

沿岸防災技術研究所の活動について（令和3年度）

山本 浩之*・横田 弘**

* （一財）沿岸技術研究センター 波浪情報部 業務課長
 ** （一財）沿岸技術研究センター 参与 沿岸防災技術研究所長

沿岸技術研究センターは沿岸防災技術研究所を2005年12月に設立した。沿岸防災技術研究所では総合的な沿岸防災技術について、調査研究を進めるとともに、沿岸防災に関わる新しい情報の発信に取り組んできている。本稿ではまず、第Ⅱ期SIPの「スーパー台風被害予測システムの研究開発」における当センターの取り組みを紹介し、その後2021年度の沿岸防災技術研究所の活動内容について報告する。

キーワード：アンサンブル予報, 高潮・波浪予測, 陸開, 開閉監視, LPWA通信

1. 第Ⅱ期SIPへの取り組み

1.1 SIP事業の概要

当センターはSIPⅡ期（2018～2022年度）の「国家レジリエンス」の課題のうち、図-1に示す「IVスーパー台風被害予測システムの開発」に参画している。気候変動により発生が懸念されるスーパー台風等を対象として、自助・共助・公助による自立的な避難行動や最善の広域応急対応の実現に向けて、様々な観測データを利用し合理的なデータ処理を施すことで、台風の進路予測を用いた河川水位や高潮・高波、さらに浸水エリアを予測するとともに、ダムや水門の連携・一元化による運用・操作機能も装備したスーパー台風被害予測システムを三大湾等への社会実装も考慮し開発するものである。

この研究開発テーマはさらにサブグループに分かれており、当センターでは高波・高潮ハザード予測システムの開発グループで波浪情報部が、危機管理型水門管理システムの開発グループで調査部が活動している。



図-1 システムの開発概要

1.2 高波・高潮ハザード予測システムの開発

(1) 概要

当センター波浪情報部が取り組んでいる高波・高潮ハザード予測システムの開発について紹介する。

高波や高潮の予測についての現在主流となる方法は、外力となる海上風や気圧の時空間的な予測値を入力して数値計算によって行うものである。この方法により、気象

庁や大学、あるいは民間の気象海象予測会社等において、高波や高潮の予測システムが開発・運用されている。このうち特に台風時の高波や高潮の予測については、気象庁の台風予報の誤差が大きい場合に、結果としてこれらの予測も大きくはずれてしまうことが従来からの課題となっている。気象庁の台風予報は予報円を利用した不確実性を考慮した情報として提供されているが、高波や高潮の数値計算を行う際に入力する海上風や気圧の予測値に予報円に基づく不確実性を直接取り入れることができないことが課題解決を難しくしている。この問題に対応するために、台風予報の予報円の範囲内に複数台風経路を設定して各経路別にマイヤーズなどの解析的台風モデル（同心円状の気圧分布を仮定）を適用して海上風や気圧の予測分布を算出し、それを入力情報として台風経路別の数値計算をこれまで行ってきた。

図-2にカムインズの台風時の波浪予測例を示す。

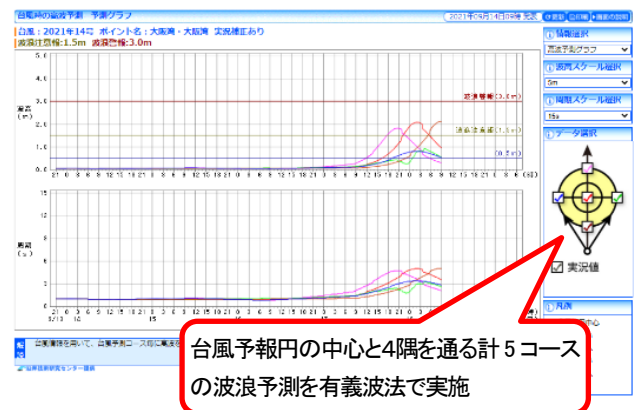


図-2 カムインズの台風時の波浪予測例

この方法では、台風予報の不確実性の考慮は行えるが、解析的台風モデルを適用していることから個々の台風の気圧分布の特性、台風周辺の気圧場の状況、地形による収束発散の効果などは考慮されていない。そのため、台風経路別の個々の海上風と気圧の予測精度は十分とは言えない状況であった。

そこで今回、台風予報の不確実性を考慮するとともに、台風経路別の海上風や気圧予測の精度も高い手法として、アンサンブル気象予報を入力値に利用する高波・高潮の数値計算システムを開発することにした。

(2) アンサンブル気象予報

数値予報では、各種の気象観測値を反映した初期値を与えて数値積分を行って将来を予測するが、現状を正確に捉えた初期値を与えることは難しく、この初期値の誤差は数値積分が進むにつれて増大する。また、数値積分ではある大きさの格子を用いた近似式で気温や風等の予測計算を行うため、誤差が生じることも避けられない。恣意的に初期値に僅かな誤差を与えた複数のパターンについて数値積分を行って予測値を作成し、それらのデータを解析して予測のバラツキ幅を把握することで、不確実性を考慮した定量的な予測が可能になる。この考え方の上に成り立っているのがアンサンブル気象予報である。

図-3 に台風 1919 号時のアンサンブル気象予報 (21 メンバー) を利用し、関東地方への最接近の 3 日前から 1 日前まで解析して求めた各メンバーの台風経路を示す。メンバー別の台風経路は予報時間が長くなるに従い、バラツキが大きくなるのがわかる。

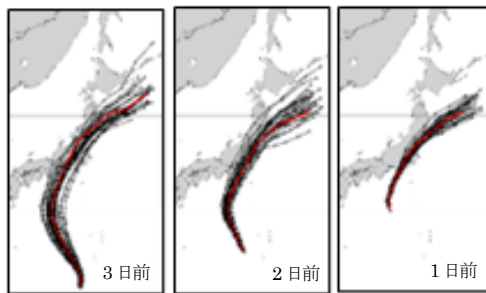


図-3 アンサンブル気象予報から求めた台風経路例

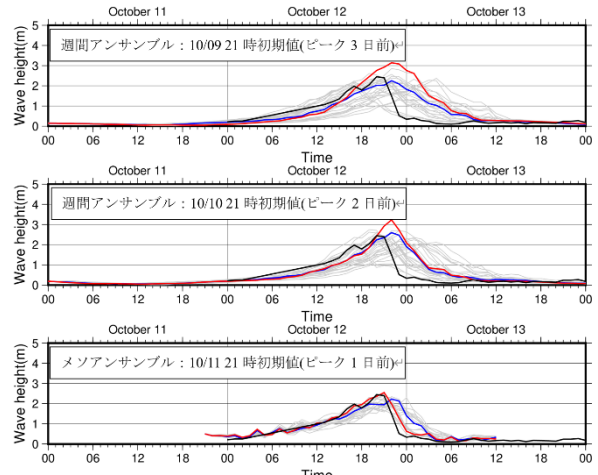
(3) 高波予測

次に、台風時のアンサンブル予報による海上風の予測データを入力した波浪予測計算について説明する。メンバーの数だけ海上風予測を入力した計算を行う以外は、通常、カムインズで行っている WAVEWATCH III (以下、WW3) による計算と基本的に類似である。異なっているところは、計算領域のセッティングの内容、格子間隔の細かい領域に SWAN を利用しているところである。台風 1919 号来襲時の東京港のメンバー別の波浪予測計算結果を重ね描きした例を図-4 に示す。台風来襲の 3 日前には、コントロールラン (誤差を加えない基本の予測) では過小予測だったものが、メンバー別の波浪予測によって観測値を含む幅のある予測が可能になることがわかる。

(4) 高潮予測

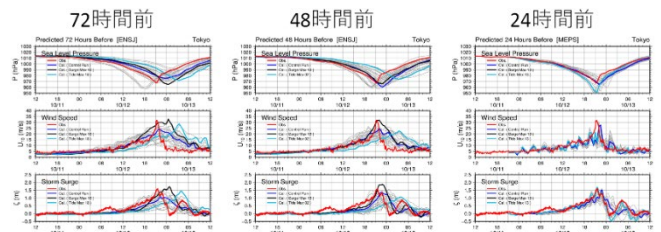
次に、台風時のアンサンブル予報による海上風と気圧の予測データを入力した高潮予測計算について説明する。メンバーの数だけ数値計算を行う以外は、一般的に行われる高潮の数値計算と同様の手法である。計算結果の例

を図-5 に示す。台風来襲の 3 日前にはコントロールランでは過小予測だったものが、メンバー別の高潮予測によって観測値を含む幅のある予測が可能になることがわかる。



黒線：東京港観測波高 (毎時値)、青線：コントロールラン
赤線：波高最大のメンバー、グレー線：その他のメンバー

図-4 台風 1919 号時の東京港の波浪予測結果の例



上段：気圧 中段：風速 下段：高潮
赤線：観測値、青線：コントロールラン、黒線：高潮最大のメンバー
水色線：潮位最大のメンバー、グレー線：その他のメンバー

図-5 台風 1919 号時の東京港の高潮予測結果の例

(5) 開発成果のカムインズ予測への反映

現在のカムインズの台風時の波浪予測と高潮予測は、先に説明したように台風の前報円内に機械的に複数経路を設定してマイヤーズの台風モデルにより海上風や気圧の予測計算を行い、それを入力して台風経路別の計算を行っている。今後は SIP の開発成果を反映し、アンサンブル気象予報を利用した波浪と高潮の予測を行うことを計画している。その際には、波浪予測については現在の有義波法から WW3 による数値計算に、高潮予測については現在の重回帰式利用から浅海長波方程式による数値計算に変更する予定である。これにより、波浪については風浪に加えてうねりを計算する面的な予測が可能となり、高潮についても過去に潮位観測値の行われていた地点に限らず面的な情報の提供が可能となる。

(6) まとめ

今回開発した台風時のアンサンブル予報を利用した波浪・高潮予測による情報を利用することで、台風接近の 5 日前から、波浪や高潮の災害発生リスクを定量的に把握することができる。これらの予測情報を港湾管理者、自治体等の防災担当者および地域住民に対して、それぞれに

適切なタイミングと内容で提供する仕掛けを作成することが今後の社会実装に向けて重要となる。

1.3 LPWA 通信による水門・陸閘開閉監視システムの開発

(1) 概要

当センター調査部では危機管理型水門管理システムの開発グループのメンバーとして、LPWA 通信を利用した水門・陸閘開閉監視システム（以下では開閉監視システムと略記）の開発に取り組んでいる。

東日本大震災（2011 年）では、津波来襲時に水門・陸閘の開閉操作をした消防団員に 253 人もの犠牲者を出した。現在も全国の沿岸には非常時に開閉監視が必要になる施設が非常に数多く存在し、それらの多くは遠隔管理されておらず、人手を用いて監視および開閉操作がされている。このような施設の開閉確認が遠隔で可能になれば、防災力向上と操作員の安全確保に貢献できると考えられる。一方、これらの施設の運用管理に充てられる予算は、一部の例外を除いて驚くほど少ないのが現実である。このような状況に因應するため、安価で導入可能な LPWA 通信を利用した水門・陸閘の開閉監視システムの開発を行うこととなった。

なお、開閉監視システムの開発では、①施設に設置する開閉感知センサー、②LPWA の通信システム、③各施設の監視情報を収集する通信ネットワーク、④Web 等による一元監視画面情報の作成など、各機能の構築が必要である。今回、当センターでは主に①と②の開発を行った。

(2) LPWA 通信

最初に LPWA (Low Power Wide Area) について説明する。LPWA は図-6 に示すように、省電力・長距離通信が可能な IOT 社会に適した通信インフラである。遠隔監視対象となる水門・陸閘は商用電源が供給されていない場合も多く、乾電池等で動作する低電力通信のシステムが望ましい。このことから、開発する開閉監視システムは機側との通信に LPWA を利用することとした。

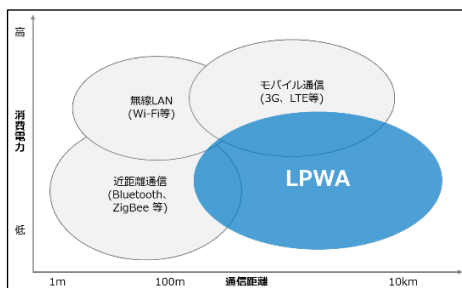


図-6 LPWA 通信の特徴

(3) 開閉感知センサー

今回、開閉感知センサーについては、非常時の開閉監視が必要であるものの小型で電動化されていない施設が多

いことに着目し、このタイプの陸閘への据え付けを対象として開発を行った。

図-7 に機側の開閉監視システムのイメージ図を示す。図では左にシステム構成概要、右に開閉感知センサーの設置イメージを示している。門扉の開閉状況についてスイッチを利用して電気信号として感知し、スイッチと直結した電源ボックスに内蔵された LPWA 通信機で開閉監視ネットワークへ接続する。今回、スイッチについては、開閉部の扉体と固定側の門柱（堤防）の距離が接近することを磁気的に感知するスイッチ、堤体開閉部と胸壁が接した際の力学的な作用を利用するリミッタスイッチなど、複数のスイッチを開発した。これは、センサー設置作業の簡略化やセンサー作成部材費の低減など、機側の開閉監視システムの備え付けに係る一連の経費削減を検討する判断材料にするためである。

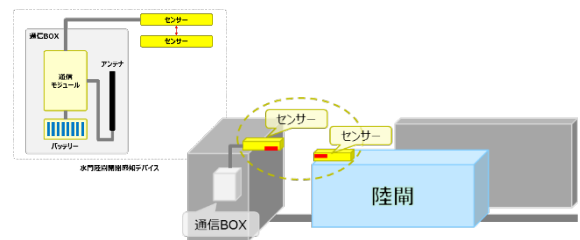


図-7 機側の開閉監視システムのイメージ

(4) 実証実験

開発した LPWA 通信機能を備えた開閉監視システムについて、神戸市と高松市に協力を頂いて、現地の陸閘を利用した実証実験を 2019 年度に開始し、現在も継続中である。なお、LPWA については日本で普及している仕様が複数あるが、神戸市では独自の中継基地局を持つことから LoRaWAN (920MHz) を利用、一方、高松市では携帯電話会社の商用運用している中継基地局を利用した Cat. M (LTE) を利用した。実験の全体概要を図-8 に、神戸市の現地写真を図-9 に、高松市の現地写真を図-10 に示す。

実験ではこれまで、①門扉の開閉状態をセンサーが正しく感知するか、②台風で想定される荒天の条件下での LPWA 通信の信頼性はあるか、③機側に据え付けるシステムの使用電力はどれくらいか、④開閉感知センサーの据え付け方法の簡略化はできないか、を主な評価項目として行った。

実験はまだ高松市では継続中であるが、これまでに得られた結果は以下のようになる。

- ① センサーによる開閉感知について、門扉の開閉操作に応じた適切な電気信号に変換できていることを確認。
- ② 荒天下の LPWA 通信の信頼性について、実験時に厳しい悪天に遭遇していないため、継続評価が必要。
- ③ システムの使用電力は小さく、乾電池で 1 年以上の継続運用が可能であることを確認。
- ④ 開閉感知センサーの据え付けの簡略化はまだ不十分であり、継続評価が必要。

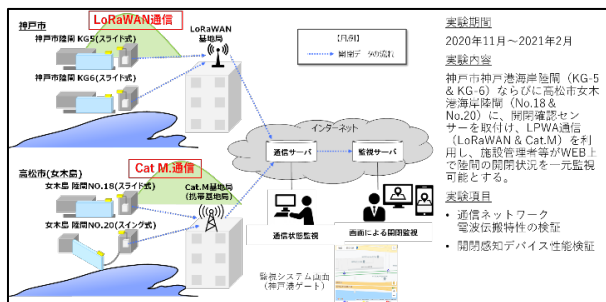


図-8 実験概要 (2020年度の例)

2. 沿岸防災技術研究所の業務

沿岸防災技術研究所では、以下の業務について取り組んでいる。

- ①沿岸防災技術に関する情報の収集・整理
- ②沿岸防災技術に関する調査研究の実施
- ③沿岸防災技術に関する政策提言
- ④沿岸防災技術に関する技術の普及
- ⑤大規模災害に関する調査研究

3. シンポジウム等の開催

沿岸防災の重要性についての啓発や防災技術の情報交換のため当センターでは国内外でシンポジウムやワークショップ等を開催しており、ここでは沿岸防災関連のものについてのみ紹介する。

3.1 コースタル・テクノロジー2021における防災関連論文の発表

通常のコースタル・テクノロジーは外部の施設を会場として発表講演会を行っているが、前年に引き続き「コースタル・テクノロジー2021」はコロナ禍に配慮して、インターネットを利用したYouTubeによるオンデマンド配信により実施した。その内、防災関連については以下の論文発表を行っている。論文の詳細については、「沿岸技術研究センター論文集No. 21(2021)」を参照していただきたい。

- 1) 高潮早見図の利便性向上と浸水被害予測への活用について (大阪湾港湾等における高潮に関する防災・減災の取り組み)

当センター： 若林信孝 (講演者), 田所篤博
近畿地方整備局 港湾空港部：

前防災・危機管理課長 宮本武紀

前防災・危機管理課長補佐 井上省吾

(株)エコー：前事業本部防災解析部長 原信彦

(株)エコー：事業本部防災解析部 樋口直人

高潮・高波・暴風に対する事前防災行動を推進する一環として、高潮早見図(令和元年度版)に新たな高潮計算結果を追録し、利便性を高めるためパソコン上で図化できるシステムおよび台風来襲時に入手可能な既存波浪予測情報(カムインズ情報)の活用について検討した。

- 2) 仮想台風による高波災害リスクの基礎的検討について

当センター： 峯村浩治 (講演者), 春日井康夫
九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所：

前所長 鳥居雅孝

前前任建設管理官 松尾康成

(一財)日本気象協会：主任技師 宇都宮好博

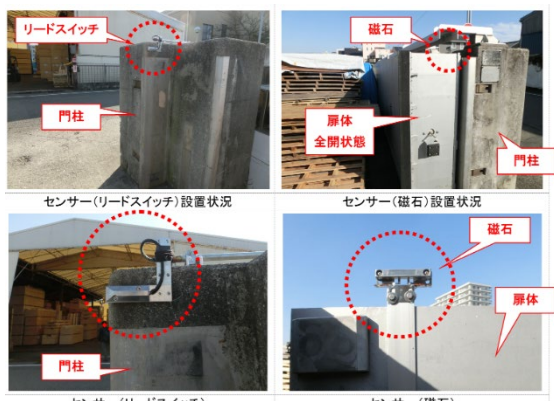


図-9 神戸市の実証実験の現地写真



図-10 高松市の実証実験の現地写真

(5) まとめ

SIPⅡ期は2022年度が最終年であり、ここまでに積み残した課題を解決するとともに、その後の社会実装に繋がる成果が求められる。具体的には、LPWA通信機能を備えた開閉感知センサーを利用した水門・陸閘開閉監視システムについて、開閉状況の検知性能や通信信頼性の要件を技術的に満たすことには目途が立ったが、社会実装を進めて行くには、このシステムの必要性を自治体等の防災関係者および地域住民と広く共有しながら、事業として予算化できるように現実的な必要コストを提示していく必要がある。

近年多発する台風災害では高潮による浸水に加えて、高波による港湾施設の損壊等の被害が発生しており、このような隠れたリスクを洗い出すために、仮想台風（シナリオ台風）による波浪推算を実施した。これにより九州管内の港湾において50年確率波よりも大きな波浪が発生する台風が存在し、その波浪により防波堤の安定性に影響を及ぼす可能性がある事を確認した。

3.2 日韓沿岸技術研究ワークショップ

2009年10月7日、沿岸技術研究センター(CDIT)と韓国海洋研究院(KORDI: Korean Ocean Research & Development Institute)との間で研究協力協定書が調印された。本ワークショップは、これを契機として両機関が隔年ごとにそれぞれの国で開催した沿岸防災ワークショップ(計4回開催)に由来する。

2012年6月1日、韓国海洋研究院は韓国海洋科学技術院(KIOST: Korean Institute of Ocean Science and Technology)として名称変更し新たな歴史を開始した。そして同年、みなと総合研究財団(WAVE)がKIOSTと「沿岸技術分野の協力覚書」を締結したことから、従前からKIOSTと研究協力を行っている港湾空港技術研究所(PARI)も含めて、日韓両国における沿岸域の課題に係る最新の研究成果を発表し、相互の理解を深めることを目的とする日韓沿岸技術研究ワークショップが新たに始まった。

第1回は2013年にソウル、第2回は横浜、第3回は韓国の安山、第4回は東京、第5回は釜山、第6回は福岡、第7回は釜山での開催であった。

なお、第8回となる予定だった2021年は、残念ながら、前年に引き続きコロナ禍のため中止となった。

3.3 2021年度濱口梧陵国際賞

我が国の津波防災の日、11月5日が2015年12月の国連総会において「世界津波の日」として制定された。この機会をとらえ、江戸時代末期の安政南海地震の時に自らの資産を投げ打ち村人の命を津波から護った濱口梧陵の名を冠した「濱口梧陵国際賞」を港湾空港技術研究所や他の団体と共同で2016年に創設した。本賞は、津波防災を始めとする沿岸防災分野で顕著な功績をあげた国内外の個人または団体を表彰するものである。

2021年度の実績者は次の2名および1団体であり、11月29日に海運クラブで授賞式が開催された(図-11)。

○松富英夫 秋田大学名誉教授/中央大学研究開発機構客員教授: 長年に渡り津波の挙動に関する研究を行い、1995年からは国際測地学地球物理学連合(IUGG)の津波委員会の委員として活躍し、津波の発生メカニズムや被害軽減について国際的に貢献。国内においても2014年から建築学会津波荷重小委員会で委員を務め、氾濫流速や漂流物衝突力の推定式を提案。

○Gerassimos A. Papadopoulos 国際自然災害防止・軽減学会会長、前アテネ国立天文台研究部長: 津波科学の研究や津波リスクの啓蒙と軽減策で世界的にも著名な津波研究者。ベルリン日独センターの支援を得て1993年に防災科学技術研究所で学び、2001年には東北大学と共同で津波強度のスケールを導入して津波科学に貢献。2004年には日本地球惑星科学連合中核的研究拠点の支援を得て同大学の客員教授、またユネスコ政府間海洋学委員会/北東大西洋・地中海津波早期警報システムの共同創設者であり、2017年から2020年までは議長。

○太平洋津波博物館 Pacific Tsunami Museum: 1994年にハワイに設立された、世界で最も歴史ある津波博物館の一つ。1946年にアリューシャン、1960年にチリで発生した津波によるハワイの惨状を人々に教えることにより、これら悲劇の記憶が忘れられることなく、次世代に伝承されることを目的に設立。この四半世紀にわたって、津波の恐ろしさを住民や訪問者に伝える取り組みを絶やさなかった。津波災害の軽減や備えに対する貢献は大きく、将来を担う世代に津波災害の教訓を伝承する先駆的組織である。



図-11 授賞式

4. 調査研究の実施

当センターでは、2021年度は国、港湾管理者、民間事業者等から受託した調査研究を合わせて76件実施しており、そのうち約2割が以下の2件をはじめとした防災・減災関連であった。

- ・既存観測機器等を活用した防災力強化方策検討業務
- ・港湾等における気候変動適応策の実装に向けた検討業務

5. 出版物の刊行

我が国は津波の常襲地域であり、津波に対する知見や経験が豊富である。津波に関する我が国の技術的知見を広く世界に情報発信することは当センターの業務の一つとして考えられることから、津波災害の危険性が高い国内外諸地域における人的被害軽減に貢献することを目的とし、津波に関する被害、現象、予警報及び被害軽減策等の技術的知見を紹介する書籍「TSUNAMI」、絵本「津波は

怖い！」および書籍「絆 ～津波からいのちを守るために～」を出版してきている。

5.1 書籍「TSUNAMI」

書籍「TSUNAMI」は、津波から生き延びるために必要な知識を伝えることを主たる目的とし、読みやすい平易な本にした。この本は、日本語版(2008年11月)を最初に出版し、引き続いて、インドネシア語版(2009年6月)、英語版(2009年10月)、韓国語版(2009年12月)を出版している。

2011年3月11日にマグニチュード9.0という大地震とそれによる大津波で東日本大震災となった。この災害は、多くの津波に見舞われてきた我が国においても過去に起きたことがないほどの巨大津波災害であり、この災害によって新たな多くの教訓が得られた。これらの教訓も取り入れた日本語改訂版を2016年3月に発刊した。さらに、世界の人達に我が国で得られた津波の教訓を知ってもらうために、2009年に出版した英語版の改訂版をWorld Scientific社から2018年3月に出版した。津波災害の経験のない国の人であっても、外国旅行中に津波に遭遇するかもわからない。津波経験のある国の人でも経験のない国の人でも是非「TSUNAMI」の英語版を読んでいただければと思っている。英語版には図-12に示すようにハードカバーとソフトカバーの2種類がある。



図-12 「TSUNAMI」改訂版

5.2 書籍「絆～津波からいのちを守るために～」

当センターは、国際津波・沿岸防災技術啓発事業組織委員会編集・出版事務局として、東日本大震災から10年の節目となる2021年3月11日に書籍「絆～津波からいのちを守るために」を編集・発刊した。

東日本大震災発生から10年、国連総会で「世界津波の日(11月5日)」が創設され5年が経過したこの時、「南海トラフ地震」などの巨大地震に備えて、「私たちはいかにして命を守ることができるのか」について津波・防災の研究者や実務者、東日本大震災の被災地で活動する団体・企業等、50人を超える著者が、今後の津波防災・減災のために未来に残すべきメッセージを伝えている(図-13)。



図-13 「絆 ～津波からいのちを守るために～」

6. おわりに

沿岸防災技術研究所では、これまでに紹介した取り組みの他、沿岸防災に関連する情報提供、港湾・空港の土木施設やその他の土木施設の耐震性能の評価に必要な技術の普及、SIP事業の支援も実施している。

以上、2021年度の沿岸防災技術研究所の活動について報告させて頂いた。今後も沿岸防災技術研究所では、我が国の沿岸防災技術の発展に貢献していきたいと考えている。引き続き皆様の支援をよろしく願いたい。

参考文献

- 1) 園田彩乃ほか：アンサンブル気象予報を用いた高潮予測，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol. 76, No. 2, 2020
- 2) 鈴木善光ほか：アンサンブル予報を用いた高波予測システムの開発と適用性の検討，土木学会論文集B3(海洋開発)，Vol. 78, No. 2, 2022
- 3) 岡安徹也ほか：リアルタイム高潮・高波浸水予測情報提供による防災行動DXについて，JICE REPORT, 第40号, 2022