

東予港における土砂移動 メカニズムの検討について

松山港湾・空港整備事務所 工務課 狩野 将之
松山港湾・空港整備事務所 保全課 豊島 健太

東予港では海底土砂移動による航路内の土砂堆積が船舶の航行の支障となる可能性があることから、土砂移動メカニズムを解析しているところである。本稿では、東予港において過去に発生した異常気象による海底土砂移動のメカニズムを把握した上で、海象条件（潮流や波浪）による海底地盤変化シミュレーションを実施し、その再現性を検証した結果について報告する。

キーワード 環境, シミュレーション

1. はじめに

東予港（図-1）は、四国で唯一、大阪港とのフェリー航路が毎日就航しており、四国をはじめ全国各地の企業が利用する広域的な物流ネットワークの拠点である。当事務所においては、貨物量の増加と船舶の大型化に対応するとともに、大規模地震発生時の緊急物資輸送拠点を確保するため、平成26年度から耐震強化岸壁を有する複合一貫輸送ターミナルの整備を進め、航路部の拡幅を残し、平成30年8月にターミナルの供用を開始した。そのような中で、整備中の航路部では土砂移動による堆積が発生した経緯があるため、現在は、対策として航路部を深掘りしてフェリーの安全運航を確保している。

本稿では、東予港において過去に発生した台風による海底土砂移動のメカニズムを把握した上で、海象条件（潮流や波浪）による海底地盤変化シミュレーションを実施し、その再現性を検証した結果について報告する。

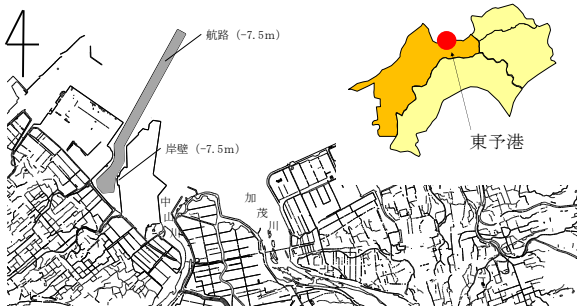


図-1 東予港位置図

2. 現地調査結果

東予港では、土砂移動メカニズム解析のため、過年度を含め深淺測量、底質調査、潮流調査を実施した。

（表-1）（図-2）

表-1 調査項目等

項目	内容	実施時期等
深淺測量	航路における堆積状況を把握するため	H30.9～R1.7
底質調査	底質の分布特性や水深との関係について把握するため	H30.10
潮流調査	深淺測量期間における河川流量・土砂流入及び波浪について整理するため	H26.8 H30.9

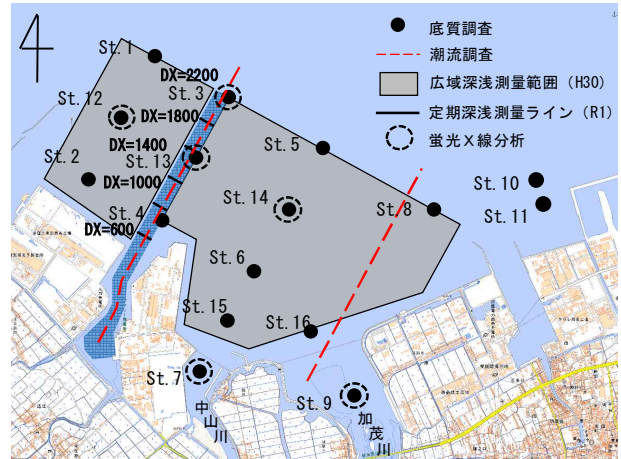


図-2 現地調査位置

(1) 深淺測量

航路東側河口前面から航路の西側海域まで広域に深淺測量を実施した。また、異常気象時の航路への土砂堆積状況を把握するため、400mピッチで横断測量（5測線）を実施した。

その結果河口付近には土砂が堆積し、干潮時には広大な干潟が発生する地形であり、河口付近から沖の方向に徐々に深くなっていく地形であることが確認できた。

（図-3）

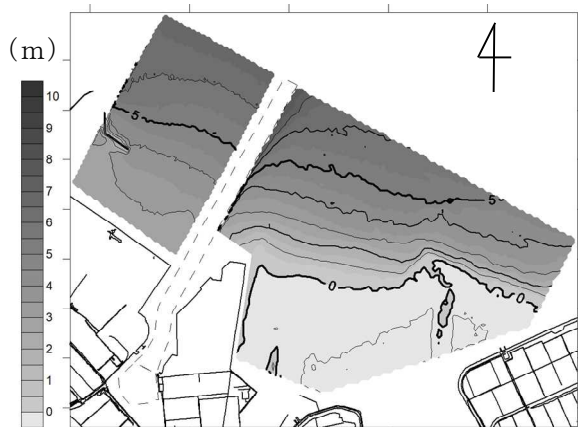


図-3 深浅測量結果

(2) 底質調査

底質調査によって得られた試料をもとに、粒度分析試験及び蛍光X線分析試験を実施した。粒度試験結果から河口付近には砂が多く、航路付近にはシルトや粘土の細粒分を多く含んだ土砂が堆積していることが確認できた。(図-4) また、蛍光X線分析試験結果から河口部と航路周辺海域における底泥の元素含有量が同様であることが確認できた。(図-5)

以上の結果から、河口から供給された土砂のうち、軽いシルト分が沖まで流されたことによるもので、河川が土砂の供給源と推定される。

※蛍光X線分析試験とは、底泥の元素含有量(Si、Fe、Al、Kなど)を測定するものである。

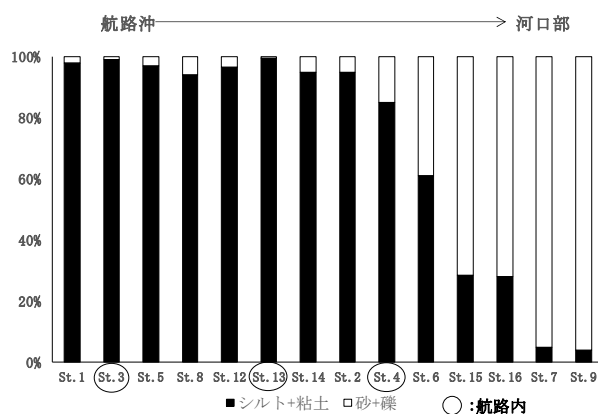


図-4 底質調査結果

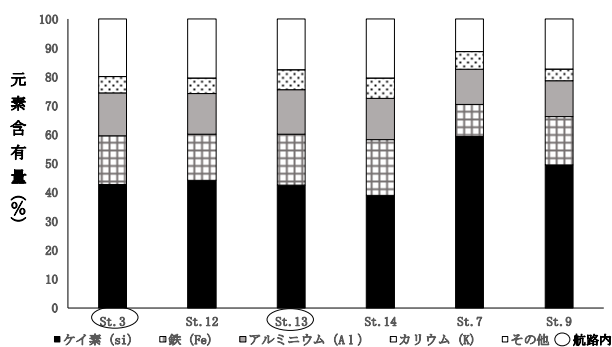


図-5 蛍光X線試験結果

(3) 潮流調査

現地潮流観測をもとに、潮流シミュレーションを行い、航路部周辺海域の潮流状況を再現した。再現結果から、常時潮流時(波高0.4m)は、上げ潮、下げ潮が航路を横断するように流れていることが確認できるが航路に大きな堆積が生じるほどではないと考える。(図-6)

また、平成30年台風24号を再現した波浪時(常時潮流+波高3.2m)では、海岸線に沿って顕著な海浜流が発生し、航路に向かって流れが強くなることが確認できる。

(図-7) これは、当該地区は北東方向に開けており、北東方向の風が吹くと東予港に至る海上は遮るものがないため、波高も高くなると推定される。

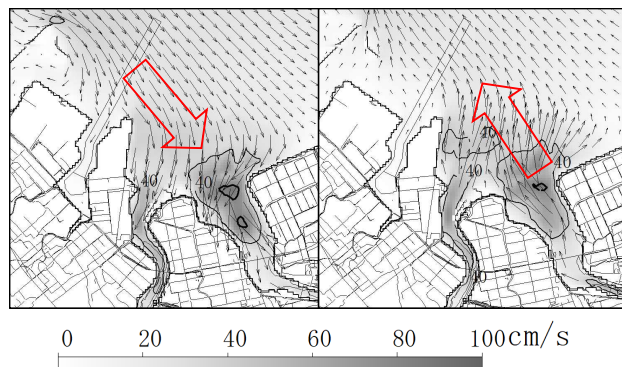


図-6 シミュレーションによる常時潮流時の流速分布
(左：上げ潮時、右：下げ潮時)

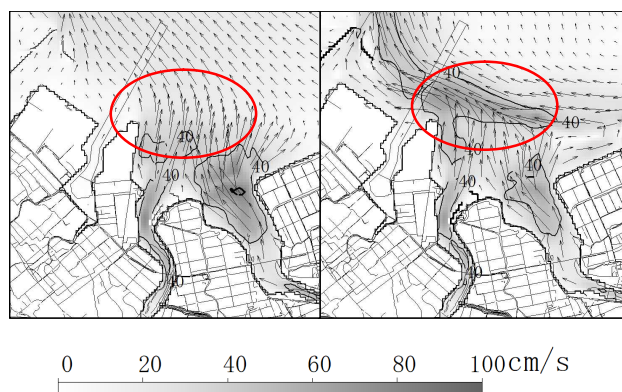


図-7 シミュレーションによる波浪時の流速分布
(左：上げ潮時、右：下げ潮時)

3. 土砂移動メカニズム

前述より、当該海域の土砂は、シルトや粘土の細粒分を多く含んだ土砂であり、波浪によって海中に巻き上げられ、潮流で流され航路に沈降することが確認できたが、(図-8) 常時の潮流だけでは、数日から数週間の短期間の堆積量は小さい。ただし、潮流は常に存在するので年間堆積量においては大きな要因になり得る。また、河川から航路に直接流入する土砂量は小さいものの、航路東側の河口部へ定常的に土砂が供給され、堆積の供給源となっているため、波高が高くなったときに、航路への堆積が生じている。よって、航路西側よりも東側の方が供

給源としての影響が大きくなっている。航路部の土砂移動のメカニズムは、河川から土砂が河口部に堆積、それが波浪による巻き上げや潮流・海浜流により輸送されると考えられる。（図-9）

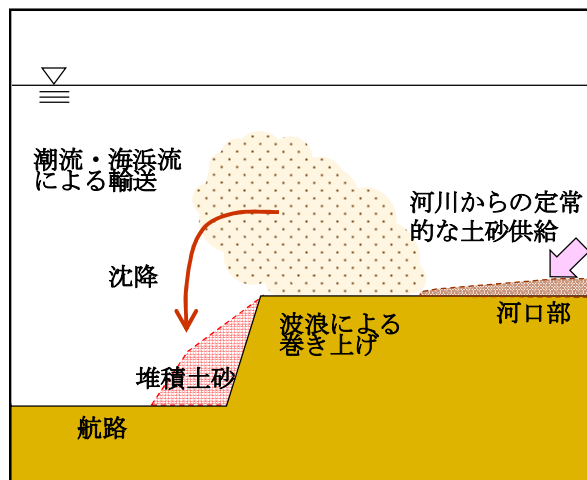


図-8 土砂移動メカニズム（断面図）

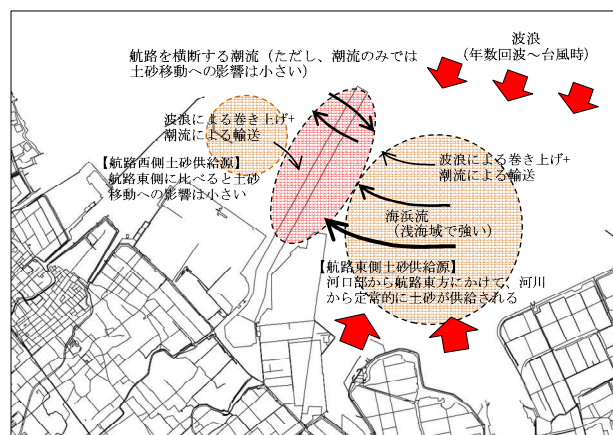


図-9 土砂移動メカニズム

4. 観測結果と再現計算結果の比較

前述した土砂移動メカニズムを踏まえ、シミュレーションにより、年間堆積量を算出した。

年間堆積量＝a. 潮流による堆積
＋b. 年数回の波浪による堆積

- 常時ケースによる15日間の堆積厚を24倍することで、年間堆積量に変換し、年間5cm未満の結果となった。
 - SMB法により、算出した波高1.6m、周期4.4秒の波浪を年数回の波浪と設定（25時間）し、年間を通して、徐々に堆積が生じる結果となった。
- a、bより、航路中央部に平均16cm程度（最大25～30cm程度）の堆積が生じているが、1mの余掘によって安全運航を確保している。

前述したことを踏まえ再現性の検証を行い、堆積厚の観測結果と再現計算結果を比較した。

令和元年の観測結果と再現計算結果によると、航路中央部であるDX=300はほぼ一致しているものの、DX=600では計算値が過大に、その他の測線では計算値が過小となった。（図-10）この結果より、観測結果と再現計算結果に乖離があるため、シミュレーションの条件等を見直すことにより、再現性の精度を向上させることが課題としてあげられた。

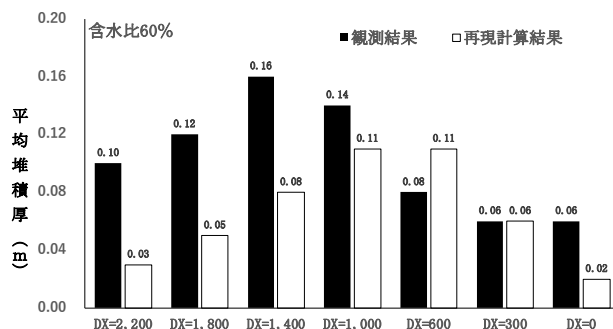


図-10 観測結果と再現計算検証結果の比較
（令和元年台風10号）

5. シミュレーションの精度向上

(1) 含水比分布の設定

前述した、粒度分析試験結果及び土砂移動メカニズムより、河口部、沖合部、航路内においては含水比には違いが見られ（図-11）、図-4と関係を見ると、砂や砂礫分が多い河口部では含水比は低く、シルトや粘土分が多い沖合及び航路内では含水比が高い傾向となっている。したがって、シミュレーションに用いる含水比を一様に設定するのではなく、地点ごとに異なる含水比を設定することにより、シミュレーションの精度向上を試みた。そこで、地点ごとの含水比を設定するために、最大流速と含水比の関係より含水比を推定することとし、相関関係を確認した。（図-12）図-12を見ると、St. 11の値が土質と含水比の関係からも異常値であると判断できるため、St. 11の値を除外した相関式を用いて含水比を推定した。（図-13）

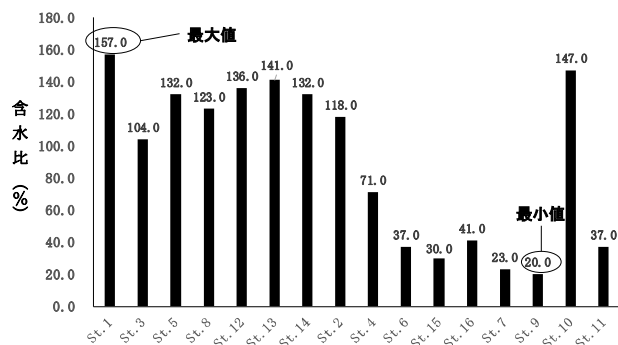


図-11 底質調査による含水比試験結果

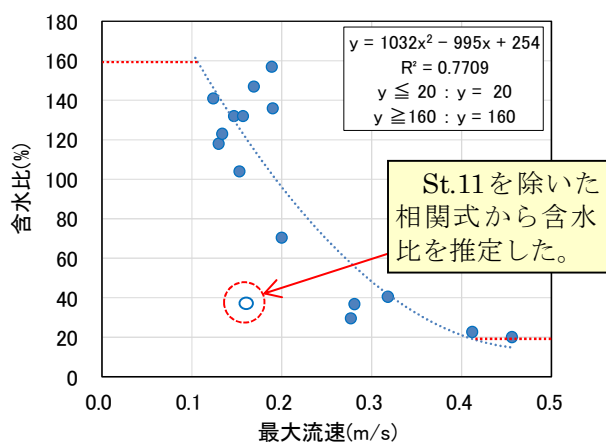


図-12 含水比と最大流速の相関関係

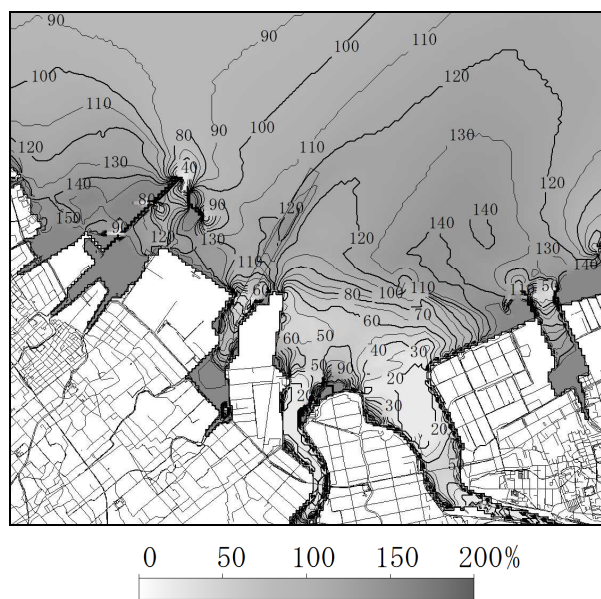


図-13 推定した含水比分布

(2) 水平渦拡散係数の設定

地形の勾配に応じた堆積土砂の移動は、底泥の巻き上げ・沈降で表現するのは困難であるため、水平渦拡散係数の設定を行い、航路内の土砂の移動を間接的に表現することにした。図-13のとおり推定した含水比分布条件、水平渦拡散係数を10～50倍に大きくすることで、測量結果の全体的な再現性が向上することを確認した。ここでは、40倍が最も再現性が高いと判断した。
※水平渦拡散係数とは、水質や濁り（濁水流入や底泥の巻き上げ等）を扱うシミュレーションでは必ず使用するものであり、一般的な数値はおおよそ1～1,000m²/s（目安）となる。本検討では初期設定で10m²/s程度であったものを10～50倍にて感度分析を行ったものである。

(3) 再現性の検証

(1) 含水比分布の設定、(2) 水平渦拡散係数の設定を反映したシミュレーションの実施より航路中央付近で堆積

厚が大きく、陸側で小さくなるという観測結果の傾向を再現できるようになり、東予港における修正した再現計算モデルの妥当性を確認した。（図-14）

また、精度向上前と後における観測結果と再現計算結果の堆積厚の差（絶対値）の最大値を比較したところ、精度向上前は8cm、精度向上後は4cmとなっており、一定の精度向上が確認された。（図-15）

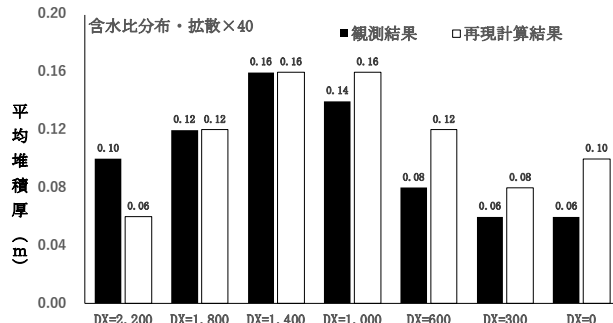


図-14 観測結果と精度向上後の再現計算検証結果の比較（令和元年台風10号）

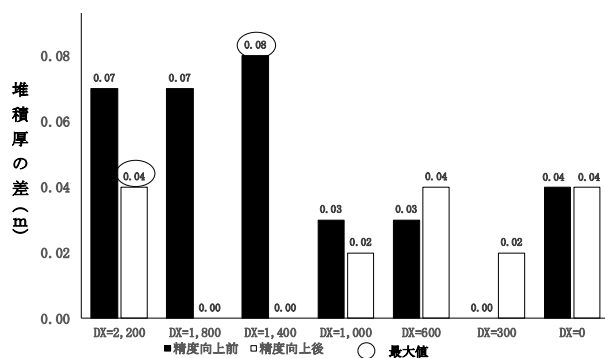


図-15 観測結果と精度向上前後における再現計算検証結果の堆積厚の差

6. まとめ

本検討において、航路部への土砂移動は主に出水期等の河川からの流入土砂の河口付近への堆積、異常気象時の波浪による堆積土砂の巻き上げ、潮流や波浪時の海浜流による巻き上げた土砂運搬の3つの要素が重なることによって発生するというメカニズムが確認できた。

また、シミュレーションにより数値解析を行い、現地調査によって得られた含水比等の地域特性を考慮することによって再現性が向上し、東予港における再現計算モデルを構築した。

今後、本モデルを使用して土砂移動に伴う航路への堆積量を予測・評価し堆積防止対策の検討を進めていく。対策については、長期的な土砂移動を考慮し、ライフサイクルコストや費用対効果も含め検討していく必要があると考えているため、次の機会は堆積予測及び堆積防止対策の検討について報告したいと考えている。