

2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害と教訓

越村 俊一

東北大学大学院工学研究科 災害制御研究センター・准教授

1. はじめに

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震による大津波が発生し、12都道県で死者・行方不明者19,867人（死者：15,781人、行方不明者：4,086人、警察庁9月10日現在）にのぼる被害をもたらした。発生から約10ヶ月が経過し、激甚な被害であったがなんとか前に進もうとする被災地では、復興計画の骨子がまとまり、今後どのようにそれを実現していくかが課題となる。

復興計画には、高所移転案を含めた新たな津波対策の検討を加えることになる。津波対策の観点からは、ハード対策・ソフト対策・まちづくりの3軸での総合的な津波対策の基本方針に加え、海岸堤防等の海岸保全施設の整備に必要となる設計津波の水位設定の考え方も新たに示された。すなわち、海岸施設の設計高は、土木構造物のライフタイムや経済性を考慮し、百数十年に一度発生する規模の津波に対して設計基準を与えることとなった（津波防護レベル）。次に、それを超えるような千年規模の津波を津波減災レベルと呼び、地域の復興計画にも津波対策を盛り込み、このレベルに対応してハード・ソフトのあらゆる減災対策を講じていくことになる。特に低平地における被災地の復興には、土地利用の考え方を改め、津波に強いまちへの転換を果たしていかなければならない。さらに、本津波災害からの教訓を踏まえ、我が国全体の津波対策を再構築する必要も生じるであろう。その際の基礎となる資料が本津波の浸水域、遡上高、および被害実態であり、我が国全体の津波対策を再構築する上で極めて重要な情報である。

本稿では、2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害を教訓について、津波浸水域内の建物被害状況と津波来襲状況の関連性、東北地方の復興にむけた家屋再建、まちづくりのあり方の観点から論ずる。

2. 津波浸水域

筆者らは、津波発生直後から、浸水範囲の把握を第一義の目的として現地調査を実施した。津波被災地において、漂流物の漂着地点を把握、または現地における聞き取り調査により、津波の浸水限界点の緯度・経度・標高値の高精度GPS測位を実施した。調査は3月26日から開始し、7月初旬の時点で岩手県・宮城県において計1,000地点における浸水限界点の測定を行った。

GPS測位は、まず調査地域内に私設基準点を設置し、スタティック測位（測位方法の一つ）後に遠方の電子基準点を用いて基線解析を実施し、私設基準点の正確な座標を得た。その後調査者が移動局を持って浸水限界点のスタティック測位を行い、私設基準点のデータを利用して解析・補正した。

図1には、日本国内のほぼ全ての電子基準点において測位を固定した地点のみを暫定的な結果を示す。結果は随時本研究グループの情報共有プラットフォームで公開する予定である。

3. 建物の脆弱性と津波被害関数

津波浸水域内の家屋の流失状況を俯瞰して見ることは極めて重要である。建物被害状況と、防波堤・

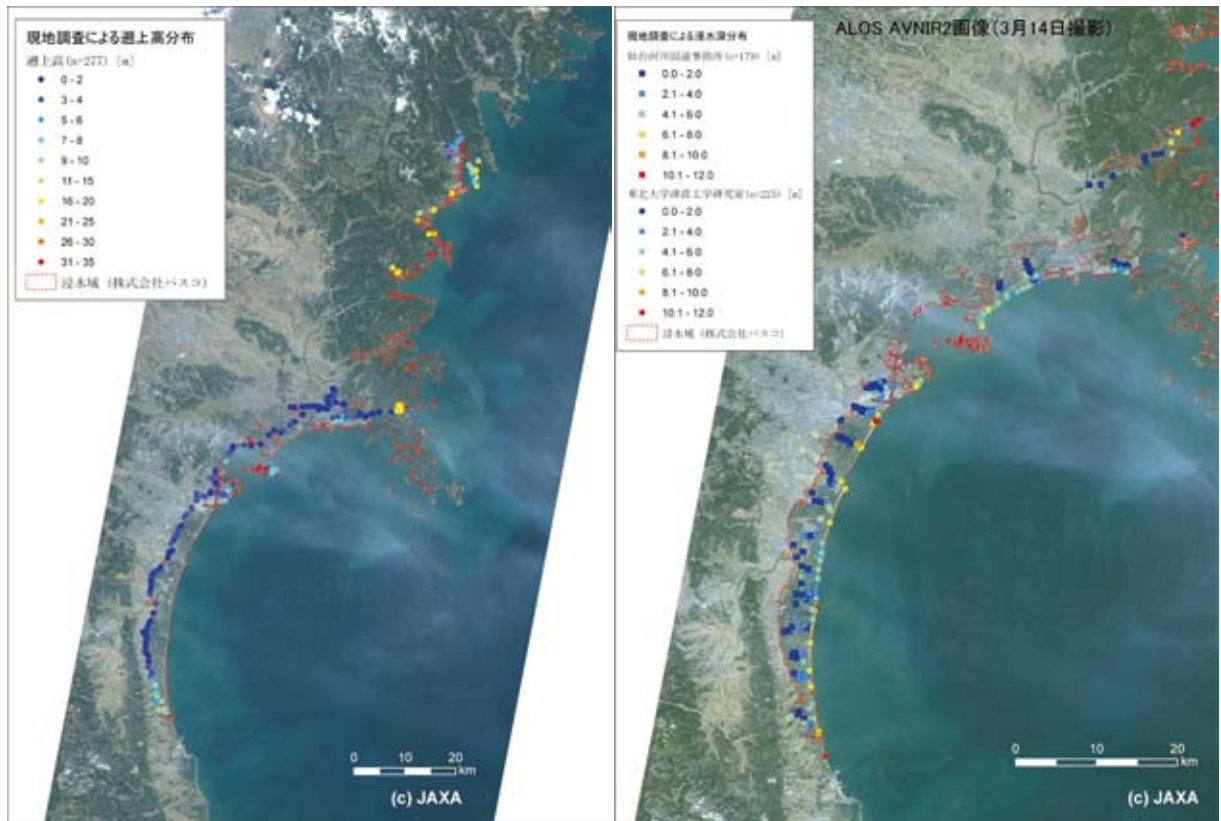


図1 津波浸水限界および遡上高の測定結果(左:浸水限界の測定点と遡上高の分布, 右:浸水深の分布)

東北地方太平洋沖地震津波情報共有プラットフォーム(オンライン): <www.tohoku-tsunami.jp>

防潮堤等の海岸施設の被害状況と関連づけることで、海岸施設がどの程度被害軽減に寄与したかなど、これまでの津波防災対策の検証を行う必要がある。また、海岸の地形、標高や土地利用などの様々な地理的条件や現地調査・シミュレーションによって得られる津波の流体力学的な諸量(浸水深や流速等)と関連づけ、地域が持つ津波に対する脆弱性を明らかにする必要がある。さらに、復興計画の策定にあたっては、津波被害の実態や地域の脆弱性をきちんと理解し、それらを教訓としてまちづくり

に反映させなければならない。このような目的のもと、我々は国土地理院が公開している航空写真を用いて建物の流失状況の判読を行った。図2にその一例を示す(研究室のウェブページ、

www.tsunami.civil.tohoku.ac.jpに公開中であるので、参照願いたい)。

さらに、津波による建物被害の情報(流失の有無)と、浸水深等の現地調査の情報を統合処理することにより、津波被害関数として建物の脆弱性

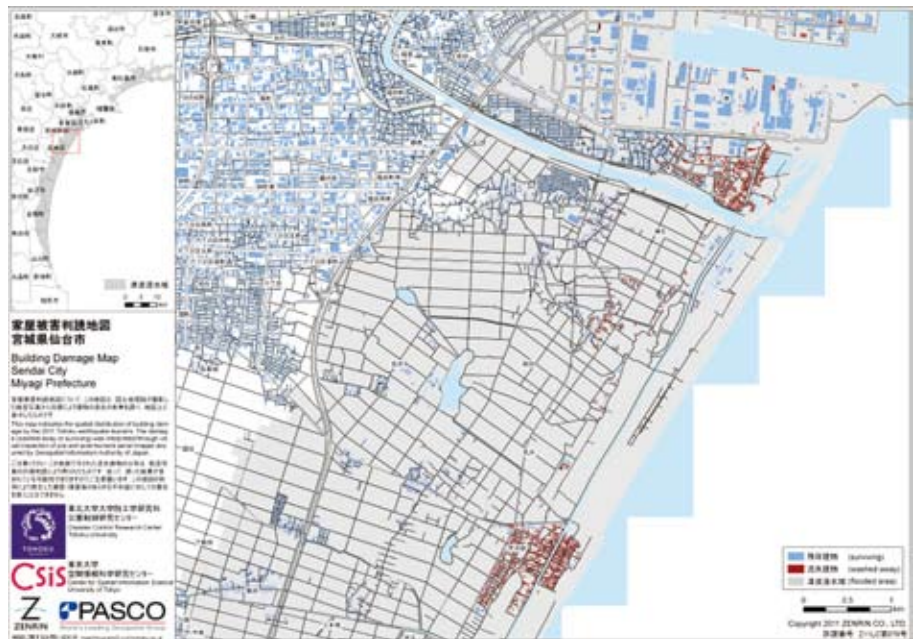


図2 航空写真の判読による建物被害地図

を知ることができる。津波被害関数とは、建物の被害程度（ここでは流失率）を流体力学的諸量の関数として表現したものである。図3に示すのは、2011年津波の宮城県における家屋被害関数の例であり、建物の流失率を浸水深に対してまとめたものである。建物にとって、流失する危険性が増すのは浸水深2mからであり、6m浸かると殆どの建物が流失してしまうことが、今次津波における被害実態（建物の脆弱性）として明らかになった。

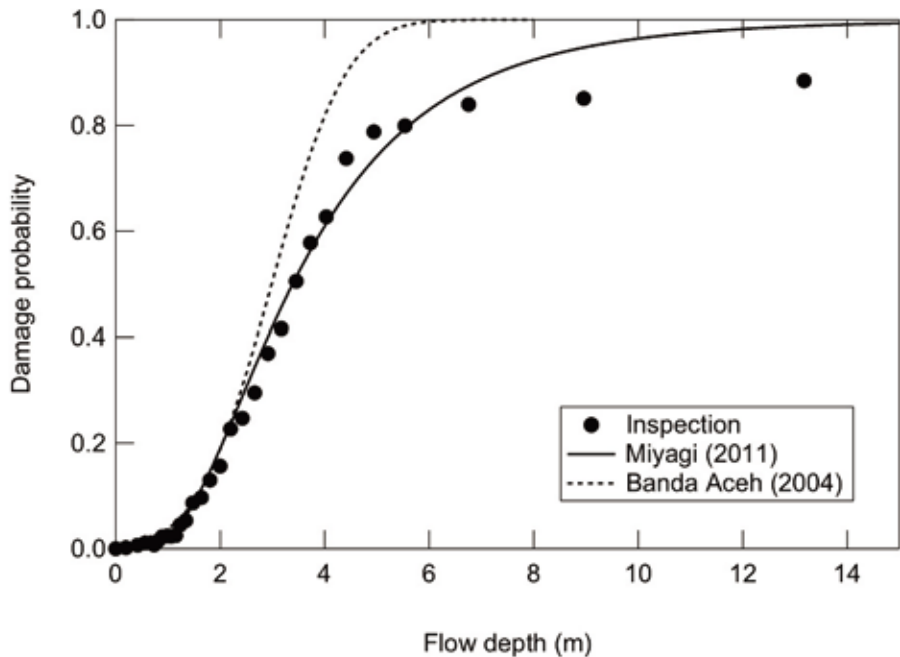


図3 宮城県における津波被害関数

5. 復興とまちづくり

5.1 すまいの再建

大津波を海岸の防潮堤や防波堤だけで防ぐのは不可能である。津波被害関数から考えると、これからの海岸防護施設や多重防護、移転等によるまちづくりにおいて、居住地が2m以上浸かることのないように、その配置などを考える必要がある。あるいは、これからは2m以上浸水する危険性のある場所には、戸建ての住宅は建てないこと。浸水深2m以下になる場所で住宅再建をする場合には、津波によって流されにくい、浮きにくい構造にすることが必要である。そんな家屋があるのかということになるが、私は豪雪地帯の住宅の姿にヒントがあると考えている。

たとえば、新潟県では、特別豪雪地帯等における住宅で、積雪時における出入りの確保等のため床下部分を通常より高くした住宅（高床式住宅という）に係る床面積及び階の算定の特例基準があり、高床式の構造が県の条例で認められている。具体的には、床下部分の高さが1.8m以下で、一体の鉄筋コンクリート造、鉄骨造（軽量鉄骨造を除く）とした場合、その部分は建築物の床面積や階数の算定において除くことができるのである。

豪雪地帯の家屋を参考に、津波に強い家屋の要件を考えると、基礎部分（およそ2m近くあることが望ましい）を頑丈なコンクリート造にして、その上に家屋部分を建てればよい。このような構造の住宅建設を推奨し、支援するような法制度を整備することは、さほど難しいはなしではあるまい。被災自治体はぜひ実現に向けて動いて欲しい。

5.2 津波に強いまちとは

平野部での広範囲にわたる浸水や地盤沈下により、沿岸のまちは依然壊滅的な状況である。安全であるということに加えて、安心して住み続けることができるまちをどのようにしてつくるかということが、これからの新しいまちづくりの課題である。さらに、今回のような数百年から千年規模（再来周期）の津波に対しては、海岸の防潮堤や防波堤だけで防ぐということは不可能である。土木構造物の寿命や維持管理の問題を考えると、百数十年確率規模の津波を基準として施設高と考えるのが現実的である。

したがって、あらゆる規模の津波から命や住まいを津波から守るために、海岸での防潮堤・防波堤だけでなく、その背後の緑地や防災林、さらに幹線道路や鉄道などの交通施設を盛土構造として堤防機能を付与し、まちの配置（居住エリア）も考え直すことで「多重」の防御を図り、災害を完全に抑止することは出来ないという考えの基に被害を最少化する減災を指向したまちづくりの考え方が重要である。そのために、津波防護施設の計画やあたらしいまちづくり案（土地利用）による地形モデルを作成して、コンピュータシミュレーションによって、それらの効果を確認する必要がある。

図4は、仙台市の復興計画（暫定案）における県道塩釜・亶理線の嵩上げを想定して実施した今次津波を想定した氾濫シミュレーションの結果（最大浸水深）である。防潮堤・防波堤の整備や道路の嵩上げにより、今次津波に対して、特に県道から西側で浸水範囲の減少、浸水深の減勢効果が認められる。しかしながら、津波を封じ込めることは依然不可能であり、さらに県道の東側は津波が反射することで浸水深が増加している。東側の土地利用方策と、さらにその地域で活動する人々の生存空間を確保するための方策が準備できるかどうかが要件になるだろう。

道路の嵩上げに限らず、多重防御による被害軽減効果を明らかにし、その被害軽減効果やメンテナンスも含めた費用対効果についての社会的合意を得る必要がある。浸水面積、浸水域内曝露人口、流失家屋の減少効果などを評価尺度にして定量的な検討が必要である。さらに、防御施設は越流することを想定して、裏法尻をコンクリートやアスファルトで覆う（盛土のすぐ後に道路があった場合には、盛土部の被害が減少しているという事実がある）などの対策により粘り強い構造にできるかどうか重要である。

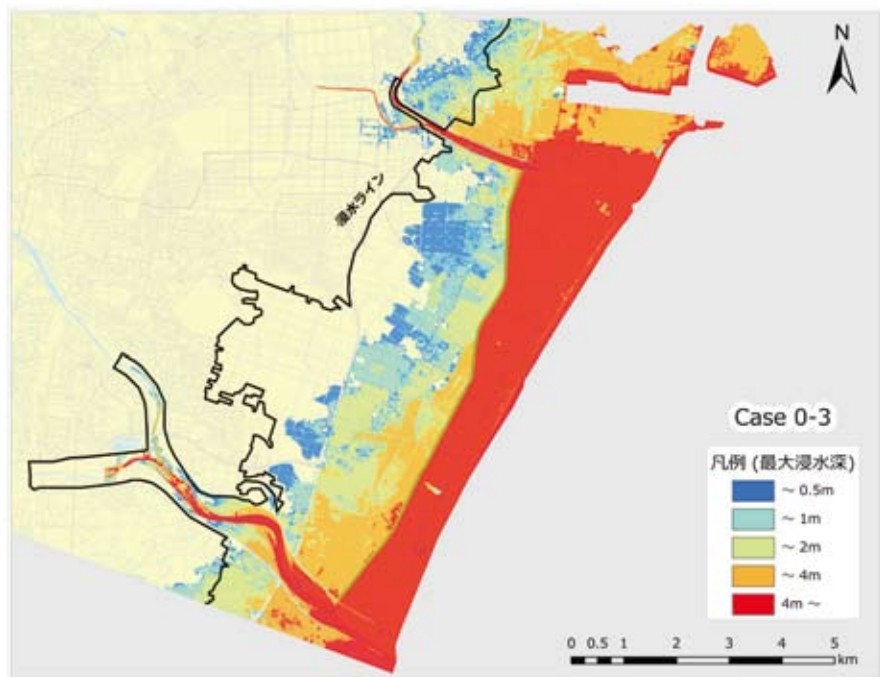


図4 県道嵩上げによる津波浸水域の軽減効果のシミュレーション

5.3 高所移転の成否について

三陸地方の人々は、これまで何度も津波災害に襲われ、苦難を乗り越えてきた。同じ悲劇を二度と繰り返さないために、高台に集落をつくり移転を果たしてきた。今次津波の復興計画においても、高台移転を盛り込む地域が多い。しかし、今一度高台移転の難しさとその成否について、過去の教訓を現代に置き換えて考える必要がある。たとえば、明治29年に明治三陸大津波という、死者2万2千人を生む我が国最大の津波災害があった。三陸地方では、約40の集落が津波後に高台に移転を果たした。しかし問題は、そのさらに後である。明治29年の津波の37年後に、三陸地方を再び津波が襲った（昭和8年三陸地震津波）が、それまでに低地にもどってしまい、再び壊滅的な被害を受けてしまった集落が複数あったのである。そのときの、低地に戻ってしまった要因としては大きく分けると、以下の5つの要因がある。

- ・ 漁業を生業とする人々の生活環境（居住地区が海から遠すぎた）
- ・ 被災後豊漁により、仕事が忙しくなって浜小屋をつくってしまった

- ・高所移転の先での生活の不自由や移転後の災害（大火災など）があった
- ・本家・分家の関係，土地に対する執着心など
- ・津波を知らない住民の移入

したがって，自治体の復興計画案に記された「職住分離」といっても，実際は簡単なことではない．単に高所に集落をつくって移転するというだけでなく，そこでの暮らしが快適なものになるような様々なインフラの整備や，人々の暮らし方（価値観や文化）も転換する必要があること，さらに低地に人が戻らないような仕組み（土地利用規制や建築制限）をつくることが重要である．

6. おわりに

2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害の全貌，被災のメカニズムが明らかになりつつある．得られた知見，教訓を，復興まちづくりや今後の我が国の津波対策にどのように役立てていくかが課題である．最後に，その重要な事項について以下のとおり，列挙しておきたい．

- ・人的被害の要因分析（浸水想定，避難行動，避難体制，情報伝達，リスク認知）と避難計画の刷新
- ・津波防護施設の性能検証（津波抑止，津波力の減勢，時間的猶予の確保）と限界の把握
- ・津波避難ビルの構造と立地，避難者収容性能の検証（構造力学的検証と減災の観点での検証）と要件の再定義
- ・沿岸の重要施設の被災状況と生活支障の地域への波及（発電所，精油所，上下水道施設，災害医療・搬送問題，学校，物流拠点等），複合災害としての災害課程の研究と減災策
- ・交通・ライフラインの被害と地域への被害の波及状況の把握（橋梁等被害，被災地へのアクセス状況，電気・ガス・水道の被害と復旧過程）および減災策
- ・構造物（家屋，ビル（RC造，鉄骨造））の被害規模と津波力の関係の解明
- ・土地利用状況に関連した津波被害規模の検証（明治・昭和・1960チリ津波後の高所移転の成否も含めて）および教訓の整理
- ・復旧・復興における現行法制度の地域毎の施行状況の検証（特に建築基準法84条・39条，被災市街地復興特別措置法等）と新しい法制度の整備
- ・津波予警報システムの見直し（振り切れない広帯域地震計の新規設置，沖合津波観測網の整備，予報の修正方法，予報の伝達内容など）

著者略歴



氏名 越村 俊一 (コシムラ シュンイチ)
所属 東北大学大学院工学研究科・准教授
学位取得 平成12年3月 博士号(学術博士)取得(東北大学)

職歴と研究内容

- 平成12年4月～平成14年3月 日本学術振興会 特別研究員PD
大洋を伝播する津波の基礎理論, および米国の国家プロジェクトの一環でシアトルの活断層地震による津波発生・浸水評価を実施
- 平成14年4月～平成17年4月(財)阪神淡路大震災記念協会人と防災未来センター 専任研究員
津波による人的被害評価モデルの開発, 最適避難行動に必要な災害情報伝達, 不確実性を考慮した津波防災対策の評価手法など, 津波による人的被害を軽減するための要素技術についての研究
平成17年5月～平成19年4月 東北大学大学院工学研究科 助教授
- 平成19年4月～東北大学大学院工学研究科 准教授に配置換
次世代津波数値解析モデルの開発, リアルタイム観測情報を利用した高度津波情報システムに関する研究, 津波被害予測式(津波被害関数)の構築, 数値解析とリモートセンシング技術を融合した津波被災地の探索・被害把握手法についての研究に従事
- 平成21年4月～ 神戸大学大学院海事科学研究科, 国際海事研究所 客員教授(兼任)
津波による船舶の漂流・座礁メカニズムの解明, 港湾の安全利用について, 神戸大小林英一教授と共同研究を実施.

東日本大震災では, 津波の数値解析と現地調査による津波来襲状況の解明, リモートセンシングによる被災地の被害把握, 家屋被害調査など, 震災の被害全容解明に関する調査・研究に従事. また, 各地方自治体における復興会議や社会基盤の整備計画に関する委員会に委員として参加.

受賞歴

土木学会論文賞(土木学会), 土木学会出版文化賞(土木学会), 海岸工学論文賞(土木学会海岸工学委員会), 第34回日本産業技術大賞審査委員特別賞(日刊工業新聞社), 国土技術開発賞最優秀賞(国土交通省), GPS津波計測システム(共同受賞), Mohammed El-Sabh Award of 2002(Natural Hazards Society), Coastal Engineering Journal Award of 1999(土木学会)