

#### 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。

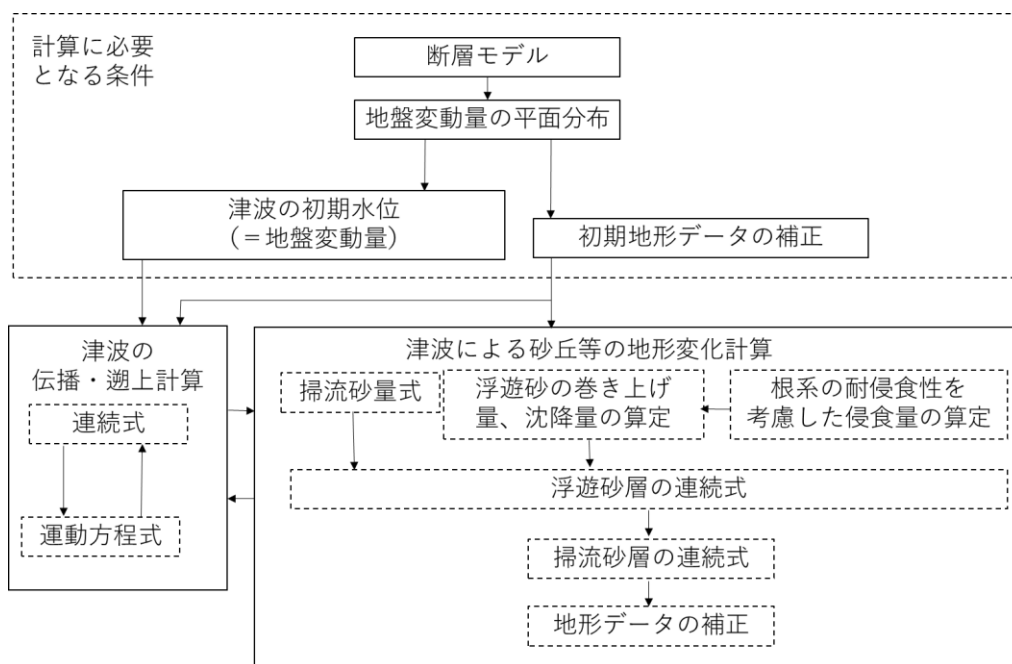


図-4.1 地形変化を考慮した津波浸水シミュレーションのフロー

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 ( $m^2/s$ )、 $\eta$  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。

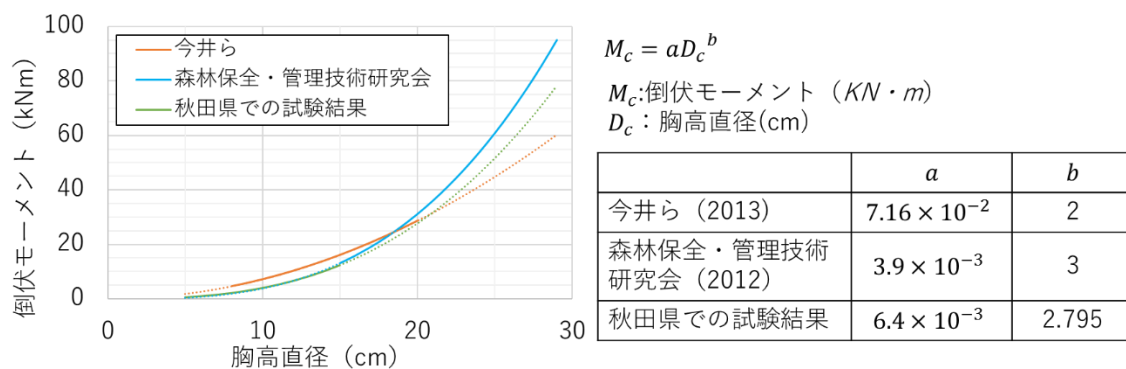


図-4.2 胸高直径と倒伏モーメントの関係式

#### 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。

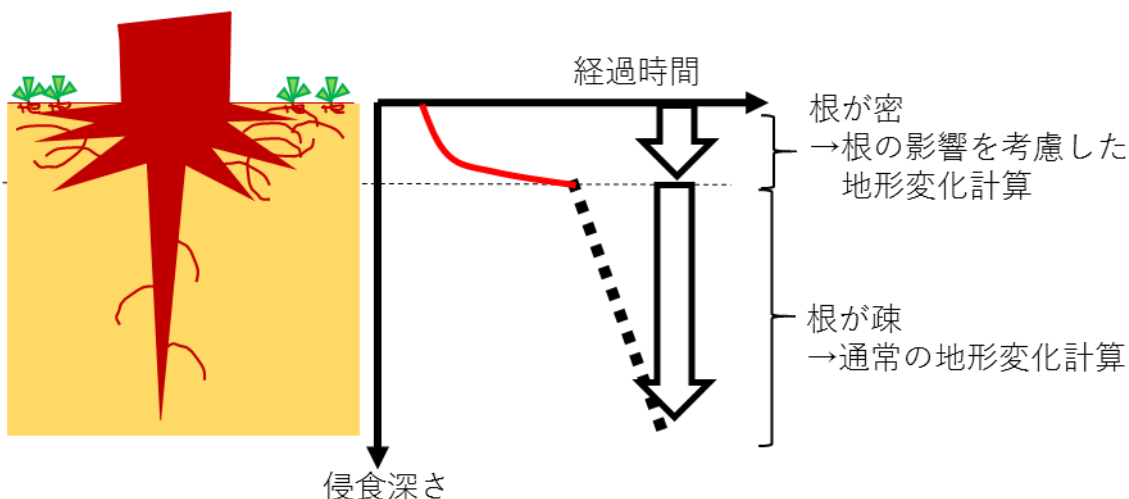


図-4.3 表層に植生がある場合の侵食の過程の考え方

##### 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、 $\alpha$ 、 $\beta$ 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  $\beta$  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 $\alpha$ 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 $\alpha$ 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 $\alpha$ の上限値を表す点線（ $\alpha = -50\sigma + 9$ ）も示している。本実験の $\alpha$ は、宇多ら(1997)の上限値に対し、細根密度 0.01 g/cm<sup>3</sup> 未満では大きく、細根密度 0.01 g/cm<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup> のものが多いことから、本実験の細根密度 0.01 g/cm<sup>3</sup> 以上の $\alpha$ 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/cm<sup>3</sup> 以上における $\alpha$ は宇多らの上限値を用いた方がよい。

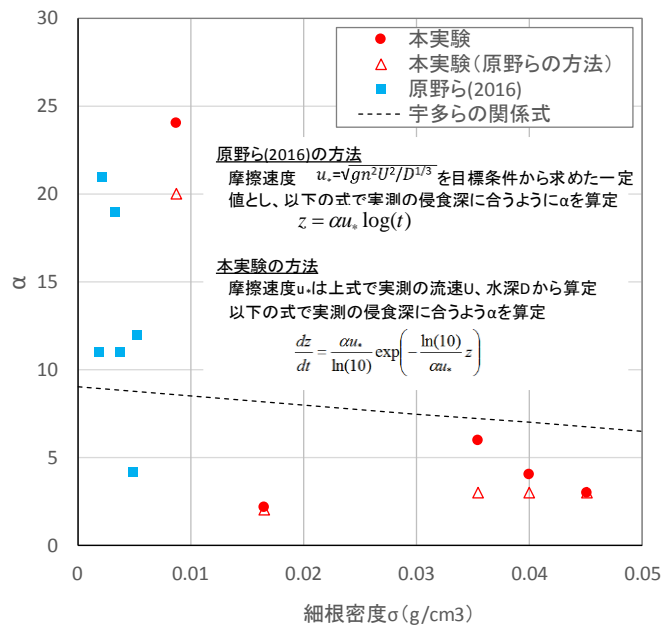


図-4.4  $\alpha$  と細根密度の関係

## 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。



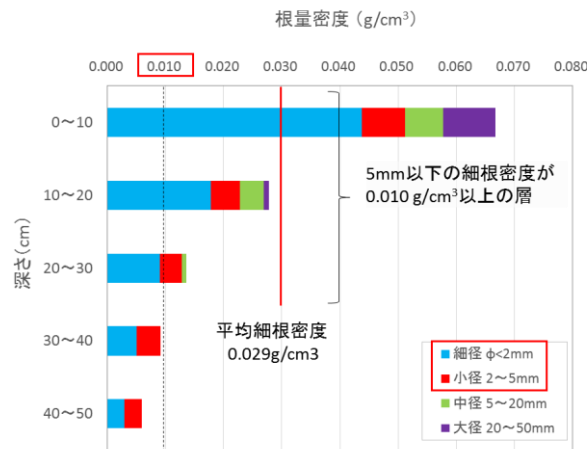
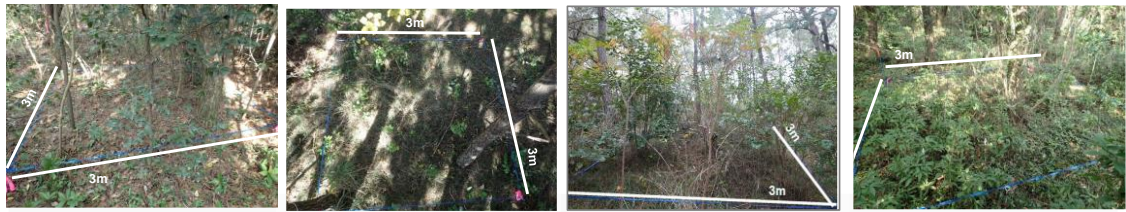


図-4.5 侵食限界の設定例。径は根の直径。

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/cm<sup>3</sup> 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/cm<sup>3</sup> 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。



表題の層の平均細根密度	0.016	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	4・4	2%
トウネズミモチ(H1)	3・3	30%
マンリョウ(H2)	++2	10%
テイカカズラ(H2)	1・1	10%

表題の層の平均細根密度	0.02	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T2)	2・2	5%
ハマゴウ(S)	+	9%
ヒメヤブラン(H)	5・5	80%

表題の層の平均細根密度	0.021	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	1・1	10%
ハゼノキ(S1)	3・2	20%
トウネズミモチ(S1)	1・1	10%
シャリンバイ(S1)	1・1	10%
ヒメヤブラン(H2)	5・5	80%

表題の層の平均細根密度	0.021	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	15	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	4・4	1%
ハゼノキ(S)	2・2	10%
トウネズミモチ(S)	1・1	10%
マンリョウ(H)	3・3	40%
テイカカズラ(H)	4・4	30%



表題の層の平均細根密度	0.021	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	3・3	10%
ハゼノキ(S1)	1・1	10%
トウネズミモチ(S2)	1・1	10%
ススキ(H1)	1・1	10%
ヒメヤブラン(H2)	5・5	70%

表題の層の平均細根密度	0.023	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	5	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T2)	3・3	8%
イボタノキ(S)	4・4	60%
ヤブコウジ(H)	1・1	30%

表題の層の平均細根密度	0.026	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	3・3	25%
ヤブニッケイ(S)	3・3	35%
トベス(S)	2・2	10%
ヤブコウジ(H)	4・4	45%

表題の層の平均細根密度	0.026	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	4・4	2%
トウネズミモチ(S)	3・3	25%
シャリンバイ(S)	1・1	10%
アオツグサジ(S)	++2	10%
セイヨアザミソウ(H1)	++2	30%



表題の層の平均細根密度	0.028	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T1)	3・3	8%
アマガシ(S1)	3・3	30%
コマユミ(S2)	3・3	25%
ヤブコウジ(H)	3・3	70%

表題の層の平均細根密度	0.029	g/cm <sup>3</sup>
表題の層の厚さ	10	cm
主な植物種(階層)	被度・群度	植被率
クロマツ(T2)	1・1	10%
ヤマハゼ(S)	++2	15%
チガヤ(H1)	1・1	10%
ヒメヤブラン(H2)	5・5	70%
テイカカズラ(H2)	1・1	20%

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

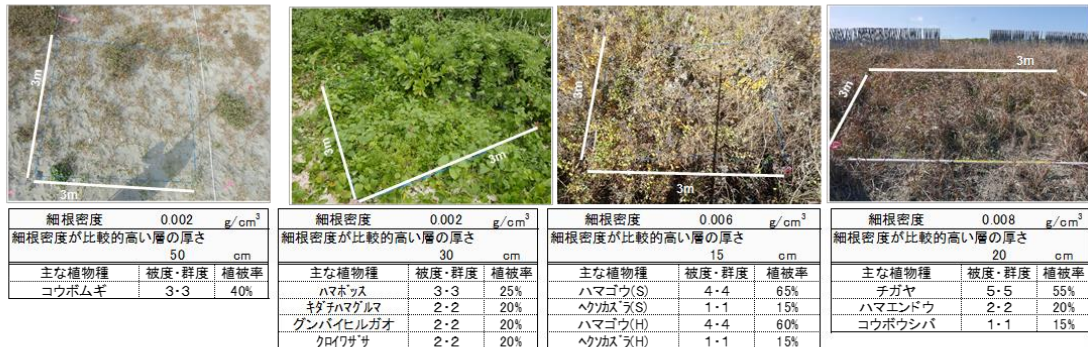
なお、木本類の階層別の目安は、おおむね以下のとおりである。  
 高木層: 8m以上。  
 亜高木層: 4m以上8m未満  
 低木層: 4m未満

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。

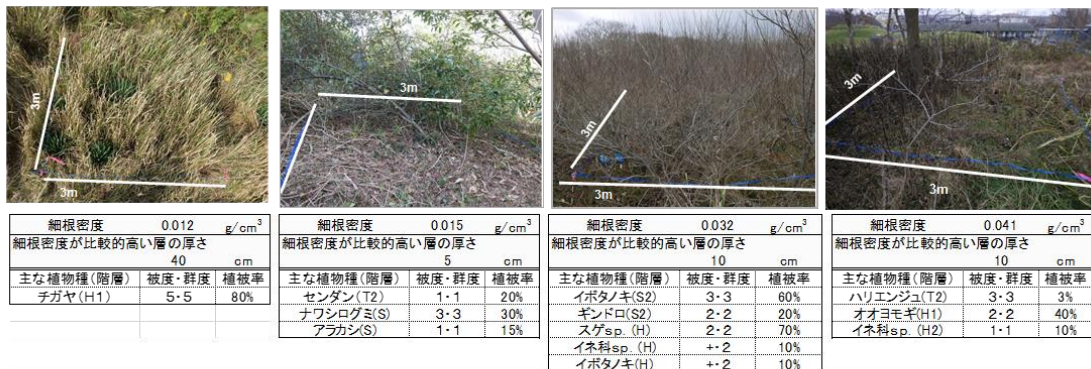
平成28年度版河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル(河川環境基図作成調査編) -VIII-20 p より

図-4.6 根径5mm以下の細根密度が0.01g/cm<sup>3</sup>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/cm<sup>3</sup>未満の事例



平均細根密度が0.01~0.05g/cm<sup>3</sup> の事例



細根密度が0.05g/cm<sup>3</sup>以上の事例

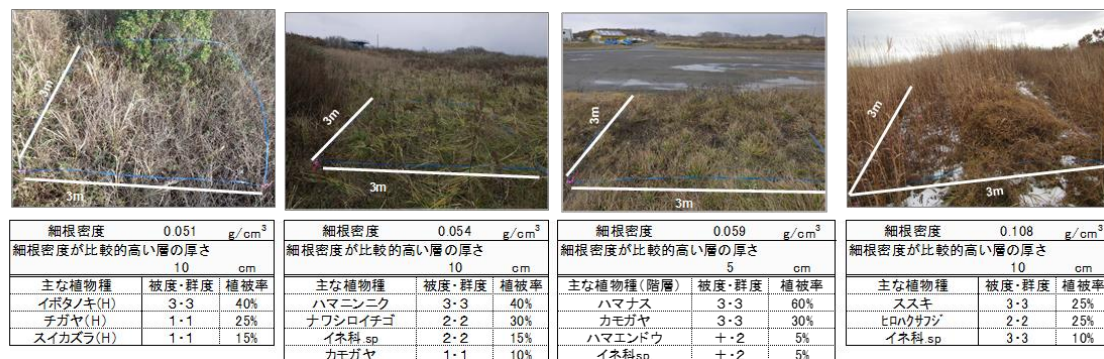


図-4.7 根径5mm以下の細根密度が0.01g/cm<sup>3</sup>より高い層の平均細根密度およびその厚さと地上の植生状況(クロマツ植林以外)

(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、 $\lambda$ 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、 $\tau_*$ はシールズ数、 $s$ は水中比重、 $d$ は粒径、 $\alpha$ 、 $\beta$ 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 $\alpha$ と $\beta$ 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、 $\tau_{*c}$ 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、 $\nu$ 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 $\alpha$ 、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。

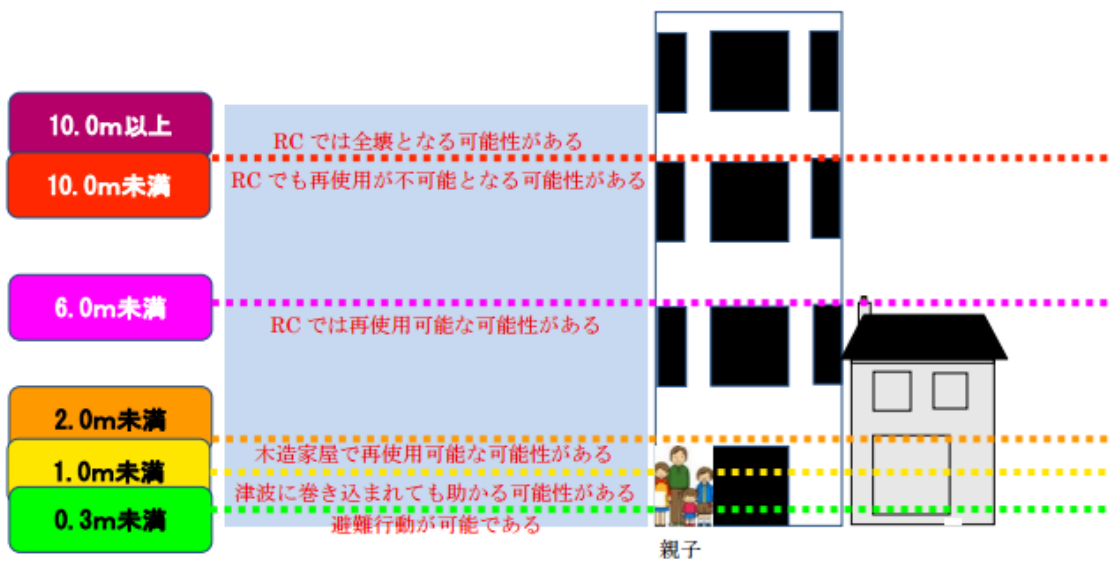


図-4.8 津波の浸水深と被害の関係（出典：国土交通省中部地方整備局「地震・津波災害に強いまちづくりガイドライン（H26.2）」）

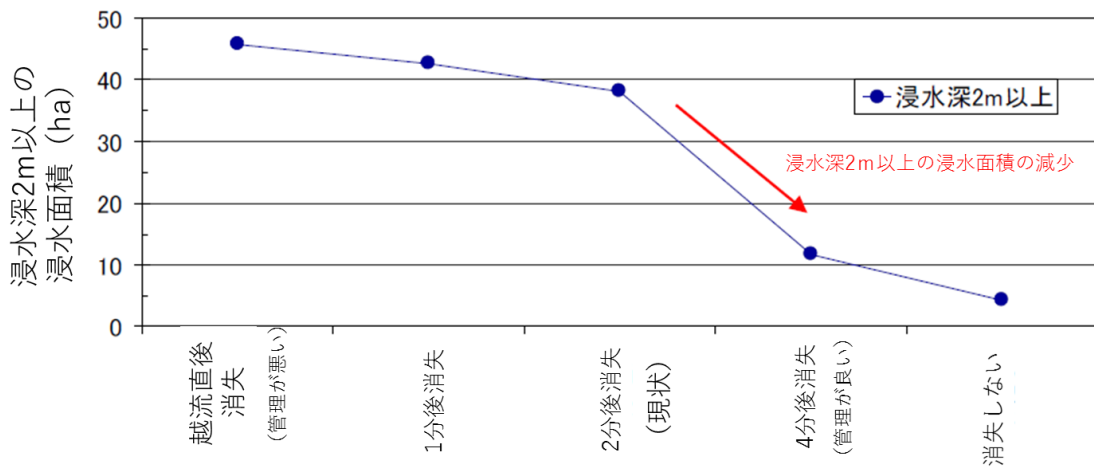


図-4.9 砂丘による減災効果の評価例