

京都大学工学研究科	正会員	酒井哲郎
京都大学工学研究科	正会員	後藤仁志
京都大学工学研究科	学生員	原田英治
京都大学工学研究科	学生員	羽間義晃
京都大学工学部	学生員	○井元康文

1. はじめに

漂砂に影響を与える要因としては様々なものが考えられる。波動伝播により海底地盤内では過剰間隙水圧分布が発生することが知られているが、それに伴う海底床の液状化もその一つである。実際、津波の流下時に、地盤の液状化による多くの被害を指摘する研究も見られる。そこで本研究では、水圧変動を任意に制御して地盤内に間隙水圧を発生させた後漂砂量を測定し、水圧変動が漂砂量に及ぼす影響について検討した。さらに、個別要素法型の数値移動床を用いて実験で得られた漂砂量特性の再現を試みた。

2. 実験方法

図-1 に示す閉管路同時加減圧振動流装置を用いて実験を行った。この装置は、任意の水流と水圧変動を同時に制御可能である。また、水槽の中央部の地盤中に間隙水圧センサーを設置し、深さ 11cm までの間隙水圧を測定した。センサー付近の地盤面に堆砂箱（16cm×24.5cm×4cm）を設置し漂砂量を測定した。地盤材料として使用するのは、中央粒径 $d=0.25\text{mm}$ の砂（コニカル硅砂 6 号）である。

本研究では、水圧変動振幅の違いによる漂砂量の変化について基本的特性を確認するのが目的であるので、与える条件は一方向流一定流速場（そのため以下では sediment transport rate を流砂量と呼ぶ）で、水圧変動は図-2 に示すのこぎり波形の変動を与えた。現実の海底地盤が波浪の伝播により受ける圧力変動は、波浪が微小振幅波で与えられれば正弦波であるが、今回の実験では、一定圧力勾配（ $\delta P/\delta t = \text{const.}$ ）という条件の単純化のため、のこぎり水圧波形を採用した。与える一方向流速は、 $v=24.0, 26.5, 38.0\text{ cm/s}$ （ $\tau_* = 0.05, 0.061, 0.125$ ）の 3 ケースである。実験は、減圧周期 T_2 の違いによる急減圧勾配と緩減圧勾配の 2 ケースと水圧変動がないケースについて行った。

3. 実験結果および考察

本研究で着目したいのは、減圧期における流砂量の変化である。地盤表層付近が減圧されると地盤内では時間的遅れを伴いながら減圧されていく。この時、砂粒子の上部では下部に比べ間隙水圧が小さくなるので、揚力が作用する。砂の水流に対するせん断抵抗は、垂直応力に比例するので、見かけ上の重力が減少すると砂は動き易い状態になり、流砂量は増加すると考えられる。同様に、加圧期は流砂量が減少すると推察され

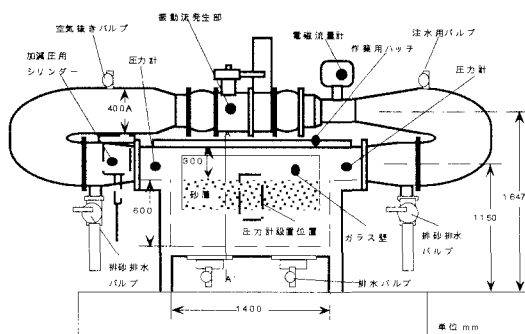


図-1 実験装置

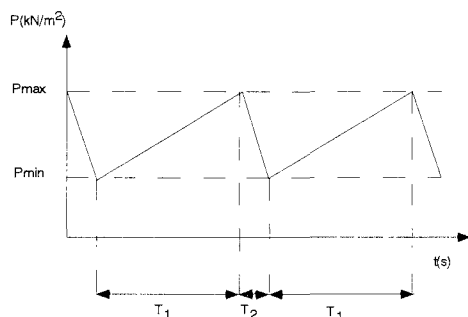


図-2 水圧変動波形

るが、本実験では、地盤内への水圧変動の時間的遅れが無視できるように加圧期を十分に長くして、加圧期の流砂量が水圧変動がない場合と同じと近似できるようにした。実験での減圧期の地盤表面付近の間隙水圧分布を図-3に示す。図中では、地表面からの距離を砂粒子径で規格化し、地表面との間隙水圧差を水圧の最大値で規格化した。減圧中は、位相遅れが生じることにより、地盤中の間隙水圧は地表面と比較して大きい値をとる。この時、各位相での水圧分布の勾配はほぼ等しく、減圧期を通じて一定の水圧分布が保持されていることが分かる。

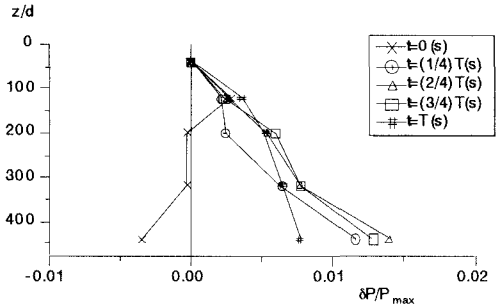


図-3 減圧時の間隙水圧分布

実験から求めた流砂量を無次元流砂量表示で図-4にまとめた。水圧変動を加えているケースは、減圧部分だけの流砂量を求めプロットしている。減圧期の流砂量計算には、次式を用いた。

$$q_B^{*-} = \left(1 + \frac{T_1}{T_2}\right) q_{Bm}^{*-} - \frac{T_1}{T_2} q_{Be}^{*-} \quad (1)$$

ここに、 q_B^{*-} ：減圧期の無次元流砂量、 q_{Bm}^{*-} ：実験での測定値より求められた加圧・減圧を区別しない無次元流砂量、 q_{Be}^{*-} ：水流のみによる無次元流砂量である。まず移動限界付近である $\tau_* = 0.05$ のケースに着目する。水圧変動を与えると流砂量が増加したことが分かる。また、減圧勾配が増加すると間隙水圧差が大きくなり、それに伴う付加的揚力も増大し、流砂量の増加に繋がると考えられる。次に、 $\tau_* = 0.061$ のケースに着目する。水圧変動がないケース、緩減圧勾配と急減圧勾配のケースの流砂量の大小関係は保存されているが、同レベルの圧力勾配を有するにもかかわらず、各ケースの差はやや縮まる。しかし、このレンジの流速では水圧変動による効果は未だ顕著である。次に $\tau_* = 0.125$ のケースに着目する。このケースでは、水圧変動を与えた場合の実験のみ行ったが、圧力勾配による流砂量の差は明らかに小さくなった。このことより流速が大きくなってくると、水圧変動による影響が見かけ上小さくなるといえる。これは、流砂量の絶対値が大きくなると水圧変動に伴う付加的揚力の影響が相対的には無視できるようになり、流砂量が水圧変動に依存しなくなることが関係していると考えられる。

実験で測定した流砂量の特性を粒子間相互作用が表現可能な個別要素法型の数値移動床を用いて再現した。図-5は減圧が緩勾配のケースを除いた実験値の無次元流砂量図に計算値をプロットしたものである。実験値同様、水圧変動を与えた場合の無次元流砂量は水流のみによるものと比較し大きい値を示している。また、水圧変動による流砂量の増加は、流速が移動限界付近では顕著に現れているが流速が大きくなるとその値は小さくなるのが分かる。

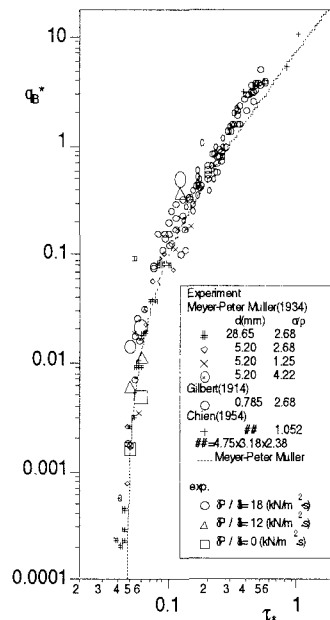


図-4 無次元流砂量図 (実験値)

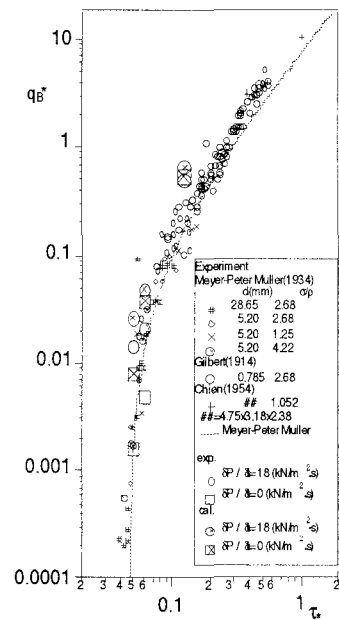


図-5 無次元流砂量図 (実験と計算の比較)