

II-28 進行波によるduneの発生に関する研究

名古屋工業大学 正員 細井正延

名古屋工業大学 正員 石田 昭

・関西大学 正員 平山秀夫

1. はしごき

われわれは波による海底地形の変動を、規則波によって実験的にしらべるうちに、一様水深部の底床に砂漣が発生し発達した状態から、さらに表面波の1~3倍程度の波長の規則的なsand wavesが形成されることを発見した。われわれはこれをduneと呼ぶことにした。本研究はこゝように進行波によってできるduneに関してその発生限界、形状的特性、および発生機構について実験的に検討したものである。

2. 実験方法

Fig 1 に示す実験装置を使った。すなはち全長26.4m 幅0.6m 高さ1mの片側鋼製でもう一方の側はガラス張り、両端には碎石による消波装置が設置されてある水路を使って、その底面にほぼ均一な粒径の砂($d_{50}=0.15\text{ mm}$)を長さ17.1m 厚さ20cmに様に敷き並べ、水深が20cm, 30cm, および40cmの3種類の場合について適当な周期の波を起して約24時間実験を継続し、

Fig 1. 実験装置

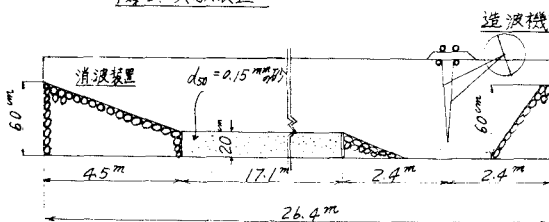


表1 測定結果

実験番号	$T(\text{sec})$	$\lambda(\text{cm})$	$H(\text{cm})$	$A(\text{cm})$	$\lambda_d(\text{cm})$	$H_d(\text{cm})$	$T(\%)$	備考
Run 1	1.3	2.00	10.51	30	2.36	7.4	3	●
2	0.82	1.00	5.06	30			2	● 沖側に砂漣
3	1.77	2.92	10.22	30	5.75	15.8	1	●
4	1.77	2.84	5.36	30			3.6	● 沖側に砂漣
5	1.77	2.91	7.17	30	1.10	4.8	3.1	● 沖側に砂漣
6	1.3	1.73	9.7	20	3.25	9.1	8	● 沖側に砂漣
7	1.3	1.78	9.3	20	3.30	11.4	6	●
8	1.3	1.70	4.96	20			4.2	●
9	1.77	2.48	10.19	20	7.35	10.0	2.9	●
10	1.75	2.41	5.34	20	0.95	3.0	3.8	● 沖側に砂漣
11	1.75	2.44	7.22	20	6.50	11.3	1.4	● 沖側に砂漣
12	1.77	2.57	11.66	20	7.10	8.8	4.6	●
13	0.82	0.95	8.44	20	0.95	2.7	5.3	●
14	0.82	0.94	5.57	20				●
15	1.3	2.21	10.38	40	1.05	3.0	2.9	●
16	1.3	2.20	15.15	40	2.54	5.6	2.4	●
17	1.77	2.91	8.88	30	5.45	9.2	5.3	●
18	1.06	1.49	11.66	30	0.72		3.6	●
19	1.16	1.72	12.54	30	2.85 1.90	2.6 7.35	3.1	●
20	2.17	3.66	11.70	30	10.90	16.3	6.4	●
21	1.97	3.32	10.14	30	8.05	15.5	6.3	●
22	1.78	2.92	8.02	30	5.50	7.3	4.3	●
23	1.32	2.04	10.44	30	2.55	9.3		●

●: 完全なdune ○: 不完全なdune ○: dune発生せず

3. 実験結果とその考察

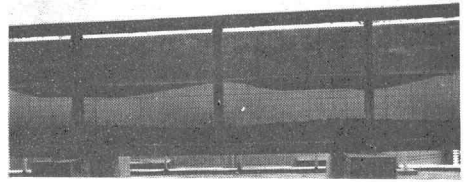
(i) duneの発生発達

2. の実験方法に従って実験を行なった結果、実験継続時間が2~3時間ぐらいまでは底質の変動の状態は砂漣の発生から完全発達までであるが約4時間以上になると徐々にそれらの上にまた大きな山(dune)が形成されはじめ約20時間後に安定状態になることが観察された。その結果を表1に示す。そこでduneがどのような状態で発生発達していくかもう少し詳細に述べる。一般にはduneは完全に発達した砂漣が全域に形成されてしまった後に徐々に水路の沖側端から形成されはじ

めるようである。しかし dune の形成といっても最初の 1 ~ 2 時間のうちは砂澁が形成された上に全体的に凹凸ができるという程度の変化を示すだけであるが、約 3 時間経過すると徐々に明確に発達してだいたいの表面波の波長の $\frac{1}{2}$ の波長の dune が形成されるようである。そしてこの段階から発達過程の状態が 2 種類に分類できるようである。その

1 つはもうそれ以上の発達をしないでその状態の dune がそのまま消長をくり返す場合と、あと 1 つはこの dune の 2 ~ 3 個がさらに 1 つの大きな dune に発達していく場合とである。前者の場合は、形状もかなり不規則で不安定であるので、“不完全な dune”，後者の場合には非常に規則的な形状をなして安定であるので、“完全な dune”と称した。本研究の対象になっているのは、この後者の場合でそれを Fig 2 に示す。なおこれは最終安定状態(約 20 時間後)の写真である。

Fig 2. 完全な dune

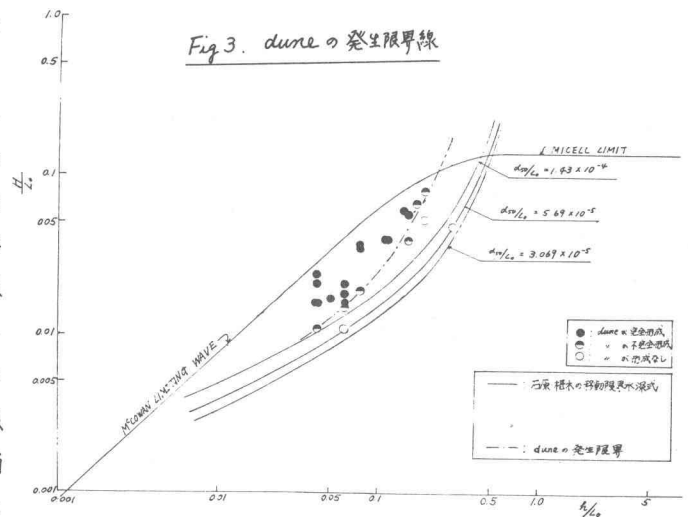


(iii) dune の発生限界について

どういう状態のとき dune が形成されそれぞれどのように発達していくかを表面波との関連において追究していくことは非常に興味深く重要なことである。しかしながら現象が非常に複雑でありしかも

砂澁の発生機構および境界層の鮮明な⁽¹⁾などがいまだ十分でない現状においてその発生機構および発生限界を力学的にミクロな立場から検討することは容易なことではない。したがってここではいかなる波浪条件のもとに dune の発生が見られるか、すなわちその発生限界について実験的に検討した。それを Fig 3 に示す。図中発生限界線以外に参考のために石原・榎木の初期移動限界式および McCowan の碎波限界式を描いてある。この図から明かなように

Fig 3. dune の発生限界線

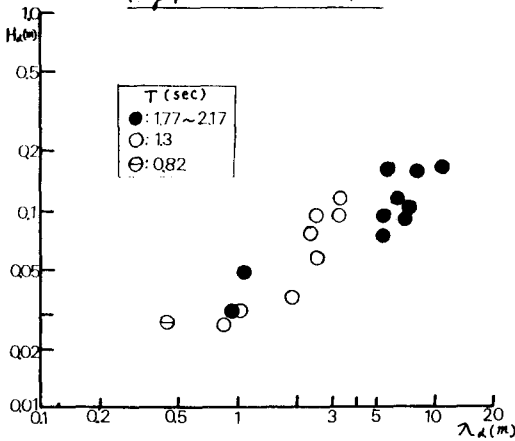


dune の発生限界の d/λ の上限値および下限値が存在するようであることがわかる。なお本実験は、粒径を変えずに単一粒径で行なったものであるので d_{50} の値によって発生限界線がどのように変化するかについては示すことができなかった。

(iii) dune の形状的特性

発生した dune が波の諸特性とどのように関係があるか図示したが Fig 4, Fig 5, および Fig 6 である。Fig 4 は dune の波高 (H_d) と波長 (λ_d) の関係について波の周期 (T) をパラメータとして両対数で示したものである。これによると波の周期に無関係に λ_d と H_d は $\lambda_d = a H_d^{\frac{2}{3}}$ (a はある定数) の関係があるようである。Fig 5 は波の波形勾配 (H/λ) と dune の波形勾配 (H_d/λ_d) の関係について周期 T をパラメータとして図示したものである。これによると波の波形勾配の値が一定の場合、dune の波形勾配は周期が減少するにつれて逆に増加することがわかる。そしてまた dune の波形勾配は H/λ が減

Fig4 H_d と λ_d の関係



少するにつれて増加するが、その増加の割合は周期によらず一定であるようである。また Fig 6 は dune の波長 (λ_d) と表面波の波長 (λ) との関係も水深 (h) をパラメータとして縦軸に対数で λ_d を横軸に普通目盛で λ を示したもので、 λ_d は λ が長いほどまた水深が浅いほど長くなることがわかる。

(iii) dune の発生機構に関する一考察

完全に dune が発生し発達した場合における波の状態を観察してみると波の非対称性が著しく相当変形が行なわれ、波の山と山との間に小さな山が発生し、それが移動していく現象が見られた。いわゆる 2 次波峯の発生である。そこでこの 2 次波峯の発生に着目してその特性について合田の⁽⁴⁾研究を参考して調べた結果、dune の発生原因としてこの 2 次波峯が主たる要素であることが推定された。2 次波峯は主峯よりも遅い速度で進行するので主峯に追い越され、ふたたび主峯の中間に出現した主峯に追い越されるという過程をくり返す。合田の研究によれば、この 2 次波峯の出現間隔（あるいは追い越し間隔）を λ_s で示すと、 λ_s/h は水深・波長比 (h/λ) と波高・水深比 (H/h) の関係で示されることを示している (Fig 7)。そこでこの図を使って、本実験結果における 2 次波峯の発生間隔 λ_s を計算し、そのときの dune の波長と比較した。その結果、Fig 8 のような関係が得られた。図中実線は $\lambda_d = \lambda$ の直線であるが、この図からほぼ λ と λ_d が

Fig 5. H_d/λ_d と H/λ の関係

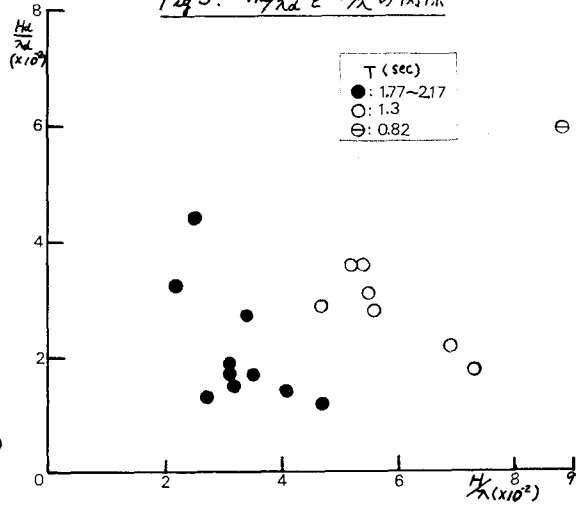


Fig 6. λ_d と λ の関係

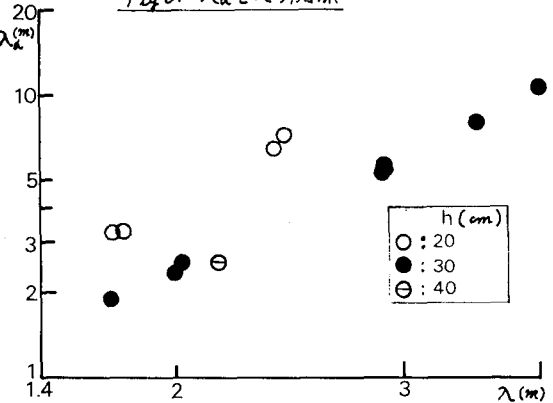
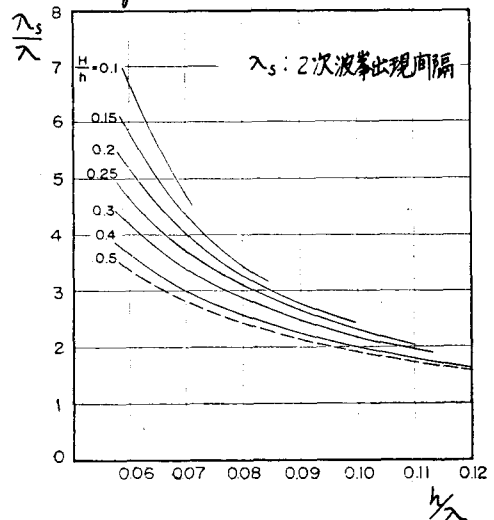


Fig 7. 2 次波峯の出現間隔 (合田)



一致することが明らかであろう。また Miche⁽⁵⁾による2次波峯の発生限界線と dune の発生限界線との関連について比較したのが Fig9 である。この図から明らかなように、2次波峯の発生領域は dune の発生領域よりも狭く、dune は形成されても2次波峯が認められない場合もあることがわかる。このことは、2次波峯現象とは基本成分波以外の成分波が含まれる程度によって生じるもので、強い場合には明確な2次波峯となり、弱い場合には2次波峯は発生しても波高が場所的に変動するだけの現象となると、しかし弱い場合でも底質の移動に影響を与える大きさならば、dune は発生することなどを示唆している。そして2次波峯が明確に認められる場合には、2次波峯の発生地点(2次波峯が主峯と主峯の中間に出現する地点)に dune が形成されることが観察された。2次波峯の発生と dune の発生との関連については、さらに今後検討されるべき課題であろう。

3. 結論

進行波による dune の発生に関してその発生限界および発生機構について実験的に検討してきたが、その結論は次のようである。

(1) dune の波長と2次波峯の発生間隔が一致

し、2次波峯の出現地点が dune の山であり、追い越し地点が谷であることがわかった。このことにより dune の発生に関して2次波峯がその原因であることが推察される。

(2) dune の発生限界を実験的に検討し、その発生限界線を定めた。そしてまた Miche の2次波峯の発生限界線とそれと比較した結果、両者は若干異なることが明らかになった。

(参考文献)

- (1) Manohar, M : Mechanics of Bottom Sediment Movement due to Wave Action, B.E.B, Tech. Memo. No75, 1955
- (2) M.S Longuet - Higgins: The Mechanics of The Boundary Layer Near The Bottom in a Progressive Wave, Coastal Eng., 1958.
- (3) 石原・榎木：漂砂の移動限界流速，限界水深，および移動量について，第7回海岸工学講演会講演集，1960.
- (4) 合田良美：造波水路における波浪実験の二，三の内題点について，第15回海岸工学講演会講演集，1968
- (5) Miche, M.: Mouvements ondulatoires de la mer en profondeur constante ou décroissante. Ann. des Ponts et Chaussées, Tome 114, 1944, Miche, M.: Undulatory Movements of the sea in constant or decreasing depth. Trans by MM. Lincoln. and R.R. Chevron, Univ. of Calif., Inst. of Engr. Res., Wave Research Lab., Series 3 Issue 363, June 1954.

Fig8. λ_0 と λ_d の関係

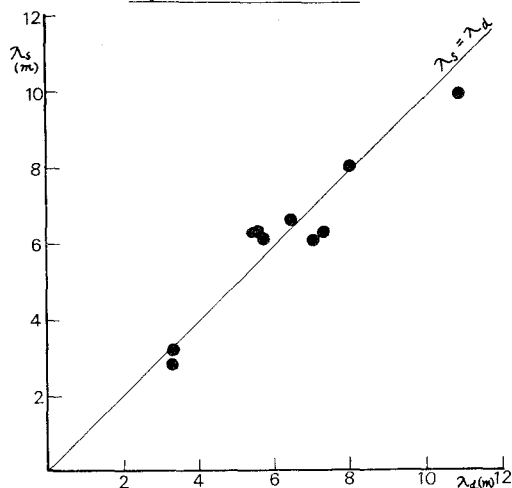


Fig9. 2次波峯の発生限界：duneの発生限界

