

ISSN 1346-7328
国総研資料 第986号
平成 29 年 9 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 986

September 2017

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技術資料

国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室

Technical Note on Utilization of Natural and Regional Infrastructures
in Regional Development for Tsunami Disaster Prevention

Coast Division, River Department, NILIM

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

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技術資料

加藤 史訓	*
原野 崇	**
浜口 耕平	***

概要

本資料は、津波に対して減災効果を有すると考えられる地物（自然・地域インフラ）を津波防災地域づくりに活用するために、自然・地域インフラの概念と留意点、自然・地域インフラのうち、津波を減勢する効果を有する砂丘等の保全・改良の検討方法および津波の減勢による減災効果の評価方法等をまとめたものである。

キーワード : 津波、減災、砂丘、自然・地域インフラ

-
- * 河川研究部海岸研究室長
 - ** 河川研究部海岸研究室主任研究官
 - *** 河川研究部海岸研究室研究官

Technical Note on Utilization of Natural and Regional Infrastructures
in Regional Development for Tsunami Disaster Prevention

Fuminori KATO	*
Takashi HARANO	**
Kohei HAMAGUCHI	***

Synopsis

This technical note refers to natural and man-made features effective for tsunami disaster reduction as natural and regional infrastructures, and summarizes the following three matters concerning the natural and regional infrastructures; the concept and points to note, the design for the conservation and improvement of their effects, and the evaluation method of their effects against the tsunami.

Key Words : Tsunami, Disaster Reduction, Coastal Dune, Natural and Regional Infrastructures

- * Head of Coast Division, River Department
- ** Senior Researcher of Coast Division, River Department
- *** Researcher of Coast Division, River Department

1. はじめに	1
1. 1 津波災害の特徴と対策	1
1. 2 津波防災地域づくりの概要	3
1. 3 本資料の目的	6
1. 4 本資料の対象災害	7
2. 自然・地域インフラの概念と留意点	8
2. 1 自然・地域インフラの概念と減災効果	8
2. 2 自然・地域インフラの活用における技術的留意点と法制度上の位置づけ	15
3. 自然・地域インフラの保全・改良の検討方法	18
3. 1 検討の流れ	18
3. 2 基礎調査	20
3. 3 自然・地域インフラの抽出	21
3. 4 自然・地域インフラの減災効果の評価	26
3. 5 自然・地域インフラの保全・改良方法の検討	29
4. 津波の減勢による減災効果の評価方法	33
4. 1 津波浸水シミュレーションの流れ	33
4. 2 津波の伝播・遡上計算に必要となる条件	35
4. 3 津波の伝播・遡上計算	36
4. 4 砂丘等の地形変化計算	39
4. 5 砂丘等による減災効果の評価	46
5. おわりに	48
謝辞	49
参考文献	50
付録1 津波越流時を想定した植生を有する地盤の耐侵食性の評価	53

研究担当者名簿

(研究期間：平成 26 年度～平成 28 年度)

所属	役職	氏名	担当期間	担当
河川研究部 海岸研究室	室長	諏訪 義雄	H26.4～H28.7	研究総括、2 章～4 章
	室長	加藤 史訓	H28.8～H29.3	研究総括、1 章～5 章
	主任研究官	原野 崇	H27.4～H29.3	4 章
	研究官	渡邊 国広	H26.4～H27.3	2 章、4 章
	研究官	濱口 耕平	H27.4～H29.3	1 章～5 章

1. はじめに

1. 1 津波災害の特徴と対策

(1) 津波災害の特徴

津波とは、海底の地殻変動、海底火山の爆発、あるいは海岸部での大規模な地すべりなどによって引き起こされる、周期が数分から数十分の波であり、日本では海底地震による津波がその大多数を占めている(堀川、1991)。プレート境界型の地震に起因する津波には、南海トラフや日本海溝での地震などによるものがあり、たびたび我が国に大きな被害をもたらしてきた。また、プレート境界内の地震についても、「日本海における大規模地震に関する調査検討会(http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/)」などで最大クラスの津波を引き起こす可能性が指摘されている。

海域で発生した津波は、地形の影響を受けながら沿岸においてその波高が増大し、陸上に遡上する。津波が陸上に遡上すると、浸水や遡上時の流体力によって多くの人的・物的被害が生じることがある。たとえば、2011年の東北地方太平洋沖地震では、死者・行方不明者が2万人弱に達する(警察庁緊急災害警備本部、2017)とともに、家屋や公共施設、道路等のインフラ施設などの流失や機能障害などが広域で生じた。また、1946年の南海地震では、高知市内で湛水による浸水被害が長期に亘って生じた。さらに、地震による津波は突発的に生じることから、津波の発生から沿岸への到達までの時間が短い場合には、高台等への避難が完了する前に津波が来襲し、人的被害が大きくなる。

(2) 津波災害の対策

津波による被害を軽減するためには、大規模な災害を想定し、ハード対策とソフト対策を総動員することが必要である。ハード対策には津波の遡上を妨げる堤防等の設置や避難を容易にする避難場所・避難路の整備などが、ソフト対策には確実な避難行動を促す効果がある避難訓練や防災教育などがある。ハード対策のうち、堤防等の海岸保全施設は、数十年から百数十年に一度来襲する津波に対して背後地の被害を防止する機能を有している。最大クラスの津波が来襲する際には、堤防等を津波が超えることが予想されることから、避難などのソフト対策が中心となる。

また、津波常襲地帯においては、津波の被害やその被害を逃れるための知恵が、石碑や口承伝承として残されている地域や、津波の被害を受けた後に築堤された堤防が現在も残されている場所がある。これらは、避難を促す上で一定の効果が期待できるものである。

1) 堤防が津波を減勢し被害を軽減した事例

和歌山県有田郡広川町は、和歌山県の紀伊水道に面した町で、たびたび大きな津波が来襲する地域である。1854年安政南海津波が発生すると、大きな被害が発生した。被害を受けて、浜口梧陵は、再度津波に遭わないようにするため、また、被災した村の人々に職を

与えるために、私財をなげうち、浜に堤防を築いた。

安政南海津波の 92 年後の昭和 21 年に、この地域に再び津波が来襲し、22 名の死者を出した。この時、濱口梧陵が築いた堤防が津波の勢いを堤防の南西部へそらし、堤防背後地の浸水被害を軽減する効果が見られた。

広村堤防は町の文化財に指定され、現在も保全されている。地域では、安政南海津波の 50 年後から開始した津浪祭りが毎年開催されている。こうした地域の活動の拠点となることで、津波を減勢するだけでなく、被害を継承し、避難を促進させる効果も期待される。

2) 砂丘や盛土構造物が津波の遡上を妨げて被害を軽減した事例

陸上に遡上した津波は、砂丘や盛土構造物のような一定の高さを有する地物によって異なる遡上が妨げられる。たとえば、東北地方太平洋沖地震による津波に対して、九十九里浜では沿岸の砂丘が陸域への遡上を妨げ、仙台平野では仙台東部道路の盛土が浸水域の拡大を抑える効果が見られた（写真-1.1）。このように、砂丘等の効果によりその背後地の被害を軽減することが期待される。



写真-1.1 東北地方太平洋沖地震直後の仙台東部道路の海側の状況

以下は、「津波浸水想定設定の手引き Ver.2.00」からの引用である。

a) 津波防災地域づくりの推進に関する基本的な事項

効率的かつ効果的に津波防災地域づくりを推進するための基本的な考え方は以下のとおりである。

- ・ 東日本大震災の経験や津波対策推進法を踏まえた対応
- ・ 最大クラスの津波が発生した際も「なんとしても人命を守る」
- ・ ハード・ソフトの施策を総動員させる「多重防御」
- ・ 地域活性化も含めた総合的な地域づくりの中で効果的に推進
- ・ 津波に対する住民等の意識を常に高く保つよう努力

b) 基礎調査について指針となるべき事項

基礎調査の指針となるべき事項の概要は以下のとおりである。

- ・ 津波対策の基礎となる津波浸水想定の設定等のための調査
- ・ 都道府県が、国・市町村と連携・協力して計画的に実施
- ・ 海域・陸域の地形、過去に発生した地震・津波に係る地質等、土地利用の状況等を調査
- ・ 広域的な見地から必要なもの（航空レーザ測量等）については国が実施

c) 津波浸水想定の設定について指針となるべき事項

都道府県による津波浸水想定の設定の指針となるべき事項は以下のとおりである。

- ・ 都道府県知事が、最大クラスの津波を想定し、悪条件下を前提に浸水の区域及び水深を設定
- ・ 最大クラスの津波は、国の中央防災会議等により公表された津波の断層モデルも参考にして設定
- ・ 中央防災会議等により津波の断層モデルが公表されていない海域については、過去の津波の痕跡調査等から、津波の断層モデルの逆算を今後行っていく
- ・ 最大クラスの津波の断層モデルの設定等については、国において検討し都道府県に示すこととするが、これを待たずに都道府県独自の考え方にに基づき設定することもある
- ・ 広報、印刷物配布、インターネット等により、住民等に十分周知

d) 推進計画の作成について指針となるべき事項

市町村による推進計画の作成の指針となるべき事項は以下のとおりである。

- ・ 市町村が、ハード・ソフトの施策を組み合わせ、津波防災地域づくりの姿を地域の実情に応じて総合的に描く

- ・既存のまちづくりに関する方針等との整合性を図る
- ・ハード事業と警戒区域の指定等のソフト施策を効果的に連携
- ・効率性を考えた津波防護施設の整備
- ・防災性と生活の利便性を備えた市街地の形成
- ・民間施設も活用して避難施設を効率的に確保
- ・記載する事業等の関係者とは、協議会も活用して十分に調整
- ・対策に必要な期間を考慮して将来の危機に対し効果的に対応

e) 警戒区域及び特別警戒区域の指定について指針となるべき事項

警戒区域及び特別警戒区域の指定の指針となるべき事項は以下のとおりである。

<警戒区域>

- ・住民等が津波から「逃げる」ことができるよう警戒避難体制を特に整備するため、都道府県知事が指定する区域
- ・避難施設の指定等の際に基準となる水位（基準水位）の公示
- ・警戒区域内で市町村が以下を実施
 - －実践的な内容を盛り込んだ市町村防災計画の作成・避難訓練の実施
 - －住民の協力等による津波ハザードマップの作成・周知
 - －指定・管理協定により、地域の実情に応じて避難施設を確保
 - －社会福祉施設等で避難確保計画の作成・避難訓練の実施

<特別警戒区域>

- ・防災上の配慮を要する者等が建築物の中に居ても津波を「避ける」ことができるよう、都道府県知事が指定する区域
- ・特別警戒区域内では一定の建築行為・開発行為を制限
- ・指定の際には、公衆への縦覧、関係市町村の意見聴取等により、地域の実情を勘案し、地域住民の理解を深めつつ実施

1. 3 本資料の目的

1. 3. 1 本資料の背景と目的

津波防災地域づくりに関する法律に基づき、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」（以下、推進計画）の作成が沿岸の各市町村において進められている。推進計画の作成に当たって参考にできる「津波防災地域づくり推進計画作成ガイドライン」では、実態調査から現状・問題点、課題の整理、基本方針・目標の検討、目標の実現のための施策の検討、計画案の作成に至る計画の検討手順が整理されている。この中の施策の検討においては、ハード・ソフト施策の総合的な組み合わせを検討し、必要に応じて津波防護施設の新設等のハード対策を検討する必要がある。

新たなハード対策を進めることが必要な地域でも、既存の地物の中には津波に対して減災効果があるものもある。たとえば、砂丘・湿地等の自然地形、地域で適切に管理されている樹林は、津波を減勢し、背後地の浸水を遅らせる効果が見込まれる。また寺社等のローカルスケールの地物等は避難場所の提供や避難の促進といった減災効果を有すると考えられる。こうした地物を活用することで、津波防災地域づくりの効率的な推進が可能となる。

また、津波来襲時に、推進計画に沿って最大限に津波の減災効果を得るためには、避難計画などのソフト施策が地域に浸透していなければならない。さらに、減災効果を有する砂丘等の地物が適切に管理されていなければ、計画通りの減災効果を得られるとは限らない。しかし、最大クラスの津波も含めて背後地に被害をもたらす規模の津波は、数十年から百数年に一度程度より低い頻度なので、避難施策や地物を後世へ継承するには継続的な取り組みが必要となる。

以上のことを踏まえ、「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（平成26年度～28年度）」を行い、主に津波に対して減災効果を有する地物等を津波防災地域づくりに活用するための方法を検討した。本資料では、2章においてそのような地物を「自然・地域インフラ」の一つとして捉え、津波防災地域づくりにおける位置づけ等を整理した後、3章において「自然・地域インフラ」の保全・改良の検討手順をまとめた。さらに、4章では、「自然・地域インフラ」の保全・改良の検討において技術的課題となっていた減災効果の評価方法を整理した。

1. 3. 2 既存の関係マニュアルとの関係

近年、樹林帯等をグリーンインフラと称して、津波等による被害を軽減する試みが検討されるとともに、海岸林や公園緑地などについては関係機関からマニュアル類が刊行されている。本資料では、必要に応じて既存の関係マニュアルを参照している。

既存の関係マニュアルの例を以下に示す。

(1) 津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き－海岸林を造成・管理する実務者のために－（独立行政法人 森林総合研究所（現 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所））

津波被害を軽減するための海岸林の造成法についてまとめられている。津波に対して耐性が高く、津波被害軽減に効果的な林帯とはどのようなものかを示した上で、その造成法や誘導手法が示されている。また、資料編には、津波被害軽減効果の定量評価等についても記載されている。

(2) 東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針（国土交通省都市局公園緑地・景観課）

津波からの復旧・復興や減災の取り組みの観点から公園緑地の整備について総合的にとりまとめたものである。公園緑地整備に関する基本的考え方として、東日本大震災の教訓を踏まえた公園緑地等の機能、復興まちづくりにおける公園緑地等計画の基本的考え方、公園緑地の計画・設計等の考え方などが記載されている。また、付属する技術資料には、より詳細な情報が記載されている。

なお、防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案）（国土交通省都市局公園緑地・景観課、国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センター（現 社会資本マネジメント研究センター）緑化生態研究室）では、災害時に避難地・避難路や防災活動拠点等として機能する都市公園の効率的な整備促進のため、防災公園の計画・設計方法、防災機能の発揮に資する技術や設備などについて、上記の技術的指針を踏まえ総合的な指針が整理されている。

(3) 生態系を活用した防災・減災に関する考え方（環境省自然環境局）

災害リスクの低減に寄与する生態系の役割を整理し、地域の将来像を描く中で生態系を活用した防災・減災を進める際に必要となる基本的な視点や活用手法について、事例を交えて紹介している。今後、生態系を活用した防災・減災を理解するための基礎資料として、また、地域の計画に生態系を活用した防災・減災を盛り込む際の参考資料として活用することが想定されている。

1. 4 本資料の対象災害

本資料が対象とする災害は、地震によって発生する津波に起因する災害である。

次章で述べるように、「自然・地域インフラ」を活用した防災・減災施策には、津波を減勢させ、被害を軽減および避難時間を確保するもの、避難場所として被害を軽減するもの、津波の被害や痕跡、津波から命を守る知恵を示し、避難を促進するものがある。これらは、津波だけではなく、高潮・高波による災害や洪水氾濫など水害全般に活用できるものと考えられる。他の災害への活用については、今後の課題とする。

2. 自然・地域インフラの概念と留意点

2. 1 自然・地域インフラの概念と減災効果

2. 1. 1 本資料における自然・地域インフラの概念

前章で述べたように、砂丘や盛土構造物が津波に対して減災効果を発揮することがある。これらは減災を目的として設置される社会基盤施設ではないが、そのような施設として捉えることでその減災効果をより確実に発揮できる可能性がある。

以上のことをふまえ、本資料では、社会基盤施設として捉えることができる、自然に形成された地物を「自然インフラ」と呼ぶ。また、「自然インフラ」の対義語として、長年に亘り存在し、地域に溶け込んでいる人工的な地物を「地域インフラ」と呼ぶ。さらに、「自然インフラ」と「地域インフラ」を合わせて「自然・地域インフラ」と呼ぶこととする。

本資料では、「自然・地域インフラ」のうち、津波に対して減災効果を有すると考えられる砂丘、及び旧堤・二線堤等の盛土構造物を対象とし、活用方法を検討する。

(1) 自然インフラ

日本においては、沿岸部にある砂丘・浜堤が津波に対して減災効果を有する自然インフラの代表例として考えられる。図-2.1 は、福本（1989）がまとめた長さ20 km以上の砂丘・浜堤の分布である。砂丘とは砂浜や浜堤・砂堤からの飛砂の堆積作用で発達した高地、浜堤とは波浪の作用により形成された微高地、砂堤とは波浪と風の作用によってできた微高地である。図から、日本の沿岸、特に外洋沿岸では砂丘・浜堤が広く分布していることがわかる。

図-2.2、2.3 は角田（1975）に掲載されている庄内平野の砂丘の平面図と断面図を示したものである。幅広い砂丘が沿岸に発達し、内陸側の砂丘は60 m 近い標高であることから、これらの砂丘が津波に対して背後地を守る自然インフラとして機能することが期待される。

なお、日本各地の沿岸にみられる砂丘や浜堤等の地形は、電子国土Web（色別標高図）で閲覧可能である。

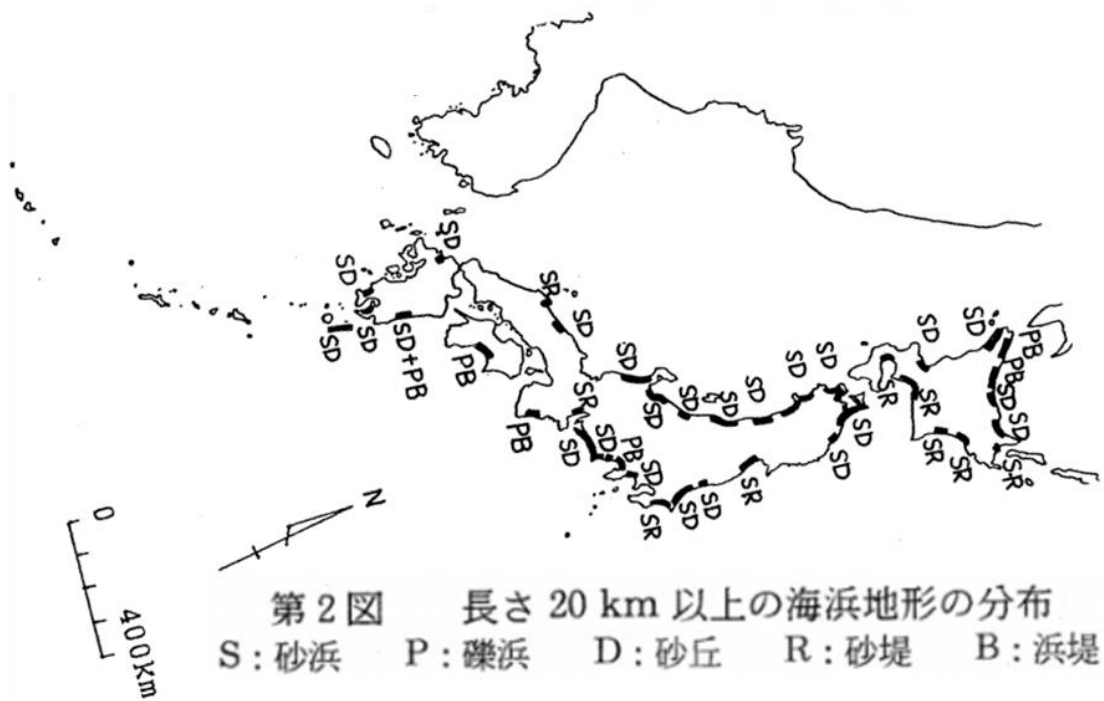


図-2.1 日本沿岸の砂丘、砂堤・浜堤（出典：福本（1989））

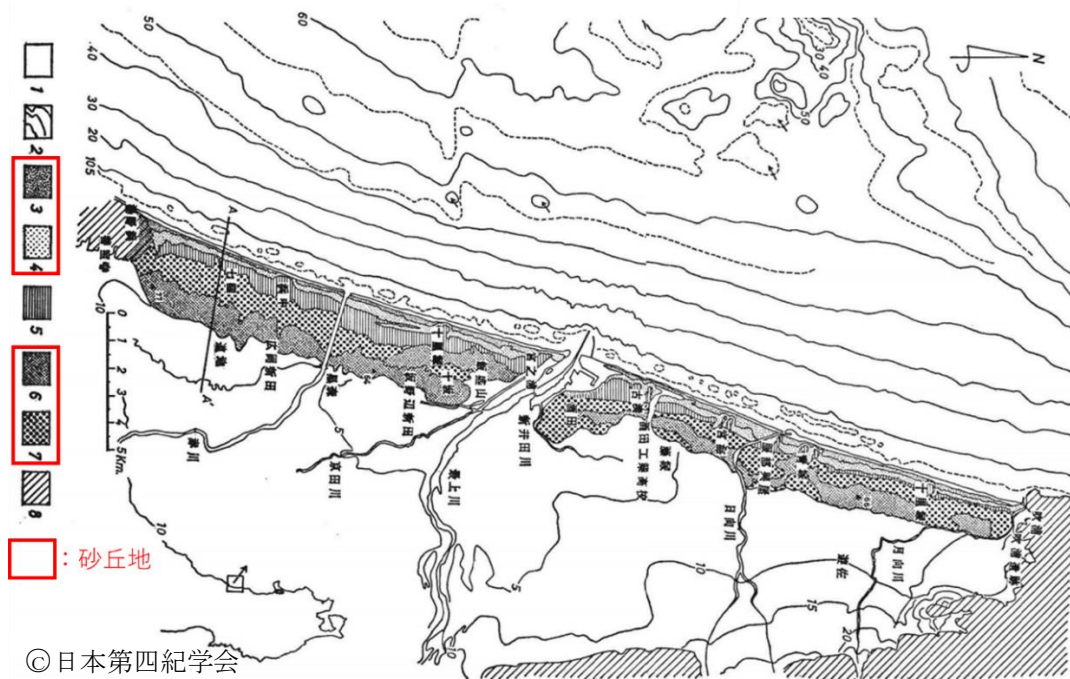


図-2.2 庄内平野砂丘平面図（凡例部分を加筆）（出典：角田（1975））

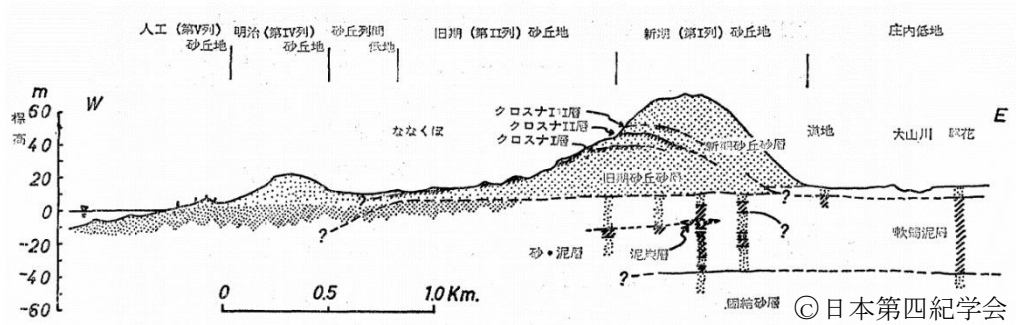


図 3 庄内砂丘地帯南部の地形・地質断面図 (多少、模式化してある)

図-2.3 庄内平野砂丘断面図 (出典：角田 (1975))

(2) 地域インフラ

東日本大震災では、保安林が漂流物を捕捉した例 (林野庁、2011)、公園の盛土が避難場所となった例 (一般社団法人日本応用地質学会、2017) が報告され、仙台市の復興計画では貞山運河の津波エネルギー減衰効果を期待している。これら人工的な樹林、盛土、水路も被害を小さくする効果を有していると考えられる。貞山運河はラグーン地形を利用した運河・排水路であり、保安林は浜堤上に植樹されたものである。

このような地物は、長年に亘り存在し、地域に溶け込んでいるものが多いため、津波に対する減災効果が地域において認識されていない恐れがある。

例えば、図-2.4に示す葛西海岸の周辺では、区画整理事業とともに海岸・公園事業が一体的に整備される際、旧海岸堤防は撤去されず道路の一部として有効活用され、現海岸堤防の海側には海浜公園 (砂浜) が整備された。その結果、

- ①海浜公園 (砂浜による消波効果)
- ②現海岸堤防
- ③旧海岸堤防 (二線堤的役割：図-2.5)

と三重の防護ラインが形成されている。これらのうち、①と③は地域インフラに該当する。



「国土地理院の電子地形図（タイル）に海岸堤防の位置等を追記して掲載」

図-2.4 葛西海岸周辺の地域インフラ



図-2.5 旧海岸堤防（黄枠）を分離帯として活用した例

また、津波に対する盛土構造物の活用事例は全国各地に見られる（常田・秦、2016）このほか、津波災害は低頻度であり、地域の中で教訓を伝承し風化させないことが減災において重要なことは以前から指摘されている。その教訓の伝承に資する石碑や施設は津波来襲時の住民避難の促進を通じて減災効果を発揮しうることから、広い意味では地域インフラに含まれるが、本資料では取り扱わない。

2. 1. 2 自然・地域インフラが有する減災効果

(1) 自然・地域インフラが有する津波の減災効果の分類

自然・地域インフラに期待される減災効果は、以下の2つに分類できる。

- ・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
- ・津波からの避難場所となり、被害を軽減する効果

【津波を減勢させる自然・地域インフラ】

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、被害を軽減する、あるいは避難時間を確保する役割を果たす（図-2.6）。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（首藤、1985）。

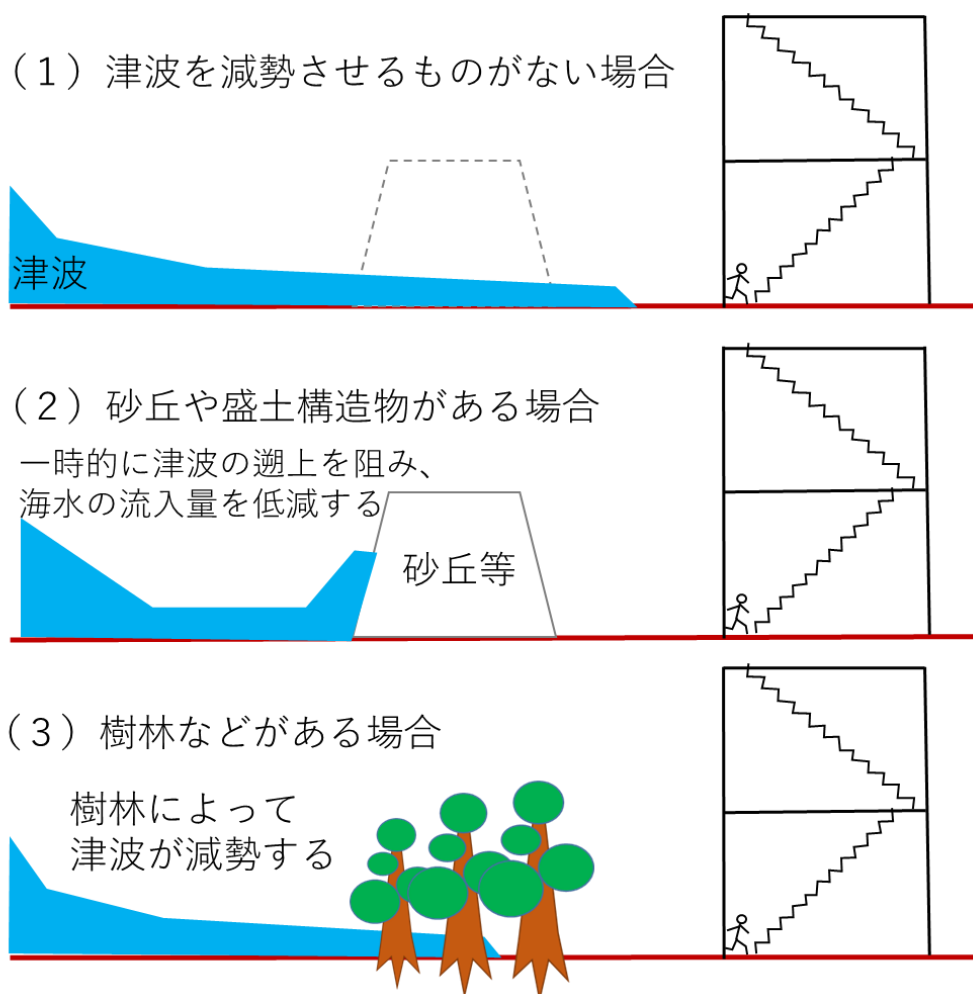


図-2.6 津波に対する減勢効果の例

【津波からの避難場所となる自然・地域インフラ】

津波の水位より高い高台は、津波からの避難場所となりうる（図-2.7）。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して活用できる。

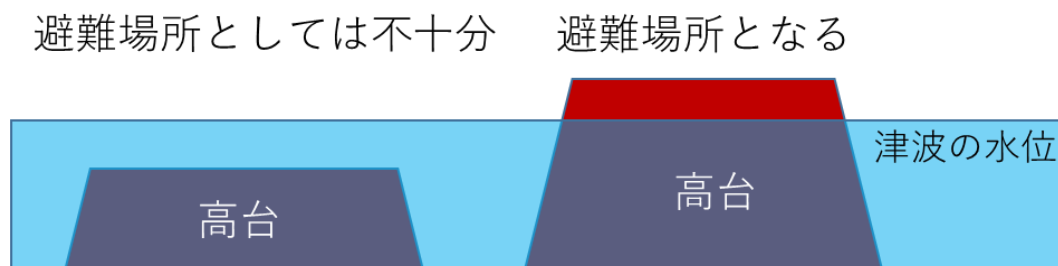


図-2.7 避難場所となる自然・地域インフラ

(2) 東日本大震災における自然・地域インフラによる減災効果の事例

東日本大震災時に、津波の高さが比較的低かった地域では、砂丘と海岸林によって背後地の津波の被害が軽減された事例が見られた。

たとえば、前川ら（2013）では、宮城県名取市で 5,253 棟と千葉県旭市において 3,478 棟の建物被害状況および浸水高の現地調査を実施し、浸水高と同程度の高さの砂丘の背後地では、砂丘が低い地域の背後地に比べて家屋の被害が小さかったことを示した。

また、「東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会」（林野庁、2011）において、海岸林が津波漂流物を補足した事例（青森県三沢市、福島県いわき市）、人工砂丘により津波が減勢した事例（北茨城市、大洗町）が報告されている。

一方、自然・地域インフラの減災効果は、津波が高いと限定的となる場合もある。岩手県の陸前高田市の高田海岸では、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、標高 12m あまりの小高い丘となっていたが、東日本大震災ではこの高台の頂上まで完全に呑み込み、この高台に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. 1. 3 本資料で対象とする自然・地域インフラ

本資料では、自然・地域インフラのうち、津波を減勢する効果を有する砂丘、旧堤、二線堤等を対象とし、それらに分布する植生も含むものとする。

これらの地物が有する減災効果を評価する方法や津波防災地域づくりに活用する方法は、これまで十分に整理されていなかった。

なお、海岸堤防のように、津波の侵入を防ぐことを主目的として建設され、防災以外の用途を見込んでいない施設は本資料では対象としない。

2. 2 自然・地域インフラの活用における技術的留意点と法制度上の位置づけ

2. 2. 1 技術的観点からみた自然・地域インフラの活用における留意点

自然・地域インフラには、津波を減勢することによる背後地への減災効果がある一方で、その効果には限界があることから、減災効果を見込む際には十分留意する。

東日本大震災では、大きな津波外力に対して、効果を十分に発揮できなかった事例が存在した。大きな外力に対して、津波の減勢効果が限界に達し、効果を発揮できない場合も起こりうる。たとえば、樹木は、津波来襲時に幹折れ・根返りしてしまう可能性がある。また、砂丘などは津波によって侵食され、頂部の高さが低くなる可能性もある。そのため、推進計画などでは減災効果の発揮限界を評価することも重要となる。

津波の減勢効果の発揮限界を評価した研究としては、次に挙げるものがある。たとえば、原田・河田（2005）は、河道内の樹木の引き倒し試験の式を用いて、樹木の倒伏モーメントを引っ張り試験から評価している。森林保全・管理技術研究会（2012）の報告書は直径15cm以上のクロマツの引き倒し試験の結果を示している。また、原野ら（2016）は、水理実験により、砂丘等の植生による侵食の抑制効果と、その効果の発揮限界を評価している。浜口ら（2016）は、原野ら（2016）の実験結果を参考にして植生の根による侵食の抑制効果とその効果の発揮限界を考慮した地形変化計算を行っている。

以上の既往研究に示されているように、自然・地域インフラの減災効果には限界があることをふまえ、津波防災への活用を検討する必要がある。

なお、東北地方太平洋沖地震の際に、根返りや幹折れで発生した流木により、海岸防災林の背後の被害が助長された可能性がある指摘されている（東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会；2012）。このように、自然・地域インフラの減災効果の発揮限界を超えるような外力が作用すると、かえって被害が拡大する恐れがあることにも留意する必要がある。

2. 2. 2 自然・地域インフラの法制度上の位置づけ

自然・地域インフラの保全・改良は、津波防災地域づくりに関する法律など関連する法律の定めに従って行うことが有効である。

本資料で対象とする砂丘、旧堤、海岸林等には、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指定津波防護施設に指定できるものもある。

自然・地域インフラに関連する主な法律の概要を以下に整理する。

(1) 津波防災地域づくりに関する法律

津波防災地域づくりに関する法律では、浸水想定区域内に存在する、津波による人的災害を防止し、又は軽減するために有用であると認められる施設を、都道府県知事が指定津波防護施設に指定することができることとされている。また、都道府県知事は、当該指定津波防護施設の敷地である土地の区域における土地の掘削、盛土又は切土その他土地の形状を変更する行為をしようとする者から届出があった場合において、当該指定津波防護施設が有する津波による人的災害を防止し、又は軽減する機能の保全の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こととされている。

以上のように、指定津波防護施設への指定により、本資料で対象とする自然・地域インフラを津波防災地域づくりに関する法律の中で位置づけることができる。

なお、津波防護施設とは、「盛土構造物、閘門その他の政令で定める施設（海岸保全施設、港湾施設、漁港施設及び河川管理施設並びに保安施設事業に係る施設であるものを除く。）であって、津波防災地域づくりに関する法律（平成二十三年十二月十四日法律第二百二十三号）第八条第一項に規定する津波浸水想定を踏まえて津波による人的災害を防止し、又は軽減するために都道府県知事又は市町村長が管理するもの」であり、指定津波防護施設とは別の施設であることに留意する。

(2) 海岸法

海岸法では、海岸管理者は、海岸保全区域内における土石の採取、他の施設等の新設や改築、土地の掘削、盛土、切土等の行為を制限することができることとされている（第8条）。海岸保全区域内に存在する自然・地域インフラの保全には、この規定を活用することが考えられる。

また、海岸管理者が管理する海岸保全施設その他の施設又は工作物を損傷することは禁じられている（海岸法第8条2）。海岸保全施設とされている自然・地域インフラについては、この規定により保全を図ることが可能である。

なお、海岸保全施設とは「海岸保全区域内にある堤防、突堤、護岸、胸壁、離岸堤、砂浜（海岸管理者が、消波等の海岸を防護する機能を維持するために設けたもので、主務省

令で定めるところにより指定したものに限る。)その他海水の侵入又は海水による侵食を防止するための施設(堤防又は胸壁にあつては、津波、高潮等により海水が当該施設を越えて侵入した場合にこれによる被害を軽減するため、当該施設と一体的に設置された根固工又は樹林(樹林にあつては、海岸管理者が設けたもので、主務省令で定めるところにより指定したものに限る。))」をいう。

(3) 森林法

森林法では、風害、水害、潮害、干害、雪害又は霧害の防備を目的とした森林を保安林として指定できるとされている。波や高潮の勢いを弱め、住宅などへの被害を防ぐ保安林を特に潮害防備保安林と呼ぶ。保安林においては、都道府県知事の許可を受けなければ、立竹を伐採し、立木を損傷し、家畜を放牧し、下草、落葉若しくは落枝を採取し、又は土石若しくは樹根の採掘、開墾その他の土地の形質を変更する行為をしてはならないとされている。

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。

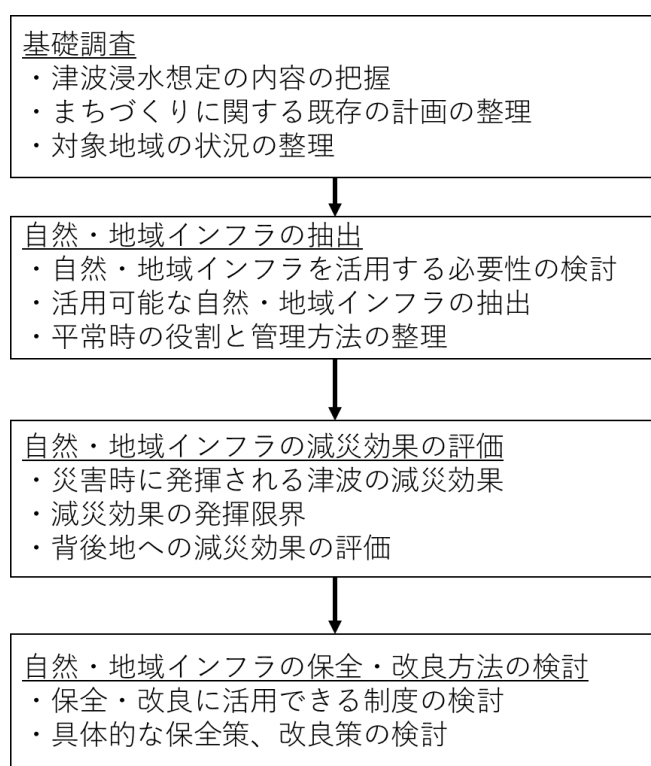


図-3.1 検討の手順

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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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、障害者施設等の把握） ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 関係する法制度
	具体的な保全 策、改良策の 検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 of 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、障害者施設等の把握）
- 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、津波浸水想定図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ることができる。

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）

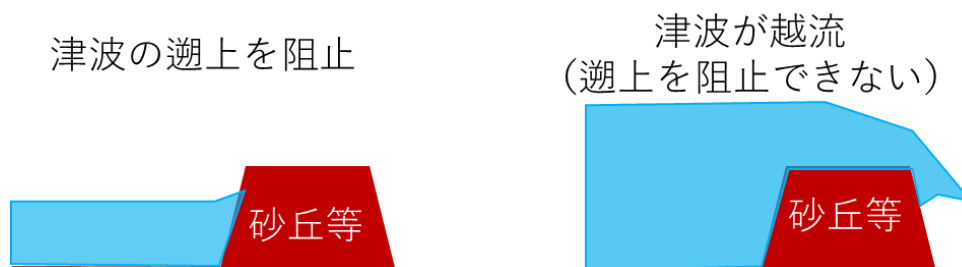


図-3.2 津波の遡上を阻止できる例とできない例

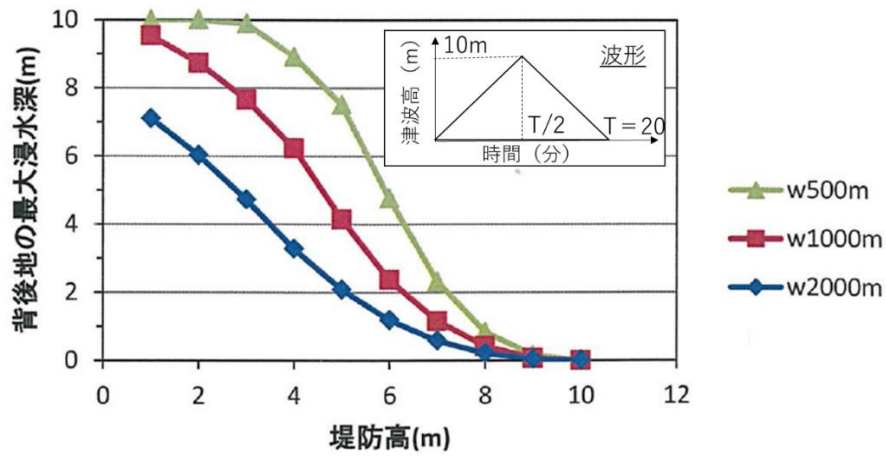


図-3.3 感度分析の結果

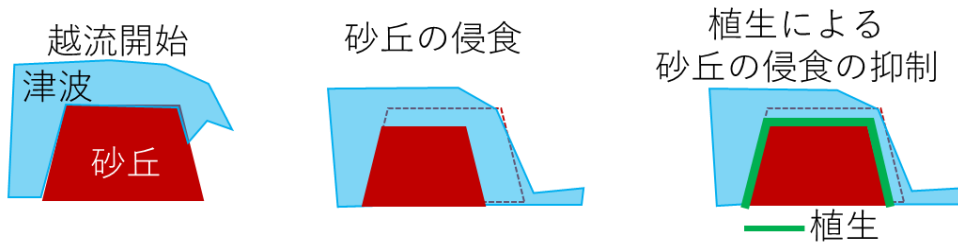


図-3.4 津波による砂丘の侵食

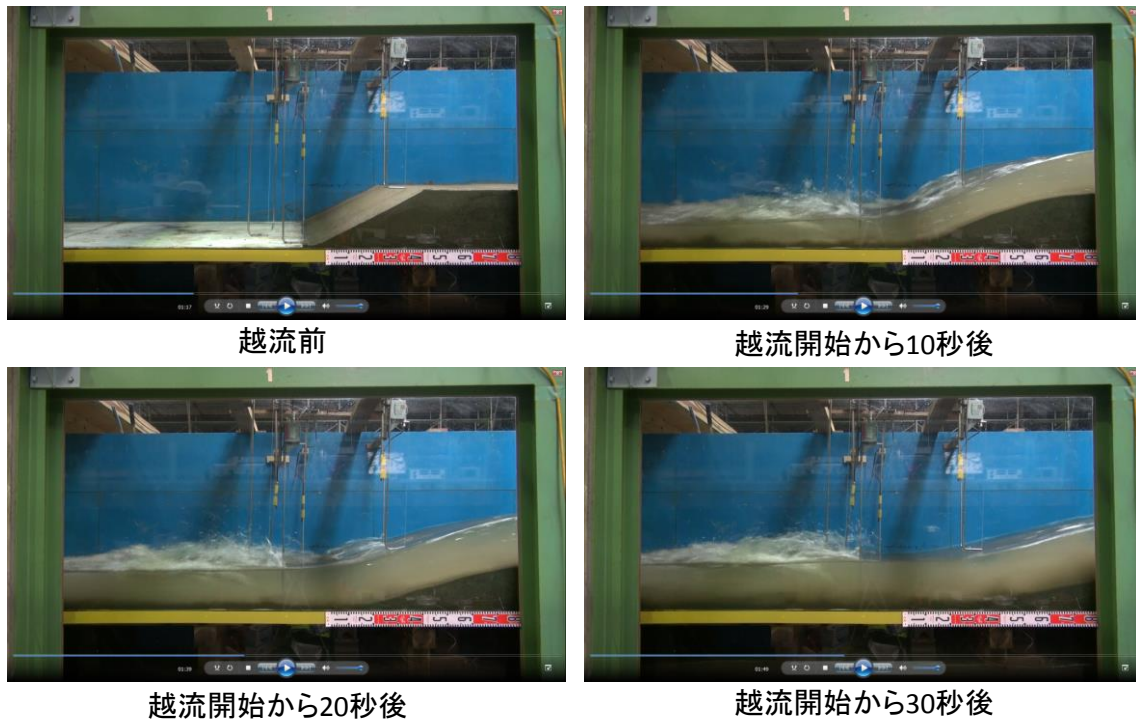


図-3.5 越流時の盛土の侵食に関する実験のスナップショット

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。

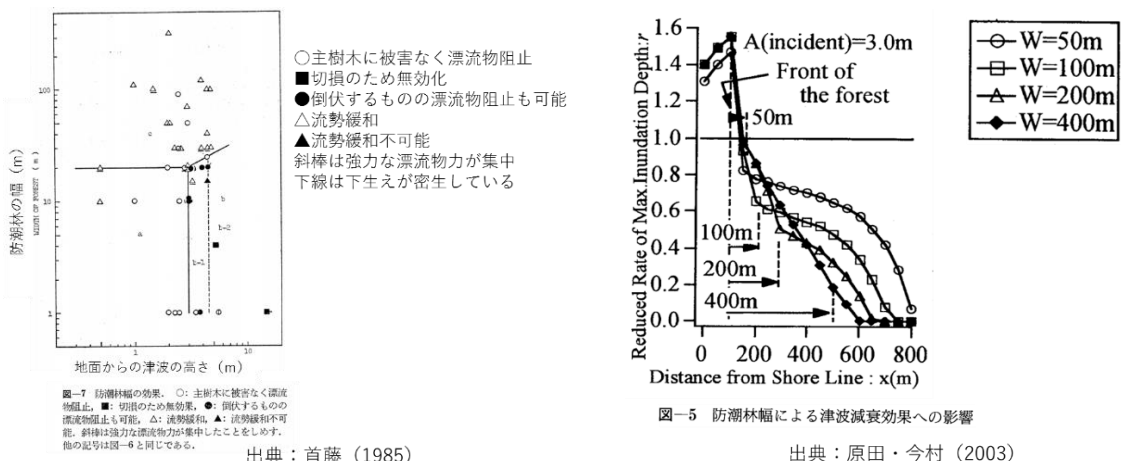


図-3.6 防潮林の減災効果に関する研究例

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の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。

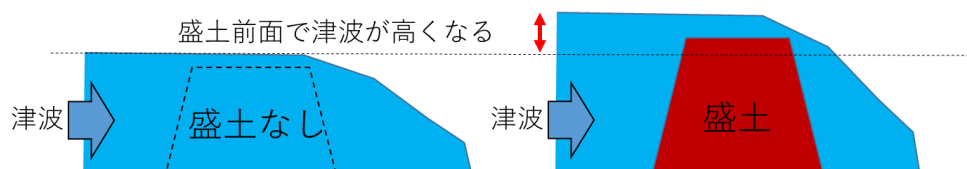


図-3.7 盛土によって盛土前面で津波が高くなるイメージ図

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）。

また樹木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に考慮するとともに、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

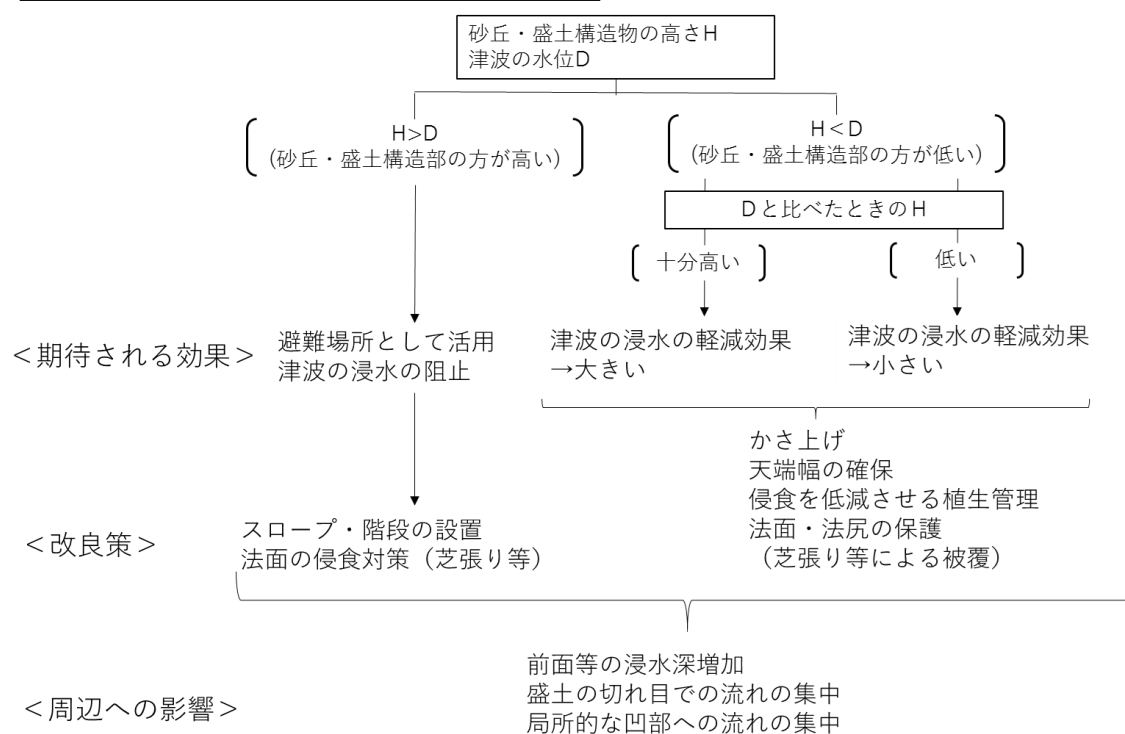
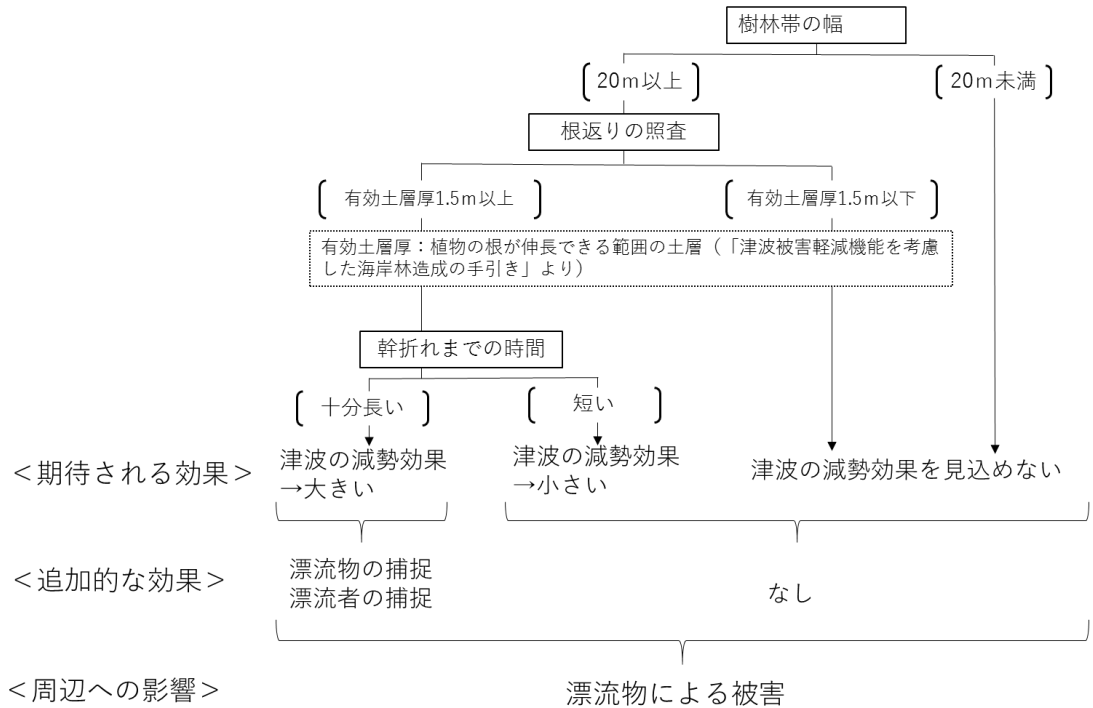


図-3.8 自然・地域インフラとなりうる地物の減災効果の検討フロー (津波来襲時の砂丘・盛土構造物の効果と改良策)

津波来襲時の樹林地土部分の効果



* 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）

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の流れ

減災効果の評価に用いる津波浸水シミュレーションは、図-4.1のように、地震の断層モデルから計算された初期水位のもとで、外洋から沿岸への津波の伝播・到達、沿岸から陸上への津波の遡上という一連の過程を連続して計算するものである。その過程において、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、またその結果は津波の伝播・遡上計算に反映される。

津波に対する砂丘等の減災効果は、砂丘等の有無や砂丘等の植生等の条件を変えて複数ケースの津波浸水シミュレーションを行い、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評価できる。

なお、砂丘の高さを規定すると考えられる砂丘上の1地点における地形変化シミュレーションをもとに破堤の遅れ時間を設定した津波伝播・遡上計算によって減災効果を評価することもできる。

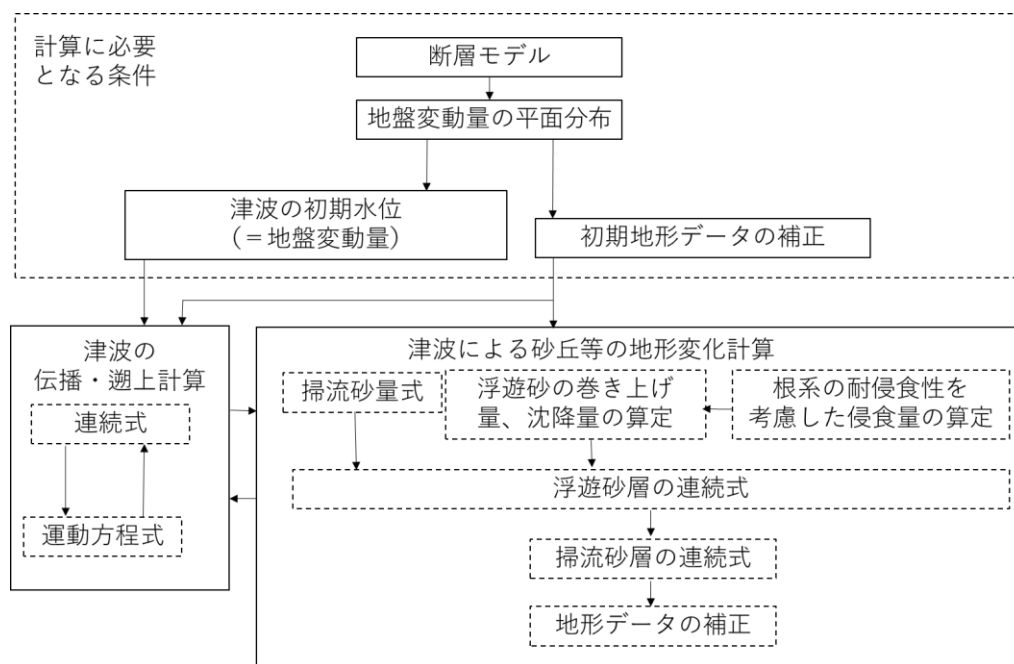


図-4.1 地形変化を考慮した津波浸水シミュレーションのフロー

津波に対する砂丘等の減災効果は、砂丘等の高さや幅によって陸側への津波の遡上を抑制することに発揮される。砂丘等の高さや幅は、津波が越流する際に砂丘等が侵食されることにより変化する。よって、津波に対する砂丘等の減災効果の評価においては、通常の津波浸水シミュレーションとは異なり、砂丘等の侵食を考慮して津波の伝播・遡上計算を行う必要がある。

また、津波越流時の砂丘等の侵食は、後述するように、砂丘等の表層における根量密度の深度分布によって変化する。根量密度の深度分布は、砂丘等の樹林の管理状況によって変わりうる。

津波に対する砂丘等の減災効果は、異なる条件で実施する津波浸水シミュレーションで得られる浸水範囲や最大浸水深等の差で表される。津波浸水シミュレーションでは、さらに砂丘や樹林の管理状況をふまえて、地形や植生の条件を複数設定して、条件の違いによる減災効果の変化を把握することができる。

なお、簡易な評価方法として、砂丘の高さを規定すると考えられる砂丘上の1地点の流速と水深から摩擦速度を算定し、4.4に示す植生を考慮した地形変化計算を行い、侵食限界に達した時点で破堤とみなすこともできる。

4. 2 津波の伝播・遡上計算に必要となる条件

津波の伝播・遡上計算には、津波の初期水位と、地盤変動量に応じて補正された地形データが必要である。

津波の初期水位の算定には、断層モデルから算定される地殻変動量の平面分布のうち、海底での鉛直変位を海面に与える方法を用いることが多い。

地形データの補正は、断層モデルから算定される地殻変動量により行うことが多い。

詳細については、「津波浸水想定の設定の手引き」が参考になる。

(1) 津波の初期水位

津波伝播・遡上計算における津波の初期水位は、初期条件として与える方法と境界条件として与える方法とがある。前者は、計算領域内で津波を発生させる方法で、地震の断層モデルから計算される海底基盤の鉛直変位分布をその直上に与える方法が一般的である。

(2) 断層モデルと地盤変動量の平面分布の設定

断層モデルには、中央防災会議や地震調査研究推進本部等の公的な機関が妥当性を検証したものとして発表しているものがある。また、鉛直変位分布を与える方法として、Mansinha and Smylie(1971)、Okada(1985)、Okada(1992)の方法がある。

(3) 初期地形データの補正

地震による陸域や海域の沈降が想定される場合、断層モデルから算出される沈降量を陸域や海域の地形データの高さから差し引いた初期地形データを使うことが多い。

「津波浸水想定の設定の手引き」では、地震による陸域の隆起が想定される場合には断層モデルから算出される隆起量を考慮せず、海域の隆起が想定される場合には断層モデルから算出される隆起量を考慮することを基本としている。

(4) 留意事項など

断層モデルの設定時の留意事項や潮位の取り扱いなどは「津波浸水想定の設定の手引き」に詳細が書かれている。

4. 3 津波の伝播・遡上計算

津波の伝播・遡上計算は、海底での摩擦及び移流項を考慮した非線形長波理論（浅水理論）によることが多い。ただし、深い海域においては線形長波理論を適用できる。

また、砂丘等の侵食による津波の遡上の変化を考慮できるように、津波の伝播・遡上計算に用いる地形データに砂丘等の侵食計算の結果を適宜反映する必要がある。

なお、越流に対する樹林の地上部分の効果を考慮するには、運動方程式において樹林の胸高直径と分布密度をふまえた等価粗度係数を設定する、あるいは抗力に係る項を追加するとともに、樹林が倒伏した後はその効果を除去する処理を行う必要がある。

連続式および運動方程式、境界条件等の詳細は、「津波浸水想定の設定の手引き」を参照できる。

(1) 津波の伝播・遡上計算の概要

津波の伝播・遡上計算は、波源域で発生した津波が海域を伝播し、沿岸に到達して陸域に遡上する一連の挙動を連続して取り扱うものである。津波浸水想定の設定のための津波浸水シミュレーションと同様に、計算の支配方程式は連続式と運動方程式であり、運動方程式には非線形長波理論を採用することが多い。

平面二次元の非線形長波理論では、鉛直方向の流速は0と仮定され、水平方向の流速は断面平均流速となる。越流時における鉛直壁背後の鉛直方向の渦が表現できないことや、地形の勾配が大きい箇所では流速や遡上高の精度が必ずしも良くないことに留意する必要がある。

(2) 津波の伝播・遡上計算への侵食計算結果の反映方法

砂丘等の侵食計算結果で得られる侵食深を津波の伝播・遡上計算に反映するには、一定の時間間隔で地形データを変えながら伝播・遡上計算を行う必要がある。地形データを変更する間隔は、伝播・遡上計算の安定性などをふまえて設定される。

なお、砂丘の陸側斜面の勾配が急な場合、長波理論では陸側斜面上での津波の流れを十分に再現できないことから、計算の効率化のため、計算において砂丘を地形ではなく計算格子間の構造物として取り扱い、後述する侵食限界まで砂丘が侵食された時点で砂丘が無くなる処理を行う方法も考えられる。

(3) 樹林地上部分の津波減勢効果の評価方法

樹林の幹等の地上部分には、津波の流れを減勢する効果がある。しかし、津波の水位の上昇や流速の増加によって、樹林に作用する流体力のモーメントが大きくなると、樹林が倒伏することがあり、その場合、津波を減勢する効果はなくなる。そこで、(3)では樹林の地上部分による減勢効果の評価方法について記述し、(4)では、樹林の倒伏モーメントの評価方法について説明する。

樹林の地上部分による津波の減勢効果は、粗度係数で考慮されるか、抗力に関する項を運動方程式に追加する形で考慮される。

樹林の胸高直径と分布密度をふまえた等価粗度係数 n_{forest} については、原田・河田 (2005) によって以下のような関係が示されている。

$$n_{forest} = \left[\frac{C_{Dtree}}{2g} \left(\frac{Num_{tree}}{dx dy} \right) AD^{1/3} \right]^{1/2}$$

ここで、 C_{Dtree} は樹木の抗力係数、 g は重力加速度 (m/s^2)、 $Num_{tree}/dx dy$ は単位面積あたりの樹木の本数 (本/ m^2)、 A は樹木の投影面積 (m^2)、 D は津波の浸水深 (m) である。なお、 C_{Dtree} は円柱を仮定すると 1.2 となる。

一方、抗力に関する項を追加した運動方程式として、原田ら (2000) によって下式が提案されている。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} + F_x = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} + F_y = 0$$

$$F_x(t) = C_M \frac{V_{obs}}{V} \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{obs}}{\Delta x \Delta y} \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2}$$

$$F_y(t) = C_M \frac{V_{obs}}{V} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{obs}}{\Delta x \Delta y} \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^2}$$

ここで、 M 、 N はそれぞれ、 x 方向、 y 方向の線流量 (m^2/s)、 η は静水面からの水位変動量 (m)、 n はマンニングの粗度係数、 C_M は付加質量係数、 C_D は抗力係数、 V は防潮林の存在する区間における水面下の全体積 (m^3)、 V_{obs} 、 A_{obs} は体積 V 中の防潮林の占める体積 (m^3) および防潮林の投影面積 (m^2) である。

(4) 樹林の倒伏限界

樹林の地上部分は、津波の流体力によって倒伏が生じる。その倒伏限界は、流体力によるモーメントによって評価される。今井ら (2013) および森林保全・管理技術研究会 (2012) によって下式が提案されている。

$$M_c = a D_c^b$$

ここで、 M_c は倒伏限界モーメント ($KN \cdot m$)、 D_c は胸高直径 (cm)、 a 、 b は定数である。

今井ら（2013）では、高知県黒潮町入野松原における胸高直径 8 cm から 20cm のクロマツを対象とした引き倒し試験の結果から、倒伏限界モーメントは、胸高直径の 2 乗に比例する式を提案している。森林保全・管理技術研究会（2012）は、愛知県田原市栽培漁業センター内の直径 15cm から 29cm のクロマツを対象とし、胸高直径の 3 乗に比例する式を提案している。また、秋田県では胸高直径 5cm から 15cm の樹木を対象に引き倒し試験を行っており、クロマツについても引き倒し試験を実施している。これらの結果を図-4.2 にまとめる。

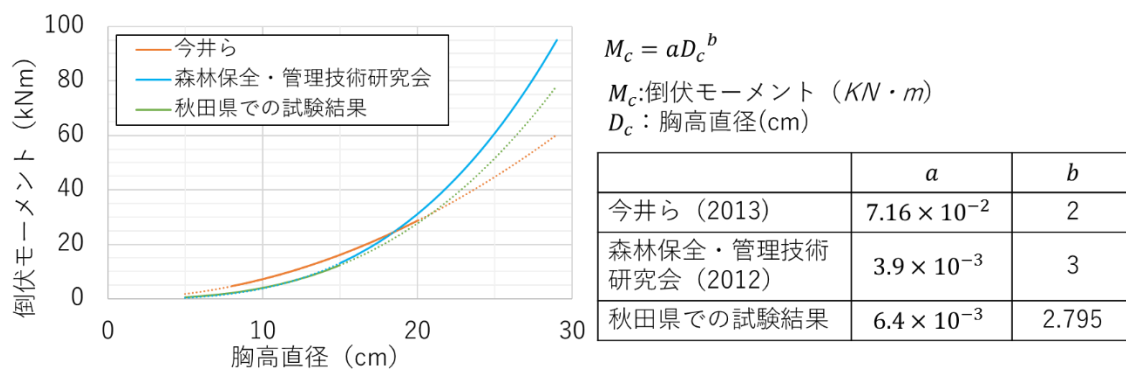


図-4.2 胸高直径と倒伏モーメントの関係式

4. 4 砂丘等の地形変化計算

砂丘等の地形変化は津波の伝播・遡上計算で得られる流速等を用いて計算され、その結果は一定の時間間隔で津波の伝播・遡上計算に反映される。地形変化計算は掃流砂層と浮遊砂層の計算から成り、各格子における掃流砂量、浮遊砂巻き上げ量および沈降量を計算し、浮遊砂層の連続式、掃流砂層の連続式を解くことで地形変化が計算される。

(1) 砂丘等の表層に植生がある場合の侵食の過程

図-4.3のように、砂丘等の表層に植生がある場合、津波による侵食は、植生の根系が密に分布している深さまでは比較的緩やかに進み、その深さを超えると大きく進んでいく傾向にある。そこで、植生の根系が密に分布している深さを侵食限界と定義し、侵食深が侵食限界に達するまでは根系の耐侵食性を考慮できる侵食算定式を用い、侵食限界に達した後は根系の耐侵食性を考慮しない流砂の連続式により算定することが考えられる。

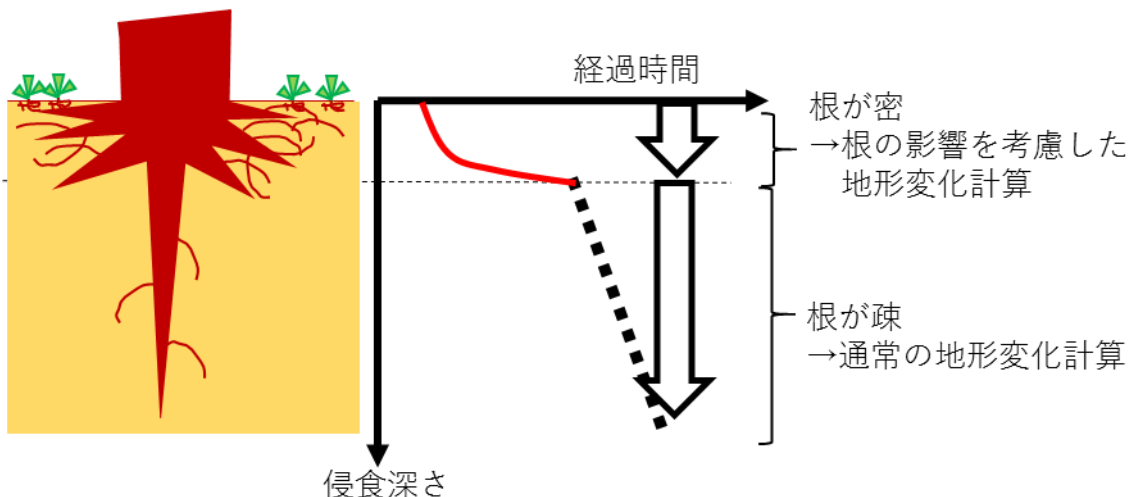


図-4.3 表層に植生がある場合の侵食の過程の考え方

1) 根系による侵食の抑制効果を考慮した侵食量の算定式

河川堤防法面に繁茂する植生を対象に、根系による侵食の抑制効果を考慮できる侵食深の算定式として、宇多ら（1997）は以下の式を提案している。

$$z = A \log t + B$$

$$A = \alpha u_* + \beta$$

ここで、 z は侵食深 (cm)、 B は定数、 α 、 β は根系の耐侵食性を表す定数、 u_* は摩擦速度 (m/s)、 t は通水時間 (分) である。なお宇多ら（1997）では B および β を 0 としている。

上記算定式は摩擦速度が時間的に変化しない場合に適用できる式であるが、時間的に摩擦速度が変化する場合については、単位時間あたりの侵食量（以後、侵食速度）の計算を行う下式を宇多ら（1997）は提案している。

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

図-4.4 は、砂丘等における植生を有する現地地盤を対象に、津波越流時を模した高流速による侵食状況を再現した水路実験で得られた α と細根密度（径 5 mm 以下の根の分布密度）との関係を示している（図の導出過程は付録 3 を参照）。図中には、原野ら(2016)と同様に一定の摩擦速度を用いて α を求めた結果と、河川堤防法面に繁茂する植生を対象に宇多らが示した α の上限値を表す点線（ $\alpha = -50\sigma + 9$ ）も示している。本実験の α は、宇多ら(1997)の上限値に対し、細根密度 0.01 g/cm³ 未満では大きく、細根密度 0.01 g/cm³ 以上では小さい。宇多らが上限値を求めるに用いた実験の供試体は細根密度（平均根毛量）0.02~0.08 g/cm³ のものが多いことから、本実験の細根密度 0.01 g/cm³ 以上の α は宇多ら(1997)と整合している。ただし、本実験のデータが少ないことなどことから、防災上の目的から侵食計算を行う場合には、細根密度 0.01 g/cm³ 以上における α は宇多らの上限値を用いた方がよい。

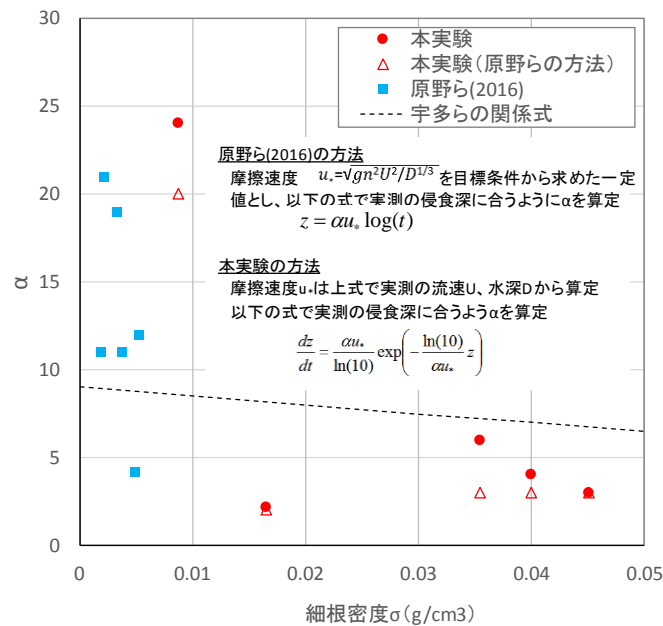


図-4.4 α と細根密度の関係

2) 侵食限界

侵食限界とは、根系による侵食の抑制効果を発揮される地表近くの層の厚さであり、根系が密に分布する層の深さとほぼ一致している（原野ら(2016)）。砂丘等の侵食計算においては、侵食限界は、図-4.5のように、現地調査で把握された根系の分布密度を表す根量密度から設定することができる。

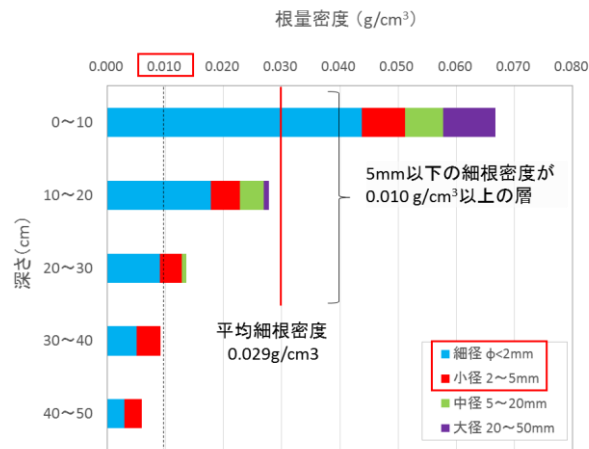
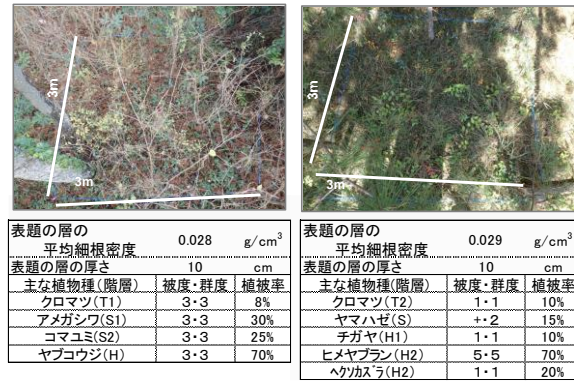
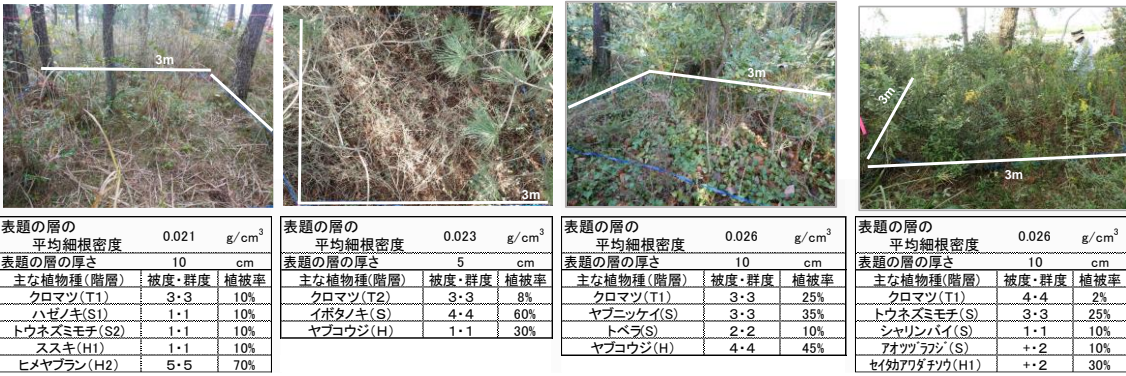
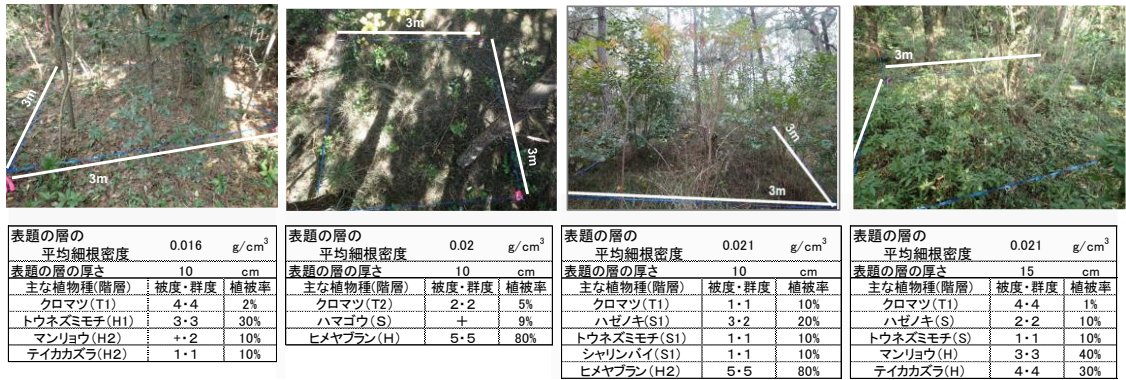


図-4.5 侵食限界の設定例。径は根の直径。

なお、根量密度の把握には現地での根系の採取やその計量が必要である。その測定例を参考として図-4.6 および図-4.7 に示す。図中の平均細根密度及びその厚さは、細根密度が比較的高い層（根径 5mm 以下の細根密度が 0.01g/cm³ より高い層）を対象に求めたものである。ただし、根径 5mm 以下の細根密度が 0.01g/cm³ より高い層がない場合には、その密度が上下の層で半減する深さまでを対象に、平均細根密度及びその厚さを求めた。



階層: 高い順に
 T1: 高木層 / T2: 亜高木層
 S1: 低木層 / S2: 低木層
 H1: 草本層 / H2: 草本層

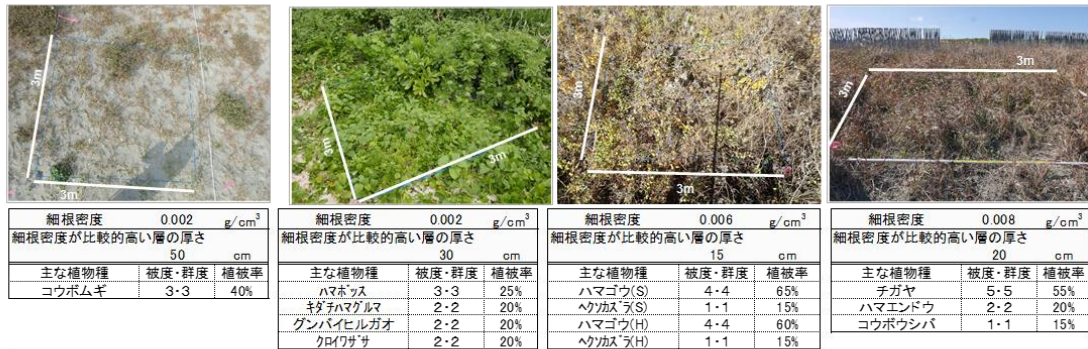
なお、木本類の階層別の目安は、おおむね以下のとおりである。
 高木層: 8m以上。
 亜高木層: 4m以上8m未満
 低木層: 4m未満

被度・群度については、ブロンブランケの被度・群度(次頁参照)により調査を行った。
 植被率については各階層での植被率である。

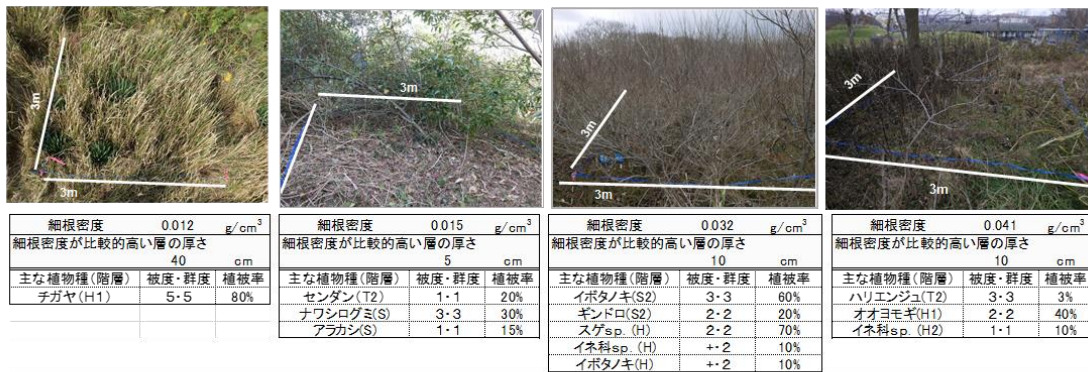
平成28年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル(河川環境基図作成調査編) -VIII-20 p より

図-4.6 根径 5mm 以下の細根密度が 0.01g/cm³ より高い層の平均細根密度およびその厚さと地上の植生状況(クロマツ植林のみ)

平均細根密度が0.01g/cm³未満の事例



平均細根密度が0.01~0.05g/cm³ の事例



細根密度が0.05g/cm³以上の事例

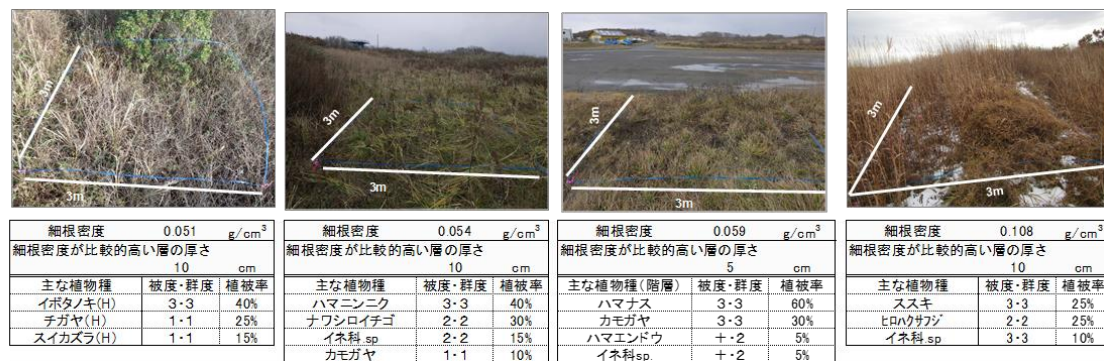


図-4.7 根径5mm以下の細根密度が0.01g/cm³より高い層の平均細根密度およびその厚さと地上の植生状況(クロマツ植林以外)

(2) 砂丘等の表層に植生がない場合の侵食の過程

1) 掃流砂および浮遊砂を考慮した流砂の連続式

地形変化計算では、掃流砂層の連続式と、浮遊砂層の移流式(連続式)を用いる。掃流砂層および浮遊砂層の連続式(高橋(1999)、藤井(2009))を以下に示す。

$$\frac{\partial Z_B}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} - P + w\bar{c} + \frac{\partial \bar{C}D}{\partial t} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \bar{C}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{C}M}{\partial x} + \frac{\partial \bar{C}N}{\partial y} - P + w\bar{C} = 0$$

ここで、 Z_B は基準面からの底面の高さ、 λ は底面砂の空隙率、 q_{Bx} 、 q_{By} は掃流砂量の x 、 y 方向成分、 \bar{C} は平均浮遊砂濃度、 M 、 N は津波の伝播・遡上計算から求められる x 、 y 方向成分の線流量、 D は全水深、 P は浮遊砂の巻上量、 w は沈降速度である。

なお、 $w\bar{C}$ は沈降量を表しているが、沈降量を求める際に底面近傍の浮遊砂濃度を用いる手法もある。掃流砂層の連続式では、浮遊砂濃度の時間変化は他の項に比べて十分小さいため、考慮しない場合がある。また、浮遊砂層における連続式に、拡散による土砂の移動を考慮する方法や浮遊砂量の時間変化を考慮する方法もある。

2) 掃流砂量式と浮遊砂の巻き上げ量および沈降量

これらの連続式を解くためには、津波の伝播・遡上計算の他に、 q_B 、 P を求める必要がある。これらの求め方についていくつかの方法が提案されている。代表的な方法として、高橋（2011）、藤井ら（2009）の方法を紹介する。なお、高橋（2011）では、平坦な移動床上で造波機により流れを発生させ、シールズ数が最大4程度となる大きな外力のもとで砂の粒径に依存するパラメータを導出している。一方、藤井ら（2009）では防波堤に囲まれた港湾内の地形変化に関する水理実験によりシールズ数1以下の水理実験から砂の粒径に依存しないパラメータを導出している。

また、沈降量は、沈降速度と浮遊砂濃度から求められる。沈降速度は、Rubey(1933)を用いて求める方法が一般的である。

・高橋ら（2011）

$$q_B = \alpha \sqrt{sgd^2 \tau_*}^{3/2}$$

$$P = \beta \sqrt{sgd \tau_*}^2$$

ここに、 τ_* はシールズ数、 s は水中比重、 d は粒径、 α 、 β は水理実験から求められる、粒径に依存する係数である。高橋（2011）では、水理実験によって3つの粒径に応じて α と β の値を推定している。なお、ここで示す粒径は中央粒径である。

$$\begin{cases} \alpha = 5.6 \\ \beta = 7.0 \times 10^{-5} \end{cases} \quad (d = 0.166mm)$$

$$\begin{cases} \alpha = 4.0 \\ \beta = 4.4 \times 10^{-5} \end{cases} \quad (d = 0.267mm)$$

$$\begin{cases} \alpha = 2.6 \\ \beta = 1.6 \times 10^{-5} \end{cases} \quad (d = 0.394mm)$$

また、Sugawara et al. (2014) では、高橋ら（2011）を参考として、小さい流速では土砂が移動しないことを考慮して以下の式を提案している。

$$q_B = \alpha \sqrt{sgd^2} (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2}$$

$$P = \beta \sqrt{sgd} (\tau_* - \tau_{*c})^2$$

なお、陸前高田市において東北地方太平洋沖地震に起因する津波による地形変化の再現計算を行った山下ら（2015）においても上記の式が用いられている。

・藤井ら（2009）

掃流砂量の算定式は芦田・道上（1972）の式を用いて設定している。

$$q_B = 17\tau_*^{3/2} (1 - \tau_{*c}/\tau_*) \{1 - (\tau_{*c}/\tau_*)^{1/2}\} \sqrt{sgd}$$

ここに、 τ_{*c} は限界シールズ数である。

巻き上げ量の算定は池野ら（2009）で考案された式を対象としている。

$$P = a(v^2/sgd^3)^{0.2} \{(w^2/s\sqrt{sgd})^{0.8} (\tau_* - \tau_{*c})\}^2$$

ここに、 ν は動粘性係数である。また、係数 a は0.1～0.2の値をとる。

（3）摩擦速度の算定

1）摩擦速度の算定方法

地形変化計算では、流体の摩擦速度を計算する必要がある。摩擦速度は、流速の鉛直分布から求められる。しかし、非線形長波方程式では、流速の鉛直分布を一様と仮定しているため、津波の伝播・遡上計算によってもとめられた流速から摩擦速度を推算する必要がある。そのため地形変化計算においては、等流を仮定し、マニング式から摩擦速度を求めることが多い。

$$u_* = \sqrt{gn^2 v^2 h^{-1/3}}$$

ここに、 n は粗度係数、 v は断面平均流速、 h は水深である。

4. 5 砂丘等による減災効果の評価

津波に対する津波等の砂丘等の減災効果は、以下のような条件での津波浸水シミュレーションで得られる浸水域や最大浸水深の平面分布等を比較して評価される。

・現状

・維持管理が悪い場合（砂丘等の低下や寸断、耐侵食性の低下など）

・効果を高める場合（砂丘等のかさ上げ、耐侵食性の向上など）

津波による地形変化計算で考慮する植生条件は、樹林地上部分による津波の減勢効果と、根系による砂丘の侵食抑制効果である。樹林地上部分の津波減勢効果および倒伏の評価方法については、4. 3 (3)、(4)、根系による砂丘の侵食抑制効果とその効果の発揮限界の評価方法については、4. 3 (2)に記載されている。なお、評価に用いるための定数は、現地踏査や想定している植生の状況から決定する。

砂丘等の背後地への減災効果は、地形変化計算を行わずに簡易な方法で試算することもできる。その方法では、砂丘の減災効果はその高さによるものと仮定し、津波の伝播・遡上計算において、砂丘を堤防と同様に計算格子間に配置する線的構造物として考慮し、一定時間後に倒壊させる（高さを0とする）ことで、砂丘の減災効果の発揮限界も評価される。倒壊に至るまでの時間の設定に用いる砂丘上の代表地点の侵食深は、地形変化を考慮しない津波の伝播・遡上計算から得られる流速と水深、根系の耐侵食性を表す α 、粗度係数 n を用いて算定し、その侵食深が侵食限界を超えた時間を倒壊に至る時間とする。なお、代表地点は砂丘上で最も摩擦速度が大きくなる（流速が大きく、水深が浅くなる）と考えられる法尻付近とすることが考えられる。

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（図-4.8）。また、浸水域の面積や浸水深の低減のほか、浸水域内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。

三陸沿岸の地形をモデルとして行った砂丘の減災効果の評価の例を図-4.9に示す。侵食により津波越流開始から砂丘が消失するまでの時間を5ケース設定して津波浸水シミュレーションを行い、浸水深2m以上となる浸水面積の感度分析を実施したものである。この例では、越流開始から2分後に砂丘が消失する現状に対して、砂丘の管理を良くすることで越流開始から4分後に砂丘が消失する状態になれば、浸水深2m以上の面積が大きく減少している。なお、この図は全体の浸水面積に着目したものであるが、浸水面積が減っても局所的に浸水範囲が広がるケースもあり得る。そのような局所的な浸水範囲の変化は浸水域を平面図上に示すことで確認することができる。

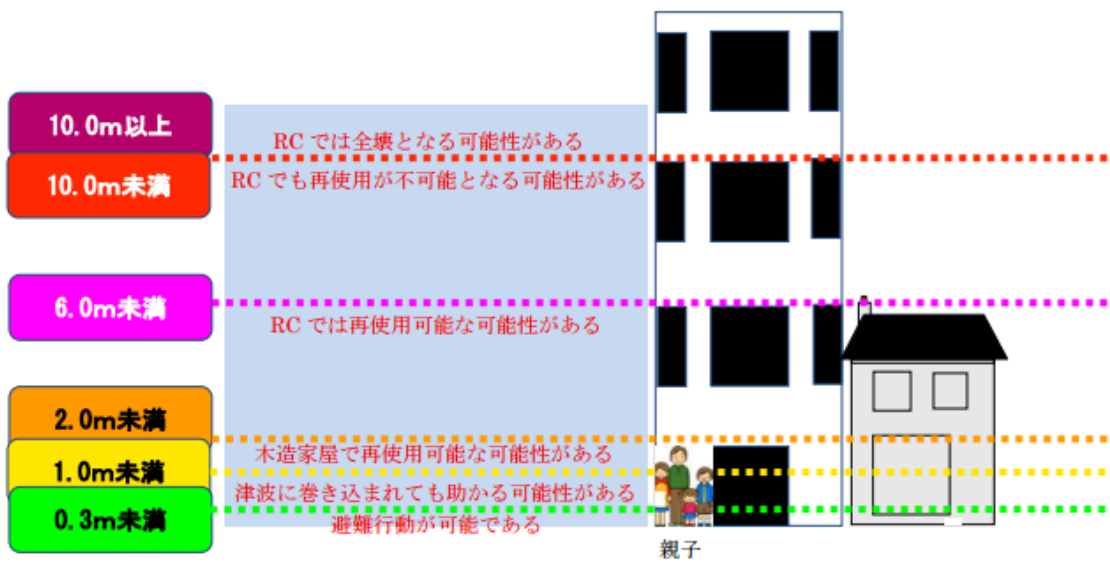


図-4.8 津波の浸水深と被害の関係（出典：国土交通省中部地方整備局「地震・津波災害に強いまちづくりガイドライン（H26.2）」）

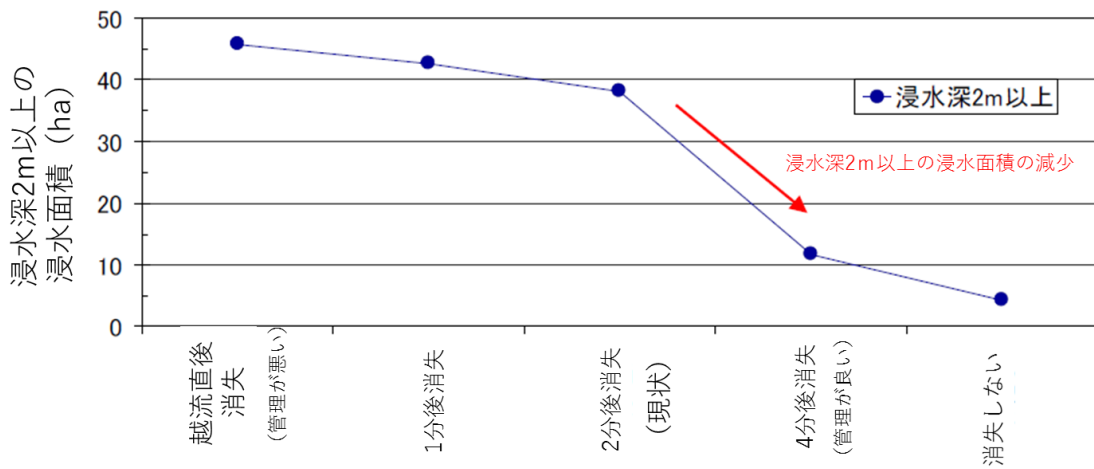


図-4.9 砂丘による減災効果の評価例

5. おわりに

本資料では、津波災害の特徴をふまえて、津波に対して減災効果を有すると考えられる地物を「自然・地域インフラ」の一つとして捉え、津波防災地域づくりへの活用における留意点、砂丘等の保全・改良の検討方法および保全・改良に活用できる制度や具体的な方策、津波の減勢による減災効果の評価方法を示した。その要点は以下の通りである。

- ・ 津波に対する自然・地域インフラの減災効果を、「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」と「津波からの避難場所となり、被害を軽減する効果」の2つに分類し、それらの効果の定量化とともに、それらの効果には限界があることに十分留意することが必要である。
- ・ 自然・地域インフラのうち、津波を減勢する効果を有する砂丘・盛土構造物の保全・改良の検討は、(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、の順に行うことができる。
- ・ 津波に対する砂丘等の減災効果は、砂丘等の高さや維持管理を考慮した条件のもとで植生の根系による耐侵食性を考慮した地形変化計算を合わせて行う津波浸水シミュレーションにより評価できる。
- ・ 地形変化計算では、植生の根系が密に分布している深さを侵食限界と定義し、侵食深が侵食限界に達するまでは根系の耐侵食性を考慮できる侵食算定式を用い、侵食限界に達した後は根系の耐侵食性を考慮しない流砂の連続式により算定することとした。
- ・ 地形変化計算に用いる侵食算定式のパラメータは細根の分布密度から設定できる。

本資料では、津波に対して減災効果を有すると考えられる地物を対象に検討を進めたが、高潮や高波など他の事象に対して効果を有する地物も存在する。それらの検討については今後の課題としたい。

謝辞：

石狩浜での調査にあたっては、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。地形変化計算の実施にあたっては、東北大学災害科学国際研究所の山下啓博士にご指導いただいた。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、静岡県庁、静岡県袋井土木事務所、静岡県中遠農林事務所にご協力頂いた。また、植生の現地調査では各地の管理者の許可を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- Mansinha, L. and D. E. Smylie: The displacement fields of inclined faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440, 1971.
- Okada, Y.: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 82, No. 2, pp. 1018-1040, 1992.
- Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 75, pp. 1135-1154, 1985.
- Sugawara, D., T. Takahashi and F. Imamura: Sediment transport due to the 2011 Tohoku-oki tsunami at Sendai: Results from numerical modeling, *Marine Geology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2014.05.005>, 2014.
- 芦田和男、道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究、*土木学会論文集 報告集*、第 206 号、pp. 59-69、1972.
- 池野正明、吉井匠、松山昌史、藤井直樹: 津波実験に基づく浮遊砂巻上量の算定と巻上量式の提案、*土木学会論文集 B2 (海岸工学)*、Vol. 65、No. 1、pp. 506-510、2009.
- 一般社団法人日本応用地質学会: 仙台市若林区荒浜 海岸公園冒険広場 現地調査結果・速報、2011、<http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/kaigan.pdf>、2017 年 6 月 26 日取得.
- 稲垣賢人、仲座栄三、田中聡、SCHAAB Carolyn: 植生帯・丘・護岸による複合的津波減勢効果に関する研究、*土木学会論文集 B2(海岸工学)*、Vol. 73、No. 1、pp. 1-11、2017.
- 今井健太郎、原田賢治、南幸弘、川口誠史、二宮栄一: 海岸樹木の津波耐力評価手法の高度化、*土木学会論文集 B2(海岸工学)*、Vol. 69、No. 2、pp. I_361-I_365、2013.
- 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、深谷涉、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: 流水に対する安定性・耐侵食性を判断するために、*土木研究所資料*、第 3489 号、pp. 97-214、1997.
- 大平浩之、林晃大、山下啓、今村文彦: 宮城県岩沼市における海岸林を活用した多重防御の津波被害軽減効果、*土木学会論文集 B2(海岸工学)*、Vol. 72、No. 2、pp. I_1459-I_1464、2016.
- 加藤史訓、福濱方哉、藤井裕之、高木利光、児玉敏雄: 堤内地におけるハード対策の津波被害軽減効果、*海岸工学論文集*、第 54 巻、pp. 1346-1350、2007.
- 角田清美: 日本海および東シナ海沿岸の主な海岸砂丘地帯の形成期と固定期について、*The Quaternary Research*、Vol. 14、No. 4、pp. 251-276、1975.
- 環境省自然環境局: 生態系を活用した防災・減災に関する考え方、2016、<http://www.env.go.jp/nature/biodic/eco-drr/pamph01.pdf>、2017 年 6 月 26 日取得.

警察庁緊急災害警備本部：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震の被害状況と警察措置（2017 年 6 月 9 日発表）、<https://www.npa.go.jp/news/other/earthquake2011/pdf/higaijokyo.pdf>、2017 年 6 月 26 日取得。

国土交通省水管理・国土保全局海岸室、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：津波浸水想定の設定の手引き、Ver. 2.00、2012。

国土交通省総合政策局：災害時・緊急時に対応した避難経路等のバリアフリー化と情報提供のあり方に関する調査研究報告書、http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/barrierfree/sosei_barrierfree_tk_000035.html、2013、2017 年 6 月取得。

国土交通省総合政策局参事官（社会資本整備）：津波防災地域づくり推進計画作成ガイドライン（平成 28 年版）、41p.、2016。

国土交通省都市局公園緑地・景観課：東日本大震災からの復興に係る公園緑地整備に関する技術的指針、2012、http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi10_hh_000097.html、2017 年 6 月 26 日取得。

国土交通省都市局公園緑地・景観課、国土交通省国土技術政策総合研究所防災・メンテナンス基盤研究センター緑化生態研究室：防災公園の計画・設計に関するガイドライン（案）（平成 27 年 9 月改訂版）、国総研資料、第 857 号、2015。

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、pp. 465-469、1985。

独立行政法人森林総合研究所：津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引き－海岸林を造成・管理する実務者のために－、2015、http://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/research_results/documents/3rd-chuukiseika24_1.pdf、2017 年 6 月 26 日取得。

森林保全・管理技術研究会：津波と海岸林に関する調査研究事業（平成 22 年度調査報告書）（オンライン）、<http://www.hozen-ken.jp/menu/2012-01tunami-mokuzi.html>、2012。

瀬尾直樹、原田賢治、金原剛：盛土式津波避難施設『命山』の設計手法の提案－袋井市中新田地区における設計過程の検討－、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 72、No. 1、pp. 42-50、2016。

仙台市：仙台市震災復興計画、2012、http://www.city.sendai.jp/fukko/1202187_2757.html、2017 年 6 月 26 日取得。

高橋智幸、首藤伸夫、今村文彦、浅井大輔：掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発、海岸工学論文集、第 46 巻、pp. 606-610、1999。

高橋智幸、黒川貴博、藤田将孝、島田広昭：津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験、土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol. 67、No. 2、pp. I_231-I_235、2011。

常田賢一、秦 吉弥：東日本大震災の津波から学び 粘り強い盛土で減災、理工図書、264p.、2016。

原田賢治、油屋貴子、Latief Hamzah、今村文彦：防潮林の津波に対する減衰効果の検討、

- 海岸工学論文集、第 47 巻、pp. 366-370、2000.
- 原田賢治、今村文彦：防潮林による津波減衰効果の評価と減災のための利用の可能性、海岸工学論文集、第 50 巻、pp. 341-345、2003.
- 原田賢治、河田恵昭：津波減衰効果を目的とした海岸林活用条件の検討、海岸工学論文集、第 52 巻、pp. 276-280、2005.
- 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.
- 浜口耕平、原野崇、諏訪義雄、二階堂竜司、中園大介、原文宏：堤防残存と樹木を取り入れた地形変化計算と陸地残存に関する数値実験、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol. 72、No. 2、pp. I_745-I_750、2016.
- 東日本大震災に係る海岸防災林の再生に関する検討会：今後における海岸防災林の再生について、2012.
- 福本 紘：日本の海浜地形の地理的特性とその形成環境、地理学評論 Ser. A、Vol. 62、No. 2、pp. 108-128、1989.
- 藤井直樹、池野正明、榊山勉、松山昌史、高尾誠、向原健：津波による港湾内の流況と地形変化に関する実験およびその数値計算、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 65、No. 1、pp. 291-295、2009.
- 堀川清司：新編海岸工学、東京大学出版会、1991.
- 本間仁：低溢流堰堤の流量係数 (第二編)、土木学会誌、第 26 巻、第 9 号、pp. 849-862、1940
- 前川俊明、二瓶泰雄、中田遥香：海岸砂丘・盛土による津波減災効果の検討、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol. 69、No. 4、pp. I_1453-I_1458、2013.
- 山下啓、菅原大助、高橋智幸、今村文彦、齋藤友一、今任嘉幸、甲斐恭、上原均、加藤季広、中田一人、坂良太郎、西川朝雄：岩手県陸前高田市における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による大規模土砂移動の再現計算、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 71、No. 2、pp. I_499-I_504、2015.
- 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第 1 回配布資料 (資料 5)、2011、<http://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/pdf/siryou5.pdf>、2017 年 6 月 26 日取得.

付録1 津波越流時を想定した植生を有する地盤の耐侵食性の評価

1. はじめに

津波越流時を想定した流れに対する、植生を有する砂丘・盛土地盤の耐侵食性を評価することを目的に、現地調査及び水路実験を行った。

2. 現地調査

(1) 供試体採取地等での根量調査

全国7海岸(表-1)を対象に、海岸周辺における植生の分布状況を調査するとともに、根量密度の深度分布及び粒度分布を計45点で計測した。対象海岸は多様な環境を含むように全国から選定し、各測点は砂浜から背後の砂丘までの範囲で設定した。ただし、岩沼海岸では海岸堤防の裏法上の盛土を対象とした。

表-1 調査対象海岸の概要

名称	場所	備考
石狩浜	北海道石狩市	日本海側・亜寒帯
岩沼海岸	宮城県岩沼市・岩沼海岸	裸地、試験植栽地
羽咋一ノ宮	石川県羽咋市 寺家町	日本海側
袋井	静岡県袋井市中新田	太平洋側
芸西海岸	高知県安芸郡芸西村	太平洋側
宮崎海岸	宮崎県高鍋町堀之内地先	太平洋側
渡口の浜	沖縄県宮古島市伊良部	亜熱帯海洋性気候

根量密度は、対象海岸に設定した0.5 m四方の方形枠において深さ50 cm程度まで掘削して根を採取し、深度方向に設定した各層(厚さ3~10 cm)における根の重量を根の太さ別(5段階)に測定し、それを各層の体積で除して求めた。測点の設定に当たっては、地形や環境省自然環境保全基礎調査のデータを参考に、海岸線からの距離等に応じた植生の変化を考慮した。

図-1に、岩沼、袋井、石狩浜での根量密度の深度分布を示す。各地点の植生概況、おもな植物種、中央粒径を表-2に示す。岩沼1は植生がないため、根量密度を測定していない。根量密度が比較的大きい石狩浜では、根量密度は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。また、今回調査した45箇所のうち約半数で、根量が比較的多い層は地表から10 cmまでに存在し(図-2)、その根量密度は40箇所が0.01 g/cm³以上であり、最大で0.13 g/cm³であった(図-3)。このうち根径5 mm以下の細根に着目すると、根量密度は0.01 g/cm³前後を中心に0.06 g/cm³までの範囲に43箇所が分布していた。河川堤防の法面で採取した供試体(表面にシバまたはチガヤが分布)の根毛量を測定した宇多ら¹⁾の結果と比較すると、今回の結果は根量密度の最大値(宇多ら¹⁾は最大0.38g/cm³)が小さいものの、より深くまで根が分布している箇所があった(宇多ら¹⁾は地表面から数cmの範囲)。

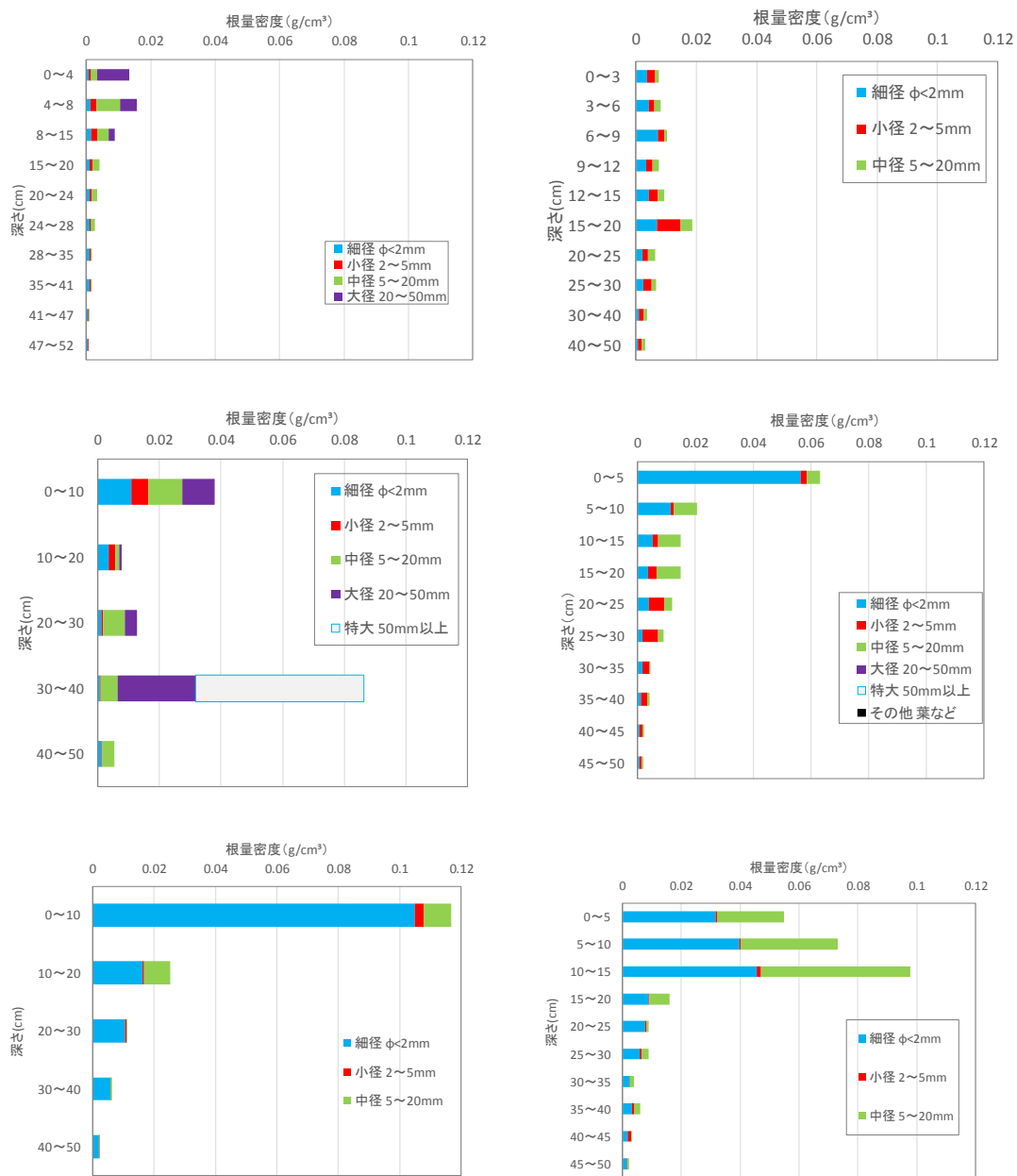


図-1 根量密度の深度分布 (左上: 岩沼 2、右上: 袋井 1、左中: 袋井 2、右中: 石狩浜 1、左下: 石狩浜 2、右下: 石狩浜 3)

表-2 各供試体の特性（植物種、中央粒径は供試体近傍の測点での調査結果）

供試体	植生概況	主な植物種	D ₅₀ (mm)
岩沼 1	人工盛土・裸地	—	1.100
岩沼 2	人工盛土・植栽	シラカシ、ヒメムカシヨモギ	1.560
袋井 1	砂浜・草地	ハマヒルガオ、ケカモノハシ	0.320
袋井 2	クロマツ植林	マンリョウ、テイカカズラ	0.299
石狩浜 1	砂丘草地	カモガヤ、ハマナス	0.302
石狩浜 2	砂丘草地	ススキ、イネ科	0.226
石狩浜 3	砂丘、二次草原	チマキザサ、コマユミ	0.272

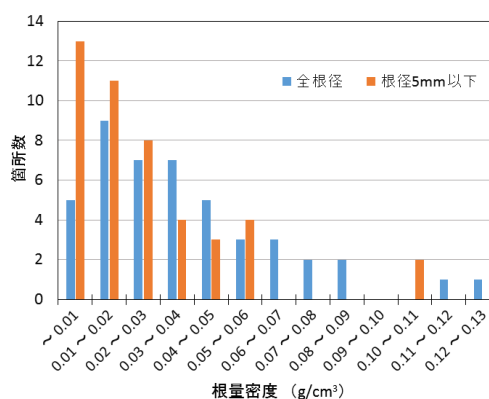
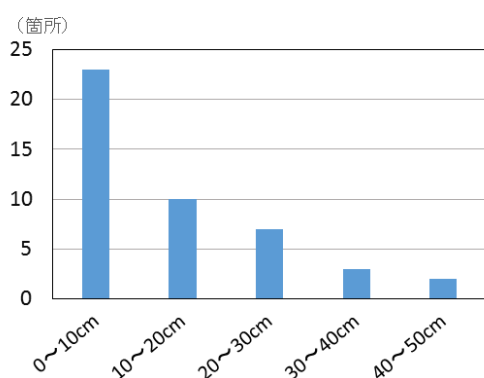


図-2 根量密度が高い層の深さ分布（全根径） 図-3 根量密度が高い層における根量密度の分布

(2) 供試体の採取

水路実験に用いるため、石狩浜（北海道石狩市）、岩沼海岸（宮城県岩沼市）、浅羽海岸（静岡県袋井市）から計 7 供試体を採取した（表-2）。地盤にチェーンソーで切り込みを入れた後に鋼製型枠（幅 1.2 m×奥行 1.5 m×深さ 0.6 m）を挿入し、型枠周囲の土砂を除去後、底面にもチェーンソーで切り込みを入れてから底板を挿入して供試体を採取することで、可能な限り供試体内部を乱さないようにした。

3. 水路実験

(1) 実験の方法・条件

実験水路は、幅 1.2 m、水路延長 8.9 m、水路勾配 1/250 の開水路である（図-4）。水路中央のピット部（窪地）に供試体を設置し、水路底面と供試体表面が同じ高さになるよう調整した。

実験は流速 1 m/s から開始し、通水中断後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床より低下した場合には、水路床の高さまで供試体全体を持ち上げて通水を再開した。また、通水の前後に供試体表面の侵食深を 10 cm 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 10 cm および上下流端 20 cm 分の侵食深のデータは除外した。また、予め整理した水路上流の貯水槽の水位と水路内の流速の関係を用いて、貯水槽水位から水路の断面平均流速を求めた。



図-4 高流速実験水路の諸元

(2) 各ケースの状況

各ケースにおける水深および流速，平均侵食深の時間的变化について説明する。なお，図-7～11 中の植生を含む地盤の耐侵食性を表す定数 α については次節で説明する。

a) 岩沼 1

写真-1 のように供試体の表面は裸地になっているが，流速 1 m/s の通水後の平均侵食深は 5 cm 程度であった。その後，流速を 3 m/s 程度に上げたところ，平均侵食深が 10 cm を超えた辺りから侵食が急激に進んだ (図-5)。

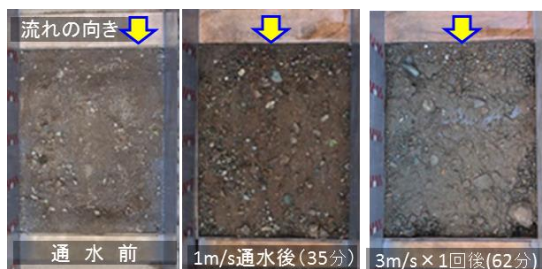


写真-1 供試体表面の変化 (岩沼 1)

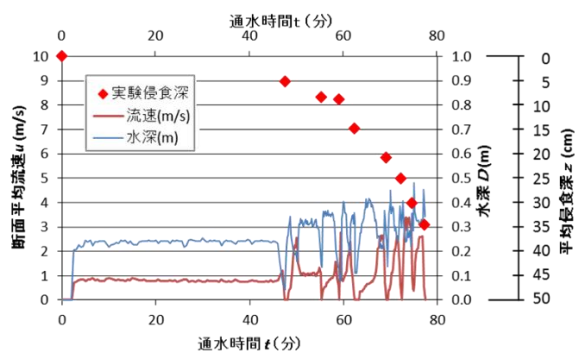


図-5 平均侵食深，流速，水深の時間変化 (岩沼 1)

b) 岩沼 2

写真-2 のように供試体の表面のほとんどが裸地であり，流速 1 m/s の通水後の平均侵食深は約 2 cm であった．その後，流速を 3 m/s 程度に上げたところ，平均侵食深が 3 cm を超えた辺りから侵食が急激に進んだ (図-6)．

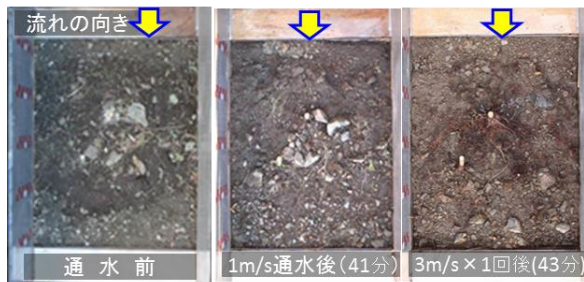


写真-2 供試体表面の変化 (岩沼 2)

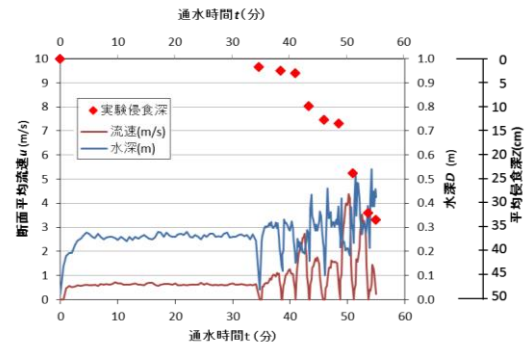


図-6 平均侵食深，流速，水深の時間変化 (岩沼 2)

c) 袋井 1

写真-3 のように，通水前の供試体の表面は草で覆われていた．流速 1 m/s での通水後には，平均侵食深は 4 cm となり，供試体表面は侵食によって露出部分が長くなった草で覆われていた．その後，流速 9 m/s の通水を行ったところ，平均侵食深が急激に増加したが，供試体表面は最後まで草で覆われていた (図-7)．

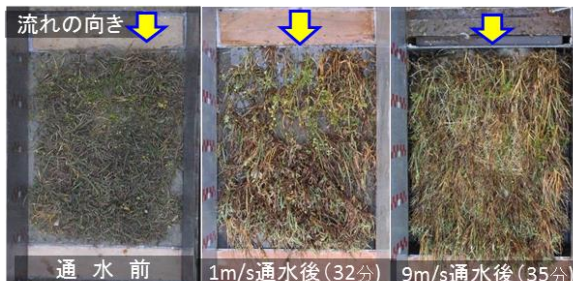


写真-3 供試体表面の変化 (袋井 1)

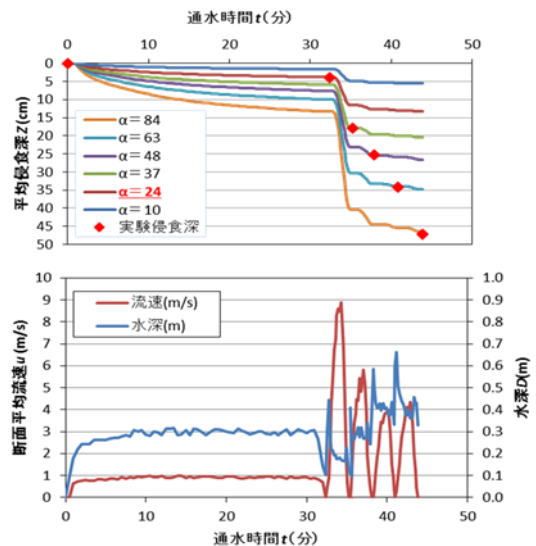


図-7 平均侵食深，流速，水深の時間変化 (袋井 1)

d) 袋井 2

写真-4 のように、供試体の表面は流速 1 m/s の通水後も草に覆われたままで、平均侵食深は 0.3 cm であった。その後、流速 7 m/s の通水を行ったところ、供試体は下流部を中心に大きく侵食された (図-8)

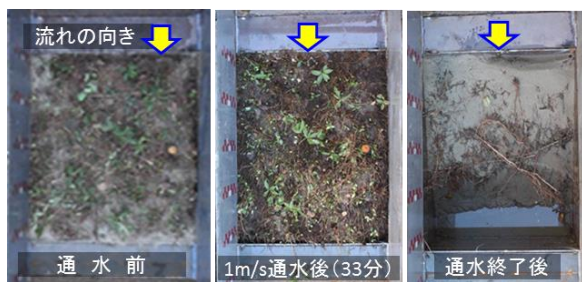


写真-4 供試体表面の変化 (袋井 2)

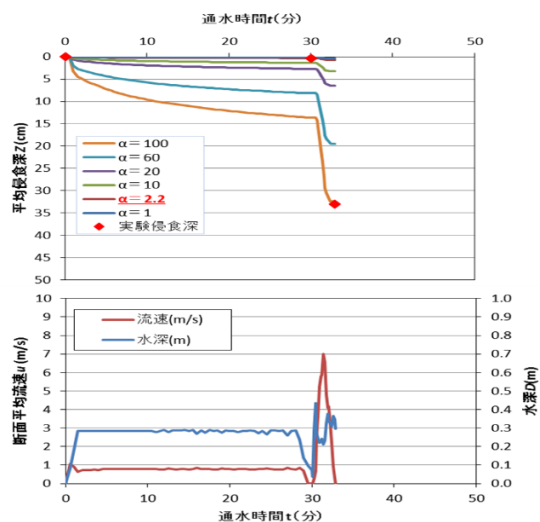


図-8 平均侵食深, 流速, 水深の時間変化 (袋井 2)

e) 石狩浜 1

写真-5 のように、供試体の表面は流速 1 m/s 程度の通水では草に覆われたままで、平均侵食深は 1 cm であった。その後、流速 5 m/s 程度の通水を行ったところ、供試体の左岸側半分で根が露出し、平均侵食深が大きく増大した (図-9)。

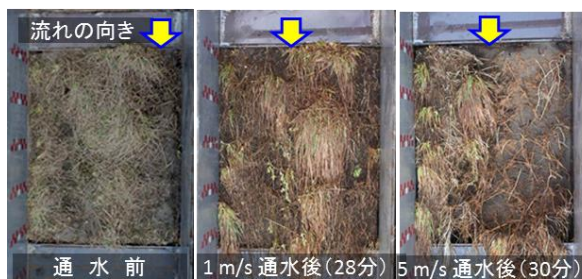


写真-5 供試体表面の変化 (石狩浜 1)

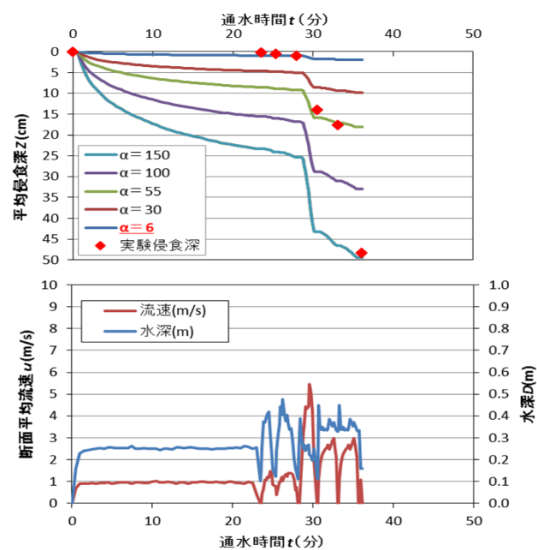


図-9 平均侵食深, 流速, 水深の時間変化 (石狩浜 1)

f) 石狩浜 2

写真-6 のように、草で覆われていた供試体表面は、流速 1 m/s の通水では大きく変化しなかったが、その後、流速を 7 m/s 程度まで上げたところ、一部で根が露出した。平均侵食深は、図-10 のように、流速 5 m/s 程度の通水後も 3 cm 程度に留まったが、流速 7 m/s 程度の通水により増大した。

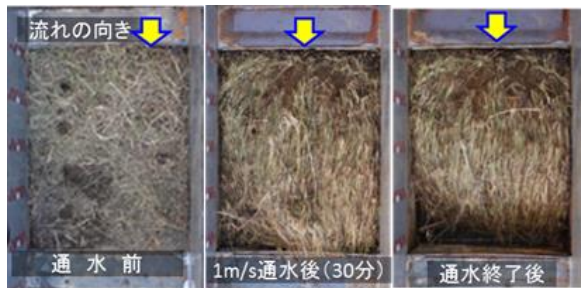


写真-6 供試体表面の変化 (石狩浜 2)

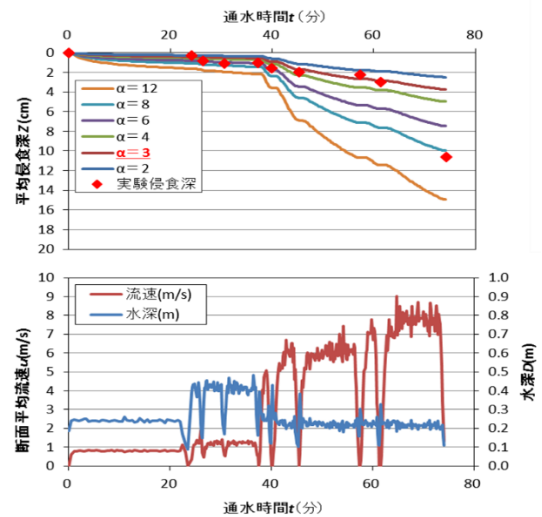


図-10 平均侵食深, 流速, 水深の時間変化 (石狩浜 2)

g) 石狩浜 3

写真-7 のように、草で覆われていた供試体表面は流速 1 m/s 程度の通水では大きく変化せず、その後の流速 5 m/s 程度の通水後も草や露出した根で覆われたままであった。通水後の平均侵食深は 3 cm にとどまり、侵食深が著しく増大する深さには達しなかった(図-11)。

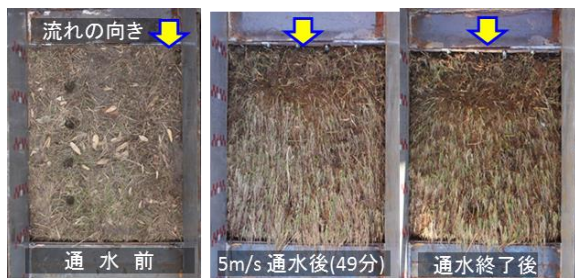


写真-7 供試体表面の変化 (石狩浜 3)

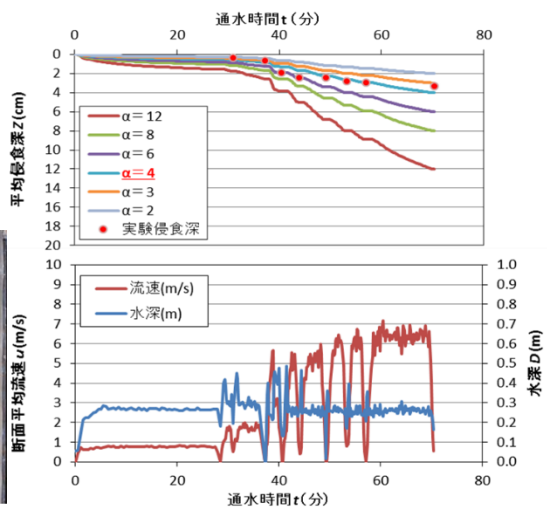


図-11 平均侵食深, 流速, 水深の時間変化 (石狩浜 3)

(3) 耐侵食性の評価と細根密度との関係

一定の摩擦速度を用いた原野ら²⁾とは異なり、摩擦速度の時間的変化を考慮できる宇多ら¹⁾の式(1)を用いて、地盤の耐侵食性の指標である α を同定した。その際、(2)で得られたデータのうち、根量密度が著しく小さい岩沼1及び岩沼2は除外した上で、現地調査で取得した供試体近傍の根量密度の深度分布と対比しながら侵食深が急激に増大する点を抽出して α を求めた。求めた α は図-7~11の凡例において赤字で表記した。

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

ここで、 z : 洗掘深 (cm), t : 時間 (分), u_* : 摩擦速度 (m/s), α : 耐侵食性を表す指標 (小さいほど耐侵食性が高い) である。摩擦速度は、原野ら²⁾と同様に、等流近似のもとで断面平均流速、水深、粗度係数 ($n=0.03$) を用いて算出した。

図-12は、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5 mm以下の細根密度と α との関係を、原野ら¹⁾のデータとともに示したものである。図中には、原野ら²⁾と同様に一定の摩擦速度を用いて本実験の α を求めた結果と、河川堤防法面に繁茂する植生を対象に宇多ら¹⁾が示した α の上限値を表す点線 ($\alpha = -50\sigma + 9$) も示している。本実験の α は、宇多ら¹⁾の上限値に対し、細根密度 0.01 g/cm^3 未満では大きく、細根密度 0.01 g/cm^3 以上では小さい。宇多ら¹⁾が上限値を求めるに用いた実験の供試体は細根密度 (平均根毛量) $0.02 \sim 0.08 \text{ g/cm}^3$ のものが多いことから、本実験の細根密度 0.01 g/cm^3 以上の α は宇多ら²⁾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厚は宇多ら¹⁾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 0.01 g/cm^3 以上における α は宇多ら²⁾の上限値を用いた方がよい。また、本実験のデータから原野ら²⁾の方法で求めた α の方が本実験の方法より小さい傾向が認められた。細根密度 0.01 g/cm^3 未満に分布する原野ら²⁾の α は耐侵食性を過大に評価している可能性があることに留意する必要がある。

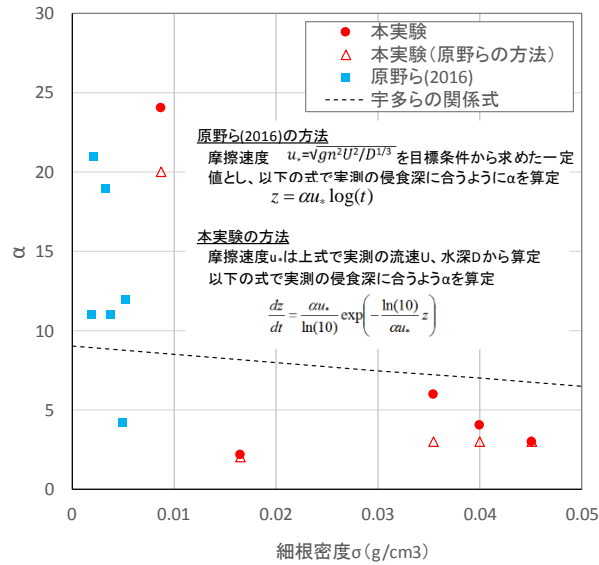


図-12 細根密度と α との関係

4. おわりに

得られた主な結論は以下の通りである。

- ・全国7海岸において根量密度の深度分布を測定した結果、根量密度が比較的高い層が地表から10 cmまでの範囲にある箇所が多いことがわかった。
- ・砂丘等における植生を有する現地地盤を対象に、津波越流時を模した高流速による侵食状況を水路実験により把握した。その結果、根量が比較的小さい深さまで侵食が進むと、侵食が急激に進むという、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。
- ・摩擦速度の時間的変化を考慮できる宇多ら¹⁾の侵食算定式で地盤の耐侵食性を表すパラメータ α を実験結果から同定し、 α と根量密度との関係を整理した。これにより、根量密度から植生を有する地盤の耐侵食性を評価できる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.

.....

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 986

September 2017

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

.....

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675