砂漣の発生と発達について

京都大学工学部　正員　辻本　哲郎
京都大学大学院　学生員　○自閑　茂治
京都大学大学院　学生員　富田　邦裕

1. まえがき

中央粒径$d=0.042cm$の砂を用い，初期平坦河床に通水したとき（$12<Re_*<26$，$0.3<Fr<0.6$；Re_*：砂粒Reynolds数，Fr：Froude数）の小規模河床形態（ripplesまたはdunesでここでは総称して「砂漣」と呼ぶ）の初期発達過程を実験的に検討した。なお実験には長さ9m，幅33cmの勾配可変水路を用い，河床縦断形状は自走式超音波測深器で測定した。

2. 砂漣の発生・発達期における個々の波の挙動

図-1に砂漣の発達の一例が示される。初期には規則正しい波が時間とともにスケール的に成長し，しかも不規則性を増大していく。ここではとくに砂漣のクレスト，トラフに着目して成長過程の特性把握を試みた。後述のような河床縦断形状を河床高の確率過程と見なした解析の方が客観性の面では優れているが，発達・成長の物理機構の洞察などの面からはより具体的に個々の波に着目することも棄て難いアプローチである。さて図-2のようにクレスト・トラフの位置$\{y_{Ci}\}$，$\{y_{Ti}\}$を定義し，これらの分布を調べた。その結果の一例が図3～5に示されている。とくに時間が充分経過するとトラフの分布が広がってゆき，トラフ部での深掘れによって波高増加の進むことが推定される。図-3の破線は(平均値)±(標準偏差)を示している。なお，クレスト・トラフの平均値の和はほぼ平均波高に等しく，クレスト高，トラフ深さの変動係数は充分時間が経過した後では0.8～1.0程度となっている。さらに図-5は隣り合うクレスト・トラフの高さ・深さの相関係数を示しており，概ね負値で絶対値は0～0.6程度である。この結果，高いクレストは浅いトラフを伴なう傾向が認められる。

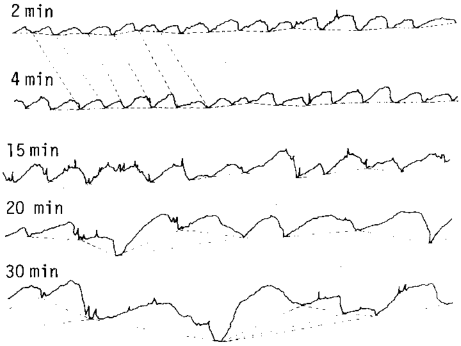

図-1　河床縦断形状の時間的変化の例

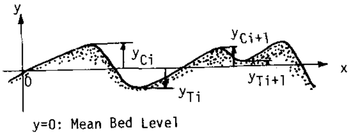

図-2　定義図

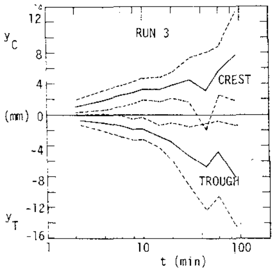

図-3　クレスト・トラフの平均位置の変化

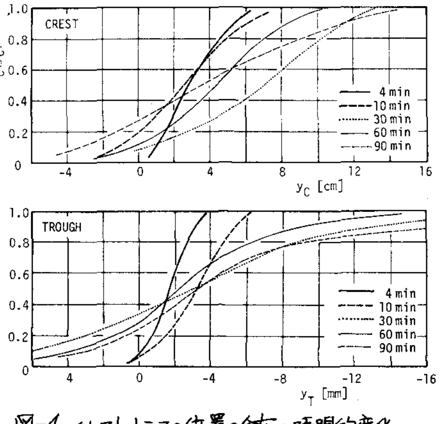

図-4　クレスト・トラフの位置の分布の時間的変化

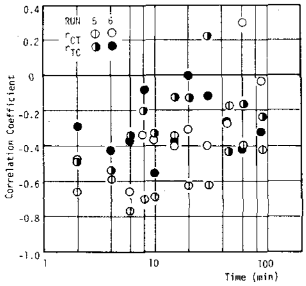

図-5　隣り合うクレスト・トラフの相関

Tetsuro TSUJIMOTO, Shigeharu JIKAN and Kunihiro TOMITA

3. 河床縦断形状の統計的性質の時間的変化

まず河床高標準偏差 σ_y の時間的変化は図-6 に示される通りで，中川ら[1]の従来の結果同様，時間の平方根に比例した増加が認められ，その増幅率は無次元底面せん断応力の大きいもの程大きい。図-7は M.E.M. によって求めた波数スペクトルの時間的変化の一例で，とくに発達初期においては顕著なピークが認められる（中川らの実験結果[1]では スペクトル計算の際の平滑化のためこれらのピークは埋没し，見出されなかった）。これらは Jain ら[2]も指摘している通りで，2つのピークが認められ，とくに低波数側のものが顕著である。

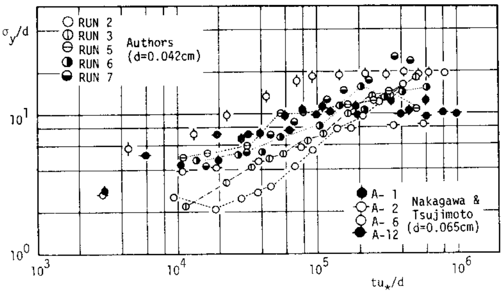

図-6 河床高標準偏差の時間的変化

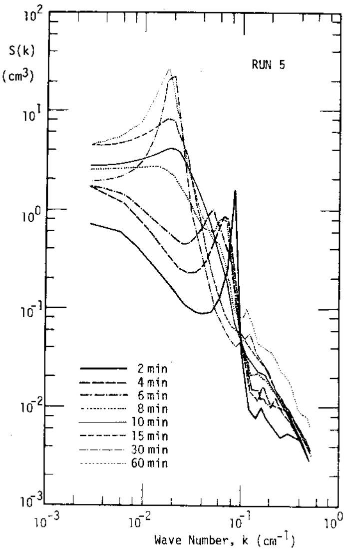

図-7 河床の波数スペクトルの時間的変化の例

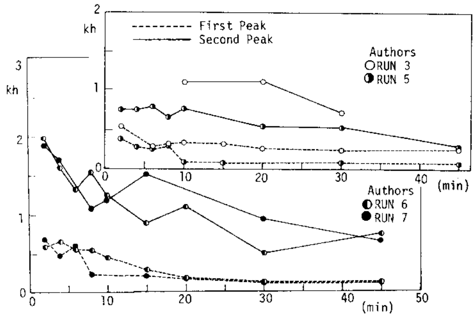

図-8 波数スペクトルのピーク波数の時間的変化

これらのピークに対応する波数は図-8に示すように時間の経過とともに低くなり（と同時にピークの鋭さも鈍くなり認め難くなる），一定値に収束するようである。この収束波数はいわゆる dunes の波数スペクトルに対する「-3乗則」の「限界波数」[3),4)]に等しいようである（図-9参照）。一方，とくに first peak（低波数側の顕著なピーク）に対応する波数の初期値（$t=0$ の外挿値）は Jain ら[2]も指摘しているようにほぼ次の関係式を満足する（図-10参照）。

$$Fr^2 = \tanh 2\pi kh / 2\pi kh \quad \cdots\cdots (*) \qquad (k:波数, h:水深)$$

これはポテンシャル流理論を流れモデルとして用いた砂面不安定性解析結果[5)~7)]では初期擾乱の増幅率を与える式の分母を零とし，式(*)の関係を満たす波数で増幅率が無限大になりこれに対応する波長の波が初期に卓越することを示している。

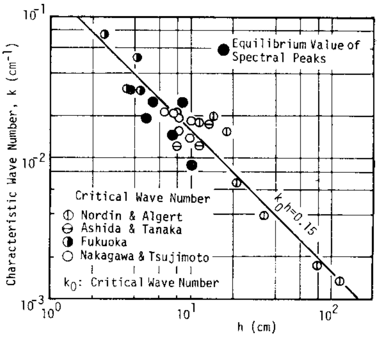

図-9 スペクトルピーク波数の収束値

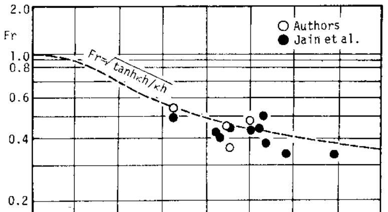

図-10 砂連発生期のスペクトルにおける first peak 波数と Froude 数の関係

4. あとがき

今後，上述の砂連発達初期の過程の特性と，砂粒運動の性質または機構にもとづいて河床波の発生・不安定問題を論じた中川らの理論的研究[7]とを関連づけて，砂連の発生・発達（成長）過程をより明解なものとしてゆきたいと考える。

<参考文献> 1) 中川・辻本：京大防災研年報第19号B-2, 1976. 2) Jain & Kennedy: J. Fluid Mech., vol.63, 1974. 3) Hino: J. Fluid Mech., vol.34, 1968. 4) 中川・辻本：土木学会論文報告集，第290号, 1979. 5) Kennedy: J. Fluid Mech., vol.16, 1964. 6) Hayashi: Proc. ASCE, HY2, 1970. 7) 中川・辻本：土木学会論文報告集，第291号, 1979.