

不規則波によって形成される砂漣形状について

大阪大学工学部 正会員 榎木 亨

大阪大学工学部 正会員 出口一郎

大阪大学大学院 学会員 ○金 圭漢

1. まえがき： 現地で生ずる漂砂現象を実験室で再現する時及び実験室で得られた結果を現地の漂砂移動に適用をする時には相似則が必要となる。外力（流体運動）は通常 Froude則で縮尺される。しかし底質は一般にはFroude則では縮尺することは難しい。この底質の縮尺についてはすでに多くの研究が行われている。しかし、まだ普遍的な相似則は確立されるに至っていない。底質の縮尺を考える上での問題点の一つとして、現地と実験室での砂漣スケールの差異があげられる。砂漣発生の結果浮遊砂濃度、Sheet flowの発生限界（砂漣の消滅限界）等にも縮尺効果が生ずるものと思われる。この砂漣のスケールの差異が生ずる原因としては 1) 現地不規則波で生ずる砂漣を実験室の規則波で再現すること、2) 底質粒径の相対的な大きさ（例えば d_o/D , d_o : 底部水粒子軌道振幅, D : 底質粒径）あるいは砂粒レイノルズ数の差異、3) 現地では種々の履歴効果を経て形成される砂漣を、実験室で Flat bedから直接再現すること、（これをRelict Rippleの影響と呼ぶ）等が挙げられる。考えられる。これらのうち、砂漣に及ぼす 1) 及び 2) の d_o/D の影響については佐藤ら、2) のレイノルズ数の効果については榎山らがすでに詳細な実験的な検討を行っているが、佐藤らの実験は不規則振動流発生装置を用いたものである。本研究は、振動流ではなく不規則波を用いて2次元移動床実験を行い、そこで発生する砂漣形状に対して現地で発生する砂漣の形状との差異について検討する事を目的としている。

2. 実験の概要： 実験は2次元造波水槽内に約 3Mに渡り厚さ10CMの砂床部（底質粒径 $D=0.012\text{CM}$ ）を設置し、不規則波を作用せしめた。造波発生装置に入力する不規則信号は Bretschneider-光易型のスペクトルを用いた。不規則波の作用により発達する砂床部の地形変化が定常に達した時点で波の作用を中止し、形成された地形変化は連続式砂面測定器を用いて波方向に2測線上で計測を行った。その結果得られた砂漣の波長、砂漣波高は波別解析法によって求めると同時に波数スペクトルの計算を行った。

3. 砂漣形状について

①砂漣の波長；砂漣の波長と底部における水粒子振幅の比 λ/d_o については底質粒径のスケールを d_o/D という形で考慮し、シルズ数は粒径のみで評価した佐藤らと同じ整理をしてみると図. 1 のようになる。ここでの横軸で用いたシルズ数は次のようである。

$$\phi = \frac{f_w U_b^2}{2\sigma_s g D} \quad (1)$$

$$f_w = \exp(5.21(d_o/ks)^{0.19} - 0.125) \quad (2)$$

$$ks = 2.50\#D \quad (3)$$

図より $\phi_b^{0.5} (d_o/D) < 10^3$ (以後 $\phi_b^{0.5} (d_o/D) = \phi'$ とする) の範囲では現地で形成される砂漣波長は実験室で不規則波によって形成されるものより長い。ここで ϕ_b は (2) 式に (3) 式を用いて求めた ks を代入し、さらに (1) 式で得たシルズ数 ϕ を示す。

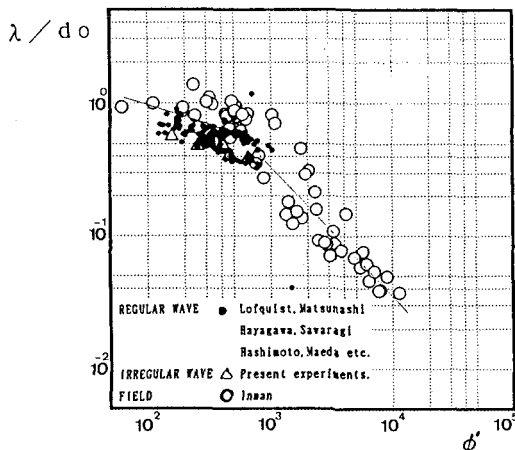


図. 1 砂漣の波長 (ϕ')

図には λ/d_0 に対する佐藤らの経験式も直線で示してあるが、その直線は規則波で形成される砂漣の上限を与える。 ϕ' の値が 10^3 より大きい領域では規則波によって形成される砂漣のデータはないが、現地砂漣はほぼ佐藤らの経験式と一致する。 ϕ' の値が小さい領域での現地砂漣の波長が大きくなるのは ϕ' が大きい高波浪来襲時に形成された砂漣がその後の低波浪来襲時に形成される砂漣に影響を及ぼしている（前述 3）のRelict Rippleの影響）為と考えられる。このように底部近くの水粒子運動は砂漣の影響を大きく受ける。したがって底部せん断力にかかわる粗度を評価する場合も従来のように底質粒径のみでの評価ではなく、砂漣形状も考慮すべきであるといえよう。そこで 次のようなNielsonの表現に基づいて ks を評価し、(1), (2)式を用いて算定されたシールズ数 ϕ_s を用いて再整理したのが図. 2 である。（ここで $\phi_s^{0.5} (d_0/D) = \phi''$ としている）

$$ks = 2.5 \cdot D + 8 (\eta / \lambda) \eta \quad (4)$$

図. 1 と図. 2 を比較して明らかなように、 ks に砂漣形状を考慮してシールズ数を算定してもやはり実験室と現地の差は同程度生じている。大きい。したがって特に現地での砂漣形状を議論する場合はもう少し詳細にRelict Rippleの影響を考慮する必要がある。

②砂漣の波形勾配；図. 3 は砂漣の波形勾配 η/λ と ϕ'' の関係を示したものである。図. 1、図. 2 に示す砂漣の波長とは異なって波形勾配は不規則波の場合或いは規則波実験とで生ずる砂漣と現地の砂漣の間には有意な差は認められず ϕ'' にかかわらずほぼ0.06～0.2の値を示している。したがって、Relict Rippleは砂漣の波形勾配には影響を及ぼさないことがわかる。

③砂漣の2次元性について；図. 1～3の本実験結果のうち Δ で示すケースは明らかに3次元的な砂漣が形成された場合である。佐藤らによる3次元砂漣の発生限界は ϕ'' の値が $10^3 \sim 2 \cdot 10^3$ であるが、本実験の結果はその下限値に対応している。また、2次元砂漣及び3次元砂漣の形状の差異を定量化するために、砂漣形状に対するスペクトル解析を行った。図. 4 はその結果であって、目視観測で明瞭な3次元性を示す砂漣は、スペクトル幅パラメタ ε 値が0.87以上であることが明らかになった。ここで $\varepsilon = (1 - m_2^2 / (m_0 \cdot m_4))^{0.5}$, $m_n = \int_0^\infty f^n S(f) df$ である。

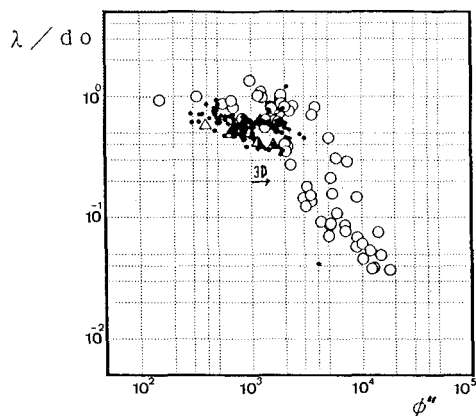


図. 2 砂漣の波長 (ϕ'')

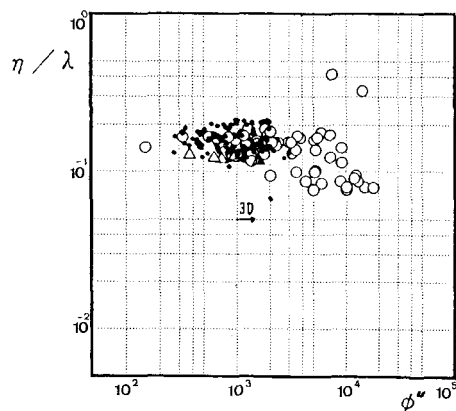


図. 3 砂漣の波形勾配 (ϕ'')

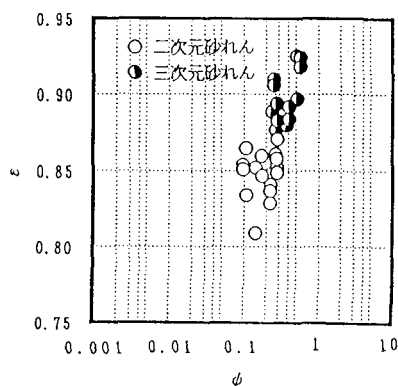


図. 4 砂漣の3次元性