

自然的攪乱後の人工干潟の物理環境の自立的再生過程とその予測モデルに関する研究

復建調査設計株式会社 正会員 ○高橋俊之
広島大学大学院工学研究科 非会員 野村 毅
広島大学大学院工学研究科 正会員 陸田秀実
広島大学大学院工学研究科 正会員 土井康明

1. はじめに

自然・人工干潟の構造と機能を考慮した長期的な安定性の評価および維持管理方法は、現在でも試行錯誤的に行われ、それらの技術的課題は多い。自然干潟は、台風などの大きな自然的攪乱によるダメージを受けても短い場合には数ヶ月、長くても数年をかけて自律的に回復することが知られている。一方、人工的に再生された干潟が、台風のような大きな自然的攪乱を受けた後、どのようなダメージを受け、どのように自律的の回復に向かうのか、もしくは、自律的の回復をしないのか等については、全く不明であるため、長期的安定性の評価および維持管理方法に対する検討は全くされていないのが現状である。

そこで、本研究では、過去 20 年に亘り極めて安定的な干潟を維持している尾道市海老地区の人工干潟を対象として、現地観測および著者らが開発した N 分散相二流体シミュレーションモデルによって、台風ダメージ後の人工干潟の物理環境が自律的に再生するメカニズムを明らかにすることを目的としている。

2. 現地観測と数値計算方法

観測対象干潟は平成元年に造成された尾道市海老地区人工干潟（約 16ha）であり、過去 20 年の間、地形・粒度組成の物理環境が安定であり、かつ、生物環境も豊かな人工干潟の一つとして極めて貴重な人工干潟である（図-1）。観測期間は、台風来襲前の 2006 年 8 月および台風来襲直後の 2007 年 8 月～11 月とした。観測項目は、流向・流速、波高を連続計測するとともに、底質調査および地形測量を行った。また、シルト・粘土分の流出・堆積過程を調べるために、図-2 に示すような観測干潟中央付近に試験区画（2m×2m×0.6m）

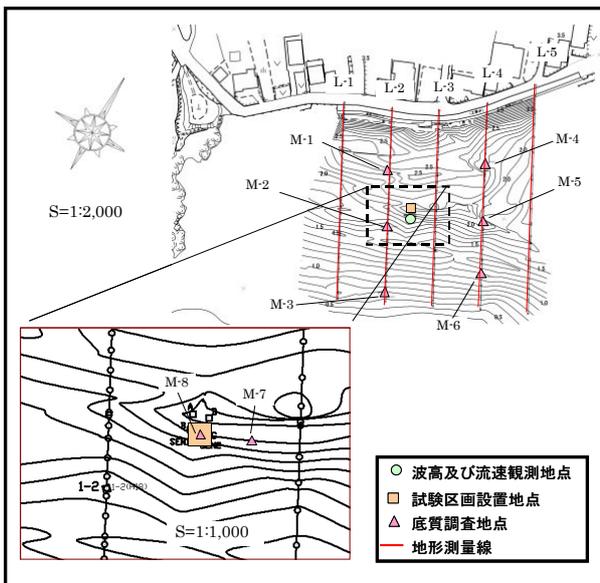


図-1 観測対象とした尾道市海老地区人工干潟

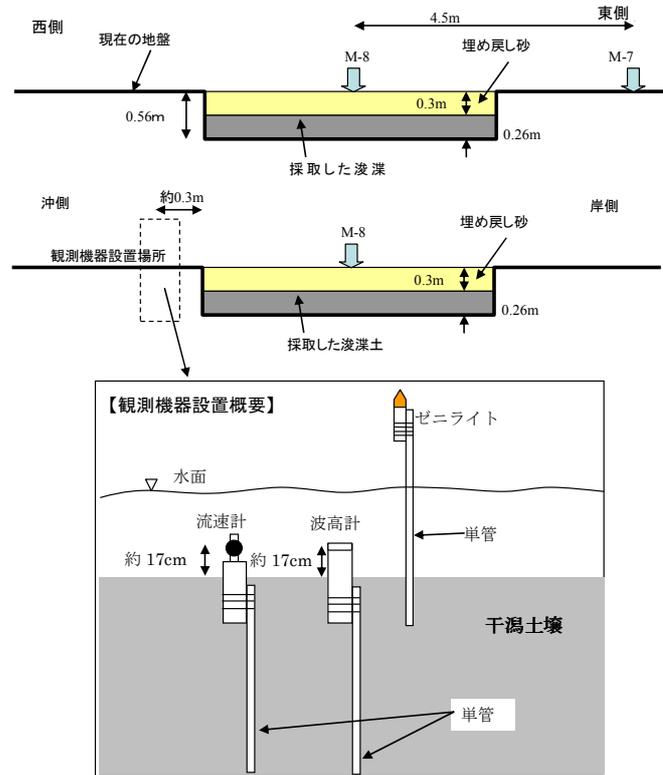


図-2 試験区画の概要図と観測機器の設置図

を設け、粒度組成の鉛直分布を調べた。なお、この観測期間中の台風は1個であり、2007年8月3日午前3:00頃に最も接近していた。また、干潟の流動・地形・地下水・土壌の粒径別挙動を統一的に取り扱うために、ニュートン流体とビンガム流体を構成式とするN分散相二流体方程式を導出し、数値予測シミュレーションモデル^{1)~3)}の開発とその適用性を検証した。

3. 観測結果と計算結果

図-3は、対象干潟の地形測量の地盤高結果を基に、月毎の地形変化の空間分布を示したものであり、赤領域は地盤高の増加傾向、青領域は地盤高の減少傾向を示している。台風直後は岸側で地盤高が増加し、中央の顕著な凹域を含めて沖側で地盤高が大きく減少している(図-3(a))、その後1ヶ月経っても減少傾向が続いていた(図-3(b))。これは、台風ダメージ後、侵食地形と外力(波浪・潮流)による力学バランスが崩れ、一層侵食傾向の強い干潟の物理環境へと遷移してしまったことを意味している。約2ヵ月後には地盤高は増加傾向に転じ(図-3(c))、やがて、干潟全域で増加・回復傾向(図-3(d))となることが分かった。これらの傾向は、試験区画の干潟粒度組成の月別変化(図-4)においても確認された。さらに、対象干潟中央部における岸沖流速を調べたところ、侵食傾向の時期では沖向き流速が卓越するものの、堆積傾向の時期のそれは弱くなり、台風前の流速とほぼ同等になることも確認された(図-5)。このことから、この干潟は台風攪乱直後しばらくは侵食傾向が続くものの、波浪・潮汐と地盤高との力学バランスが徐々に回復することで、沖向き流速が減少するとともに、土壌堆積傾向が強まり、わずか数ヶ月で台風ダメージ前の干潟地盤(地形・粒径)へと、自立的に回復する事実が明らかとなった。

次いで、現地観測で明らかとなった干潟地盤の自立的再生過程を再現することが可能な数値シミュレーションモデルを構築し、その再生メカニズムについて考察を行う。本シミュレーションモデルは、著者らがこれまでに開発したモデル^{1)~3)}にビンガム流体の考え方^{4)~5)}を新たに導入し、図-6に示すモデル地形に適用した。計算においては、南側境界において、振幅1.0m、半日周期の水位変動を外力として与え、計算期間は15日間とした。土壌の初期設定においては、土壌粒径区分を3種類とし、粒径は細砂0.5mm、シルト0.075mm、粘土0.005mmとした。モデル地形における領域1と領域2はそれぞれ砂泥質、泥質を想定し、領域2は周辺の領域1の土壌面よりも50cm深く設定し、領域2の地形変化及び粒度変化状況をモニタリングした。

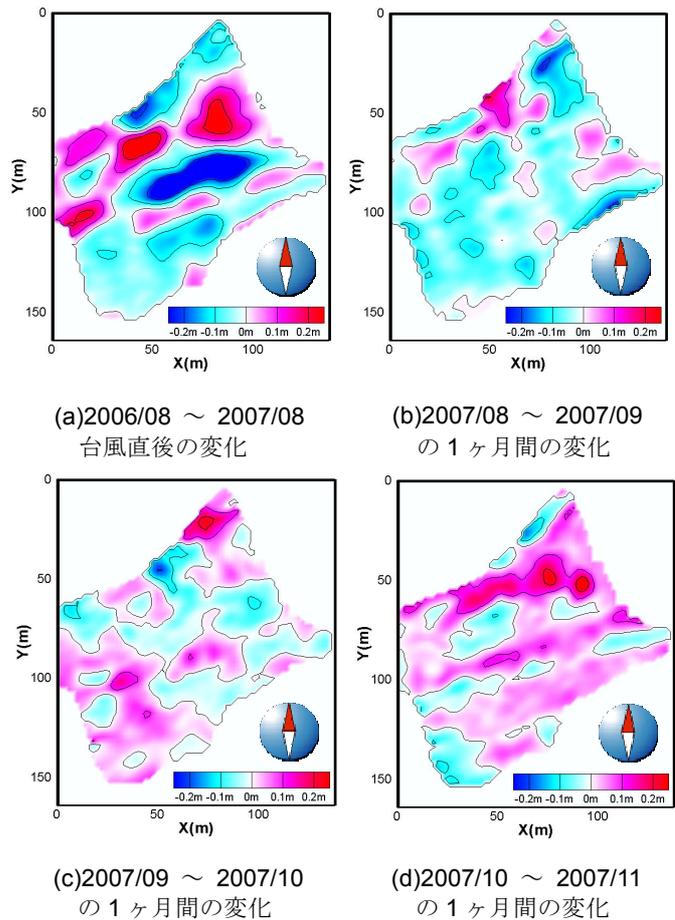


図-3 地盤高の増減傾向からみた干潟地形の変化(観測結果)

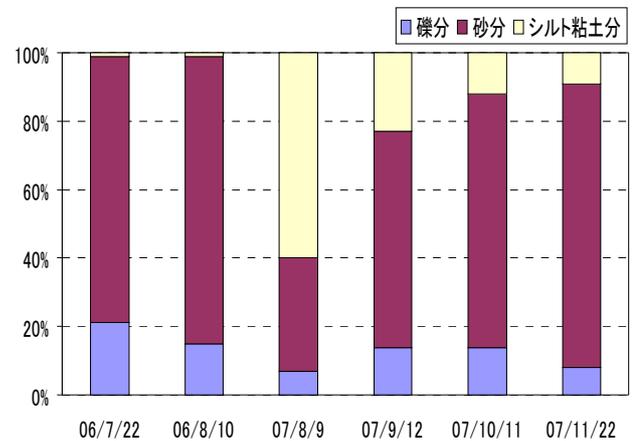


図-4 台風前後の粒度組成の変化(観測結果)

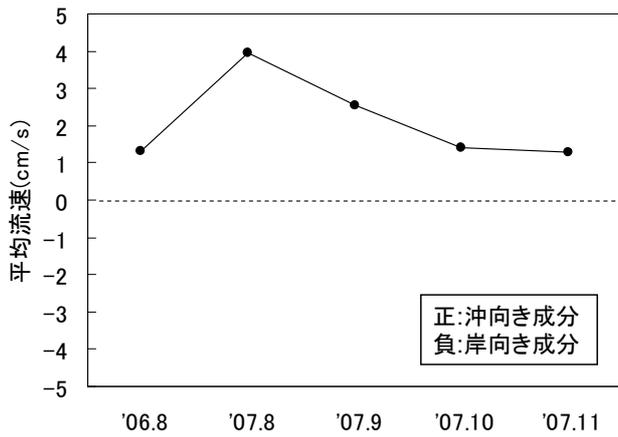


図-5 台風前後の岸沖平均流速の変化（観測結果）

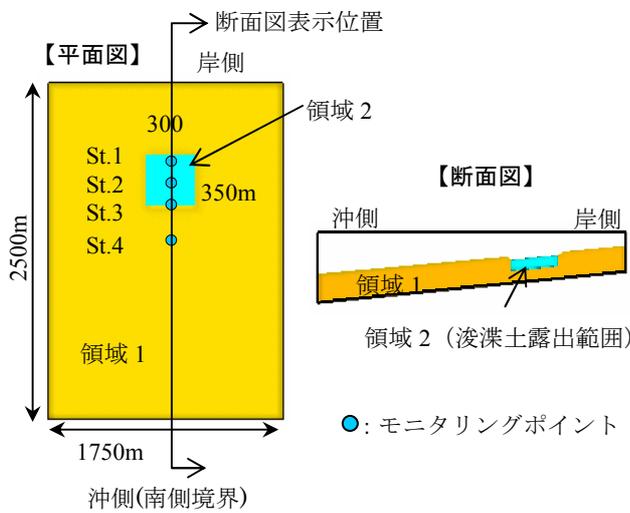
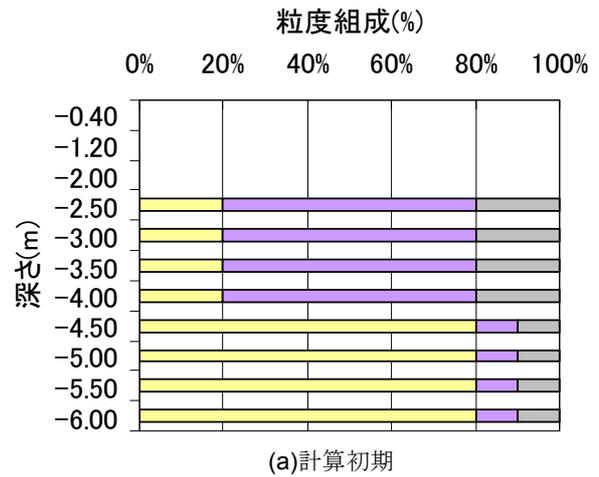
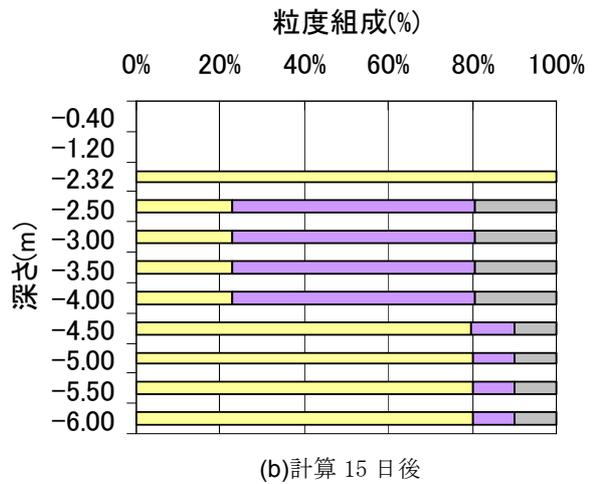


図-6 モデル地形の諸元とモニタリングポイント



(a)計算初期



(b)計算 15 日後

図-7 干潟の自立的再生過程における深度方向の粒度組成の変化と地盤高の回復（N 分散相二流体モデルによる計算結果 St.3）

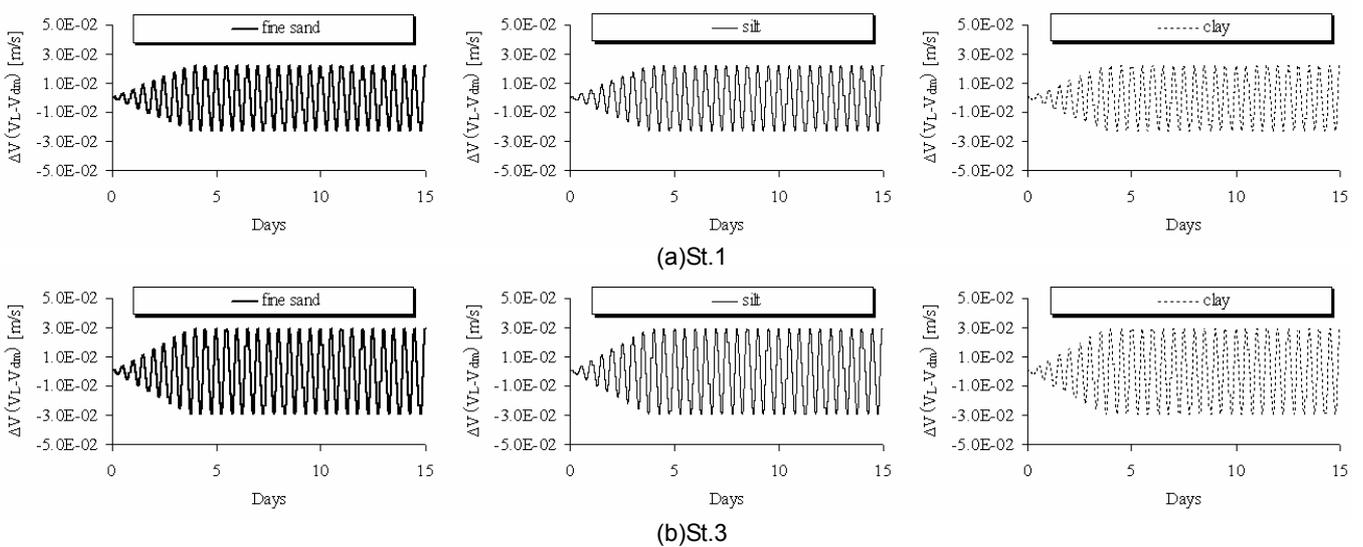


図-8 土壌面における液相と粒子分散相の岸沖方向流速差 $\Delta V (=V_L - V_{dm})$ の時系列変化

計算結果より、約 15 日後には初期干潟面上に周囲から土壌が混入し、細砂で構成される新たな土壌面が形

成され、周辺の細砂を主体とした土壌が初期干潟面を覆う結果となった（図-7）。また、計算初期の地盤高は-2.5mであったのに対して、計算 15 日後には 18cm 程度の回復が見られた。これらの計算結果は観測結果と定性的に同じ傾向であることから、本数値予測モデルは妥当な結果を得ているものと考えられる。なお、図-8 は St.1 及び St.3 での液相流速と粒子分散相流速の速度差の時系列変化を示しており、沖側の St.3 ほど相対的に流速差振幅が大きくなっている。すなわち、沖側ほど流体抵抗が粒子分散相に対して大きくなるため、分散相流速は小さくなる方向に働くこととなる。一方、St.1 では St.3 よりは相間相互作用項の影響が相対的に小さくなることから、沖側よりも地形や土壌物性の影響を受けた挙動を示すこととなる。

4. おわりに

自然的攪乱後（台風通過後）の干潟地盤の自立的再生過程の解明とその数値予測モデルを開発することを目的として、現地観測および数値計算法を構築した。以下に主要な結論をまとめる。

- (1) 本研究で対象とした人工干潟は台風攪乱直後しばらくは侵食傾向が続くものの、波浪・潮汐と干潟地形との力学バランスが徐々に回復することで、沖向き流速が減少するとともに、土壌堆積傾向が強まり、わずか数ヶ月で、台風ダメージ前の干潟地形・粒度組成へと自立的に回復する事実が明らかとなった。
- (2) ニュートン・ビンガム流体を仮定した N 分散相二流体モデルに基づく干潟域の流動及び粒径別土壌挙動解析手法を構築した。本モデルは、現地で観測された侵食域への砂の堆積現象及び粒度変化を定性的に再現可能であり、今後の干潟設計における粒度や地形変化を予測する上で、有効なツールとなり得ることを示した。

参考文献

- 1) 高橋俊之・新井 洋・陸田秀実・土井康明 (2006a) : N 分散相二流体モデルに基づく干潟土壌の粒径別挙動及び地下水面の数値解析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.1016-1020.
- 2) 高橋俊之・新井 洋・陸田秀実・土井康明 (2006b) : N 分散相二流体モデルに基づく干潟土壌の粒径別挙動及び地下水面の数値解析, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.1016-1020.
- 3) 陸田秀実, 高橋俊之, 土井康明 (2005) : N 分散相二流体モデルに基づく干潟の流動・地形変化の数値解析, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.431-435.
- 4) 藤田 学, 牛島 省 (2005) : 固体粒子により影響を受けるビンガム塑性流体の数値解析手法, 第 19 回数値流体力学シンポジウム B5-1, pp.1-5.
- 5) 渦岡良介 (2000) : 地盤の液状化発生から流動までを予測対象とする解析手法に関する研究, 岐阜大学学位論文.