

2.2 期待される減災効果

自然・地域インフラに期待される減災効果は以下の2点に整理できる。

(1) 津波を減勢し、被害を軽減するあるいは避難時間を確保する効果

砂丘や盛土構造物は、その高さにより津波が陸上に遡上することを阻み、避難時間を確保する役割を果たす。また、防潮林等の海岸林は、津波が通過する際に抵抗となり、津波を減勢させることが知られている。

(2) 津波からの避難場所となり、被害を軽減する効果

地域にある高台は、津波からの避難場所となる。史跡として「命山」が残っている例もあり、近年も防災機能を持つ公園などとして新たに整備されている。近くに高台がない場合は、高いビルや盛土構造物なども避難場所となりうる。

2.3 活用における課題と留意点

自然・地域インフラの減災効果は定量的に評価されていない。このため、減災効果の評価方法の確立が必要である。また、自然・地域インフラの減災効果が認識されていないとその保全がなされない可能性があるため、各地域に存在する自然・地域インフラやその減災効果が地域で広く認識されることが必要である。

自然・地域インフラの活用に当たっては以下の点に留意する必要がある。

(1) 減災効果の限界

自然・地域インフラの減災効果には限界があり、特に巨大な津波に対しては効果が限定的となる場合もあることに留意する必要がある。岩手県陸前高田市の高田海岸では、東北地方太平洋沖地震の津波によって海岸林が消滅してしまった。また、宮城県気仙沼市の杉ノ下高台は、1896年の明治三陸地震津波の被害が及ばなかった標高12mあまりの高台で、市の一時避難場所に指定されていたが、東北地方太平洋沖地震の津波はこの高台の頂上まで完全に呑み込み、避難した人の過半数が溺死するという痛ましい被害が生じた。

(2) 関連法規に則った保全・改良

自然・地域インフラの保全・改良には、それらの法制度上の位置づけを整理する必要がある。自然・地域インフラに該当する海岸砂丘などの自然地形、防潮林、旧堤防、盛土には、海岸法や森林

法などによる規制等がかかったものもあるが、津波防災地域づくりに関する法律に定める津波防護施設に指定できるものもある。法的な位置づけを明確にすることで、自然・地域インフラの保全・改良の着実な実施が容易になる可能性がある。

3. 自然・地域インフラの保全・改良の検討方法

自然・地域インフラのうち、津波の減勢効果を有する砂丘および盛土構造物の保全・改良については、津波浸水シミュレーションを用いた検討が有効である。その検討方法は図-2のように整理される。

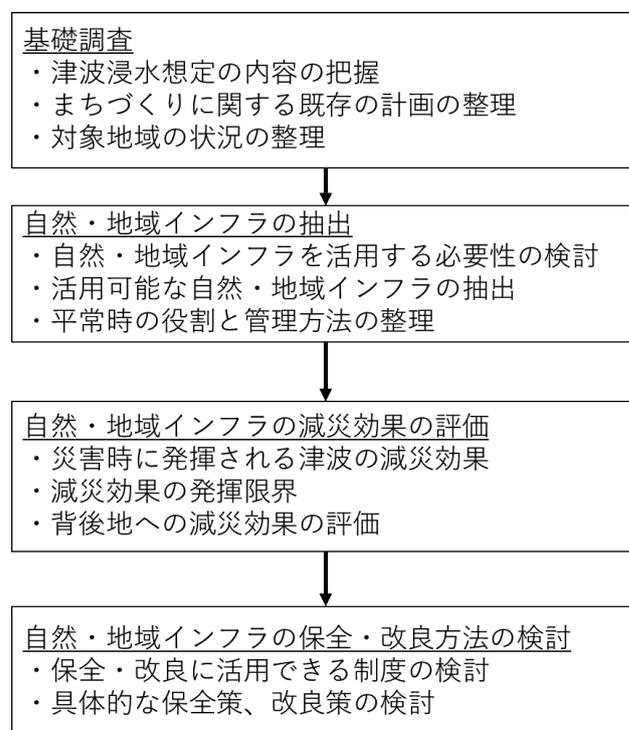


図-2 津波の減勢効果を有する自然・地域インフラの保全・改良の検討方法

3.1 基礎調査

基礎調査では、対象地域の津波浸水想定や都市計画など、津波防災地域づくりに関わる対象地域の状況を整理する。

3.2 自然・地域インフラの抽出

基礎調査の結果をふまえて自然・地域インフラを活用する必要性を検討し、活用可能な自然・地域インフラを抽出し、それらの平常時の役割と管理方法を整理する。想定される浸水範囲、浸水深、地域の人口や資産の集積状況等から、自然・地域インフラの活用で津波減災を図る必要性があるか

否かをまず判断する。次に、必要性が認められる地域において、津波浸水想定での浸水範囲と地形データを用いて、津波の減勢効果がありそうな構造物や樹林帯などの地物を自然・地域インフラの候補として抽出する。

3.3 自然・地域インフラの減災効果の評価

津波の減勢による背後地への減災効果を評価するために、津波浸水シミュレーションを実施する。また、自然・地域インフラの改良策を検討する際には、自然・地域インフラの条件を変えて津波浸水シミュレーションを実施し、改良前の減災効果との比較を行う。その具体的な手法については4章で述べる。

3.4 自然・地域インフラの保全・改良方法の検討

自然・地域インフラの保全・改良に活用できる制度を検討し、具体的な保全策、改良策の立案を行う。なお、保全とは対象とする自然・地域インフラが有する津波の減勢効果を維持すること、改良とは津波の減勢効果をさらに高めることである。

自然・地域インフラの保全・改良策には、①津波の越流を防ぐ、あるいは遅らせる策（例：自然・地域インフラの高さを上げる『かさ上げ』）、②津波の越流による減災効果の低下を防ぐ策（例：砂丘の侵食を遅らせるための植栽管理や、法面や法尻部分の被覆）、③地震など津波以外の外力に対して津波の減災効果を確保する策（例：地震動による沈下を防ぐ液状化対策）がある。①については、自然・地域インフラを津波防護施設に指定して海岸堤防と組み合わせることで、津波による被害軽減を早期に達成できる可能性がある。②については、保安林や海岸保全施設等への指定、文化財保護法に基づく史跡名勝天然記念物の指定、自然環境保護法や国立公園などの自然公園法での指定地域などが活用できる可能性がある。③については、海岸部の保安林の基盤嵩上げ等にあわせて実施されている事例がある。いずれも、制度に付随する制約や予算措置も含めて検討する必要がある。

4. 津波の減勢による減災効果の評価方法

4.1 津波浸水シミュレーションによる評価の大枠

3.3で述べた津波の減勢による減災効果の評価は、図-3のフローのように砂丘等の地形変化を考慮し、砂丘等の有無や植生等の条件を変えた複数

ケースの津波浸水シミュレーションにより得られる各ケースの浸水範囲や最大浸水深の平面分布等を比較して行う。ただし、津波による地形変化が砂丘等の減災効果に影響するため、植生の根系の耐侵食効果を考慮した地形変化計算を同時に行う必要がある。なお、砂丘等の法面が被覆工等により保護されている場合は、その部分を侵食されない条件で地形変化計算を行えばよい。

津波浸水シミュレーションの中で、砂丘等の侵食は津波の伝播・遡上計算で得られる流速等を用いて計算される。津波の伝播・遡上計算やその計算に必要な条件については、「津波浸水想定の設定の手引き³⁾」を参照のこと。

4.2 植生の耐侵食効果を考慮した侵食量の算定法

図-3のフローに示された砂丘等の侵食量の算定は、植生の耐侵食効果が期待される地盤表層については、下式を用いて行うことができる。

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\alpha u_*}{\ln(10)} \exp\left(-\frac{\ln(10)}{\alpha u_*} z\right) \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 z ：侵食深(cm)、 t ：時間(分)、 u_* ：摩擦速度 (m/s)、 α ：植生を含む地盤の耐侵食性を表す指標である。なお、侵食が上記の地盤表層を超えた時点からは植生を考慮せず、一般的な流砂量式を適用して侵食深を計算することになる。

上記の式(1)は植生が繁茂する河川堤防の法面の侵食深の経時変化に適用されている⁴⁾が、5章の検討結果をもとに砂丘等にも適用できると判断した。

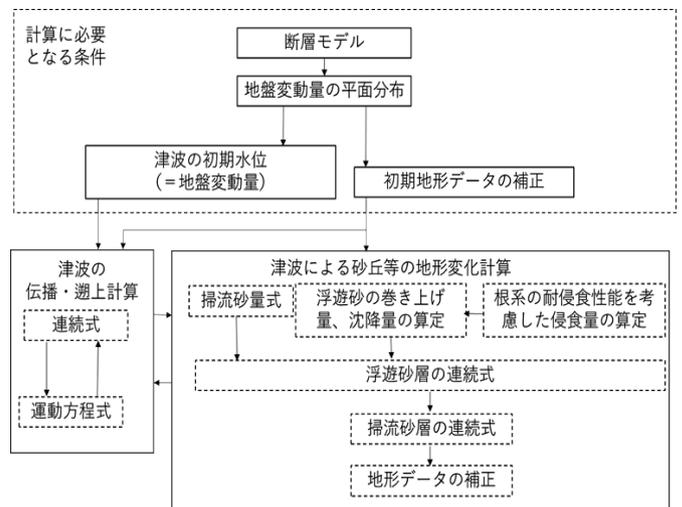


図-3 地形変化を考慮した津波浸水シミュレーションのフロー



図-4 根量密度の深度分布（北海道・石狩浜における調査結果の一例）

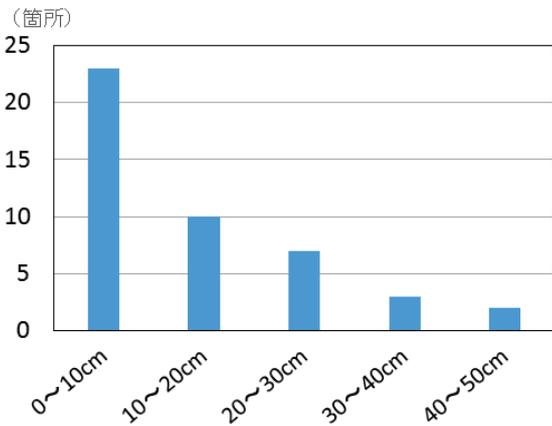


図-5 根量密度が高い層の深さ分布（全根径）

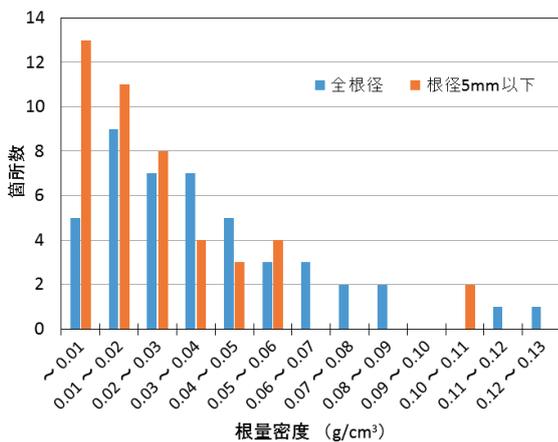


図-6 根量密度が高い層における根量密度の分布

5. 現地調査及び現地地盤を用いた水理実験による耐侵食性の評価

5.1 現地における根量密度の深度分布調査

多様な環境を含むように全国から選定した7海岸を対象に、海岸周辺における植生分布や根量密度（0.5m四方の方形枠内の全ての径の根系の分

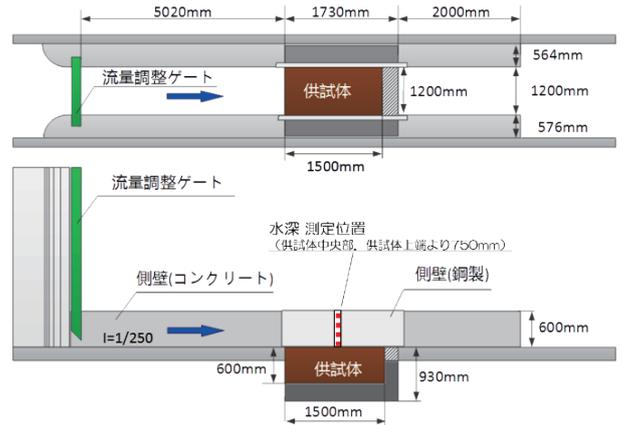


図-7 高流速実験水路の諸元

布密度)の深度分布等を計45地点で調査した結果、根量密度は全般的に地表から一定の深さまで高く、その下では低くなる傾向が見られた(図-4はある地点の結果)。また、調査地点の半数では、根量密度が高い層は地表から10cmまでに存在した(図-5)。また、全根径の根量密度は40地点が0.01g/cm³以上であり、最大で0.13g/cm³であった。(図-6)。

5.2 現地地盤を用いた水理実験による α の推定

(1) 実験の方法・条件

全国3海岸で採取した5地盤供試体（長さ1.5m、幅1.2m、深さ0.6m）を高流速実験水路（図-7）に設置し、供試体表面上に津波を模した高速流を通水して、侵食深を計測する水理実験を行った。供試体は水路中央のピット部（窪地）に設置し、水路底面と供試体表面が同じ高さになるよう調整した。

実験の通水は流速1m/sから開始し、通水中断後の供試体表面高さの測量で侵食がほぼ進まなくなったことが確認できれば流速を上げて再度通水するという操作を繰り返した。なお、侵食により供試体表面が上下流の水路底面より低下した場合には、水路底面の高さまで供試体全体を持ち上げて通水を再開した。通水の前後に供試体表面の侵食深を10cm間隔の格子毎に計測し、各通水後の平均侵食深を算出した。その際、側壁及び鋼製型枠の影響を受けて局所洗掘が進んだ供試体の左右端10cmおよび上下流端20cm分の侵食深のデータは除外した。流速は、予め整理した水路上流の貯水槽の水位と水路内の流量の関係を用いて、供試体中央部の水深からこの位置における断面平均流速を求めた。

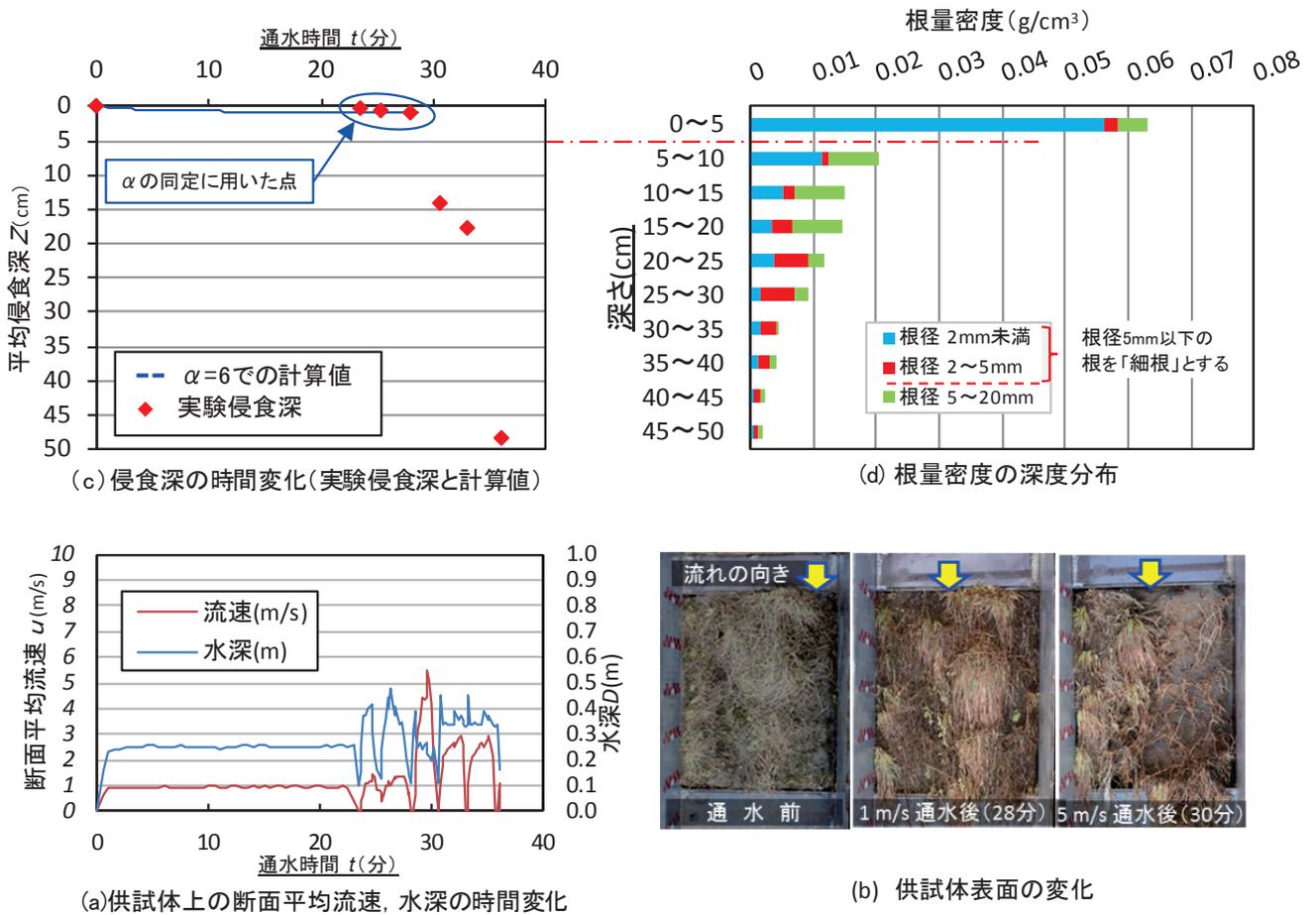


図-8 根量密度の深度分布と水理実験における供試体の侵食深、流速及び供試体表面の変化の例

(2) 実験結果

一つの供試体での実験結果(図-8)を例に、実験から得られた知見を示す。

流速1m/s程度の通水(28分まで)では、図-8(b)の写真のように供試体の表面は草に覆われたままで、図-8(c)のように平均侵食深は1cmであった。その後、流速5m/s程度の通水を行ったところ、平均侵食深は、図-8(d)に見られる根量密度が比較的高い層を超えて急激に増大した。このように、根量が比較的小さい深さまで侵食が進むと、侵食速度が急激に増大するという、シバ等を有する河川堤防法面で確認されている侵食過程が砂丘等の現地地盤でも確認された。

また、現地調査で取得した供試体近傍の根量密度の深度分布(図-8(d))と対比しながら侵食深が急激に増大する点を抽出して、式(1)において地盤の耐侵食性を表すパラメータ α を同定した結果、 α の値は6と推定された。

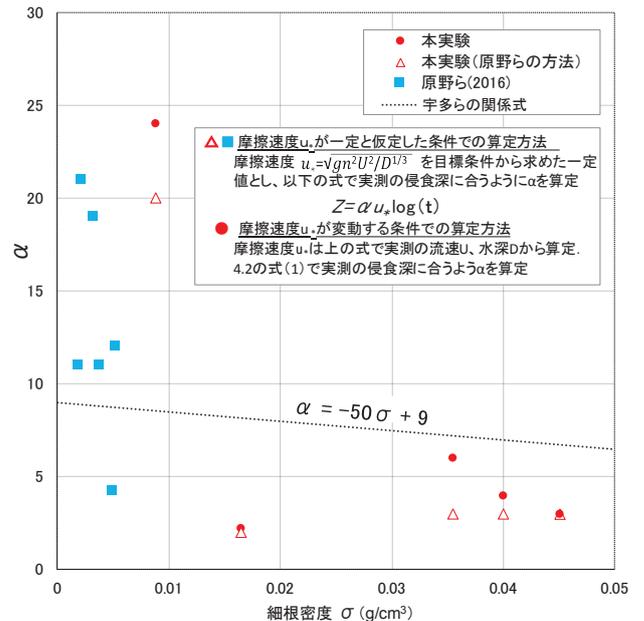


図-9 細根密度と α の関係

(3) 耐侵食性の評価と細根密度との関係

植生の状態から α を設定出来るように、5地盤供試体の現地調査及び水理実験の結果を用いて、侵食深が急激に増大する深さより浅い表層を対象に算出した径5mm以下の細根密度と α の関係を整理した(図-9)。 α は、式(1)で同定した結果と、原野らの方法⁵⁾で同定した結果を併せて示している。また、参考として、原野らの実験結果⁵⁾と、河川堤防法面に繁茂する植生を対象に宇多ら⁴⁾が示した α の上限値を表す点線も示している。本実験の植生は宇多ら⁴⁾の実験とは異なるが、細根密度0.01g/cm³以上の範囲では α が宇多ら⁴⁾の結果と整合している。ただし、本実験のデータが少ないこと、現地での根量密度の測定層は宇多ら⁴⁾と比べ厚いため表層の細根密度はより大きい可能性があることから、防災上の目的から侵食計算を行う場合には、細根密度0.01g/cm³以上における α は宇多ら⁴⁾の上限値を用い、細根密度0.01g/cm³未満の範囲においては植生の侵食抑制効果を見込まないものとする。

6. おわりに

津波の減災効果が期待される「自然・地域インフラ」のうち、津波の減勢による減災効果が期待される砂丘および盛土構造物を対象に、津波防災地域づくりにおいて活用する際の考え方や減災効果の評価方法を紹介した。本成果が津波防災地域づくりに活かされるよう、実務で使いやすい資料の整備などにより技術の普及を図っていきたい。

謝 辞

石狩浜での調査に当たっては北海道大学大学院農学研究院の松島肇博士から貴重なご助言を頂いた。各地での供試体採取に際しては、林野庁石狩森林管理署、北海道庁、石狩市役所、石狩湾新港管理組合、千葉県北部林業事務所、静岡県庁、静岡県袋井土木事務所、静岡県中遠農林事務所、袋井市役所にご協力頂いた。また、現地調査においては調査地を所管する関係各機関より許可を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 首藤伸夫：防潮林の津波に対する効果と限界、第32回海岸工学講演会論文集、Vol.32、pp.465～469、1985
- 2) 渡邊国広、諏訪義雄：自然・地域インフラを活かして津波減災をはかる、土木技術資料、第57巻、第6号、pp.10～13、2015
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室、国土技術政策総合研究所海岸研究室：津波浸水想定の設定の手引き、85p、2012
- 4) 宇多高明、望月達也、藤田光一、平林桂、佐々木克也、服部敦、藤井政人、深谷渉、平舘治：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、土木研究所資料、第3489号、pp.97～214、1997
- 5) 原野崇、浜口耕平、渡邊国広、諏訪義雄、伊藤幸義、細谷治夫：現地の樹木等を含む地盤供試体を用いた水理実験、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.72、No.2、pp.I_1687～I_1692、2016

原野 崇



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主任研究官
Takashi HARANO

濱口耕平



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研究官
Kohei HAMAGUCHI

加藤史訓



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、博士(工学)
Dr. Fuminori KATO