３．自然・地域インフラの保全・改良の検討方法

３．１　検討の流れ

津波防災地域づくりにおいて自然・地域インフラの保全・改良を行うための検討は、（１）基礎調査、（２）自然・地域インフラの抽出、（３）減災効果の評価、（４）自然・地域インフラの保全・改良方法の検討、の手順で実施することができる（**図-3.1**）。この検討における確認事項を**表-3.1** に示す。

なお、津波の減勢効果を見込む地物の保全状況や改良によって、減災効果の評価における計算条件が変化した場合には、減災効果の評価を再度行う必要がある。

基礎調査
・津波浸水想定の内容の把握
・まちづくりに関する既存の計画の整理
・対象地域の状況の整理

↓

自然・地域インフラの抽出
・自然・地域インフラを活用する必要性の検討
・活用可能な自然・地域インフラの抽出
・平常時の役割と管理方法の整理

↓

自然・地域インフラの減災効果の評価
・災害時に発揮される津波の減災効果
・減災効果の発揮限界
・背後地への減災効果の評価

↓

自然・地域インフラの保全・改良方法の検討
・保全・改良に活用できる制度の検討
・具体的な保全策、改良策の検討

図-3.1　検討の手順

表-3.1　自然・地域インフラの保全・改良の検討における確認事項

項目	内容	確認事項
基礎調査	津波浸水想定の内容の把握	・計算結果（浸水想定区域、浸水深、基準水位） ・計算条件（盛土・堤防の設定、使用した地形データ、土地利用によって決まる粗度係数）
	まちづくりに関する既存の計画の整理	・市町村マスタープラン ・景観計画 ・その他の既存のまちづくりに関する計画 ・地域防災計画等
	対象地域の状況の整理	・市町村の概況（人口、交通、土地利用、海岸等の状況） ・既存および計画されている避難場所、避難施設の分布 ・既存および計画されている防災関連施設の分布 ・災害時の行動想定（避難や諸活動の単位となる地域防災会や町会、避難ルート・方向、年齢構成、障碍者施設等の把握） ・土地利用および自然特性（地形特性等） ・過去の自然災害、被災状況
自然・地域インフラの抽出	自然・地域インフラを活用する必要性の検討	・浸水想定区域内の人口及び資産 ・津波の減勢が必要となる地域
	活用可能な自然・地域インフラの抽出	・津波の減勢効果がありそうな砂丘・盛土構造物や、樹林帯などの地物 ・対象地域の都市計画との整合
	平常時の役割と管理方法の整理	・平常時の役割や利用状況 ・管理者および管理の方法 ・災害時に効果を発揮する上で必要な事項
自然・地域インフラの減災効果の評価	災害時に発揮される津波の減災効果	・砂丘・盛土構造物による津波の減災効果 ・樹林による津波の減災効果
	減災効果の発揮限界	・砂丘・盛土構造物による津波の減勢効果の発揮限界 ・樹林による津波の減勢効果の発揮限界
	背後地への減災効果の評価	・津波浸水シミュレーションの方法と条件設定 ・減災効果の評価指標
自然・地域インフラの保全・改良方法の検討	保全・改良に活用できる制度の検討	・関係する法制度
	具体的な保全策、改良策の検討	・保全策 ・改良策

３．２　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。

（１）津波浸水想定の内容の把握

津波防災地域づくりに関する法律に基づき都道府県が設定する津波浸水想定の内容については、浸水想定区域、浸水深、基準水位（建築物等への津波の衝突による津波の水位の上昇を加えた浸水深）を把握するとともに、津波浸水想定の解説等を元に、計算条件（盛土・堤防の設定、使用した地形データ、土地利用によって決まる粗度係数）の情報を把握する。

（２）まちづくりに関する既存の計画の整理

自然・地域インフラを津波防災地域づくりに活用する為には、既存のまちづくりの方針と整合を図る必要があることから、以下に示す既存の計画を整理する。

・市町村マスタープラン（都市計画法（昭和四十三年法律第百号）第十八条の二第一項の市町村の都市計画に関する基本的な方針をいう。）
・景観計画（景観法（平成十六年法律第百十号）第八条第一項）
・その他の既存のまちづくりに関する計画
・地域防災計画等（災害対策基本法（昭和三十六年法律第二百二十三号））

（３）対象地域の状況の整理

対象地域に関する以下の項目を整理する。

1) 市町村の概況（人口、交通、土地利用、海岸等の状況）
2) 既存および計画されている避難場所、避難施設の分布
3) 既存および計画されている防災関連施設の分布
4) 災害時の行動想定（避難や諸活動の単位となる地域防災会や町会、避難ルート・方向、年齢構成、障碍者施設等の把握）
5) 土地利用および自然特性（地形特性等）
6) 過去の自然災害、被災状況

３．３　自然・地域インフラの抽出

基礎調査の結果をふまえて、（１）自然・地域インフラを活用する必要性を検討し、（２）活用可能な自然・地域インフラを抽出し、（３）それらの平常時の役割と管理方法を整理する。

（１）自然・地域インフラを活用する必要性の検討

基礎調査の結果をふまえ、自然・地域インフラを活用する必要性を検討する。たとえば、津波浸水想定図に示されている浸水の範囲及び深さをふまえ、以下のような観点で判断する。

・浸水範囲のすぐ外側に人口、資産等が集積している場合（現状より津波が遡上すると被害が大きく拡大する恐れがある場合）

・浸水範囲の縁辺部に人口、資産等が集積している場合（現状より津波の遡上を抑制すると被害が小さくなる可能性がある場合）

（２）活用可能な自然・地域インフラの抽出

自然・地域インフラを活用する必要性が認められる地域において、津波浸水想定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整理し、自然・地域インフラの候補として抽出する。なお、抽出した地物が周辺地域の都市計画（３．１．２（２））と整合がとれていることを確認する。

抽出に当たっては、以下の観点から減災効果を有する地物を探すことができる。

１）砂丘や盛土構造物（砂丘等）による減災効果

砂丘等によって津波の遡上を阻止するためには、砂丘による津波のせり上がりを考慮した津波の高さよりも砂丘等の方が高くなければならない。（図-3.2）

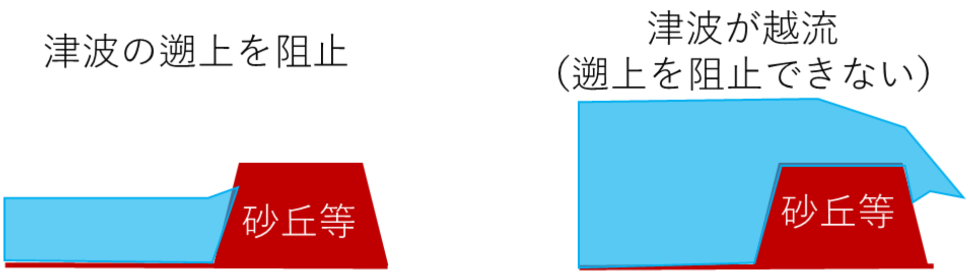
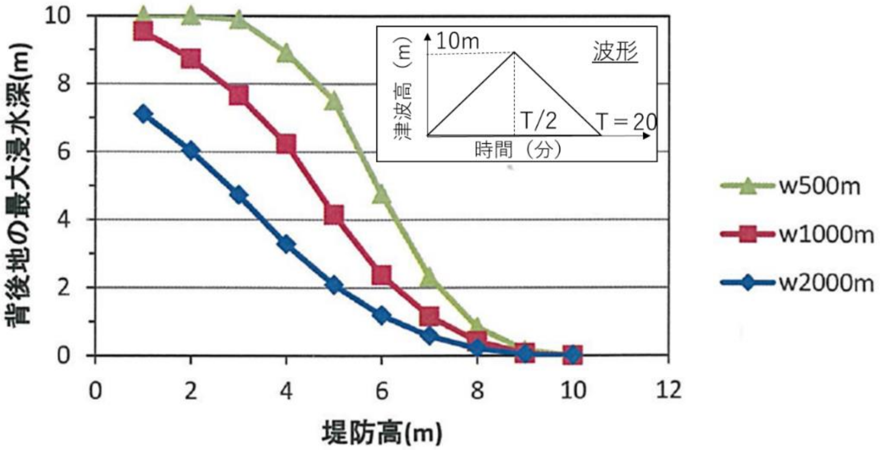
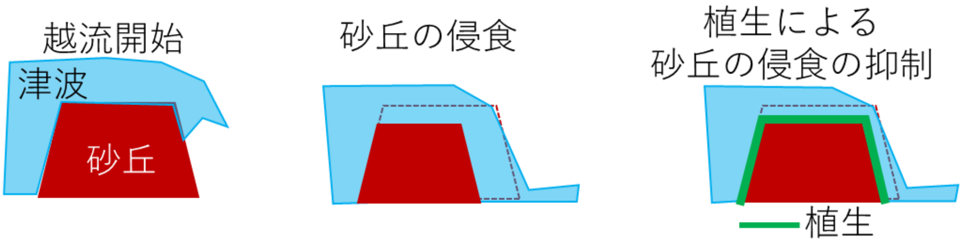


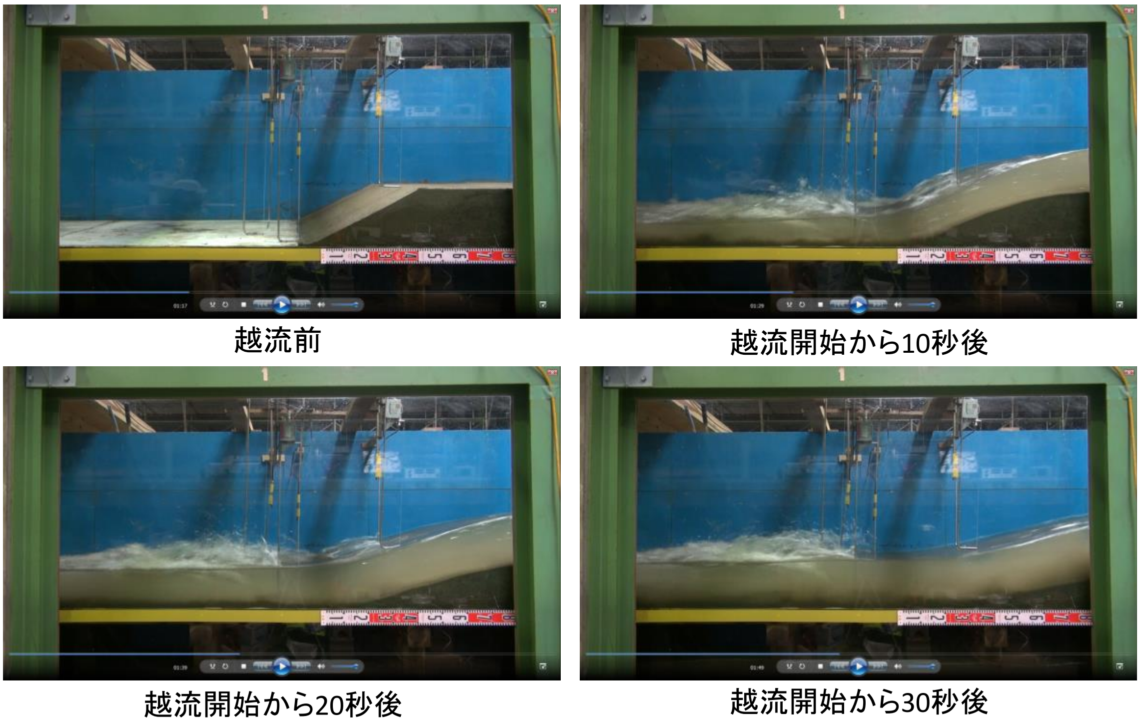
図-3.2　津波の遡上を阻止できる例とできない例



図−3. 3　感度分析の結果



図−3. 4　津波による砂丘の侵食



図−3. 5　越流時の盛土の侵食に関する実験のスナップショット

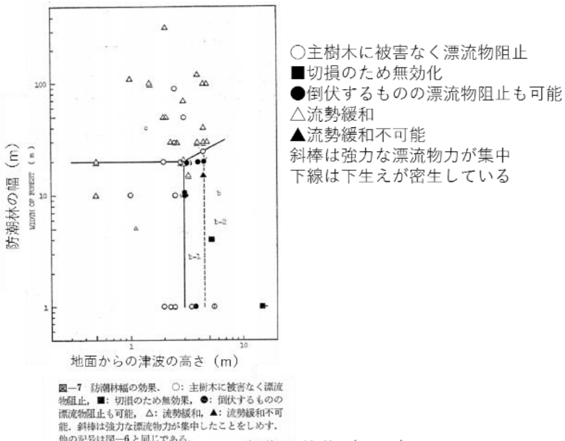
また、津波の高さが砂丘等の高さを上回る場合であっても、背後地の浸水を遅延させる効果や、浸水面積を低減させる効果が生じることがある。図-3.3 は、背後地を水平とした単純な地形のもとで背後地の幅の違いによって堤防高と背後地の最大浸水深の関係がどのように変わるかを示している。最大浸水深は、堤防が破堤せずに背後地に均等に水が溜まると仮定して、本間の越流公式で算定された越流量を用いて算出した。また、堤防の海側において最大津波高 10m、周期 20 分の津波を想定した。背後地の幅を 1,000mとしたときに、津波の高さの半分となる高さ 5m の堤防によって、背後地の最大浸水深が約 60%軽減されると試算される。一方で、背後地の幅が 500m の場合、堤防の高さが 5m だと、25%程度軽減される。

ただし、砂丘等を津波が越流する場合は、津波によって地盤が侵食を受け、砂丘等の高さが経時的に変化することに留意しなければならない（図-3.4）。この影響を考慮した減災効果は、地形変化を考慮した計算によって得ることができる。砂（粒径 0.3mm）で形成した盛土について越流時の侵食状況を調べた実験（模型縮尺 1/25）では、図-3.5 のように、流れが加速する陸側法面から盛土の侵食が進行した。砂丘等の幅が狭いと、侵食が砂丘全体に及ぶため、天端の高さを確保することが困難となる。なお、地盤表面の植生の状況によって、砂丘等が侵食される速さが異なる（原野ら、2016）。これについては、次項で説明する。

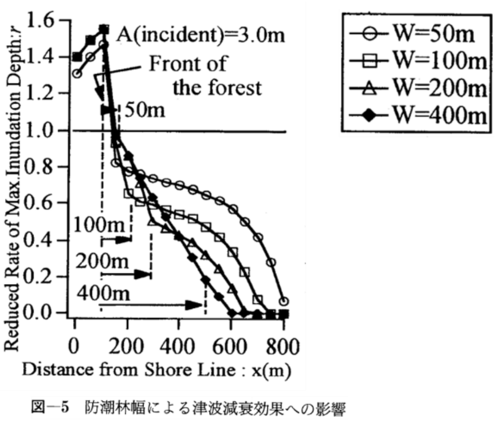
２）植生による地盤の侵食の抑制効果

津波による地盤の侵食は、流れによるせん断力の大きさに依存するため、津波の流れが速いほど大きくなる。そのため、樹木の幹によって津波の流速が低減すると、地盤が侵食されにくくなる。また、地盤表層が植生の根で覆われていると、地盤表面に作用する津波の流体力を低減し、侵食が抑制される。

樹木の幹等による流量の低減効果は、樹木の立木密度と胸高直径から計算する方法がある。また、根による侵食の抑制効果は、地下の根の量と相関がある。



出典：首藤（1985）



出典：原田・今村（2003）

図-3.6　防潮林の減災効果に関する研究例

３）防潮林による減災効果

首藤（1985）は、津波来襲後の現地調査を行い、防潮林による背後地への減災効果がもたらされる条件を整理した。防潮林によって津波の減勢を期待するためには幅（汀線に直交する向きの距離）が 20m、地面からの津波の高さが 3m 以上の津波については、20m 以上の幅が必要と指摘している（図-3.6 左）。なお、調査した津波高は 5m 以下である。

また、原田・今村（2003）は、防潮林による津波の減勢効果を Morison 式にもとづいた抵抗項を用いて表した数値シミュレーションにより、浸水深および流速の低減効果を検証している。入射波高 3mの津波に対して、防潮林直背後の浸水深は、防潮林の幅が 50m以上で減少する傾向が見られた（図-3.6 右）。なお、この計算では、樹木の倒壊などは考慮していないため、実際の効果よりも過大評価している可能性がある。

さらに、加藤ら（2007）は、最大 4mの津波に対しては、幅 200mの樹林帯が背後地の浸水深をあまり低減しないという結果を示している。

その他、大平ら（2016）は、東北地方太平洋沖地震による津波を対象として宮城県岩沼市において樹林帯による津波減衰効果を評価し、浸水深に対する低減効果は小さかったものの、流速の低減および津波到達の遅延効果は相対的に大きかったことを示した。また稲垣ら（2017）は、植生帯と丘等を組み合わせた場合の減勢効果を実験的に明らかにした。

（３）平常時の役割と管理方法の整理

抽出した自然・地域インフラの平常時の役割と管理方法については、以下の情報をまとめる。

１）平常時の役割や利用状況

平常時の役割とは、自然・地域インフラが本来担っている機能である。たとえば、防潮林であれば防風や飛砂の防止であり、盛土構造物であれば人や車の交通の提供などである。

利用については、利用方法、設備、利用時間、利用者をまとめる。さらに、災害時の役割が付与されていれば、その役割も整理する。

２）管理者および管理の方法

管理者、管理の予算、管理委託の内容、現在行われている周辺住民による活動等をまとめる。

３）災害時に効果を発揮する上で必要な事項の整理

災害時に発揮しうる効果を得るために新たに必要となる設備及びその管理方法についてまとめる。また、その設備が日常的な利用の妨げにならないことを確認する。

災害時に発揮しうる効果とは、津波の減勢や、避難場所や避難路となる効果などである。また、効果を得るために新たに必要となる設備とは、盛土を登るための階段・スロープなどである。たとえば、NEXCO 東日本では、緊急時に避難場所などとして使えるように仙台東部道路等に避難階段を設置している（国土交通省総合政策局、2013)。

３．４　自然・地域インフラの減災効果の評価

自然・地域インフラの津波減勢による背後地への減災効果は、津波浸水シミュレーションにより評価できる。本節では減災効果の評価の概要を説明するが、詳細な評価方法の詳細は４章で述べる。

（１）減災効果の評価の考え方

背後地への減災効果は、自然・地域インフラの有無、形状や耐侵食性等を変えた津波の伝播・遡上計算で得られる背後地の浸水深や浸水範囲を比較することで評価される。その計算においては、砂丘等の侵食抑制効果を考慮した地形変化の計算を加えることで、自然・地域インフラの形状の変化や耐侵食性を減災効果の評価に反映できる。

津波浸水シミュレーションの実施に当たっては、「津波浸水想定の設定の手引き」（国土交通省水管理・国土保全局海岸室、2012）が参考となる。「津波浸水想定の設定の手引き」では、断層モデルから計算される津波の初期波形を基に、非線形長波方程式に基づく数値モデルにより津波の伝播・遡上計算を行うこととされている。

（２）災害時に発揮される津波の減災効果

１）津波に対する砂丘・盛土構造物の減災効果

津波に対する砂丘・盛土構造物の減災効果を津波浸水シミュレーションで評価するためには、数値モデルにおいて砂丘・盛土構造物を適切に扱わなければならない。具体的には、砂丘・盛土構造物を地形として扱う場合と、計算格子の境界において構造物として扱う場合の２通りがある。

地形として扱うことができるのは、計算格子間隔よりも平面的に大きい地物である。地形として扱う場合、計算負荷が大きくなるものの、津波による地形変化を計算することができる。

なお、「津波浸水想定の設定の手引き」に基づく津波浸水シミュレーションでは、大規模な線的構造物や砂丘は地形として扱い、地形変化の計算は行わないことを基本としている。また、二線堤として効果が期待される道路や鉄道については、東北地方太平洋沖地震等による津波で被災した線的構造物の破壊事例を基に越流時の破壊条件を個別で判断することとしている。それに対し本資料では、手引きでは行わないことを基本としている地形変化の計算を行うこととしている。

一方、計算格子の境界において構造物として扱うものには、計算格子間隔ほどの空間規模がない地物も含まれる。たとえば、「津波浸水想定の設定の手引き」では、海岸堤防を格子境界として設定することを基本としている。構造物として扱う場合、越流開始時点で破壊する条件（近傍の地盤高まで天端高が下がる）を容易に設定することができる。

２）津波に対する樹林の減災効果

樹林による津波の減災効果を考慮する方法として、「津波浸水想定の設定の手引き」では、樹木を運動方程式において抗力として考慮する方法と、粗度として考慮する方法が紹介されている。また、地形変化を計算する場合は、植生による侵食の抑制効果などを考慮する必要がある。

（３）減災効果の発揮限界

１）津波に対する砂丘・盛土構造物の減災効果の発揮限界

砂丘・盛土構造物の減災効果は、主に天端の高さによって規定される。３．３で示したように、津波が砂丘・盛土構造物を越流する際に、津波の水位に対して砂丘・盛土構造物がある程度高くないと、砂丘・盛土構造物上の越流量が十分に低減されず、減災効果が発揮されない。また、津波が越流する際に砂丘・盛土構造物が侵食されて低くなると、減災効果が大きく低減する恐れがある。

２）津波に対する樹林の減災効果の発揮限界

樹林の減災効果の発揮限界については、樹木が倒伏する時を発揮限界として評価できる。樹木の胸高直径から倒伏モーメントを設定し、流体により作用するモーメントが倒伏モーメントを超えた場合に倒伏と判定する手法が用いられている。

また、植生による侵食の抑制効果は主に根によって発揮されるため、効果の発揮限界は、根の鉛直分布によって規定される。

（４）背後地への減災効果の評価

減災効果の評価は、自然・地域インフラの減災効果が発揮される場合と発揮されない場合の津波浸水シミュレーションを行い、最大浸水深等の計算結果を比較することで行われる。最大浸水深の平面分布の比較においては、浸水面積の変化だけでなく、家屋倒壊などの被害との関係がある一定の浸水深（たとえば、2m）以上の面積の変化に着目することも考えられる。また、浸水面積や浸水深の低減のほか、浸水域の人口の減少や浸水開始時間の遅延などの効果も減災効果の指標として考えられる。

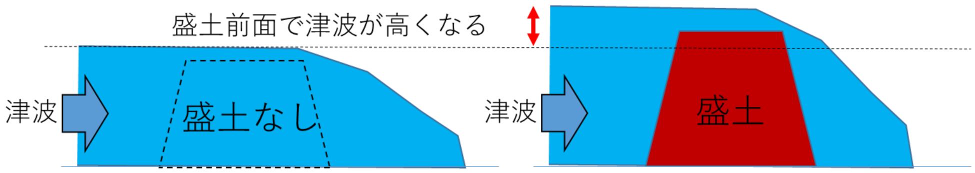


図-3.7　盛土によって盛土前面で津波が高くなるイメージ図

なお、減災効果が現れる領域だけでなく、かえって被害が拡大する領域がありうることにも留意する。一般的に、盛土構造物の前面では、津波の遡上が阻まれることで、浸水深が深くなる（**図-3.7**）。また、盛土の切れ目や、やや低くなっている箇所では津波の流れが集中し、流速が大きくなる恐れがある。

３．５　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・改良方法の検討に当たっては、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。改良策の効果は、改良前後の自然・地域インフラの設定条件で実施した津波浸水シミュレーションの結果を比較することで評価できる。

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災効果を維持すること、改良とは津波の減災効果をさらに高めることである。

（1）保全・改良に活用できる制度の検討

自然・地域インフラの保全、改良は中長期的な取り組みであることから、予算や人材などを継続的に確保する必要がある。このため、保全・改良に活用可能な制度等について検討を行うことが重要である。

津波防災地域づくりでは、ハード・ソフトの施策を柔軟に組み合わせて総動員させる「多重防御」の発想により、津波防災を効率的かつ効果的に推進することとしている。ハードの施策では、一定の頻度（数十年から百数十年に一度程度）で到達すると想定される津波（設計津波）の水位をもとに整備される海岸堤防の他に、自然・地域インフラを指定津波防護施設に指定して組み合わせることで、早期に津波による被害を軽減できる可能性がある。このほか、保安林や海岸保全施設等への指定も選択肢として考えられる。たとえば、和歌山県の広村堤防は、文化財保護法に基づく史跡名勝天然記念物に指定されている。なお、史跡名勝天然記念物に指定することで、保全の促進や認知度の向上が期待される反面、現状を変更するときは文化庁長官の許可を受けなければならないため、改良が困難となる。

自然環境保護法や、国立公園などの自然公園法で指定された地域は、環境基本法の基本理念にのっとり、優れた自然の風景地の保護とその適正な利用が図られるように、それぞれの立場において努めなければならないとされている。これらは砂丘等の保全に活用できる可能性がある。

また、津波を対象とした制度ではないが、洪水等からの「逃げ遅れゼロ」と「社会経済被害の最小化」を実現するため、多様な関係者の連携体制の構築と既存資源の最大活用を図る「水防法等の一部を改正する法律案」が平成 29 年 2 月に閣議決定され、同年 6 月に施行された。改正案では、「水防管理者は、洪水浸水想定区域（当該区域に隣接し、又は近接する区域を含み、河川区域（河川法第六条第一項に規定する河川区域をいう。）を除く。）内で輪中堤防その他の帯状の盛土構造物が存する土地（その状況がこれに類するものとして国土交通省令で定める土地を含む。）の区域であって浸水の拡大を抑制する効用があると認められるものを浸水被害軽減地区として指定することができる」とされており、「浸水被害軽減地区内の土地において土地の掘削、盛土又は切土その他土地の形状を変更」する場合、「当該浸水被害軽減地区が有する浸水の拡大を抑制する効用を保全するため必要があると認めるときは、当該届出をした者に対して、必要な助言又は勧告をすることができる。」

としている。洪水浸水想定区域と津波浸水想定区域が重なる場合は、浸水被害軽減地区として指定することで津波に対しても減災効果を発揮する可能性があるが、その効果の適切な評価が必要となる。

なお、自然・地域インフラの保全には、管理者が予算を確保し、継続的に管理していかなければならない。しかし、有効な管理を行う為に必要な予算を継続的に確保できるとは限らない。地域のなかで自然・地域インフラを保全する機運を高め、地域住民やボランティア等の力を借りて保全活動を行うことも一つの方法である。

（２）具体的な保全策、改良策の検討

１）保全策

保全とは、対象とする自然・地域インフラの減災効果を維持することである。保全策には、自然・地域インフラの減災効果を低下させる改変を防ぐ策と、適切な維持管理を実施する策がある。保全策の検討では、法制度や保全に要する予算などを総合的に考慮して、自然・地域インフラの減災効果を維持するのに必要な施策とその実施者を整理する。２．２．２や３．５（１）に挙げる法律などが活用できる。

なお、大きな津波は、数十年以上の間隔を置いて来襲することから、地域において自然・地域インフラの効果や意義が忘れられる可能性がある。そのため、保全策の担い手に住民を加えることなどにより、後世への伝承を図ることが必要である。

２）改良策

改良とは、対象とする自然・地域インフラの減災効果を高めるように手を加えることである。改良策には、津波の越流を防ぐ（遅らせる）ための策、津波の越流による減災効果の低下を防ぐ策、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がある。

津波の越流を防ぐ（遅らせる）ための策として、自然・地域インフラの高さを上げるかさ上げする方法がある。静岡県浜松市沿岸域では、民間企業からの寄付金を用いて、海岸堤防の設計津波の水位よりも高い防潮堤の建設が行われている。

津波の越流による減災効果の低下を防ぐ策として、砂丘の侵食を遅らせるための植栽管理を行うことや法面や法尻部分を被覆する策などが考えられる（図-3.8、図-3.9）。また、盛土構造物については、その表層の植栽や舗装等により侵食を抑制できる（常田・秦、2016）。

また樹林の根返りを防ぐ為の策として、「津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き」には盛土のかさ上げなどの対策が紹介されている。

地震による変形を抑制する液状化対策等も改良策に含まれる。なお、瀬尾ら（2016）は、静岡県袋井市の盛土式避難施設の設計において液状化対策を考慮し、避難人数や津波の浸水深から盛土の仕様を決定している。

改良策の検討では、法制度や保全にかかる費用など総合的を考慮するとともに、津波に

対する減災効果を高めるために必要な対策とその実施者だけではなく、高めた効果を継続的に発揮できるよう保全策も整理する。改良策の例を**表-3.2** に示す。

表-3.2 自然・地域インフラの改良策の例

津波の越流を防ぐ（遅らせる）ための策	津波の越流による減災効果の低下を防ぐ策	津波以外の外力に対する強化により津波の減災効果を確保する策
・ かさ上げ	・砂丘の侵食を遅らせるための植栽管理 ・法面と法尻の保護	・耐震化、液状化対策

津波来襲時の砂丘・盛土構造物の効果と改良策

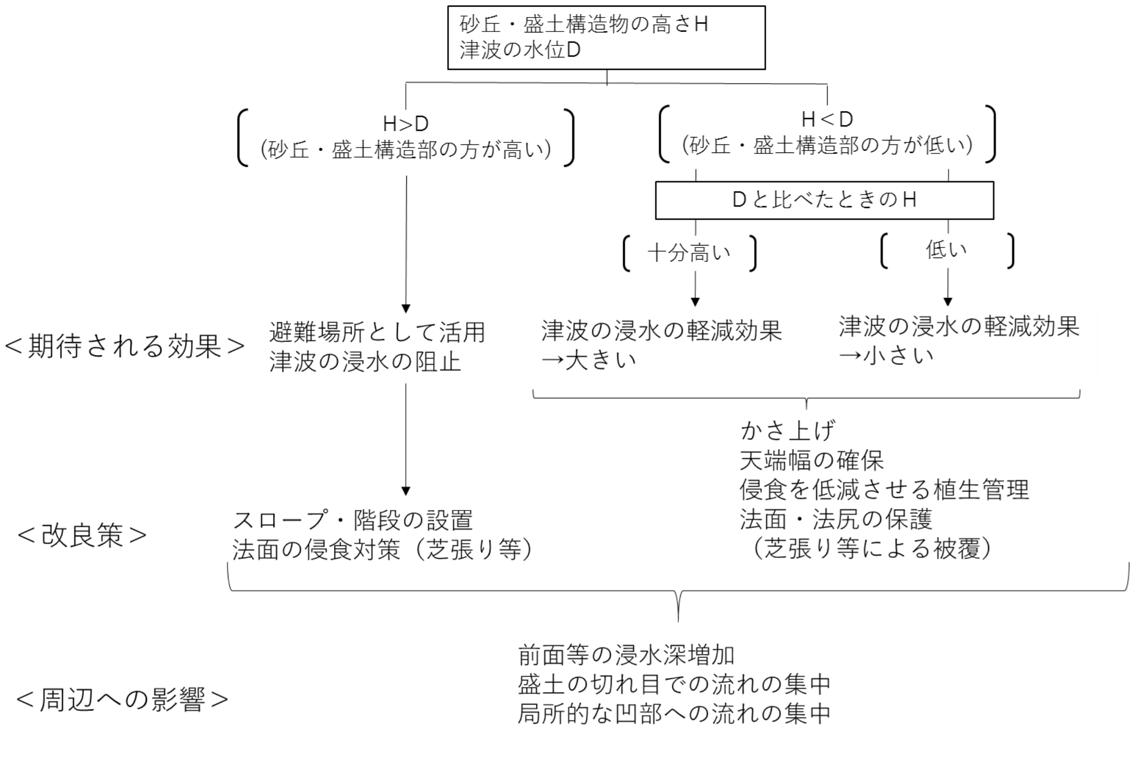
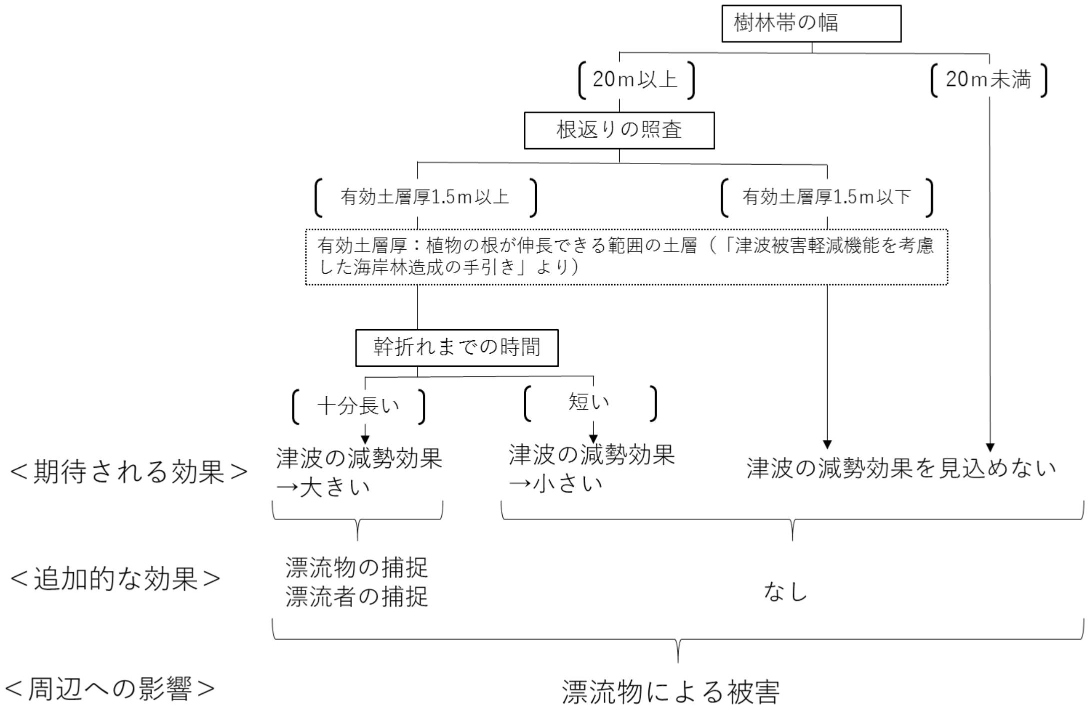


図-3.8 自然・地域インフラとなりうる地物の減災効果の検討フロー（津波来襲時の砂丘・盛土構造物の効果と改良策）

津波来襲時の樹林地上部分の効果



＊改良策については、「津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き」が参考となる

図-3.9 自然・地域インフラとなりうる地物の減災効果の検討フロー（津波来襲時の砂丘・盛土構造物の効果と改良策）