

自然・地域インフラを活かして津波減災をはかる

渡邊国広・諏訪義雄

1. 背景と概要

平成23年12月に津波防災地域づくりに関する法律が施行され、最大クラスの津波が来襲した場合の浸水想定を踏まえた「津波防災地域づくりを総合的に推進するための計画」の作成が各市町村において進められつつある。

津波から人命を守るための基本の1つは避難であり、津波避難タワー等の建設が進められている地域もあるが、十分に整備されるまでに多大な予算と時間が必要となる。避難に使える時間と経路を早急に確保するには、避難行動や災害情報だけでなく堤防背後地における津波減勢も重要となる。

改めて地域全体を見渡すと、防護施設として公的に整備されたもの以外にも、津波減災に役立つようなものがあることに気付く。たとえば堤防よりも内陸に位置する砂丘列（写真-1）は天然の堤



写真-1 内陸への津波遡上を阻止した海岸堤防背後の砂丘（青森県三沢海岸）



写真-2 宝永地震津波（1707年）後に構築され、現在も大事にされている古堤防（大分県佐伯市）

防として機能し、海岸林や湿地などの地形も津波の減勢に貢献しそうである。また、「馬場の松」として残されている大分県佐伯市の古堤防（写真-2）は、海岸堤防などの設計対象となるL1津波（数十年から百数十年に一度、来襲する津波）を少し超える程度の津波であれば背後への津波浸水を遅らせる効果が期待される。

こうした自然地形や地域で大事にされてきた地物、さらには避難に役立つ伝承は、減災効果を有する広義のインフラとみなすことができるが、津波減災上の効果が十分に認識されていないために、失われてしまう危険性をはらんでいる。そこでこれらを「自然・地域インフラ」と総称してその価値を評価し、適切に保全して津波減災に活かせるようにすることを目指して平成26年度から研究を開始した。本稿ではその概要を紹介する。

2. 自然・地域インフラの事例整理

まず、「自然・地域インフラ」として減災効果が期待できるものがどの程度あるかを把握するために事例整理をおこなった。津波に対する減災効果として「津波減勢」、「避難場所の提供」、「居住制限」、「浸水範囲の明示」、「リスク・教訓の伝承」、「避難行動支援」に着目し、これらに該当する効果を有すると判断されたものを学術論文、書籍や雑誌記事等の文献、WEB等の公開資料等から収集・整理した。多くの地域に存在する石碑などは代表例のみとし、なるべく多くの種類を集める方針でこれまでに143例を収集した。

例えば津波減勢に寄与しそうなものとしては、住民が食べ終わった貝の殻に土を混ぜて構築した「ぼた堤防」（愛知県田原市）や、飛砂防止のために造成された「スカ」（静岡県掛川市）と呼ばれる帯状の人工砂丘列などが挙げられた。避難場所提供の例としては、869年の貞観地震の際に津波浸水をまぬがれたことから和歌の枕詞として今も語り継がれている末の松山（宮城県多賀城市）もある。定期的に更新していく風習をもつことで

350年以上前の外所（とんどころ）地震津波による被災を今でも伝承し続けることに成功している供養塔（宮崎県宮崎市）のような、伝承を風化させないための「仕組み」も、リスク・教訓を伝承する効果をもつ地域インフラと言える。過疎化による地域の防災力低下を防ぐために地域外からの移住者呼び込みに力を入れる徳島県美波町伊座利や、津波防災ステーションを活かした地域づくりを進める兵庫県南あわじ市のように、津波防災と地域活性化をリンクさせた取り組み例では、「人」こそが、地域インフラとも言える。

このように津波減災効果を期待できそうな自然・地域インフラの種類は多岐にわたり、自然地形2種類、有形物23種類、無形15種類の計40種類に分類することができた。このうち半数にあたる20種類は過去の津波被害を起源としないが効果を期待できるものであり、津波減災上の価値が地域で認識され、適切に維持されるようにする取り組みも必要と考えられた。ある地域では津波減災に役立つことが認識されて維持管理されているものが、別の地域では減災効果が認識されていない例も多かったことから、本研究で収集した事例は今後、カタログの形にとりまとめて公開することで、住民や自治体の担当者が地域に眠る自然・地域インフラを掘り起こす一助になればと考えている。

3. 津波に対する砂丘等の耐久性の把握

自然・地域インフラの種類は多岐にわたるが、本研究では特に砂丘・樹林・盛土（以下、砂丘等）に焦点を絞り、津波に対する砂丘等の応答を把握するための事例分析と水理実験を実施している。得られる結果をもとに津波流速低減等の減勢効果や侵食による破壊を想定した効果発揮限界の評価方法を確立することで、津波減災に資する砂丘等の保全方法、砂丘等の地形変化を考慮したシミュレーションなどに活かすことを目指している。

3.1 津波による砂丘等の侵食事例の分析

東日本大震災における津波による砂丘等の地形変化を把握するために、被災前後の空中写真の判読およびLP測量データ（航空レーザ測量）の分析を進めている。本稿では、千葉県旭市の海岸周辺における例を紹介する（写真-3）。この地域では海岸近くに護岸と人工的に構築された浜堤が存在し、その背後には複数の砂丘列が残されていた

が、震災前後のLP測量結果の比較から、浜堤と第1砂丘、第2砂丘が津波によってほとんど侵食されて岸沖方向の起伏が消失したことがわかる（図-1）。一方でさらに内陸の第3砂丘については海側の斜面の一部を除いてほとんど地形変化が見られない。

国土地理院によって空中写真から判読された浸水範囲（写真-3中の青線）によれば、津波が頂部を越えて内陸側まで浸水した砂丘で大きな地形変化が生じたことがわかる。津波越流による海岸堤防の被災と同様に、斜面部を流下する際の高速流が砂丘の大規模破壊の主原因と考えられ、これを把握することが砂丘の耐久性を評価するうえで重要と考えられた。ただし、同じ海岸内でも場所によって砂丘の侵食量には大きな違いがあることも確認され、図-1の地点は局所的に地形変化が大きかった箇所であった。

津波に対する砂丘の応答は、津波外力の大きさ以外にも、被災前の砂丘地形、植生の生育状況、砂丘の土質、海岸保全施設の存在状況などの現在の状態、さらには旧河跡などの過去の状態にも影響を受ける。津波に対する砂丘等の応答は、筆者らが被災分析に取り組んできた海岸堤防よりも、環境条件が多様と考えられるため、様々な砂丘等について津波による地形変化事例を収集し、分析を進めている。

3.2 津波による砂丘等の侵食実験

東日本大震災における地形変化の事例から、砂丘等についても斜面を流下する際の高速流による侵食が重要と考えられことから、この現象を詳しく把握するために水理実験も実施することにした。特に実際の砂丘等の表面には植生が生育し、津波への応答に無視できない影響を与えている可能性があるが、その影響を水理的に算定できるだけの知見が不足していることから、植生が生育した状態での破壊過程を把握することを目的とした。既に樹木上部の幹や葉が津波越流に与える影響については林野庁などによる調査²⁾で示されているが、津波によって土壌が侵食され、根ごと流される現象については十分に調べられていない。そのため本研究では樹木の根系が砂丘表面の侵食過程に与える影響に着目して実験を進めている。

水理実験では、砂丘の土壌中の根系を模型で再現することが難しいことから、実物を使用した。

1.5m×1.5m×0.7mの鋼製型枠を砂丘の表層に打ち込み、樹木の根系を含んだままの現地土壌を乱さずに採取して水理実験に供している（写真-4）。採取された土壌の供試体は国土技術政策総合研究所の高流速実験水路内に運び込んで設置し、津波越流を想定した最大約7m/sの高流速を作用させた時の根系の応答の観察と土壌表面の侵食深さの時系列計測をおこなっている（写真-5）。

これまでに実施した実験結果によると、高流速を受けた土壌は短時間のうちに表層が侵食されて樹木の根系が露出した状態になり、根系に抱えられていた土壌が次第に流出していく（写真-6, 7）。その後さらに侵食が進んで根系全体が流失すると、そこから侵食が急激に進行するという侵食過程が観察されている。シバ張り河川堤防について実施された既往実験³⁾では、地表面が侵食されて厚い根毛層が露出すると土壌の侵食速度が低下することが報告されているが、本研究の樹木を対象にした実験では侵食速度の大幅な停滞は確認されていない。この違いが土中の根量で説明できるかについてはもう少しケース数が増えた段階で検討せねばならないが、現段階では根量よりも引っ張り抵抗抗力等の土質による影響の方が強いことを示唆する結果が得られている。

平成26年度は供試体の採取と侵食実験の手法確立を目的としたため、4ケースのみの実施に留まったが、今後、様々な条件の土壌について実験をおこない、最終的には数値計算によって侵食過程を予測できるようにすることを目指している。

3.3 津波災害のリスク評価への反映

本研究で得られる砂丘等の侵食耐久性に関する知見は、最終的には津波浸水計算における砂丘等の破壊条件の設定に反映させることで、地域のリスク評価の際に考慮可能にしたいと考えている。



写真-3 千葉県旭市の海岸における砂丘の被災状況（黄線：測線，青線：浸水範囲）

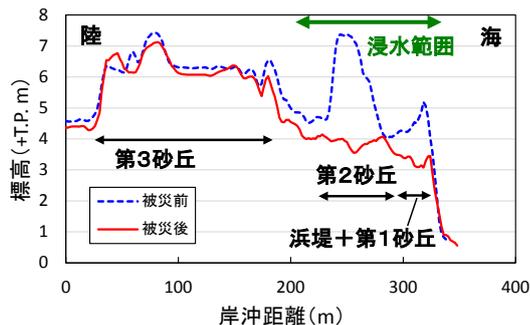


図-1 津波による海岸砂丘の断面地形変化（千葉県旭市）測量結果は移動平均をとっている。



写真-4 樹木根を含む土壌供試体の採取状況



写真-5 実験水路における通水中の様子



写真-6 侵食実験前の供試体の土壌表面



写真-7 高流速を作用させた後の供試体の表面

表-1 津波災害の伝承に関する勉強会の講演題目

題目	氏名	所属
自然・地域インフラとは	渡辺国広	国土技術政策総合研究所 研究官
地域に眠る津波災害伝承を掘り起こす	松尾裕治	香川大学 教授
最新技術で伝える被災地の記憶	高嶋礼詩	東北大学総合学術博物館 准教授
3.11伝承・減災プロジェクトについて	小幡紘平	宮城県土木部防災砂防課
桜並木で震災を伝える	岡本翔馬	認定特定非営利活動法人 桜ライン311代表理事
専門家と住民の協働	佐藤慎司	東京大学 教授

アメリカ合衆国では、ハリケーンによる高潮・高波に対してではあるが、砂丘も防護施設の一つとして位置づけられ、ハザードマッピングのガイドライン⁴⁾には、効果を見込める砂丘の判断基準として、砂丘の断面積に着目する方法が示されている。砂丘等の土質や植生生育状況等の不均一性から津波に対する応答にはある程度の不確実性が残ることや、実務上の扱いやすさを考えれば、本研究で得られる知見を踏まえて評価基準を作成する場合にも、同ガイドラインと同様にある程度単純化した取り扱いが必要になるであろう。ただし津波の場合、砂丘頂部を乗り越えて流下する高速流が重要であることから、砂丘の陸側の状態を重視した指標としなければならないと考えている。

4. 分野を越えた勉強会の開催

自然・地域インフラには様々なスケールと質のものが含まれるため、研究者が所属する学術集団も多様である。津波防災地域づくりにあたっては、各分野で進められている研究成果を地域の計画の中に総合化していかねばならず、「津波減災」に取り組む学術分野間、民産学官間の情報交換を促進することも本研究課題の役目と考えている。

平成26年度は、分野間連携の取り組みのスタートとして、津波災害の伝承に取り組む民学官を集めた「津波災害の伝承に関する勉強会」を開催した。香川大学、東北大学、宮城県土木部、陸前高田市のNPO法人から講演者を招き、話題提供いただいた(表-1)。このような分野横断的な研究集会は、今後も様々なテーマを対象に実施し、資料等はWEB上で公開していく予定である⁵⁾。

5. まとめ

本稿では、国土技術政策総合研究所の海岸研究室で平成26年度から開始した「津波防災地域づくりにおける自然・地域インフラの活用に関する

研究」の概要を紹介した。津波減災に役立つと期待される自然・地域インフラを広く収集・整理する一方で、砂丘・樹林・盛土等の津波に対する耐久性を東日本大震災における事例分析、水理実験によって把握しようとしている。また、津波減災についての分野横断的な情報交換を促進すべく、研究集会の開催もおこなっている。

自然・地域インフラのほとんどは地域の住民によって維持されており、津波減災に役立てる取り組みの主役は住民である。それを技術的に後押しするのが本研究課題の役割と考えている。平成28年度までの予定ではあるが、研究集会などを通じて形成されるネットワークを活用して、新たな研究体制へと発展させて継続していきたい。

参考文献

- 1) 渡邊国広、諏訪義雄、加藤史訓、藤田光一：東北地方太平洋沖地震津波による海岸堤防の被災分析、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.68、No.2、I_356～I_360、2012
- 2) 林野庁：東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会(検討会配付資料)、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/kentou.html>
- 3) 宇多高明ら：洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動一流水に対する安定性・侵食耐性を判断するために一、土木研究所資料、3489号、503p、1997
- 4) FEMA: Atlantic Ocean and Gulf of Mexico Coastal Guidelines Update Final Draft, 2007
- 5) 国土技術政策総合研究所 海岸研究室ホームページ、<http://www.nilim.go.jp/lab/fcg/index.htm>

渡辺国広



国土交通省国土技術政策総合研究所企画部企画課建設専門官(前 河川研究部海岸研究室研究官)、博士(農学)
Dr. Kunihiko WATANABE

諏訪義雄



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長
Yoshio SUWA