

2024年度（第59回）
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース

Lecture Notes of the
59th Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2024
Course B

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会
Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering,
Coastal Engineering Committee,
JSCE

2024年8月
August 2024

2024年度（第59回）

水工学に関する夏期研修会講義集

Bコース（海岸・港湾コース）

総合テーマ

水工学に関するモニタリング技術と活用

B-1	海岸・港湾における光ファイバを用いた現地計測技術	東洋建設 総合技術研究所 上席研究員	山野 貴司 Takashi YAMANO
B-2	砂粒子の探求：海岸工学への新たな視点	熊本大学・大阪公立大学 客員教授 神戸市立高専 名誉教授	辻本 剛三 Gozo TSUJIMOTO
B-3	氾濫災害調査に関する現状やデータ活用 法、将来の方向性	東京理科大学 教授	二瓶 泰雄 Yasuo NIHEI
B-4	沿岸域における光学観測と海色衛星データ 解析の応用	横浜国立大学 准教授	比嘉 紘士 Hiroto HIGA
B-5	沿岸災害の調査－何を、どのように行うべ きか？－	近畿大学 准教授	高嶋 知行 Tomoyuki TAKABATAKE
B-6	建設分野の生物モニタリングにおける環境 DNA分析技術の活用および課題と展望	大成建設 技術センター チームリーダー	高山 百合子 Yuriko TAKAYAMA
B-7	波崎海洋研究施設における長期地形モニタ リングとその活用	港湾空港技術研究所 グループ長	伴野 雅之 Masayuki BANNO
B-8	モニタリングを活かすデータ同化の考え方	電力中央研究所 サステ ナブルシステム研究本部 主任研究員	岡田 輝久 Teruhisa OKADA

海岸・港湾における光ファイバを用いた現地計測技術

On-site Measurement Technology Using Optical Fibers in Coastal and Port Areas

山 野 貴 司

Takashi YAMANO

1. はじめに

海岸・港湾における課題の一つとして、海岸侵食や洗掘が挙げられる。海岸侵食（coastal erosion）とは、主に砂浜海岸において、堆積する土砂量が流出する土砂量を下回り、結果的に海岸から土砂が減少し汀線が後退する現象のことである。海岸侵食については、多くの海岸を有する我が国においては、特に重要な課題である。第二次世界大戦後、高度経済成長に伴うダム建設や海岸・港湾構造物の建設などが進み、その結果として川から海への流出土砂量が減少し、港湾施設によって沿岸方向の土砂移動が分断されることによって、全国的に海岸侵食が加速された。1956年に、津波、高潮、波浪等による被害から海岸を防護することを目的とした海岸法が制定され、1999年には、これまでの防護に加え、総合的な海岸管理制度を目指し、「海岸環境の整備と保全」、「公衆の海岸の適正な利用」を追加した抜本的な改正がなされた。図-1.1に、我が国における砂浜のある海岸線延長の変遷^{[1.1],[1.2]}を示す。田中ら^[1.3]による1978年～1992年の調査によれば、海岸侵食により毎年約160haの砂浜が消失していたとされ、その後2000年から2005年にかけて砂浜海岸の減少は続き、年間約100kmのペースで海岸線延長が減少した。その後は海岸法の改正に伴う積極的な砂浜海岸の保全・回復の取り組みによって、2011年には約4,876kmまで回復し、最新の統計データ^[1.4]によれば、2022年には約4,986kmで、年間約10kmのペースで回復している。海岸侵食対策として、突堤、離岸堤、潜堤等の構造物の設置、および構造物を少なくして海浜を保全する工法として透水層工法やサンドバイパス等がある。近年の砂浜海岸の回復は、これらの対策が施された結果であるが、将来気候において予想される海面上昇等による沿岸外力の変化や、既存構造物の老朽化、また、外洋に面した未整備の侵食性海岸も少なくないことから、

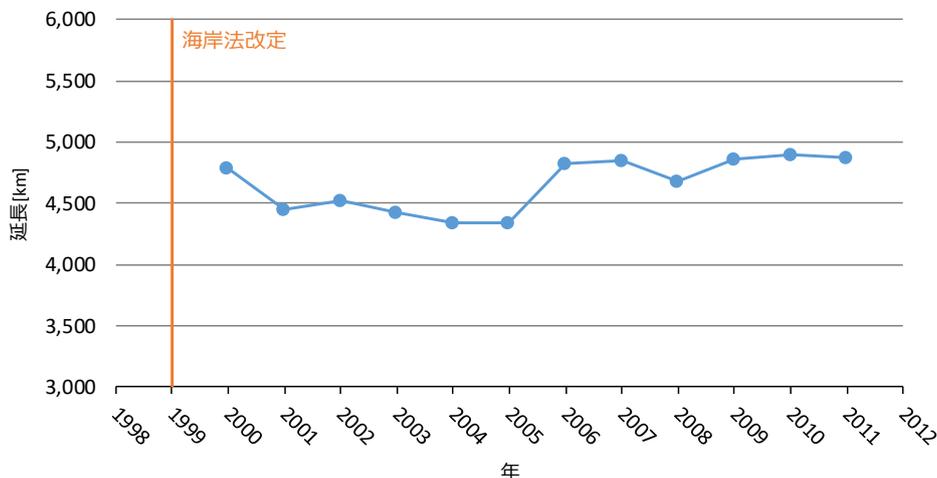


図-1.1 日本の砂浜海岸延長の変遷

砂粒子の探求：海岸工学への新たな視点

Exploring Sand Particles : A New Perspective in Coastal Engineering

辻 本 剛 三

Gozo TSUJIMOTO

1. はじめに

日本の海岸線には、白砂青松という言葉が示す通り、美しい砂浜と松林が広がる理想的な風景が存在し、この風景は、私たちにとってただ美しいだけでなく、文化的、経済的にも非常に重要な資源です。砂浜は観光資源として多くの人々を引きつけ、また、自然の防波堤として台風や高潮から内陸を守る重要な役割を果たしている。しかし、近年の気候変動は、この美しい砂浜の風景に大きな影響を及ぼし始めている。

地球温暖化に伴う海面上昇は、砂浜の侵食を加速させる恐れがあり、特に、低地に位置する砂浜は、海面の上昇によって浸食が進みやすくなり、さらに、台風の巨大化により、強風と高波で砂の流出が増加します。この結果、多くの地域で砂浜の消失が現実の問題となっている。

これらの現象は、単に砂浜の美しさを損なうだけでなく、地域社会や生態系に深刻な影響を及ぼし、砂浜が失われることで観光収入が減少し、また、砂浜が持つ防災機能が低下することで、高潮や津波のリスクが増加する。さらに、砂浜は多くの生物の生息地でもあり、その消失は生態系全体に負の連鎖を引き起こすことになる。

砂浜を構成する砂粒子には、過去の波浪、流れ、風、化学変化など様々な自然外力の影響を受け、砂粒子の形状や表面特性、組成と鉱物の種類、粒度分布や堆積構造、化学的変質等の痕跡がある。図-1に国内の砂浜における底質粒子の画像の例を示す。砂浜毎に構成されている底質の特性が異なっており、自然環境の歴史や変遷を物語っている。

今年度の水工学に関する夏期研修会のテーマが「水工学に関するモニタリング技術とデータ活用」であり、本稿では筆者が海浜の砂粒子を身近な機器で調査・解析を行った事例を紹介し、砂粒子の魅力と可能性について述べる。



図-1 砂粒子画像（左から柿崎中央浜（新潟県）、ダイヤ浜（福井県）、ナガンヌ島（沖縄県））

水害調査に関する現状やデータ活用法，将来の方向性

Current status, data utilization and future work for field survey on flood disaster

二 瓶 泰 雄

Yasuo NIHEI

1. はじめに

「現地観測（現地調査）」は、「室内・屋外実験」や「数値シミュレーション」と共に、水工学研究の三大ツールとして重要な役割を果たしている。実験は、決められた条件下で繰り返し実施し、詳細に計測することが可能である（大型模型の場合は実施回数に制約があるが）という長所を有する。その一方、実験では、スケールが実物と完全に同等であることはまれであり、相似則の問題が必ず発生するという短所があり、「流れ」以上に「土砂輸送・河床変動」に関しては相似則の問題はより顕在化する。それに対して、数値シミュレーションは、計算機能力の大幅な向上と共に、様々な汎用性の高いオープンコードや商用ソフトウェアの登場により、3つのツールの中で最も有力なものになりつつある。特に、従来の1D、2D解析だけでなく、近年では様々な高精度解析モデルの開発（例、Q3D-FEBS等¹⁾により準3D、3D解析の事例が増えており²⁾、今後は、数値シミュレーションは研究手法の主流を占めると目されている。このように数値シミュレーションも適用範囲は大きく広がっているものの、全ての流況・河床変動解析に適用できるわけではなく、ある程度の限界を有すると共に、今後の発展の余地も大きい。また、解析モデルの性能評価は、各研究者に委ねられており、共通のベンチマークテストの必要性が論じられている。

以上のような長所・短所を有する室内実験や数値シミュレーションでは得られない“fact”を現地観測では取得することが最大の特徴である。特に、発生頻度が少なく、大きな被害をもたらす洪水氾濫災害調査に関しては、実験や数値シミュレーションでは得られない流況や河床変動、各種構造物の被害状況を取得できる貴重な機会となると共に、今後へ備える教訓や防災・減災対策の一助となる。「室内・屋外実験」や「数値シミュレーション」、「現地観測」は三つとも大事な研究ツールであり、連携して利活用するものであるが、2024年度水工学における夏期研修会のテーマは「水工学に関するモニタリング技術」であるため、本報では「現地観測」に主に着目する。

水害が頻発する我が国では、豪雨災害発生直後から、洪水氾濫状況（浸水位、浸水深）や家屋被害、堤防等の河川構造物被害、避難状況などに関する災害調査が行われており、土木学会などの学協会ではこのような災害に係る調査団を結成して調査に当たることが多い。また、大学や研究所、河川管理者（国交省）、関係行政機関（県や市町村）などもこれらの災害調査を独自に行っている。このように数多くの災害調査が行われているが、必ずしも確立された統一的な調査方法は存在しなかった。津波調査に関しては、調査マニュアルは東日本大震災の前から作成・公開されており（例えば、今村³⁾）、それと比べると河川洪水氾濫の水害調査に関しては大幅に遅れていた。これに加え、洪水氾濫の調査データに関しては、調査者が個別に保存し、論文等で公表する程度であり、調査結果のデータベースは不十分である。このような状況を鑑みて、土木学会水工学委員会・水害対策小委員会では水害調査WGを2014年に立ち上げ、上記の課題解決に当たった。このWGは、水害時における調査方法の共通化・標準化を図ると共に、得られる調査結果のデータベース基盤を作ることを目的として、水害調査ガイドライン（案⁴⁾を2016年に作成・公表した。これにより、津波調査よりも大幅に遅れている水害調査方法やそのデータベース化が確立・統一化され、これまで十分なされてこなかった個々の水害の比較・検討を行うことができ、将来的な水害対策へ極めて有用な基礎データ

沿岸域における光学観測と海色衛星データ解析の応用

Application of Optical Observation and Ocean Color Satellite Data Analysis in Coastal Areas

比 嘉 紘 士

Hiroto HIGA

1. はじめに

現在、我が国では、産学官の多様なプレーヤーを対象として、衛星データ利用とその社会実装における全体戦略や政策に繋がる議論が行われている。世界各国においても、大型から小型まで多くの人工衛星の打ち上げが非常に活発であり、ハード・ソフト面共に著しく進化しながら様々なデータの利活用が議論され、様々な社会実装を見据えた取り組みが展開している。このような社会実装が適切に進められることになれば、地球観測衛星データが国民の安心・安全及び産業育成に資する新たな社会インフラの1つになり得る可能性を秘めている。

多種多様なセンサーを搭載した人工衛星の中で、広域観測に適した中分解能の多波長光学センサーは、太陽光の反射を利用して画像を取得する特性から雲の下や光のない夜間は撮影できないといったデメリットがある一方で、大気、陸域、雪氷、海洋といった幅広い対象物を高頻度に観測可能なメリットがある。特に広大な水平空間スケールを有する海洋・沿岸においては、広域を高頻度に観測可能であり、多波長の特性を利用して対象物の種判別（例えば海洋で言えば、植物プランクトンの種判別等）が可能であることから、その利用ポテンシャルは大きく、これまで自然科学の発展に貢献してきた功績は大きい。我が国では、2017年12月に宇宙航空研究開発機構（JAXA）によって、中分解能多波長広域観測光学センサーSecond generation GLocal Imager (SGLI) を搭載したGlobal Change Observation Mission-Climate (GCOM-C) 「しきさい」が打ち上げられ、将来の気温上昇量の予測に必要となる放射収支、炭素循環メカニズムの解明等、全地球規模を対象として継続的な観測が実施されており、今後の様々な環境変化の予測に期待されている。しかしながら「しきさい」衛星の実態を見ると、人工衛星データのユーザー数が乏しいために、後継機の打ち上げに関する議論は一向に進まず、観測の継続が厳しい状況にある。地球観測は長期的な環境変化を捉えることが自然科学の観点から極めて重要であることは言うまでもないものの、その大義名分だけでは不十分ということであろう。そもそも日本において地球の広域観測を可能とする中分解能光学衛星の打ち上げが必要なのか、他国の人工衛星データを利用することで十分事足りるのではないかと、といった疑問もある中で、日本がその分野を担っていくためには、民間企業を巻き込んだ人工衛星データ利用に関する戦略を検討し、その社会実装による経済・産業への効果を把握するだけでなく、自然科学の発展や人工衛星データ解析における人材育成の観点からも日本における地球観測衛星の位置付けを明確にしていく必要があると考えられる。

現状の課題となる「しきさい」のユーザー数が乏しい原因は様々に考えられ、人工衛星とセンサーの個性が他国のものに対して相対的に弱く、世界的なユーザーの獲得に繋がらないことだけでなく、一般の方々の地球観測に対する認知度の低さも当然に挙げられる。研究者を含む各分野のエンドユーザーの視点からも、「結局人工衛星データで何ができるのか」といった根本的な部分が不明瞭であることに加え、データ解析のハードルの高いことも問題の1つと考えられる。例えば「しきさい」衛星データがダウンロード可能なG-Portal (webブラウザ) は非常に使いにくく、お試しで使用してみるといったことはほぼ不可能に近い。ま

沿岸災害の調査 ー何を、どのように行うべきか？ー

Coastal Disaster Surveys – What and How Should We Do? –

高 嶋 知 行

Tomoyuki TAKABATAKE

1. はじめに

津波や高潮・高波などによる大規模な沿岸災害は、世界規模で見れば数年おきに発生している。こうした沿岸災害の被害を軽減するためには、被災地にて直接被害のメカニズムを調査し、教訓を抽出することが重要である。実際に大規模な沿岸災害が発生すると、そのたびに様々な技術者・研究者が現地へ赴き、現地調査が行われる。このように、沿岸災害の現地調査の重要性は誰しもが認識していることだと思われるが、調査を行う上では、前提として有しておくべき基礎知識や従うべきルール、効果的に実施するためのノウハウがいくつか存在している。

著者自身は、2010年チリ地震津波、2011年東北地方太平洋沖地震津波、2018年台風21号(Jebi)による高潮・高波、2018年インドネシア・スラウェシ島地震津波、2018年インドネシア・スンダ海峡津波、2019年台風15号(Faxai)による高波、2024年能登半島地震津波などに関する現地調査に参画した経験を持つ。本稿は、こうした著者の経験を踏まえて、沿岸災害の現地調査では「何を、どのように行うべきか？」をできるだけ簡潔にまとめたものである。現地調査の経験が豊富な技術者・研究者の方々にとっては「何をいまさら…」な内容が続くことは承知の上だが、現地調査に参加したことがない（またはほとんどない）若手の方にとって、現地調査は未知の部分が多く、実際に参加する機会を得た際には不安を抱えることも多いと考えられる。そうした方々にとって参考となるように、僭越ながら知見を共有させて頂きたい。また、前述の現地調査の多くは、著者が20代～30代前半に現地調査経験を豊富な研究者（調査隊長）の元に参加させて頂いたものである。そのため、調査隊長をサポートする若手技術者・研究者として求められる役割や振る舞いについても著者自身の経験を元に述べたいと思う。

本稿の構成は以下の通りである。まず、沿岸災害の現地調査に関するマニュアルや実体験がまとめられた文献、過去の現地調査を報告した論文を紹介する（第2章）。つぎに、現地調査の実施に必要な準備について説明し（第3章）、詳しい調査項目や調査内容を第4章で述べる。第4章では、沿岸災害調査の最重要事項である痕跡高調査の方法に加え、ドローンを用いた航空測量や音響探査機を用いた水深調査、被災者を対象とした避難行動調査などについても、著者の経験を踏まえて記述する。第5章で論文執筆や対外報告に関する情報を紹介し、最後にまとめを示す（第6章）。

2. 関連文献の紹介

津波災害を対象とした現地調査のマニュアルには、今村(1998)、Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)(1988)、首藤ら(2007)などがある。高潮を対象とした場合にもこれらマニュアルの一部は活用可能である。田島(2014, 2023)は、過去の水工学に関する夏季研修会で、現地調査の方法や調査事例について報告している。柴山(2023)はこれまでに実施した津波・高潮・高波災害に関する現地調査の豊富な経験や、得られた知見を著書としてまとめている。また、土木学会海岸工学委員会のWebサイトには、沿岸災害ライブラリーとして過去の調査で得られた結果や関連Webサイトへのリンクが示されている。現地調査の実施にあたっては、

建設分野の生物モニタリングにおける 環境DNA分析技術の活用および課題と展望

Prospects and Challenges for Application of Environmental DNA Analysis Technology in Biological Monitoring in the Construction Site

高山 百合子
Yuriko TAKAYAMA

1. はじめに

環境DNAとは、広義には河川や湖沼、海などの水域や土壌、大気などの環境中に存在する生物由来のDNAの総称である。環境中のDNAを分析することによって、そのDNAの持ち主である生物種を特定することが出来るので、間接的ではあるがその場所にどのような生物が生息しているのかが分かる。すなわち環境DNA分析は、サンプリング試料が水や土であるので、生物を目視しなくとも水や土壌からそこにいるであろう生物を推定することができる新しい生物モニタリング手法なのである。環境DNAについては、2008年にフランスの研究チームにより世界で初めてその存在が発表され、日本では、2011年に神戸大学大学院 源利文教授によって環境DNA分析による魚種の把握について発表された。そして、この10年ほどで現地調査の留意点（試料採取地点や採水方法など）や分析手法・実験手法のマニュアル整備や環境DNA学会の設立が進むとともに、魚類や両生類、昆虫、植物など幅広い生物群への適用検討が活発化し、実用化に向けた研究や標準化への動きが着実に進展している。また近年は、生物の現存量推定や環境DNAの膨大な情報にも注目が集まり、それらによる生物と環境の相互作用や生態系モニタリング、多様性保全などへの活用が期待されている。

建設工事は、海や川、湿地や山間部などの様々な自然環境の中で行われるため、あらゆる生物や生態系を対象に配慮や保全に努める必要がある。保全対象となる生物種は、地域や工種によっても多種多様であり、例えば、河川付近の道路や造成、ダム工事では、魚類や両生類、鳥類、昆虫などが保全対象になることがある。建設工事期間中は、盛土・切土や河川切回しなどにより地形が変わることが多く、保全対象種が生息する環境（河床・海底地形、流れ、水質等）は改変されることが想定される。建設地周辺に生息する動植物の保全対策においては、対策の有効性を確認するため、工事前後だけでなく施工中の生物調査により保全対象となる動植物の存否や生物量、分布の変化を把握することが重要となる。

このような背景から、著者のグループでは建設分野の生物モニタリングにおける環境DNAの活用に取り組んでいる。現状の生物モニタリングは、踏査や潜水など専門調査員による目視観察が主であり、専門性が高く、労力が多大となることから調査の頻度や範囲に限られる場合がある。一方で、水試料から生物をモニタリングすることができれば、現地調査の労力が格段に低減され、これにより高頻度な生物調査が実現できると考えている。またある程度確立されたDNA分析技術を生物モニタリングに取り入れることは、生物種ごとに専門知識を必要とする目視主体のモニタリングに対して、多種多様な生物を保全対象とする建設工事に展開する上で大きなアドバンテージとなる。本講義では、環境DNA分析の概要について紹介した後、環境DNAを生物調査に活用するために検討した課題およびモニタリング事例について紹介する。最後に、最近の話題に触れながら建設分野の視点からその展望についても述べてみたい。

波崎海洋研究施設における長期地形モニタリングとその活用

Long-term Beach Monitoring and the Use of Data for Research: A Case of Hasaki Oceanographical Research Station

伴 野 雅 之

Masayuki BANNO

1. はじめに

我々は様々な方法によって海底地形を取得する。なぜ我々は海底地形を何年にもわたって何度も繰り返し測り続けるのだろうか。その答えの一つは、海底の地形が変わり続けるからである。沿岸域に作用する波や流れによる土砂移動によって、海底の地盤高は常に変化する。はたまた河口から供給される土砂の堆積、深海域への土砂の流出によっても沿岸域の土砂量が増減し、海底の地形は変化する。海面下の目に見えないところで、常に土砂は移動、堆積を繰り返し、地形が時々刻々と変化している。このような土砂の移動は、ある場所では過度に土砂が堆積することで航路や泊地の埋没や河口閉塞といった問題を引き起こしたり、ある場所では過度に土砂が失われることで海岸侵食や構造物周りで洗掘を引き起こし問題となったりする。土砂が邪魔になる場所もあれば、土砂が無くなると困る場所もある。人間はこのような一筋縄ではいかない海底の土砂移動との闘いに際し、その片鱗となる情報を掴むために海底地形を取得し続けている。

さて、海浜は前浜（低潮位時の汀線～波の遡上端）と後浜（暴浪時にのみ波が遡上する範囲）を合わせた陸上地形を「Beach」と呼ぶが、一般的には低潮位時の汀線よりもやや沖側の領域を含めて呼ばれることが多い。海浜の地形は波浪、流れ、風といった外力で時々刻々と変化している。海浜は、地球物理学的視点においては地形形成や沿岸環境場としての重要な役割を果たし、沿岸防災の視点においても消波機能やそれによる越波防止機能といった重要な役割を果たす。このような点からも、海浜を安定させ、十分な浜幅を維持することが管理上求められ、その管理のためにも高精度な地形変化予測は重要な必要技術の一つである。しかしながら、シミュレーションによる海浜地形変化の再現計算や予測計算は、短期的変動や長期的変動に関わらず、十分な精度を有しているとは言い難い。これらの一因は海浜地形のモニタリング（観測）が時間的に断片的で、限られた量のデータしか得られていないことが多く、十分なデータに基づいた海浜地形変化プロセスの詳細な検討が難しいことにあるように思われる。海浜の地形変化プロセスを理解する目的と海岸管理の目的の両方において、現地における海浜地形のモニタリングデータを取得することは必要不可欠なものである。

データの多少を問わなければ、世界中で多くの海浜地形のモニタリングが実施されている。定期的な海浜地形変化モニタリングにおいて、測量対象とされるのは、陸側から順に後浜、前浜、上部外浜（低潮位～土砂の移動限界水深：depth of closure）が中心である（図-1）。上部外浜と下部外浜（上部外浜～波浪の作用限界水深：wave base）の間の土砂輸送と堆積プロセスは、長期的な海浜地形変化を考える上では無視できないものではあるが（Anthony and Aagaard, 2020; Harley et al., 2022）、下部外浜の時間的な地形変化量は必ずしも大きくないことから、下部外浜までを対象とした海浜地形のモニタリングキャン