

1. 調査研究の概要

研究目的 本研究では、鳥取県が実施している砂浜海岸復元と港内堆砂抑制等の事業に対して、鳥取の地域特性に適合した新技術・新工法を広く調査・分析するとともに、恒久的なサンドリサイクルシステムの実現性や有効性について調査、評価・分析を行うことを目的としている。

研究期間 平成24年8月22日（共同研究契約日）から平成25年3月27日

研究項目 本研究では、コスト低減や地球環境保全に配慮した新たなサンドリサイクルシステムの鳥取県への導入可能性に関する調査研究を行う。今年度は以下の各項目を実施する。

1. サンドポンプによるサンドリサイクルシステムに関連する最新技術・工法に関する国内外の情報収集と、その技術・工法に係る整理（必要な場合は、先進現場視察を実施）
2. 鳥取県の地域特性に適合したサンドポンプの市場性調査とポンプの稼働能力の推測、堆砂・侵食抑制の効果についての評価分析
3. 県下の沿岸域の地形特性を考慮した風況シミュレーションと風力発電の実施可能性評価
4. 鳥取沿岸の波浪ならびに漂砂特性から見た効率的なサンドリサイクルの評価および適用条件の設定・検証
5. その他、サンドポンプ利用による漂砂制御とコスト縮減に向けた技術的検討、地元企業での施工・管理の実現性の検証、生態系等の自然環境への影響評価と従来方式との比較を前提としたライフサイクルコストの算出・分析（たとえば5年、10年、50年など）や、多方面への応用に係る分析（例：発電施設設置における売電収益等）や試験施工の実施に係る概算費用の積算などのほか、県及び鳥取大学双方が必要と認める事項があれば、両者協議のもとでこれを実施する。

研究組織 調査研究，分析は，以下の組織で実施する．

氏名	所属等	役割	専門分野
松原雄平	鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻・教授	研究統括と県内での風力 発電可能性に関する調査	沿岸環境評 価，風力
宮近幸逸	鳥取大学大学院 工学研究科 機械宇宙工学専攻・教授	サンドポンプの機能性，効 率性評価	機械 歯車機構
黒岩正光	鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻・准教授	鳥取沿岸の港湾漁港にお ける漂砂特性評価	海岸漂砂
太田隆夫	鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻・准教授	鳥取沿岸の来襲波浪特性 に関する評価	海洋波浪
金 珠烈	鳥取大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻・助教	大気モデルに依る鳥取沿 岸での風況評価	風況と高潮 分析
澁谷容子	京都大学防災研究所・研究員	鳥取沿岸の漂砂特性に関 する評価	海岸漂砂

その他 本研究は，鳥取県と鳥取大学が共同実施するものであり，研究組織は上記のとおりであるが，同県は環境立県推進課，河川課および空港港湾課等との連携のもとに実施し，技術企画課が総括する．

2. サンドポンプの機種と機能および砂輸送における留意点

本研究では、恒久的なサンドリサイクルとしてサンドポンプによる土砂輸送システムを想定しており、鳥取県の砂浜特性に合致したサンドポンプを特定するために、浚渫・圧送に関する技術調査ならびにサンドポンプの機種、機能に関する調査を行った。また、砂輸送における留意すべき事柄について示している。

2.1 浚渫・圧送技術の調査と抽出

現在、各国で実施されているサンドバイパス・サンドリサイクルに関する技術・システムは、船舶に搭載されたクラムシェルや水中ポンプで浚渫しバージやパイプラインで輸送する方法、陸上からバックホウで掘削しダンプトラックで運搬する方法、栈橋やクローラクレーンに取り付けた器具で土砂を採取し圧送する方法、等が一般的である。現時点までに、オーストラリアやアメリカ合衆国で実施されているサンドバイパスのシステムは、砂の輸送量が数万～数十万 m³/年に及ぶ大規模なものであり、鳥取県で実施されているサンドバイパス・サンドリサイクルの事業規模に比較して過大なものである。

このため、中小規模の土砂搬送に良好な適用性を有し、しかも低コストである浚渫・圧送技術について国内外の技術を調査し抽出した。なお、従来用いられている、クラムシェル・バックホウによる浚渫方法、ならびにダンプトラック・バージによる搬送技術については調査の対象外とした。

2.1.1 浚渫技術

国内外の技術調査を行った結果、適用可能な技術は、1) オーストラリア東部の Noosa Main Beach (ヌーサ メイン ビーチ) で用いられている Sand Shifter (サンドシフター)、2) アメリカ・欧州などで用いられている Sand Ejector (サンドイジェクター) (Eductor (イデュークター) という呼称も使われている)、3) 水中ポンプによる方法、4) バックホウのアタッチメントとして稼働させる方法、5) 主として波浪の小さい内水域で用いられている浚渫・空気圧送システムに分類される。以下にそれらの詳細を示し、表 2-1 に整理した結果を示す。

I. Sand Shifter (サンドシフター)

オーストラリア Noosa Main Beach (ヌーサ メイン ビーチ) で適用されている Sand Shifter (サンドシフター) は、オーストラリア Slurry System Marine (スラリー システム マリン) 社が開発した技術であり、2012 年春より稼働 (本格稼働は 2013 年 2 月) している。採取方法・使用機材は以下である。

- (1) 別途設置した給水ポンプで取得した海水を、延長 15m の Sand Shifter (サンドシフター) から砂浜に下方に噴射して流動化させる。
- (2) システムの一端である漂砂の下手側には小型の Sand Ejector (サンドイジェクター) ポンプが据え付けられており、砂はパイプライン内へ吸上げられ輸送される。
- (3) 砂が吸い上げられた部分では砂面は低下し、システム全体が砂浜中に沈降することに

よりさらに Sand Shifter (サンドシフター) の中央部に砂が集まりやすくなる。

- (4) 延長 15m の Sand Shifter (サンドシフター) 2 機を用いて、1 度に 2,000m³ 程度の浚渫が可能であり、40,000-80,000m³/年のサンドリサイクルを実現している。
- (5) 砂のスラリー化と輸送には小型の Sand Ejector (サンドイジェクター) を用いるが、広範囲の砂浜の土砂を効率的に集める工夫が施されている。
- (6) 現在、夜間電力を活用して自動運転することで低コスト化を図っている。採取部分の設備自身は比較的小さく軽量であるだけでなく、海岸における大規模な取付け工事のための特殊な施設を用意する必要がなく、採取場所の状況によっては移設や増設が可能である。

II. Sand Ejector (サンドイジェクター)

Sand Ejector (サンドイジェクター) は、オーストラリア・アメリカ合衆国・欧州において広く利用されている浚渫技術であり、オーストラリア Tweed River (ツイード リバー) におけるサンドバイパスでは、巨大な栈橋に 10 数基の Sand Ejector (サンドイジェクター) を固定して大規模な浚渫を実施している。同様な大規模施設は、アメリカ合衆国・南アフリカ・日本 (静岡県 の 福田漁港・浅羽海岸サンドバイパスシステムでは 2012 年 9 月から試験運転開始) などでも実用化されている。この技術の中心部分である Ejector (イジェクター) ポンプは、従来、粉体などをスラリー化して輸送するための技術である。その採取のメカニズムを以下に示す。

- (1) 別途設置した給水ポンプから供給された水は、Ejector (イジェクター) 本体の両側部の 2 本の配管を通過し先端部に送られる。
- (2) うち一方の加圧された海水は、先端部の Fluidizing Nozzle (フロイドジング ノズル) から下方に噴射され、その周辺の砂を流動化させる。もう一方は、先端部から上方に向けられ、Nozzle (ノズル) から噴射されてその周辺の砂を水と勢いよく混合させスラリー化される。
- (3) 噴射された水はその勢いのまま Mixing Chamber (ミキシング チャンバー) 方向にスラリーを運び、吸い込みパイプラインで輸送される。
- (4) 幅広い砂質に対応することができるが、別途比較的大きなポンプ設備が必要であり、エネルギー効率が低い点などの課題もある。
- (5) 陸軍工兵隊の資料によると、Indian River Inlet (インディアン リバー インレット, アメリカ合衆国) で利用されている Sand Ejector (サンドイジェクター) (能力 180m³/時間) は、1 基 4ton の重量がある。器具周辺の砂の採取が可能であるが、何箇所かの砂を広範囲に採取するために、クローラクレーンで吊下げて移動させている。クローラクレーンにより Sand Ejector (サンドイジェクター) を用いて土砂の採取を行うシステムは Cap Breton (キャップ ブレトン, フランス) などでも利用されているが、吊下げ重量が大きく堅固な足場の確保が必要であり、トラッククレーンでの作業が困難であり、クレーン本体の組立てや作業時の機械足場の確保など、砂浜において適用する際には課題が多い。

Ⅲ. 水中サンドポンプ

水中サンドポンプによる浚渫は、広く国内外で実施されている。以下に作業手順や特徴を示す。

- (1) ポンプでくみ上げる海水の10%程度の土砂を浚渫・汲み上げて輸送することが可能で、土砂の性状ならびに土量によって、さまざまな機械の選定が可能である。礫などについても吸引部分にフィルターを追加することで対応しやすい。
- (2) 取水ポンプと同時に別途小規模なポンプを取り付け、ジェット水流をポンプの下方に発生させて土砂の流動化を図って土砂の採取能力を検証したものである。試験結果によれば、同規模の浚渫を行う場合に、Sand Ejector（サンド イジェクター）と同等以上の性能を有している。
- (3) 別途土砂を流動化させるポンプが不必要なためエネルギー効率は比較的高く、さらに水中に没しているため騒音についても他の工法よりは軽減できる。Sand Shifter（サンド シフター）のような砂を効果的に集める技術と併用することで、小規模ながらエネルギー効率よく土砂を採取することが可能である。
- (4) 再生可能エネルギーの利用も容易である反面、土砂輸送時には管径の大きな配管が必要なため、移動などの取り扱いには十分注意が必要である。また、ウインチなどで移動させる際には、断面の大きなワイヤーを利用することが考えられ、切断時の事故などにも十分注意が必要である。

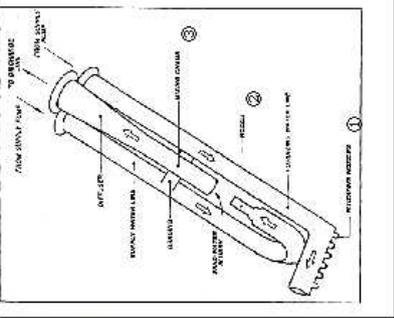
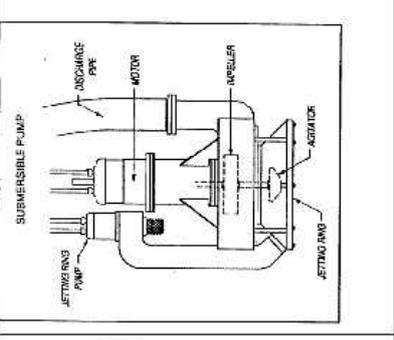
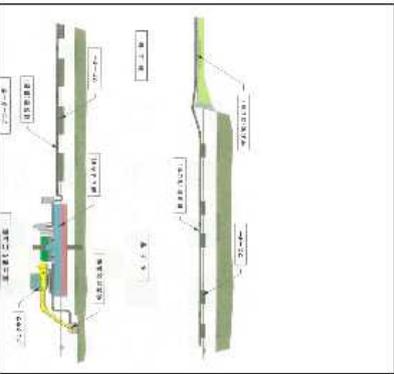
Ⅳ. バックホウ取付け型

バックホウに取付けるアタッチメント型の浚渫方法は、国内外で多く利用されている。土砂の汲上げ輸送方法は水中ポンプによる方法と同じであるが、浚渫場所の状況変化に対する対応が容易であることが利点である。国内においてすでにさまざまなアタッチメントが開発されており、海外でも多くの事例がある。また、用途に合わせて、電機・油圧・圧搾空気などのエネルギーを活用することができる（一般的には電気）。作業時の機械足場の確保が重要であるとともに、バックホウのエンジンによる騒音などが検討課題である。

Ⅴ. 浚渫・空気圧送システム

浚渫・空気圧送システムは、多くの内水面において実績がある工法である。土砂の採取部分は、これまで説明したポンプやバックホウアタッチメント型浚渫方法、クラムシェルなどで浚渫した土砂に、コンプレッサーで圧縮した空気を混合させ、土砂圧送まで一度に行う方法である。この方法は、内水面や港湾内で波浪の小さい水域での活用は可能であるが、サンドバイパス・サンドリサイクルを行うような水域では、砕波帯内での船体の保持が難しい。コンプレッサーの運転ならびに排出先での空気噴出による騒音が課題である。

表 2-1 砂採取技術の比較

採取技術	Sand Shifter	Sand Ejector	水中サンドポンプ	バックホウ取付型	浚渫・空気圧送システム
<p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ポンプで加圧された水により、砂浜の砂を流動化させて終端部の Ejector により採取、圧送する。(Ejector は右側参照)。 全長 15m のシステムで、1 回の運転で周囲の 2,000m³ の砂を集めることができる。 Noosa 海岸では、180m³/hr の浚渫を實現している。 採取時にできた穴に、波浪の作用により砂を集めて再圧送する。 <p>※ 補足図-1、補足図-2 参照</p>	<p>Sand Ejector</p> <p>高速で水を吹き込むことで周辺の砂などを配管内に取り込み圧送する。粉体などをスラリ-化して圧送するために用いられる。</p> <p>下の図は、陸軍工兵降が Indian River Inlet で利用するために開発されたもので、下部にジェット水を噴出し、砂を流動化させるノズルが噴出している。</p> <p>例：Indian River Inlet で使われているもので、長さ 6m、配管 10 インチ、重量 4t、415m³/hr。</p>	<p>水中サンドポンプ</p> <p>サンドポンプにより、海水と同時に砂を吸い上げる。海水のみ上げ量の 10% 程度の砂の吸い上げが可能。</p> <ul style="list-style-type: none"> 異物混入などにも対応できる。土量などによりポンプ選定が容易である。 下の図は、陸軍工兵降が実験したもの(日本製)で 150kw のサンドポンプに別途 5kw 程度のポンプを取り付け、吸い上げ部から下向きにジェット水を放出して砂の流動化を図ったもの。 例：配管 10 インチ、150kw ポンプ、重量約 3.6t、574m³/hr。 	<p>バックホウ取付型</p> <ul style="list-style-type: none"> バックホウにアタッチメントとして取り付けたポンプで、砂を吸い圧送する方法。 掘削する砂の種類(ヘドロ~礫)、圧送距離、動力(油圧、圧搾空気、電気)などにより、さまざまな方法が、世界中で開発されている(日本製が最も多様な製品がある)。 NETIS 登録された技術などもある。 	<p>浚渫・空気圧送システム</p> <ul style="list-style-type: none"> 台船上に据え付けた浚渫装置で掘削した砂を、空気で圧送する。 浚渫方法は、対応砂の性状によって選択することができ、一般にバックホウなどの先端に取り付ける。 閉鎖水域や港湾内での浚渫に主に利用されている。 砂分が多い場合には、海水を土量の 2~3 倍送る必要がある。 	
<p>図または写真</p> 					
<p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> 小さなシステムで広範囲の砂を採取できる(1回稼働 2,000m³)。 小さな移動の必要がない。 騒音が軽微である。 再生可能エネルギーが利用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 幅広い砂の性状に対応可能。 多少の礫などもくみ上げ可能。 技術が成熟している。 再生可能エネルギーが利用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 輸送する砂の量、輸送距離によって多様なポンプから大きさを選択できる。 エネルギーは少ない。 振動騒音は少ない。 再生可能エネルギーが利用しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的大きなポンプを自由な場所・角度で据付することができる。 機器の移動が簡単。 小まめな掘削が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 船上にすべての機器があるため、移動時の調整が容易である。 大土量を長距離圧送できる。 	
<p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> エネルギー効率は悪い。 別送高速、高圧の水を発生させるポンプが必要となる。 技術が成熟していない。 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー効率が悪い。 重量が比較的大きい。 大量の砂移動には移動が必要。 別送高速、高圧の水を発生させるポンプが必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的必要なメンテナンス頻度が高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 作業地盤の確保が必要であるが、泥土などを活用すれば比較対応は可能。 バックホウの騒音が課題。 再生可能エネルギーの活用が難しい。 	<ul style="list-style-type: none"> 浚渫帯内では、船体の安定が難しい。 コンプレッサーの運転並みに排出先の空気噴出による騒音が課題 船上の機器を利用するため、再生可能エネルギーの活用が難しい。 	
<p>総合</p>	<p>○</p>	<p>○</p>	<p>△</p>	<p>△</p>	

2.1.2 圧送技術

現在、一般的に利用されている土砂輸送技術のうち、再生可能エネルギーを活用することに重点を置くため、ポンプによるスラリー輸送ならびに空気圧送に関して表-2.1に整理して示す。ダンプトラック・バージ・ベルトコンベアなどの輸送方法については対象外とする。なお以下に示されている「スラリーのポンプ圧送」ならび「空気圧送」は、現在国内外でもっとも行われている土砂の圧送方法である。

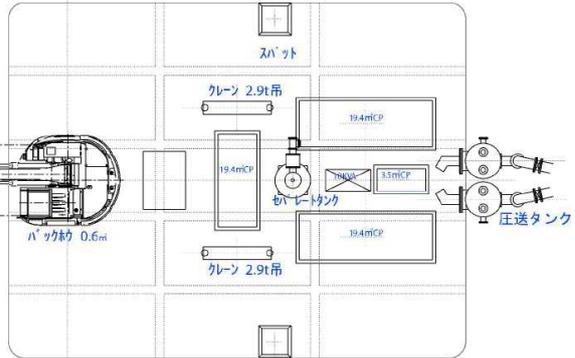
I. スラリーのポンプ圧送

スラリーのポンプ圧送は、ポンプにより水を圧送する際に約10%程度の砂を混ぜて送る方法である。配管内に砂が堆積して閉塞しないように、管内での砂の限界沈殿流速以上の流速で送る必要がある。長距離の管路を圧送する際の砂は沈殿して閉塞しやすい特徴があり、シールドトンネルなどで圧送する場合には、気泡などを加えて安定化させて圧送し、排出側では消泡効果などのある添加剤を投入して分離する施設を設置するのが一般的である。サンドバイパス・サンドリサイクルでは、海岸へ砂を直接排出させる可能性が高いため、これらの方法は利用できない。ポンプ能力は摩擦損失水頭と曲がりや形状変化などの損失水頭で算出することができる。ポンプで長距離圧送することには非常に大きな水頭を持たせる必要があり、運転停止時はもちろんのこと、停電時・電圧の変動時など圧力・流速が急激に変動した場合、配管内で真空部などが発生して衝撃的な逆流が発生してポンプが破壊されることがある。また、現在市販されているポンプで圧送するには、確保できる揚程と流量より、1,000m程度ごとに中継する必要がある。大規模なサンドバイパス事業では、浚渫技術で説明したEjector（イジェクター）を用いて非常に高圧力で圧送する技術が採用されている。これもポンプ圧送の一部として考えることができるが、非常に大きな電力が必要となる。オーストラリアのNoosa Main Beach（ヌーサメインビーチ）の場合には、1.3km（2013年4月の現地調査では2kmという説明だった）の圧送に280kwの動力を必要としているが、自動運転を実現している。現在、スラリーの長距離圧送時には様々な自動制御などの技術が開発されているので、これらの新しい制御を取入れることが重要である。

II. 空気圧送

空気圧送は、土砂輸送時にコンプレッサーから高圧圧搾空気を配管に送り込む方法で、従来から浚渫土砂の圧送に利用されている。スラリーポンプによる圧送と同様に、砂は配管を閉塞する可能性が高いが、土砂の2~3倍程度の加水をして含水比を下げることで圧送が可能である。これまで、砂を2km以上の圧送した実績が報告されている。課題としては、排出部分で土砂と水と同時に空気が噴出するために騒音が発生すること、コンプレッサーなど比較的大きな機械設備が必要であるとともに、騒音が発生することなどである。

表 2-2 土砂圧送技術の比較

輸送技術	スラリーポンプ圧送	空気圧送
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・大量の海水に砂をまぜ、ポンプにより圧送する方法 ・スラリーポンプとは、異物の圧送が可能なようなインペラなどに対処が施されたポンプ ・海水の約 10%程度の砂輸送が可能 ・サンドポンプによる揚程計算は簡易 ・電圧変動、起動・停止時の圧力変動への対応が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・土砂輸送の際に、高圧空気を同時に注入することによって圧送する方法 ・通常、作業台船上に機器を設置して、浚渫した土砂をそのまま圧送するが、陸上に設置することも可能 ・砂を送るには加水が必要。この時、砂 1 : 水 2 ~ 3 ・高圧の空気のためコンプレッサーが必要
概要設計方法	<ul style="list-style-type: none"> ・パイプラインの閉塞を防ぐため、砂の限界沈殿流速(VL)以上の流速を与える必要がある。 ・$VL=1.3\sqrt{2gD(\gamma_s-\gamma_w)/\gamma_w}$、D : 管径, γ_s, γ_w : 砂, 水の密度。 ・管径, 流量, 圧送距離, そのほかの損失水頭をもとに、揚程計算を行う。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・上図は浚渫土砂の圧送のため、台船上に組み立てられたものである。大型コンプレッサーのほか圧送タンク、圧搾空気と土砂を混ぜて送り込む装置が必要。 ・船上でなくても、地上でも設置が十分可能。
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・電力による安定的輸送が可能 ・再生可能エネルギーが活用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・砂分が多いと圧送するのが難しくなるが、海水を混ぜることで 2km 程度の圧送が可能
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・長距離の輸送には、中継ポンプが必要 (1km 程度が限界か)。 ・長距離圧送では、停電対策が重要。 ・急な停止時にサージングによって機械、配管を破壊する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンプレッサーの稼働時の騒音 ・再生可能エネルギーの活用が難しい。
総合	○	△

2.2 鳥取県における取組状況

平成15年青谷町（現、鳥取市）が「工法が簡単、漁業関係者が操作可能、敏速に対応可能、かつ経済的で安価な方法」として、夏泊漁港で漁船を使ったサンドポンプによる浚渫実験を行った。その結果、サンドポンプの操作性等に問題があり、効率的な浚渫には至らなかった。

これを受けて、平成15年12月と平成16年4月に網代漁港で浚渫実験を行った。実験に用いた施設を簡易な台船（イカダ）に載せている。

この実験を通じて下記の課題が顕在化した。

- ① サンドポンプだけでは、砂を安定して吸上げることができない。
- ② サンドポンプの砂の圧送距離が50m程度と短く、浚渫範囲が岸壁周辺に限られる。
- ③ サンドポンプを水平に移動させるには、別の船でイカダを曳航する必要があり、非効率である。

以上の具体的な課題が顕在化し、今後の取組においては、このような課題を解決していかなければならない。

2.3 まとめと砂輸送における留意点

2.1における調査結果と実用例を十分に理解し、2.2の顕在化した課題を解決するために、鳥取県内の港湾や漁港における泥砂の特性と実用化されている施設の泥砂の特徴や相違点を数値データ化し、圧送輸送の原理を実験に基づいて数値データにより明らかにし、課題の解決を進める必要がある。

また、実験における施設に柔軟性をもたせ、管理運用が容易なものとなるように計画設計することが必要である。

さらに、施設における拡張性と使用機器の修正が可能のようにできるだけ短期間で課題が解決できるものを用い、採取可能なデータをできるだけ多く取り、問題の個所の顕在化と修正・解決を図ることが、施設の実用化と恒久的なものを生出すことにつながる。ポンプの容量、配管直径と流速、圧送密度・重量を求め、現実の砂の堆積量を処理できるシステムの構築を進めることが目標となろう。

3. WRF を用いた県内の風況シミュレーション

3.1 WRF によるシミュレーション

3.1.1 気象モデルの概要

気象推算モデルには、メソ気象モデル WRF (version3.3) を使用している。WRF における初期化及び観測値との同化、計算領域、母領域と子領域のネスティング法、地形データ、観測値との同化、物理モデル (惑星境界層スキーム (PBL), 海洋混合層モデル(ocean mixed layer model)), 計算領域の鉛直座標構成, dynamics solvers 等については、以下のように設定している。

- ・初期化及び観測値との同化：アメリカ環境予測センター (米国国立気象局) の 1 度および 6 時間毎の NCEP FNL (Final Analysis) データを適用。
- ・平面計算領域：図 3-1 に示す固定計算領域を設定。
- ・計算領域間の母領域と子領域のネスティング法：two-way を採用し、平面格子間隔は表 3-1 に示すものを使用。
- ・地形データ：米国地質調査所 (USGS) の全球 30 秒メッシュ値 (GTOPO30) と、日本周辺では日本国土地理院 50m メッシュ標高データを適用。
- ・観測値との同化 (nudging)：Upper-Air nudging 同化*を全領域で実行。
(*Upper-Air nudging 同化とは、WRF による計算結果と NCEP FNL の客観解析データとの誤差を縮小するために計算結果を同化する方法の 1 つである。)
- ・海洋混合層モデル* (ocean mixed layer model)：Donelan の海面抵抗係数や定数のエンタルピー係数を適用している。
(*海洋混合層モデルは、風場による海洋水面上部の混合を説明するものである。)
- ・計算領域の鉛直座標構成：非線形分布格子層を採用。
- ・Dynamics solvers：Advanced Research WRF (ARW)を採用。
- ・惑星境界層スキーム* (PBL)：Asymmetric Convective Model (ACM2)を採用。
(*PBL scheme は、拡散や質量及びエネルギーの局所輸送の要因になるために、特に暴風に伴う地表面風場の再現に関して適切な PBL スキームの設定が重要となる。)
- ・雲微物理モデル：全領域で Thompson らのスキームを選択。

3.1.2 WRF による計算領域の設定

表 3-1 に本計算に用いた計算領域の詳細を示した。この計算格子間隔と格子数を用いて 図 3-1 のように 3 段階にネスティングした計算領域を設定し鳥取県における長期風場の再現計算を行う。地面および水面に接する格子から計算領域上端までの鉛直格子構造を図 3-2 のように約 4m ~ 25,000m 程度に設定し複雑な地形を詳細に考慮した。

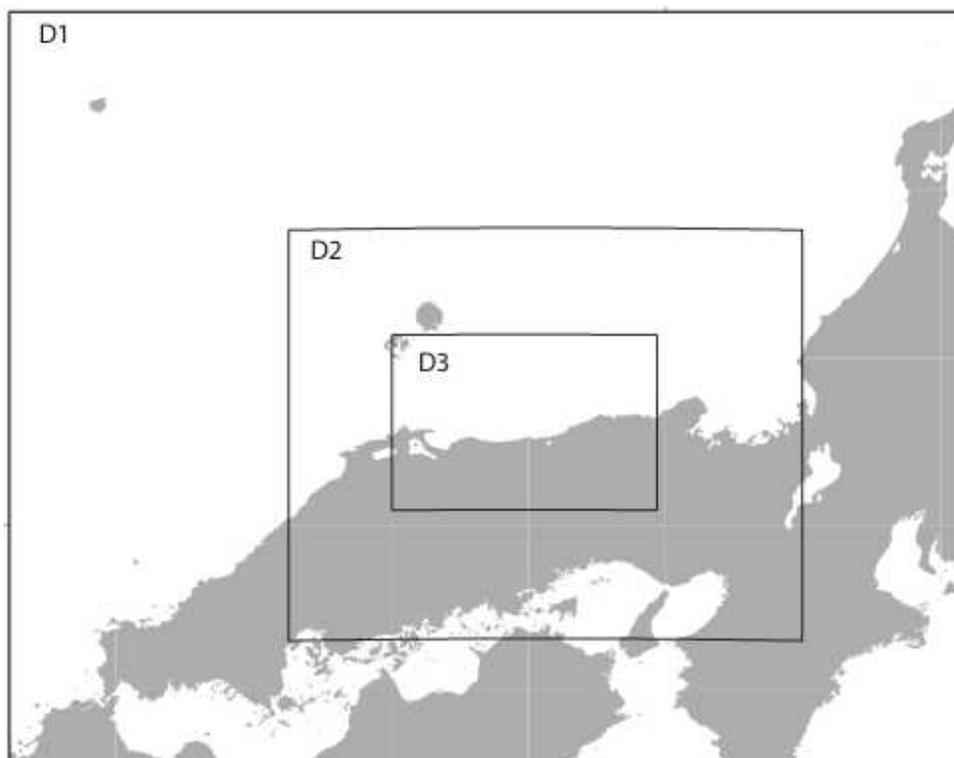


図 3-1 WRF に関する計算領域（第 1 段階～第 3 段階）

表 3-1 鳥取県を対象とした計算領域の設定条件

計算領域	領域南西端		領域北東端		格子間隔 Meter	格子数		鉛直格子数
	緯度 (°)	経度 (°)	緯度 (°)	経度 (°)		東西方向	南北方向	
第 1 領域	33.5515	130.2230	38.0411	137.181	6400	100	80	28
第 2 領域	34.2976	132.2583	36.7626	135.9977	2133.33	160	130	28
第 3 領域	35.0890	133.0078	36.1408	134.9406	711.11	247	166	28

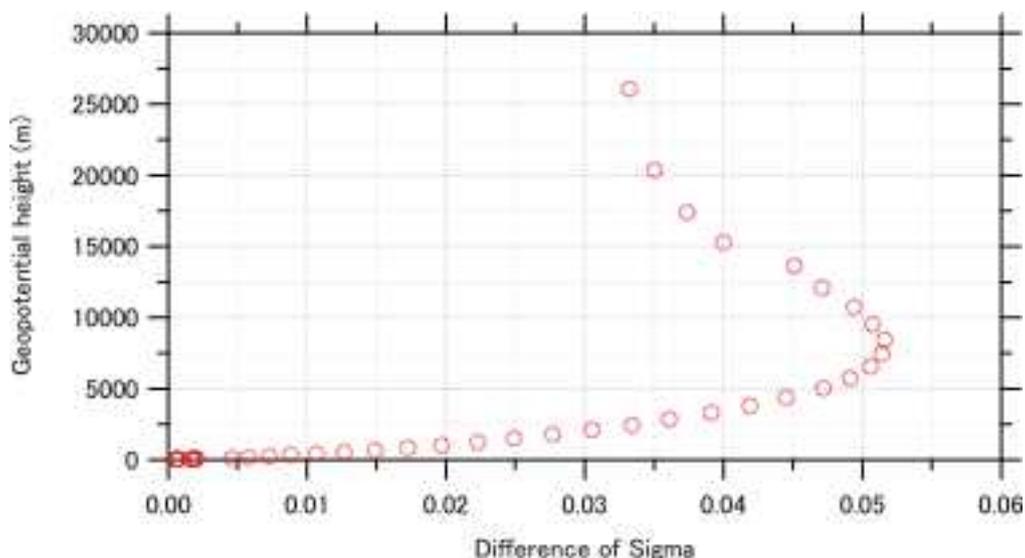


図 3-2 鉛直における格子間隔と構造

3.1.3 鳥取県における WRF による風場推算

気象モデル WRF を用いて風場を推算計算し, その精度を検証するために以下の手法を用いて行う.

- 初期化及び観測値との同化 : アメリカ環境予測センター (米国国立気象局) の 1 度および 6 時間毎の NCEP FNL (Final Analysis) データを用いて行う. 図 3-1 に示したように固定の計算領域を設定し, 母領域と子領域のネスティングには two-way とした. 計算領域の地形データは米国地質調査所 (USGS) の全球 30 秒メッシュ値 (GTOPO30) の代わりに日本国土地理院 50m メッシュ 標高データと 100m メッシュ土地利用データを利用する.
- 図 3-2 に示したように地面および海面に接する格子間隔を 4m 程度に設定する. このような設定により気象モデルにおいて風場推算の精度向上を得ることができる.
- 現在, 5 分刻みを用いて鳥取県全領域を含む第 3 領域において風場を 711m の間隔の平面と地面 (海面) から高度約 25km に達する鉛直方向の 28 層の 4 次元データを推算している.
- 推算期間は 2012 年 01 月 10 日 00:00 ~ 02 月 25 日 00:00 である.

図 3-3 は泊漁港 (鳥取県東伯郡羽合町泊地区) における高さ 100m の風速時系列を示したものである. 推算期間最大風速は約 25m/s であった. 図 3-4 はその一例として 01 月 17 日 01:00 と 02 月 01 日 09:00 の推算結果である高さ 100m の風速と風向の空間分布を示す.

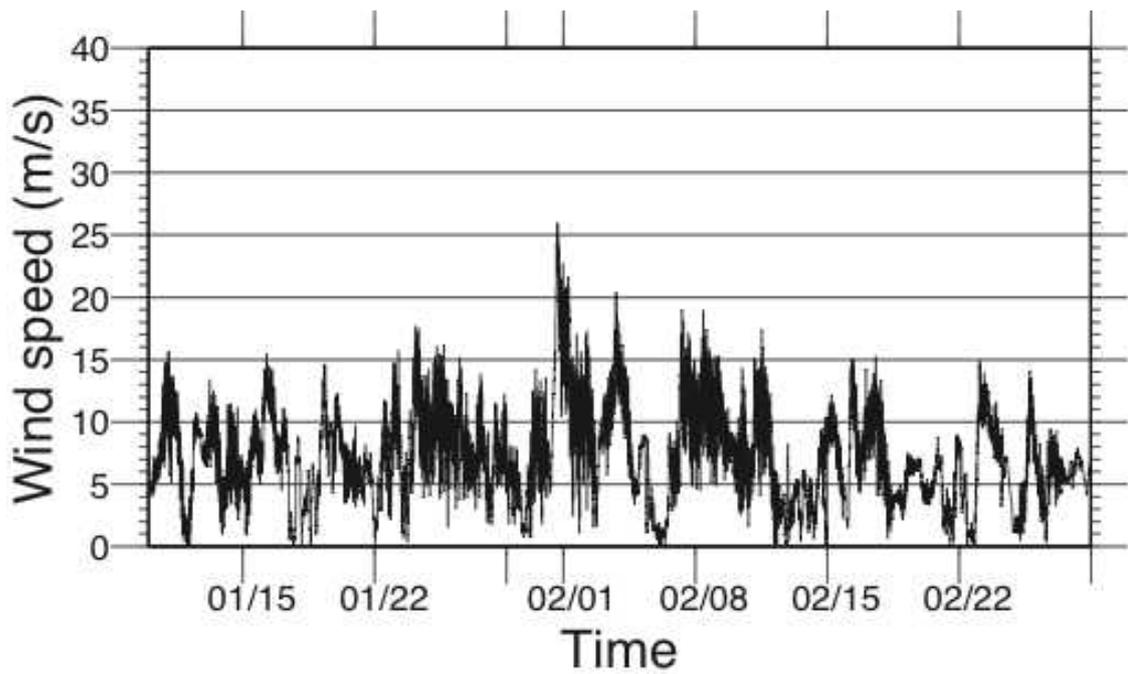


図 3-3 推算期間中に泊漁港における 100m 高さの風速時系列

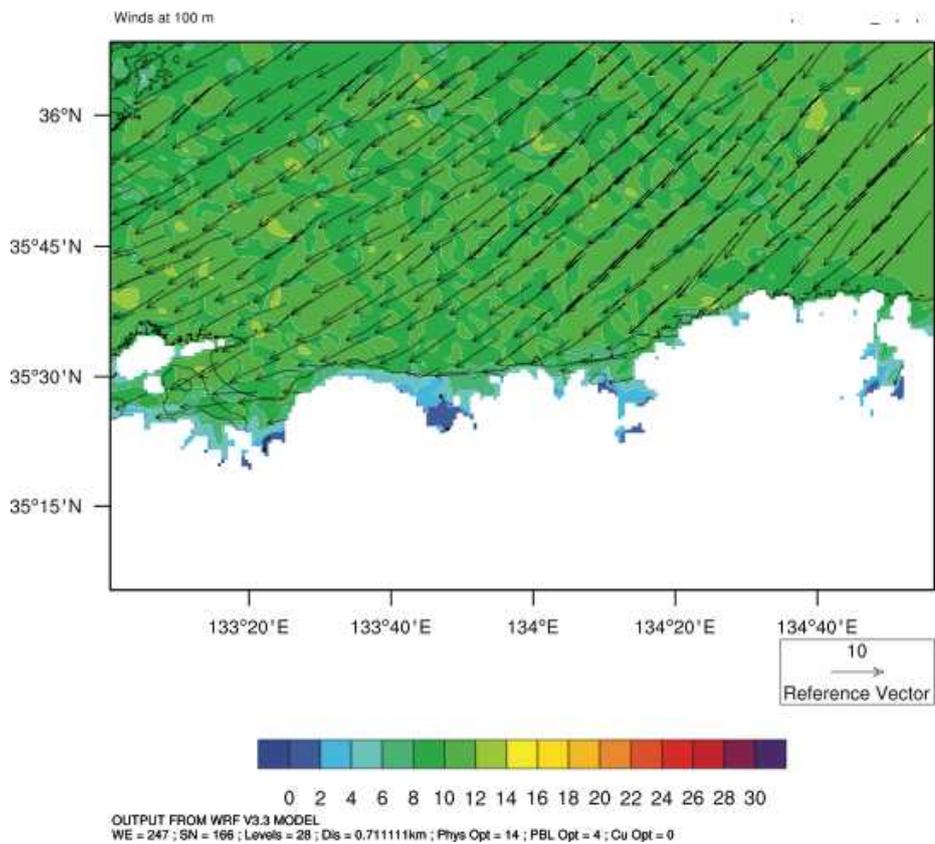


図 3-4(a) 2012 年 01 月 17 日 01:00 における 100m 高さの風速と風向の空間分布
(白色は 100m 以上の地形を示す)

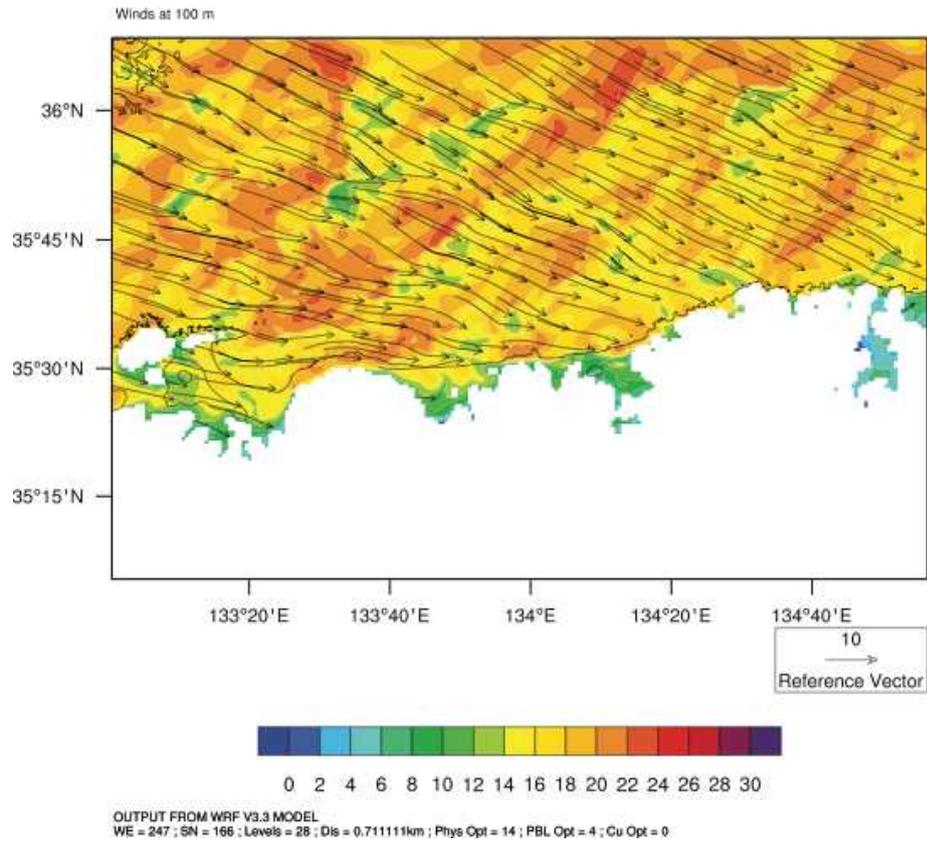


図 3-4(b) 2012 年 02 月 01 日 09:00 における 100m 高さの風速と風向の空間分布
(白色は 100m 以上の地形を示す)

3.2 鳥取県における WRF による風況計算の結果と検討

(1) 気象モデル WRF の計算諸元

気象モデル WRF を用いて 2012 年 1 月～3 月までの 3 ヶ月間の鳥取県内の風域場を 1 時間毎に再現計算を行った。計算開始の初期条件ならびに 3 ヶ月間の大気情報データは、米国環境予測センターによって公開されている緯度経度 1 度および 6 時間毎の気象データベース (NCEP FNL (Final Analysis)) から同期間の日本全域のデータを抽出し利用した。陸域部分の地形データとして日本国土地理院 50m メッシュ 標高データならびに 100m メッシュ土地利用データを利用した。気象モデルの出力は、小領域において鉛直方向 27 層の各層毎に 41,002 個の水平格子点(東西 247 点×南北 166 点)に対しての風速および風向データである。

(2) 気象モデル WRF の計算結果の精度検証

湯梨浜町泊漁港での風況観測結果と WRF の結果との比較を行った。図 3-5 は、検証に使用された風況データの測定状況を示したものである。実測データとしては、泊漁港の沖防波堤上の観測タワーに設置されている風杯(カップ)式風速計ならびに矢羽根式風向計および泊漁港管内の建物屋上に設置されたドップラーライダー風速計から測得されたものである。風杯式風速計は、最も広く使用されている実用型風速計で、回転軸まわりに配置された三個の半球状の風杯(カップ)が風により回転することで風速を算出する装置で三杯式風速計とも呼ばれる。またドップラーライダー風速計は、射出されたレーザー光が対象空域の空気中の塵や粒子(エアロゾル)によって反射し、その反射光を受信することで、対象空域の空気粒子の移動を感知するものである。三杯式風速計の利用実績は多いものの、回転系の質量の慣性によって風速変動に対する応答が悪いことが知られている。一方、ドップラーライダーはこれまでの利用事例は殆ど無いものの、レーザー光を利用した空気粒子測定であることから風の変動に対する追従性が高いこと、計測方法が多様であること、リモートセンシング技術であることから対象場に擾乱を与えないことなどの利点がある。図3-5に示すように、ドップラーライダーから風況観測タワーまでは約876mの距離が有る。2012年1月～3月に、泊地区において三杯式風速計ならびにドップラーライダー風速計による同時観測が実施されたことから、WRFの計算結果と比較した。

図3-6および図3-7は、三杯式風速計ならびにドップラーライダー風速計で測られた結果と WRF の算定結果とを比較したものである。図3-6は、観測期間中に南風が泊漁港内で吹いた時刻を観測データおよび WRF の計算値から抽出し、三者の相関を調べたものである。これより三者のうちのいずれの比較においても、風速が高くなるとお互いの一致度が低下し、ばらつきが大きくなる傾向が見られる。相関係数(CC)から、三杯式とドップラーライダーの観測値同士の相関が相対的に高いといえるが、いずれもの相関係数も0.699～0.533の範囲に入っており、ほぼ同程度の一致度であると言える。また、図3-7は、同様に観測期間中に西風が吹いた時刻を観測データおよび WRF の計算値から抽出し、それらの相関を調べたものである。西風の場合、相関係数は0.707～0.626の範囲に入り、南風の結果よりも相関が向上している。また、ばらつきの程度も南風よりも小さいことがわかる。西風で相関が向上するのは、風の乱れ成分が、南風成分よりも小さくなっていることが要因と考えられる。すなわち、泊地区

の陸上地形から、南風は陸域の影響を受けるのに対し、西風成分については、乱れの少ない海上風が計測されることによる。さらに全体的な相関から、WRFの算定値は三杯式風速計およびドップラーライダー風速計をある程度再現しているといえる。

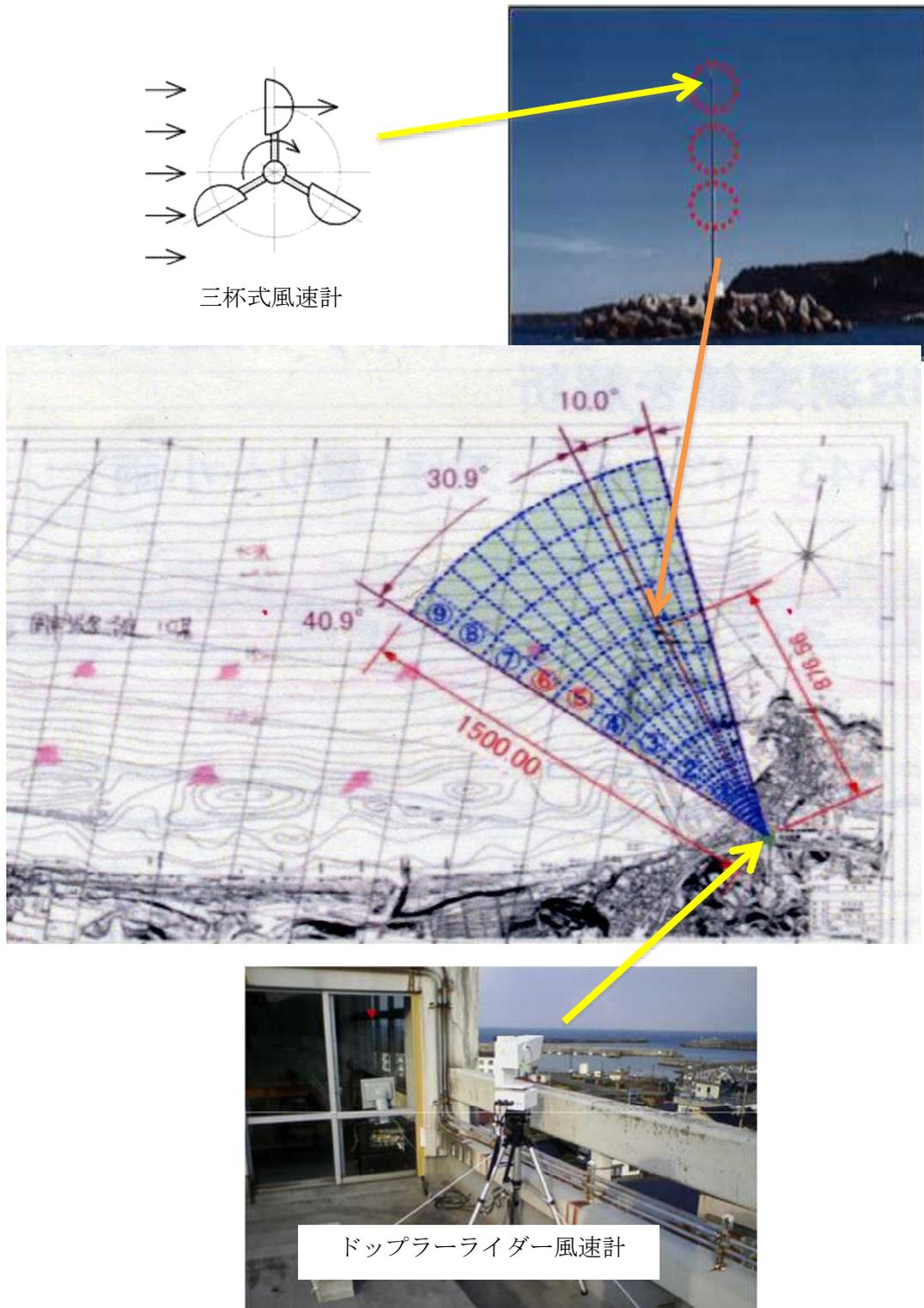
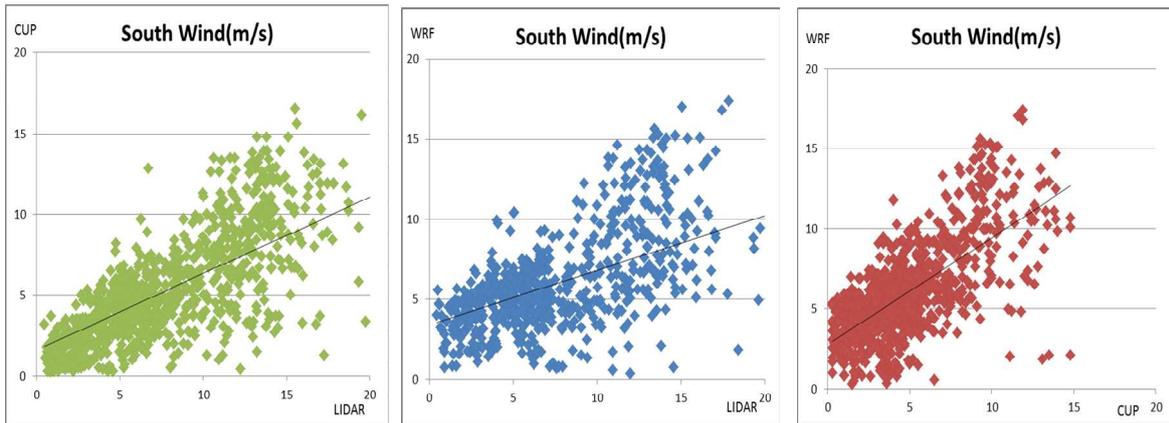


図 3-5 泊漁港防波堤上の風況観測タワーと
泊地区内に設置されたドップラーライダー風速計の位置と設置状況



(a)ライダーと三杯式風速計との相関

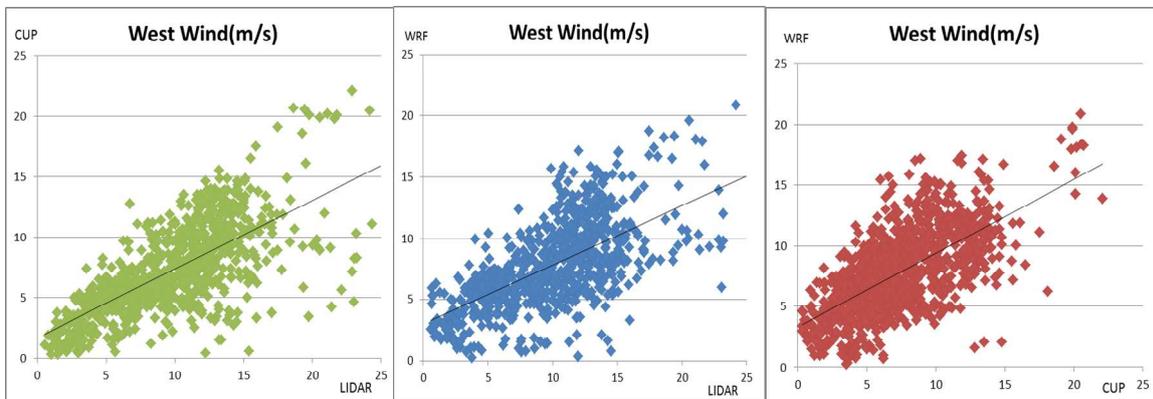
(b)ライダーとWRFとの相関

(c)三杯式風速計とWRFとの相関

対象	CC	RMSE (m/s)	Bias (m/s)
LIDAR and CUP	0.699	0.54	2.63
LIDAR and WRF	0.553	0.78	1.85
CUP and WRF	0.674	0.39	-1.10

(d) 前出 (a) ~ (c) のデータの相関係数 (cc) , 誤差 (RMSE) , ひずみ (Bias)

図 3-6 泊漁港での南風による風観測値と気象モデル WRF の比較



(a)ライダーと三杯式風速計との相関

(b)ライダーとWRFとの相関

(c)三杯式風速計とWRFとの相関

対象	CC	RMSE (m/s)	Bias (m/s)
LIDAR and CUP	0.707	0.47	2.44
LIDAR and WRF	0.626	0.55	2.17
CUP and WRF	0.658	0.37	-0.48

(d) 前出 (a) ~ (c) のデータの相関係数 (cc) , 誤差 (RMSE) , ひずみ (Bias)

図 3-7 泊漁港での西風による風観測値と気象モデル WRF の比較

3.3 WRF 推算結果の補正

WRF と三杯式 (CUP) およびドップラーライダー (LIDAR) の相互検討した結果, WRF により推算した風速の相関係数は 平均 0.63, 平均誤差 (RMSE) は 0.36 を示した. 平均誤差を用いると鳥取沿岸における WRF の推算風速の補正係数は 1.4 と言えよう. 図 3-8 は泊漁港において高さ 100m における WRF による推算風速と補正風速を示したものである. 図 3-9 と図 3-10 は推算期間内の最大風速と補正係数を適用した最大風速の空間分布を示すものである.

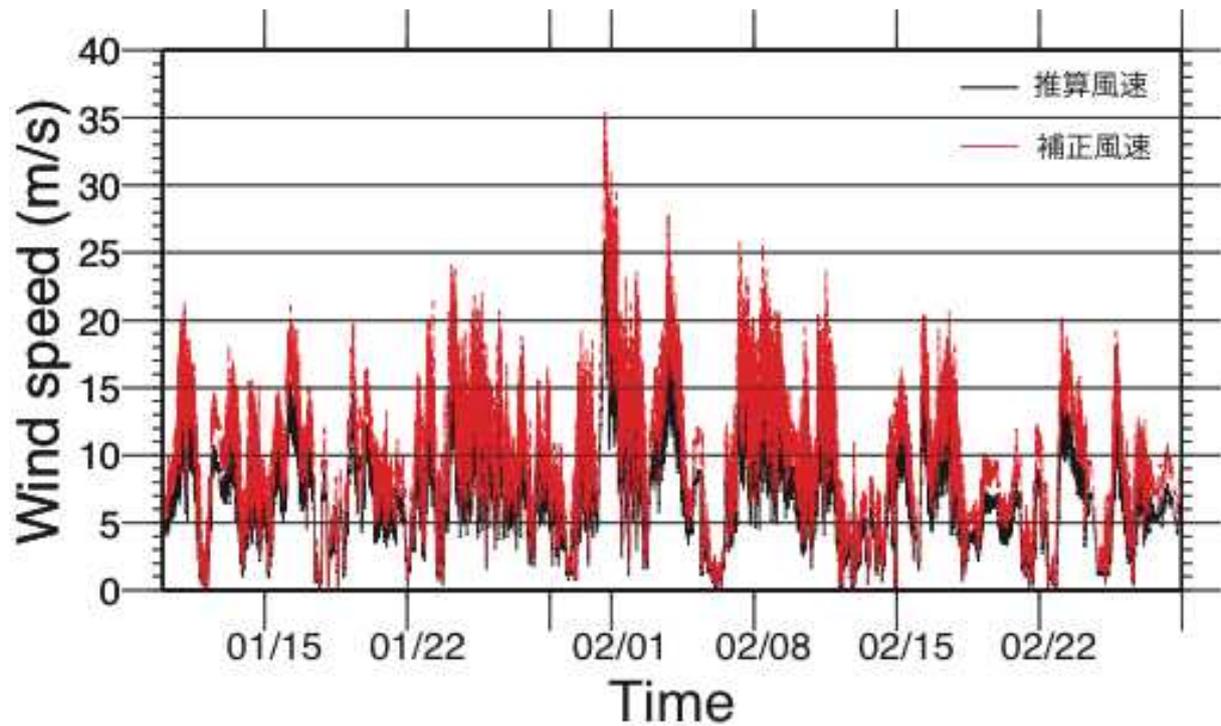


図 3-8 WRF により推算した風速と補正風速 (高度 100m)

Max. WSE on domain d03

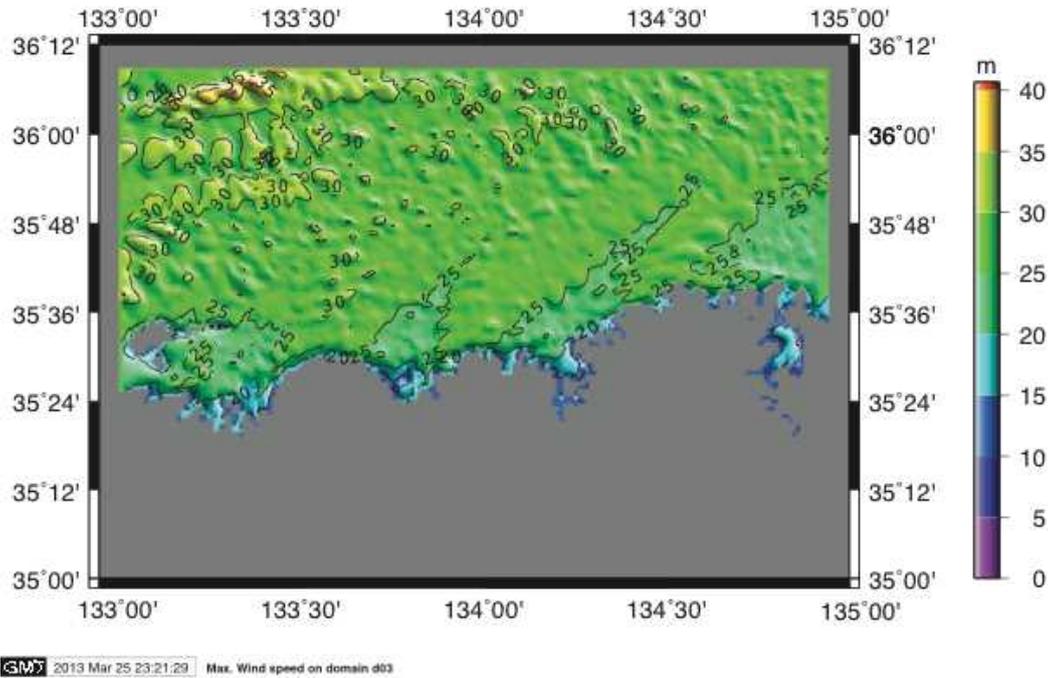


図 3-9 推算期間内の最大風速（高度 100m）

Max. WSE on domain d03

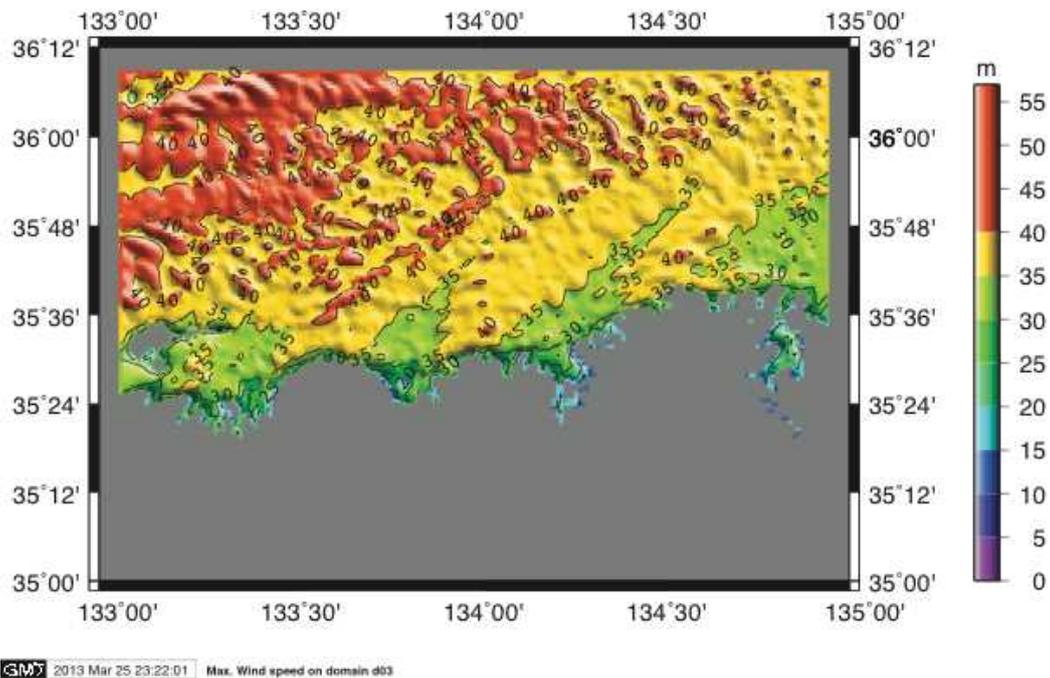


図 3-10 推算期間内の補正係数 (=1.4) を適用した最大風速（高度 100m）

4. サンドポンプを利用した土砂投入による海底地形変化のシミュレーション

4.1 概要

本年度は、土砂投入を考慮した3次元海浜変形シミュレーションモデルを構築し、サンドリサイクルが実施されている浦富海岸に適用し、シミュレーションモデルの試計算を行った。

鳥取県東部の浦富海岸では、侵食対策として平成7年に天端水深2mの人工リーフ2基が設置され、平成19年度からリーフ沖側に天端を拡張し、天端水深0.5mとする改良工事(第二期工事)が実施されている。しかし平成19年から平成20年にかけて、開口部において非常に深い洗掘が発生し始めている。一方で、毎年の冬季波浪による田後港向きの沿岸流の影響で港口部の堆砂が発生し、毎年約2万～3万m³の土砂が浚渫され、サンドリサイクルとして人工リーフ開口部前面へ投入されている。そこで田後港の堆砂を浚渫し人工リーフ背後周辺にサンドリサイクルを行うことを想定し、3次元海浜変形モデルを導入して人工リーフ開口部および田後港港口部の地形変化を解析し、土砂投入が地形変化に与える影響について検討した。

4.2 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルは黒岩ら(2012)の3次元海浜変形モデルに浚渫と土砂投入過程を取り入れたものである。本モデルは、図4-1に示すように、波浪場、海浜流場、漂砂量および地形変化(水深変化)計算の4つのサブモデルで構成されている。波浪場はエネルギー平衡方程式、海浜流場は平面2次元海浜流モデルを用い、漂砂量は掃流漂砂と浮遊漂砂の総和で評価される。浚渫と土砂投入過程は、地形変化計算のサブモデルにおいて考慮されている。波浪場、海浜流場および漂砂量の計算モデルの詳細は黒岩ら(2012)に譲るとし、改良点のみを示す。

地形変化を計算する際に用いる漂砂量保存則(漂砂の連続式)に浚渫量と土砂投入量のプロセスを考慮するため、式(4.1)に示すように、浚渫土砂フラックス q_d と投入土砂フラックス q_i の項を付加した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda}(-Q_s) + \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(q_{bx} + \varepsilon_s |q_{bx}| \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_{by} + \varepsilon_s |q_{by}| \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} + q_d - q_i \quad \dots(4-1)$$

ここに、 x は沖から岸向の座標で、 y は沿岸方向の座標である。 h は水深、 Q_s は底質の巻き上げ量と沈降量との差で、浮遊砂濃度に関する平面2次元移流拡散方程式から算定される。 q_{bx} および q_{by} は岸沖および沿岸方向の掃流漂砂量である。

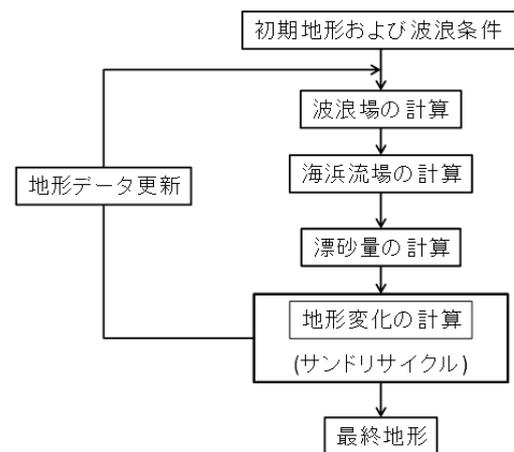


図4-1 計算のフロー

4.3 解析条件

解析対象の岩美海岸（浦富海岸）の計算領域と浚渫箇所および土砂投入領域を図 4-2 に示す。計算領域は、沿岸方向 2 km、岸沖方向 1.25 km の範囲で計算格子間隔は 5m とした。波浪条件は、平成 19 年 10 月から平成 20 年 3 月までの 6 か月間に鳥取沖で観測された波浪データを 4 区分に分類した。波高 1m 未満の波浪は海浜変形に大きく寄与しないと仮定し、波作用日数を 122 日に設定し、表 4-1 のように階級分けした。図 4-3 は、表 4-1 を元に設定波浪の時系列モデルを示したものである。平成 19 年 10 月から平成 20 年 3 月までの冬季間における地形変化を対象としたものとなっており、すなわち、6 か月後の地形変化に対応し、1m を超える波浪のみが作用するものとした。波向きは岸沖方向の軸を基準とし反時計回りを正とした波の入射角度で示されている。解析では、田後港口での浚渫期間を 40 日とし、この期間同時に土砂投入を行う設定となっている。この期間は波高 0.5m の静穏な波浪が来襲したものと仮定した。図中の①から⑭は表 4-1 に示す番号に対応しており、土砂浚渫と投入終了後から 122 日間を意味している。浚渫の場所および量としては図 4-2 に示すように離岸方向 525m～625m および沿岸方向 245m～320m の港口の領域から 5,000 m³ を浚渫するものとした。さらに、これらの浚渫土砂を Case1～Case13 に示す土砂投入領域に投入することを想定し、それぞれのケースにおける地形変化を解析した。図 4-2 には、田後港の河口における浚渫エリアおよび人工リーフと汀線との投入エリアも示している。各ケースの土砂投入場所は図 4-4(1)～(13) に示すとおりである。Case1～Case13 で設定された投入場所の差異が人工リーフ開口部の洗掘量の低減にどのように影響するかを検討した。

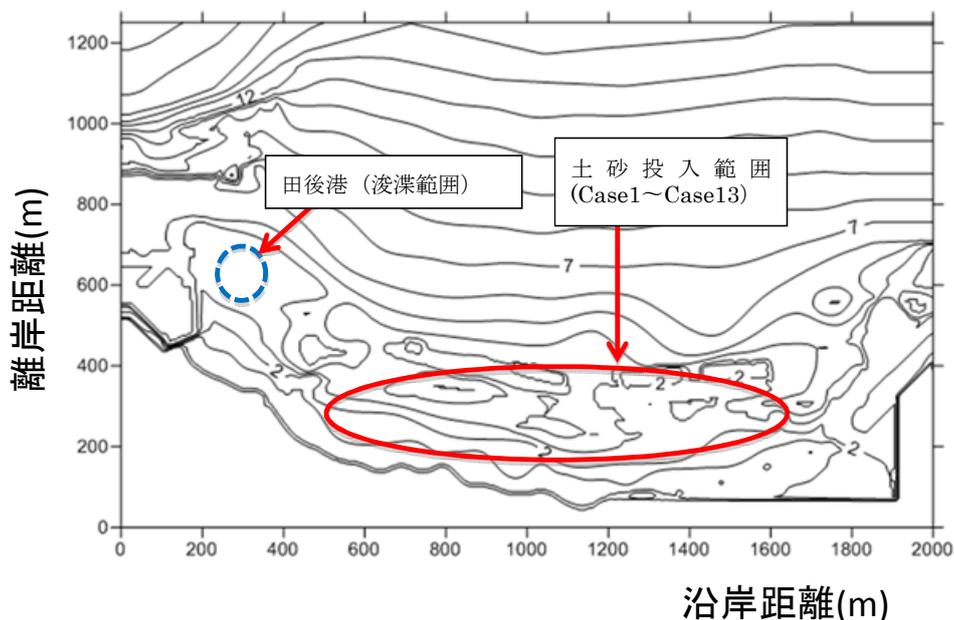


図 4-2 岩美海岸の計算領域および土砂浚渫・投入領域

表 4-1 静穏領域と波浪条件(平成 19 年 10 月 1 日～平成 20 年 3 月 31 日)

ステップ	Hs(m)	Ts(s)	波向(°)	波向方位	出現日数	作用日数
浚渫および投入期間 (静穏)	0.5	6.65	0	N	40 日	8 日
①, ②, ⑥～⑨, ⑬, ⑭	1.43	6.65	-7.79	N	80 日	10 日
③, ⑤, ⑩, ⑫	2.3	7.1	16.0	NNW	30 日	7.5 日
④, ⑪	3.7	15.1	NNW	10 日	5 日	

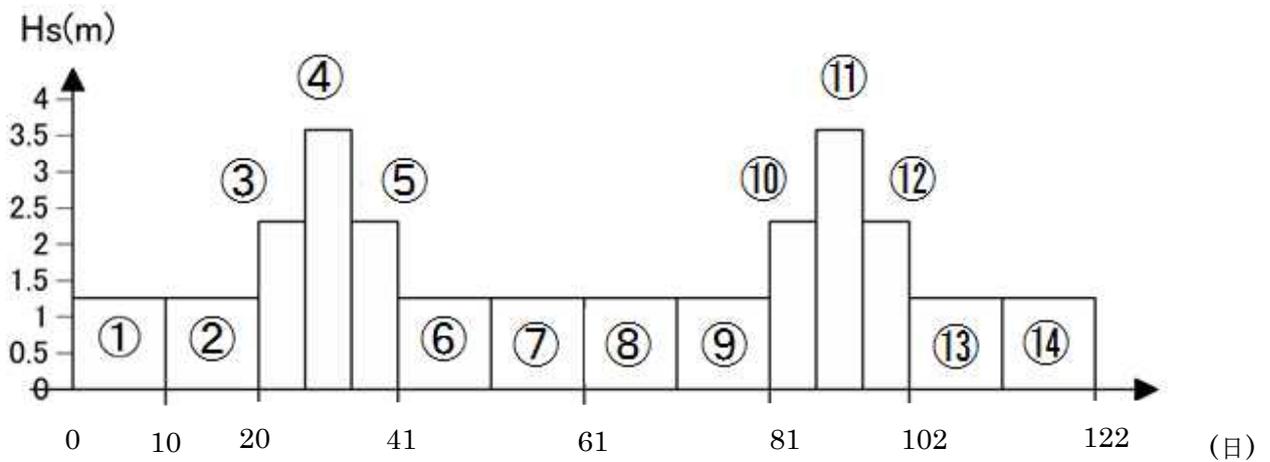
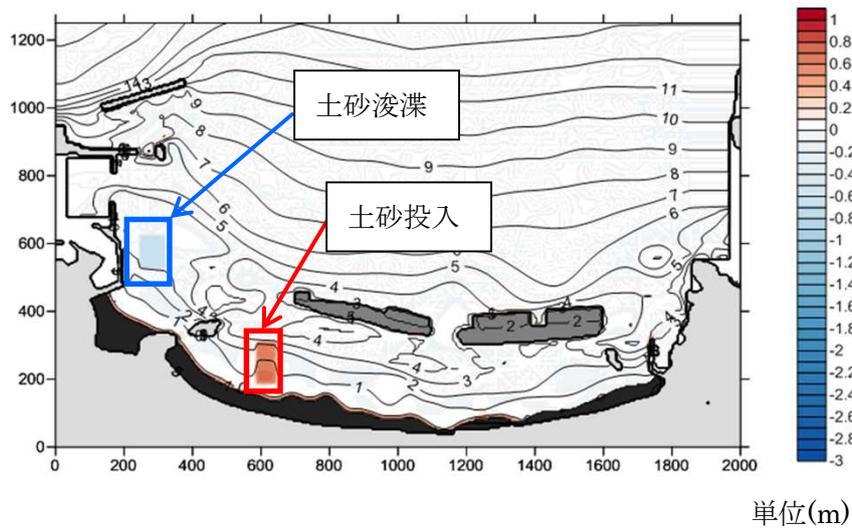


図 4-3 土砂投入期間の波浪時系列モデル

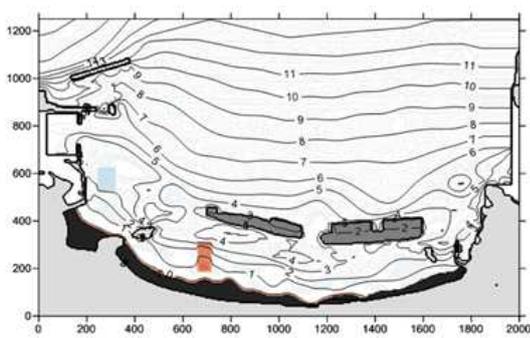
(平成 19 年 10 月 1 日～平成 20 年 3 月における鳥取港沖で観測された波浪データより作成)

表 4-2 浚渫および土砂投入範囲

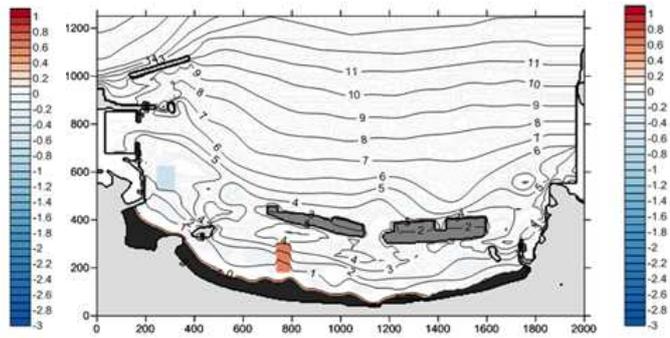
	岸沖方向	沿岸方向		岸沖方向	沿岸方向
浚渫	525, 625	245, 320	Case7	125, 250	1035, 1390
Case1	185, 310	585, 645	Case8	100, 225	1110, 1170
Case2	185, 310	660, 720	Case9	100, 225	1185, 1245
Case3	180, 310	735, 795	Case10	115, 240	1260, 1320
Case4	170, 295	810, 870	Case11	125, 250	1335, 1390
Case5	150, 275	885, 945	Case12	130, 255	1410, 1470
Case6	120, 245	960, 1020	Case13	150, 275	1485, 1545
					(単位:m)



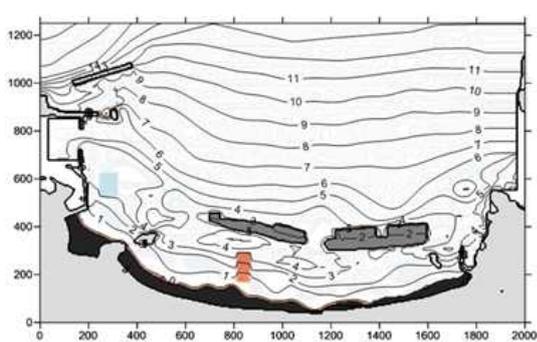
(1)Case1



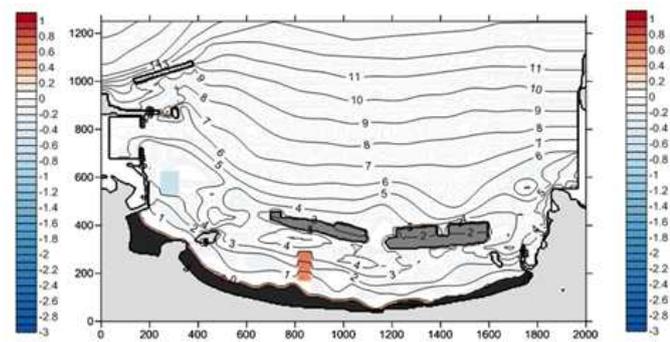
(2)Case2



(3)Case3

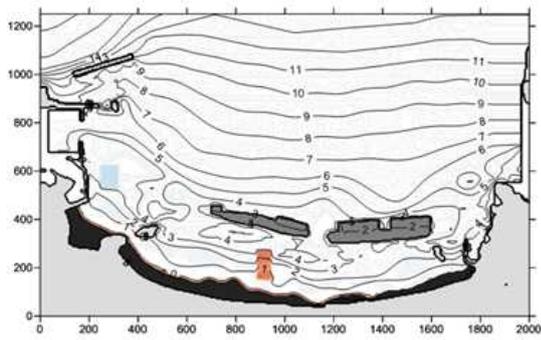


(4)Case4

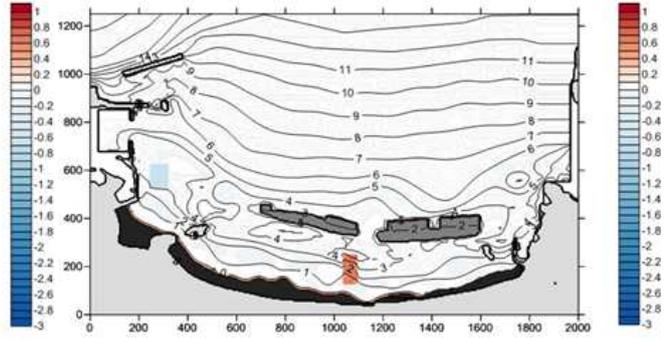


(5)Case5

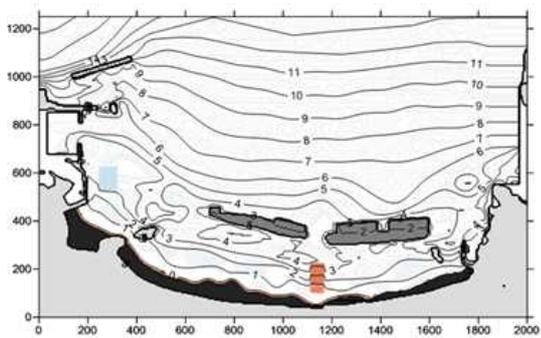
図 4-4 浚渫 (青色) および土砂投入位置 (赤色)



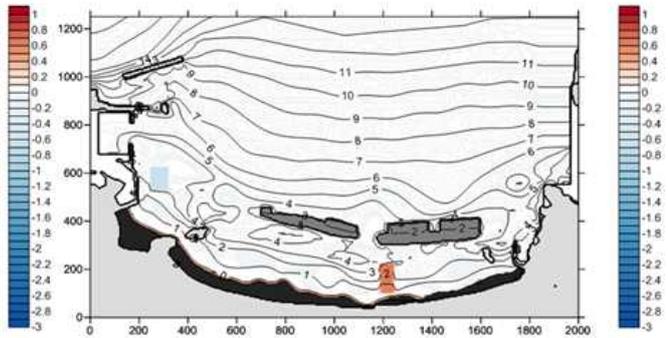
(6)Case6



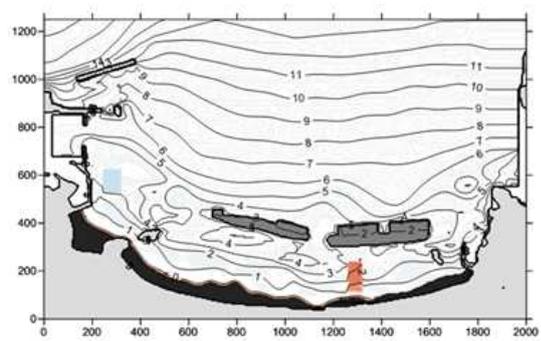
(7)Case7



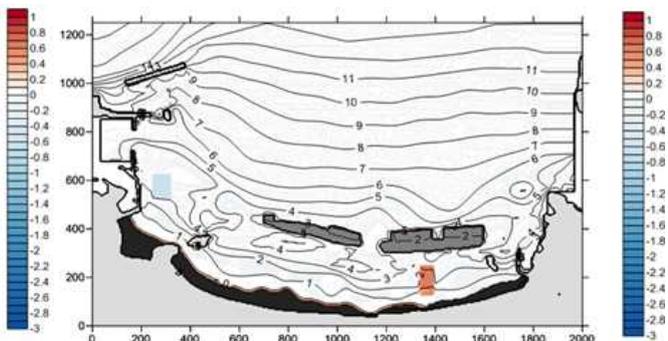
(8)Case8



(9)Case9



(10)Case10



(11)Case11

図 4-4 浚渫（青色）および土砂投入位置（赤色） 続き

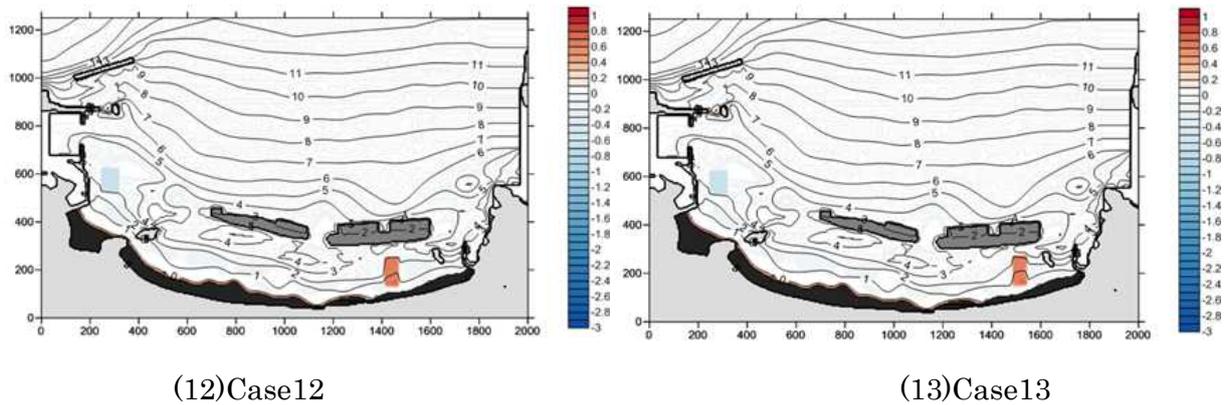


図 4-4 浚渫（青色）および土砂投入位置（赤色） 続き

4.4 解析結果

図 4-5 に示す領域の土砂変化量を調べ、モデルの特性を検討した。表 4-3 は対象波浪作用後 122 日目の計算により得られた港口付近および人工リーフ開口部の土砂変化量を示したものである。なお、Case0 はサンドリサイクルを行わずに初期地形に波を作用させた場合での土砂変化量である。また、それぞれ浚渫後の港口での土砂堆積量および土砂投入後の人工リーフ開口部の土砂堆積量を比較したものを図 4-6 および図 4-7 に示す。図 4-8(1)～(14)に各ケースにおける 122 日後の地形変化の計算結果を示す。

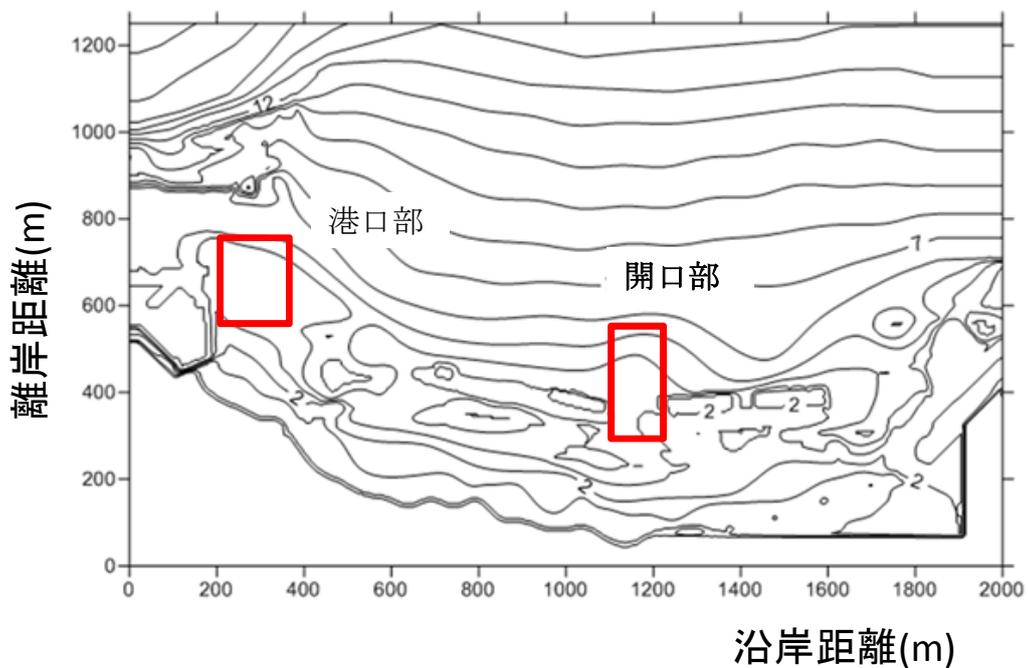


図 4-5 土砂変化量算定領域

表 4-3 土砂変化量(単位:m³)

	港口付近	開口部
case0	5897.48	-29121.8
case1	3003.01	-27565.7
case2	3054.628	-27492.7
case3	3039.918	-27770.3
case4	3061.043	-27603.8
case5	3113.664	-27728.2
case6	3139.327	-27520.1
case7	3091.392	-27280.9
case8	3097.507	-26996.6
case9	3096.021	-27179.8
case10	3032.364	-27435.2
case11	2981.252	-27677.5
case12	2985.084	-27735.5
case13	3009.614	-27873.8

図 4-6 より, 浚渫を実施しない Case0 では港口付近で約 6,000 m³の土砂堆積が起こること, 浚渫を実施する Case1~Case13 では, 波浪作用後の堆積量は 3,000 m³程度にとどまり, 約 2,800 m³の堆積量低減をもたらすことなどがわかる. しかし Case1~Case13 の間ではほとんど差が生じていない. この時のサンドリサイクル (浚渫と海中土砂投入) は 5,000 m³である.

図 4-7 より, リーフ開口部の土砂変化量はいずれも負となっており, 初期断面から土砂が減少し侵食されていることが明らかである. サンドリサイクルを行った Case1~Case13 では, 土砂を投入した後も人工リーフ開口部付近では, 約 27,000 m³程度の侵食が発生していること, しかしサンドリサイクルを実施しない Case0 では, 侵食は約 29,000 m³にも達することがわかる.

このことから, 人工リーフ開口部では, 122 日間の波浪作用で大きな侵食が発生すること, またサンドリサイクルによって, 開口部の侵食を一定量, 低減できることが分かる. なかでも Case8 がもっとも効果があることがわかった. これらケース毎の侵食制御効果については今後, 検討すべき点である.

以上の数値計算結果から, 5,000 m³のサンドリサイクルによって, 田後港口では約 2,800 m³の土砂堆積を低減できること, また人工リーフ開口部付近では, サンドリサイクルによって侵食量を 1,300 m³から 2,000 m³程度低減できる効果がある結果となっている. しかし Case1~Case13 で設定した投入場所の変化は人工リーフ付近での移動量に対して明確な差異が見られず, モデルの設定に課題があるといえる.

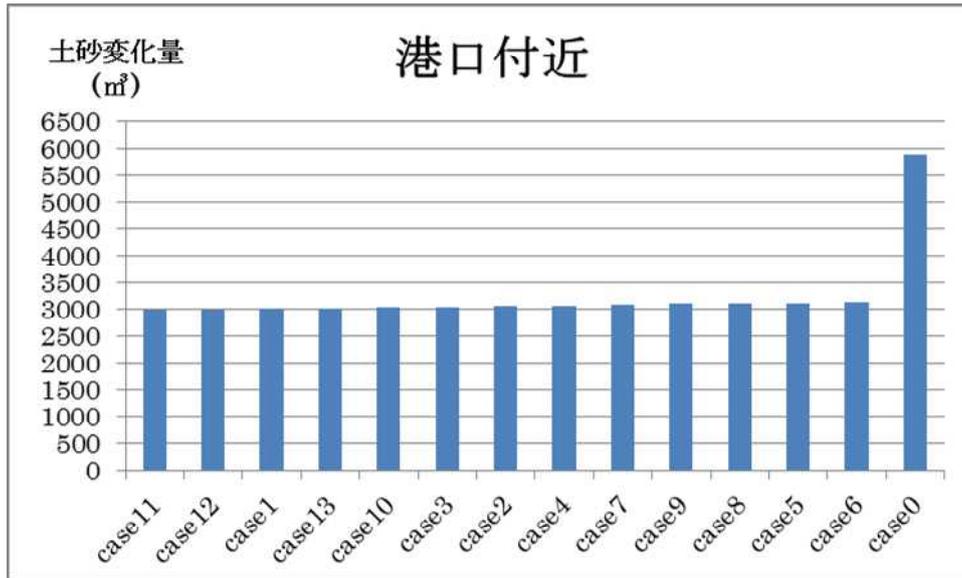


図 4-6 サンドリサイクルの有無と港口付近の土砂変化量の比較

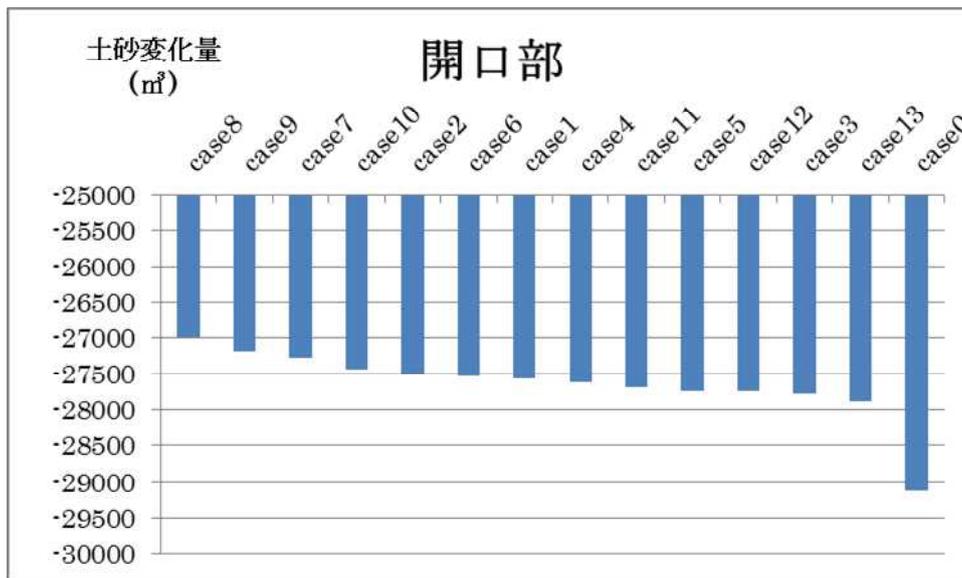
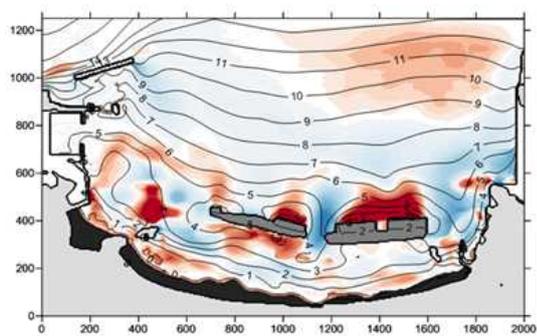
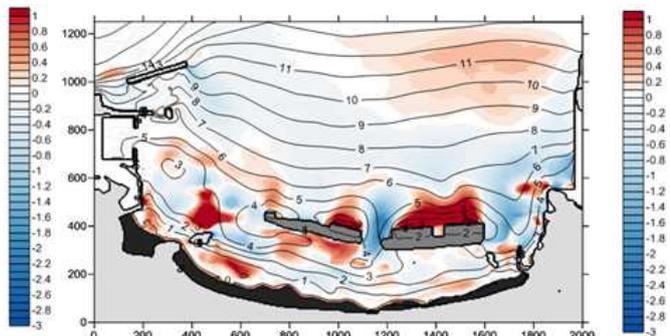


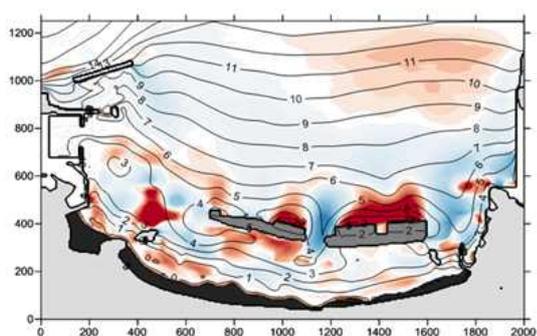
図 4-7 サンドリサイクルの有無と人工リーフ開口部の侵食量の比較



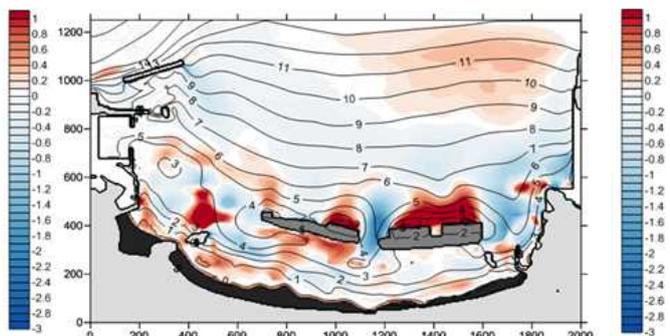
(1)Case0



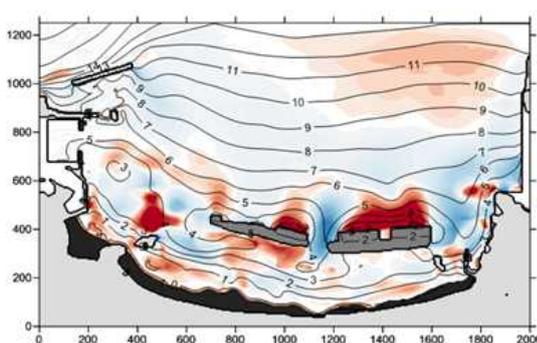
(2)Case1



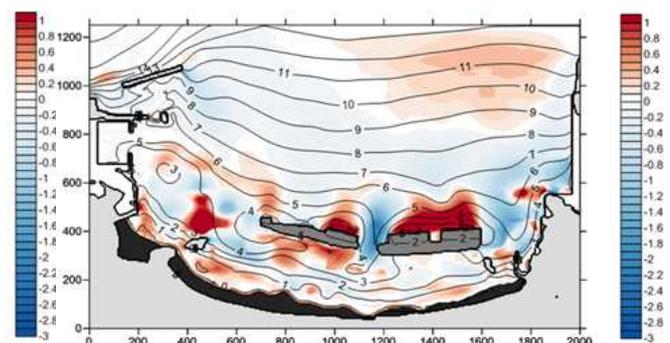
(3)Case2



(4)Case3

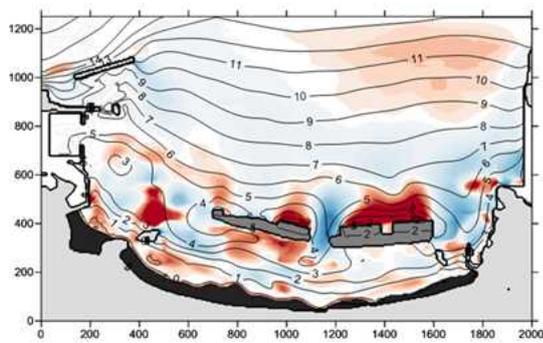


(5)Case4

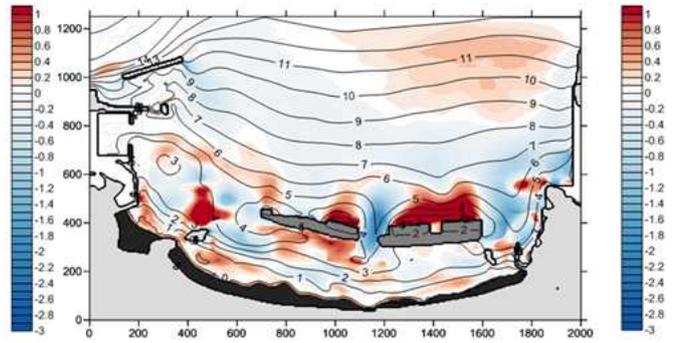


(6)Case5

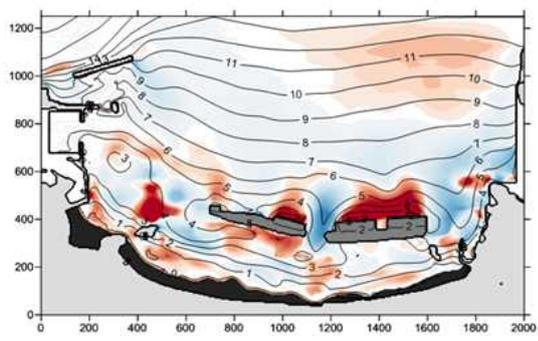
図 4-8 122 日後の地形変化計算結果



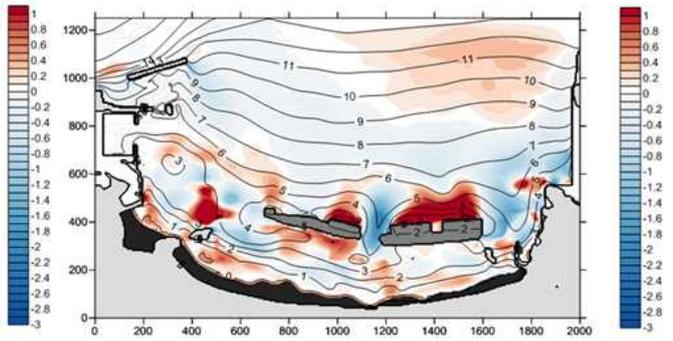
(7)Case6



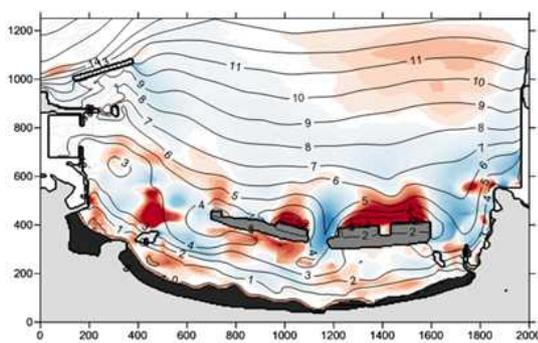
(8)Case7



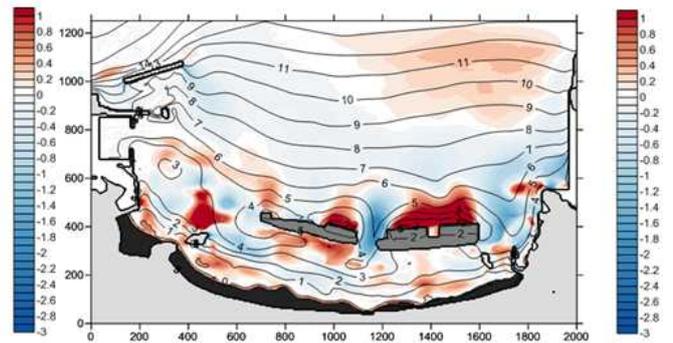
(9)Case8



(10)Case9

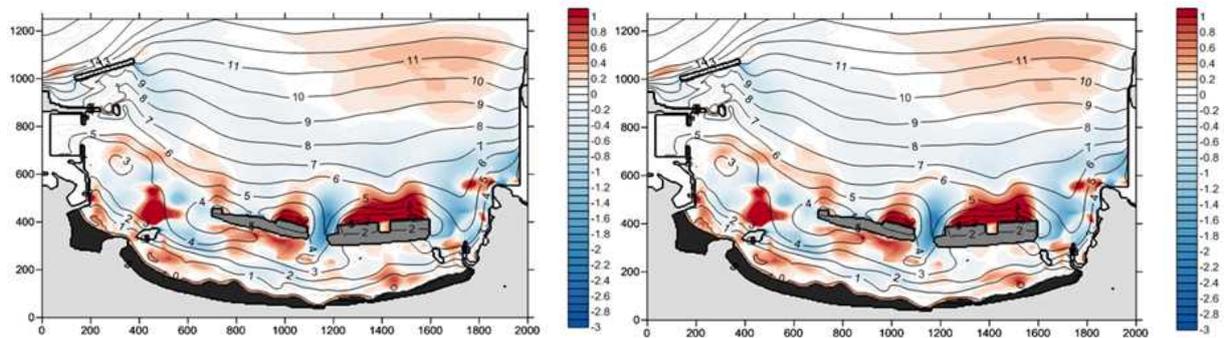


(11)Case10



(12)Case11

図 4-8 122 日後の地形変化計算結果 (続き)



(13)Case12

(14)Case13

図 4-8 122 日後の地形変化計算結果（続き）

4.5 まとめ

今年度は、土砂投入を考慮した 3 次元海浜変形モデルを構築し、その妥当性を検討するため、サンドリサイクルが実施されている浦富海岸に適用した。

本モデルによって土砂の浚渫と投入過程およびその後に地形変化計算は可能であることが確認できた。しかし、土砂投入量の設定、波浪条件の設定、汀線付近の取り扱いなどの検討の余地がある。

次年度は、岩美海岸（陸上地区）（以下、「陸上海岸」という）において計画されているポンプ浚渫によるサンドリサイクル・サンドバイパス実証実験結果とも比較しモデルの詳細な検討を行う。さらに、浦富海岸、陸上海岸に適用し、精度向上のための検証計算を実施する予定である。

【参考文献】

黒岩正光, 松原雄平, 市村康, 丸毛裕治, 中野伸太郎, 津留秀臣 (2012) : 人工リーフ開口部における地形変化に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, p.I_566-I_570

5. 鳥取沖の波浪観測結果とその統計量

サンドリサイクルの効果検証を、例えば3次元海浜変形シミュレーションを用いて行うためには、対象とする海岸に來襲する波浪の特性を把握し、4章に示したような波浪設定が必要である。海浜変形の長期予測ではエネルギー平均波が用いられるが、突発的な時化によって大きな汀線後退が発生し問題となる場合もあり、時化を考慮した波浪設定も必要である。本年度は、鳥取港沖で観測されている波浪データをもとに、高波浪データの極値統計解析および高波発生頻度の統計的特性について検討した。

鳥取県内では、鳥取港におけるナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）による波浪情報のうち、港湾空港技術研究所資料の全国港湾海洋波浪観測年報として公開されている、波浪観測の基礎的統計データと高波浪データ（有義波高の閾値3.0m）を用いて、波高（有義波高）の極大値データに対する極値分布関数と確率波高の推定および高波発生回数の統計的特性について検討した。鳥取港のデータについては、たとえば合田（2008）が、観測が開始された1979年から1998年までのデータを用いた解析結果を示しており、鳥取港のデータに対する最適分布関数として形状母数1.0のワイブル分布を、日本海沿岸を対象とした地域共通分布関数として形状母数1.4のワイブル分布を選定し、それらを用いた再現期間50年の確率波高を7.9mおよび8.6mと算定している。また、合田（2010）は、酒田港とKodiak島（アラスカ）の高波浪データを用いて、1年間の高波発生回数がポアソン分布で近似できることを示している。鳥取港を含む日本沿岸の高波浪については、1991年から2010年までのデータが港湾空港技術研究所のホームページで公開されており、このデータを用いて解析を行った。以下にその内容と結果を示す。

(1) 波浪観測データの有効統計年数

後述する波高極大値データの極値統計解析および高波発生回数の統計解析では、波浪観測の実質的な期間を表す有効統計年数が必要となる。長期間にわたる観測においては、機器の故障等による欠測が生じ、特に欠測期間が長いあるいは欠測回数が多い場合には、観測期間を補正する必要がある。ここでは、合田（1967）の方法により、各月のデータ測得率にもとづく観測月数と、高波浪データから求められる月別の平均高波発生回数を用いて有効統計年数を求めた。その結果、1991年から2010年までの20年間の鳥取港における観測データについては、有効統計年数が17.2年と算出された。

(2) 波高極大値データの極値統計解析

上記の20年間で鳥取港において観測された高波（有義波高の閾値3.0m）は343回あり、その間の有義波高の最大値は6.79m（1991年2月17日）である。343個の波高極大値データに対して、従来から長期波浪統計で用いられている極値Ⅰ型分布、極値Ⅱ型分布（形状母数 $k=2.5, 3.33, 5.0, 10.0$ ）およびワイブル分布（ $k=0.75, 1.0, 1.4, 2.0$ ）の当てはめを行い、そのうちからデータに最もよく適合する確率分布およびその母数を推定する。図5-1は、最小2乗法による確率分布の当てはめの一例で、図の横軸は基準化変量、縦軸は波高である。この図はワイブル分布の $k=1.4$ の場合であり、結果的にこの分布の決定係数（図中の R^2 ）が最も大きく、最適の分布であると判定された。図中の回帰式の傾きがワイブル分布の尺度母数 A 、切片が位

置母数Bとなり，それぞれの値はA=1.123，B=2.825である．この確率分布と，高波の平均発生率 $343/17.2=19.9$ （回/年）より，再現期間50年の確率波高が7.29mと推定される．

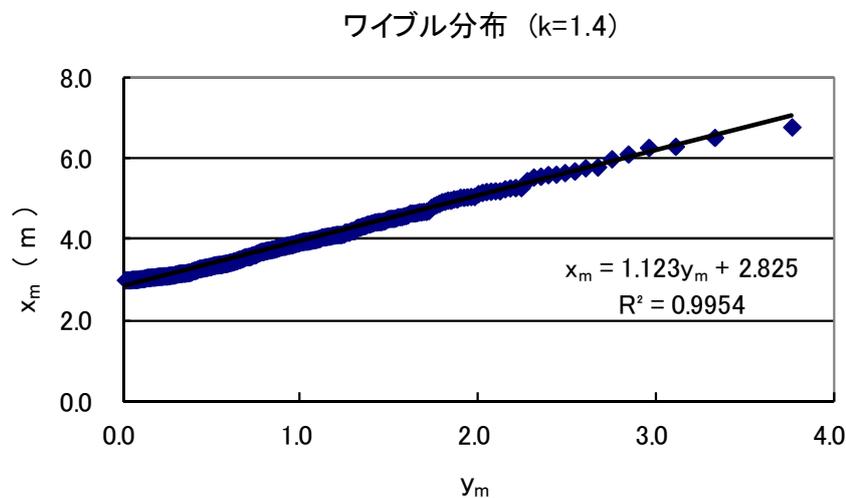


図 5-1 鳥取港における波高極大値データに対する確率分布の当てはめ

(3) 高波発生回数の統計解析

上述の波高極大値データにおいて，各年で閾値を超える高波の発生回数を数え，年間の高波発生回数の累積相対度数を求める．図5-2の点線は，鳥取港のデータで有義波高の閾値を3.0mとした場合の累積相対度数を示したものである．ただし，1991年から2010年までのうち年間のデータ測得率が低く高波発生回数が少ない3年間のデータを省いており，高波の合計回数は311回である．これを有効統計年数で除すると平均発生率が18.1（回/年）となり，この値を平均値とするポアソン分布を示したものが図5-2の実線である．若干の相違はあるが，高波発生回数はポアソン分布で近似可能であることが確認された．

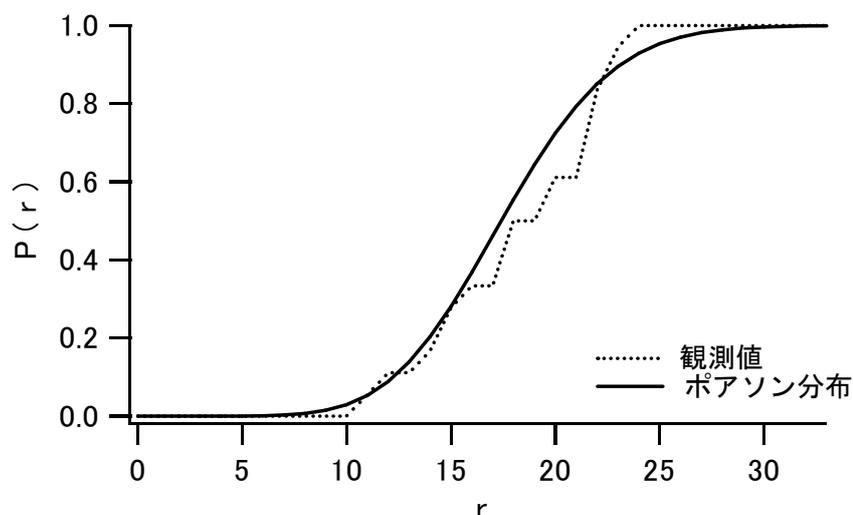


図 5-2 鳥取港における高波発生回数の特性（有義波高閾値 3.0m）

以上の結果を用いて、1年間の高波発生回数と各高波事象における沖波波高を与えることが可能であり、3次元海浜変形シミュレーションの波浪条件の設定において利用できることが期待される。

【参考文献】

合田良實，波浪統計に関する二，三の考察，港湾技研資料，No.39，pp.239-255，1967

合田良實，耐波工学－港湾・海岸構造物の耐波設計－，鹿島出版会，430p.，2008

合田良實，年最大値の極値統計量に及ぼす標本サイズの影響に関する数値実験，ECHO/YG
技術論文，No.14，pp.1-20，2010

6. 平成 24 年度の研究成果と今後の展開

- 1) サンドポンプによるサンドリサイクルシステムに関連する最新技術・工法に関する国内外の情報収集と、その技術・工法に係る整理
 - (1) 平成 24 年度実施成果
国外のサンドバイパスおよびサンドリサイクルの事例に関する情報収集を行い、鳥取県が想定している土砂輸送規模に類似した事例としてオーストラリア（ヌーサ メイン ビーチ）の事例を特定できた。
 - (2) 平成 25 年度実施内容と期待される効果
 - ・国内におけるサンドポンプを用いたサンドリサイクル事業現場の視察
 - ・オーストラリア東海岸のサンシャインコーストに位置するヌーサ メイン ビーチへの視察
 - ・これによってサンドリサイクルの実情と課題を明らかにできると思われる。

- 2) 鳥取県の地域特性に適合したサンドポンプの市場性調査とポンプの稼働能力の推測、堆砂・侵食抑制の効果についての評価分析
 - (1) 平成 24 年度実施成果
国内サンドポンプ各メーカーの機能と特徴について取りまとめ、および土砂の圧送における留意点を示した。
 - (2) 平成 25 年度実施内容と期待される効果
実証試験で使用されるポンプを含め、鳥取沿岸の底質特性に適したポンプの必要機能について、更に検討を加え、最終的に適合ポンプを提案する。

- 3) 県下の沿岸域の地形特性を考慮した風況シミュレーションと風力発電の実施可能性評価（気象モデルを用いた鳥取県における風況計算結果と検証）
 - (1) 実施成果
風力発電の実施可能性評価のための風況予測モデル（WRF）の開発を行った。計算対象期間は 2012 年 1 月～3 月の 3 ケ月間である。モデルの精度検証を行うため、泊漁港の沖防波堤先端部において実施した三杯式風速計ならびにドップラーライダーによる風況観測結果との比較を行った。その比較から、予測モデルによる計算結果は実測値との相関は高いとは言いが、現地における風況の傾向を概ね捉えることが確認できた。また、県内全域 700m ピッチの格子点風況が計算可能となった。
 - (2) 平成 25 年度実施内容と期待される効果
 - ・風況予測モデルの精度向上を図るための検討を行う。
 - ・鳥取県全域における 2012 年 1 月～12 月までの周年の風況予測を行う。
 - ・冬季における沿岸域の流れには季節風の影響もあると考えられるため、WRF による計算結果を 3 元海浜変形予測モデルに導入する手法も検討する。これらにより、鳥取全域における周年の風況予測結果は、風力発電の実施可能性評価の

根拠資料となること、また風況予測結果を3次元海浜変形予測モデルに導入することによって、サンドリサイクルによる海浜変形効果検証の精度向上が期待される。

4) 鳥取沿岸の波浪ならびに漂砂特性から見た効率的なサンドリサイクルの評価および適用条件の設定・検証

(1) 土砂投入を考慮した3次元海浜変形モデルの開発とその妥当性の検討

次の成果等から波浪解析結果を用いることで3次元海浜変形シミュレーションの波浪設定の根拠資料となることが期待される。

①実施成果

土砂投入を考慮した3次元海浜変形モデルを構築し、その妥当性を検討するため、サンドリサイクルが実施されている浦富海岸に適用した。本モデルによって土砂の浚渫と投入過程およびその後に地形変化計算は可能であることが確認できた。

②平成25年度実施内容と期待される効果

- ・土砂投入量の設定、波浪条件の設定、汀線付近の取り扱いなどを再検討する。
- ・陸上海岸において計画されているポンプ浚渫によるサンドリサイクル実証実験結果とも比較しモデルの詳細な検討を行う。
- ・浦富海岸、陸上海岸に適用し、精度向上のための検証計算を実施する予定である。

(2) 鳥取港における波浪の極値データ解析

次の成果等から波浪解析結果を用いることで3次元海浜変形シミュレーションの波浪設定の根拠資料となることが期待される。

①実施成果

1991年から2010年までの鳥取の波浪データの分析から、高波浪(有義波高3m以上)の発生回数の非超過確率が、年平均発生回数を平均値とするポアソン分布で近似できることを確認した。

②平成25年度実施内容と期待される効果

- ・高波浪以外の波浪特性も検討する予定である。

5) 再生可能エネルギーの利用に向けて

以上が、平成24年度の成果と今後の展開である。今後、想定されるサンドリサイクルシステムに必要な適正な風車規模の算出と低コストを目指した新しい垂直軸風車についても検討を進める予定である。これにより、大型の風力発電に加えて小規模な再生可能エネルギーの利用例の一つとして検討できる。具体には垂直軸風車の性能予測プログラムの開発と汎用プログラム(CFD: Computational Fluid Dynamics, 計算流体力学)を用いた信頼性評価が考えられ、これにより新規の風車の性能予測の信頼性を高め、企業の事業化への取り組みのハードルを下げることに寄与できる。