

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健

河床波の形成される河床波は古くから多くの研究者の興味の対象とされ、主としてその形成メカニズムが研究されてきているが、本論文の主題もまた多く残されている。本報告は、dune および ripple といふ比較的小規模の河床波のスペクトル特性について若干の検討を行い、たまたまであるが、波数スペクトルについて波数空間に於いての波数、波長および波高と波高との関係という種の相化則を、また同波数スペクトルについて対象同波数波高の相化則に於いての波高と波高との関係という従来からのスペクトル相化則とはかなり異なる結果を得られている。

1. 河床波特性量の関係

いま、図1に示されるような波長 λ 、波高 η という単一の河床波の流水の作用により下流側へ移動する場合について考えよう。河床波の移動は河床波背面の砂の前面へ移動されることにより生ずるものであるから、河床波背面における単位時間、単位面積当たりの砂の移動量を Q とすると、河床波前面での堆積量 Δx の流速の条件より、次式が得られる。

$$\lambda Q \Delta t = \eta \Delta x \quad \text{i.e.} \quad C = \Delta x / \Delta t = (\lambda / \eta) Q \quad (1)$$

ここに、 Δx は Δt 時間における河床波頂点の下流側への移動量、 C はその移動速度を表す。

次に、河床波が種々のスケールのもので構成されている場合について考える。この場合、各スケールごとの河床波の移動速度すなわち位相速度 $C(k)$ は次のようになる。

$$C(k) \sim f/k \quad (2)$$

ここに、 k は波数で波長の逆数に比例し、 f は同波数で固定した河床波の通過する周期の逆数に比例する。

波数スペクトル $S(k)$ は河床波の各スケールごとの波長と波高との関係によつて容易に決定される。すなわち、波長波高関係が

$$\eta \sim \lambda^a \quad \text{i.e.} \quad \eta \sim k^{-a} \quad (a: \text{指数で定数とする}) \quad (3)$$

と表される場合、 $S(k)$ は次のようになる。

$$S(k) \sim k^{-(2a+1)} \quad (4)$$

ここで一定とすると、 λ と η の関係より、 $C(k)$ 、 $\eta(k)$ および $S(k)$ のうち1量が与えられると他の2量も決定されることになる。また、同波数スペクトル $P(f)$ は $S(k)$ と $\eta(k)$ の

$$S(k) dk = P(f) df \quad (5)$$

の関係があるから、この場合、結局 $P(f)$ も決定されることになる。

2. 河床波のスペクトル特性

河床波の形状特性について従来より多くの研究が行われてきたが、山崎¹⁾による実験結果を用いると、dune および ripple の波長と波高とはそれぞれ次のように近似される。

$$\text{dune: } \eta \sim \lambda \quad (6) \quad \text{ripple: } \eta \sim \lambda^{1/2} \quad (7)$$

1. に述べた関係を用いると、dune および ripple の $C(k)$ 、 $S(k)$ および $P(f)$ は次のようになる。

$$\text{dune: } C(k) \sim \text{const.}, \quad S(k) \sim k^{-3}, \quad P(f) \sim f^{-3} \quad (8)$$

$$\text{ripple: } C(k) \sim k, \quad S(k) \sim k^{-5}, \quad P(f) \sim f^{-3} \quad (9)$$

dune と ripple との区別はそれほど明確でなく、本論文条件によつてこれらが共存する場合がある。このように両者の位相速度として、節田・田中²⁾による実験式、すなわち、

$$\text{dune-ripple: } C(k) \sim k^{1/2} \quad (10)$$

を用いると、(6) および (7) 式に対応する関係式として次式が得られる。

表-1 河床波のスペクトル相化則

regime	phase velocity		spectrum	
	wave-number	frequency	wave-number	frequency
dune	$C(k) \sim \text{const.}$	$C(f) \sim \text{const.}$	$S(k) \sim k^{-3}$	$E(f) \sim f^{-3}$
dune-ripple	$C(k) \sim k^{1/2}$	$C(f) \sim f^{1/3}$	$S(k) \sim k^{-4}$	$E(f) \sim f^{-3}$
ripple	$C(k) \sim k$	$C(f) \sim f^{1/2}$	$S(k) \sim k^{-5}$	$E(f) \sim f^{-3}$

dune-ripple: $\eta \sim \lambda^{3/2}$, $S(k) \sim k^{-4}$, $E(f) \sim f^{-3}$ (11)

同位相速度を用いた波数表示と式(11)は次のようになる。

dune: $C(f) \sim \text{const.}$ dune-ripple: $C(f) \sim f^{1/3}$, ripple: $C(f) \sim f^{1/2}$ (12)

以上の結果をまとめると表-1のようになる。

3. 従来の研究成果との比較

日野³⁾は次の解析の手段を用いて波数および周波数スペクトルについて

2次来則と等しく式(13)による位相速度の表示式

$C(k) \sim k \text{ cth} (2\pi k h)$ (h : 水深) (13)

を用いて波数スペクトルと周波数スペクトルに変換し、低周波数領域の

スペクトル相化則として2次来則と等しい。これらの相化則は他多くの研究者による実験値と比較し、その妥当性が検証され、例えば中川⁴⁾にみられるようにその後の研究の基となっている。

しかしながら、(13)式より明らかになるように、 $C(k) \sim k$ の位相速度は定化的に

k : 小ととき $C(k) \sim \text{const.}$ k : 大ととき $C(k) \sim k$ (14)

と表され、(14)式における k : 大とときの定化式を用いて低周波数領域のスペクトル相化則と等しいことは疑問が残るようになる。このことは高周波数領域のスペクトル相化則と2次来則、波数スペクトルの k と2次来則とに両方とも同様である、これらの相化則より得られる $C(k) \sim \text{const.}$ という関係は(14)式の定化式と対象領域が一致しない、である。

図-2は日野による結果と本報告によるものとを比較したものであり、日野のスペクトル相化則では波数スペクトルが広範囲にわたって2次来則と一致するのに対し、本報告のものでは周波数スペクトルが広範囲にわたって2次来則と一致するということが注目される。

4. 今後の検討課題

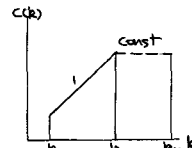
本報告はやはり基礎的な手段を用いて比較的単純な河床波のスペクトル特性について検討したものであり、数学的厳密さを欠くほか、河床波の3次元の形状性も考慮されておらず、あまり十分なものとはいえないが、今後においては吟味された水理条件下での実験を行い、本報告で得られたスペクトル相化則の妥当性、適用範囲、普遍性などを検討する予定である。

本報告の作成にあたり、芦田和男先生とはじめの宇田正也、上野鉄男氏、辻田浩一郎氏に多くの有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山本晃一: 相化則の適用と河床波の物理 - Sedimentation に関する基礎研究 - 土木研究所資料 71059号, 建設土木研究所研究報告 865910.
- 2) Ashida, K. and Tanaka, Y.: A Statistical Study of Sand Waves, 12th Congress of I.A.H.R., Vol. 2, pp.103-110, 1967-7.
- 3) Hino, M.: Equilibrium-range Spectra of Sand Waves Formed by Flowing Water, J.F.M., Vol. 34, Part 3, pp.555-573, 1968.
- 4) Cartwright, D.E.: On Submarine Sandwaves and Tidal Lee-waves, Proc. Roy. Soc., A253, pp.218-241, 1959.
- 5) 中川博次, 辻田浩一郎: 河床波の統計モデルに関する研究, 土木学会論文誌, No.290, pp.79-87, 1979-10.

(a) Hino



(b) Author

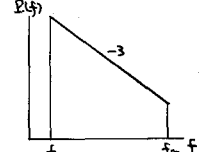
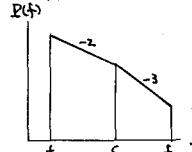
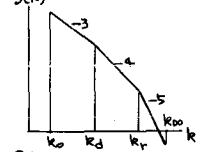
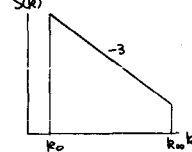
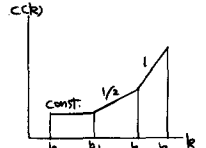


図-2 河床波のスペクトル相化則の比較 - (a) 日野, (b) 著者