

大阪大学工学部 正員 出口一郎

大阪大学工学部 正員 榎本 亨

1. はじめに：漂砂問題はその現象を支配する法則がまだ十分に確立されておらず、さらに与えられる初期及び境界条件も複雑であり従って解析的な解を得ることは一般には不可能である。そこで従来、このような現象の解析は移動床水理模型実験によって行なわれていたわけであるが、このような模型実験を行なうにあたって最も重要なことは、いうまでもなく模型と実物の間の力学的な相似関係を確立することである。しかしながら従来行なわれている移動床模型実験においてはその相似性を保証するために現地における平衡海浜断面形状が模型においても再現できるように外力としての波浪特性、底質特性あるいは模型の幾何学的な縮尺（歪みも含む）といったものを経験的あるいは試行錯誤で決定しているわけであるが、このような考え方ではある平衡状態の海浜地形に構造物が設置された場合、その構造物による海浜地形が、ない場合の海浜平衡断面に対して、経験的あるいは試行錯誤的に決定された波浪特性に対して、十分相似性を満足しているかどうかということについては極めて疑問がある。さらに上述のような平衡海浜断面形状を相似させる方法で決定された相似則においては地形変化の時間縮尺については不明となり、一つの波浪特性に対する定性的な侵食、堆積ヶ所の論議におわってしまう場合が多い。本研究は波浪によって決定される底質の移動特性として移動限界水深をとり上げ、これを模型と現地で相似させることによって底質特性の相似則を決定し、ついで漂砂の連続方程式の相似から模型で使用するべき底質の縮尺及び地形変化の時間縮尺を一意的に決定する相似則を導き、簡単な模型実験でその検証を行なった結果について報告するものである。

2. 相似則の誘導について：移動床模型実験においては正確に再現された外力としての波浪による漂砂現象の忠実な再現が必要なのであるが、一般にはいそ波帯から碎波点よりも沖側までの swash movement をも含めた沿岸漂砂及びたて漂砂を完全に再現することは不可能であり、したがって次元解析によって、現象を支配する水理量を相似させたり（たとえば Yaline, Bijker, Mehaute, Mogridge ら）あるいは底質の沈降速度を相似させることによって底質の縮尺を決定する目安としているわけである。しかし Mehaute らの相似則においては先述のように模型において現地の平衡状態にある地形が再現できるような幾何学的な歪を模型に与えなければならぬ。また E. K. Noda らが多数の実験結果から求めた相似則も、Mehaute と同様平衡断面のような二次元実験には適用できても波浪の回折現象等を含む三次元実験を相似せうするかどうかなという検証は行なわれていない。一方野田は港湾埋設に関する模型実験において底質の沈降速度の相似から底質の縮尺を求めた良好な結果を得ているが明らかに浮遊砂が卓越していると考えられる現象以外にこの考え方を適用することに対しては問題があるとと思われる。そこで著者は固定床予備実験において平面的な波浪変形に対する相似条件を明らかにした後、その波浪による底質の移動特性を代表する量として移動限界水深をとり上げ、その相似から相似則を導いた。なお相似則を導く際に対象として考えた移動限界の表示式は既存の代表的な4つの式を用いたが、それぞれの式から求められた底質の縮尺

Method of Derivation	Basic Relation
similitude of h_i h_i by Horikawa Watanabe	$\Omega d \cdot \Omega_0^{2/3} = \mu$
by Ishihara Sawaragi	$\Omega d \cdot \Omega_0^{3/2} = \mu$
by Sato Tanaka	$\Omega d \cdot \Omega_0^2 = \mu$
by Komar	$\Omega d \cdot \Omega_0^{4/3} = \mu$
Yaline (1963) dimensional analysis	$\Omega_0^3 \cdot \Omega_0^* = 1$ $\Omega d = \lambda^{1/2} \cdot \mu^{3/4}$
Mehaute (1970) similitude of F_s and R_s	$\Omega_0^* \cdot \Omega_0^3 = 1$ $\Omega_0^* = \lambda^{3/4} \cdot \mu^{3/4}$ Ω : equilibrium beach profile

 μ, λ : 鉛直・水平縮尺 Ω : 縮尺, d : 粒径, Ω^* : 水中比重 t_0 : 地形変化の時間

表-1

Qz	h_i	Time Scale
Iwagaki Sawaragi	Horikawa Watanabe	$\Omega t_0 = \lambda^{3/2} \cdot \mu^{1/2} \cdot \Omega_0^{3/4}$
	Ishihara Sawaragi	$\Omega t_0 = \lambda^{3/2} \cdot \mu^{1/2}$
	Sato Tanaka	$\Omega t_0 = \lambda^{3/2} \cdot \mu^{1/2} \cdot \Omega_0^*$
	Komar	$\Omega t_0 = \lambda^{3/2} \cdot \mu^{1/2} \cdot \Omega_0^{5/4}$
Savage		$\Omega t_0 = \lambda^{3/2} \cdot \mu^{3/2}$

表-2

を、参考のため先述の Yaline らによって導かれた関係式と比較して表-1に、また岩垣・榎本及び Savage の漂砂量公式と上述の底質総尺との組み合わせで求めた地形変化の時間総尺を表-2に示す。表-1より明らかのように用いる移動境界の表示式によって決定される底質の総尺が異なるのは、それぞれの式が誘導された過程が異なることから当然の結果であるが、模型において現地との同一の比重をもつ底質を用いる場合その粒径は鉛直総尺で縮小しなければならず、模型の総尺によっては模型において使用すべき底質が小さくなりすぎるといった問題が生ずるためできるだけ $n_{\phi} < 1$ となるような底質を選ばなければならない。また表-2より明らかのように底質の特性が考慮されない Savage 型の漂砂量公式からは底質特性に無関係に地形変化の時間総尺が決定される。

3. 模型実験について：2.において移動境界水深を相似させることから底質の総尺に対する相似則を導いたがその考え方では地形変化の起点となる点は現地と模型で相似されてはいるが、移動境界以浅の地形が相似されるかどうかといった点に関してはなんら保証はされていない。そういった点を検証するために以下に示す簡単なモデルを用い移動床実験を行なった。Proto-type として考えたモデルは $1/40$ の一様勾配、水深 6 cm の位置に設置された長さ 100 cm の離岸堤に 60° の角度をなして $H_0 = 2.0\text{ cm}$ 、 $H_0/L_0 = 0.02$ の波が入射した場合に生ずる離岸堤背後の地形変化であり model-type としては $\mu = \lambda = 1/2$ の総尺のものを対象とした。Proto-type の底質は $\sigma' = 0.56$ 、 $d_{50} = 0.4\text{ mm}$ のコークスを用い、model-type においても同じ比重の底質を用いるとその粒径は $d_{50} = 0.2\text{ mm}$ となる。なお予備実験において上述の底質として用いたコークスの漂砂量は Savage 型の漂砂量公式で表わされること、及び移動境界水深は突出粒子に近い状態における実験で石原・榎本の式で表わされることが明らかになったので地形変化に対する時間総尺は表-2より $n_{ts} = \lambda^2 \mu^{1/2}$ として決定している。

以上の実験で得られた Proto-type 及びその $1/2$ の model-type における図-1に示す各測線における造波時間 Proto-type で40分、model-type で28.3分後の地形断面を図-2に示す。これらの図から明らかのように、漂砂の下手側測線1, 2及び上手側測線4, 5においては、離岸堤中央を通る測線3と比較して汀線の前進量及び h/H_0 が2.5以浅の地形変化はその他の領域における地形変動と比較して比較的一致している。

この測線3は離岸堤による回折波領域にあたり、model-type における実験波の周期が 0.566 sec と小さいため波浪の回折現象に総尺効果が生じたため Proto-type と model-type の地形が大きく異なったものと考えられる。さらに $h/H_0 = 2.5$ 以浅の領域においては比較的相似されている Proto-type と model-type の地形が $h/H_0 = 2.5$ 以深で異なっているのは時間総尺を決定する際に用いた Savage 型の漂砂量公式が水深の浅い漂砂移動の激しい領域を対象としているため $h/H_0 = 2.5$ 以深の時間総尺が異なってくるためではないかと考えられ、さらに、modelの作用時間を継続すると汀線と直角方向の砂移動によって岸側の砂が沖の方に移動するのではないかと推定される。

以上、地形変動相似に対しては波の作用時間がきわめて大きな要素となるが今後さらに実験を継続して移動床の相似則の確立をはかりたい所存である。

