

河口テラス状地形による沿岸掃流漂砂阻止機能の量的評価

Estimation of Obstructing Effect on Longshore Bedload Transport Caused by River Mouth Terrace

中村聡志¹

Satoshi NAKAMURA

The wave and current-induced bedload transport model by Nakamura(2006) is applied for evaluating the obstruction to the longshore transport of bedload with the terrace geographical feature at river mouth. Numerical results show that the terrace feature has the obstructing effect on the longshore transport of bed-load. The obstructing effect is caused by two mechanisms. One is, in case of non-wave breaking on the terrace, the longshore transport decreases by the opposite directional transport caused by the cell circulation at the downstream edge of the terrace. Another is, in case of wave breaking at the terrace edge and edge slope, the longshore transport changes the direction offshoreward at the upstream edge of the terrace. In both cases, the obstructing effect grows by the terrace width wide.

1. はじめに

日本各地の海岸において、海岸侵食対策の検討や海岸管理の手法として沿岸土砂収支の算出が行われている。この土砂収支を計算する際、岬や沿岸構造物、河口などの漂砂制御境界における漂砂通過量や土砂供給量、沖への消失量をいかに推定するかが問題になる。沿岸構造物のうち、突堤の先端を回り込んで移動する沿岸漂砂量については、中村・合田(2007)の突堤端水深沖波波高比を用いた簡易式などを用いて定量的な漂砂量の推定も可能であるが、他の多くの構造物形状には適用できない。また、河口における漂砂については、地形と波流れが相互に関連した複雑な現象であるため定量的な漂砂量推定を行った研究は少ない。さらに、沿岸土砂収支計算においては、一般に、河口は漂砂の供給源とされるが、Khang・田中(2006)は15年間の七北田川河口の空中写真から汀線位置を抽出し、河口テラス消滅前後の汀線位置変化傾向の違いから、沖に張り出した強固な河口テラスが沿岸漂砂阻止効果を有することを指摘している。このように未解明な現象が多い河口漂砂ではあるが、これまでの知見をもとに河口部における漂砂を定量的に示すことは、漂砂の連続性が途切れることによって生じる海浜地形変化問題に対して、より確かな予測を行う上で工学的に重要である。本研究では、河口テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果に焦点を当て、斜め入射波と波によって生じる流れを外力とする掃流漂砂の平面2次元計算結果を用いて、河口テラス幅と沿岸掃流漂砂通過率との関係を示す。数値計算においては、強固なテラス地形のみによる掃流漂砂への影響を調べるため、河口水路形状や水路での水の流入出を考慮しない、地形変化量は波と流れ、掃流漂砂量の計算に反映させない、と仮定した。

2. 研究の方法

(1) テラス状地形における掃流漂砂の計算条件

数値計算に用いた地形は、図-1に示す沿岸方向200m、岸沖方向200m、格子間隔1m、沖側の最大水深15m、斜面勾配1/10の一樣勾配海浜の計算領域に円錐台の半分が沖に張り出す形状の河口テラスとした。河口テラス模型は、テラス水深を1.0m、前縁斜面の勾配を砂質の水中安息角程度の6/10に固定し、テラス幅（テラスの張り出し幅）を変化させた。掃流漂砂量の計算は、中村(2006)と同様に、碎波減衰および海浜流との干渉を考慮した非定常緩勾配方程式を用いて、海岸に斜め入射する波の伝播を解き、波の一周ごと計算されるラジエーション応力の勾配を起流力とする非線形長波方程式を用いた平均水面変化と海浜流の計算を繰り返し行いつつ、海浜流と波による底層での振動流とを合成した流れによる底面せん断応力を用いて局所掃流漂砂量を求めた。

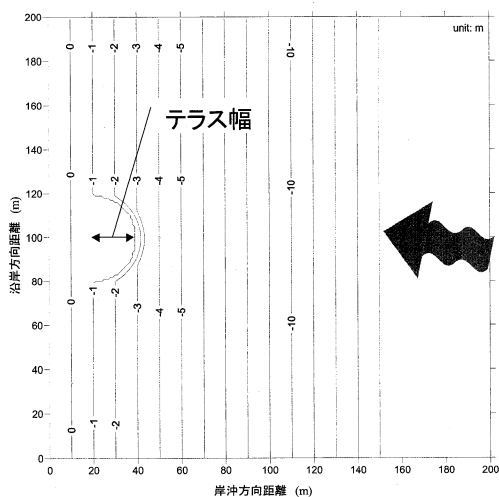


図-1 河口テラス地形の計算領域

計算領域の沿岸方向の境界は繰り返し境界、沖側の境界は消波境界とした。また、入射波は沖波波高 $H=0.5\text{m}$ 、 1.0m 、 2.0m (波の周期 5s 、沖波入射角 11.3°) とした。計算で用いた波高水深比による砕波判定では、沖波波高 0.5m の時の砕波開始水深は約 0.8m であり、テラス上をほとんど砕波せず波が通過する。また、沖波波高 1.0m の時の砕波開始水深は約 1.2m でテラス縁から砕波が始まりテラス上を砕波しながら伝播する。沖波波高 2.0m の時の砕波開始水深は、約 2.2m である。

局所掃流漂砂量は、佐藤・Kabiling (1994) の掃流漂砂量式を準用し、掃流漂砂係数は、底面せん断力による総沿岸漂砂量を求める Watanabe (1992) による漂砂量係数との対比から、ここでの値を 47 とした。また、底質は粒

径 0.2mm の砂質を想定し、底質が移動を開始する限界シールズ数を 0.01 とした。

(2) 掃流漂砂阻止効果の算出

図-2は、テラス幅 20m の海浜に、沖波波高 $H=1.0\text{m}$ の波を入射させた時に生じる掃流漂砂量 (濃淡) と方向 (矢印) の分布である。沿岸漂砂の方向はおおよそ図面の下 (漂砂上手) から上 (漂砂下手) であり、テラス地形の漂砂上手側端付近 (沿岸方向距離 $Y=70\sim80$) では、テラス縁斜面に沿う流れにより、掃流漂砂の一部が沖向きに方向を変え、砕波帯外へ流出していることが分かる。また、テラス上 ($Y=80\sim120$) では、漂砂上手から下手に向かって、掃流漂砂量が増加していることが分かる。テラス地形の漂砂下手側端付近 ($Y=120\sim130$) では、砕波波高が周囲より低いいため、沖に向かう流れが生じ、掃流漂砂は蛇行して沖へ向かっている。テラス幅がさらに大きくなると、蛇行して沖に向かう流れが強くなり、汀線付近に生じた循環流によって、掃流漂砂の方向が逆向き (図面の上から下へ) の領域が生じるようになる。

こうした掃流漂砂の岸沖分布は波高と波向の沿岸方向の分布によって生じる。この数値計算では、計算領域の沿岸方向の境界を繰り返し境界としているので、テラス地形によって生じた波の変形は、わずかであれ、計算領域全体に波及する。境界上の砕波位置付近 ($X=20$) での波高によってテラス地形による波の影響を評価すると、テラス地形無しの場合の沿岸方向に一樣な波高に比べて、テラス幅 20m の場合には 4% 、 30m の場合には 5% 程度の増減がある。以下の計算においては、テラス幅 30m までは繰り返し境界を用いたことによるテラス周辺の掃流漂砂量計算結果への影響は小さいとして、沿岸掃流砂量を求めることとする。また、波高分布の違いは沿岸掃流砂の岸沖分布にも影響を及ぼし、テラス地形無しの場合には、入射波による平均水面形状の規則的な凹凸によって強い砕波変形が岸沖方向の2ヶ所で生じ、2つ山の分布となっているが、テラス地形の場合には、平均水面形状の凹凸が不規則に生じるため、2つ山の沿岸掃流砂の岸沖分布にならない。こうした分布形状の違いが生じるが、岸沖断面を通過する総沿岸掃流砂量の違いは小さい。

図-3は、図-2中の ($Y=80, 110, 160$) の位置に岸沖方向の測線を設け、沿岸掃流砂量の分布を図化したものである。図中にはテラス地形が無い場合の沿岸方向に一樣に生じる沿岸掃流砂量の分布 (q_{by}) を合わせて示してある。テラス地形の漂砂上手側 ($Y=80$) では、テラス縁に沿う流れによる沖向き掃流漂砂のため、テラス地形が無い場合の分布と比較して、岸沖距離 $X=15\sim30$ の間の沿岸掃流漂砂量が大きく減少している。また、テラス上 ($Y=110$) では、テラス上を砕波しながら伝播し、海岸斜面で大きく砕波する波によって生じる流れにより、沿

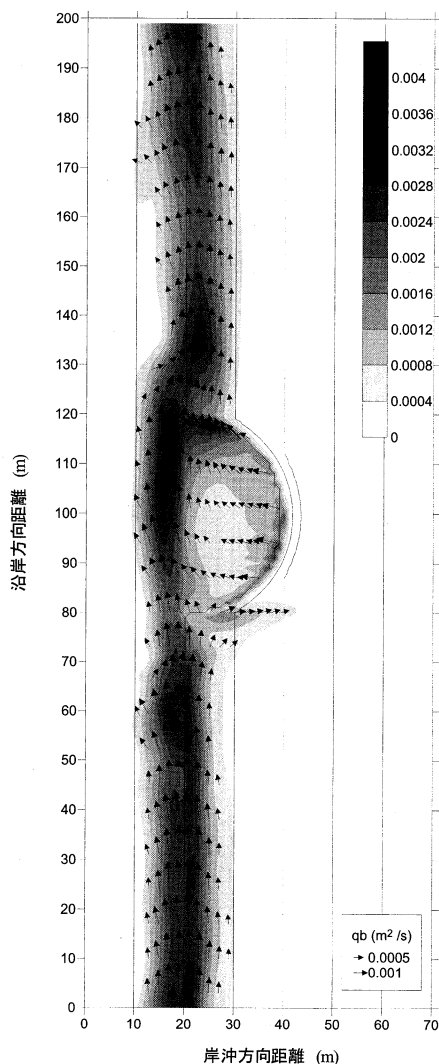


図-2 テラス地形の掃流砂量の分布

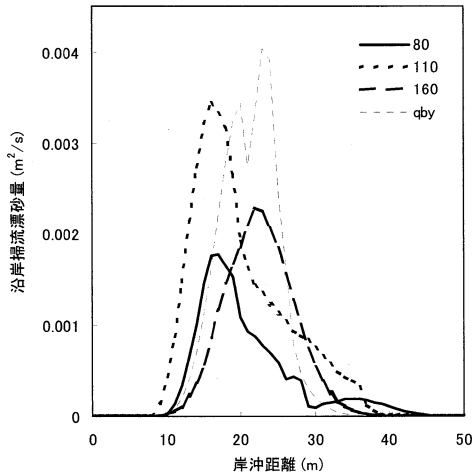
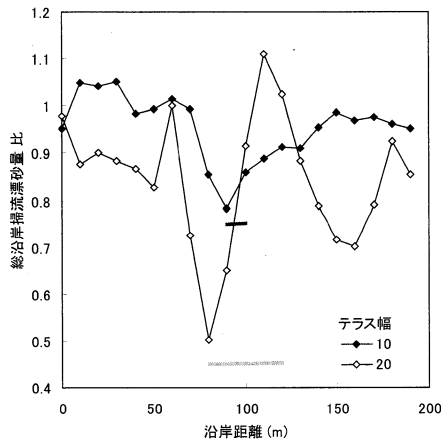
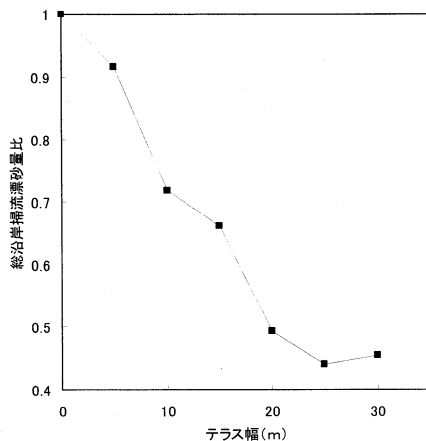


図-3 代表測線での沿岸掃流漂砂量の岸沖分布

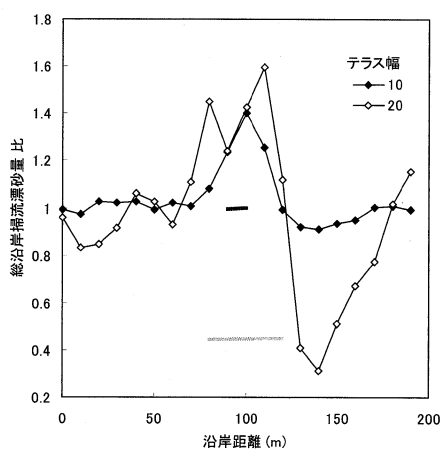
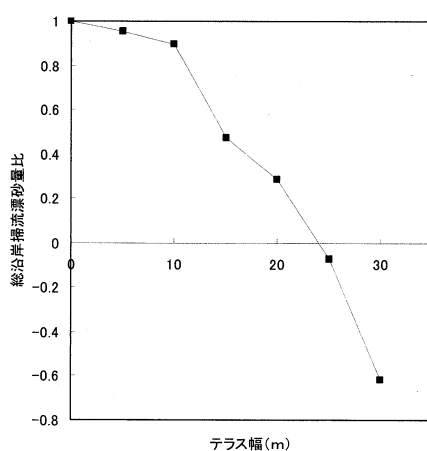
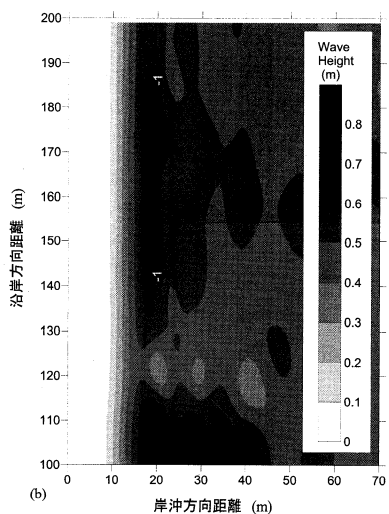
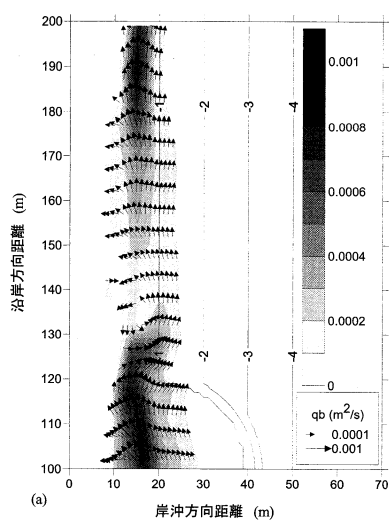
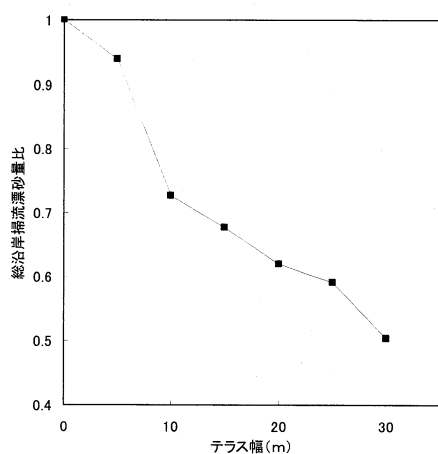
図-4 総沿岸掃流漂砂量比の沿岸方向分布 ($H=1.0\text{m}$)図-5 テラス幅による沿岸掃流漂砂の阻止効果 ($H=1.0\text{m}$)

岸掃流砂量のピーク位置は海岸斜面上に移動している。このとき岸沖断面を通過する総沿岸掃流砂量は、テラス地形が無い場合と比較して増加している。テラス地形の漂砂下手 ($Y=160$) では、沿岸掃流砂量が再び減少する。沿岸掃流砂量は、図-2, 3から分かるように波と流れ、地形形状によって、テラス周辺でその分布形と総量が変化する。そこで、岸沖断面を通過する総沿岸掃流砂量の最も少ない測線を使って、テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果を示すこととした。

図-4は、沖波波高 $H=1.0\text{m}$ でテラス幅が10mと20mの場合の総沿岸掃流漂砂量とテラス地形が無い場合の総沿岸掃流漂砂量との比 (=テラス有/テラス無) を沿岸方向に10mの間隔で示したものである。図中には、それぞれのテラス位置を横棒で示してある。テラス幅が10mと20mいずれの場合も総沿岸掃流砂量比はテラス上手端で急激に減少する。このとき漂砂上手から下手に向かって漂砂量が減少するので、テラス上手端は堆積傾向であるが、多くの底質は、テラス縁に沿う流れによる冲向き掃流漂砂によって、砕波位置を超えて深い場所へと移動する。テラス上では、総沿岸掃流砂量比はテラス下手端に向かって増加するので、侵食傾向になっている。テラス幅が10mの場合、テラス下手側の沿岸掃流砂量比は緩やかに1に近づく。一方、テラス幅が20mの場合、テラス下手端で極大値を持ち、さらにその漂砂下手で極小値を持つ。このように沖波波高 $H=1.0\text{m}$ の場合、総沿岸掃流漂砂量の極小値が生じる位置は、テラス上手端とテラス下手の2ヶ所に存在するが、テラス幅を5m~30mに変化させた時、テラス上手側の沿岸掃流漂砂量比は、下手側の極小位置のそれより小さかった。そこで、テラス上手端の沿岸掃流漂砂量比の最小値を用いて、テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果を示すこととする。図-5は、テラス幅と沿岸掃流漂砂量比の最小値 (最大阻止率) との関係を示したものである。テラス幅の増加とともに総沿岸漂砂量比が減少し、テラス幅20mで総沿岸漂砂量は、ほぼ半分となるが、さらにテラス幅が大きくなっても減少せず、一定値に近づく。

(3) 入射波高による沿岸掃流漂砂阻止効果の違い

テラス地形の水深と入射波高の大きさによって、波の変形の状況が異なり、海浜流と漂砂の状況に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、テラス水深1.0mに対し、沖波波高 $H=0.5\text{m}$ を入射させ、同様の計算を行った。沖波波高 $H=0.5\text{m}$ の場合、水深約0.8mで砕波が始まるため、テラス上で波がほとんど砕波せず伝播するので、掃流漂砂は水深1m以浅の斜面上で生じる状況となる。図-6に示す沖波波高 $H=0.5\text{m}$ の場合の総沿岸掃流砂量比の沿岸方向分布は、沖波波高 $H=1.0\text{m}$ の場合の図-4と大きく異なり、テラス幅によらず、テラス下手端よりさらに下手

図-6 総沿岸掃流漂砂量比の沿岸方向分布($H=0.5\text{m}$)図-8 テラス幅による沿岸掃流漂砂の阻止効果($H=0.5\text{m}$)図-7 掃流漂砂量分布(a)と波高分布(b)($H=0.5\text{m}$)図-9 テラス幅による沿岸掃流漂砂の阻止効果($H=2.0\text{m}$)

側で最小値となる。

図-7にテラス下手側の掃流漂砂量分布と波高分布を示す。総沿岸掃流漂砂量の最小値がテラス下手側に生じる機構は、海浜流のセル循環による。すなわち、テラス上へ屈折する波によって波高の低い部分(図-7(b)沿岸方向距離 $Y=120\sim 130$)が生じ、その場所へ向かって汀線付近から沖に向かって流れが生じる。沖向き流れを補償するための沿岸流によって、大局的な漂砂の方向と逆向きの掃流漂砂が生じるためである(図-7(a))。

テラス上で波がほとんど碎波せず伝播する沖波波高 $H=0.5\text{m}$ の場合には、上記の機構によってテラス下手側に沿岸掃流漂砂量比の最小値が生じる。図-8は、図-5と同様にテラス幅と沿岸掃流漂砂量比の最小値との関係を示したものである。テラス幅が25m程度を超えると総沿

岸掃流漂砂量比が負の値となる。これは、入射波の来襲方向によって決まる大局的な漂砂の方向とは逆向きの漂砂が汀線近くから砕波位置にかけて生じ、分布の総量として逆向きの漂砂となっているためである。入射波高が低く、テラス上で砕波しない場合においても、テラス地形による波の屈折効果によって、沿岸漂砂量の阻止効果が現れ、テラス幅が広い場合には、テラス下手端より下手側に逆向きの漂砂量が生じることが分かった。

次に、沖波波高 $H=2.0\text{m}$ を入射した場合の掃流漂砂の阻止効果を同様に求めた。沖波波高 $H=2.0\text{m}$ では水深約 2.2m で砕波が始まり、テラス外縁斜面上やテラス斜面下の $1/10$ 勾配斜面で砕波し、テラス地形を回り込む流れによって掃流漂砂が生じている。このため、沿岸掃流漂砂量の最小値は、テラス幅 10m 以上の場合にはテラス地形の張り出しが広い中心軸付近で生じている。図-9に沖波波高 $H=2.0\text{m}$ の場合のテラス幅と沿岸掃流漂砂量比の最小値との関係を示す。テラス幅 5m の場合、沿岸掃流漂砂量の最小値はテラス下手端で生じており、テラス幅 10m 以上の場合のテラス地形の中心軸付近で生じる沿岸掃流漂砂阻止機構とは異なるために沿岸掃流漂砂量比の減少傾向が異なると考えられる。

3. 結論

斜め入射波と波によって生じる流れを外力とする掃流漂砂の平面2次元計算を用いて、河口テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果を定量的に示した。テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果は、①入射波高が高く、テラス縁や外縁斜面、斜面下で砕波する場合には、テラス地形の上手端で沿岸流が冲向きに転向することによって沿岸掃流砂量が減少する機構、②入射波高が低く、テラス上で砕波しない場合には、テラス下手端でのセル循環流による逆向き掃流漂砂によって沿岸掃流砂量が減少する機構によって生じることを示した。いずれの場合も沿岸掃流漂砂阻止効果はテラス幅が広いほど大きくなることを示した。

4. おわりに

斜め入射波と波によって生じる流れを外力とする掃流

漂砂の平面2次元計算を用いて、河口テラス地形による沿岸掃流漂砂阻止効果を示すことができた。この方法の中で、テラス地形を構成する底質は、波と流れの底面せん断力によって掃流的に移動すると仮定した。さらに、テラス地形は強固であるとして、漂砂による地形変化量を波や流れ、掃流漂砂の計算に反映させることなく計算を行った。しかしながら、現実には、砕波が生じ始めるテラス前縁斜面上では、底面乱れによる底質浮遊が生じ、バー・トラフ状の地形に変化することから、波流れ底面せん断力による掃流移動とは移動形態の異なる、砕波浮遊による底質移動を考慮した計算を行う必要がある。

テラス地形形状については沖に張り出したテラスの効果だけを調べるため、河口の水路地形や入出流を考慮していない。実際の河口テラス周辺の漂砂現象を明らかにするためには、これら地形効果と河川流効果を考慮した計算を行う必要がある。また、河口テラスを構成する粗粒分と周辺の細粒分など、底質の粒径によって移動経路が異なることが考えられる。本論文では、底質粒径 0.2mm の砂質でテラス地形も周辺海岸も覆われていると仮定して計算しているため、わずかな波と流れによっても漂砂が生じ、過大な漂砂量を算定していると考えられる。実際には、粗粒で構成されたテラス上の漂砂量は小さく、また、海岸部においても岸沖と沿岸方向の底質分布によって、漂砂量は異なるであろう。今後、周辺海岸と河口テラス地形との底質粒径の違いによる移動形態と底質移動量の変化についても考慮する必要がある。

参考文献

- 佐藤慎司・Kabiling, M. B. (1994) : 波打ち帯を含む三次元海浜変形の数値モデル, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 401-405.
- 中村聡志 (2006) : 突堤群による掃流砂収支の数値検討, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 541-545.
- 中村聡志・合田良実 (2007) : 波の不規則性と波候統計を考慮した突堤構造物の沿岸掃流漂砂阻止機能の定量的評価, 土木学会論文集B, Vol.63, No.4, pp.272-281.
- Truong Thien Khang, 田中仁 (2006) : 河口テラスの縮退が漂砂系の連続性に及ぼす影響について, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.616-620.
- Watanabe, A. (1992) : Total rate and distribution of longshore sand transport, Proc. 23rd Coastal Engineering Conference, Vol.3, pp. 2528-2541.