

1. はしがき 著者は以前に2つの無次元量 $u_*^2/4\beta_s \cdot g \cdot d$ と $I/[4\beta_s \cdot \frac{d}{B}]^{\frac{1}{2}}$ を用いて移動床構成物質として砂を使用した実験の資料に基づいて砂礫堆を含む移動床形態の形成領域を区分し、砂礫堆の形成条件を求めた¹⁾ (u_* は摩擦速度, $4\beta_s \cdot d$ はそれぞれ移動床構成物質の水中比重および粒径, g は重力の加速度, I は勾配, B は水路幅である)。その後、砂より比重の軽い物質を使用した実験の資料を用いて砂礫堆の形成条件を検討しようとしたところ、比重の測定が実験時の状態について行なわれたのか、空気を追出して行なわれたのか判断がしなかつたり、静止摩擦係数の記述がなされていながつたりして十分な検討を行なうことができなかった。そこで、移動床構成物質の比重と静止摩擦係数の影響を表示する量として移動限界摩擦速度を用いるように以前の移動床形態の区分法を修正した。

2. 砂礫堆を含む移動床形態の形成領域の区分 砂礫堆は移動床形態のひとつであるので、砂礫堆の形成条件は移動床形態の形成領域を区分することによって得られると考え、砂礫堆を含む移動床形態の区分図を求めることを試みた。移動床形態の区分に関しては砂礫堆を含まない、いわゆる2次元の移動床形態の区分図が Garde-Albertson²⁾ [$u_*^2/4\beta_s \cdot g \cdot d - Fr$], 杉尾³⁾ [$u_*^2/4\beta_s \cdot g \cdot d - I$], Garde-Raju⁴⁾ [$I/4\beta_s - R/d$] などによって提案されている (Fr はフルード数, R は径深である)。砂礫堆の形成に関する木下⁵⁾や著者らの実験資料をこれらの区分図にプロットすると、transition や antidunes の領域にプロットされ、砂礫堆独自の形成領域としては区分されない。幅13.2 cmの水路で粒径1.24 mmの砂を使用して行なわれた木下の実験⁵⁾によると、砂礫堆はフルード数が1.0以上、勾配が1/70以上でなければ形成されないが、幅3 ftの水路で粒径0.8 mmの砂を使用して行なわれた Chang⁶⁾らの実験ではフルード数が0.64、勾配が1/670程度でも砂礫堆が形成されており、実際河川ではフルード数が0.3~0.4、勾配が数千分の1の場合にも砂礫堆が形成されることが考えられる。従来の移動床形態の区分法では、フルード数や勾配の値によって移動床形態の形成領域が区分されているので、砂礫堆の形成に関するこのような性質を説明することができない。これは従来の移動床形態の区分法では、大きさの異なる2つの移動床水路を幾何学的に相似な模型と原型の関係にあると考え、次元解析を行ない、無次元量を導いているためであり、移動床水路の場合には Reynolds や Engels によって指摘されているように、また移動床模型実験でしばしば歪模型が採用されているように、同一の移動床形態をもつ大きさの異なる2つの移動床水路は縮尺が歪められた模型と原型の関係にあると考えるのがよいと思われる。

移動床形態の形成に関する実験資料を整理すると、移動床形態の形成領域は掃流力を表示する量と流れの状態を表示する量とによって区分されるものと考えられる。以前に発表した論文¹⁾では、掃流力を表示する量として $u_*^2/4\beta_s \cdot g \cdot d$ を用いたが、ここでははしがきで述べた理由により u_*^2/u_{*c}^2 を用いることにする (u_{*c} は移動限界摩擦速度である)。流れの状態を表示する量としては勾配を用いることにし、同一の移動床形態をもつ大きさの異なる2つの移動床水路が縮尺が歪められた模型と原型の関係にあると考える場合の勾配に関する無次元量を求める。移動床の歪模型の相似則のひとつとして u_*^2/u_{*c}^2 の値を模型と原型とで等しくすることが考えられる。すなわち、

$$\frac{\frac{U_{*m}^2}{U_{*cm}^2}}{\frac{U_{*p}^2}{U_{*cp}^2}} = \frac{f_m}{f_p} \frac{I_m}{I_p} \frac{U_{*cp}^2}{U_{*cm}^2} = \frac{\chi}{y^2} \frac{U_{*cp}^2}{U_{*cm}^2} = 1 \quad \therefore y = \frac{U_{*cp}}{U_{*cm}} \chi^{\frac{1}{2}}$$

したがって、

$$\frac{I_m}{I_p} = \frac{\chi}{y} = \frac{U_{*cm}}{U_{*cp}} \chi^{\frac{1}{2}} = \frac{U_{*cm}}{U_{*cp}} \left(\frac{B_p}{B_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \therefore I_* = \frac{\sqrt{gB}}{U_{*c}} I$$

ここで、水平縮尺を1:χ、鉛直縮尺を1:yとし、添字p, mはそれぞれ原型および模型における量を表わし、χ=B_p/B_mとした。このようにして導かれた勾配に関する無次元量I_{*}と掃流力に関する無次元量U_{*}²/U_{*c}²の関係によって移動床形態の形成領域の区分を行ない、図-1を得た。図-1にプロットするのに使用した実験データはGilbert⁷⁾, Guy⁸⁾ら、木下⁵⁾および井口・鮎川・吉野によるものである。また、Garde・Rajuの区分法にしたがい勾配と径深の関係によって移動床形態の区分を行なうと、図-2に示すような区分図が得られた。図-1および図-2に示した区分図にアンバーライト(鮎川:φ_S=0.51, d=0.67mm), ナサライト(鳳間:φ_S=1.01~1.17, d=1.73~0.76mm)を用いた実験の資料をプロットしたところ、ほぼ満足すべき結果が得られた。なお、図-1および図-2にプロットするさいにU_{*c}としては砂の場合は岩垣公式による値を用い、砂以外の物質の場合には実験により求めた値を用いたが、砂以外の物質の場合も比重として真比重を用いると岩垣公式により実験結果とほぼ一致する値が求められることが認められた。

3. 砂礫堆の形成条件 砂礫堆は図-1によると掃流力が小さい場合に形成され、図-2によると径深(水深)が小さい場合に形成されることがわかる。砂礫堆の形成条件は図-1あるいは図-2から求められ、次式で与えられる。

$$\frac{R}{B} \leq 5 \left[\frac{U_{*c}^2}{gB} \right]^{\frac{2}{3}} I^{-\frac{1}{3}}$$

この式によると、砂礫堆は径深(水深)と水路幅の比が小さいときに形成されることがわかる。

- 1) 井口・鮎川: 水回水理講演会講演集, 1967.
- 2) Garde-Albertson: Proc. IAHR, Montreal, Vol. 4, 1959.
- 3) 杉尾: 土木学会論文集, 第71号, 1960.
- 4) Garde-Raju: Proc. ASCE, Vol. 89, No. HY6, Nov., 1963.
- 5) 木下: 科学技術庁資源局資料第36号, 1962.
- 6) Chang et al.: Proc. ASCE, Vol. 97, No. WW1, Feb., 1971.
- 7) Gilbert: U.S. Geological Survey, Prof. Paper 86, 1914.
- 8) Guy et al.: U.S. Geological Survey, Prof. Paper 462-I, 1966.
- 9) 鳳間: 東京大学工学部土木工学科卒業論文, 1968.

