

河口前面テラスの変形過程及び粒度組成変化

DECLINE PROCESS AND SEDIMENT SORTING OF THE SAND TERRACE IN THE RIVER MOUTH

黒木 幹男¹・尹 種秀²
Mikio KUROKI and Jongsu YOON

¹フェロー 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²学生会員 工修 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

In order to study the interaction of the littoral sand drift from the sea and the incoming sediment from the river, it is important to understand the characteristics of terrace behaviors in the river mouth with flow direction. Many researches have been carried out elucidate the relationship between the formation process of the sand terrace and the sand bar at the river mouth, however, few have been conducted about sediment movement at the coastal zone during decline process of the formed terrace. As the formed terrace consists of non-uniform grain size, its distribution will be dependent on the decline process.

This research was done to elucidate the decline process of the sand terrace with uniform grain size and the phenomenon of its sediment sorting with non-uniform grain size.

Key Words : River mouth, Sand terrace, Sediment movement, Decline process, Sediment sorting, Uniform grain size, Non-uniform grain size

1. はじめに

洪水時や融雪期のフラッシュ後、発達する河口前面テラスは河口から海域への土砂供給および通常時沿岸漂砂に対する貯砂源として重要な役割をしている。河口前面テラスに関しては、その形成過程や河口砂州との関係という観点から数多くの研究が行われているが、河口部での土砂移動の実態が不明なため、その変形や消失過程に関する詳細については明らかにされていない。また、海岸における底質移動という観点からみると、海岸における底質は、波による淘汰作用の影響を受けて、粒径が比較的揃う傾向がある。しかし、河口前面テラスのように漂砂源近くの海岸で十分淘汰が進んでいない場合は、広い粒度分布の混合粒径砂が見られることが多い。このような場合、土砂の移動や海浜変形を予測するためには、波浪場における混合粒径砂の移動機構を理解する必要がある。混合砂の漂砂機構に関する研究としては、室内実験では酒井ら(2000)の振動流装置による実験、田中ら(2000)の大型造波水路による実験、数値実験では、田中ら(1989)、後藤ら(1996)の例などがある。

本研究は、河口前面のテラス地形を仮定し、均一砂

と混合砂を用いて、実験による河口前面テラスの変形過程及び地形変形過程で発生する粒度組成変化を確認しようとしたものである。

2. 実験方法と実験ケース

実験装置の概要を図-1に表す。実験には幅5.0m、長さ7.0m、深さ1.0mの平面水槽を用いた。海浜部はモルタル製の固定床とし、勾配は1/10である。なお、掃流砂、浮遊砂ともに相当量流入する場合に形成される洪水時を想定し、図-1で影を塗られた梯形の領域(沖側0.8m、岸側0.4m、長さ1.0m)に砂を敷いてテラスを設置した。テラス頂部の勾配は1/30、テラス肩での水深は3.4cmであり、テラス前部は60°の傾斜、横側は45°の傾斜である。波の入射角は汀線に対して30°の斜め入射とした。

表-1に実験ケースを表す。入射波は規則波で、沖波波高 $H_0 = 4$ cm、 $T = 0.8$ secの波を全実験ケースについて作用させた。実験に用いた砂の条件については、CASE I ~ CASE IIIは均一砂で、中央粒径はそれぞれ0.35mm、0.60mm、1.25mmであり、CASE IVとCASE Vは混合砂で、CASE IVはCASE Iの細砂とC-

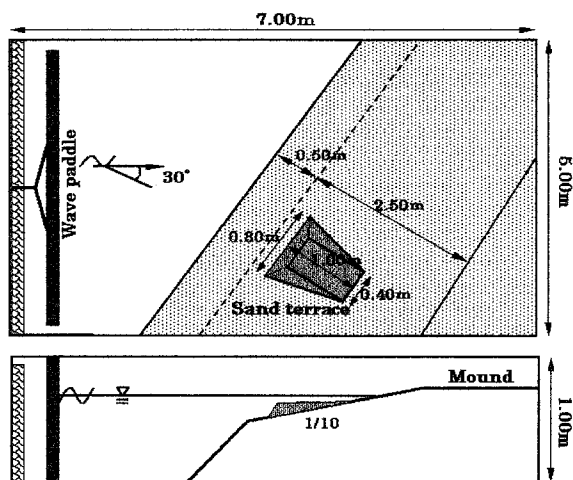


図-1 実験装置

表-1 実験ケース

実験 CASE	砂の 条件	沖波波高 H_0 (cm)	周期 T (sec)	中央 粒径 (mm)	混合 割合 (細砂:粗砂)
CASE I	均一砂	4	0.8	0.35	
CASE II		4	0.8	0.60	
CASE III		4	0.8	1.25	
CASE IV	混合砂	4	0.8	0.37	7:3 (0.35mm: 0.60mm)
CASE V		4	0.8	0.37	7:3 (0.35mm: 1.25mm)

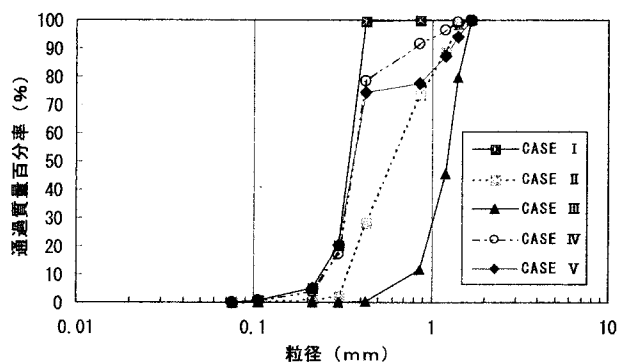


図-2 実験に用いた砂の粒度分布

ASE IIの中砂を、CASE VはCASE Iの細砂とCASE IIIの粗砂を7:3の割合で混合した砂を1/10の固定床上に設置してテラス地形変動実験を行った。テラスの材料として用いた砂の粒径加積曲線を図-2に表す。図-2からわかるように、CASE IVとCASE Vの混合砂の粒度分布は双峰型で条件を単純化して細粗2粒径砂を用いた実験を行った。

計測は地形変化と粒度分布の変化に関して行った。地形は、砂面計で沖岸方向と海岸線方向に造波10分後、30分後、60分後についてそれぞれ5cmと10cm間隔で測定した。そして、混合砂を用いて実施したCASE IV

とCASE Vについては、分級過程を定量的に調べるために、コア試料を採取して沖岸方向と海岸線方向への分級の進行状況を測定した。コア試料の採取は、地形変化測定の直後に毎回実施し、岸沖方向と海岸線方向にそれぞれ10cmと20cm間隔で採取した。本研究では、実験による地形変化結果から採取したコア試料が切断することができる程の長さではなかったため、各地点の時間による平面的分級のみを考慮した。床採取方法は、縦と横2cm×2cmの鉄製四角管で各地点毎に試料を得た。試料は、乾燥後、0.85mmと0.425mmのふるいを用いてふるい分けし、0.85mm以上の粗砂と0.425mm以下の細砂それぞれの重量を計測した。

3. 実験結果

(1) 地形変化

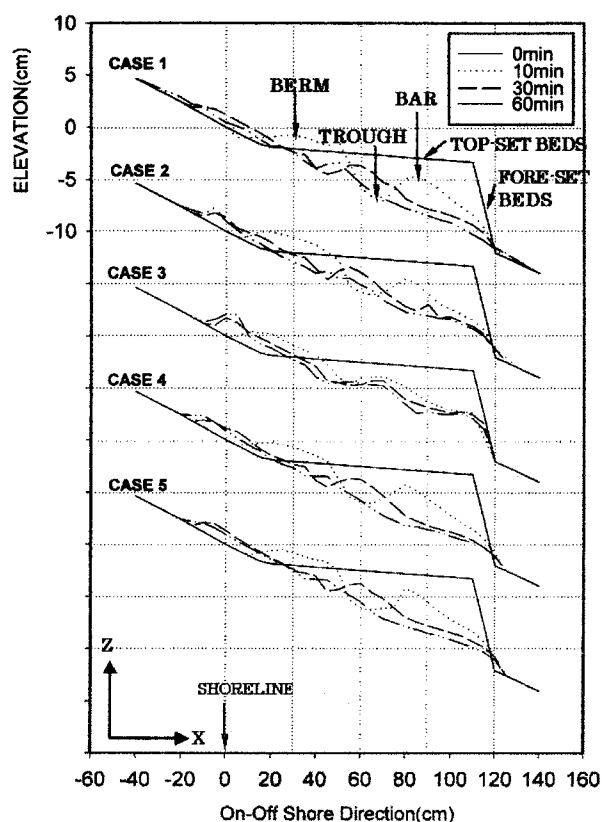


図-3 テラス中央部の断面変動

図-3は、テラス中央部の断面変化を各実験ケースについて表したものである。時間間隔はそれぞれ造波10分後、30分後、60分後で、沖岸方向に5cm間隔で測定した結果である。まず、均一砂のCASE I～CASE IIIからみると、CASE Iでは、テラス前面部(fore-set beds)が侵食され、汀線から沖岸方向の80cm付近にバーが生じ、沖岸方向の40cm付近には、バームが形成される(10分)が、岸側へバーが移動し、汀線付近のバームに取り込まれ(30分)、汀線より岸側に砂が堆積

していく(60分)。CASE IIでも、大体CASE Iと似ている傾向が見られるが、CASE Iより塑上帯背面の勾配が急になる。CASE IIIでは、CASE IとCASE IIよりテラス前面での侵食率が低く、バーの発生地点も汀線から沖側の70cm付近である。また、バーの位置は殆ど変化せず、時間がたつほど汀線付近に堆積が発生し、塑上帯背面の勾配がCASE IとCASE IIより急になる。

混合砂のCASE IVとCASE Vの断面変化過程は均一砂のCASE Iとほぼ一致する傾向である。ただし、CASE Vの造波10分後に形成されたバーの岸側斜面の勾配がCASE IとCASE IVより急になっている。

図-4は、造波60分後の地形変動を等水深線で表したものである。CASE Iの細砂の場合、テラスの前面部(fore-set beds)が侵食され、0.10m以上の等水深間隔が広がっているが、CASE IIIの粗砂の場合、約0.08mから水深の変化が発生している。海岸線方向の基準線から沖側へ1.5mの地点は砕波点直ぐ岸側の部分でのバーの発達により、砕波形式が巻き波型砕波に変化したため、トラフが生じる。また、汀線より岸側には砂が堆積したため、汀線が前進している。海岸線方向への広がりについては、3つのケースとも海岸線に沿ってバーが生じ、その発生位置は砕波帯の海岸線方向の基準線から約1.4m地点であり、バーの岸沖方向の幅にはあまり差がない。しかし、CASE IIIの場合、海岸線方向に沿った0.8~1.6m区間で水深が0.03m程度になっていることから、粒径によるバーの高さには差があることがわかる。また、CASE IとCASE IIの場合、バームが形成されるが、CASE IIIの場合、バームが形成されない。

混合砂CASE IVとCASE Vのケースの場合、地形変動にはあまり差が見られなく、両方とも0.10mから水深の変化が発生している。海岸線方向の広がりについては、CASE IVの場合、沿岸方向へのバーとバームの成長形態がCASE Vに比べ比較的細砂の成分が多いため、均一砂のCASE Iと似ている。

図-5に、均一砂を用いて行ったCASE I~CASE IIIの実験結果を表す。各実験ケースについて、それぞれ造波10分後、30分後、60分後の地形変化の結果である。3つのケースとも波を作用し始めると、テラスの頂部(top-set beds、図-3参照)通過時に生じる砕波によりトラフ(trough、ブーメラン状の洗堀地形)が現れる。図からわかるように、砂粒子は砕波後の流れにより全体としては岸向きに移動し、一部はトラフの岸側に、他は海岸線に沿って移動している。図-5から、CASE Iの細砂の場合、砕波後の流れによりトラフの岸側に徐々に堆積し、造波60分後には沿岸方向に広いバーム地形を形成する。その結果、沿岸方向には、砕波帯のバーと汀線付近に成長していくバーム地形が形成される。CASE IIの場合も地形変動過程はCASE Iとほ

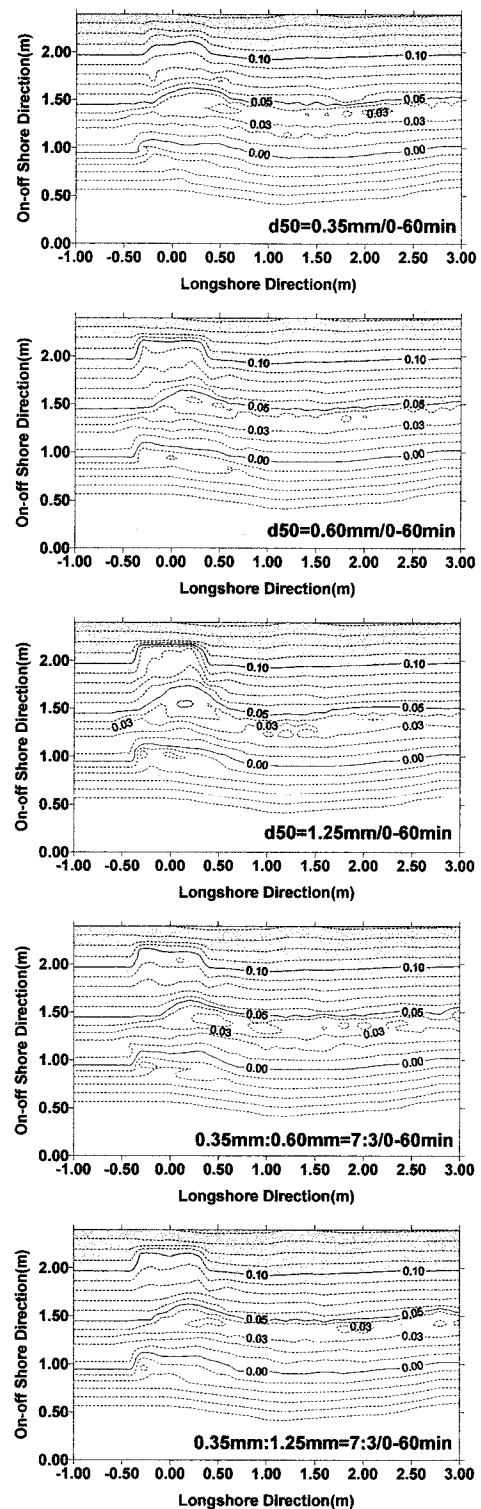
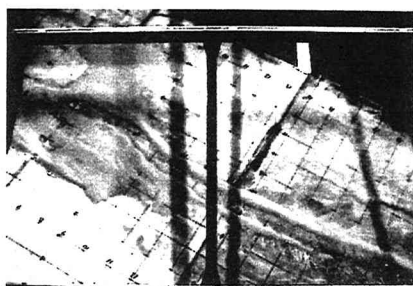
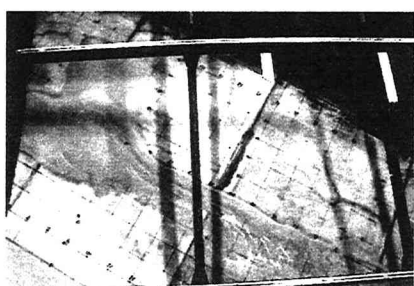
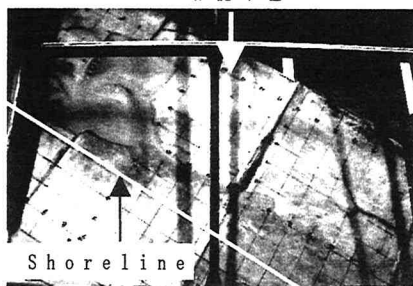


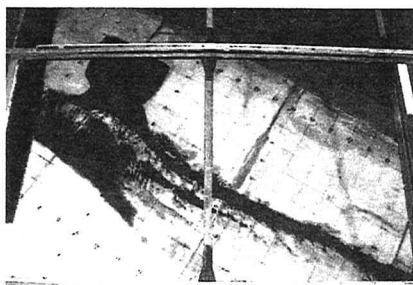
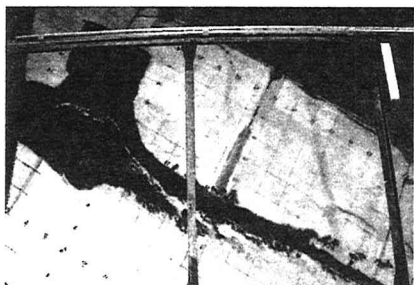
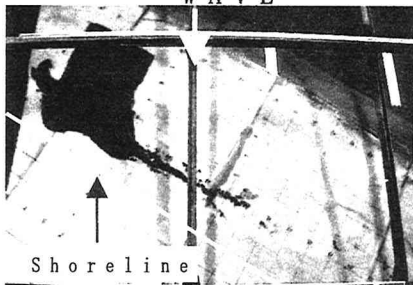
図-4 造波60分後の地形変動
(上からCASE I~CASE V)

ぼ同じである。一方、CASE IIIの粗砂の場合、最初10分の間にトラフの岸側にバームが形成され、造波60分後には沿岸方向の流れによりトラフの面積が顕著に増加するが、沿岸方向に沿ったバームは形成されない。また、沿岸方向の砕波帯に形成されるバーの成長速度については、CASE Iの場合、造波10分後テラスの中心部から沿岸方向に2.5m地点までバーが形成さ

CASE I WAVE



CASE II WAVE



CASE III WAVE

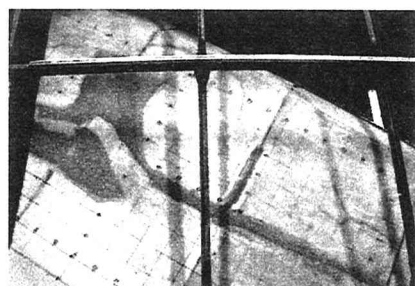
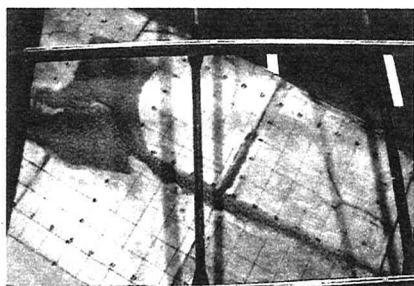
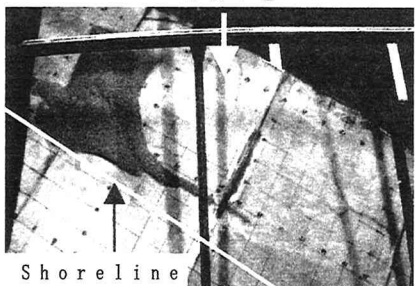
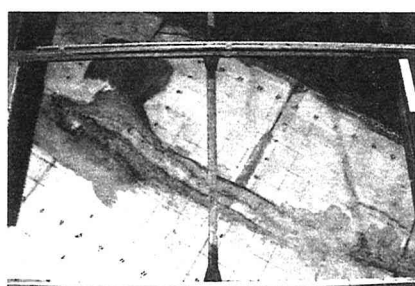
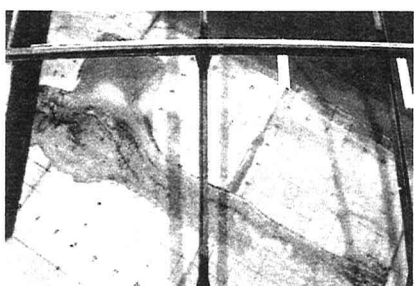
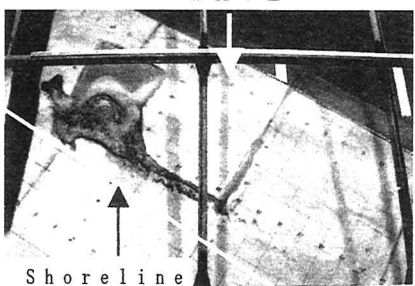


図-5 地形変動過程(均一砂の場合、左から造波10分後、30分後、60分後)

CASE IV WAVE



CASE V WAVE

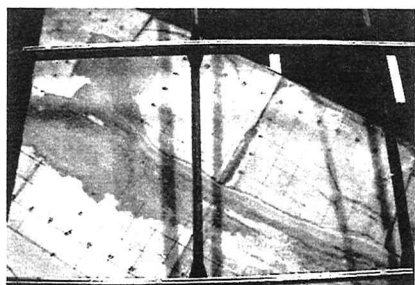
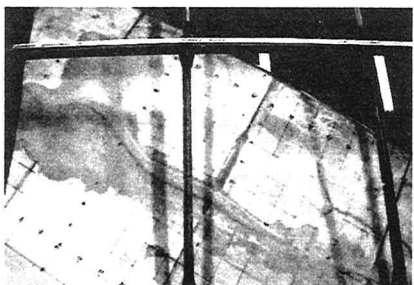
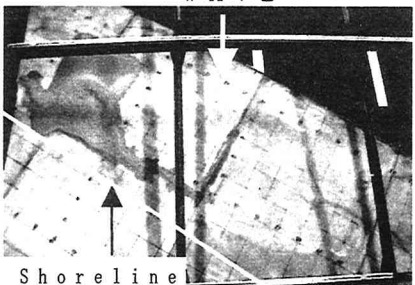


図-6 地形変動過程(混合砂の場合、左から造波10分後、30分後、60分後)

れるが、CASE IIとCASE IIIの場合は、それぞれ1.7mと1.5m地点までバーが形成されることが確認されることから、粒径による砂の広がりパターンと沿岸方向のバーの成長速度には差のあることがわかる。

図-6に、混合砂を用いて行ったCASE IVとCASE Vの場合の地形変化結果を表す。この2つのケースについては、造波30分までには砂の広がりパターンやバーの成長速度に余り差が見られないが、造波60分後には、CASE Vの方が沿岸方向に広くバームが形成されている。

(2) 粒度組成変化

図-7に、CASE IVの時間による汀線の変化と砂の分布及び粗砂(0.85mm以上)混合率分布を時間毎に表す。上から造波10分後、30分後、60分後の結果である。粗砂混合率は0.85mmのふるいを用いてふるいわけを行い、0.85mm以上の粗砂と0.85mm以下の細砂の重量を計測することより得た。CASE IVで用いた混合砂の中で0.85mm以上の割合は僅か10%ぐらい(図-2参照)でその割合が低いケースである。まず、造波10分後からみると、汀線から岸沖方向の1.9m~2.2mまでのテラス前面部では粗砂の割合が大体10~20%であり、1.7m~1.8m区間では粗砂混合率が10%以下である。また、1.4m~1.6mの区間では20%~40%で粗砂混合率が高く、1.0m~1.3mの区間では10%~30%の粗砂の割合が認められる。そして、海岸線方向に成長していくバーにおける粗砂混合率は、テラス中央線から海岸線方向へ行くほど低くなるが、海岸線方向の1.4m地点での割合が10%~20%で元の試料より粗砂混合率が高い。

造波30分後の結果からみると、テラス前面部での粗砂混合率は10%~20%であり、テラス中央部では10%以下である。また、テラス中央部より岸側については、汀線の岸側では粗砂混合率が10%以下であるが、その沖側では10%~30%である。そして、海岸線方向には殆どの地点での粗砂混合率が10%以下であるが、テラス中央線から海岸線方向の1.5mまでの区間についてはバーの粗砂混合率が10%~30%ぐらいである。

造波60分後の結果からみると、テラス前面部での粗砂混合率が高くなり、テラス中央部では粗砂混合率が低くなる。また、テラス中央部より岸側については、汀線の岸側では造波30分後と粗砂混合率がほぼ同じであるが、その沖側では粗砂混合率が高くなっている。そして、海岸線方向については、殆どの地点での粗砂混合率が10%以下であり、造波30分後の粗砂混合率とあまり差はない。

図-8に、CASE Vの時間による汀線の変化と砂の分布及び粗砂混合率分布を時間毎(造波10分後、30

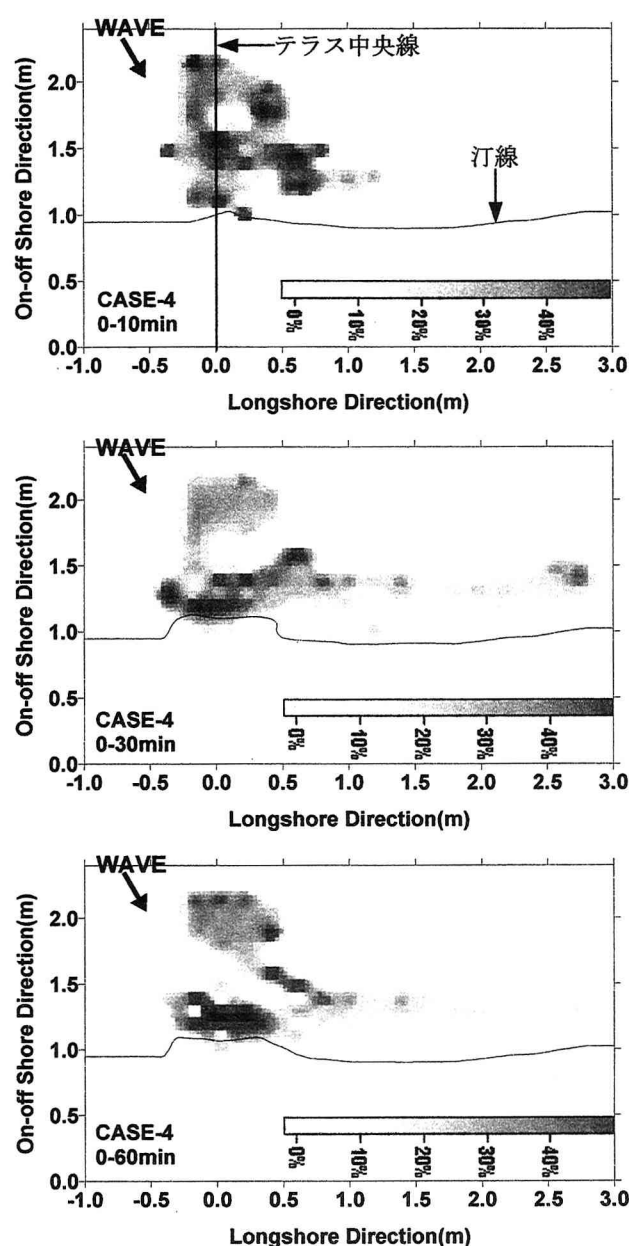


図-7 粗砂混合率分布の変化(CASE IVの場合)

分後、60分後)を表す。CASE Vで用いた混合砂の中で0.85mm以上の割合は約22%である。このケースにも岸沖方向については、CASE IVの結果のように、沖側のテラス前面部の粗砂混合率は高くなり、テラス中央部では粗砂混合率が低くなる。また、テラス中央部より岸側についても、CASE IVとほぼ一致する変化の傾向がみられる。

しかし、海岸線方向については、CASE IVと同様に殆どの汀線付近の地点での粗砂混合率が10%以下であるが、テラス中央線から約1.8mまでの区間においてバーの粗砂混合率は、CASE IVに比べ高い。

以上のことと岸沖方向のテラス中央線の断面変化結果(図-3参照)から、時間がたつほど沖側のテラス前面部での粗砂混合率は高くなり、バーが岸側に移動するにつれてバームの沖側斜面には粗砂が、岸側

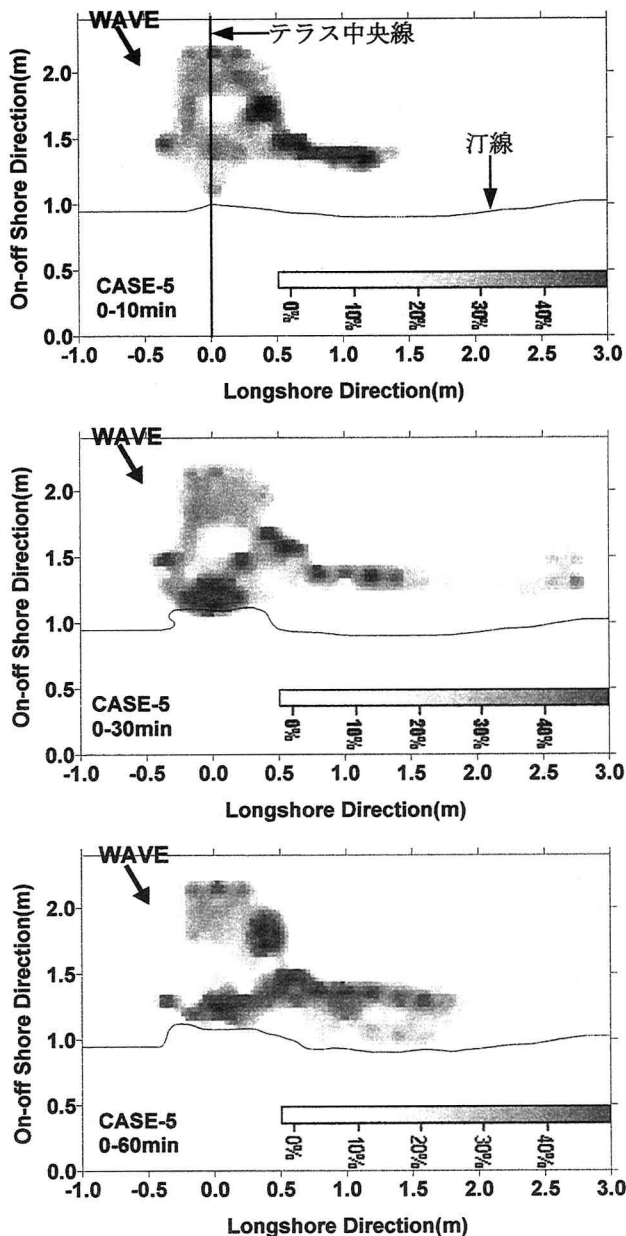


図-8 粗砂混合率分布の変化(CASE Vの場合)

斜面には細砂が堆積することによりバームの沖側斜面には粗砂混合率が高くなり、岸側斜面には粗砂混合率が低くなる傾向が2つのケースともみられる。

しかし、海岸線方向については、CASE IVの場合、造波30分以降、粗砂混合率の変化が殆どないことに比べ、CASE Vの場合は、造波30分以降にも砂の広がり活発に進行されるため、海岸線方向に沿ったバーの2.0m以上の地点では粗砂混合率が10%以下の地点が多いが、2.0m以下のバーの沖側地点では初期テラス地形から沿岸流によって運ばれた粗砂が堆積し、粗砂混合率が20%～40%の地点がみられる。海岸線方向には、粗砂の種類によって砂の広がり速度や範囲、分級による粗砂混合率の差がみられ、今後混合砂の海岸線方向分級過程の正確な解析を行うためには、細・粗砂の粒径や混合割合の異なる場合

の実験を行う必要がある。

4. 結論

本研究では、河口前面テラスの変形過程を、均一砂と混合砂を用いて、実験を行った。また、地形変形過程とその過程で発生する粒度組成変化を確認した。本研究の重要な結論は以下の通りである。

- 1) 砕波帯付近にバーが発生されが岸側へ移動するにつれて、汀線付近のバームに取り込まれ、汀線より岸側に砂が堆積していく。
- 2) 岸沖方向には、砕波後の流れにより洗堀地形の背後に徐々にテラスから供給された砂が堆積し、沿岸方向には、砕波帯のバーと汀線付近に成長していくバーム地形が形成される。
- 3) 粒径によってバーの広がりパターンと沿岸方向のバーの成長速度・高さには差がある。
- 4) 混合砂の場合、岸沖方向には、バーが岸側に移動するにつれてバームの沖側斜面には粗砂混合率が高く、岸側斜面には粗砂混合率が低くなる傾向がみられる。岸沖方向に比べ海岸線方向については、粗砂の種類によって砂の広がり速度や範囲、分級による粗砂混合率の差がみられる。

参考文献

- 1) 田中仁，秦恵敏：出水時における河口前面でのテラス形成過程の計算，海岸工学講演会論文集，vol. 40，pp. 476-480，1993。
- 2) 宇多高明，鈴木忠彦，大石守伸，山本雅彦，大谷靖郎：竜洋海岸の侵食実態と河口テラス縮小の影響，海岸工学講演会論文集，vol. 41，pp. 476-480，1994。
- 3) 宇多高明，松田英明：雄物川河口に見る河口沖テラスと河口砂州の形成・消失の相互関係，海岸工学講演会論文集，vol. 42，pp. 566-570，1995。
- 4) 伊達政直，泉典洋，田中仁：掃流砂・浮遊砂の流出に伴う河口テラスの初期堆積機構，海岸工学講演会論文集，vol. 44，pp. 591-595，1997。
- 5) 須賀堯三，石川忠晴，灘岡和夫，田中仁：河口前面テラスの形成とその削長，土木学会論文集，vol. 381，pp. 227-230，1987。
- 6) 田中正博，井上亮，佐藤慎司，磯部雅彦：粒径混合砂を用いた大型海浜断面実験と粒径別漂砂量の算出，海岸工学講演会論文集，vol. 47，pp. 551-555，2000。
- 7) 宇多高明，松田英明：雄物川河口に見る河口沖テラスと河口砂州の形成・消失の相互関係，海岸工学講演会論文集，vol. 42，pp. 566-570，1995。

(2002. 9. 30受付)