

# Annual Report 2020

港灣空港技術研究所 年次報告 2020

# 世界に貢献する 技術をめざして

港湾空港技術研究所長 稲田 雅裕  
(うみそら研理事)



2016年4月に、海上技術安全研究所、港湾空港技術研究所及び電子航法研究所の3研究所が統合し、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所(通称「うみそら研」)が発足しました。私ども、港湾空港技術研究所は、うみそら研の中で、港湾及び空港の整備等に関する調査、研究及び技術の開発等を担う研究所として、これまでの歩みをしっかり継承しつつ、役割を果たしてまいります。前身である運輸省港湾技術研究所は、1962年の誕生以来、鹿島港開発や羽田・関西国際空港建設など数々の港湾・空港プロジェクトを技術的に支援し、世界的にも評価される研究成果をあげてまいりました。これからは、従前からの国土交通省国土技術政策総合研究所との密接な連携に加え、統合した2つの研究所との連携によって、異分野の研究の連携、融合をさらに拡大、深化させ、統合のシナジー効果の発揮により、研究開発成果の最大化を図ってまいります。

さて、本年年報は第一期中長期計画(2016年度～2022年度)の4年度目である2019年度の実績をとりまとめたものです。第一期中長期計画においては、「沿岸域における災害の軽減と復旧」、「産業と国民生活を支えるストックの形成」、「海洋権益の保全と海洋の利活用」、「海域環境の形成と活用」の4つの研究開発課題に重点的に取り組むこととしております。

「沿岸域における災害の軽減と復旧」では、最大級の地震や高潮・高波による被災予測、津波による洗掘現象の分析や構造物の安定性検討などの研究を進めています。

「産業と国民生活を支えるストックの形成」では、インフラの長期耐久性の評価や点検診断技術の開発、既存施設の改良・更新技術の開発、コンテナターミナルの荷役効率化方策の検討などの研究を進めています。

「海洋権益の保全と海洋の利活用」では、遠隔離島の港湾及び国土保全、i-Constructionのベースとなる音響ビデオカメラの開発、洋上風力発電施設の合理的設計手法などの技術開発を進めています。

「海域環境の形成と活用」では、多様な沿岸域におけるブルーカーボン(緩和効果)の定量化と、生態系の影響を考慮した波浪減衰予測モデル(適応効果)の両方を可能とする新たな沿岸生態系モデルの構築などの研究を進めています。

上記これらの研究の遂行に当たっては、当研究所の二大モットーである、「研究水準が世界最高レベルであること」と「研究成果が実際のプロジェクトで役立つこと」を追い求めてまいります。また、国が進めるインフラの海外展開への貢献や海外諸国への技術支援など、戦略的な国際活動についてもあわせて推進してまいります。さらに、研究分野横断の技術課題に対応するため、5つのセンター(「国際沿岸防災センター」、「ライフサイクルマネジメント支援センター」、「海洋インフラ・洋上風力技術センター」、「港湾空港生産性向上技術センター」、「港湾空港イノベーション推進センター」)を設置しており、技術実装の現場を持つ国土交通省地方整備局等や民間企業との連携も一層強化してまいります。

近年、地震や高潮・高波といった自然災害が多発しており、国土強靱化は待ったなしの課題です。今後とも、当研究所が我が国独自の厳しい自然条件の下、現場に密着した実践的な研究開発をおこなっている研究機関であるという独自性に鑑み、当研究所が持つ知見、人材等を活用し、防災に係る啓蒙、地震、津波等災害発生時の応急対応及び復旧に対する支援等もしっかりと取り組んでまいりたいと考えております。

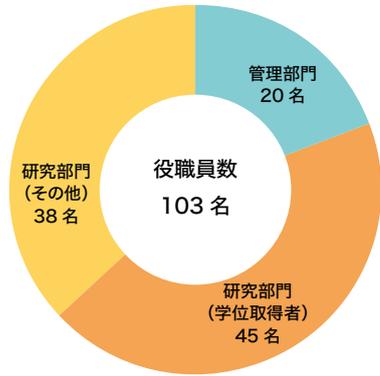
皆様のご理解とご支援をお願い申し上げます。

## CONTENTS

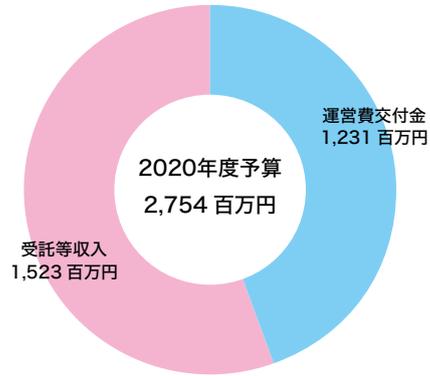
1	組織等の概要	02p	6	研究成果の公表	19p
2	研究所運営の基本方針	03p	7	開かれた研究所	20p
3	2019年度の研究体系	04p	8	高い外部評価	21p
4	各研究テーマの概要及び2019年度の活動	05p	9	研究所の出来事	22p
5	基礎研究と萌芽の研究	14p			

# 組織等の概要

## 役員及び予算

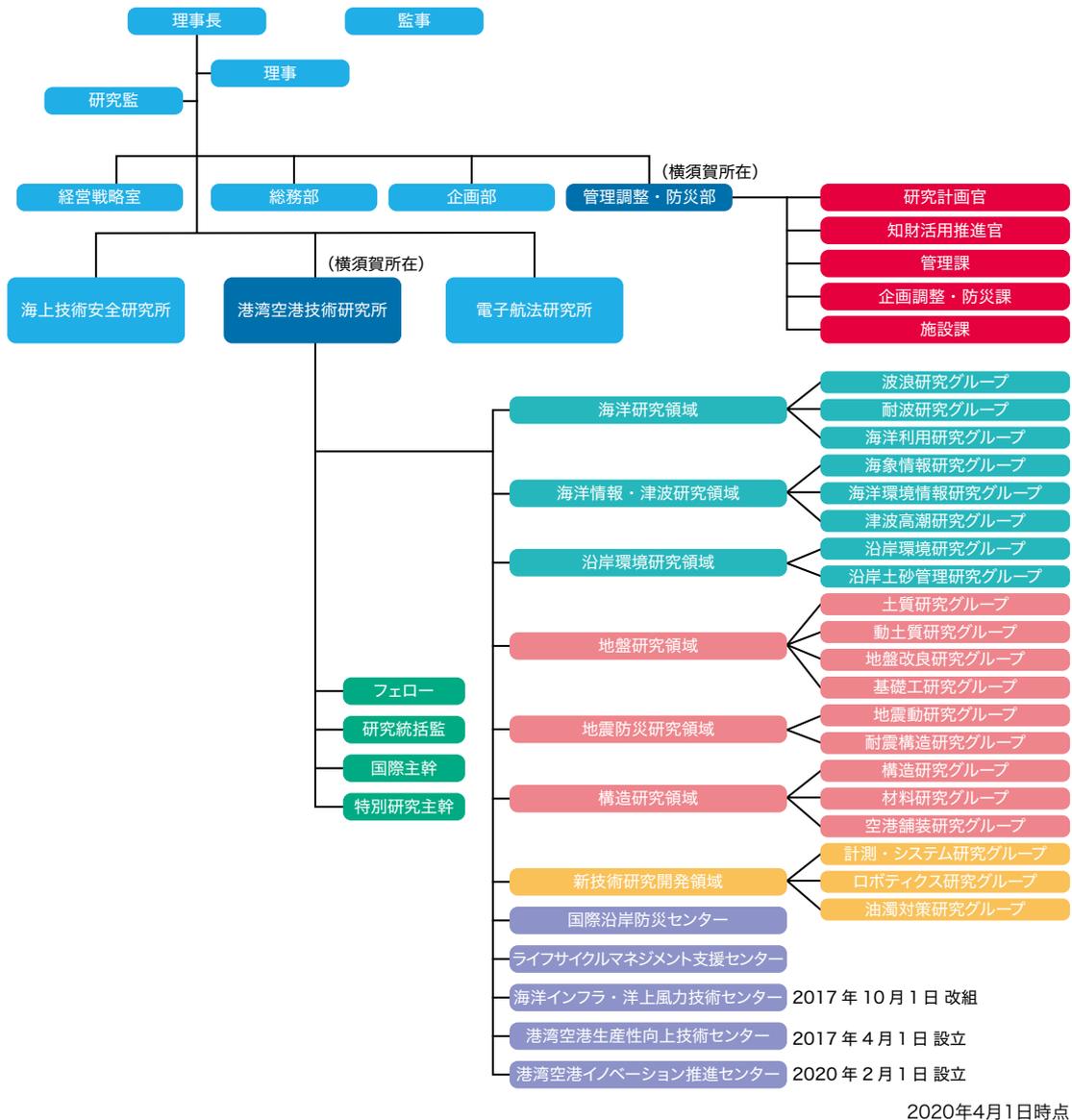


2020年4月1日時点  
(横須賀所在)



※港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る  
技術分野に関する予算を示す

## 組織構成



## 中長期目標(2016年度～2022年度)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所が達成すべき業務運営に関する目標として、国土交通大臣により中長期目標が定められており、同目標において、以下のとおりその活動が明記されている。

独立行政法人改革等に関する基本的な方針(平成25年12月24日閣議決定。以下「改革の基本的な方針」という。)を踏まえ、その政策実施機能の強化を図るべく、今般、国土交通省が所管する国立研究開発法人海上技術安全研究所、国立研究開発法人港湾空港技術研究所及び国立研究開発法人電子航法研究所を統合し、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所(以下「研究所」という。)を設立した。通則法第2条第1項に規定されているとおり、研究所は、国民生活及び社会経済の安定等の公共上の見地から確実に実施されることが必要な事務及び事業であって、国が自ら主体となって直接に実施する必要のないものうち、民間の主体に委ねた場合には必ずしも実施されないおそれがあるものを効果的かつ効率的に行うために設立されている法人である。

各研究所それぞれが担ってきた役割の大きさに鑑みれば、研究所は、「改革の基本的な方針」に沿って、従前より培ってきた豊富な知見やプレゼンスを今後も十分に活かし研究開発を進めることが必要である。さらに、社会環境の変化に対応して研究内容の見直しと重点化を不断に行うとともに、新たな萌芽的研究に取り組むなど、各分野における政策課題の解決に向けた研究開発をより一層積極的に実施していく。

また、研究所は、このような各分野における研究開発の推進によって、技術シーズを磨き、専門的な知見を蓄積してきたからこそ、それを活用した分野横断的な研究の実施が可能となっている。このことを踏まえ、分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、例えば、国土形成計画に位置付けられた「海洋権益の保全及び海洋資源・海洋再生エネルギーの開発等の利活用の推進」等、我が国の政策の実現に貢献していく。

さらに、これらの研究開発の成果を社会に還元させるとともに、外部機関との連携、研究成果の広範な普及に努めることが重要である。加えて、国際的な基準・標準策定への積極的な参画や、国際協力を通じて我が国の技術やシステムの国際的な普及を図る等の国際活動を戦略的に実施していくことも重要である。

以上のように、我が国が直面する多様かつ重大な課題の解決のため、国土交通省技術基本計画に基づき、国土交通省が推進する政策の実現に貢献していくことが研究所のミッションである。

## 中長期計画(2016年度～2022年度)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所は、国土交通大臣が定めた中長期目標を受け、それを達成するための中長期計画を策定している。そのうち、研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する事項のポイントは、次のとおりである。

### 1) 分野横断的な研究の推進等

旧3研究所の研究領域にまたがる分野横断的な研究を効率的かつ効果的に実施し、海洋の利用促進、産業の国際競争力強化等の政策の実現に貢献する。

### 2) 港湾、航路、海岸及び飛行場等に係る技術に関する研究開発等

国土交通省で推進する港湾・空港施設等の防災及び減災対策、既存構造物の老朽化対策、海洋開発の拠点整備等の課題へ対応するため、次頁の研究体系に示す研究開発課題に重点的に取り組む。

また、基礎的な研究のうち、波浪や海浜変形等に係るメカニズムや地盤及び構造物の力学的挙動等の原理や現象の解明に向けて積極的に取り組む。

併せて、新たな研究成果を創出する可能性を有する萌芽的研究に対し、先見性と機動性を持った的確に対応する。

### 3) 研究開発成果の社会への還元

技術的政策課題の解決に向けた対応、災害及び事故への対応、橋渡し機能の強化、知的財産権の普及活用、情報発信や広報の充実に取り組む。

### 4) 戦略的な国際活動の推進

国際基準化・国際標準化への貢献、海外機関等との連携強化に取り組む。

## 研究所の運営

迅速な意思決定に努め、戦略的な研究所運営に取り組む。また運営に係る多様な事項について、幅広い視点から多角的な検討を行うため、以下に示す各会議等を開催する。

- 1) 経営戦略会議：研究所の運営の根幹に係る重要な事項について審議する意思決定会議
- 2) 幹部会：部長級以上の全役職員と管理調整・防災部3課長で構成する毎週の定例会議
- 3) 評議員会：外部有識者の広くかつ高い見識から答申を得ることを目的として設置している会議
- 4) 外部評価委員会：研究所が行う研究について第三者による客観的及び専門的視点からの評価を行う外部機関

# 2019年度の研究体系

3

2019年度の研究体系

研究開発課題	研究テーマ	研究サブテーマ	研究の種別	研究実施項目(☆は特別研究※)
1 沿岸域における災害の軽減と復旧	1A 地震災害の軽減や復旧に関する研究開発	①最大級の地震による波形予測と被害予測に関する研究	基礎研究	港湾地域および空港における強震観測と記録の整理解析(2A②)
			基礎研究	地震災害および被災要因調査(2A②)
			基礎研究	震源近傍強震動の予測手法の開発
			基礎研究	地震動の連成作用下の液化地盤の挙動評価・分析と対策
			応用研究	☆最大級の地震に対する洋上風力発電設備・沿岸域構造物の耐震性能照査の技術開発
			応用研究	沿岸域施設の耐震性能早期発現のための対策技術開発
	1B 津波災害の軽減や復旧に関する研究開発	②耐津波強化港湾の形成に関する研究	基礎研究	津波による構造物周辺の局所洗掘量の推定手法の構築
			開発研究	津波による港湾構造物変形への粒子法の適用
			基礎研究	海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明
			応用研究	日本沿岸におけるうねり性波浪の季節・海域特性とその出現機構の検討
	1C 高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発	③地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究	基礎研究	地盤工学的観点からの高波に対する海岸施設の安定性評価手法の検討(1C②)
			応用研究	☆沿岸構造物の吸い出し・陥没等安定性評価と対策技術の開発(1C②)
			開発研究	三次元漂流物シミュレーションモデルの開発と平面二次元モデルへの適用手法の検討
			開発研究	複合観測情報に基づく津波予測技術の開発
		①高潮・高波の予測と最大級の被害想定に関する研究	基礎研究	津波による構造物周辺の局所洗掘量の推定手法の構築
応用研究			津波による港湾構造物変形への粒子法の適用	
開発研究			港内の強風による波や航走波の造波・静穏度解析手法の開発	
応用研究			構造物の被災状態に応じた波浪変形・伝播特性の評価	
②最大級の高潮・高波の被害軽減技術に関する研究	基礎研究	海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明		
	応用研究	日本沿岸におけるうねり性波浪の季節・海域特性とその出現機構の検討		
	開発研究	港内の強風による波や航走波の造波・静穏度解析手法の開発		
	応用研究	高潮・波浪結合モデルを用いた最大級の高潮ハザードに関する研究		
2 産業と国民生活を支えるストックの形成	2A 国際競争力確保のための港湾や空港機能の強化に関する研究開発	①港湾・空港のオペレーション機能の強化に関する研究開発	応用研究	コンテナターミナルシステムへのAI、ICT等新手法導入効果の評価手法の提案
			②港湾・空港の効率的・効果的な整備に資する技術開発	(本表で2A②を注記している研究実施項目)
	2B インフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発	①インフラの長寿命化技術に関する研究	基礎研究	暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性の評価
			基礎研究	海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価
			基礎研究	海洋構造物の被覆防食工法における性能評価手法の開発
			基礎研究	過酷環境下における各種材料の耐久性評価
			応用研究	空港コンクリート舗装鉄網の設計施工面における効果の検討(2A②)
			応用研究	☆海洋コンクリート構造物の補修・補強技術の体系化
	2C インフラの有効活用に関する研究開発	②インフラの点検診断システムに関する研究	応用研究	海洋構造物の性能評価の高度化に向けた点検診断技術の導入・運用に関する検討
			開発研究	点検装置の作業外乱への対応技術の開発(2A①)
			応用研究	港湾施設群のLCC最適化のための維持管理計画策定手法の検討
		③インフラのマネジメントシステムに関する研究	応用研究	物理探査を用いた改良地盤の品質評価方法の開発(2A②)
			基礎研究	栈橋の性能規定の高精細化のための栈橋構造の破壊過程の解明
			基礎研究	☆微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価の高精度化
			応用研究	浚渫土砂処分場の高容量化に関する技術開発
3 海洋権益の保全と海洋の利活用	3A 海洋の開発と利用に関する研究開発	①遠隔離島での港湾整備に関する研究	開発研究	孤立リーフ海域に適用可能な波浪制御技術に関する研究
			開発研究	港湾内の船舶の新型係留装置に関する技術開発
			基礎研究	☆炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発
			開発研究	次世代音響画像システムの開発(2A①)
			開発研究	水中機械化施工におけるマシンガイダンス技術に関する研究(2A①)
			応用研究	波力発電機能付き浮消波堤に関する研究
	②海洋の利用・開発を支援するインフラ技術に関する研究	応用研究	洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究	
		基礎研究	☆多様な変動荷重を受ける洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性の解明(2C①)	
		基礎研究	☆浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証	
		応用研究	減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成	
4 海域環境の形成と活用	4A 沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発	①沿岸生態系の活用に関する研究	基礎研究	☆大気・海洋に関する湾口横断観測と解析
			基礎研究	沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析
			基礎研究	アマモ場生態系の機能向上技術の開発
			応用研究	流動シミュレーションとデータ同化による沿岸域の流動の数値解析
			開発研究	次世代油濁対策技術の高度化に関する研究開発
			基礎研究	気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発
	4B 沿岸地形の形成や維持に関する研究開発	②内湾域の水環境リアルタイム予測技術に関する研究	基礎研究	波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発
			基礎研究	河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への累積機構の解明
			基礎研究	海域における沿岸地形モニタリングへの航空深淺測量の適用性に関する検討
			基礎研究	③海上流出油への対応技術に関する研究

※特別研究は、港空研が重点的に行う必要性が高い研究であり、人員及び資金の集中的な投入を図るとともに、必要に応じて港空研の基本的な組織の枠を超えた横断的な研究体制を整備して、迅速な研究の推進を図るもの

## 1A 地震災害の軽減や復旧に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・ 南海トラフ巨大地震や首都直下地震をはじめとする大規模災害に対して、地震後の早い段階からの所要の幹線貨物輸送機能の確保、また、復旧復興の拠点としての必要最小限の緊急物資輸送機能の早期確保が必要とされている。さらには地震・津波・高波と地盤の相互作用による沿岸災害が懸念され、その軽減が必要とされている。
- ・ そこで、本研究テーマでは、海溝型大規模地震発生時に予測されている長周期・長継続時間の地震動特性や、局所的な地盤特性による地震動特性に対応した施設の耐震性診断・耐震性能照査に基づく耐震性向上と工費縮減を両立させる研究開発を行う。特に、高度経済成長期に整備され設計寿命を迎えつつある施設を供用しながら、耐震性の調査や診断を可能とする手法や、耐震性向上対策の実施を可能とする工法等の研究開発を行う。

### 研究の概要

次の3つのサブテーマを設け研究開発を行う。

#### i) 最大級の地震による波形予測と被害予測に関する研究

海溝型巨大地震がもたらすことが懸念される最大級かつ継続時間の長い地震動の予測技術の開発を行う。また、最大級かつ継続時間の長い地震動に対する液状化予測及び構造物の被害予測技術の開発などを行う。

#### ii) 最大級の地震に対する被害軽減技術に関する研究

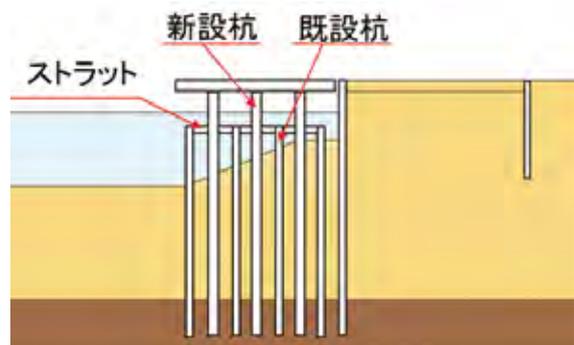
既存構造物の耐震補強を効果的に進めるため、与えられた制約の下で最も効果的な対策を提案していく。その際、新たな素材や構造・工法を用いた被害軽減・強靱化技術を積極的に用いていく。特に、コンビナートなどの耐震性向上策として、施設全体の機能維持並びにコスト縮減の視点に立ち、供用制限を少なくした調査・診断・対策技術を開発する。また、災害直後に被害の程度を現地で迅速に評価する簡易判定法の開発や応急復旧技術の開発などを行う。

#### iii) 地震・津波・高波と地盤ダイナミクスの相互作用に関する研究

地震時、波浪作用時の海底地盤の液状化や吸い出し・陥没等安定性評価、津波作用時の防波堤基礎マウンドの支持力低下機構など、地震、波浪と地盤の相互作用に関する研究を進める。また地震による海底地滑りの発生やこれに起因する津波現象、さらに津波、高波作用時の地盤の動態、変形破壊機構及びその対策についての検討を、数値シミュレーションモデルや模型実験(遠心装置や大規模波動水槽)等を用いて進める。

### 2019 年度の活動

- ・ 平成31年(令和元年)1月～12月の期間で1,900個の強震記録を得た。この中で振幅が最大のもは8月4日に発生した福島県沖の地震(M6.4)による相馬港の記録であり、最大加速度は159Galであった。取得された地震動情報の速報値を自動的にメール配信するシステムの整備も順次進めており、福島県沖の地震に関する速報値は地震後10分程度の間に配信された。このほか、本省や地方整備局と連携し、強震計の更新に伴うシステムの改良等にも取り組んでいる。
- ・ 大規模地震発生後に係留施設の利用可否判断を迅速に行うためのシステムとして過年度に開発したRTK-GNSSによるシステム(Berth Surveyor)について、表示機能の強化を行うとともに、その活用方法について本省や地方整備局とともに検討を行っている。関係者への周知や現地への試験導入も行った。
- ・ 断層深部のアスペリティの破壊に伴う強震動に加え、熊本地震の際に顕在化した断層浅部のすべりによる影響も考慮できる包括的な強震動予測手法の開発を念頭に、断層面の離散化の方法などの基礎的な検討を行った。
- ・ 地震動の連成作用や細粒分を含有する地盤を対象として液状化挙動の評価・分析を行い、液状化域の伝播に伴う地盤内流動とポイリングを抑制するための技術を提示した。
- ・ 洋上風力発電設備について、地震動・風等の多様な組み合わせ外力下での挙動の解明と耐震性能照査手法の確立を念頭に、解析コードの開発に着手した。
- ・ 耐震性能早期発現のための構造として、既設構造を活用したストラット追設と増杭による栈橋式係留施設の耐震改良工法について検討し、模型振動台実験と解析により、その地震時挙動の基本的特性と耐震性向上効果を明らかにした。
- ・ 地震・波・流れによる多様な動的外力作用下の吸い出し・陥没等安定性評価と分析を行い当該特性・メカニズムを明らかにするとともに、吸い出し・陥没抑制に有効な新たな対策技術の検証を行った。
- ・ 波と流れに対する地盤の破壊挙動を調べるための遠心模型実験手法を構築し、地盤工学的観点からの高波に対する海岸施設の安定性評価手法を検討した。



既設構造を活用したストラット追設と増杭による栈橋式係留施設の耐震改良工法

# 1B 津波災害の軽減や復旧に関する研究開発

## 研究の目的・背景

- ・ 2011年の東日本大震災以降、越流を伴う津波に対しても安定な構造物の開発、構造物が破壊されて生ずるガレキの漂流を予測する数値シミュレーションモデルの開発等を行ってきた。しかし、陸上部を遡上する複雑な津波の挙動やそれに伴う被害は十分には明らかにされておらず、その推定方法も未開発である。また、避難等に活用が期待される浸水リアルタイム予測技術に関しても、利用しているデータはGPS波浪計のデータのみであり、他の貴重なデータを活用しきれていない。
- ・ そこで、本研究テーマでは、防災・減災対策を被害先行型から対策先行型へ切り替えていくため、最大級の津波に対しても強靱な(レジリエントな)沿岸域の構築、すなわち、最大級の津波に対しても人命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害を発生させず、早期復旧復興を可能とするための研究を行う。

## 研究の概要

次の2つのサブテーマを設け研究開発を行う。

### i) ICTによる意思決定支援システムに関する研究

信頼性の高い津波予測のために、これまでに開発してきたGPS波浪計による沖合津波観測情報を利用した即時浸水予測システムをさらに発展させ、陸上GPSによる地殻変動情報、海洋短波レーダー等リモートセンシング情報の活用により信頼性を一層向上させる。また、安全な避難場所の配置のためには、津波による浸水の評価だけでなく、構造物の耐津波性を評価するための津波の流速や漂流物の評価、さらに漂流物にともなう津波火災の評価等が必要であり、これらリスクの評価を可能にする総合シミュレーションシステムを構築する。

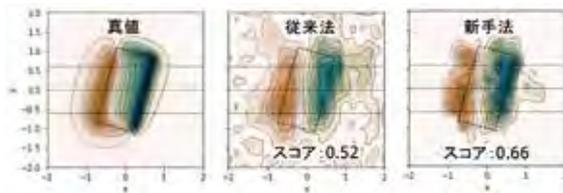
### ii) 耐津波強化港湾の形成に関する研究

強い流れの発生場所、大規模越流等による構造物周りの洗掘、船舶等漂流物の衝突力等を明らかにし、耐津波防波堤等の設計法や耐津波強化港湾の計画手法を開発する。設計や計画のためのツールとして、これまでに開発した数値計算モデルに加え、流体と個体を一体として解く粒子法等新たな計算手法を取り入れた3次元マルチフィジックス数値計算モデルを開発する。さらに、大縮尺の模型実験を実施して、計算モデルの妥当性及精度の検証を行うとともに、港湾都市における津波の複雑現象を解明する。

## 2019 年度の活動

- ・ 三次元漂流物シミュレーションの開発と平面二次元モデルへの適応手法の検討では、港湾を含む沿岸域を対象に漂流物の実験、三次元漂流物シミュレーションの流体モデルと漂流物モデルの連成手法を検討した。その実験では、異なる形状の漂流物模型に加速度センサーを内蔵して三次元データを取得するとともに、画像解析によって平面的な挙動を分析した。

- ・ 複合観測情報に基づく津波予測技術の開発では、時間逆転イメージングによるデータ駆動型基底を用いた波源インバージョン手法を開発し、波源の推定精度を14%改善した。また、相反原理に基づき、波源推定に必要なグリーン関数の計算コストを約100分の1に削減する技術も開発した。これら新技術によって超高解像度の波源解析が可能となり、津波波形予測のより一層の高精度化が期待される。



従来法と新手法による矩形の断層波源の推定精度の比較

- ・ 津波による構造物周辺の局所洗掘量の推定手法の構築では、防波堤の堤頭部で発生する局所洗掘現象を対象に、大規模水理模型実験と数値計算を実施し、堤頭部の周囲で発生する大規模渦の性質を明らかにした。また、防波堤の堤体の越流による背後の洗掘に関する実験も実施し、マウンドが越流洗掘を抑制する場合のあることを明らかにした。
- ・ 津波による港湾構造物変形への粒子法の適用では、各構造物連成モデル(個別要素法やポーラスモデル等)を統合し、マウンドやブロック、ケーソン等の剛体物の挙動をまとめて取り扱えるようにした。また、波高のみを境界条件とする新しい造波モデルを開発し、2次元平面計算モデル等の他モデルと容易に接続が可能な枠組みを構築した。



(2Dの計算)



(3Dの計算)

粒子法を用いた数値水槽による防波堤周辺の流れの解析

# 1C 高潮・高波災害の軽減や復旧に関する研究開発

## 研究の目的・背景

- ・ わが国では、1959年9月の伊勢湾台風以降、高潮・高波による甚大な被害は受けていないが、アメリカでは2005年9月のハリケーン・カトリーナ、フィリピンでは2013年11月の台風ハイランなど大きな被害が発生している。今後は、地球温暖化の影響により、わが国でもこれまでの想定を超える高潮・高波の発生が懸念される。
- ・ そこで、本研究テーマでは、防災・減災対策を被害先行型から対策先行型へ切り替えていくため、最大級の高潮・高波に対する被害をいかに軽減し、そこから迅速な復旧・復興を図るかということに重点を置いて、ハード・ソフトの対策につながる研究を行う。具体的には、最大級の高潮・高波の予測及び被害想定のためのモデル開発を行うとともに、被害軽減のための粘り強い構造物の設計手法を開発する。

## 研究の概要

次の2つのサブテーマを設け研究開発を行う。

### i) 高潮・高波の予測と最大級の被害想定に関する研究

気象モデルを取り入れた高精度な高潮予測モデル、3次元の流体計算を基礎とした高潮時の潮位・流動現象の新たな計算手法を開発し、最大級の高潮・高波時の被害の特性を明らかにする。また、地球温暖化が最大級の高潮・高波に及ぼす影響や波浪特性の長期変動を、高度な統計的手法を用いて明らかにする。さらに、滑動・沈下等の生じた防波堤による波の遮蔽効果や、パラベット崩壊や消波工の沈下・飛散等が生じた護岸による越波の抑制効果等を算定できる波浪変形計算技術も確立する。

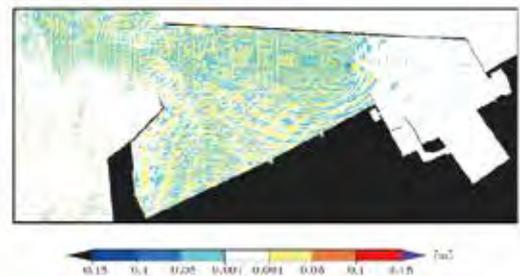
### ii) 最大級の高潮・高波の被害軽減技術に関する研究

高潮等による想定を超える高潮位と高波が複合する複雑な状況下での構造物の安定性を明らかにする。高潮・高波による構造物の被害予測と対策工法の検討、粘り強い構造物の設計手法の開発を行う。

## 2019 年度の活動

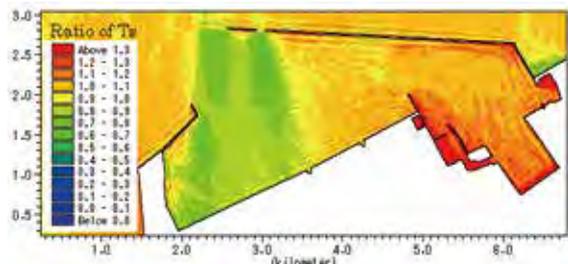
- ・ 海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明では、2018年に全国港湾海洋波浪情報網で観測された波浪観測データを波浪観測年報にとりまとめるとともに、東京湾を縦断した台風1915号による高波について、ナウファスの第二海堡の波浪観測データの解析及び波浪推算による再現を試みた。
- ・ 日本沿岸におけるうねり性波浪の季節・海域特性とその出現機構の検討では、方向スペクトルの多峰性と風波・うねりの出現特性を整理した。冬季季節風による風浪が卓越する日本海沿岸では、風波の寄与が比較的高い。夏季の台風からうねりが到達する太平洋沿岸では、うねりの寄与が高く、多峰性の波浪場が占める割合が日本海側より高い傾向にあることを定量的に確認した。

- ・ 港内の強風による波や航走波の造波・静穏度解析手法の開発では、航走波を考慮した港内静穏度解析法を新たに提案し、それを用いて従来の荷役稼働率との差を定量的に示した。また、強風下での港内波の発達過程に関する風洞水路実験から、風速による水面摩擦速度の変化が初期水面の状態によって異なる可能性を明らかにした。



港内の貨物船(5,000WT)による航走波の造波・伝播計算

- ・ 構造物の被災状態に応じた波浪変形・伝播特性の評価では、没水堤背後の平面波浪場についてブシネスクモデルNOWT-PARIの計算精度を検証した。また、モデル港湾を対象に、被災で一部が水没した防波堤や新設した潜堤の波浪制御効果に着目した波浪変形計算を実施し、これらの施設が港内静穏度に与える影響を定量的に明らかにした。



一部が水没した防波堤によるうねりの短周期化(周期12sとの比)

- ・ 高潮・波浪結合モデルを用いた最大級の高潮ハザードに関する研究では、日本の主要な沿岸で海洋モデルROMSによる高潮の再現性を検討した上で、一つの港を例にSWANとの連成計算でwave setupを考慮した高潮とそれによる浸水を試算した。また、EmanuelのMPI理論を用いて台風の成長限界強度を算出し、最大クラス台風の設定方法も検討した。
- ・ 高潮高波・津波時の外郭施設の構造部材に作用する波力に関する研究では、台風1915号でも被災した複雑な構造断面をもつ護岸の衝撃波力を水理模型実験で明らかにするとともに、そのデータにANNを適用して最大波力及び時系列波力推定法を検討した。護岸背後の防砂シートの浮き上がり防止対策工の効果も大型実験で確認した。

## 2A 国際競争力確保のための 港湾や空港機能の強化に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・ 人口減少が進み高齢化社会が進展していく一方で、過去に蓄積されたインフラの老朽化が進む中、国の活力の源である我が国産業の国際競争力を高め、国民生活を支える港湾・空港の機能をいかに確保していくか、また限られた財源や人員の下、インフラの維持、更新及び修繕、施設自体の長寿命化にも留意しつつ、いかに効率的かつ効果的に実施していくか、技術的な取り組みが求められている。
- ・ このため港湾・空港の機能強化に関する研究開発等に取り組むこととし、国際戦略港湾政策、首都圏空港機能強化(羽田空港整備)など、国際競争力の確保に関連するサブテーマについては研究所全体で包括的に研究開発を進めている。
- ・ 本研究テーマでは、コンテナターミナルへのICT、AIなどの情報技術の導入や自動化荷役など、国際競争力に関連する特定の技術開発に取り組んでいる。なお、港湾・空港施設の運用と施工の調整に配慮した施工・点検手法や、短期間での機能強化などにかかる大規模施設の整備、施設の耐震性向上、施設建設後の維持管理、既存施設の改良など、港湾・空港施設の整備を効率的・効果的に行う技術開発については他の研究テーマの活動で述べている。

### 研究の概要

#### ○港湾・空港の能力向上や機能強化に資する技術の研究開発

##### i) コンテナターミナルシステムへのAI,ICT等新手法導入効果の評価手法の提案

横浜港新本牧埠頭における延長1,000mのコンテナターミナルの各施設配置及びCONPAS、遠隔RTG、オンドックの導入効果をモデル化し、AutoModのシミュレーションによる定量的な評価結果から、適切な導入機能と活用及び施設配置について提案する。

##### ii) 定量的なシミュレーションによる新型コンテナターミナル計画技術の提案

これまで実施された東京港、横浜港、名古屋港、大阪港、神戸港、博多港の定量的なシミュレーションをもとに、PIANCが現在作成し、2021年度に上梓される自動化ターミナルの計画方法のガイドラインを鑑みて、定量的なシミュレーションを通じたコンテナターミナルの計画技術をまとめ、提案する。

##### iii) コンテナターミナルの運用支援技術の提案

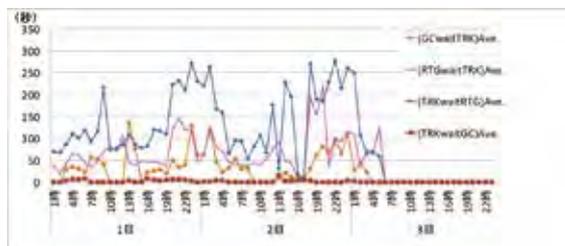
PRISMなどにより進めている、コンテナのダメージチェックシステム、ガントリークレーンの自律制御、RTGの遠隔操作、AI技術の導入など運用支援技術について、研究開発(ダメージチェックシステム)及び国の技術支援を行う。

### 2019 年度の活動

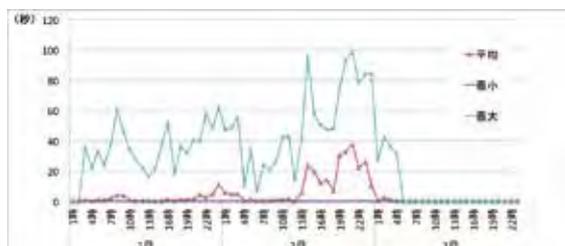
#### i) コンテナターミナルシステムへのAI,ICT等新手法導入効果の評価手法の提案

2019年度は具体的には横浜港新本牧埠頭を対象として、ゲート、蔵置場、運用を横浜港南本牧埠頭MC-1、2、3、4を参考にGC、RTG、ゲートレーン数を設定、計画取扱量を上回る100万TEU/年、及び150万TEU/年としてAutoModによりシミュレーションした。この際に、CONPASの予約システム、事前クレーンシステム、遠隔RTG、オンドックについてモデル化し、評価した。

まず、150万TEU/年の取扱量では、構内のトラックの待ちが多く、MC-3、4に做ったRTGの基数では全く不足であると考えられる。100万TEU/年の取扱量でも、長い渋滞列が発生する。ただし、RTGとトラックがお互いに待ち時間を発生しており、荷役機械相互のマッチングをより適切にプログラムできる手法があれば改善される可能性がある。単純に夜間荷役を積極的に実施できるオンドックを用いることで、これらは大きく改善する。なお、CONPASによる効果はゲート通過量の増加で確認できた。また、遠隔RTGに関しては、繁忙期には一人で4基担当するとRTG側に待ちが生じてしまうことが確認された。



荷役機械相互の待ち時間の図。RTGとトラック(TRK)が互いに待ち合っていることがわかる。(CONPAS、オンドック、遠隔RTG使用、150万TEU/年のある週のデータ想定)



遠隔RTGのオペレータは一人で4基を担当するため、RTGのタイミングが重なるとRTGが操作を待たされる。図はRTGが操作を待っている時間を示す。

以上、ゲートよりも構内荷役が、大量のコンテナを取り扱う場合にはクリティカルになっているため、蔵置と荷役機械の効率的なオペレーションプログラムを可能とするAIターミナルシステム導入には上記問題を緩和する可能性があると言える。

## 2B インフラのライフサイクルマネジメントに関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・ 長期間供用された港湾・空港・海岸インフラが増加するなか、施設の維持管理を行うための財源及び技術者数は限られていることから、今後、維持すべき港湾・空港・海岸インフラの機能の維持を図るとともに、戦略的な維持管理・更新等を行っていくことが強く求められている。
- ・ そこで、維持管理性に優れた構造や材料を適用するための設計手法の構築や、維持管理段階における各種対策に関する技術開発を行う。

### 研究の概要

次の3つのサブテーマを設け研究開発を行う。

#### i) インフラの長寿命化技術に関する研究

海洋環境下での各種建設材料の長期耐久性の評価及び劣化メカニズムの解明、鋼構造物の防食工法の防食効果などについて検討を進める。特に、海外、国内遠隔離島を想定し、過酷環境・低品質材料条件下での材料特性及び耐久性の向上、環境負荷低減、高耐久化、環境共生などについての検討を行う。また、空港舗装に関して、骨材とアスファルトの剥離の検出法、剥離の対策方法、空港舗装の耐久性能の向上、短時間施工で品質確保が可能な補修技術などを検討する。

#### ii) インフラの点検診断システムに関する研究

非破壊・微破壊試験法及びセンサを利用した点検診断技術、ROV等無人調査装置等の研究開発、ロボットやドローン等の新技術を活用した点検診断の運用方法等について検討する。特に、センサを活用したモニタリングシステム、部材種別ごとの効率的な点検診断手法の提案と、効果的なデータ分析方法について検討する。さらに、栈橋を対象として、評価したい性能と期待する出力の精度に対応した点検診断方法の選定スキームの構築を行う。

#### iii) インフラのマネジメントシステムに関する研究

港湾構造物の構成部材の劣化促進実験等を行い、ライフサイクルを通じた性能低下モデルを検討し、実環境下における暴露実験や現地調査によりモデルの妥当性を検証する。また、特に、個々の構造物の要求性能や利用、予算等、各種制約条件を踏まえて、港湾単位あるいは地区単位で港湾構造物群をマネジメントしていくための計画策定手法を提案する。

### 2019 年度の活動

- ・ 長期暴露施設を用いて、コンクリートの塩害劣化予測手法、コンクリート中鉄筋の電気防食特性及び鋼材の集中腐食メカニズムについて検討した。また、各種木質材料の耐久性、再生骨材を用いたコンクリートの耐久性に関するデータを取得した。
- ・ 被覆防食工法の劣化予測手法の確立を目的として、波崎海洋研究施設での鋼管杭の被覆防食工法に関する暴露試験、

ハット型鋼矢板に関する暴露試験を継続実施した。また、促進劣化試験及び暴露試験により、ペトロラタム被覆工法の劣化メカニズムの解明を進めた。

- ・ コンクリートについて低品質骨材(サンゴ質)及び練混ぜ水に海水を用いた場合の耐久性評価を行うとともに、海水による養生技術開発のための暴露試験を実施した。高耐久性鉄筋、表面被覆材の耐久性評価を暴露試験により行った。
- ・ 空港コンクリート舗装の鉄網の効果について、鉄網の効果や量、目地間隔等に関する文献調査を行うとともに、室内実験等により検討を行った。
- ・ 既存ケーソンの補強のための中詰改良工法の施工性、改良強度や改良範囲がケーソンの耐荷性及び耐衝撃性に及ぼす影響について検討した。また、プレストレストコンクリート部材の補修技術の高度化に向けて、塩害による耐力低下の検証や補修が部材の構造特性に与える影響について検討した。これら要素技術を体系的に整理し、コンクリート構造物の補修・補強設計フロー(案)を提示した。さらに、エトリンガイトの遅延生成による膨張に対して、遮水による補修及び拘束による補強の効果について、実験的に検討・評価した。
- ・ IoTを活用した点検診断システムによるモニタリングについて、実証試験を行った。また、水中ドローンによる点検の適用可能性と運用方法について検討した。
- ・ 栈橋上部工点検用ROVについて、測位に対する波浪等外乱の影響を実験的に確認した。また、波浪等の現場条件を踏まえて、当該ROVによる現地調査を実施した。
- ・ 港湾施設群の予防保全計画策定の高度化に向けて、事後保全的に維持管理されているモデル栈橋群を想定し、予防保全型に移行するための補修シナリオ(補修工法及び実施時期の選定)について、LCCとNPV、LCCO<sub>2</sub>を評価指標としたケーススタディを実施した。



栈橋上部工点検用ROVと水槽実験状況(波浪、流れ条件)

## 2C インフラの有効活用に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・ 物流量の増大や船舶の大型化への対応、空港機能の拡張、また外力増大などによる既存不適格施設への対応など、既存インフラを機能向上させて積極的に有効活用する要請が強くなっている。また、産業廃棄物や一般廃棄物を受け入れる海面廃棄物処分場などについて、高度有効利用を図ることが社会要請となっている。一方、航路浚渫土砂を受け入れる土砂処分場の用地確保が困難になっており、土砂処分場の長寿命化が求められている。
- ・ そこで、既存インフラの機能向上、更新や用途変更を効率的に実施できる技術、建設発生土などを減容化や有効利用できる技術、海面廃棄物処分場を有効活用できる技術を開発する。

### 研究の概要

次の3つのサブテーマを設け研究開発を行う。

#### i) 既存施設の改良・更新技術に関する研究

既に、既存岸壁の増深など、既存施設の改良に関する研究開発を行ってきたが、これらは新設構造物のための技術を援用したものである。今後は、施工履歴や近接構造物の影響等を考慮した既存施設改良更新のための地盤特性の評価手法、設計法や地盤調査法を検討する。また、施設の長期的な維持管理を目的に、残留沈下などの地盤の評価手法や地盤のデータベースなどを検討する。

#### ii) 建設副産物等の有効活用・処理技術に関する研究

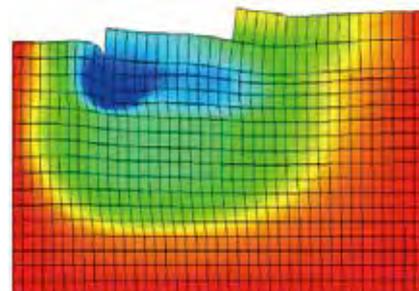
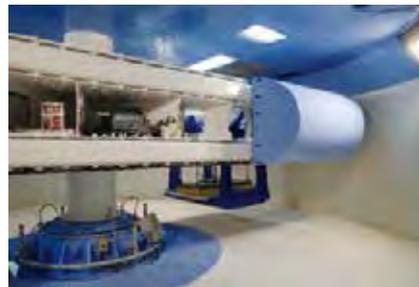
浚渫土を、底生生物の棲息場を提供する混合土、高透水性の固化処理土など、高付加価値のある材料に改良する技術や新たな減容化技術などを検討する。固化処理土やスラグ混合土を海域利用した際の耐久性、種々の副産物や破砕性材料などを含む複合的な地盤材料の力学特性を調べ、これら材料の評価手法や品質管理手法なども検討する。

#### iii) 海面廃棄物処分場の管理と利用に関する研究

海面処分場については、造成のための遮水工の技術開発は行われてきたが、造成後の利用等については研究が進んでおらず、利用のために必要な基礎工法、施工方法、遮水層への影響など、また、保有水の水位管理を低コストで実施する工法、廃棄物を埋立て前に無害化する技術、固化処理土の中長期に亘る強度特性と溶出特性などについて検討する。

### 2019 年度の活動

- ・ 薬液注入工法を用いて不均質地盤へ液状化対策を実施した場合における、地盤内の改良体の形成状況を3次的に確認する有効な手法がないため、物理探査による改良地盤の品質評価方法、施工管理方法の確立に向けて、その有効性の検討に着手した。本手法の確立により、施工後、施工中の高度な品質管理やi-constructionの推進に資することが期待される。室内実験、現地実験と数値計算を組み合わせて、改良地盤の物理特性と物理探査計測結果の関連性について検討を行った。
- ・ 栈橋の性能規定の高精細化に向けた基礎的なデータ収集を目的として、鋼管杭の塑性化後の挙動、鋼管杭の地中部での曲げ挙動に関する実大模型実験を実施した。また、矢板式係船岸の改良設計の基本的な考え方を示すフローを作成した。
- ・ 原位置地盤の微視構造を可視化することを目的として、原位置地盤内で撮影可能な小型X線CTスキャナ及び掘削マシンを開発、製作した。
- ・ モデル断面を対象に、浚渫土の嵩上げ高さ、嵩上部の仮仕切り堤の護岸からの離隔、嵩上部の仮仕切り堤の構造及び力学特性、護岸本体に対する対策などをパラメータとして、嵩上げによる堤体の変状に関する数値解析的検討やその検証のための遠心載荷実験を行い、護岸直背後の嵩上げ設定の検討手法をとりまとめた。



浚渫土砂処分場の高容量化に関する技術開発  
上：遠心載荷実験、下：数値シミュレーションの例

## 3A 海洋の開発と利用に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- 海洋の利用や開発については、1960年代からその重要性が指摘され、様々な取り組みが行われてきたが、その進展は必ずしも十分ではない。その原因の1つは、海洋には拠点となるインフラがほとんどないことである。そのため、南鳥島や沖ノ鳥島等の遠隔離島に海洋拠点港湾を整備し、海洋の利用・開発を促進する必要がある。
- しかしながら、これらの離島は通常の港湾とは異なる厳しい波浪環境や施工環境にあり、船の接岸や荷役、施工を円滑に行うにはさらなる技術開発が必要になる。
- そこで、本研究テーマでは、これまでに蓄積してきた波浪、海底地盤、港湾構造物や港湾工事等に関する知見を最大限に活用し、遠隔離島の港湾整備を推進するとともに、海洋の利用・開発を促進する。具体的には、孤立リーフ海域の波浪場を解明するとともに、新たな係留システムを開発する。また、音響ビデオカメラの小型軽量化、海洋の利用開発に関する技術開発を行う。

### 研究の概要

次の2つのサブテーマを設け研究開発を行う。

#### i) 遠隔離島での港湾整備に関する研究

大陸棚境界及び孤立諸島周辺の波浪状況を再現する波浪計算モデルを開発する。また、孤立リーフ周辺の沿い波や長周期波に対する静穏域創出技術を提案するとともに、遠隔離島に対応した新たな係留システムを開発し、船舶の荷役稼働率向上を図る。

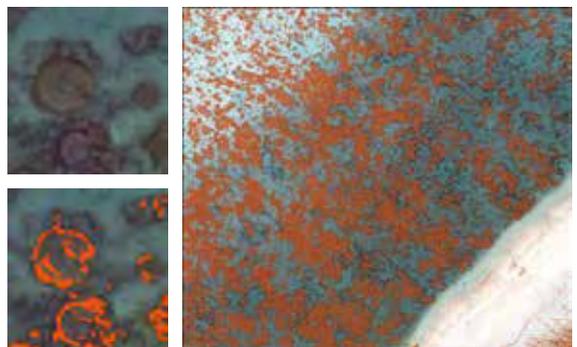
#### ii) 海洋の利用・開発を支援するインフラ技術に関する研究

音響ビデオカメラの小型軽量化を図るとともに、海洋インフラ整備のための無人水中施工システムを開発する。さらに、構造物への石灰化生物付着による環境保全技術を提案する。

### 2019 年度の活動

- 孤立リーフ海域に適用可能な波浪制御技術に関する研究では、平面模型実験を行い、潮位の違いによる影響も含め、孤立リーフ上での平常時の波浪変形特性を把握するとともに、高解像度のブシネスク計算を実施してその再現性を検証した。また、必要に応じ計算結果を実験結果で補正し、様々な常時の波浪・潮位条件における孤立リーフ上の波・流れの空間分布を推定・表示できるツールを作成した。
- 港湾内の船舶の新型係留装置に関する技術開発では、離島を対象とした新型係留装置について、現地に適用するための技術的課題に対する対応策を提案するとともに、これまでの研究成果を取りまとめた。
- 水中機械化施工におけるマシンガイダンス技術に関する研究では、遠隔操作に向けた付加技術の検証として、均

- し作業用アタッチメントの実海域での単要素試験を実施した。さらに、外界計測センサをマシンガイダンスに統合した遠隔操作支援システムの検討を行い、平良港ケーソン仮置きマウンドにおける確認試験を実施した。
- 次世代音響画像システムの開発では、床掘浚渫工及び置換工を対象に実海域実験を行った。音響ビデオカメラについては、工種ごとに必要な詳細調整を行うとともに、装置に起因する画像内に生じる強いノイズを修復し、取得映像の見やすさ改善を図った。また、音響映像呈示システムについては、工種ごとに専用アプリケーションを作成し、施工の進捗に合わせて逐次更新する画面を構築し、最新の海底高さが目標値に達したかを判定可能となった。
- 炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発では、GNSS測量、RTK搭載ドローンによる写真測量、マルチビームによる深淺測量、可視光+NDVIカメラによる空撮、水底質・生物サンプリング、グリーンレーザードローンによる海底地形調査、サンゴ幼生調査を行った。また、地形変化要因の解析と予測手法の開発、サンゴの成長と環境条件との関係性に関する検討、深層学習による造礁生物の分布や活性の自動判別手法の開発も行った。
- 波力発電機能付き浮消波堤に関する研究では、浮消波堤に組み込まれる波力発電装置の構成等について概念検討を行うとともに、波力発電装置による消波性能を考慮した浮消波堤の最適形状等について数値計算により検討した。
- 洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究では、水粒子の流速・加速度から柱状構造物に働く圧力を算定するため、メッシュサイズ、時間刻み幅を変えて、CADMAS-SURFの安定性を検討した。
- 洋上風力発電施設に働く波力算定法に関する研究では、杭基礎における洋上風力発電施設設計の現状把握を行うとともに、大型土槽を用いた飽和砂地盤における杭の繰り返し水平載荷試験及び現地飽和粘土地盤における杭の繰り返し水平載荷試験を実施した。また、杭の貫入過程(施工過程)を表現可能な数値解析コードの開発を行った。



- AIを用いた機械学習によるサンゴ自動検出
1. サンプル画像(左上図)から正解画像(ラベル画像)(左下図)を作成
  2. ラベル画像から教師データを作成
  3. 教師データを基に機械学習
  4. 対象画像に対してサンゴ領域を自動検出(右図)

## 4A 沿岸生態系の保全や活用に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・干潟やアマモ場、サンゴ礁に代表される沿岸域には豊かな生態系が形成されており、沿岸域は地球環境にとって貴重な場となっている。しかしながら、高度経済成長期には、活発な経済社会活動に伴い、沿岸域の閉鎖性内湾において水質が悪化して、生態系が劣化した。その後の対策により、水質が徐々に改善している沿岸域があるものの、生態系を含めた沿岸域環境の修復は依然として大きな課題である。
- ・一方、新たな課題として、沿岸域の機能を気候変動の緩和に役立てることが求められるとともに、臨海コンビナートなどからの大規模油流出に対する対応も必要となっている。
- ・そこで、本研究テーマでは、沿岸域環境のさらなる修復と気候変動の緩和への活用、及び大規模油流出への対応技術の確立を目標とした研究開発を行う。

### 研究の概要

次の3つのサブテーマを設け研究開発を行う。

#### i) 沿岸生態系の活用に関する研究

生態系を活用した気候変動影響への対応については、生態系による炭素隔離貯留(ブルーカーボン)や大気中CO<sub>2</sub>の吸収といった気候変動の緩和に関する研究を国内外の様々な海域で実施するとともに、技術開発の世界展開を図る。さらに、生態系サービスを持続的に活用するために、地震、津波による損傷が少なく、また、回復が早い沿岸生態系の創出技術を開発する。

#### ii) 内湾域の水環境リアルタイム予測技術に関する研究

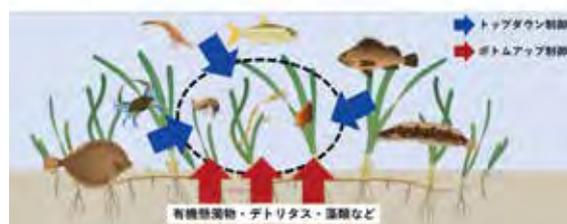
環境観測データの取得や活用について、現在運用中のフェリーやモニタリングポストなどで取得した海洋モニタリングデータの新しい解析手法開発や、常用される手法では十分な結果が得られない項目に関する新たな観測手法の開発などを行う。また、十分には活用されていない既存の環境データの再解析や、GPS波浪ブイの多機能化などによる環境データ空白水域での連続観測も行う。さらに、気象・海象・生態系モデルの統合や前述の環境観測データをリアルタイムで利用することにより、赤潮、青潮、貧酸素水塊等内湾で頻発する問題を総合的に予測するシステムを開発する。

#### iii) 海上流出油への対応技術に関する研究

流出油への対応技術に関しては、従来の現場の抱える課題を解決するための技術開発に加えて、新たに次世代型油回収船搭載油回収装置の研究開発、大規模油流出事故に対応できる一括油回収あるいは処理システムの研究開発を行う。さらに、シミュレーション技術をコアとした油濁対応危機管理情報システムの構築、地震や津波など自然災害における臨海部の危険物施設からの流出油の挙動やメカニズムの解明とリスクの定量的予測技術、ミチゲーション技術の研究開発などを実施し、油濁対応技術の革新と油濁対応能力を向上させる。

### 2019年度の活動

- ・浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証に関しては、全球における炭素循環・生態系モデル及び波浪・地形モデルの開発と検証、全球推計のための地形・生態系データの収集とGIS解析、大型海藻場の炭素動態に関する現地調査、現地実験と数値モデル解析を行った。
- ・減災と生態環境を両立する沿岸地形・地盤デザインの創成に関しては、沿岸底生生態-地盤環境動態の統合評価予測技術を開発させるとともに、地震液状化や暴風波浪が潮間帯及び潮下帯の多種多様な底生生物の輸送・浮上・埋没及び致死率に及ぼす影響を明らかにし、リサイクル地盤環境を含めた耐侵食・生物生息機能の評価・分析を行った。
- ・大気・海洋に関する湾口横断観測と解析に関する研究では、大気に関して風況モニタリングを実施し、かつ横断観測体制の構築を進めるとともに、海洋に関して安定的な連続観測の継続、衛星データの湾口モニタリングへの応用の可能性の検証及び現地観測を実施した。
- ・沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析に関しては、前年度に行った定式化を基にコーディングを行い、伊勢湾シミュレーターへ実装するとともに、現地観測で得られた現存量等に関する情報を整理し、シミュレーション結果との比較を行った。
- ・アマモ場生態系の機能向上技術の開発に関しては、近年技術開発が進んでいる環境DNAを用いた魚類相の把握を行い、さらにアマモ場の魚類にとっての餌場としての機能を評価するため、アマモ葉上動物の捕食実験及び餌としての評価を行った。
- ・流動シミュレーションとデータ同化による沿岸域の流動の数値解析に関しては、矩形のモデル海域による数値実験を実施し、境界条件にノイズを与えてアンサンブルを作成する方法でデータ同化が実施可能であることを確認した。また、東京湾を対象とした水温の実観測値を用いたデータ同化を実施した結果、水温が観測値に近くなるように修正されることを示した。
- ・次世代油濁対策技術の高度化に関する研究開発では、次世代型油回収機に適した油回収方法について、高圧化水ジェットサクショント、余水リサイクルシステムを導入した模型実験を行った。また、海上流出油の漂流予測について、ネットワーク対応型漂流予測システムのバージョンアップを実施した。さらに、自己展開型バブルカーテンによる漂流油の制御について検討を行った。



アマモ場の餌生物の把握

## 4B 沿岸地形の形成や維持に関する研究開発

### 研究の目的・背景

- ・ 港空研における漂砂研究は航路埋没を防ぐための移動限界水深の研究から始まり、現在では、砂のみならずシルトを対象とした航路埋没対策工法が示されている。しかし、国内においても依然として埋没の進行している港湾があり、また、インフラの海外展開を図ろうとしている国には、日本に比べてはるかに多くの量の土砂の堆積が想定されている港湾があり、そのような埋没に対応する技術は十分とはいえない。
- ・ 一方、防護、環境、利用の機能を持つ貴重な砂浜は、高度経済成長期より失われ始め、現在でも毎年1.6km<sup>2</sup>の砂浜が失われている。このような海岸侵食に対して、様々な対策が実施され、砂浜が回復している海岸がある一方で、近年は、地球温暖化によるさらなる海岸侵食が想定されている。さらに、遠隔離島や海外に目を向けた場合、砂浜だけではなく、サンゴ礁海岸などの保全も重要になってきている。
- ・ そこで、本研究テーマでは、砂浜、マングローブ海岸、サンゴ礁海岸などの自然な沿岸地形や、物流を支える航路・泊地などの人工の沿岸地形を今後の気候変動のもとにおいても維持することを目標として、地球温暖化が進行した場合の海岸侵食現象の変化、航路や泊地の埋没現象の変化を予測し、その対策を提案する。また、アジアの大河川河口部、マングローブ、干潟等における埋没現象の解明とその対策を提案する。

### 研究の概要

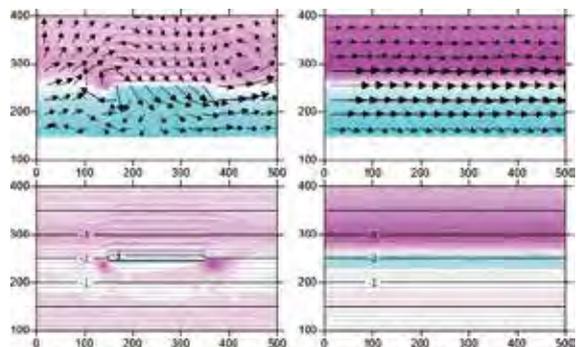
海岸保全と航路・泊地維持に関する研究として、以下のような研究開発を行う。

波崎海岸における長期データの解析と、海水面位置と砂浜の応答に関する短期間集中現地観測により、海面上昇に対する砂浜の応答メカニズムを明らかにするとともに、将来の砂浜変形の予測手法を開発する。また、波崎海岸のみならず、地球規模での空間スケールも視野に入れた様々な海浜(自然砂浜海岸、構造物で防護されている砂浜海岸、サンゴ礁海岸、砂利海岸など)の長期変動の予測、それに伴う沿岸災害リスクの変動の予測、さらに、構造物の量を最小化しサンドバイパスを積極的に導入するハイブリッド型海浜維持手法の開発、災害リスクを考慮した効果的な海浜の管理手法の提案などを行う。

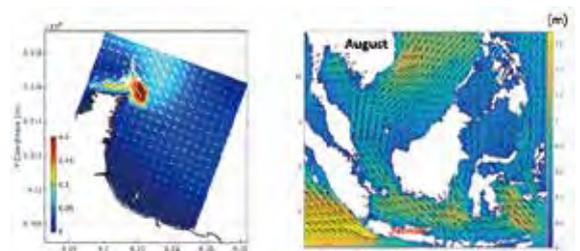
また、港湾の利用に付随する土砂輸送に関しても、国内のみならず、海外での大河川河口域やマングローブ・干潟などにも研究対象を展開し、地域特性に応じた地形変化モニタリング手法の開発や、地形変化動態の解明を行う。さらに、シルテーションなどによる埋没土砂の軽減策や、効率的な航路・泊地の維持管理のほか、港湾施設周辺の地形環境の保全に資する技術開発を行う。

### 2019 年度の活動

- ・ 気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発に関して、波崎海岸の観測データを基に開発された汀線変動モデルを表浜海岸、オーシャン・ビーチにおいて適用し、妥当性を検証した。また、フランスの海岸の地形変化データの整理にも着手し、フランス研究者と共同で将来予測計算用の将来シナリオデータを整備した。
- ・ 波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発に関して、波崎海洋研究施設において継続的に風・波・流れ・地形変化の現地観測を行った。また、航路・泊地及び周辺海岸での波と流れによる地形変化予測モデルを用いた構造物周辺の地形変化計算を行った。
- ・ 河口域周辺での土砂輸送及び航路・泊地への集積機構の解明に関して、波浪・潮流外力による河口域土砂輸送モデルの実海域(インドネシア・ジャワ海)への適用を行った。また、河口域でのFluid Mud観測(インドネシア、新潟西港)等に基づく、動態特性の把握と港湾埋没対策工の検討を行った。
- ・ 海域における沿岸地形モニタリングへの航空深淺測量の適用性に関して、海水の濁りや白泡による欠測を少なくするための測量手法を検討した。また、レーザー反射強度時系列の直接解析のための読み取りプログラムを開発した。



潜堤有り無しの流れと地形変化計算(波高1m周期6sの斜め入射波)  
 左図: 水深-2mに天端水深-1mの潜堤あり、右図: 潜堤なし  
 上図: 流れ(矢印)と平均水面(水色は上昇)  
 下図: 地形変化(赤色は侵食域)



河口域土砂輸送モデルのインドネシア・パティンバン海岸への適用  
 (左)流動場シミュレーション(潮汐のみ考慮)  
 (右)波浪場シミュレーション(矢印:風向・風速、カラー:有義波高)

## 2019 年度に実施した基礎研究

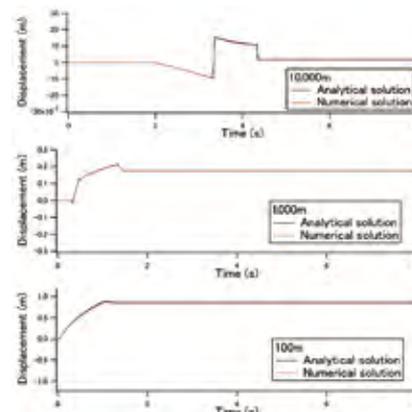
波浪・海浜・地盤・地震・環境等に関する基礎研究は研究所が取り組むあらゆる研究の基盤であることから、自然現象のメカニズムや地盤・構造物の力学的挙動等の原理・現象の解明に向けて積極的に取り組んでいる。

研究実施項目名 (基礎研究)	
1	港湾地域および空港における強震観測と記録の整理解析
2	地震災害および被災要因調査
3	震源近傍強震動の予測手法の開発
4	地震動の連成作用下の液状化地盤の挙動評価・分析と対策
5	地盤工学的観点からの高波に対する海洋施設の安定性評価手法の検討
6	津波による構造物周辺の局所洗掘量の推定手法の構築
7	海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明
8	暴露試験によるコンクリート、鋼材及び各種材料の長期耐久性の評価
9	海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価
10	海洋構造物の被覆防食工法における性能評価手法の開発
11	過酷環境下における各種材料の耐久性評価
12	栈橋の性能規定の高精細化のための栈橋構造の破壊過程の解明
13	微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価の高精度化
14	炭酸塩で形成された離島の地形動態に関する解析手法開発
15	多様な変動荷重を受ける洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性の解明
16	浅海域における二酸化炭素吸収速度と浸水抑制効果を予測する全球動態モデルの検証
17	大気・海洋に関する湾口横断観測と解析
18	沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析
19	アマモ場生態系の機能向上技術の開発
20	気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発
21	波崎海洋研究施設における観測と海岸地形変化予測モデルの開発
22	河口域周辺での土砂輸送および航路・泊地への集積機構の解明
23	海域における沿岸地形モニタリングへの航空深淺測量の適用性に関する検討

## 基礎研究の事例

### 震源近傍強震動の予測手法の開発

- 規模の大きい内陸地殻内地震において、地表面付近まで大きなすべりが生じる場合や、地表地震断層が現れる場合は、その近傍において永久変位成分を含む地震動が生じる。このような永久変位成分を含む地震動は、フリングステップと呼ばれることが多い。1995年兵庫県南部地震の際の神戸市内の地震動には顕著なフリングステップは含まれていなかったが、2016年熊本地震の際には、地表まで破壊が進展したことに伴い、断層近傍の西原村小森などで顕著なフリングステップが観測された。2016年熊本地震の際に観測されたフリングステップは、立ち上がり時間が2s程度と短く、構造物に対して顕著な応答をもたらすものであった。このことから、フリングステップの重要性が再認識されている。
- フリングステップを含む地震動を計算する際、上盤側と下盤側での永久変位の違いなどを正確に考慮するためには、自由表面における境界条件を厳密に扱うことのできる手法を用いる必要がある。そのような手法の一つとして、離散化波数法がある。この手法は、半無限媒質または水平成層構造に対して厳密に地震動を計算できる手法である。ただし、離散化波数法を断層近傍地震動に適用するには、計算結果に影響を及ぼす種々の要因があり、その一つが、断層面を小断層に分割する際の分割の細かさである。
- フリングステップを含む断層近傍地震動への離散化波数法の適用性に関する検証(verification)の事例としては、永久変位に関する(静的な)解析解との比較を行った事例などがあるが、永久変位に至る過程を含む変位波形についての解析解が得られている場合が少ないこともあり、変位波形そのものの解析解との比較によるverificationはこれまであまり行われていなかった。
- そこで、本研究では、上記の意味での数少ない解析解の一つである増田・引間による解析解を用い、断層近傍地震動の計算手法としての離散化波数法のverificationを行い、精度の良い結果を得るために必要な断層面の分割の細かさ等の条件について検討した。この解析解は、円形断層で同時にすべりが生じたときの全無限弾性体における地震動に関する解析解であり、円の中心軸に沿った観測点での変位のすべり方向成分を与えるものである。
- 検討の結果、小断層サイズを断層面からの距離の1/2以下とすることにより、十分に精度の良い結果が得られることを確認した。図は、円形断層の半径を1,000mとし、点震源間隔を50mとした場合の、断層からの距離が10,000m、1,000m、100mの地点における変位波形の計算結果である。黒が解析解、赤が離散化波数法の結果であるが、両者は良く一致しており、この条件では計算精度は良好であることを示している。



断層からの距離が10,000m、1,000m、100mの場合の変位波形の比較  
黒が解析解、赤が離散化波数法の結果

## 津波による構造物周辺の局所洗掘量の推定手法の構築

- ・津波による防波堤の背後や堤頭部の砂地盤の局所洗掘は、構造物の安定を評価する上で重要な項目であるものの、洗掘量の推定は困難である。
- ・そこで、本研究では、水理模型実験により局所洗掘のメカニズムを明らかにし、粒子法等を用いた洗掘量の推定法を確立する。
- ・2019年度は、高知県の浦戸湾に設置が計画されている湾口防波堤堤頭部周辺の局所洗掘を明らかにするため、水理模型実験と数値シミュレーションを実施した。
- ・その実験は、総合沿岸防災水槽に1/40スケールの模型を設置し、ポンプによって津波を再現し、防波堤の周りの流況とケーソンに働く波力を測定した。固定床の実験とした。
- ・その一方で、津波高潮シミュレータSTOCを用いて、津波波源域から浦戸湾に至る広域のシミュレーションを行い、実験の境界条件となる浦戸湾口での流速分布を求めた。また、防波堤の周りの流況を調べ、防波堤を線境界として近似する従来の計算手法では流速と洗掘量を過小評価する可能性のあることが明らかになった。
- ・さらに、防波堤の周りに発生する大規模渦の特性を明らかにするため、粒子法PARISPHEREを用いた3次元計算を実施した。その結果、堤頭部の周りの渦が上流から下流に向かって鉛直下向きに形成されることが明らかになった。
- ・そのほか、越流による防波堤背後の洗掘に関して、マウンド形状や防波堤背後の水位を変化させた実験も行った。その結果、防波堤背後の水位が低下すると、越流の流速は速くなるが、流向がケーソン側に向くことで、越流がマウンドに衝突して砂地盤には作用しにくくなることで、洗掘量が小さくなる場合のあることも明らかになった。

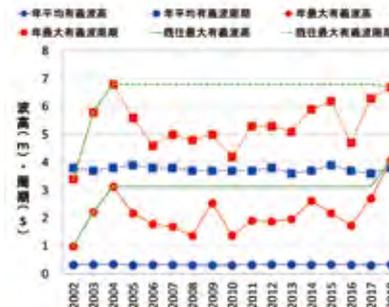


防波堤の堤頭部の周りの流れの実験

## 海象観測データの集中処理・解析に基づく海象特性の解明

- ・当所は、1970年以来、全国港湾海洋波浪情報網ナウファスで得られた観測データの定常的な集中処理・解析を続けてきた。気候変動への危惧が強まる中、この集中処理・解析を継続し、港湾や海岸の実務に密着した情報の発信に努めていく必要がある。
- ・そこで、本研究では、海象観測データの定常的な集中処理・解析として、各観測地点で観測された波浪データを基に速報及び確定処理を行うとともに、波浪統計解析を実施して波浪観測年報にとりまとめ、潮位及び風データの保存も行う。
- ・2019年度は、2018年に観測された波浪観測データの波浪統計解析を行い、波浪観測年報にとりまとめた。この年には、沿岸波浪計の3地点(伊勢湾、潮岬及び神戸)とGPS波浪計の3地点(徳島海陽沖、高知室戸岬沖及び宮崎日向沖)の計6地点で既往最大有義波高を更新した。いずれの地点も、2018年9月に近畿地方に上陸した台風(1821号及び1824号)によるものであった。
- ・今後も引き続き、波浪観測年報の作成、顕著な津波・波浪イベント

トの解析、データ処理・解析方法の改良に取り組み、港湾や海岸の施設の設計や防災に役立てたい。



ナウファス伊勢湾における波浪観測値の履歴  
(2002年に観測を開始し、14年ぶりに既往最大有義波高を更新)

## 海洋環境下におけるサステナブルマテリアルの適用性評価

- ・サステナブルな社会を形成するためには、構造物(主にコンクリート構造物を想定)の建設時において、天然資源の使用量及びCO<sub>2</sub>排出量を削減することが望まれている。また、構造物を高性能化・長寿命化させ、経年劣化や自然災害に対して安全性に余裕を持たせることも望まれている。
- ・上記に対する1つのアクションとして、リサイクル材料(各種スラグ骨材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュなど)の活用は明快かつ有効な手段である。しかし、実際に使われる例は少ない。この理由として、特に「無筋コンクリート構造物(ブロック類、防波堤上部工等)」に要求される性能が不明確なこと、長期の耐久性を評価する方法が確立されていないこと等が考えられる。
- ・また、環境負荷低減の観点から、環境への調和性の高い建設材料の使用が今後望まれる。しかし、各種材料の環境調和性に関して、これまで研究された事例はほとんどない。
- ・上述の課題を解決するため、以下の課題に中心的に取り組む。
- ・リサイクル材料を用いたコンクリートの諸性能(施工性、耐久性等)の評価
- ・港湾コンクリート構造物(主に無筋)の要求性能の整理及び長期耐久性の評価方法の整理
- ・環境調和性の高い材料(特にリサイクル材料)の適用性の評価 (これまで「耐久性」の評価が中心であったが、それに加え、「環境負荷(CO<sub>2</sub>排出量等)」も含めて、総合的に検討)

ケーソン(RC)を模擬

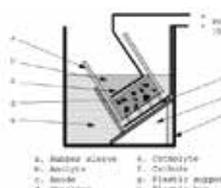


パラペット(無筋)を模擬



高密度リサイクル骨材(銅スラグ細骨材)を用いたコンクリートの施工実験  
(実機プラントで製造しポンプ圧送で打設)

室内試験



実海洋暴露試験

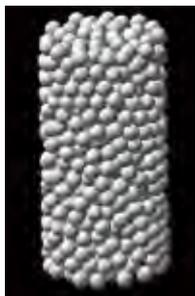


比較

高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの遮塩性の迅速評価  
(室内試験と実海洋環境暴露の比較)

## 微視構造を考慮した複合地盤材料の力学特性評価の高精度化

- ・ 粒度分布や粒子形状といった微視構造の異なる地盤材料は、その微視構造の違いに起因して多様な力学特性を示す。また、同じ地層から採取した、あるいは同じように作製した地盤試験試料であっても、微視構造の違いによって試験結果にばらつきが発生する。そのため、微視構造の影響を評価することは、地盤の力学特性評価の高度化につながる。従来の地盤調査法では、原位置地盤から不攪乱試料(=コア)を採取し、粒度、透水性、せん断特性など目的に応じて様々な室内試験を実施しなければならない。これに対して、地盤の微視構造をX線CTスキャンし、CT画像の画像解析や数値解析、3Dプリント技術を利用した擬似的な土質試験を実施することによって、コアの多様な工学特性を評価することができれば有用である。
- ・ 粒子とその堆積構造を3Dプリントした擬似供試体について一軸圧縮試験や三軸圧縮試験を実施し、地盤のような粒状体地盤の挙動を示すことを確認した。
- ・ 疑似供試体の元データ(各粒子の形状や位置情報)を数値解析モデルとして利用し、圧縮挙動の再現解析を試みた。



数値解析モデルの粒子構造

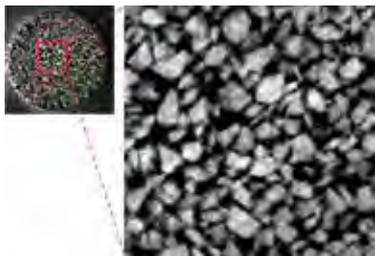


同じ粒子構造をもつ疑似供試体の圧縮試験

- ・ 原位置地盤内において地盤の微視構造を撮影するための小型X線CTスキャナ及び掘削マシンを開発、製作した。



小型X線CTスキャナ

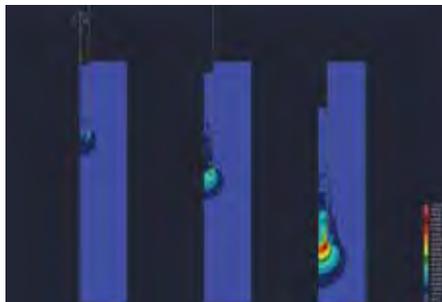


礫(粒径2-5mm)のCT画像

## 多様な変動荷重を受ける洋上風力発電施設の杭基礎の水平抵抗特性の解明

- ・ 着底式洋上風力発電施設には、風、波、地震など様々な変動荷重が複合的かつ長期的に作用する。これらの変動荷重は、それぞれ荷重振幅、周波数帯、繰返し回数、作用位置などが異なるため、杭基礎に作用する水平荷重も複雑となる。
- ・ 実務では杭下端を固定端とした梁ばねモデルが用いられてきたが、大口径の杭においても同様の抵抗メカニズムを発揮するかは不明であり、用いる地盤非線形ばねモデルも繰返し荷重に伴う地盤の変形特性を表現できない。また、杭施工に伴う地盤の力学特性変化も不明瞭であることから、設計の際は地盤を処女地盤として扱う他ないのが現状である。

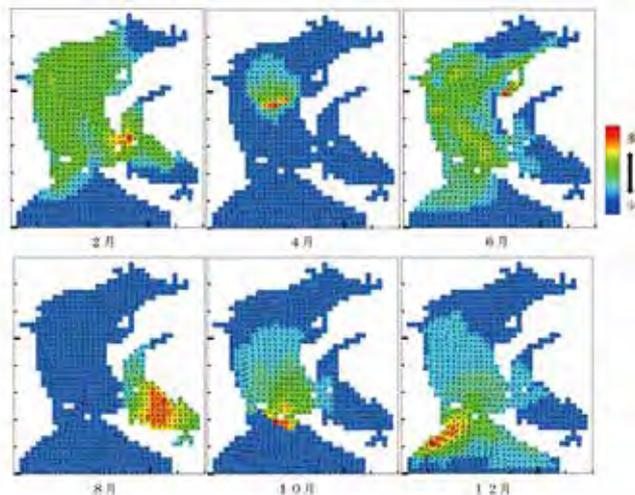
- ・ したがって本研究では、洋上風力発電施設の基礎杭の施工履歴及び変動荷重履歴を考慮した支持力評価を目的としている。
- ・ 当該年度は、次年度実施予定の大型土槽実験を用いた杭の繰返し水平載荷試験装置製作を行うとともに、杭の貫入過程(施工過程)を表現可能な数値解析コードを開発した。



杭の貫入過程の数値シミュレーション(せん断ひずみ分布、軸対称解析)

## 沿岸生態系シミュレーションにおけるマクロ生物の動態解析

- ・ 日本国内の東京湾や伊勢湾などの内湾では、戦後の高度経済成長期における産業の発展、人口増加に伴い、多量の栄養塩が河川から内湾に流入し、富栄養化が進行した。その後総量規制により一定の成果は見られたが、内湾における漁獲量の低下が問題視されており、根本的な原因の解明に至っていない。
- ・ 本研究では、流動モデルと低次生態系モデルからなる伊勢湾シミュレーターに魚類生態系モデルを組み込み、魚類の動態を再現することを目的とする。
- ・ 伊勢湾シミュレーターにて使用可能な魚類生態系モデルを開発し、伊勢湾内におけるその動態に関する再現計算を行った。本モデルを使用することで、短期的な結果だけではなく、年単位の計算が可能であることが証明された。
- ・ 本モデルは、伊勢湾に限らず他の内湾に対しても適応可能であり、各水域での漁業資源管理において重要な役割を果たすことが期待できる。例えば、沿岸域における開発対象水域を特定の季節にだけ利用する魚がいた場合、その利用時期だけは工事を避けるなど、生物や環境に配慮した工程管理を行うことが可能となる。

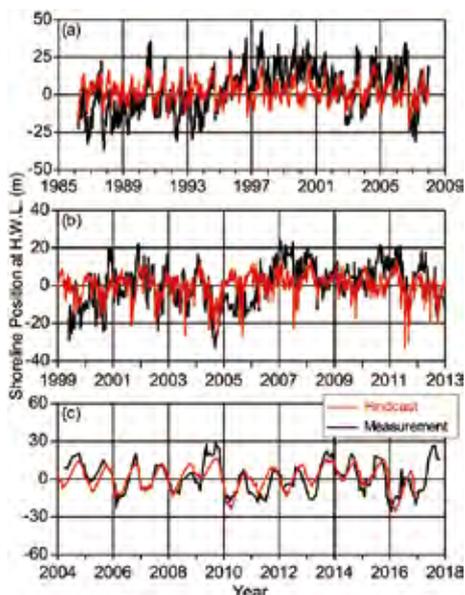


成魚期におけるカタクチイワシの分布再現計算結果

- ・ 今後は、パラメータチューニングシステムを用いて計算精度の向上を目指す。同時に、魚探データや環境DNA等の技術を用いて、生息魚種のデータの蓄積を図っていくことも重要である。

## 気候変動に伴う全球的海浜地形変化予測手法の開発

- ・ 将来の気候変動に伴う平均海面の上昇や波候の変化によって、現在の海浜と比較して今世紀末の海浜地形は大きく変化することが予想される。長期的観点から沿岸災害リスクを管理し、適切な対策を検討するためには、将来の海浜地形を精緻に予測することが必要である。
- ・ 本研究では、全球の様々な海浜における観測データを活用し、気候変動に対する将来の汀線変化を予測可能なモデルを構築する。
- ・ 2019年度は、茨城県波崎海岸、愛知県表浜海岸、カリフォルニア州オーシャン・ビーチを対象に汀線変化モデルを適用し、モデルによる再現性の確認を行った。構築されたモデルは非常に良好な再現結果を示すものの、モデルパラメータの汎用化に課題を残しており、これを解決することで全球的な海浜地形の将来予測を実施していく。



汀線変動の過去再現計算結果  
(上段：波崎海岸、中段：表浜海岸、下段：Ocean Beach)

## 2019年度に実施した萌芽的研究

独創的な発想、先進的な発想に基づく研究であって、かつ将来の研究の新たな研究分野を切り開く可能性を有する萌芽的研究を実施した。

### 水中ドローンと3次元データを活用した海洋構造物の点検診断に関する検討

- ・ 本検討では、海洋構造物水中部の部材の効率的かつ効果的な点検方法の開発を目的として、既製的水中ドローンや3次元データ等を活用した場合の効果や課題抽出等について実証実験を通じて検討した。
- ・ 水中部の部材は一般的に海洋生物が付着しているため、部材の外観を観察することはできるが、部材の変状は確認できないこ

とが分かった。ただし、外観を観察できれば、潜水士により付着物の除去を伴う詳細な目視調査、鋼材の肉厚測定や陽極の消耗量調査を実施する箇所を選定することができるため、水中ドローンの活用によって点検診断の効率化に寄与する場合もあると考えられる。

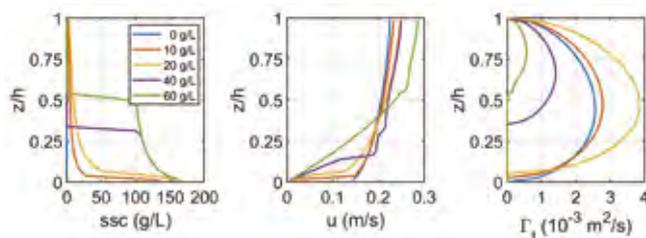
- ・ 1つの部材に対して連続的に画像を取得したが、実証実験の範囲では3次元化することはできなかった。部材の表面は一様であり3次元合成するための特徴点が少ないこと、濁りや浮遊物のため鮮明な画像が取得できないこと、波浪や潮流の影響で水中ドローンが動揺し安定的に画像を取得できないことが要因と考えられる。



水中ドローンによる部材の画像取得状況

### Fluid mudの3次元構造を考慮した土砂輸送モデルの開発

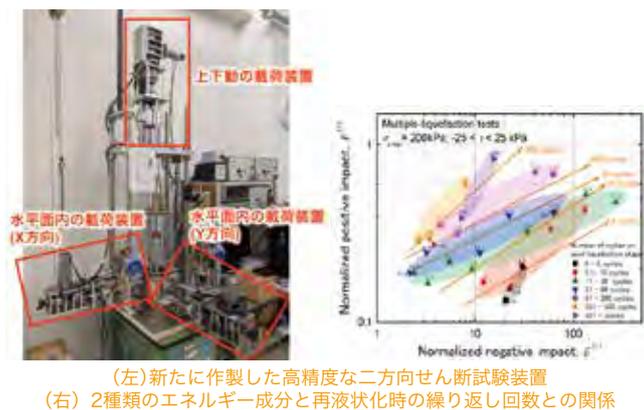
- ・ 河口域周辺の港湾では、シルテーション(浮泥の集積)による航路・泊地の埋没が問題となる場合がある。航路・泊地の維持浚渫などの港湾維持管理を効率的に遂行する上で、浮泥の挙動を正確に予測可能な土砂輸送モデルを構築することは重要な課題である。また、浮泥集積域では、堆積泥上に形成されるFluid mud (流動泥)の存在がマルチビーム測深などの音響測深結果に影響を及ぼすことも報告されており、浮泥の集積に伴うFluid mudの形成過程を把握・予測することも重要となる。そこで本研究では、Fluid mud含む浮泥濃度及び流動場の鉛直構造を考慮可能な土砂輸送モデルを構築した。
- ・ 浮泥の挙動を再現する上で重要となる①微細粒子の凝集作用と高濃度時のhindered settling (干渉沈降)、②浮泥による浮力効果、③Fluid mud内の自重圧密過程、④Fluid mudの非ニュートン流体挙動をモデルに考慮することで、Fluid mudの形成過程及び浮泥濃度に依存した流動構造を表現することに成功した。



本モデルによる浮泥濃度、流速、鉛直渦拡散係数の計算結果  
(計算条件：凡例に示す初期濃度、平均流速0.2 m/s、1日経過後)

## 多方向せん断を含む種々のせん断履歴を受けた砂の再液化特性に関するエネルギー的検討

- これまで再液化特性に及ぼすせん断履歴の影響を検討した研究は、平面ひずみ状態での同一方向のみを考えた場合であることが多く、地震動の多方向性を考慮したせん断履歴に関する研究事例は数少ない。
- 多方向を含む様々なせん断履歴を与えた時の再液化特性について検討を行うために、多方向の単純せん断を与えることが可能な「二方向せん断試験装置」を作製した。载荷装置には、電磁クラッチ式荷重载荷装置を用いたことで、载荷軸の遊びの少ない精密な微小繰返し及び停止が可能となっている。また、载荷方向反転の際にもバックラッシュがなく、高精度な液状化試験を実施することが可能となっている。
- 種々のせん断履歴を定量的に評価することを目的に、せん断履歴過程で得られた応力比-ひずみ関係から「エネルギー的指標」を算出し、再液化特性との関係の把握を試みた。エネルギー的指標を「再液化強度を強くするエネルギー分」と「再液化強度を弱くするエネルギー分」との2種類に分けて考えたところ、せん断履歴過程で得られた2種類の成分から、その後の液状化(再液化)に至るまでの繰返し回数を推定できる可能性があることを示した。



## 深海におけるインフラ構築への挑戦的研究 ～深海でのコンクリートの物理化学的安定性の評価～

- 我が国は領土面積の約12倍もの領海及び排他的経済水域(EEZ)を有しており、我が国の国際競争力の飛躍的發展のため、深海の有効利用が期待されている。浅海域の海洋インフラで利用されるコンクリートは深海でも利用されることが期待される一方、深海でコンクリートが早期に劣化するリスクも有する。
- 上記課題を解決するため、深海でのコンクリートの物理化学的安定性を評価することを目的に、本研究では水圧による物理的損傷、低温海水による化学的劣化の2点に着目した実験的検討を行った。
- コンクリートは多孔質材料であり、微細な空隙を介した液状水の移動とそれに伴う応力分布の変化が生じ、これによって物理的損傷が生じる可能性がある。そこで、高水圧(最大20MPa:水深2,000m)を荷重しつつ、試料の内部構造をX線CTで撮影できる装置を新たに開発した(図-1)。本装置で撮影した画像を解析することで、水圧による試料の物理的損傷を評価することができた。

- コンクリートを低温海水に浸漬し、化学的劣化の進行を把握した。低温海水では常温海水とは異なった劣化を生じることが明らかになり、熱力学的相平衡計算からそのメカニズムを推定することができた。



図-1 本研究の開発装置で撮影したCT像

## 移動式荷役機械を活用した栈橋床版の損傷度リアルタイムマッピングシステムの開発

- 港湾栈橋は物流の拠点となるが、日々多数の物資の積み下ろし、輸送が行われていることから、点検のために業務を停止させることは経済性及び国民生活の利便性の観点から難しい。
- 本研究では、日常的な移動式荷役機械の走行からデータを取得し、損傷度評価のための計測手法及びその手法で得られたデータに基づく損傷度自動判定手法の構築を目指した検討を行った。
- 計測については、損傷の有無をパラメータとして、車両を走行させた。その際に生じる弾性波を複数個(本検討では4個以上)のセンサを用いて検出することにより、損傷部から生じた弾性波の励起箇所の特定を実施した。得られたデータを数個のクラスターに分類し、損傷を判別する手法を構築した。具体的には、教師なし機械学習の一つであるk-means法を適用し、弾性波から抽出した特徴量を用いてクラスター分類した。その結果、パワースペクトル(図-1)から得られたデータの特徴量からクラスター分類することにより、損傷程度に応じてクラスター分類できる可能性が示唆された。特に、図-2に示すように、クラスター数を4としてk-means法を実施することにより、平均AEエネルギーとAEヒット数に応じた損傷程度のクラスター分類ができた。
- 今後は実際の現場の状況を勘案した計測方法の検討、リアルタイム判別に向けたシステム構築並びに位置情報システムについて検討を進める。

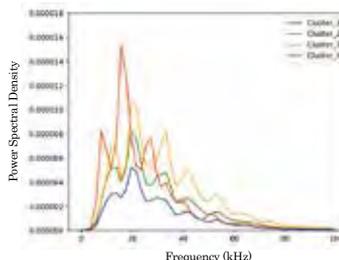


図-1 パワースペクトル

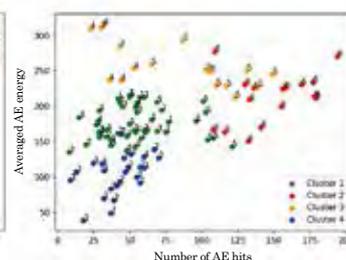


図-2 クラスター分類結果

# 研究成果の公表

## 査読付発表論文数 (2019 年度)

和文論文数	外国語論文数	合計	外国語論文比率
48 (36)	53 (22)	111 (58)	47.7% (37.9%)

※要旨査読のみのプロシーディングスも含む (括弧内はジャーナル数)

## 2019 年度に刊行された港空研報告

番号	表題	著者	和/英	刊行
58-1-1	三次元流体場での係留船舶動揺解析手法の開発	相田康洋・平山克也	日本語	2019年8月
58-1-2	疑似点震源モデルによる強震動シミュレーションのスラブ内地震への適用	野津厚・長坂陽介	日本語	2019年8月
58-2-1	応力発光材料を用いた地盤内のリアルタイムな作用力分布可視化技術の開発とその応用	近藤明彦・高野大樹・小濱英司・Richard J. Bathurst	日本語	2020年2月
58-2-2	栈橋式係留施設の既設杭を活用した耐震改良工法に関する研究	近藤明彦・小濱英司・高橋康弘・吉田秀樹・渡辺健二・国生隼人・天野俊・小山萌弥・永瀬翔平・藤澤孝夫・岡島伸行・阿部哲志・井上真志・吉原到・佃陸郎・植田智幸・原田典佳・永尾直也・及川森	日本語	2020年2月

## 2019 年度に刊行された港空研資料

番号	表題	著者	和/英	刊行
No.1353	遠心模型実験装置 PARI Mark II-R の開発	高橋英紀・藤井愛彦・森川嘉之・高野大樹	日本語	2019年8月
No.1354	隆起抑制型 CPG 工法の開発	佐々真志・山崎浩之・小西武・足立雅樹・新坂孝志・竹之内寛至・諸橋弘樹・斎藤英徳・岡田宙・高田圭太・渡邊慎吾・金子誓・高橋但	日本語	2019年8月
No.1355	鹿島灘におけるチョウセンハマグリを生残に関する物理環境	柳嶋慎一・中村聡志・伴野雅之・山崎幸夫・半澤浩美・宇田川徹・杉松宏一・南部亮元・澤田英樹・武若聡	日本語	2019年8月
No.1356	港湾地域強震観測年報 (2017)	長坂陽介・野津厚	日本語	2019年8月
No.1357	全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2017)	川口浩二・末廣文一・藤木峻・田村仁	日本語	2019年8月
No.1358	第三世代波浪モデルによるうねり性波浪の推算精度検証	田村仁・川口浩二・藤木峻・末廣文一	日本語	2019年8月
No.1359	栈橋上部工のプレキャスト化における杭頭接合方法の提案	川端雄一郎・池野勝哉・加藤絵乃・岩波光保	日本語	2019年8月
No.1360	UAV による沿岸域の写真測量の精度の検討	川口真吾・鈴木高二朗・鶴田修己・朝比翔太	日本語	2019年11月
No.1361	港湾における小型無脊椎動物の種の多様性指数—2つのサンプリングエフォートの考え方の比較—	細川真也・百田恭輔	日本語	2019年11月
No.1362	那覇港臨港道路橋における表面被覆材およびエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリートの長期暴露試験	山路徹・金城信之・富山潤	日本語	2019年11月
No.1363	二軸同軸式アースオーガーで岩に根入れしセメントミルク注入を行った鋼管杭の軸方向抵抗特性	水谷崇亮・兒島正明・村上和之・右田宏文・丸山晴広・橋本洋之・石田毅史	日本語	2019年11月
No.1364	開端杭の引抜き抵抗力に及ぼす施工過程と杭形状の影響に関する模型実験	中村圭太・元水佑介・松村聡・水谷崇亮・新谷聡・大下英治・末政直晃	日本語	2019年11月
No.1365	現地試験による係留施設を対象とした地震時の残留変位計測手法の精度検証	大矢陽介・小濱英司	日本語	2020年2月
No.1366	液化化対策として薬液を注入した地盤の原位置調査による強度評価法	菅野高弘・善功企・末政直晃・春日井康夫・山崎浩之・林健太郎・澤田俊一・遠藤敏雄・加藤幸輝・中川大・規矩大義・山口恵美・藤井紀之・馬場香奈江・藤井照久・高田圭太	日本語	2020年2月
No.1367	アンサンブルカルマンフィルターによる閉鎖性水域の流動解析に向けたデータ同化の計算条件の検討	松崎義孝・井上徹教	日本語	2020年2月
No.1368	新たな魚類生態系モデルによる低次生態系と漁獲量の解析	井上徹教・小室隆	日本語	2020年3月
No.1369	海洋鋼構造物の集中腐食および電気防食に関する最近の知見	山路徹・田土弘人・川瀬義行・小林厚史・吉田倫夫	日本語	2020年3月
No.1370	RTK-GNSS を用いた地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発	伊藤広高・小濱英司	日本語	2020年3月
No.1371	全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2018)	川口浩二・末廣文一・藤木峻・田村仁	日本語	2020年3月

## 年次報告・技術情報誌・ホームページ

2018年度分の活動内容を簡潔にまとめた「年次報告2019」（日本語版）並びに「PARI Annual Report 2019」（英語版）を作成、関係機関へ配布し、研究所のホームページで公開した。

技術情報誌「PARI」については、各号ごとに各研究テーマの特集記事を選定し、研究成果の活用状況、研究所の実験及び現地観測施設などを紹介した。



技術情報誌「PARI」

約1,600カ所へ約2,000部を送付している。

ホームページにおいて、研究所の概要、成果、施設、シンポジウム等のイベントやニュース等の様々な情報の発信をリアルタイムに行い、今年度は約13万回のアクセスがあった。

## 一般国民向け講演会の実施

### 港湾空港技術講演会

研究所が実施している調査、研究及び技術開発の成果を公表し、その普及に努めることを目的に、2019年10月11日に東京都内において、国土技術政策総合研究所と協力し港湾空港技術講演会を開催し、150名の聴講者があった。



研究者発表状況

### 港湾空港技術地域特別講演会

研究所の研究活動や成果についての情報を幅広く提供するとともに、各地域での研究ニーズ等の情報を収集することを目的として、国土技術政策総合研究所及び地方整備局等との共催で、全国4地域において開催し、延べ600名の聴講者があった。

### 港湾空港研究シンポジウム

2020年1月17日に横須賀市内において、国土技術政策総合研究所と合同で、港湾空港研究シンポジウムを開催し、100名以上の聴講者があった。

## 研究所施設の一般公開

### 一般公開

「一般公開」（2019年7月20日（土）国土技術政策総合研究所と共催）では、「巨大津波を体験しよう！」等の公開実験、「海の生き物の働きを観察しよう！」等の体験コーナー設置、「ドローンシミュレータで学ぼう！」等の展示を実施し、870名の来所があった。



一般公開状況

### 一般公開以外の施設見学

一般公開に加えて、年間59件、1,833名に対し研究所の施設見学を実施した。民間企業に加え、政府、自治体、教育機関関係者等に対し、施設や施設に関連した研究を紹介することを通して、研究所の活動内容や研究者の社会的位置付けを広く理解してもらうよう努めるとともに、地震や津波に係る各種情報を伝えるなど、防災に係る啓蒙も進めた。

## その他のアウトリーチ活動

### スーパーサイエンスハイスクール(SSH)事業への協力

文部科学省においてSSHに指定されている神奈川県立横須賀高等学校の1・2年生を対象に、研究内容の説明、研究所の施設見学を行い、理数への関心の向上を図った。



実験に使用する試験体の説明を聞く生徒達

## 2019年度の論文賞等の受賞実績

	氏名	表彰名	表彰機関名	日付	備考
1	山路 徹 構造研究領域長 与那嶺 一秀 材料研究グループ研究官 他 8 名	平成 30 年度 土木学会論文賞	(公社)土木学会	2019/4/5	港湾鋼構造物の海底土中部の電気防食特性および土壌抵抗率を考慮した電気防食設計に関する検討
2	川端 雄一郎 構造研究グループ主任研究官	平成 31 年度科学技術分野の 文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学省	2019/4/17	機構解明に基づくコンクリートの膨張劣化の制御に関する研究
3	西田 孝弘 材料研究グループ主任研究官	平成 30 年度 日本材料学会関西支部長賞	(公社) 日本材料学会関西支部	2019/4/18	
4	川端 雄一郎 構造研究グループ主任研究官 他 2 名	平成 31 年度 日本港湾協会論文賞	(公社)日本港湾協会	2019/5/22	鞘管方式によるプレキャスト上部工の杭頭接合部に関する技術開発
5	松本 さゆり 計測・システム研究グループ長 片倉 景義 計測・システム研究グループ客員研究員 佐藤 智夫 計測・システム研究グループ専任研究員 吉江 宗生 特別研究主幹	海洋音響学会業績賞	(特非)海洋音響学会	2019/5/30	高解像度音響映像取得装置
6	杉山 友理 土質研究グループ研究官	平成 30 年度 地盤工学会研究奨励賞	(公社)地盤工学会	2019/6/7	Analytical investigation of disturbance on seabed-sampled soil specimens and its influence on unconfined strength
7	西田 孝弘 材料研究グループ主任研究官	Presentation Award	4th International Symposium on Concrete and Structures for Next Generation	2019/6/18	
8	桑江 朝比呂 沿岸環境研究グループ長 他 1 名	2019 年度 日本沿岸域学会出版・文化賞	日本沿岸域学会	2019/7/19	ブルーカーボン - 浅海における CO <sub>2</sub> 隔離・貯留とその活用 -
9	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所緊急災害対策派遣隊	令和元年 防災功労者内閣総理大臣表彰	内閣府	2019/9/20	平成 30 年北海道胆振東部地震緊急災害対策派遣隊
10	高橋 英紀 地盤改良研究グループ長 森川 嘉之 地盤研究領域長 他 2 名	Telford Premium Prize (論文賞)	ICE (英国土木学会)	2019/10/4	Thirty-seven-year investigation of quicklime-treated soil produced by deep mixing method
11	田中 敏成 ロボティクス研究グループ主任研究官 加藤 絵万 構造研究グループ長 野上 周嗣 構造研究グループ主任研究官	第 19 回建設ロボットシンポジウム優秀論文賞	建設ロボット研究連絡協議会	2019/10/10	遠隔操作支援機能を実装した栈橋上部工点検用 ROV の現場実証実験
12	佐々 真志 動土質研究グループ長	第 3 回インフラメンテナンス大賞特別賞	6省(国土交通省、総務省、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、防衛省)合同	2019/11/7	吸い出し・陥没リスク抑制と港湾構造物の長寿命化に向けたケーソン目地透過波低減法
13	田村 仁 海象情報研究グループ主任研究官	令和元年度水路技術奨励賞	(一財)日本水路協会	2020/2/27	結合位相モデルによるうねり性波浪の予測システムの開発

## 国際会議やワークショップ等への積極的な取り組み

2015年12月の国連総会において、日本の津波防災の日である11月5日が「世界津波の日」に制定されたことを受け、津波防災をはじめとする沿岸防災技術分野で顕著な功績を挙げた方を対象とした「濱口梧陵国際賞(国土交通大臣賞)」を2016年に創設し、2019年10月29日に、柴山知也 早稲田大学教授/横浜国立大学名誉教授、Ahmet Cevdet Yalciner 中東工科大学(トルコ)教授の2名を表彰した。



濱口梧陵国際賞授賞式及び記念講演会  
(2019年10月29日 東京)

2019年5月に、米国ヒューストン市において開催された「Coastal Sediments 2019」(沿岸域の底質移動や地形変化に関する国際会議)に参加し、後浜における中期の地形変化に関する研究成果を発表するとともに、関連する海外の研究情報を収集した。

また2019年11月に、ベトナム国ハノイ市のベトナム交通運輸大学(UTC)において「海洋構造物のライフサイクルマネジメントに関するセミナー」を開催し、コンクリート構造物の電気防食に関する講演等に関し、活発な意見交換が行われた。

## 国内外の研究機関との幅広い交流

研究の品質及び効率をさらに向上させるため、国内外の研究機関との連携をより積極的に進めており、2019年度時点において、国内13件、海外26件、合計39件の研究協力協定を締結している。2019年度においては、地盤工学分野並びに土木構造分野の相互技術協力のため、フランス交通科学技術研究所(IFSTTR)との間で締結していた研究協力協定を延長した。

## 教育・研究連携協定の締結

研究所と国公立大学が協定を締結し、研究所の研究者が大学院の教授等に就任し、研究所等で大学院生の指導を行う「連携大学院制度」に基づき、東京工業大学、名古屋大学、長岡技術科学大学等12大学と連携協定を締結している。2019年度においては、講師として9名を派遣した。連携大学院制度以外には、日本大学等に延べ4名を派遣した。

## 行政支援の推進

### 災害現場への研究者派遣

2019年8月28日に九州北部地方を中心とした記録的な大雨により下関港海岸山陽地区の護岸が被災した実態を調査するため、研究所は国土交通省港湾局及び国土技術政策総合研究所(横須賀)と合同で、下関港に4名(うち研究所2名)の研究者等を派遣した。

また、2019年9月9日、台風15号の通過に伴う猛烈な風による横浜港南本牧ふ頭はま道路への船舶の衝突、高潮による同ふ頭護岸の被災の状況を調査するため、研究所は7名の研究者を現地に派遣した。

さらに、2019年10月12日に大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した台風19号による高潮で、横浜港金沢地区の護岸が被災した状況を調査するため、研究所は4名の研究者を現地に派遣した。

### 各種技術委員会等への委員の派遣

国、地方自治体の行う港湾・海岸・空港等の公共事業の実施に関連した技術課題解決のため国等が開催する各種技術委員会等の委員として、研究者延べ131名を派遣した。また、様々な機関が設置した港湾・海岸・空港整備に関連する技術委員会を含めれば延べ316名を派遣しており、国等が抱える技術課題解決のため精力的に対応した。

### 国の技術者に対する研修への講師の派遣

国土技術政策総合研究所が実施する国等の技術者に対する研修について、研修計画の企画段階から積極的に参画し、研究者延べ34名を15の研修コースに講師として派遣した。

### 港湾等の技術基準に関する業務支援

港湾の施設の技術基準に関しては、国土交通省港湾局等が設置した委員会等に委員として参加して協力した。また、国土技術政策総合研究所をはじめ学会、関係機関が開催する講習会等において、技術基準の普及等に協力した。空港施設については、空港土木施設に関する技術基準等の円滑な普及、運用に向けた各種検討委員会等に協力した。

### 新技術の評価業務支援

国土交通省(地方整備局等を含む)の要請に応じて、有用な新技術の活用促進を図るために「公共工事等における新技術活用システム(通称「NETIS」)」に登録する技術の現場への適用性等を評価することを目的に各機関が設置する「新技術活用評価会議」に研究者を派遣し、技術支援を行った。

—世界に貢献する技術をめざして—

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

**港湾空港技術研究所**

Port and Airport Research Institute