

感潮域における水路網形成

The formation of tidal channels

北海道大学大学院工学院 ○学生員 久世晴日 (Haruka Kuse)
 北海道大学大学院工学研究科教授 正 員 泉典洋 (Norihiro Izumi)
 北海道大学大学院工学研究院助教授 正 員 Adriano Coutinho De Lima

1. はじめに

河川上流から運ばれてきた土砂は掃流力が急激に減少する河口において堆積し様々な地形を形成する。また河口域では河川流および潮汐流、波の影響を受けるため、河口地形は複雑なものになる。特に潮汐の影響が大きい場合、タイダルクリークと呼ばれる複雑な水路網に特徴付けられる干潟や湿地が形成され、そのような地形は環境面においても重要であることが知られている。図-1に現地の感潮湿地に形成される水路網を示す。図から、蛇行や分岐を持つ複雑な形状を呈している水路であることがわかる。

近年、沿岸域の開発及び地球温暖化などの人間活動によって感潮域に見られる独特の湿原環境は、減少傾向にある¹⁾。代替処置として人口干潟の造成などが行われているが、底質の流失などにより干潟地形の安定が困難であるなど課題が多い¹⁾。湿地環境の造成及び保全に関する課題の解決という観点から見ても、感潮域の地形変動への理解を深めることは重要である²⁾。

潮汐が地形変化に及ぼす影響を明らかにする研究としては、移動床及び固定床の三次元水理模型実験を行うことにより、人口干潟造成後の潮汐が人口干潟の地形変化に及ぼす影響に関する研究が行われている¹⁾。

また、感潮域の地形変動に関する研究としては、湿地の安定化において、湿地に見られる複雑な水路網は大きな役割を果たしていることがわかっている²⁾。しかし、感潮域の地形に関する研究の中でも水路網の形成過程に特化してアプローチを試みた研究は数少ないのが現状である。また、地形の形成過程は、非常に長い年月がかかるものである上に規模も大きいいため、全容をみるのが容易ではない³⁾。

そこで、本研究では、2種類の実験を行い感潮域における水路網の形成過程に関して考究することを目的とする。まず、干潟模型に潮汐を作用させる実験を行い感潮域の水路網形成が実験室で再現できることを証明するとともに、水路網の形成過程を観察することで地形形成過程シナリオについて考察する。次に条件の異なる実験を行い、考察したシナリオを検討する。実験は変化過程の観察が可能であるため、時空間スケールの大きな地球科学的現象を理解するには、非常に良い方法であると考えられる。



図1 イタリア・ベニス (Google Map より)

2. 水路網の形成実験

(1) 実験の目的

本実験では、感潮域における水路網の形成を実験水槽で再現することを目的とする。

(2) 実験方法

実験水槽に干潟模型を設置して実験を行った。図-1に示すように、移動床干潟斜面 (5m×5m) の勾配を1/100とし、底質として粒径 $d=0.12\text{mm}$ 、粒子密度 $\rho_s=1480\text{kg/m}^3$ の塩化ビニル粉末を用いた。塩化ビニル粉末を用いる理由は底質の移動を容易にするためである。干潟模型の沖側端は勾配の急な斜面とした。実験中に、実験水槽の水深を変化させることによって、潮汐変化を与えた。実験水槽の水深は、実験水槽の底にとりつけられた給排水管からの給水および排水をおこなうことによって調整されている。実験では、水槽にとりつけられた水深計を用いて、満潮時及び干潮時の水位を計測した。なお、実験中は2分おきに地形を撮影した。

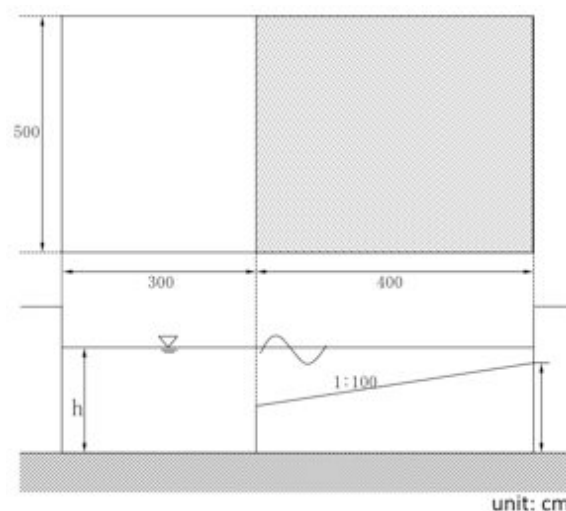


図2 実験装置の概要 (水路網の形成実験)

表 1 実験条件

水位差 (m)	周期 (s)	勾配	粒径 (mm)	粒子密度 (kg/m ³)
0.05	430	1/100	0.12	1480

(3) 実験結果

図-4に水路網の形成・発達過程を示す。図より、干潟模型に水路網が形成されたことがわかる。また、2分おきに撮影した写真をもとに作製した動画からわかる水路網の形成・発達過程を以下に述べる。

実験開始直後(1cycle 後)に、表面からの浸食によって下流端の斜面上の流下方向に幾つもの平行なリルが発生した。また、同時に、干潟沖側端の勾配の急な斜面は階段状に変化し、感潮帯には細かな凹凸が形成された。その後、干満を繰り返すにつれ、最初に形成されたリルのうちの何本かが主要な水路へと成長した。干潟の沖側端は、海岸線に平行な一段の段差になり、感潮帯の凹凸はより大きな凹凸に成長した。実験開始から6時間後(50cycle 後)には、水路網は感潮帯の凹凸とつながるようになり、蛇行や分岐を持つ複雑な形状となった。主要な水路の形成される間隔は30cm程度であった。海岸線に関しては、干満を繰り返すとともに後退が進んだ。

(4) 考察

まず、水路網の形成過程について、考察する。水路網の形成には、大きく3つの段階があると考えられる。1つ目は干潟の沖側端における勾配が急な斜面にリルが形成されることである。これは、干潟の沖側端における勾配が変化及び流速の増加に起因する浸食であると考えられる。2つ目は主要な水路が形成されることである。これは、引き潮時の集水により、地表面からの浸食が進むことで形成されるものと考えられる。3つ目は、主要な水路が成長・発達するにつれて蛇行すること、及び、蛇行した支流が形成されることである。これは、引き潮終盤時、干潟上に残った水が沖まで排水される過程で起こる蛇行ではないかと考えられる。引き潮終盤時に干潟上に残っている水は、凹凸地形の凸部分と凸部分の間をぬうようにして(凹部分だけを選んで)流れ、主要な水路へとたどり着き沖へと排水されると予想されるため、その過程で蛇行した水路が形成されるのではないかと考えられる。また、干潟の沖側端の斜面が階段状に変化する過程に関しては、浸透流の流失によって引き起こされる現象ではないかと考えた。

次に、感潮帯に形成された凹凸地形に関して考察する。最終地形の写真から、感潮帯全域において、凹凸地形は凸の部分が岸側を向いているという特徴があることがわかる。干潟模型上の地形変化は主に潮汐による底質の移動によって起こるものと考えられるが、凹凸地形の形成に関しては、形成された地形の特徴から、引き潮による底質の移動よりも、満ち潮による底質の移動の方が支配的であったと考えられる。すなわち、実験にて観察される潮間帯における凹凸地形は、満ち潮時に形成された地

形であると予想される。また、その形状が似ていることから、河床地形の複列砂州と同様な地形ではないかと予想される。また、複列砂州は幅の広い河川に形成される地形であることから、満潮時のみ、複列砂州が形成される条件を満たしていると考えられる。干潮時には集水が起こるために、満潮時に形成された砂州が消えずに満潮時ごとに成長していったのではないかと考えられる。

最後に、最終的に形成された水路網の形状に関して考察する。最終地形の水路網形状は、蛇行や分岐を有している複雑な形状ではあるものの、現地の感潮湿地に形成される水路網にみられるような急な蛇行は観察されなかった。これは、底質が非粘着性であったためではないかと考えられる。実験において、現地のような急な蛇行を再現は、底質を粘着性の強い材料に変えてさらなる実験を行うことで得られるのではないかと考えられる。また、水路の形成される間隔は30cm程度であったが、水路の形成間隔に関しては、決定要因となるパラメータは未だに解明されていない。満潮時の水位に比例して、形成間隔が決まってくることが予想されるが、予想を確認するには、満潮時の水位を様々に変えてのさらなる実験が必要とされる。

以上の考察を検討するためにさらなる実験を行った。次の実験では、引き潮時の集水を防いだ実験を行った。

(干潟上に幅の狭い領域を作った上で実験を行う。)以上の考察で述べた予想が確かであれば、水路網の形成に関しては、集水が起こらないため、主要な水路は形成されないことが予想される。また、凹凸地形に関しては、満ち潮時に砂州が形成されたとしても、引き潮時に集水がおきないため、引き潮時の流れに消されてしまい最終的には砂州(凹凸地形)の形成は観察されないことが予想される。



(a) 1cycle



(b) 2cycle



(c) 6cycle



(d) 50cycle

図 3 水路網の形成・発達過程

3. 実験

(1) 実験の目的

本実験では、実験を通して、水路網の形成過程の観察および、最終的に形成された水路網の観察を行うことで、以下の2つの予想について考察することを目的とする。

- 1) 水路網の形成実験で観察された主要な水路の形成は、集水に起因するものである。
- 2) 水路網の形成実験で観察された主要な水路の蛇行、及び、蛇行した支流の形成は、凹凸地形の影響によるものである。
- 3) 水路網の形成実験で観察された凹凸地形は河床に形成される複列砂州と同一のものである。

(2) 実験方法

実験水槽の概要図を図-5に示す。本実験では、予備実験と同様の実験水槽の干潟上に板を平行に設置することにより、干潟の中に幅の狭い細長い領域を作って、引き潮時の集水を防いで実験を行った。細長い領域の幅は、200cm、30cm、15cm、4cmとした。その他の条件に関しては、干潟斜面の勾配、底質、沖側端、潮汐の周期及び振幅は、すべて水路網の形成実験と同様の条件下で実験を行った。また、実験中は、水槽にとりつけられた水深計を用いて、満潮時及び干潮時の水位を計測し、2分おきに地形を撮影した。

(3) 実験結果

図-6に各幅の条件下での実験において、形成された地形を示す。まず、それぞれの幅において形成された地形について述べる。幅 200cm の実験ケースにおいては、水路網の形成実験と同様の水路網及び凹凸地形の形成が確認された。幅 30cm の実験ケースにおいては、凹凸地形に関しては、形成は確認されなかった。水路に関しては、細くくると蛇行した水路の形成が確認された。15cm のケースにおいては、凹凸地形の形成は確認されず、複雑な模様の形成が確認された。水路に関しては、かなり薄く細いものが形成された。4cm のケースにおいては、水路網の形成及び凹凸地形の形成の両方が見られなくなった。幅 15cm のケースで見られたような複雑な模様の形成は確認されなかった。

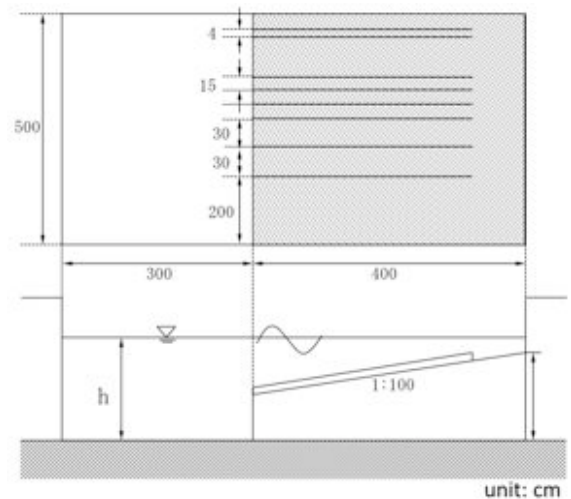
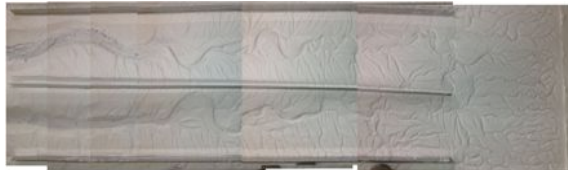


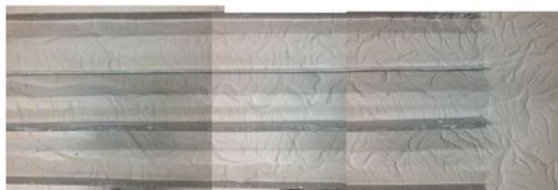
図 4 実験装置の概要



(a) 200m



(b) 30cm



(d) 15cm



(e) 4cm

図 5 形成された地形

(4) 考察

まず、水路の形成に関して考察する。領域の幅が200cm から30cm と狭くなるにつれて、形成される水路が細くなっていき、15cm になると水路は形成されにくくなり、4cm になると水路は完全に見られなくなったことから、川幅が狭くなるにつれて水路は形成されにくくなる傾向があることがわかる。

次に、凹凸地形の形成に関して考察する。領域の幅が200cm のケースでは形成が確認されるが、30cm 及び15cm のケースでは、形成が確認されない。このことから、凹凸地形の形成においては、領域の幅が重要であり、ある程度以上の幅を持つことが地形形成に必要であることがわかる。河床地形である複列砂州の形成条件として、水深に比べて十分に川幅が広いことが挙げられるが、凹凸地形の地形形成に、凹凸地形が複列砂州と同一の地形であり、領域幅を狭くすることで、複列砂州が形成されるために必要な条件が満たされないために形成されなか

ったと考えることができる。

最後に、実験結果に対してたてた予想に関して考察する。領域の幅を狭くするにつれて、水路及び凹凸地形が形成されなくなっていることから、水路の形成及び凹凸地形の形成には、領域幅が重要であることがわかる。

以上より、この実験結果は、感潮域に形成される水路網の形成要因は、初期段階で形成される干潟表面の凹凸が水路網形成の要因になっているという予想及び感潮帯に形成される凹凸地形は複列砂州であるという予想を支持するひとつの結果となり得ると考えられる。

4. まとめ

今回の研究は、感潮域に形成される水路網の形成要因は、初期段階で形成される干潟表面の凹凸が水路網形成の要因になっているという予想及び感潮帯に形成される凹凸地形は複列砂州であるという予想を支持するひとつの結果となり得るだろう。

5. 今後の予定

今後は、感潮域において潮汐によって形成される水路網の形成機構を対象に線形安定解析を行い、干潟表面の初期擾乱が時間とともに発達し、水路網形成につながる条件の解明を試みる。初期の凹凸地形は、さまざまな場面で観察される現象であるが、成因の定説はない。今回行った実験を工夫していくことでメカニズムの解明も進むことが期待できるかもしれません。

6. 参考文献

- 1) 許 東秀, 牛木賢司, 高木祐介, 岩田好一郎: 人口干潟の地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第50巻, 1221-1225, 2003.
- 2) 岩崎 理樹: 感潮域に形成される水路網に関する研究, 博士論文, 2013
- 3) 目代 邦康, 野田 篤, 田村 亨, 中澤 努, 角井朝昭, 中島 礼, 井上 卓彦, 利光 誠一: 水と砂を使った地層・地形の実験, 地質ニュース, 627号, 35-39, 2006.