

三角州の形成に潮汐が与える影響に関する実験的研究

A laboratory study of the delta formation under influence of ebb and flow

北海道大学大学院工学院教授 正員 泉典洋 (Norihiro Izumi)
北海道大学大学院工学院 ○学生員 会沢里鶴 (Rizu Aizawa)

1. はじめに

河口部には河川上流から運ばれてきた土砂が堆積し、様々な特徴的な地形が形成される。特に波や潮汐によって沖合に運ばれる土砂が、河川上流から供給される土砂より大きい場合、河口部は土砂の堆積が進まず干潟が形成される。一方、河川上流から供給される土砂が卓越すると河口デルタが形成される。本研究では、第一段階としてデルタの形成メカニズムを明らかにし、その後潮汐をかけた場合の河口デルタの形成や干潟の維持機構について、実験を行うことによって明らかにする。

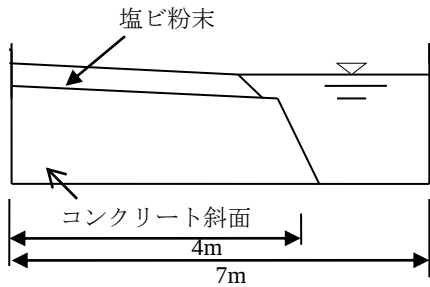
2. デルタ形成における実験方法

実験は2つのシリーズから成り立っている。

シリーズⅠは、Case1～3の実験から成り立っており、同シリーズにおける実験機構を示す。シリーズⅠは、Fig.1に示すような、長さ7m、幅5mの矩形水槽を用い、水槽部はそれぞれ縦断方向に所定の勾配で、コンクリートの上に塩ビ粉末を敷いた。上流側から給水と給砂を行った。給砂材料は底床材料と同じである。

Fig.1 実験装置(シリーズⅠ)

<断面図>



<平面図>

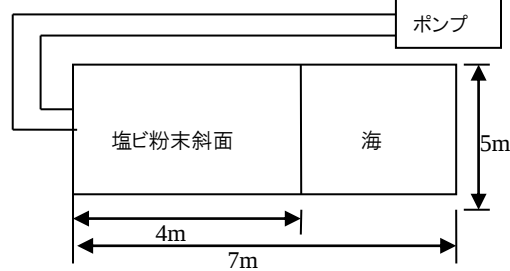


Table1 は Case1～3 における水理条件を要約したものである。

Table1

Case	Q_{w+s} (l/min)	Q_s (l/min)	Q_d (l/min)	I
1	17.5	0.2	5	1/400
2	17.5	2	5	1/400
3	17.5	4	3	1/400

ここで、 Q_{w+s} は上流側タンクへの水と粒子の混合供給量、 Q_s はバケツ内への粒子供給量、 Q_d はタンクから斜面に供給される水と粒子の混合供給量、I は斜面の勾配を表している。

Case1～3 における、給水と給砂の方法について紹介する。

上流側から給水と給砂を行うために、容量 70l のバケツを水槽の外部に設置し、そのバケツの中に水中ポンプを入れ、上流側へと引き上げた。バケツの中には、水 70l と所定の値の粒子を入れ、水と粒子が一定の割合で供給されるように攪拌機でかき混ぜている。また、粒子が軽く水中で浮遊してしまうため、界面活性剤も投入した。35l まで水が減り次第、水 35l、粒子を所定の値の半分量供給した。

Case1 は論文を参考にして、水：粒子の割合が 600:1 になるように値を設定し、砂面全面を用いた。水面の位置は砂面の終端位置である。

Case2 では、実験のスケールを小さくすれば短時間で堆積しやすいと分かったため、粒子を盛って幅を 2m とし、給砂量を 2l とした。水面は、Case1 同様砂面の終端位置に設定した。

Case3 では、上流側約半分的位置まで粒子を盛り、強制的に河川を 1 本作った。給砂量を 4l、排出量を 3l/min とした。また、水面の位置を、斜面の下流側から約半分的位置まで上昇させた。

シリーズⅡは、Case4 及び 5 から成り立っており、シリーズⅠとは大幅に実験方法を変更した。Case1～3 を踏まえて、給砂における濃度の変動が激しい上に給砂の効率が悪いという問題点が浮き彫りになったためである。

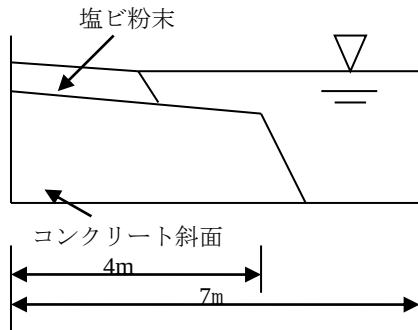
まず、シリーズⅠからの変更点のうち Case4 及び 5 に共通する点を次に示す。

給砂を上流側から直接行った点、給水用ポンプを水槽に入れ、給水を水槽から行った点、斜面の勾配を 1/100 にした点、そして斜面に敷いた粒子のうち、下流側半分を底床のコンクリートが見えるまで削り取り、強制的に段差を作

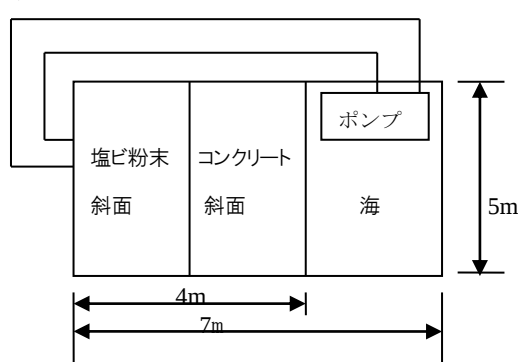
った点の4点である。また、通水中には、水槽の下流側から約3m、かつ上方約2mの位置に設置したカメラで1分ごとにデルタを撮影し、デルタの拡大過程を観察した。実験装置をFig.2に示す。

Fig.2 実験装置(シリーズⅡ)

<断面図>



<平面図>



次に Case4 及び 5 の詳細な説明に入る。

Case4 では、粒子を直接上流側のタンクに、3l/min のペースで供給した。ホースからの排出量は 1l/min とした。

Case5 では、粒子を上流側の側壁に積み上げ、流水が粒子を自然に削り取って流れるようにした。水面の位置を斜面の下流側約半分的位置まで上昇させた場合(Ⅰ)と、斜面の終端位置に合わせた場合(Ⅱ)の 2 パターンで実験を行った。

3. 潮汐の影響がない条件下でのデルタ形成実験の結果

シリーズⅠでは、デルタを形成することができなかった。形成できなかった原因を Case ごとに示す。

Case1 では、斜面が深く洗掘しただけで、粒子が堆積しなかった。原因として、流水速度が速く、かつ粒子供給量が少なかったため、粒子が堆積することなくの海へ流されてしまったからであると考え。また、勾配に対するスケールが大きかったことも原因の一つに挙げられると考える。

Case2 も Case1 とまったく同様の結果に終わった。

Case3 では、粒子が堆積した微地形を確認することができた。しかし、デルタが拡大していく様子はなく、また給砂された粒子と底床材料との見分けがつかず、堆積が進んでいたとしても視覚的に分かりにくかった。

次にシリーズⅡにおける実験結果を示す。

Case4 では、小規模ではあるが初めてデルタを観察することができた。以下に拡大過程を示す。

Fig.3

通水直後、流れは噴流のように前進した($t=3\text{min}$)。

やがて、堆積が進むにつれて流れは広がるようになり、デルタの前縁部は円弧状に膨らんだ($t=7\text{min}$)。

その後、分岐した流路が形成されたことによって流れが集中し、その方向に堆積が進んだ($t=9\text{min}$)。

やがて流路床が上昇すると、再び流れは広がるようになった。このとき薄いシート状の流れは、デルタを左右対称に保つような流れだった($t=14\text{min}$)。

その後も、流路の分岐と薄いシート状の流れを交互に繰り返した。しかし、ある一定の方向にしか流路が形成されず、かつデルタも若干拡大した程度だった($t=132\text{min}$)。

これまでの実験でデルタが形成されなかった主な原因として、粒子の性質、給砂方法、給砂量の圧倒的な不足、斜面の利用方法、そしてデルタの性質の理解不足が挙げられる。塩ビ粉末は軽量で、水中で浮遊してしまうため、水と混合されにくい。また給砂方法も濃度を一定に保つことができない上に効率的でないという点からも、手動で粒子を供給するには限界があると考えた。そのため Case5 では、粒子を予め上流側の側壁に盛っておき、水が自然に粒子を削り取りながら流れていくように変更した。また、斜面全面に粒子を敷いてしまうと、粒子が流れ出るところがすぐに急斜面となってしまい、粒子が堆積しなかった。そのため、斜面の下流側約半分の粒子を取り除き、デルタの形成過程が視覚的に見やすいように工夫した。

Case5 におけるデルタの拡大過程を、Ⅰ、Ⅱ同時に、次に示す。

通水初期、薄いシート状の流れが拡大していき斜面を覆った(Ⅰの $t=14\text{min}$ 、Ⅱの $t=10\text{min}$)。

やがてシート状の流れが拡大しきると、シート状の流れを保つことができなくなり、分岐流路が形成され、流れが集中し始めた。流れが集中したため、その流下方向への堆積が活発になり、デルタが前進拡大していった。この段階では、分岐流路が形成されたことによって、デルタの左右対称性は失われた(Ⅰの $t=29\text{min}$ 、Ⅱの $t=20\text{min}$)。

一定方向への堆積が進むと、やがてデルタ前縁部での土砂輸送能力が低下し、デルタの前進が停止する。すると、堆積が上流側に向かって遡上するため、流砂は堆積が進んでいない部分に流れようとする。そのため、分岐流路が変遷し、その変遷した流路の流下方向へデルタの前進が始まった。この段階でも、デルタの左右対称性は失われていた(Ⅰの $t=184\text{min}$ 、Ⅱの $t=40\text{min}$)。

しばらくして、ある程度デルタが拡大すると、河床が上昇し、流れは再び斜面を覆う薄いシート状の流れに戻った。このときシート状の流れは、デルタの突起を無くし、左右対称性を保とうとする性質を持っていた(Ⅰの $t=288\text{min}$ 、Ⅱの $t=80\text{min}$)。

その後も集中した流れとシート状の流れを交互に繰り返しながら、デルタを拡大させていった(Ⅰの $t=297\sim 708\text{min}$ 、Ⅱの $t=101\sim 282\text{min}$)。

Case5 では、土砂量が多いが流水量が少なく、海の波も静かな条件で実験を行ったため、外形が円弧状のデルタが形成された。以下 Fig.3、Fig.4 に、それぞれ(Ⅰ)(Ⅱ)におけるデルタの拡大経過のデータを示す。



t=14min



t=29min



t=184min



t=288min



t=297min



t=708min

Fig.4



t=10min



t=20min



t=40min



t=80min



t=101min



t=282min

4.潮汐の影響がある条件下でのデルタ形成実験の結果

潮汐の影響は、自動制御装置によって与えることができ

る。水位上昇 3cm で実験を行い、デルタ形成実験と同様に、1枚/minのペースで実験経過を撮影した。以下に、経過の様子を示す。

デルタの表面に、水の流下方向に平行な波状の地形、すなわちウェーブリップル(wave ripple)が現れ始め($t=4\text{min}$)、時間経過とともに、波状地形ははっきりとしてきた。河口部には、堆積物の塊で島のようなものが形成されていた($t=92\text{min}$)。

しばらくすると、水位が上昇する範囲と水位が到達しな

い範囲との境目がはっきりとしてきて、水位上昇域の波状地形が細かくなってきた($t=310\text{min}$)。

水位上昇域の上流側で、波状地形が蛇行し始め($t=604\text{min}$)、しばらくすると、下流側の波状地形にも蛇行が見られるようになってきた($t=1219\text{min}$)。

その後も、水位上昇域でのウェーブリップルがより明瞭になっていった。その際、デルタの前縁部の位置は変化しなかった($t=1441\text{min}$)。Fig.5にデルタの様子を示す。

Fig.5



$t=92\text{min}$



$t=310\text{min}$



$t=604\text{min}$



$t=1219\text{min}$



$t=1441\text{min}$

5. 結論

以上、デルタの形成過程と、潮汐の影響下でのデルタの形成過程について長時間に及ぶ実験を行い、その特性について分かったことを要約すると、以下のようになる。

デルタの形成には、十分量の土砂が供給されること、流量が少ないこと、そして勾配が緩すぎないこと、という条件が必要であるということが分かった。

デルタ形成の初期段階では、流れは斜面を覆う、薄いシート状の流れになる。シート状の流れが拡大し、シート状の流れを保つことができなくなると分岐流路が形成され、流れが集中し始める。その流下方向への堆積が活発になり、デルタが前進拡大していく。一定方向への堆積が進むと、やがてデルタ前縁部での土砂輸送能力が低下し、デルタの前進が停止する。すると、堆積が上流側に向かって遡上するため、流砂は堆積が進んでいない部分に流れようとする。そのため、分岐流路が変遷し、その変遷した流路の流下方

向へデルタの前進が始まる。しばらくして、ある程度デルタが拡大すると、河床が上昇し、流れは再び斜面を覆う薄いシート状の流れに戻る。このように、集中した流れと薄いシート状の流れを交互に繰り返しながら、デルタが拡大していくということが分かった。また、デルタに潮汐の影響を与えると、表面に波状の地形が現れ、時間経過とともに地形が明瞭になるということが分かった。今後はデルタの形状特性を、砂面計を用いて詳細に計測したい。さらに、潮汐の振幅の変化と時間スケールの拡大に伴う、デルタへの影響の違いについても明らかにしたいと考えている。

参考文献

1) Maurits Van Dijk、George Postma and Maarten G. Kleinhans : Autocyclic behavior of fan deltas : an analogue experimental study, *Sedimentology*(2009) 56、1569-1589