

大阪大学工学部 正員 榎木 亨

大阪大学工学部 正員 出口一郎

1. まえがき：波による移動床模型実験に関しては、種々の特性をもちさまざまな方向から来襲する波浪によって生ずる海岸地形を、一つの波浪で再現することの問題点。あるいは模型において使用するべき底質の選定方法等の種々の問題点が指摘されている。そして現地地形を模型において再現するにあたっての相似率の不確かさから水理実験では現地の諸条件を十分再現しえないとして最近では数値モデルによる地形変動の予測法が開発されつつある。しかしながらこれらの数値モデルは単純化された地形変動モデルにおいてのみ解明が得られているのが現状であって、まさに移動床模型実験によって解明されるべき現象は数多く残されている。本研究は模型底質として現地海岸よりも比重の軽い底質材料を用いた場合に問題となる浮遊砂の影響を考慮して底質の網尺に対する相似則を導き、その結果に基づいて行なった実験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：従来移動床模型実験を行なう場合は、その相似性を保つ手法として以下の諸方法がとられてきた。すなわち、(1)現地地形の再現性を試行錯誤的に求めてその相似則を求める。この場合地形変動の特徴的なものとして沿岸砂洲の発生、汀線の前進、後退といった現象をとらえ、それが再現できるように模型の歪の有無、底質の軽量化をはかっている。しかしながらこの場合現地地形がいかなる代表波によって形成されるかについては全くふれられておらず、模型波の選定に苦しむ場合が多い。(2)漂砂量の相似：著者の一人は沿岸漂砂量と漂砂の連続方程式より底質粒径、底質比重と模型網尺の関係を求めているが、この場合地形変動の時間網尺は波の時間網尺と一致するという仮定を用いている。(3)移動限界水深の相似：著者は昨年の本講演会で移動限界水深の相似に基づき、 $n_d \cdot n_{\rho_s}^3 = \mu$ (ここに n は添字の物理量の網尺を示し、 d は粒径、 ρ_s は底質の水中比重、 μ は鉛直網尺)という関係を求めた。しかしこの相似則が漂砂移動の激しい砕波帯内の地形変化を相似せしめうるかどうかは極めて疑問視される。このように従来の相似則においては漂砂の移動形態の相似が全く考慮されていない。例えば(2)の相似則から底質の粒径 d と比重が決定されても、その底質の軽量化の結果漂砂の移動形態が異なってくるのが予想される。ここでいう漂砂の移動形態の差異とは掃流か浮遊かということである。しかし現在のところ全漂砂量中どの程度の割合で掃流漂砂と浮遊漂砂が存在するかは明らかでない。そこで今回は浮遊現象の限界を考えてそれを上述の相似則に加味して新しい相似則の誘導に努めた。

一般に定常流においては底質の沈降速度 w_0 と底部摩擦速度 u_{b*} の比 w_0/u_{b*} によって底質の浮遊砂濃度あるいは浮遊砂量が決定され、さらに移動形式についても w_0/u_{b*} によって分類されることはよく知られている。波動による底質移動に対しても上述の関係が成立するものとする。浮遊砂を相似させるためには現地と模型における w_0/u_{b*} が等しくなるように底質の網尺を決定してやればよい。沈降速度についてはYalinらによって詳細な研究が行なわれておりその結果は以下のように近似される。

$$\begin{aligned} \gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2 \leq 10^3 \text{ に対して} & \quad w_0 d / \nu = c_1 (\gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2)^{0.95} & (1) - a \\ 10^3 \leq \gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2 \leq 5 \times 10^4 \text{ に対して} & \quad w_0 d / \nu = c_2 (\gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2)^{0.65} & (1) - b \\ 5 \times 10^4 \leq \gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2 & \quad \text{に対して} & \quad w_0 d / \nu = c_3 (\gamma_s \cdot d^3 \cdot g / \gamma \cdot \nu^2)^{0.52} & (1) - c \end{aligned}$$

ここに γ : 水の比重 ν : 水の動粘性係数 c_1, c_2, c_3 : 比例定数である。

一方、波動による底部摩擦速度の網尺についてはMéhauté, Mogeridge, あるいは著者らが導いた関係 $n_{u_b} = \mu^{1/2}$ を用いることにすると(1)式の模型と現地の網尺をとり $n(w_0/u_{b*}) = 1$ という関係より底質の網尺は(1)-a~(1)-cに対応してそれぞれの領域において(3)式a~cのように決定される。

$$n_{\gamma_s}^{0.95} \cdot n_d^{1.85} = \mu^{1/2} \dots (3) - a, \quad n_{\gamma_s}^{0.65} \cdot n_d^{0.95} = \mu^{1/2} \dots (3) - b, \quad n_{\gamma_s}^{0.52} \cdot n_d^{0.56} = \mu^{1/2} \dots (3) - c$$

この(3)式と着者が昨年求めた相似則 $nd \cdot nr_s^3 = \mu$ (4) とを組み合わせると、底質粒径及び比重は2つの方程式から一義的に決定することができる。

3. 相似則に対する実験的検討：2. で導いた相似則に基づき、波浪による円柱周辺の地形変動について実験的な検討を行なった。すでに着者らは波動による円柱周辺の最大沈掘深さ Δh_m は、一律流中におかれた円柱周辺の局部流場とは異なり円柱レイノルズ数には無関係で、波動による底部水粒子速度を用いた K-C 数 ($U_b T / D$) の増大に伴って $2.7 \times 10^3 \leq U_b T / D \leq 2.0 \times 10^4$ 、 $1.54 \leq U_b T / D \leq 11.6$ の範囲では単調に増加することを明らかにした。¹⁾ 従って外力としての波浪は Froude 則によって縮尺する。実験は実物として底質に $\gamma_s = 1.6$ 、 $d_{50} = 0.4 \text{ mm}$ の川砂を用い、模型としては $\gamma_s = 0.8$ 、 $d_{50} = 0.57 \text{ mm}$ のコークスを用いて行な

った。この場合の沈降速度は (1)-b 式で表わされることから (3)-b 式よりその幾何学的縮尺は $\mu = 1/25$ と決定される。また実験ケースは表-1に示す5種類の K-C 数に対し計 22 ケースである。実験は長さ 30 m、巾 0.6 m、高さ 0.9 m の片面ガラス張り鋼製造波水槽の中央部に長さ 2 m にわたり厚さ 10 cm の移動床を設けその中央に円柱を設置して行な

った。実験で得られた実物と模型の円柱周辺の地形変化の比較の一例を図-1に示す。尚、図-1に示す地形変化は実物、模型とも約 2000 波造浪後の地形を示し、模型については先に述べた縮尺に基づき水平・鉛直とも 125 倍した地形を示してある。この図から明らかになるように最大沈掘深さを生ずる位置は実物と模型で若干異なっているが円柱周辺の地形変動の様子はほぼ一致している。また表-1に示すすべてのケースについて生じた最大沈掘深さ Δh_m を円柱径で無次元化した $\Delta h_m / D$ と K-C 数の関係を図-2に示す。この図から明らかなように実物の無次元化最大沈掘深の方がやや小さい値を示しているが、模型と実物の $\Delta h_m / D$ はほぼ一致し、今回着者が導いた相似則の妥当性がうかがえる。なお K-C 数が 11.6 の case No. 10, 11 の2つの場合に模型と実物の、 $\Delta h_m / D$ に大きな差異が現れているのは、この場合の実験波の

周期が2秒近くで波長が長いため反射波をうまく消波することができず重複波が生じ、そのため円柱周辺の移動床が約 4 mm 程度堆積したためと考えられる。上記実験においては底質の粒径、比重から幾何学的縮尺を決定したが、先に述べた底質の移動限界水深より求めた相似則 (4) 式と (3) 式を用いると、たとえば模型と現地における底質の沈降速度が (1)-b 式で表わされると仮定した場合 $\mu = 1/50$ の幾何学的縮尺に対する底質特性の縮尺は $nd = 1/4.53$ 、 $nr_s = 1/2.23$ と一義的に決定されることを付記しておくたい。

参考文献

- 1) 根本・出口：波動による円柱周辺の局所流場に関する実験、昭和54年度関西支部年講 II-76

Case No.	proto type			model type			UT/D
	D	H	T	D	H	T	
1	6.0	5.14	1.21	4.8	4.11	1.08	2.89
2	4.8	4.11	1.08	3.8	3.26	0.96	
3	6.0	9.00	1.40	4.8	7.20	1.25	4.11
4	4.8	7.20	1.25	3.8	5.70	1.11	
5	3.8	5.70	1.11	3.0	4.50	0.99	
6	4.8	8.00	1.70	3.8	6.33	1.51	6.65
7	3.8	6.33	1.51	3.0	5.00	1.34	
8	3.8	8.14	1.90	3.0	6.43	1.69	9.82
9	3.0	6.43	1.69	2.4	5.14	1.51	
10	3.8	8.14	2.09	3.0	6.43	1.86	11.1
11	3.0	6.43	1.86	2.4	5.14	1.66	

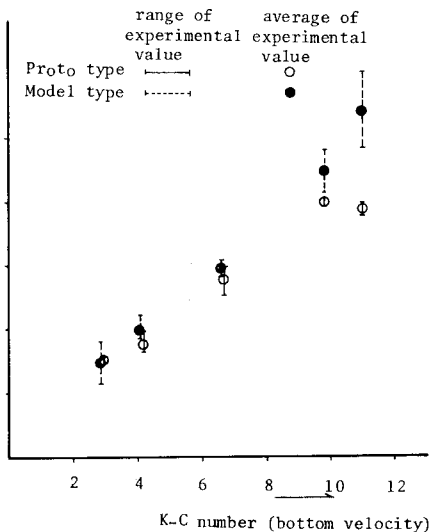
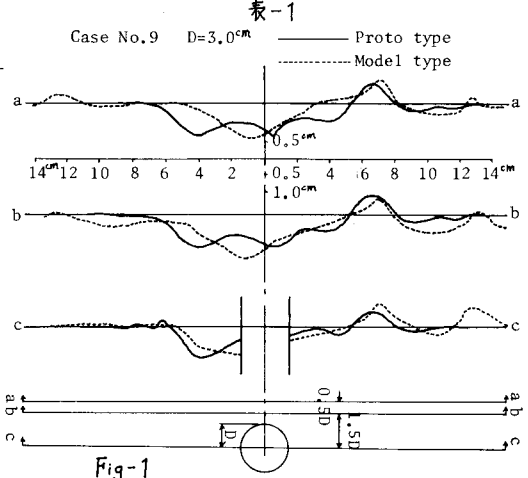


Fig-2