

2016 年度（第 52 回）
水工学に関する夏期研修会講義集

B コース

Lecture Notes of the
52nd Summer Seminar on Hydraulic Engineering, 2016
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
2016 年 8 月
August 2016

2016 年度（第 52 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：東日本大震災後の津波防災

- B-1 仙台防災枠組を踏まえた国際的防災戦略
ー世界社会の安全構築への学の役割ー
東北大学 災害科学国際研究所長 今村文彦
Fumihiko IMAMURA
- B-2 津波防災地域づくりと津波浸水想定の設定
国土交通省 国土技術政策総合研究所・室長 諏訪義雄
Yoshio SUWA
- B-3 津波被災地の広域被害の把握と評価
東北大学 教授 越村俊一
Shunichi KOSHIMURA
- B-4 津波を踏まえた災害に強い漁業地域づくりについて
漁港漁場漁村総合研究所 理事長 影山智将
Tomomasa KAGEYAMA
- B-5 高潮・津波対策の変遷
東北大学 名誉教授 首藤伸夫
Nobuo SHUTO
- B-6 防護施設とまちづくり
中央大学 教授 有川太郎
Taro ARIKAWA
- B-7 津波の河川遡上と防災
東北大学 教授 田中 仁
Hitoshi TANAKA
- B-8 建築物に作用する津波荷重
秋田大学 教授 松富英夫
Hideo MATSUTOMI

2016年度（第52回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-1

仙台防災枠組を踏まえた国際的防災戦略
—世界社会の安全構築への学の役割—

東北大学 災害科学国際研究所長

今村文彦

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016年8月

仙台防災枠組を踏まえた国際的防災戦略 –世界社会の安全構築への学の役割

International strategy for disaster risk reduction through SFDRR 2015-2030 -Role of academia for global safety in the society

今村文彦

Fumihiko Imamura

1. はじめに

第3回国連防災世界会議が、平成27(2015)年3月14日から18日まで仙台を中心に開催された。東日本大震災で甚大な被害を受けた仙台・東北の地で、全世界から集まった関係者が国際的な防災指針について熱心に議論を交わした。この国際会議には、187か国の代表、国際機関、NGO等、本体会議に6,500人以上（首脳25名含む閣僚100名以上、国連事務総長、UNDP、ESCAP総裁）、関連事業を含めるとのべ約15万人以上が参加した。我が国で開催した国連関係の国際会議として最大級となった。

この世界会議においては、2030年までの国際的な防災の行動指針「仙台防災枠組」が最終日に採択され、今後15年間で災害による死亡率や経済損失を減少させるなど世界共通の目標が設けられた。国連が具体的な期限を示し、減災目標を掲げるのは初めてである。日本が主張していた被災後に復旧・復興に入る時期にこそ発生前より災害に強い社会を構築すべきであるという「よりよい復興（Build Back Better）」という考え方も取り入れられた。

多くの議論・成果や国際交流という財産を残した国際会議であったが、我が国では非常に重要で新たな責務を負ったと考える。仙台防災枠組SFDRR（Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030）に謳われている「防災の主流化」を進め、防災・減災を先導し国内外に向けた継続的な発信と実践に取り組まなければならない。本会議については大変に多くの関係者による取り組みが実施されたためすべてを紹介することは難しく、ここでは学の役割を中心にしたい。過去の2回の会議に比べて、学の役割は大きくなっており、企画・運営だけでなく広報や実施なども関与するようになった。本文は東日本大震災の被災を受けて国際社会での防災・減災の関心が高まる中、開催された国連防災世界会議の意義と概要、さらには仙台防災枠組の内容と今後の予定・課題を紹介しながら、我が国が果たしてきた防災分野での貢献と今後の役割をまとめたい。

2. 東日本大震災の発生と今後の国際的な防災・減災

平成23(2011)年3月11日午後2時46分、まだ冬の季節が残る東北地方に、巨大な地震による長くて強い揺れ、そして数十分後に沿岸域に津波が来襲し甚大な被害を生じさせた。さらに、福島原発1号機も影響を受けたことにより過酷事故が発生し今まで人類の経験がない複合的な災害になった。死者・行方不明者18,466人（震災関連死が加わるが現在その数は3,200名を超えている）、建築物の全半壊約40万戸、各種ライフラインの切断、東京電力福島第一原子力発電所での炉心溶融等、未曾有の被害を含む大震災が生じたことになる。

東日本大震災は巨大な地震と津波により多大な被害を出し、日本列島に住む我々が自然災害に対してどのように備えるのかを改めて考える機会となった。自然災害の頻発地域にある我が国では、過去の災害の経験からその実態を伝え、防災・軽減のための生活文化を継承していくための「災害文化」が涵養されている。地域での石碑などのメモリアル（記憶をとどめる）、伝承の中にある教訓・智恵、さらには、奉仕（まつりごと）または儀式として活動が続けられている。神社仏閣もその1つであり防災・減災のための機能が残されているが、大震災前にはこの役割が忘れつつあり、本来は被害軽減

にもっと活かせたと思っている。この大災害を教訓に、津波防災の中でのレベル1およびレベル2の考えが提唱され、津波防災地域づくり法が成立し、現在施行されている。

一方で、世界における過去10年間の災害による損失は、死者70万人、負傷者140万人を超え、住居を失った人は2300万にも及んでいるといわれている。また15億人以上が災害の影響を受け、経済損失は1兆ドルを超えるといわれ、とりわけ女性、子供や脆弱な環境におかれた人々への影響は甚大である。また製造業における国際的な部品調達（サプライチェーン）に見られるように、世界経済の相互依存性が強まっており、遠く離れた場所で生じた災害でも、その影響は即座に国境を越え、次々と広い範囲に連鎖する傾向がある（日本学術会議2016）。

被害の増加は先進国、発展途上国双方にみられ、科学・技術や経済の成長、発展が必ずしも災害リスクの減少にはつながっていない。学術の世界では、ハザードや災害に関する理解が深まっているにもかかわらず、被害は増加し続けているのはなぜかという疑問が出されている。科学・技術は、被害を軽減する具体的方法について研究開発を鋭意進めているものの、いまだその貢献は十分な水準に達していないと考える。得られた知見や知識、さらには開発された技術などの普及（delivery）や社会実装が重要であり、そのためには、担い手だけでなく繋ぎ手（コーディネーター）の役割が重要である。

3. 第3回国連防災世界会議の開催と意義

3.1 世界会議誘致と開催への動き -産学官連携の中で

東北大学は被災大学として、東日本大震災からの復興に寄与する研究・教育・社会貢献等に全学を挙げて取り組み、その成果を社会に発信・実践することを使命とした。そのため、第3回国連防災世界会議の仙台市への誘致にも協力し、開催決定後には、東日本大震災での課題や産官学の役割などを整理し、学術からの政策等への提言に尽力した。学内の準備体制として、主体的な貢献を担当するプロジェクトチームと仙台市や関係者と連絡調整を行う協議会を設けた。後者においては、世界会議の会場としてキャンパスを利用頂き、参加側だけでなく企画・運営側としての役割を担った。いずれの組織にも災害科学国際研究所が中心的な参画を行っていった（今村,2016）。

平成25（2013）年5月に仙台開催が日本政府により閣議了解され、また同じ年の12月に国連総会において仙台開催が正式決定されて以来、仙台市は震災の経験や教訓を世界に発信するとともに、仙台・東北の復興の現状を会議への参加者に直接理解しやすいように組織にも工夫が入れられ、開催地では、本政府、東北六県、宮城県内の大学や経済団体等で構成する推進組織を立ち上げて、会議開催支援や歓迎・情報発信事業などを実施してきた。

会議の成功を左右するポイントは市民参加であった。防災世界会議の認知を上げ、市民も含めて参加層を広げるながら世界会議中での議論を有意義にするためには、事前の啓発や広報の活動が最重要であった。まず、東北大学設置されたに災害科学国際研究所では東日本大震災の経験を踏まえた研究成果に基づき、兵庫行動枠組（HFA）の評価レポートを日・英で出版した。このレポートを持参しながら、国内外の順義会であるアジア防災閣僚会議、国連での国連防災世界会議の準備委員会、ダボス国際災害リスクフォーラム、国際災害リスク東京会議、知のフォーラム等に参加し、教訓の発信や重要課題の提案に努めた。また、市民向けに国連防災世界会議の意義を伝えるために仙台市との共催で市民公開講座を3回開催した。この中でも、本研究所の特色である災害医学に関しても積極的に働きかけ、厚生労働省の後援を得てワシントンDCでの国際シンポジウムを主催し、保健医療の防災枠組への組み入れを提言していった。

3.2 世界会議開催中での活動 -学の役割を中心に

開会式（14日）には、天皇皇后両陛下が御臨席になった。潘基文国連事務総長、安倍総理大臣、奥山仙台市長等が開会の挨拶を行った。山谷内閣府防災担当大臣が会議の議長に選出された。ハイレベル・セグメント（14日）では安倍総理大臣が我が国を代表してステートメントを行った。災害に強靱な社会に向けて「より良い復興」、事前の防災投資、女性のリーダーシップや様々な主体の連携の必要性を訴えた。日本の貢献策として、2015～18年の4年間で40億ドルの資金協力、4万人の防災・復興人材育成を含む「仙台防災協力イニシアティブ（PDF）」を発表した。さらに、ハイレベル・

2016年度（第52回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-2

津波防災地域づくりと津波浸水想定の設定

国土交通省 国土技術政策総合研究所・室長

諏訪義雄

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016年8月

津波防災地域づくりと津波浸水想定の設定

Development of Areas Resilient to Tsunami Disasters and Determining the Potential Tsunami Inundation

諏訪 義雄
Yoshio Suwa

1. 東日本大震災と津波防災地域づくり法制定経緯

平成23年3月11日に発生した東日本大震災では、岩手・宮城・福島の被災3県で1000年に1度と言われる大津波が海岸堤防を大きくのり越えて陸地に遡上し、人命・資産に大きな被害をもたらした。

大震災を受けて、津波対策の基本法とも言うべき津波対策の推進に関する法律（津波対策推進法）が6月24日に成立した。津波対策推進法は、

- ①津波は、一度発生すると、広域にわたり、国民の生命、身体及び財産に甚大な被害を及ぼすとともに、我が国の経済社会の健全な発展に深刻な影響を及ぼすおそれ
- ②津波は、国民が迅速かつ適切な行動をとることにより、人命に対する被害を相当程度軽減することができることから、防潮堤や津波避難施設の整備等とともに、教育・訓練の実施等により国民の理解と関心を深めることが特に重要
- ③津波被害の発生防止・軽減のための観測体制の充実、調査研究の推進が重要
- ④津波の広域伝播性から、観測・調査研究に係る国際協力の推進が重要

という基本認識のもと、津波による被害から国民の生命、身体及び財産を保護するため、津波対策を総合的かつ効果的に推進し、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的としている。ソフト面における津波対策、ハード面における津波対策それぞれの努力義務、津波対策の国際協力、津波防災の日制定による啓発、津波対策推進のための税制・財政上の措置の努力義務、地方自治体によるハザードマップ・映像作成の援助の規定等が定められている。

中央防災会議においては、「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」が4月27日に設置された。6月26日に中間とりまとめ、9月28日には最終的な報告・提言がとりまとめられ、今後の津波対策を構築するにあたっては、最大クラスの津波と頻度の高い津波の二つのレベルの津波を想定することが必要とされた。

最大クラスの津波は、住民避難を柱とした総合的防災対策を構築する上で設定する津波であり、超長期にわたる津波堆積物調査や地殻変動の観測等をもとにして設定され、発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす津波である。

頻度の高い津波は、防波堤など構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波であり、最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波である。

社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会からは、国土交通大臣からの要請を受け平成23年7月6日に緊急提言「津波防災まちづくりの考え方」が提示された。

- この緊急提言においては、今後の津波防災・減災についての考え方として、
- ・東日本大震災のような大規模な災害を想定し、「なんとしても人命を守る」という考え方により、ハード、ソフト施策を総動員して「減災」を目指す
 - ・「災害には上限がない」ことを教訓とし、日常の対策を持続させることを基本姿勢
 - ・海岸堤防等による「一線防御」からハード・ソフト施策の総動員による「多重防御」への転換
 - ・平地を利用したまちづくりを求める意見に鑑み、土地利用規制について、一律的な規制でなく、立地

場所の安全度等を踏まえ、地域の多様な実態・ニーズや施設整備の進捗状況等を反映させた柔軟な制度の構築

といった発想による防災・減災対策の必要性が提示された。また、この考え方に沿って、科学的知見に基づいて想定される津波浸水区域・浸水深等の設定やそれに基づく津波ハザードマップの作成及び周知、地域の実情、安全度等を踏まえた土地利用・建築構造規制など、新たな法制度を検討することが求められた。

これらを受けて津波防災地域づくり法が制定された。10月28日に閣議決定、12月1日に衆議院で可決、12月7日に参議院で可決・成立し、12月14日に公布された。

社会資本整備審議会・交通政策審議会交通体系分科会計画部会緊急提言
「津波防災まちづくりの考え方」平成23年7月6日2（抜粋）

- 津波災害に対しては、今回のような大規模な津波災害が発生した場合でも、なんとしても人命を守るという考え方にに基づき、ハード・ソフト施策の適切な組み合わせにより、減災（人命を守りつつ、被害を出来る限り軽減する）のための対策を実施する。
- このうち、海岸保全施設等の構造物による防災対策については、社会経済的な観点を十分に考慮し、比較的頻度の高い一定程度の津波レベルを想定して、人命・財産や種々の産業・経済活動を守り、国土を保全することを目標とする。
- 以下のような新たな発想による津波防災まちづくりのための施策を計画的、総合的に推進する仕組みを構築する。
 - 1) 地域ごとの特性を踏まえ、ハード・ソフトの施策を柔軟に組み合わせ、総動員させる「多重防御」の発想による津波防災・減災対策
 - 2) 従来の、海岸保全施設等の「線」による防御から、「面」の発想により、河川、道路や、土地利用規制等を組み合わせたまちづくりの中での津波防災・減災対策。
 - 3) 避難が迅速かつ安全に行われるための、実効性のある対策
 - 4) 地域住民の生活基盤となっている産業や都市機能、コミュニティ・商店街、さらには歴史・文化・伝統などを生かしつつ、津波のリスクと共存することによる地域の再生・活性化

表 1 津波防災地域づくり法制定経緯

| 津波防災地域づくりに関する法律 制定経緯 | |
|----------------------|---|
| 2011年 | |
| 3月11日 | 東北地方太平洋沖地震（東日本大震災） |
| 6月24日 | 「津波対策の推進に関する法律（平成23年法律第77号）」公布・施行 |
| 7月6日 | 緊急提言「津波防災まちづくりに関する考え方」（社会資本整備審議会・交通政策審議会計画部会） |
| 9月28日 | 「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」報告・提言（中央防災会議） |
| 10月28日 | 閣議決定 |
| 12月1日 | 衆議院本会議において全会一致で可決（附帯決議あり） |
| 12月7日 | 参議院本会議において全会一致で可決・成立（附帯決議あり） |
| 12月14日 | 公布 |
| 12月27日 | 施行（津波災害特別警戒区域関連規定除く） |
| 2012年 | |
| 1月16日 | 基本指針の告示（国土交通省告示第51号） |
| 6月13日 | 全部施行 |

2016年度（第52回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-3

津波被災地の広域被害の把握と評価

東北大学 教授

越村俊一

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016年8月

津波被災地の広域被害の把握と評価

Fusion of Real-time Tsunami Simulation and Remote Sensing for Mapping the Impact of Tsunami Disaster

越村 俊一¹

Shunichi KOSHIMURA

1 はじめに

地震や津波災害に代表される巨大災害の発生直後は、激甚な被害を受けた地域からの情報が断片的となり、被害全容の把握がきわめて困難になるとともに、被災地の救援活動や復旧活動も難航する。2011年3月11日東北地方太平洋沖地震による大津波は、我が国史上最大規模の超巨大津波災害となった。特に岩手県から福島県にかけての津波被害は甚大であり、仙台平野では、海岸線から5km以上内陸まで津波が浸水し、一般家屋だけでなく、仙台空港などの重要なインフラ設備にも甚大な被害をもたらした。津波の被災地は広大であり、発災直後には、激甚な被災地がどこにあるかを把握することさえ困難であると同時に、現地調査期間や人的資源の制約により被害全容を把握するにはきわめて長い時間を要した。

効果的な災害対応にまず必要なのは、被害の全容を把握することである。災害の影響下にある人（曝露人口）がどのような状況に置かれているのか、安全な場所はどこか、どのくらいの被害が発生するのかなど、リアルタイムで得られる観測データやシミュレーション手法を用いてまず推定する必要がある。

本稿では、この課題の解決にむけて、津波数値シミュレーションとリモートセンシングを融合した広域被害把握手法の確立に向けた展望を論ずる。なお、本稿が掲載されているテキストは白黒印刷のため、ほとんどの図面の可読性が損なわれている可能性が高い。必要に応じて、筆者のウェブサイト²からカラー版をダウンロードしていただければ幸いである。

2 津波数値解析による浸水予測

津波の伝播・陸上遡上の予測には、その領域（沖合・沿岸および浅海域の伝播、陸上での遡上）と分解能（空間・時間）に応じて数値モデルを使い分ける必要がある。いずれにせよ、支配方程式を差分法により離散化する方法が一般的である。例えば、水深50m以上の沖合においては、津波伝播・波高増幅の非線形性はほぼ無視できるから、運動方程式については線形長波理論が支配方程式になる。あるいは、長距離を伝播する津波を再現する際には波数分散性が無視できなくなるので、分散波理論を用いる。津波が浅海域に達し、陸上での遡上を再現する場合には、非線形長波の運動方程式（浅水理論）に底面摩擦項を付加したものをを用いるのが一般的である。

長波理論の差分法に基づく津波数値計算の場合、座標系と支配方程式を、再現する津波の対象（遠地/近地、外洋伝播/遡上）に応じて適切に選択する必要がある。2011年東北地方太平洋沖地震津波の場合、日本近海の津波の再現には直交座標系による非線形長波理論式を、太平洋全体への外洋伝播を含めた津波を再現する場合には球面座標系による分散波理論式および線形長波理論式が必要である。津波数値解析手法における支配方程式や格子間隔の選択や計算精度の検証についての詳細は、例えば[1, 2]に詳しく解説されているので参照されたい。いずれにせよ、正確な津波の予測・再現には、方程式系の適切な選択、津波初期水位分布（断層運動による海底地盤変動）、詳細な海底・陸上地形の情報と計算の分解能、土地利用状況等による陸上の津波抵抗則の適切なモデル化等が重要な要件となる。

¹東北大学災害科学国際研究所

²www.regid.irides.tohoku.ac.jp

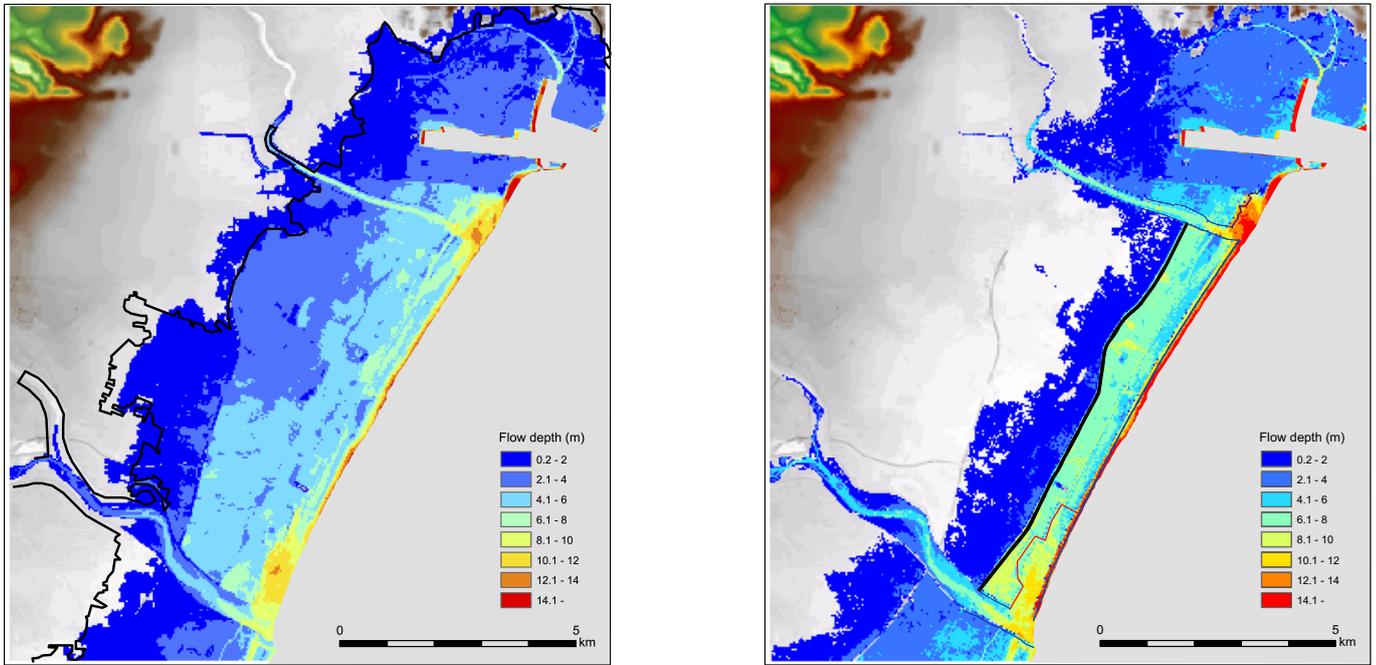


図 1: 左：仙台市における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の再現結果．実線は確認された津波浸水域 [6]．右：仙台市震災復興計画 [4] に基づく，最大クラスの津波に対する津波浸水予測の結果．

ここでは一例として，2011 年東北地方太平洋沖地震津波を再現し，数値シミュレーションの妥当性を評価した結果を紹介する．仙台平野を遡上する数値シミュレーションでは，初期条件（津波波源モデル）について津波の浸水域および遡上高分布についての再現性が高い東北大学モデル ver.1.1[3] を採用した．また，津波遡上計算の空間分解能は 10m とし，土地利用状況（河道，海岸，農地，市街地等）に応じた抵抗則を導入している．図 2 に例示するのは，仙台市における津波浸水計算（今次津波の再現）の結果と，仙台市震災復興計画 [4] に基づく，最大クラスの津波に対する津波浸水予測の結果であり，浸水深の空間分布を示したものである [5]．現地調査で得られた浸水深・浸水高分布，また航空写真からの判読による浸水範囲の調査結果等 [6] で検証を行い，計算結果の再現性が高いことを確認した．近年では，数値解析の検証には，現地調査等による津波高（遡上高・浸水高，浸水深，浸水範囲）の他，GPS 等により観測された地盤変動（陸上・海底），沖合，沿岸の津波観測波形，津波来襲状況の映像から得られる浸水深や流速等の情報 [5, 7, 8] を用いて，総合的な検証が行われるようになった．

3 建物の脆弱性と津波被害関数

津波被災地の広域被害把握技術を確認するという観点では，津波浸水域内の家屋の流失状況を俯瞰することは極めて重要である．津波による被害の量的な推計には，対象とする地域の津波浸水深（地表面から測定した津波高さ）や流速等の外力を数値解析により推定し，それら外力との関連で建物被害棟数や人的被害数を求めるのが一般的であった．津波被害実績から浸水深と家屋被害程度の関係性を調べ，津波外力と被害の関係について津波強度指標を用いて表現した首藤（1992）が代表例であったが [10]，近年の高分解能衛星画像や航空写真を利用したリモートセンシング技術の飛躍的発展や地理情報システム (GIS) の普及もあり，津波の外力と被害程度の関係についてのデータの蓄積が飛躍的に進んだ．

このような背景のもと，新しい津波被害想定指標である「津波被害関数 (Tsunami Fragility Curve)」が提案され，国や地方自治体の津波被害想定にも利用されている [11]．津波被害関数とは，津波による家屋被害や人的被害の程度を被害率（または死亡率）として確率的に表現し，津波浸水深，浸水高，氾濫流速，波力といった津波の流体力学的諸量の関数として記述するものである [12, 13]．

図 2 に示すのは，2011 年東北地方太平洋沖地震津波の宮城県における津波被害関数の例 [14] であり，建物の流失

2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-4

津波を踏まえた災害に強い
漁業地域づくりについて

漁港漁場漁村総合研究所 理事長

影山智将

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016 年 8 月

津波を踏まえた災害に強い漁業地域づくりについて

Study on Construction of Disaster-resilient Fishing Area in Consideration of Tsunami

影山 智 将
Tomomasa KAGEYAMA

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖津波により、東北地方沿岸では、甚大な被害を受けた。特に漁業地域では、津波により、漁港施設、水産施設、海岸保全施設、漁業集落などに大きな被害を被った。これを受け、津波に対する減災・防災対策を見直し、災害に強い漁業地域づくりを進めている。本講義では、過去の津波被害を紹介し、対策の必要性について述べる。次に、従来の津波対策の考え方と東北地方太平洋沖地震津波による新しい津波対策の考え方を整理し、最後に、災害に強い漁業地域づくりのための減災・防災対策などについて、提案する。

2. 漁業地域とその特性について

ここでは、漁業地域とその特性について整理する。

漁業地域とは、水産業を主要な産業としている地域の総称で、漁業及び水産加工業が発達し、資本・技術の集積がある「水産都市」と生業的な小規模な漁業が営まれている「漁村」に大別できる。

漁業地域の成り立ちは良い漁場が形成されている場所に、水産資源を追って人が住み着いたことによるものとされ、資源的依存的な性格が強い。特に沿岸の漁村では、地先の海と集落と漁港が一体となって生業の場を形成しており、漁港、漁場、漁村は一括りの地域資源として考慮している。また、沿岸漁業では家族労働に支えられている。これらを総括して、漁業地域と称している。

立地特性として、その成り立ちから、背後に山が迫る狭隘な地形に密集して集落を形成していることが多い。

また、漁業活動を営むため、漁港内に陸間があることが多く、背後地の利用と前浜のアクセス性を重視した整備が行われている。

3. 津波の被害

3.1 過去の津波

(1) 歴史津波

日本では津波による被害は多く記録されており、歴史津波と呼ばれる文献などに記された津波と近年発生（明治以降）した被災のデータが残っている津波がある。

歴史津波には貞観地震（東北：869年）、永長地震（南海トラフ：1096年）、慶長地震（1605年）、元禄関東地震（1703年）、八重山地震（1771年）、安政南海地震（稲むらの火で有名：1854年）などがあり、甚大な被害をもたらしたと記録されている。

近年、歴史津波についてはボーリングによる地盤調査などから、発生や規模について研究が進んでいる。

図-1 に日本近海において推定された津波の波源分布（1408～2005）¹⁾を示す。破線は歴史津波の想定波源，斜線は逆伝搬手法で解析された波源である。図-1 より，日本近海では太平洋側に限らず，日本海側にも多く発生していることがわかる。

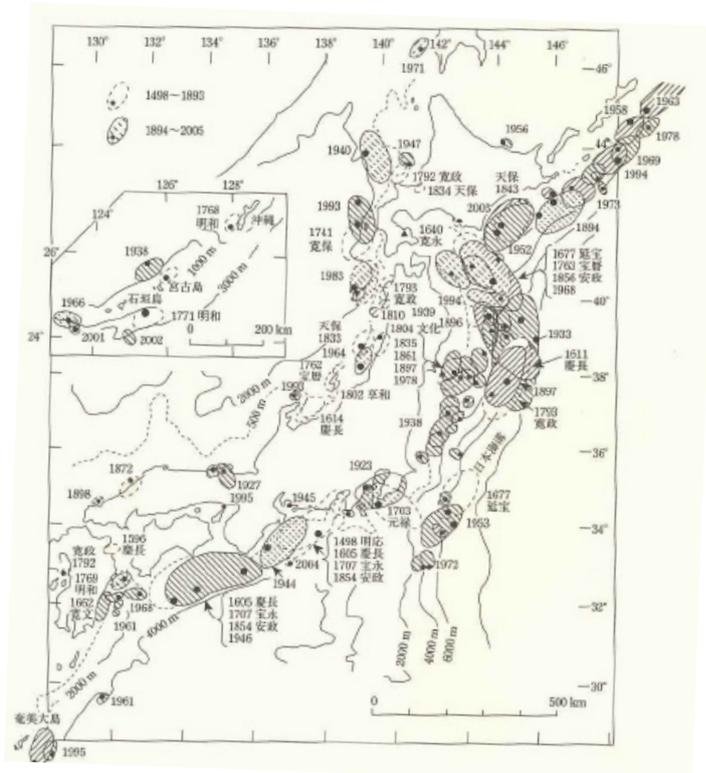


図-1 日本近海において推定された津波の波源分布（1408～2005）

(2) 近年の津波とその被害

近年（明治以降）でも大きな津波が発生し，沿岸に位置する漁業地域に大きな被害をもたらしている。特に東北地方太平洋沖地震津波では，東北地方太平洋沖沿岸に甚大な被害をもたらし，それ以降の津波対策の考え方に大きな変化をもたらした。

明治以降の主な津波を，図-2，表-1 に示す。

表-1 より，東北沿岸，東海・東南海，北海道に地震が発生しており，2011年の東日本大震災は近年最大クラスの地震・津波であり，甚大な被害が発生した。

表-1 近年に発生した津波

| 名称 | 発生日 | 主な被害 | 被害箇所 |
|------------|-------------|---|---------------------------------|
| 明治三陸地震 | 1896年6月15日 | 死者、不明者約22,000名 | 青森～宮城の太平洋側 |
| 大正関東地震 | 1923年9月1日 | 静岡熱海で12mの津波 | 静岡、神奈川、～千葉 |
| 昭和三陸地震 | 1933年3月3日 | 死者、不明者約3,000名、 家屋流失、倒壊約4,900戸 | 北海道襟裳岬、青森～宮城の太平洋側 |
| 昭和東南海地震 | 1944年12月7日 | 死者・行方不明者約1,200名 | 紀伊半島～静岡 |
| 昭和南海地震 | 1946年12月21日 | 和歌山袋港で6.2mの津波 | 房総半島～紀伊半島～四国～九州(津波) |
| 十勝沖地震 | 1952年3月4日 | | 北海道～青森の太平洋側 |
| 日本海中部地震 | 1983年5月26日 | 津波による死者100名、最大14mの津波 | 北海道～秋田～島根～長崎の日本海側 |
| 北海道南西沖地震 | 1993年7月12日 | 津波による死者142名、奥尻島西岸で31.4mの打ち上げ高 | 北海道西岸 |
| 東北地方太平洋沖地震 | 2011年3月11日 | 震災関連死の死者、15,892名行方不明2,576名。岩手県大船渡市の綾里湾で遡上 | 北海道～沖縄、特に岩手・宮城・福島で津波による甚大な被害が発生 |

2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-5

高潮・津波対策の変遷

東北大学 名誉教授

首藤伸夫

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016 年 8 月

Changes in Countermeasures against Storm Surges and Tsunamis

首藤 伸夫

Nobuo SHUTO

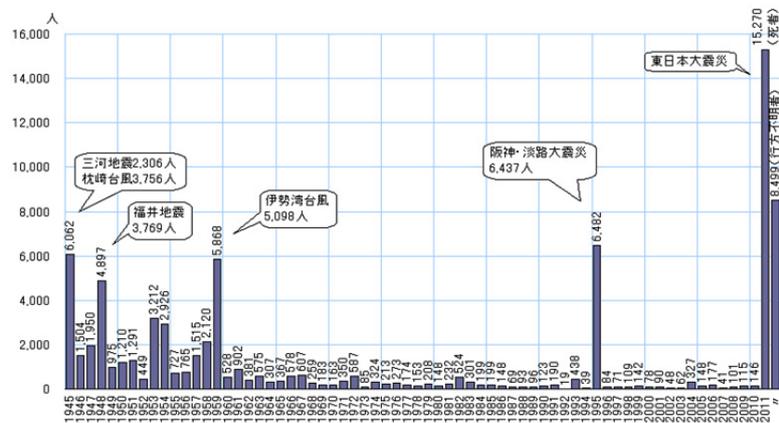
1. はじめに

自然外力、特に津波のようなまれにしか発生しない現象に如何に備えるかの智慧を、次世代次々世代につないで行くことは難しい。特に我が国では、図-1¹⁾に見るように、1960年を境として、自然災害による死者・行方不明者数が大きく減少したため、万一の際の行動の智慧を伝える事が難しくなった。

1960年を境とした変化を支えたのが、防災構造物の普及である。これは、1960年以降の所得倍增計画によって経済的基盤が確立したからであった。

この小文では、記録をたどれる過去から、高潮・津波の対策を、言い伝えによる智慧の継承と行ったソフトなものから、構造物の建造などのハードなものまで辿って行くことにする。

自然災害による死者・行方不明者数の推移



(注) 1945年は主な災害による死者・行方不明者(理科年表による)。46～52年は日本気象災害年報、53～62年は警察庁資料、63年以降は消防庁資料による。1995年の死者のうち、阪神・淡路大震災の死者については、いわゆる関連死919名を含む(兵庫県資料)。2010年の死者・行方不明者は速報値。2011年の死者・行方不明者については、東北地方太平洋沖地震のみ(5月30日現在判明分、緊急災害対策本部資料)。

(資料) 平成23年版防災白書

図-1 自然災害による死者行方不明者の推移¹⁾

2. 近代以前の津波・高潮対策

2-1. 知恵の継承

2-1-1. 公による規制²⁾

宝永4年(1707年)10月4日宝永の津波は、大分県臼杵にも届いた。臼杵川右岸の祇園で津波高1m程度、河口左岸東北側の津留でも溺死者が数多く出た。河口近くに中州(現在の地名は中須賀)がある。当時ここには船具蔵があり、船島と呼ばれていた。この船島に地震を避けて船で逃れようとした15人が津波に巻き込まれて溺死した。

その後、地震の時に船に乗って立ち退いてはならないとの御触れがでたと臼杵藩の温故年表に記載されているが、どれだけ普及し、伝えられたかは不明である。

2-1-2. 記念碑

公の布告と違い、民間では記念碑や日常生活での言い伝えとして伝わっていた。

たとえば、医者にして文人であった橋南谿（たちばな なんけい・1753年生まれ）の記録³⁾がそれを示して居る。彼は、1797年の冬、南紀地方を巡る旅をした。その記録が翌年刊行された西遊記（せいゆうき）続編である。

現在の三重県紀伊長嶋町にある仏光寺で津浪流死塔を見、その文面に感心した。この碑は現存している。

「宝永4年（1707年）10月4日14時ころ大地震があり、津波が来襲。長嶋に浸水して、数多く流失した。今後は大地震があれば津波が来ると心得て山の上に逃げるように」と、誰にもわかりやすく書いてあるのに、まず感動した。これからの命を救うのに役立つ教えであると。そして興味を持ち、津波とは一体何なのかを訊いてまわる。90年後であるにも関わらず、浜で生活する人々の間には記憶はきちんと残っていた。

同じように南に開けていても、大きな津波となった浦もあり、そうでなかった湊もある。彼の得た結論は、「海の幅が狭く、長く入り込んで、普段は風波も来ず、使い勝手の良い湊（＝津）ほど、危険となる。」であった。これこそが、浜で生活する人々の云う「津波」である。原因が地震であっても、台風であっても、湾奥で大きくなるものが、「津」の「波」である。

しかし、碑に記された事が正しく伝わり理解されるかには問題が無いではない。

高知県須崎市の大善寺宝永津浪溺死之塚⁴⁾には、1707年宝永地震津波の事として、「揺り出すや否や浪の入るに非ず少しの間はあるものなれば、ゆり様を見計ひ食物衣類等の用意して扱石の落ちざる高所を撰びて遁るべし」とある。地震の後には津波が来るのだが、やや時間的余裕があるとも読める。

須崎の約20km東の宇佐市萩谷では1854年12月24日の安政南海地震津波で犠牲者が出た。その萩谷名号碑⁵⁾には、「昔宝永の変にも油断の者夥敷流死の由。今度もその遺談を信じ、取あへず山手へ逃登る者皆恙なく、衣食等調度し、又は狼狽にて船にのりなどせるは流死の数を免れず、可哀哉」とあって、150年前の体験を信じたものは助かったとして居るが、衣食の用意をしたものは逃げ遅れたのである。

2-1-3. 知恵が伝わらない大都会 大坂

「・・・午後2時頃、南西の方に地鳴りががすると思ふ間もなく大地震となり、鳴動烈しく1時間余りも続き、江戸堀、伏見堀、堀江新地を始めとして、心齋橋筋の建家は残らず倒壊したので、町民は恐れて家財道具と共に、我も我もと船に乗り移りて難を避けたが、午後4時頃から木津川口に、一ノ洲の海底より俄に泥交りの暗黒色の大海嘯が湧き上がり、20丈ばかりの高さで襲来し、人々は慌てふためきつつ上町方面に難を避けたが、地震を恐れて上荷船、茶船等に乗って居た者は陸地にかかる間もなく、あわやと云う間に大潮に押されて逆流し、川口に繋いで置いた諸国の大船に押し上げられて橋を突き落とし、小船は大船に挟まれ或は激突して砕かれ、多数の悲惨なる死人を出した。・・・」

「・・・午前8時頃、大地震が起こった。以前から恐れて、空き地に小屋掛けしたり、老人や子供の多くは小舟に乗っていた。翌日4時頃、大地震が起こった。家が崩れ、出火もあり、恐ろしい様子であった。それらがようやく治まった日暮れ頃、雷のような響きがとどろき、海辺一帯に津波が押し寄せた。

両川筋に碇泊していた大小の船は碇綱を打ち切れ、一瞬の間に、川上へ遡り、その勢いで、安治川橋、・・・など、悉く崩れ落ちてしまった。また、大道にあふれた水に、あわてて、逃げ迷い、橋から落ちる人もあった。

大黒橋では、大きな船が横倒しになって、塞いでしまったので、川下から入ってきた船は小舟を下敷きにして、次々に乗り上げてしまった。道頓堀川の大黒橋より西、松ヶ鼻の南北の木津川筋一帯は、少しの間に、船で山のようになって、その多くが破船していた。・・・わずかの時間のうちに、夥しい水死者、けが人が出た。・・・」

この二つの文は、時刻が異なることから判るように、174年の間において発生した別の地震津波の記録である。それにしても、住民の対応と被害は瓜二つと云えるだろう。前者は、大阪府西区史の伝える宝永地震（1707年）⁶⁾で、後者は大阪市指定有形文化財大地震両川口津浪記石碑に記された安政南海地震（1854年）⁷⁾である。

住民の入れ替わりが多い都市で云い繋いでゆくのはきわめて難しい。神戸市が阪神・淡路大震災から10年目に実施した調査では、市外からの転入者19%、震災後に生まれた人6%。住民の4人に1人が、震災の未経験者で

2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-6

防護施設とまちづくり

中央大学 教授

有川太郎

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016 年 8 月

防護施設とまちづくり

Role of Sea Walls and City Planning for Evacuation against Tsunami

有川 太郎

Taro ARIKAWA

1. はじめに

戦後における沿岸域の防護施設等の整備は、1956年の海岸法の制定から始まっている。戦後、復興過程にある日本を、数多くの台風による高潮被害が襲ったが、なかでも、1953年の台風13号では甚大な被害が生じた。さらに、海岸法制定後の1959年には、「伊勢湾台風」として知られる台風15号により、死者5000人以上という大きな災害に見舞われた¹⁾(図-1)。

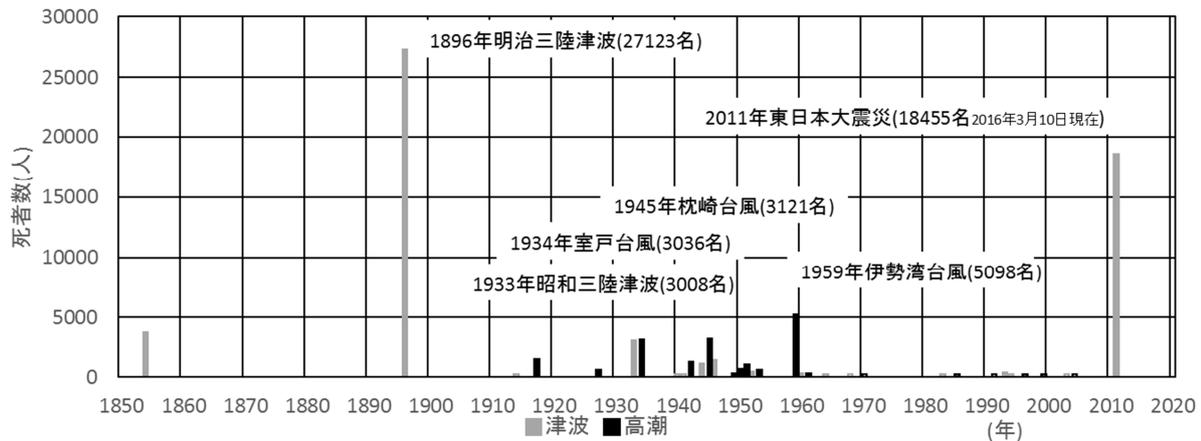


図-1 近年の津波・高潮による犠牲者数の水位

海岸法の制定の目標は、沿岸域を「防護」することにあった。防潮堤や護岸を設置する、いわゆる「線的防護」を行い、浸水を許さず沿岸の背後地域を守るということを目標とした。図-1でもわかるとおり、沿岸における被害者数は、1959年の伊勢湾台風以降激減し、その目標がある程度達成できたと思われたころ、防潮堤や防波堤などの人工構造物を建造したことによる弊害が顕著となった。弊害とは、例えば、防潮堤があることで海岸へのアクセスが悪くなり、海岸から人々の関心が薄れる、防波堤などの固定構造物により、湾内環境の悪化や周辺の砂浜の浸食が進むといった問題である。そこで、「線」による防護から、親水性や沿岸環境に配慮した「面的防護」方法へとシフトし、1999年に「防護・環境・利用」を主たる目的とする海岸法の改正がなされた。また、土木構造物の供用期間の問題が顕著となりはじめ、建造してきた防護施設の維持管理をどうしていくかが大きな問題として取りざたされた。四面を海に囲まれた日本は、海岸線も長く、順次修復していくだけでも、相当な金額が必要となるからである。

2005年に、2004年のスマトラ沖地震を踏まえ、国土交通省では、津波対策検討委員会を開き、津波対策に対する提言²⁾を行っている。この提言は、津波対策を横断的・網羅的にとりまとめたものとしては、国内では初めての提言となる。提言では、特に、日本のこれまでの津波対策を、事前予防対策としてのハード整備中心の考え方に立つものと評価した上で、事前から事後にわたりハード整備およびソフト対策をあわせて展開し、被害の最小化を目指すという考え方へ転換した対策を強力に推進するように求めている。そのような状況下において、2011年に東日本大震災が発生した。

震災のすさまじさを目の当たりにしたことからか、津波という現象が、海岸や津波の専門家だけではなく、国民全体の関心事となり、広い分野で、防護施設の役割が議論されることとなった。一方で、震災直後の中央防災会議にて、提言という形で防護施設の役割が示された³⁾。

提言では、「海岸保全施設等に過度に依存した防災対策には問題があったことが露呈され」、「最大クラスの津波レベルを想定した津波対策を構築し、住民の生命を守ることを最優先として、どのような災害であっても行政機能、病院等の最低限必要十分な社会経済機能を維持することが必要」であり、その上で「防護施設に対して、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していくことが必要である」とされた。2005年時において出された国土交通省としての提言から国としての提言に変わり、かつ、より具体的に示された。それに伴い、沿岸の町づくりは、浸水を完全に止めるという思想から、浸水を許すことも前提とした町づくりへと変わっていく必要がある。

そして、その中央防災会議において、今後の津波被害軽減方策として、「津波からの避難を容易にするためには、海岸保全施設等の整備に加えて、交通インフラなどを活用した二線堤の整備、土地のかさ上げ、避難場所・津波避難ビル等や避難路・避難階段の整備、浸水リスクを考慮した土地利用・建築規制などを組み合わせ、地域の状況に応じて適切に実施する必要がある。」とし、また、「津波からの迅速かつ確実な避難を実現するため、徒歩による避難を原則として、地域の実情を踏まえつつ、できるだけ短時間で、津波到達時間が短い地域では概ね5分程度で避難が可能となるようなまちづくりを目指すべきである。」を提言した。

しかし、浸水を前提としたまちづくりの方法は、未だ議論している最中にあると思われ、その方法を整理し、確立することは急務であると感じる。人口減少、生業、経済効果など、様々な視点があるが、ここでは、特に、防護施設や、避難路等が避難へ及ぼす影響の観点からまちづくりを検討する。

2. 東日本大震災における防護施設の高さと死亡率の関係

東日本大震災の津波においては、防潮堤を大きく越える高さの津波が来襲している地域も多い。被災後に内閣府が取りまとめた東日本大震災時の地震・津波避難に関する住民アンケート調査⁴⁾から、「地震当日中に津波から避難した人は約8割であった」「揺れが収まって30分以内に避難を開始しているのは約5割であった」などのアンケート結果が出ている。また、同アンケートにて避難しなかった理由に「この地域には防潮堤を超えるような大きな津波は来ないと思った」と答えた人は、13.5%であった。そこで、上記のアンケート調査から、東日本大震災時における防潮堤の死亡率に与えた影響を検討する。

2.1. 各種データの整理

特に被害が甚大であった岩手県、宮城県の二県を対象とし、市町村毎にアンケート調査結果等⁵⁾を用いて、平均避難開始時間、津波来襲時間などを整理し、その関係を検討した。以下に、データの取得ならびに整理方法を示す。

a) 平均避難開始時間

津波避難行動を考える上で避難にかかる時間を大きく二つに分けると、避難するまでに要した時間(避難開始時間)と避難そのものに要した時間(避難所要時間)となる。もっとも短い避難時間は、避難開始時間が地震発生からすぐに避難を開始する0分後、避難所要時間が避難所までの最短経路で移動したときの移動時間となったときであると考えられる。しかし、実際の避難行動は、様々な要因によって避難開始時間が遅れ、避難所要時間も、避難路の知識の不足や地震による閉塞のため、最短避難所要時間よりも遅くなることが多い。そこで、まずは、避難開始時間に着目し、復興支援調査アーカイブの個人向けの避難行動調査⁶⁾から平均避難開始時間を整理した。

b) 津波来襲時間

国土交通省⁶⁾における検討から、各地域の津波来襲時間を得た。

c) 被災当時の堤防高

宮城県沿岸の海岸堤防高の設定⁷⁾、岩手県沿岸の海岸堤防高の設定⁸⁾から被災当時の堤防高を得た。ただし、各市町村の海岸に整備されていた堤防高さを正確に知ることは困難であるため、海岸別の値を市町村毎

2016年度（第52回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-7

津波の河川遡上と防災

東北大学 教授

田中 仁

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016年8月

津波の河川遡上と防災

Tsunami Propagation into Rivers and Reduction of Riverine Tsunami Disasters

田中 仁

Hitoshi TANAKA

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、太平洋三陸沖を震源として発生した東北地方太平洋沖地震は太平洋プレートと北アメリカプレートの境界で起こった海溝型地震であった。Mw9.0(気象庁)と日本観測史上最大の規模を持つこの地震は大津波を引き起こし、北海道から関東の太平洋沿岸域に甚大な被害を及ぼした。特に、震源域から近い岩手・宮城・福島の前北三県では沿岸部に10m以上の津波が来襲し、甚大な被害が生じた。この際に、津波が河川を遡上したことが津波の被害を拡大させる要因の一つとなった。

陸地を伝播する津波に比べ、河川内の津波は上流まで波エネルギーを維持して伝播する。そのため、今次津波では高さが大きいことも起因して津波が上流部まで遡上し、河川堤防や各種河川管理施設は大きな被災を受けた。また、津波が河川堤防を越流し、沿岸部から離れた地域にまで到達するケースも見られた。このことから、津波の河川遡上が浸水域の拡大に大きな影響を与えると言える。このため、河口部付近の河川区間においても十分な津波防災を進める必要がある。一般的に、津波浸水区間の想定は海域と陸域を一体化した数値シミュレーションによって行われる。河川の津波遡上特性についてはこのような通常の沿岸域の計算手法に準じた数値計算によっては津波挙動の把握が困難な場合もある。このため、河川遡上津波数値計算に特化した計算マニュアルも発刊されている¹⁾。

河口・河川での津波の挙動に関する研究は、大別して現地調査・現地資料に基づくもの²⁾³⁾⁴⁾、数値計算によるもの⁵⁾⁶⁾⁷⁾、実験によるもの⁷⁾⁸⁾⁹⁾などに分類される。このうち、数値的な検討において検証データとして使用される現地資料としては、1983年日本海中部地震時の米代川で観測された資料や2003年十勝沖地震時の十勝川でのデータが代表的である。しかし、それ以外の河川については津波の遡上を報告した事例はあまり見られない。複数の河川を対象とした総合的な研究はほぼ皆無である。

以上の様な背景から、本稿においては、2011年東日本大震災津波に関わる検討結果³⁾¹⁰⁾に加え、より多くの潮位計・水位計が残存することにより貴重な情報が得られている2010年のチリ地震の際の報告¹¹⁾をもとに、津波の河川遡上特性を述べる。また、河川に特有な津波防災に関する観点について概説を行う。

2. 2010年チリ地震津波の河川遡上現象

(1) 河川水位変動特性

2010年2月27日午後3時34分(日本時間)に南米チリ沖で発生したチリ地震に伴う津波はチリ沿岸域に大きな被害をもたらすと同時に、その後太平洋を横断し日本にも来襲した。これにより、我が国の沿岸域においても被害をもたらした。

チリ地震津波の際には河口地形に応じて津波の遡上の大小に大きな相違が見られた。すなわち、港湾内や三陸の岩石海岸に注ぐ河川で、河口部に砂の堆積が見られない河口では比較的高い津波の遡上が見られたのに

対して、砂浜海岸に注ぎ河口砂州の発達した河川では河口内津波高さの低減が見られた。

前者の事例として、**図-1** は青森県・馬淵川における水位を示す。なお、図中には後者の事例である高瀬川における水位も示している。凡例の括弧内の数字は河口から観測点までの距離であり、以下の図面も同様である。馬淵川においては顕著な津波による水位変動が見られる。馬淵川は**図-2** に示すとおり、河口部が八戸港内に注いでいる。周辺が人工的に固定されていることから、沿岸漂砂の供給がない。このため、砂浜海岸に位置する河川と異なり、**図-2** に見られるように河口砂州の発達も見られない。また、河口前面の海域は港内であるために、浚渫により大きな水深が維持されている。このため、底面摩擦などによる津波の減衰を招きにくい地形特性を有しており、このことが河川への津波遡上をより助長することとなる。このような河口地形特性が顕著な津波遡上の要因になっていると考えられる。一方、高瀬川は砂浜海岸に注ぎ、このため、河口が閉塞気味である。低潮時の河口水位が外海潮位ほど低下しないこともこれを裏付けている。**図-1** では顕著な遡上は見られず、河口地形に対応した遡上特性を示していることが確認される。

図-3 には、岩手県のリアス式の海岸に注ぐ大槌川および鶴住居川における水位変動を示す。前者において特に高い津波の遡上が見られる。ただし、高瀬川と同様にいずれにおいても最干潮時には津波の遡上が見られない点が中小河川の特徴である。**図-4** はこれら二河川の空中写真を示している。大槌川は馬淵川のように港湾内には注いではいないものの、河口左岸に港湾があり、河口周辺が護岸で固定されている。また、河口部から徐々に川幅が減じ、津波の遡上に伴い波のエネルギーが集中し易い地形を有する。河道内で顕著な水位上昇が見られたのはこのようなメカニズムによると考えられる。一方、鶴住居川においては河口砂州の発達が見られるため、2.8km 上流の観測点での波高は0.3mであり、大槌川より低い津波波高となっている。

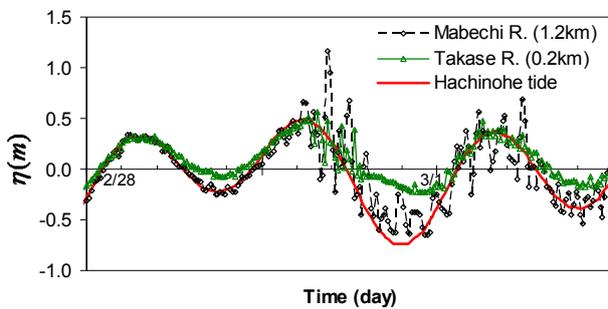


図-1 馬淵川・高瀬川における水位変動



図-2 馬淵川の河口地形

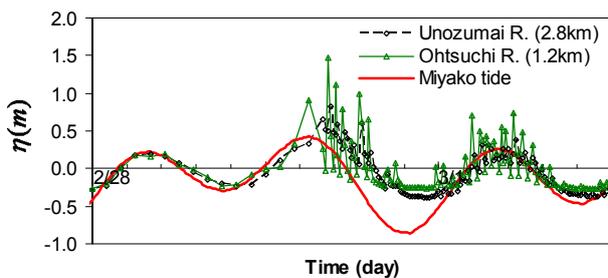


図-3 大槌川・鶴住居川における水位変動



図-4 大槌川・鶴住居川の河口地形

2016 年度（第 52 回）水工学に関する夏期研修会講義集

水工学シリーズ 16-B-8

建築物に作用する津波荷重

秋田大学 教授

松富英夫

土木学会

水工学委員会・海岸工学委員会

2016 年 8 月

建築物に作用する津波荷重

Tsunami Loads on RC Buildings

松 富 英 夫

Hideo MATSUTOMI

1. はじめに

津波による建築物の被害戸数といった統計は古くから取られている¹⁾。遅くとも1933年昭和三陸地震津波後は津波浸水深と建築物の被害程度の関係が報告されるようになって²⁾。1960年チリ地震津波後は集落単位の建築物の被害率も論じられるようになった³⁾。個々の建築物の津波被害が論じられるようになったのは1983年日本海中部地震津波後で、津波浸水深（津波波高）をパラメータに防潮林など他の被害も含めて表-1が1992年に首藤から発表された⁴⁾。その後、個々の建築物の津波被害が氾濫流速や津波荷重（水平方向の抗力）で論じられるようになった^{5),6)}。2004年インド洋大津波後は、広域の即時被害推定や被害想定を主な目的として、建築物の津波被害関数が論じられるようになった⁷⁾。同時に建築構造やその耐力の地域性が話題となった。また、すでに建築物の津波被害に鉛直力の重要性が指摘されていたが^{8),9)}、鉛直力の表だった議論は2011年東北地方太平洋沖地震津波後まで待たなければならなかった¹⁰⁾。そして、2015年には日本建築学会の「建築物荷重指針・同解説」が改訂され、津波荷重の章が新設されるに至った¹¹⁾。

以上が建築物の津波被害に対する我々の対応や反応の大まかな歴史である。この歴史に鑑み、本稿では個々の建築物に作用する津波荷重（水平力、鉛直力）を少しでも深く踏み込んで議論できるようになることを目的として、これまでの研究成果を基に、開口部（窓、戸口、シャッターを含む）を有する場合を含めた直方体のRC造建築物に作用する「津波荷重の特性」例と「津波荷重評価における検討課題」例を紹介する。ここで、RC造建築物に限定した理由は津波被災後の建築物の外形や骨組は基本的に不変で、検討対象条件を単純化し易いと考えたからである。現段階における建築物に作用する津波荷重の実際的な評価方法は文献11)に詳しい。

表-1 津波による建築物などの被害程度⁴⁾

| 津波波高(m) | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 |
|---------|----------------------|-----------|----------------|--|----|------|
| 津波形態 | 岸で盛上がる | 沖でも水の壁 | 形態は、左に | どのような場所であっても、潮汐に似たような上下動を示すことなく、第一波巻き波砕波 | | |
| 緩斜面 | 速い潮汐 | 第二波砕波 | ほぼ同じだが、 | | | |
| 急斜面 | | 速い潮汐 | 先端の砕波が増える | | | |
| 木造家屋 | 部分破壊 | 全面破壊(2m~) | | | | |
| 石造家屋 | 持ちこたえる | | | 全面破壊(7m~) | | |
| 鉄・コン・ビル | 持ちこたえる(~5m) | | | | | 全面破壊 |
| 漁船 | | 被害発生 | 被害率50% | 被害率100% | | |
| 防潮林 | 被害軽減 漂流物阻止 津波被害軽減 | | 部分的被害 漂流物阻止 | 全面的被害 無効果 | | |
| 養殖筏 | 被害発生 | | | | | |
| 沿岸集落 | | 被害発生 | 被害率50% | 被害率100% | | |

2. RC造建築物の津波被害事例

1960年チリ地震津波以前のRC造建築物の津波被害事例は首藤の論文に詳しい⁴⁾。1946年アリューシャン地震津波はアリューシャン列島のUnimak島Scotch岬にあったRC造の灯台建築物を大破させた(図-1)。津波

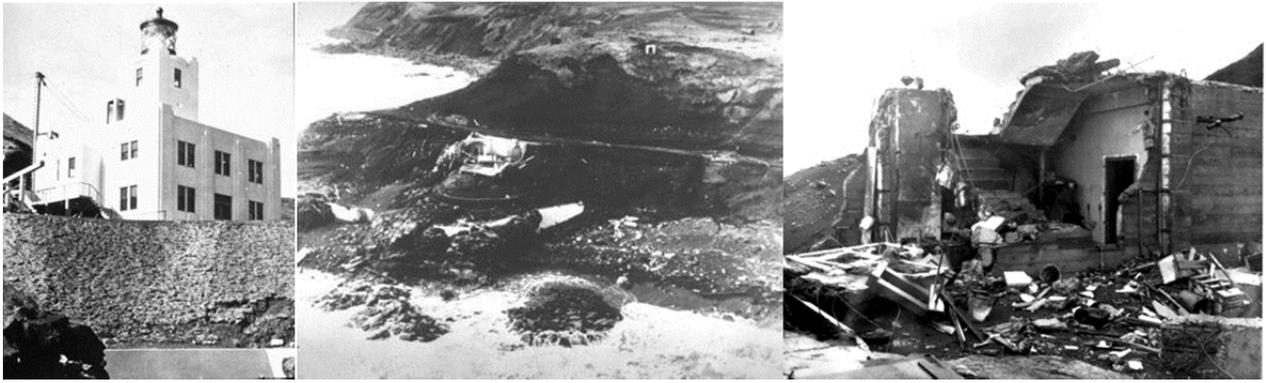


図-1 Unimak 島 Scotch 岬の被災前(左)と後(中央と右)の灯台建築物(出典: Scotch Cap Lighthouse, NOAA)

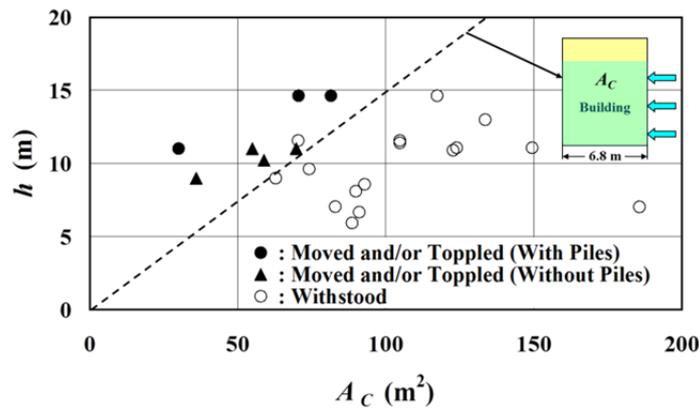


図-2 東北地方太平洋沖地震津波における RC 造建築物の浸水縦断面積 A_c 、前面浸水深 h と被害形態の関係

による RC 造建築物の最初の大破事例とされている⁴⁾。ただし、この灯台建築物は脆弱な構造であったといわれている。灯台建築物が建っていたところの地盤高は約12 m (図-1左)、建築物の高さは一部5階建ての18 m (図-1左)、灯台建築物背後の地盤高は30 m (図-1中央)、内陸へ約200 m 入ったところの地盤高は42 m (図-1中央)、津波遡上高は42 m であった。この灯台建築物の大破浸水深は20 m であり、この大破浸水深を上回るものは2011年東北地方太平洋沖地震津波を経た現在でも存在しない¹²⁾。

1960年チリ地震津波後も1983年日本海中部地震津波をはじめとする国内外の津波災害時に建築物被害の現地調査が行われた。しかし、3階建て以上の RC 造建築物が大破(転倒や移動を含む)するほどの被害事例は東北地方太平洋沖地震津波に限られた。ただし、2004年インド洋大津波では、日本と建築物の構造形式が異なるためか、津波荷重の観点からの現地調査が非常に少なく^{13), 14)}、大破事例が漏れている可能性がある。東北地方太平洋沖地震津波では多くの機関が現地調査を実施しており、津波荷重の観点から被害がまとめられている^{12), 15), 16)}。図-2はその一例で、RC 造建築物の浸水縦断面積 A_c 、前面浸水深 h と被害形態の関係を示したものである¹²⁾。ここで、 $A_c = h \times$ 建築物の奥行長 D である。図から、津波氾濫方向の建築物の浸水縦断面積で建築物の転倒や移動および持ち堪えるがよく分類されることが判る。

東北地方太平洋沖地震津波では、浸水深が15 m に達した宮城県女川町の中心部を代表として、RC 造建築物が転倒や移動の被害を受けた。ただし、4階建て以下の建築物に限られ、完全に水没しなかった建築物は持ち堪えた¹²⁾。これまで4階建て規模の RC 造建築物の転倒や移動例は知られておらず(大破した Unimak 島の灯台建築物は転倒や移動ではない)、この津波による RC 造建築物の転倒や移動は「RC 造建築物に対する神話の崩壊」とまで言わしめた。

インド洋大津波は RC 造建築物の安定性に対する開口部の影響(数値実験)¹⁷⁾、東北地方太平洋沖地震津波は開口部(水理実験)¹⁸⁾、杭基礎、液状化や洗掘¹⁹⁾の影響を検討する契機となった。東北地方太平