A \rho_w \nu^{1/2} \sigma^{1/2} \cos 3\pi/4)/k=-3.7\times 10^{-2}$ 、 $T=0.86\text{s}$ のとき、 $M\sigma^2/k=3.8\times 10^{-2}$ 、 $(2 A \rho_w \nu^{1/2} \sigma^{1/2} \cos 3\pi/4)/k=-5.2\times 10^{-3}$ 、となる。このことは、移動板の移動から求めた剪断応力は作用した剪断応力とほとんど一致していることを示している。したがって実験値の剪断応力 τ は $T=1.08\text{sec}$ のとき、 $\pm 1.67\text{N/m}^2$ 、 $T=0.86\text{sec}$ のとき $\pm 4.43\text{N/m}^2$ を周期運動する。

3-2 巻き上げ実験結果

巻き上げの形態は、底泥の軟らかさにより異なる。底泥が硬い場合には、底泥面は剛床として働く。一方、底泥が軟らかい場合には、上層水と連成振動を生じる。また水路内にて、波を起こす場合、上層水の上部は波動とともに輸送され、逆に下部は造波板の方に戻ってくる傾向にある。このため底泥が巻き上げられるとき、本実験では上層水の下部8cm程度が濁る傾向にあった。

図-4に示すように、含水比222%の実験例では $T=1.08\text{s}$ の場合は採水地点での濃度変化はほとんどみられなかったのに対して、 $T=0.86\text{s}$ の場合かなり巻き上げられた。この巻き上げは実験開始後10分間で、ほとんど停止し、それ以降では、ほぼ濃度は一定となり、変化していない。このときの巻き上げ速度は実験初期において $E=0.037\text{Kg/s}\cdot\text{m}^2$ である。（底面から8cmまでを濁った層として計算を行っている。）このSS濃度差は剪断応力の違いによるものである。一方、含水比247%、 $T=1.08\text{s}$ の場合を見ると、含水比222%の場合と異なり巻き上げが見られた。実験中の観測によると含水比247%の底質の場合、波の周期と同一周期でしかも180度の位相差をもって上下に振動している。含水比222%では、それに比べると振動していなかった。この鉛直方向の振動をともなう場合の巻き上げは、マッドリップルを形成し、それが巻き上がるという過程とは異なる様相を示している。一方底泥が硬い場合にはそのまま底質が剝離されていく状態となっていた。このときの巻き上げ速度は実験初期において $E=0.0035\text{Kg/s}\cdot\text{m}^2$ である。これも前述のものと同じ様に底面上8cmの層として計算を行っている。

4. おわりに

波動下における巻き上げ実験では消波が完全でなく、波動は部分重複波の状態となり巻き上げが場所によって異なることや、採水深の問題がある。また、水路内の循環流の問題も含め今後検討を続けていく予定である。

参考文献 1)野田 英明：波による底泥の浮遊、第14回土木学会海岸講演会講演集、PP306~314、1967。

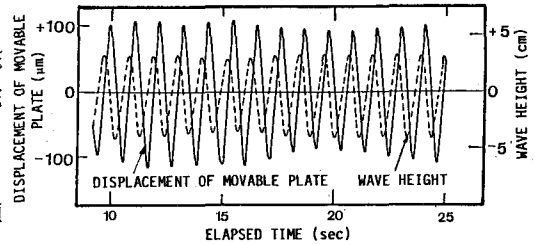


図-3 移動板の変位と波高

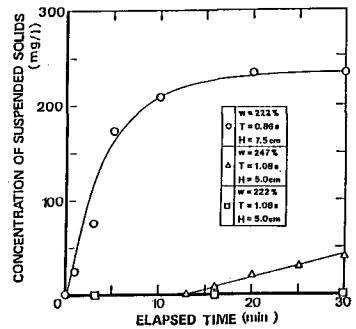


図-4 SS経時変化