

海岸堤防基部の洗掘機構に関する一考察

鳥取大学工学部 正員 野田 英明

1. まえがき

防波堤、海岸堤防や護岸などの堤脚部の洗掘は、海岸構造物の設計施工にあたって考慮しなければならない重要な問題のひとつである。堤脚部の洗掘によって構造物の強度や防災機能が低下したり、あるいは構造物そのものが破壊したという事例は多い。著者はここ数年、波動境界層における流水の挙動とくに質量輸送の問題に取り組んできたが、この質量輸送が堤脚部近傍における漂砂の挙動に重要な影響を及ぼすと考えられ、この報告ではこの質量輸送という面から海岸堤防の洗掘機構について考察しようとするものである。

2. 底面境界層内における質量輸送速度

(i) 層流境界層理論

波動によって底面に到達する層流境界層における質量輸送速度 $\bar{U}_L$ は、Longuet-Higgins によると、

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

となる。ここに、 H : 入射波高、 L : 波長、 T : 周期、 h : 水深、 r : 反射率、 $k=2\pi/L$ であり、

$$\left. \begin{aligned} K_{pl}(\gamma) &= 5 - 8e^{-\gamma} \cos \gamma + 3e^{-2\gamma} \\ K_{sl}(\gamma) &= -3 + 8e^{-\gamma} \sin \gamma + 3e^{-2\gamma} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\gamma = \pi/\sqrt{2} \delta \quad (\delta = \sqrt{\nu T/2\pi}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

である。(1)式において、 $r=0$ となる進行波と $r=1$ となる重複波の場合、それぞれ右辺括弧内の第2式あるいは第1式がゼロになる。したがって、 K_{pl} および K_{sl} はそれぞれ進行波および重複波の場合の質量輸送速度の鉛直分布を示すことになる。図-1(a)および(b)は(2)式の計算結果であって、 K_{pl} および K_{sl} と γ/δ の関係を示すものである。(1)式とこの図から明らかになるように、 $0 \leq kx \leq \pi/2$ の領域における進行波と重複波による質量輸送は底面のごく近傍を除いて同方向であり、また $\pi/2 \leq kx \leq \pi$ の領域では逆方向になる。したがって海岸堤防の前面などよくみられる部分重複波のような場合、(1)式から明らかになるように、反射率と構造物前面からの距離あるいは底面からの高さによって質量輸送はその速さも方向も異なることになる。この質量輸送は、その大きさが $(H/L)^2$ であるため一般に小さいが、波動による1次のオーダー (H/L) の周期的往復運動と重なる運動であるため、波がある程度大きければ、その合成流は十分に底質輸送の能力をもつことおよびその質量輸送の方向と漂砂の移動形式が漂砂の方向と密接な関係をもつことが考えられる。ただし層流境界層では底質が拌流形式で運ばれるので、重複波にみられる底面のごく近くの逆転層層で底質粒径の比が漂砂の方向と決定する重要な要素と考えられる。

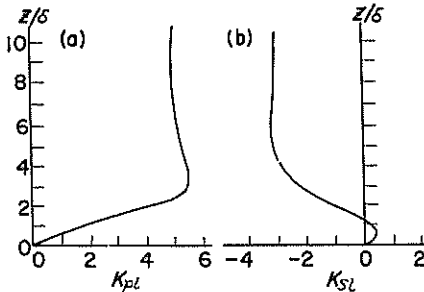


図-1 K_{pl} 、 K_{sl} と γ/δ の関係

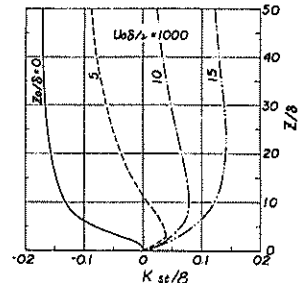
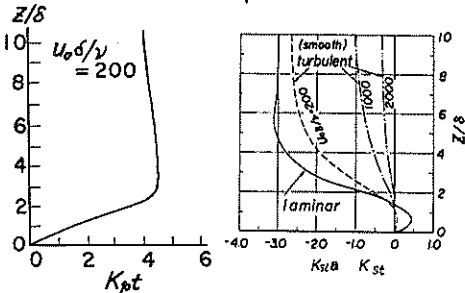
(ii) 乱流境界層理論

昨年の海岸工学講演会で明らかにしたように、乱流境界層理論を用いると、乱流境界層における質量輸送速度 $\overline{U}_t$ は、

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

となり、ここに K_{pt} および K_{st} はそれぞれ進行波および重複波の場合の質量輸送速度の鉛直分布を示すものである。 K_{pt} および K_{st} は一般に z/δ 、Reynolds 数 $U_0 \delta / \nu$ [$U_0 = (1+r) \pi H_c / T \sinh kh$] および粗度長 z_0/δ の関数であるが、その関数形はきわめて複雑であり、数値計算によってその特性を明らかにする必要がある。図-2は滑面($z_0=0$)の場合の K_{pt} と z/δ の関係と $U_0 \delta / \nu = 200$ の場合について図示したものである。図-3は、

滑面に対する K_{st} と z/δ の関係と、 $U_0 \delta / \nu$ をパラメータとして示したものであつて、図中の実線は比較のために示した層流理論による K_{st} と表わ



論による K_{st} と表わ 図-2 K_{pt} と z/δ の関係 図-3 K_{st} と z/δ の関係 図-4 K_{st} に及ぼす粗度の効果

している。また図-4は $U_0 \delta / \nu = 1000$ における K_{st} と z/δ の関係と z_0/δ をパラメータとして示したものである。これらの図から、Reynolds 数が増加すると質量輸送速度の無次元表示 K_{st} と K_{pt} は一般に K_{st} や K_{pt} よりその値が小さくなること、さらに K_{st} は粗度および Reynolds 数の増大とともに、逆転層が完達して逆方向の質量輸送が発生することとを示している。こうした質量輸送の方向がことなることが漂砂の移動方向と支配すると推定される。

3. 海岸堤防基部の洗掘機構について

以上の結果は、底質の大きさ、漂砂の移動形式、流水の乱れの程度、砂れんの有無などによって、底質の移動方向が異なるのではないかと考えられる。これらの推定を確かめるために実験を行った。図-5および図-6は重複波で、それぞれ砂および塩化ビニル粒を底質として用いた場合の底面地形の変化を示している。さらに、図-7は佐藤・田中・入江が部分重複波の場合について行った実験結果を示すものである。これらの詳細については講演時に述べるつもりである。

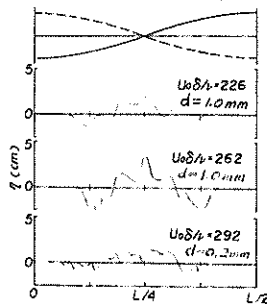


図-5 重複波による砂の地形変化

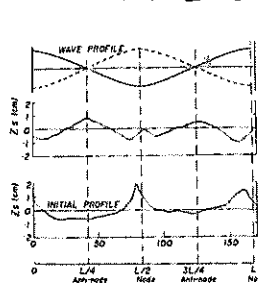


図-6 重複波による塩化ビニル粒の移動

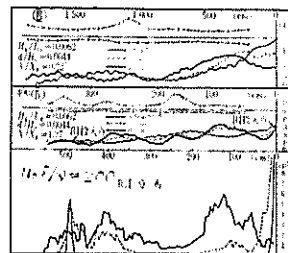


図-7 部分重複波による砂の移動 (佐藤・田中・入江)