

II-35 波動境界層における質量輸送と防波堤基部の洗掘

鳥取大学工学部 正員 野田 英明

1. まえがき

防波堤、海岸堤防および護岸の基部洗掘によつて、これら構造物の強度や防災機能が低下したり、あるいは構造物が破壊したという事例は多い。従来、海岸構造物基部の洗掘機構については主として実験的に研究され、これらの結果によつて構造物前面の地形はいくつかに分けられるようである。しかしその地形が異なる原因については現在のところそれほど明確な解答はえられていない。著者はこの原因を波動境界層における質量輸送にあると考えて若干の考察を行つた。

2. 波動境界層における質量輸送速度

(i) 層流境界層；Longuet-Higginsが示したように、波動層流境界層内の質量輸送速度 $\bar{U}_L$ は、

$$\bar{U}_L = \frac{\pi^2 (H/L)^2}{4} \frac{L}{T \sinh^2 kh} \left[(1-r^2) K_{pe}(\gamma) + 2r K_{se}(\gamma) \cdot \sin 2kx \right] \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここに、 H : 入射波高、 L : 波長、 T : 周期、 h : 水深、 r : 反射率、 $k=2\pi/L$, $\gamma = \pi/\sqrt{2}\delta$, $\delta = (\nu T/2\pi)^{1/2}$
 ν : 水の動粘性係数であり、

$$\left. \begin{aligned} K_{pe}(\gamma) &= 5 - 8e^{-\gamma^2} \cos \gamma + 3e^{-2\gamma^2} > 0 \\ K_{se}(\gamma) &= -3 + 8e^{-\gamma^2} \sin \gamma + 3e^{-2\gamma^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

である。式(1)において、 $r=0$ および $r=1$ はそれぞれ進行波および完全重複波に対処し、それぞれの場合、式(1)の右辺括弧内の第2式および第1式がゼロになる。したがつて K_{pe} および K_{se} はそれぞれ進行波および完全重複波に対する境界層内質量輸送速度の鉛直分布を示すことになる。式(1)と(2)から、 $0 \leq kx \leq \pi/2$ の領域では重複波の質量輸送は底面のごく近傍を除いて進行波のそれと同一方向であるが、 $\pi/2 \leq kx \leq \pi$ の領域では逆方向になる。このことは、海岸堤防前面でよくみられる部分重複波の場合、質量輸送が反射率、構造物前面からの距離、および底面からの高さによつてその方向も大きさも異なることを示している。したがつて K_{se} の値に現われる底質近傍の逆転層厚と底質粒径の比が漂砂の方向を決定する重要な要素になると推定される。

(ii) 乱流境界層；第16回海岸工学講演会で示した波動乱流境界層理論にもとづいて乱流境界層における質量輸送速度 $\bar{U}_T$ を計算すると、近似的に、

$$\bar{U}_T = \frac{\pi^2 (H/L)^2}{4} \frac{L}{T \sinh^2 kh} \left[(1-r^2) K_{pt} + 2r K_{st} \sin 2kx \right] \dots \dots \dots (3)$$

のようになり、形式的には式(1)とまったく一致する。式(1)と比較すれば、 K_{pt} および K_{st} はそれぞれ進行波および完全重複波に対する質量輸送速度の鉛直分布を示すものであることがわかる。しかし乱流境界層の場合、 K_{pt} および K_{st} は γ のみの関数ではなく、Reynolds 数 $U_0 \delta / \nu$ [$U_0 = (1+r) \pi H / T \sinh kh$] や粗度長 Z_0/δ にも関係する。これらの諸量に対する関数形はきわめて複雑であつて、これを解析的に取り扱うことは困難である。したがつてここでは数値計算例のいくつかを示すことによつて、その特性を明らかにしよう。一般に、 K_{pt} は γ のすべての領域にわたって正であり、波の進行方向に質量輸

送が起る。しかし K_{st} は $u_0\delta/\nu$ および Z_0/δ の値によってその方向が種々変化する。図-1は $Z_0/\delta=0$ (滑面) の場合の K_{st} と Z/δ の関係を、また図-2は $Z_0/\delta=5$ (粗面) の場合の同様の関係を、 $u_0\delta/\nu$ をパラメータとして示したものである。さらに、

図-3は $u_0\delta/\nu=1000$ の場合の K_{st} と Z/δ の関係を Z_0/δ をパラメータとして示したものである。

なお、図-1の実線

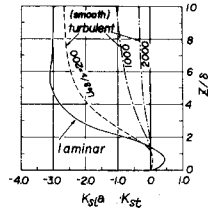


図-1 K_{st} と K_{st}^* と比較

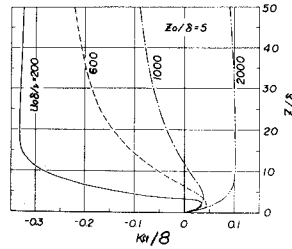


図-2 K_{st} の鉛直分布(1)

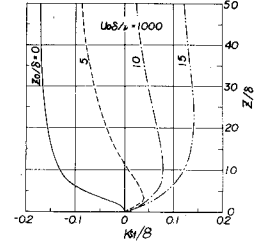


図-3 K_{st} の鉛直分布(2)

は K_{st} を表わしている。これらの図から明らかのように、 K_{st} の値は Z_0/δ および $u_0\delta/\nu$ の値が大きくなると、逆の方向に質量輸送が発生する。(したがって底質の移動方向も $u_0\delta/\nu$, Z_0/δ および r , さらに底質の大きさや底質の移動形式に関係することがわかる。

3 構造物基部の洗掘機構

(i) $r=1$ (完全重複波)

図-4は底質が砂の場合の地形変化を示すものであり、図-5は底質が塩化ビニール粒のそれである。底質が砂の場合、底面には Ripple が発達するが、塩化ビニール粒の場合

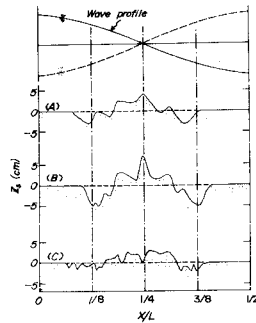


図-4 重複波による地形変化(1)

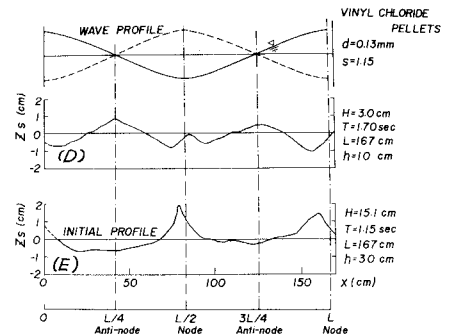


図-5 重複波による地形変化(2)

それらは見られなかった。これらの図から平衡地形の形状と分類すると、I 型(節に堆積し、腹の部分はわずかの区域もとのままで、節と腹の中間部分が洗掘される。D)、II 型(腹の部分に堆積する。E) および III 型(I 型の腹の部分のほとんどの区域が大きいもの。A, B, C) となる。表-1はその形状と H/sd (s : 水中比重, d : 粒径, 底質が掃流が浮遊しているかの移動形式を示す指標) および $u_0\delta/\nu$ の関係を示したものであって、これらの間には一般的関係が存在しているようである。

Bed Materials	H/sd	$u_0\delta/\nu$	Type of Profile
Sand -A	0.79×10^2	226	III
Sand -B	1.10×10^2	262	III
Sand -C	5.50×10^2	292	III
V.P. -D	1.77×10^3	75	I
V.P. -E	1.00×10^4	125	II

表-1 地形と底質、波浪特性の関係

(ii) $r \neq 1$ (部分重複波); 図-6 は佐藤、田中・入江らが求めた

海地形変化に関する実験の結果であって、 $r \approx 0.45$, $H/sd = 2.1 \times 10^2$, $u_0\delta/\nu \approx 95$ の場合である。この場合の地形は図より明らかのように I 型に属している。これは $u_0\delta/\nu$ の値が小さく層流(限界は 113)であるため、底質は掃流形式で運搬されたためと考えられる。これらの詳細については講演時に述べる。

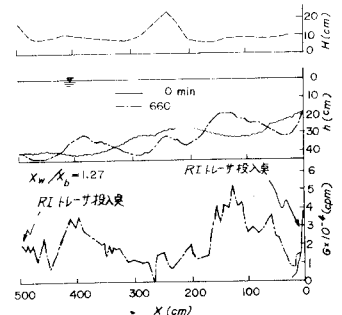


図-6 部分重複波による地形変化(田中・佐藤・入江による)