

津波災害に強いまちづくりにおける  
公園緑地の整備に関する技術資料

平成 24 年 3 月 27 日

国土交通省都市局公園緑地・景観課

## 目 次

I.	東日本大震災の教訓を踏まえた公園緑地の機能	1
1.	東日本大震災による津波被害の概要	1
2.	今次の津波で見られた津波災害に対する公園緑地等の機能	3
2.1	公園緑地の被害状況	3
2.2	今次津波で見られた津波災害に対する公園緑地等の機能	5
3.	津波防災等の機能を有する公園緑地	9
3.1	多重防御の一つとしての機能	9
3.1.1	津波シミュレーションによる樹林地の持つ津波被害低減効果の検証	9
3.2	避難路・避難地等としての機能	32
3.2.1	時間軸に対応した公園緑地の役割や機能	32
3.2.2	避難路について	34
3.2.3	避難地等について	37
3.2.4	広域防災拠点となる公園緑地	41
II.	公園緑地の計画・設計について	42
1.	計画の考え方について	42
1.1	平野部における基本的考え方	42
1.2	リアス式海岸部における基本的考え方	44
2.	公園緑地の計画・設計等の考え方	45
2.1	盛土の検討	45
(1)	樹木の被害と地盤高さの検討	45
(2)	幅の設定と法面保護の検討	47
(3)	避難地として整備する場合の留意事項	52
2.2	植栽方法	52
(1)	植栽設計に必要な条件の調査・把握	52
(2)	樹種の選定と植栽密度の検討	54
(3)	植栽基盤の設計の検討	63
(4)	その他留意事項	67

# I. 東日本大震災の教訓を踏まえた公園緑地の機能

## 1. 東日本大震災による津波被害の概要

### ○津波被害の概要

発生時刻	平成23年3月11日午後2時46分頃
震源	太平洋三陸沖、牡鹿半島の東南東130km付近、深さ24km
規模	マグニチュード9.0（最大震度7）
最高潮位	9.3m
遡上高さ	最高40.5m（国内史上最大）
浸水面積	561km <sup>2</sup>

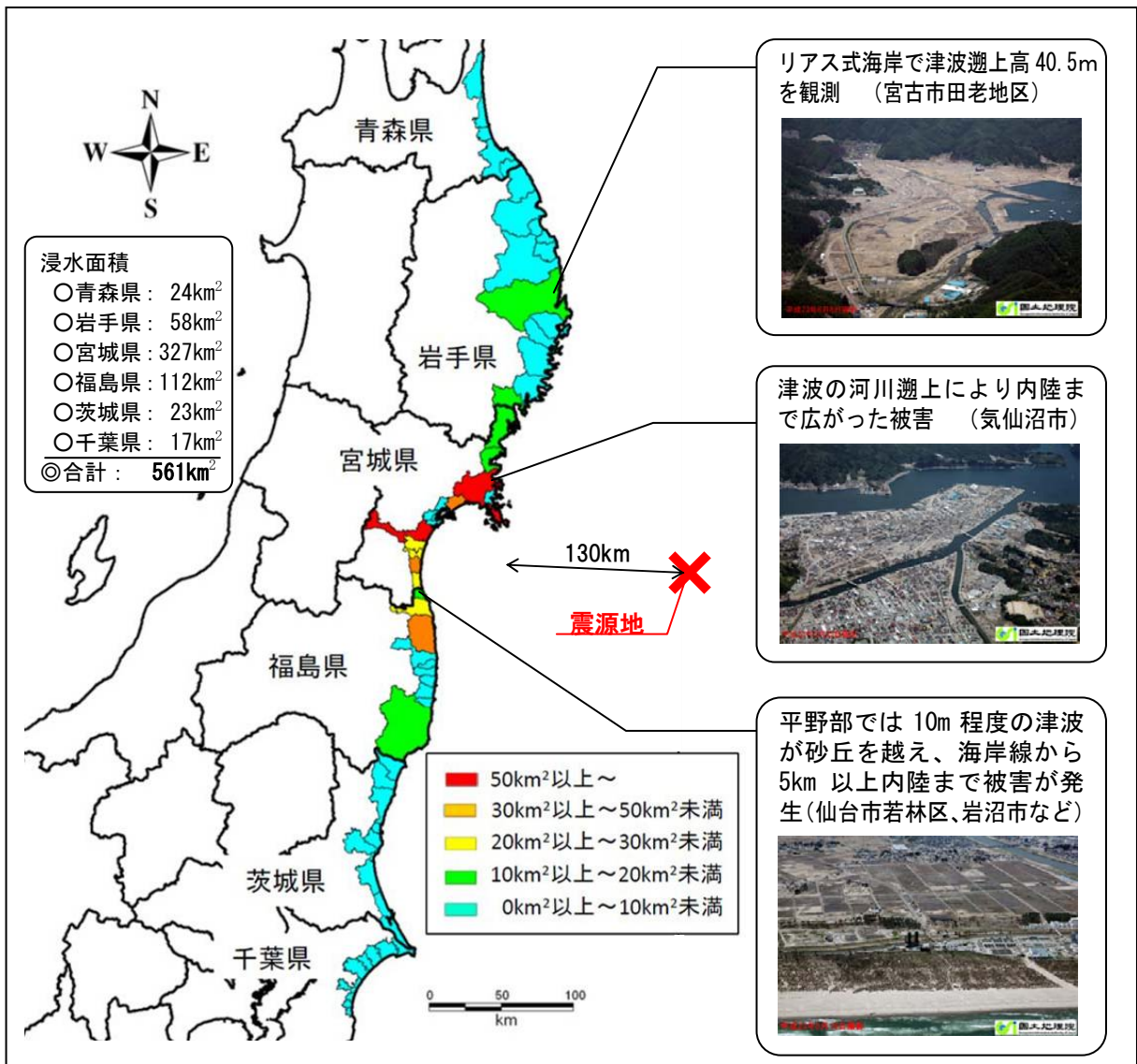


図 I-1 東日本大震災による津波被害の概要

出典：中央防災会議（内閣府）東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会第1回資料、国土地理院 被災地域の斜め写真 宮古市・気仙沼市・仙台市（平成23年5、6月撮影）より作成

## ○浸水区域、浸水深、建物被災状況

国土交通省では、津波浸水区域面積、浸水深、建物被災状況による浸水区域の区分等を把握するため行った浸水痕跡調査等から、下記の被害を把握した。

浸水区域面積：約 535 km <sup>2</sup> うち、4割超が浸水深 2m以上
被災建物棟数：約 22万棟 うち全壊（流失含む）約 12万棟
建物被災状況による浸水区域の区分：
①建築物の多くが全壊（流失含む）の区域・・・約 99 km <sup>2</sup>
②建築物の多くが大規模半壊、半壊の区域・・・約 58 km <sup>2</sup>
③それ以外の浸水区域・・・約 363 km <sup>2</sup>

※上記の数値は、平成 23 年 8 月 4 日時点の値であり、今後の詳細な調査等により数値が変更ありえる。

出典：国土交通省都市局 東日本大震災による被災現況調査結果について（第 1 次報告）

（平成 23 年 8 月 4 日）より作成

## ○土地利用別の浸水面積

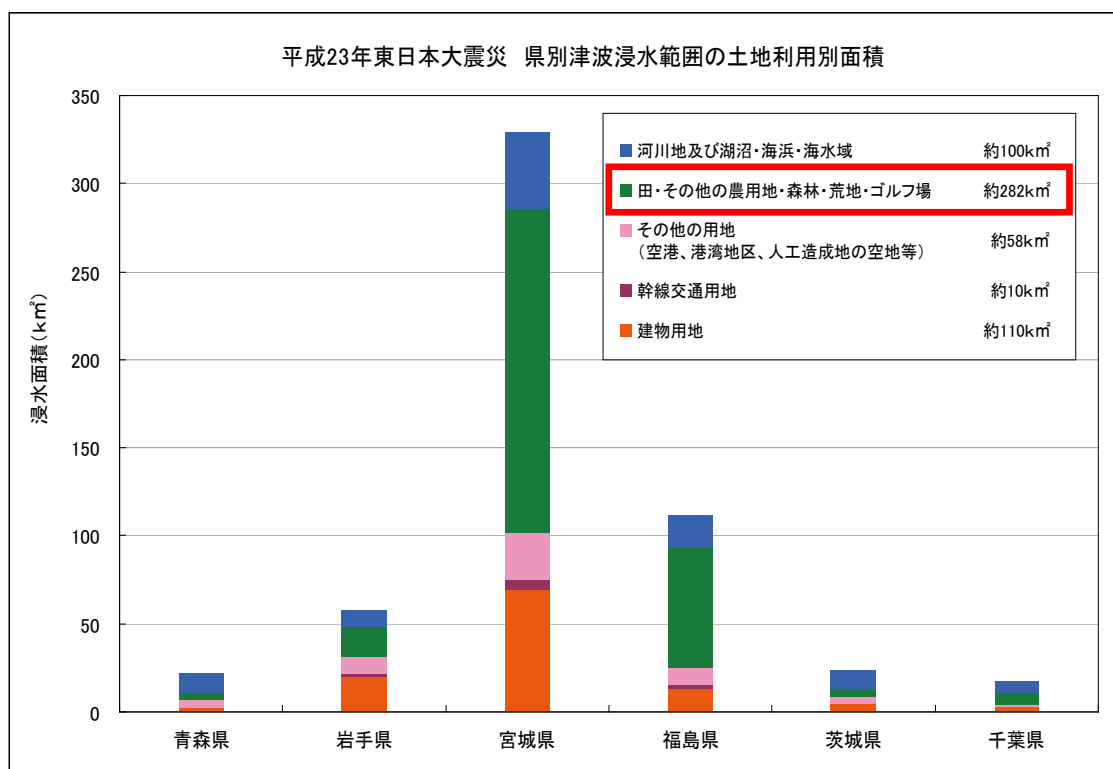


図 I-2 平成 23 年東日本大震災 津波浸水範囲の土地利用別面積

出典：国土地理院 津波浸水範囲の土地利用別面積（平成 23 年 4 月 18 日）より作成

## 2. 今次の津波で見られた津波災害に対する公園緑地等の機能

### 2.1 公園緑地の被害状況

公園緑地においても、津波により、樹林地が大きく折損し、建築物や遊具などの施設・舗装等が損傷を受けたほか、津波による漂流物の流入によって大きな被害が生じた。また、液状化による樹林地の被害の拡大や園路舗装の損傷等が見られ、地盤沈下による大きな被害が発生している場所もある。

さらに、津波が侵入し、樹木が直接海水につかったため、枝葉が茶褐色になるなどの生育障害を起こしている樹木も見受けられた。なお、その後、樹勢が回復した個体も確認されている。

表 I-1 海岸林の被害

海岸林の被害率区分	被害率区分 75%以上	被害率区分 75%~25%	被害率区分 25%以下	計
青森県 (六ヶ所村以南)	1.8	55.3	555.8	612.9
岩手県 (全域)	99.6	22.8	41.7	164.1
宮城県 (全域)	60.7	13.9	25.4	100.0
宮城県 (全域)	750.4	767.0	235.9	1,753.3
福島県 (南相馬市以北及び いわき市(茨城県境域))	42.8	43.7	13.5	100.0
福島県 (南相馬市以北及び いわき市(茨城県境域))	217.4	21.3	56.1	294.8
茨城県 (全域)	73.8	7.2	19.0	100.0
茨城県 (全域)	2.8	6.1	460.8	469.7
千葉県 (一宮町以北)	0.6	1.3	98.1	100.0
千葉県 (一宮町以北)	0.0	18.2	346.2	364.4
千葉県 (一宮町以北)	0.0	5.0	95.0	100.0
計	1,072.0	890.7	1,696.5	約36.6km <sup>2</sup>
	29.3	24.3	46.4	

※赤字は被害面積(ha)、下段斜数値は構成比(%)を示す。  
※福島県の一部は、被災後の空中写真等の取得が出来ないため、集計には含まれていない。

出典：林野庁 今後における海岸防災林の再生について  
中間報告案参考資料より作成(平成23年7月13日)



根こそぎ流された樹木は内陸部まで流出した  
出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園  
緑地等の利用実態等の調査より



海岸林の倒伏状況(岩手県野田村)



白砂青松の東北地方の文化景観でもある海岸部の  
マツ林は、ほぼ壊滅状態の被害が発生

図 I-3 津波による松林の被害

出典：国土地理院 被災地域の斜め写真  
宮城県名取市(平成23年5月)より



津波の力により折損や倒木といった被害が多く発生

図 I-4 樹林の折損・倒伏(倒木)の状況(平成23年5月撮影)





陸前高田市高田松原の倒木に見られた2種の根系

杭根（ぐいね）により樹木全体の流出だけは免れた被災木



杭根（ぐいね）の見られない浅根の被災木



液状化により陸側の樹木だけが被災（東松島市野蒜海岸）



茶褐色化の後に見られる新芽（三沢市）

図 I-5 樹木の倒伏（倒木）・抜根の状況

出典：日本造園学会 東日本大震災復興支援緊急調査概要および全体報告（平成 23 年 5 月 21 日）



海岸部に立地する公園の施設は壊滅的被害を受けた



内陸に位置する公園においても津波が押し寄せ浸水し、大量のガレキ等が流れ込んだ



岩手県陸前高田市の高田松原公園は、防潮林が全壊し、地盤沈下により現在も公園そのものが浸水したままである。

図 I-6 公園の被害状況

出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等の利用実態等の調査より

## 2.2 今次津波で見られた津波災害に対する公園緑地等の機能

○今次津波において見られた津波災害に対する公園緑地の機能は、多重防御の一つとしての機能、避難路・避難地機能、復旧・復興支援機能等があげられる。

（ 多重防御の一つとしての機能：

- ・ 樹林地による津波エネルギーの減衰機能
- ・ 樹林地による漂流物捕捉機能

等

### 【解説】

今次津波で見られた津波災害に対する公園緑地の機能は、表 I - 2 のように整理され、今回確認できた事例について以下に示す。

表 I - 2 今次の津波災害において見られた公園緑地等の機能

主な公園緑地等		津波防災において求められる公園緑地等の機能						
		【多重防御の一つとしての機能】			【避難路・避難地機能】		【復旧・復興支援機能】	
		津波の減衰	湛水の場合	漂流物の捕捉	避難路	避難地	活動拠点	資材置場等
公園	海浜公園	○	△	○		○		○
	高台公園				○	○		○
	大規模公園(防災拠点)						○	○
緑地	防潮林	○		○				
	緩衝緑地	○	△	○				
	街路樹	△		○	○			
	居久根	○		○				
その他の空地や農地等			○					



## ○津波エネルギーの減衰機能

石巻市長浜地区では、海岸林がある場所の方が無い場所よりも背後地の流出家屋の被害が少ないという差が見られた。仙台市宮城野区蒲生原屋敷では、屋敷林（居久根）により漂流物が捕捉され、家屋への被害を軽減させる効果が見られた。

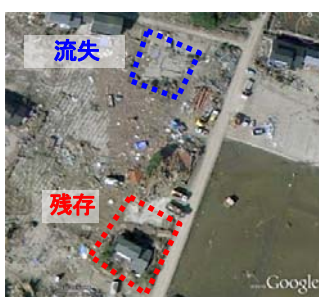


図 I-7 樹林の有無による流出家屋状況の差異（石巻市長浜地区）  
出典：国土地理院 空中写真（平成 23 年 3 月）より作成

○屋敷林（居久根）による津波エネルギーの減衰 屋敷林（居久根）（仙台市宮城野区蒲生原屋敷）  
屋敷林（居久根）により、漂流物を捕捉することで、家屋への被害を軽減する効果が見られた。



被災前（平成 21 年 3 月撮影）



被災後（平成 23 年 4 月撮影）



居久根によって守られた家屋  
（仙台市若林区二木）

出典：GoogleEarth 航空写真より作成

出典：日本造園学会 東日本大震災復興支援緊急調査概要および全体報告（平成 23 年 5 月 21 日）

図 I-8 屋敷林（居久根）による津波被害の減衰

・《宮城県仙台市》仙台平野で「居久根（いぐね）」と呼ばれる屋敷林の減災効果に注目が集まっている。本来の役割は民家の防風林だが、東日本大震災では津波で押し流された流木やがれきから民家を守った事例が確認された。…震災では、海岸から3キロ離れた〇〇さんの自宅にも、津波とともに流木や倒壊した家屋のがれきが押し寄せた。自宅は床上まで浸水したものの、流木やがれきは居久根でせき止められた。「居久根のなかった民家では流木が自宅を直撃したところもあった」という。（2011/08/23 日本経済新聞 朝刊 34 面）

・《宮城県仙台市》住宅囲む屋敷林、被害を低減。仙台市若林区や石巻市の田園地帯には、住宅を囲む屋敷林が点在する。地元では「いぐね」と呼び、風雪や火災、洪水から家屋を守る。多くの住宅が津波に流された同区の井土、三本塚の両地区では、ヒノキやカシなど針葉樹と広葉樹の屋敷林は健在で、住宅は全壊を免れた。どの家屋も1階部分は破損しているものの、2階部分はそのまま残っていた。（2011/05/04 毎日新聞 朝刊 12 面）

・《宮城県仙台市》屋敷林に守られた農家が広い水田地帯に点在していて、北陸の人にはどこか懐かしい思いがする。水沢地方だけでなく、東北には防風林を備えた散居村風の農村が多く、特に仙台平野の太平洋岸の屋敷林は「居久根（いぐね）」と呼ばれている。その屋敷林が、先の震災では津波被害を小さくしたという。押し寄せるがれきをせき止め、民家の崩壊を防いだケースもあったという。（2011/09/04 北国新聞 朝刊 1 面）

※ここで掲載している記事の無断転載を禁ずる



## ○樹木による漂流物捕捉機能



図 I-9 工場の緩衝緑地が漂流物を捕捉（多賀城市）  
出典：国土地理院 空中写真（平成 23 年 3 月）より作成



図 I-10 樹林帯が漂流物を捕捉  
出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等の利用実態等の調査より

（樹木に捕まることで漂流を防ぐ効果が確認できた事例）

- ・《福島県南相馬市の事例》3月11日の地震当日、南相馬市原町区の自宅の庭で大きな揺れに襲われた。母屋の屋根瓦が崩れ落ち、必死に木にしがみついた。（2011/05/02 毎日新聞 地方版 20 面）
- ・《福島県いわき市の事例》飼い猫と2階に上がった時に津波が押し寄せて流されたが、松林で木にしがみついて助かった。（2011/03/26 毎日新聞 夕刊 6 面）
- ・《千葉県旭市の事例》大きな揺れに見舞われた直後、「大丈夫だろう」と避難せず自宅にいた。そこへ津波が押し寄せた。いったんは波にのまれ、必死にもがいて浮き上がり助かった。近くの木によじ登り、しがみついて津波が引くのを待った。（2011/04/04 毎日新聞 地方版 23 面）
- ・上記の他にも、《岩手県宮古市の事例》（2011/05/10 毎日新聞 朝刊 25 面）、《宮城県南三陸町の事例》（2011/04/15 毎日新聞 夕刊 11 面）、《宮城県石巻市の事例》（2011/04/13 毎日新聞 地方版 20 面）など、樹木による漂流を防ぐ効果についての報道が確認されている。

※ここで掲載している記事の無断転載を禁ずる

## ○湛水の間としての空地等による津波被害軽減機能

相馬市松川浦では、平坦な農地等において、越流した大量の水が湛水し、後背地の住宅地に流れ込む水を減少させたと見られる。



図 I-11 空地の湛水機能（福島県相馬市）

出典：国土地理院 被災地域の斜め写真 福島県相馬市（平成 23 年 5 月撮影）より

## ○避難路・避難地としての機能

避難路・避難地としての機能としては、石巻市日和山公園のように高台に続く階段が避難路となり高台に避難できた事例、平野部の海岸公園で公園内にある築山へ避難することにより一命を取り留めた仙台市の海岸公園冒険広場の丘の事例等、公園緑地が避難路・避難地として活用された事例も見られた。



石巻市日和山公園では、高台への階段が緊急の避難路となり、多くの被災者が短時間で避難することができた  
 出典：国土地理院 被災地域の斜め写真 石巻市(平成 23 年 5 月撮影)より作成  
 出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等の利用実態等の調査より



仙台平野に位置する海岸公園では、園内の丘(冒険広場)に避難することで一命をとりとめることができた  
 出典：国土地理院 空中写真(平成 19 年)より作成  
 出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等の利用実態等の調査より

図 I-12 避難経路・避難地として機能した公園緑地

## ○復旧・復興支援の機能



石巻総合公園

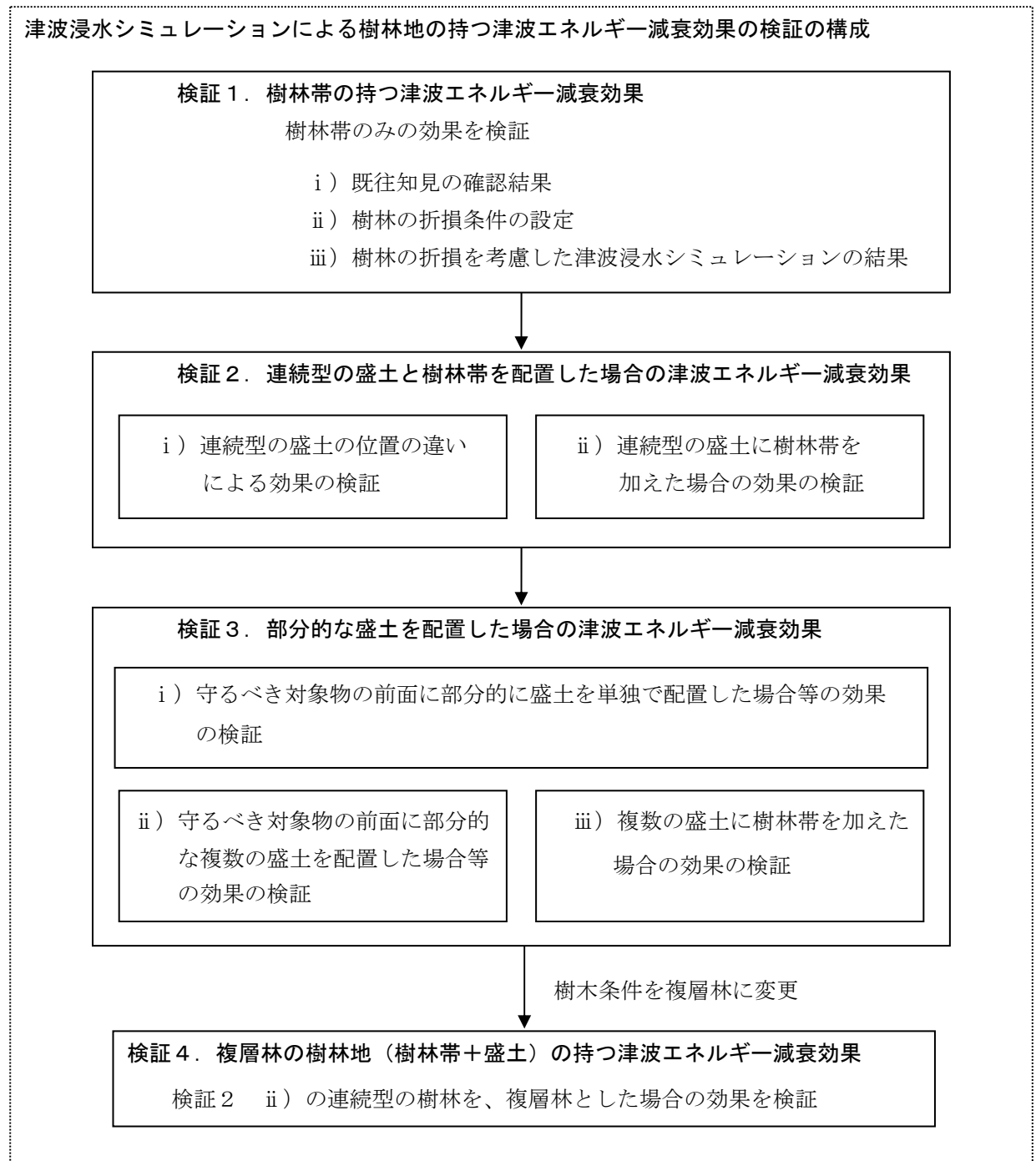
仙台市沿岸公園

図 I-13 復旧・復興支援の場として機能した公園緑地  
 出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等の利用実態等の調査より

### 3. 津波防災等の機能を有する公園緑地

#### 3.1 多重防御の一つとしての機能

##### 3.1.1 津波浸水シミュレーションによる樹林地の持つ津波エネルギー減衰効果の検証



樹林帯には一定の津波エネルギー減衰効果があるとされているが、津波の規模によっては被害を受け無力化することも明らかである。

ここでは上記の図の流れで、樹林帯による津波エネルギー減衰効果、盛土と樹林帯の持つ津波エネルギー減衰効果、部分的な盛土の効果について、そして、複層林の樹林地による効果について、津波浸水シミュレーションによって工学的検証を行った。



<検証の考え方>

海岸林に働く流体力のほとんどは抗力であり、その抗力を等価粗度係数（地形や構造物による抗力や迂回の影響を全て底面の抵抗として表現したもの）を用いて以下の式で表すことができる（原田・河田，2005）。

$$F = \rho g \frac{n_{forest}^2}{D^{1/3}} u^2 dx dy \quad \dots (1)$$

$$F = \frac{\rho}{2} C_D \left( \frac{Num_{tree}}{dx dy} \right) d_{tree} D u^2 dx dy \quad \dots (2)$$

$$n_{forest} = \left[ \frac{C_{D_{tree}}}{2g} \left( \frac{Num_{tree}}{dx dy} \right) A D^{1/3} \right]^{1/2} \quad \dots (3)$$

- $F$ ：海岸林による抵抗力
- $n_{forest}$ ：海岸林の等価粗度係数
- $D$ ：浸水深（浸水域の地面から水面までの高さ（深さ））
- $u$ ：流速（流体の速度）
- $C_D$ ：抗力係数（一様な流れの中に置かれた物体が流体から受ける抗力の無次元数）
- $Num_{tree}/dx dy$ ：単位底面積当たりの樹木の本数
- $d_{tree}$ ：樹木の直径
- $A$ ：水流方向の樹木の投影面積

樹木の抗力係数を既往の水理実験から得られたモデル式等から設定し、樹林密度、胸高直径についても既往検討事例から設定することにより、海岸林の等価粗度係数を津波の浸水深の関数として算出し、津波浸水シミュレーションを行った※。

表 I-3 粗度係数の設定例（小谷ほか、1998）

土地利用	粗度係数 $m^{1/3} \cdot s$
住宅地（高密度）	0.08
住宅地（中密度）	0.06
住宅地（低密度）	0.04
工場地等	0.04
農地	0.02
林地	0.03
水域	0.025
その他（空地、緑地）	0.025

※一般に平面シミュレーションを行う場合、各メッシュの粗度係数は定数として設定されるが、樹林帯の効果の分析を正確に行うため、津波の浸水深により粗度係数が変化するシミュレーションを実施した。

出典：小谷美佐、今村文彦、首藤伸夫「GISを利用した津波遡上計算と被害推定法」（海岸工学論文集第45巻、平成10年11月）

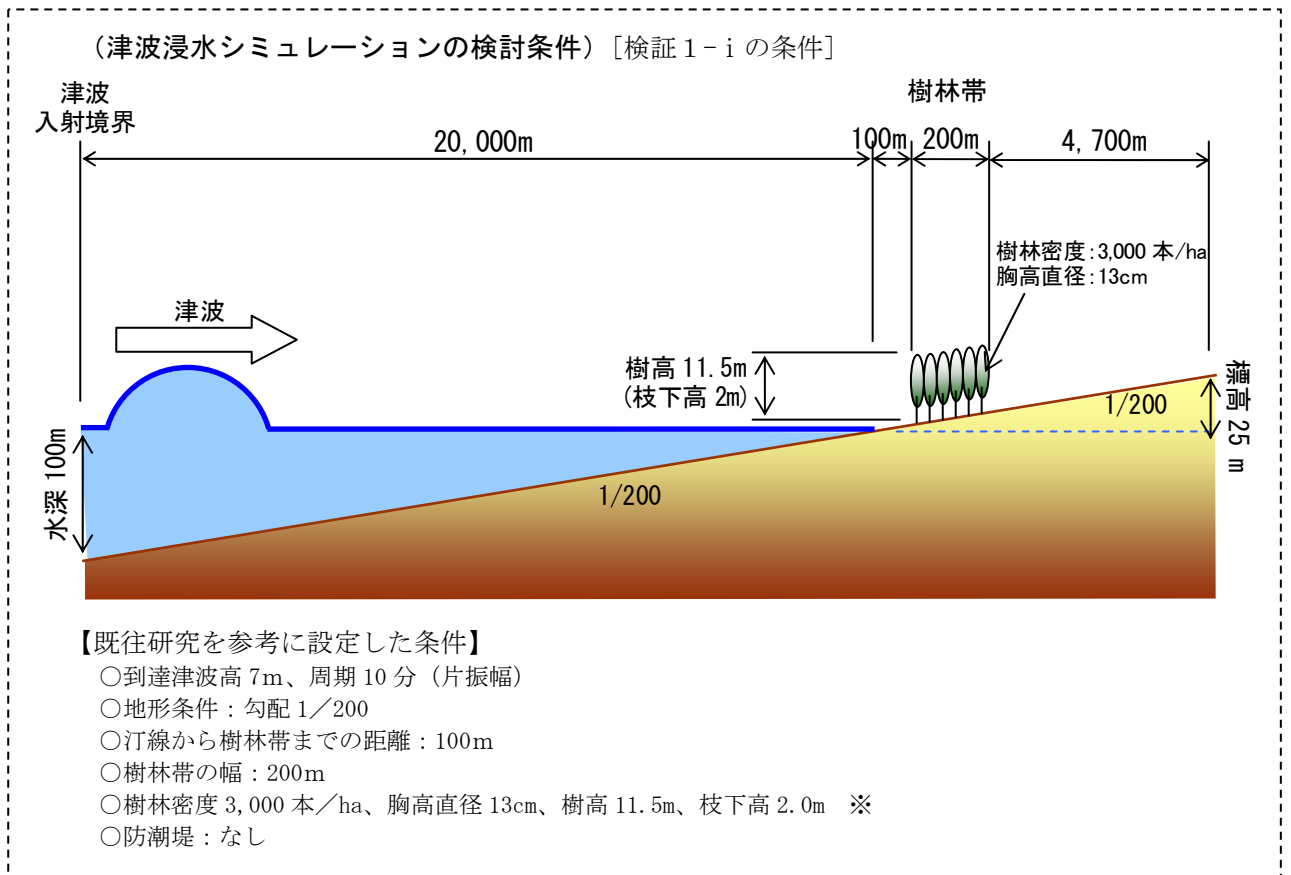


## ①検証1 樹林帯の持つ津波エネルギー減衰効果

### i) 既往研究の確認結果

津波災害低減のための防潮林（自然力）の活用に関する既往の研究（原田・河田，2004）では、「平坦な200mの林帯幅があれば浸水深を5～6割、流体力を4～6割に低減できる」とされている。（参考資料1 P15）この研究では、流速を計算する運動方程式において、植生樹林帯の影響を抵抗項として加えたモデルとしているが、この後の研究（原田・河田，2005）で、より汎用性の高い、植生樹林帯の影響を粗度で考慮した等価粗度モデルが提案されているため、このモデルを用いて検証した結果、浸水深及び流体力による被害に係る流速は、いずれも3割～4割の低減となった。

なお、この結果は、浸水深が深くなっても樹木が折損しない条件設定であり、樹林帯が最大限の効果を発揮した場合の想定と考えられる。



※検証1での樹林密度等の条件については、既往論文との比較のため、現況の被災地の樹林帯に近いモデルとしており、今後再生する樹林帯の目標とする密度については、検証3で検証している。

ii) 樹木の折損条件の設定

○これまで、津波エネルギー減衰の機能発揮に大きく影響する樹木の被害については詳細な知見が得られていなかったが、新たな知見として今次津波の樹木被害調査結果から、浸水深と樹木被害の発生率との相関を整理し、下記の近似式を整理した。

表 I-4 浸水深と樹木被害率の関係

浸水深と樹木被害率の近似式

$$Y = (0.1024X + 0.1317) \times 100$$

(決定係数  $R^2 = 0.764$ )

X : 浸水深 (m)、Y : 樹木被害率 (%)

浸水深 (m)	樹木被害率
1.0	23%
2.0	34%
3.0	44%
4.0	54%
5.0	64%
6.0	75%
7.0	85%
8.0	95%
8.5	100%

○この近似式では、浸水深が高くなるにつれて、津波による幹折や根返り、傾きといった樹木の折損被害の発生率が高くなることを示しており、浸水深 8 m 以上ではほぼ全ての樹木が被害を受け、津波エネルギーの減衰効果は期待できなくなるが、浸水深 4 m では約半分、浸水深 2 m で約 3 分の 2 の樹木が残存することで、一定の効果が期待できる。

【解説】

既往の研究（首藤（1985））では、明治 29 年三陸大津波、昭和 8 年三陸大津波、昭和 21 年南海地震津波、昭和 35 年チリ津波、昭和 58 年日本海中部地震津波から得られた、43 地点での樹木の折損状況から、浸水深 4 m 程度から倒伏や折損がみられ、浸水深が 8 m を超えると、ほとんどの樹林が倒伏・折損することとして、整理をしている。（参考資料 1 P13、14）

表 I-5 津波高と樹林帯の被害

津波高 (m)	1	2	4	8	16
防潮林被害	被害軽微	潮流物	部分的被害	全面的被害	
防潮林効果	津波軽減	阻止	潮流物阻止	無効果	
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%	

出典：首藤 津波強度と被害（1992, 津波工学研究報告第 9 号）より作成

今次津波による被害について、（独）森林総合研究所、国土交通省国土技術政策総合研究所などの研究機関が実施した現地調査結果を表 I-6、この調査結果から得られた浸水深と樹林の被害の関係性を表 I-7 に整理した。

表 I-6 今次津波における樹林被害調査箇所

調査地区※	調査区	被害形態※※※					浸水深※※
		被害あり			被害なし	総数	
		幹折れ	根返り	傾き			
①石巻市	全体的に樹林の被害が小さい。	1本	0本	2本	35本	38本	4.0m
		2.6%	0.0%	5.3%	92.1%	100.0%	
②仙台市 荒浜地区	汀線から内陸に向けて、楔上に樹林が残った箇所と被害が大きい箇所が存在する。	110本	146本	156本	160本	572本	3.0～7.0m
		19.2%	25.5%	27.3%	28.0%	100.0%	
③仙台市 井土地区1	貞山堀より海側では一様に被害が大きく、貞山堀より内陸側では樹木が残存した箇所と流出した箇所が存在する。	142本	119本	114本	180本	555本	4.5～7.0m
		25.6%	21.4%	20.5%	32.4%	100.0%	
④仙台市 井土地区2	樹木が残存している箇所と流出した箇所が斑に存在する。	0本	116本	128本	17本	261本	5.9m
		0.0%	44.4%	49.0%	6.5%	100.0%	
⑤名取市 関上浜	海側に存在する残土盛土により津波エネルギーが減衰され、樹林の被害が少なくなったと考えられる箇所が存在する。	78本	26本	13本	28本	145本	5.5～6.4m
		53.8%	17.9%	9.0%	19.3%	100.0%	
⑥岩沼市 寺島一前川	貞山堀より海側では一様に被害が大きく、貞山堀より内陸側では樹木が残存した箇所と流出した箇所が存在する。	78本	112本	96本	81本	367本	2.5～4.3m
		21.3%	30.5%	26.2%	22.1%	100.0%	

※調査地区 今回解析に用いた海岸林被害の調査のうち、④仙台市井土地区2は国土交通省国土技術政策総合研究所、④以外の調査区は(独)森林総合研究所が実施した調査である。

※※浸水深 国土交通省都市局による「東日本大震災の津波被災地に係る被災状況調査」の調査結果より確認。

※※※被害形態の定義 幹折れ: その場で幹が折れた樹木。「幹折れ」と幹折れが折れて流出した「幹折れ流出」を集計。  
根返り: 根返りを起こした樹木。調査区外で根返りし、調査区に漂着した樹木も含む。  
傾き: その場で傾いた樹木。  
被害なし: 被害がない樹木。

表 I-7 浸水深別の樹林被害本数

浸水深	被害あり						計		被害なし		合計	
	幹折		根返り		傾き							
2m	2本	1.4%	24本	16.9%	13本	9.2%	39本	27.5%	103本	72.5%	142本	100.0%
3m	10本	11.9%	58本	69.0%	16本	19.0%	84本	100.0%	0本	0.0%	84本	100.0%
4m	71本	39.7%	17本	9.5%	51本	28.5%	139本	77.7%	40本	22.3%	179本	100.0%
5m	96本	13.0%	254本	34.5%	83本	11.3%	433本	58.8%	304本	41.2%	737本	100.0%
6m	18本	27.7%	13本	20.0%	34本	52.3%	65本	100.0%	0本	0.0%	65本	100.0%
7m	271本	37.1%	144本	19.7%	213本	29.1%	628本	85.9%	103本	14.1%	731本	100.0%
合計	468本	24.1%	510本	26.3%	410本	21.2%	1388本	71.6%	550本	28.4%	1938本	100.0%

浸水深が3mおよび6mについては、データが少ないことから除外して検討を進めた。

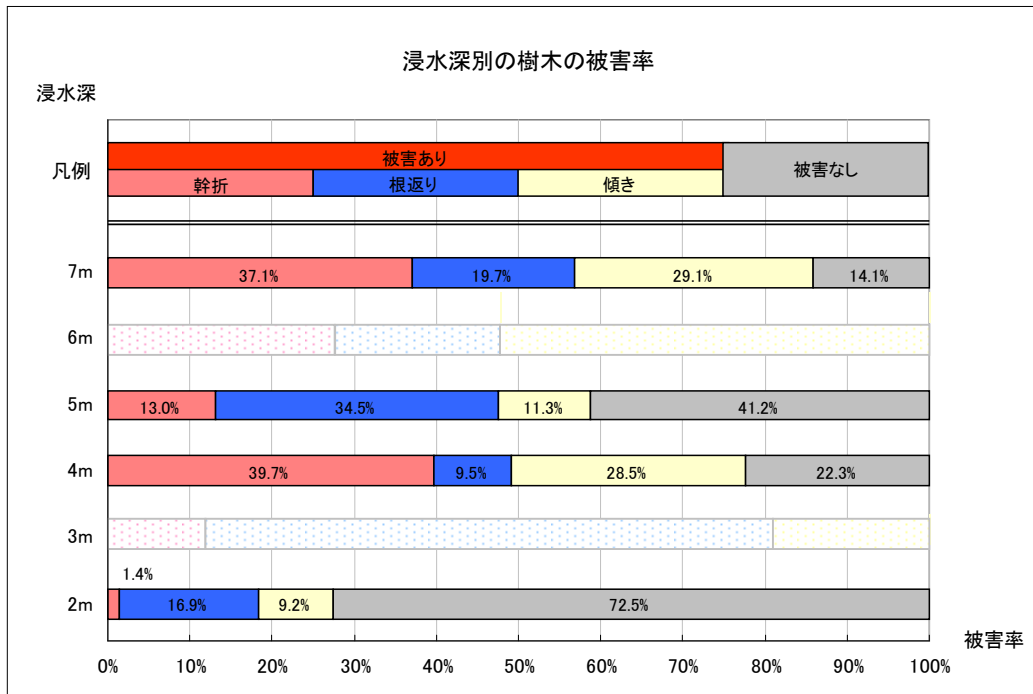
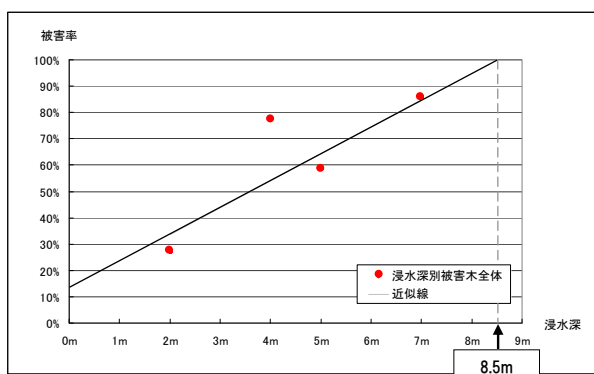


図 I-14 浸水深別の樹木被害率



浸水深と樹木の被害率の関係は、回帰分析の結果より下記の近似式で示すことができた。この近似式では、浸水深が深くなるにつれて、津波による幹折や根返り、傾きといった樹木の折損被害を受ける率が上がることを示しており、浸水深8 m以上ではほぼ全ての樹木が被害を受け、津波エネルギーの減衰効果は期待できなくなるが、浸水深4 mでは約半分、浸水深2 mで約3分の2の樹木が残存することで、一定の効果が期待できる。



浸水深と樹木被害率の近似式

$$Y = (0.1024 X + 0.1317) \times 100$$

(決定係数  $R^2 = 0.764$ )

X : 浸水深 (m)、Y : 樹木被害率 (%)

表 I-8 浸水深と樹木被害率

浸水深(m)	樹木被害率
1.0	23%
2.0	34%
3.0	44%
4.0	54%
5.0	64%
6.0	75%
7.0	85%
8.0	95%
8.5	100%

図 I-15 浸水深と樹木被害率の関係

iii) 樹木の折損を考慮した津波浸水シミュレーションの結果

○樹木の折損を考慮した津波浸水シミュレーションによると、高さ7mの津波が林帯幅200mの樹林帯に到達した場合、最大浸水深は約8%、最大流速は約20%低減する。  
 ○しかし、最大クラスの津波が到達した場合は、全ての樹木を倒しながら津波が進むことから、津波エネルギーを減衰する効果はない。

【解説】

表 I-8 で整理した樹木の折損条件を津波浸水シミュレーションに組み込み、津波の規模ごとに樹木の津波エネルギーの減衰効果を検証した。

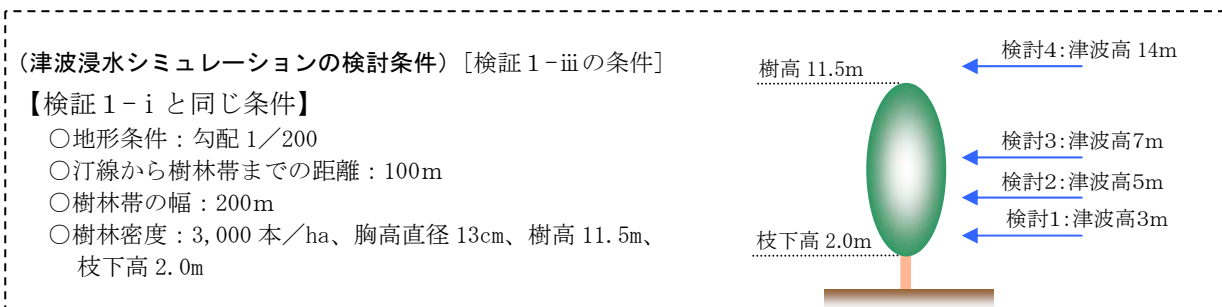
その結果、たとえば、高さ7m(検討3)の津波が到達した場合は、最大浸水深が約8%、最大流速は約20%減少する。また、津波が3m(検討1)から5m(検討2)、7m(検討3)と高くなるごとに、浸水深及び流速が減少する傾向がみられるが、これは、津波が高くなるにつれ、津波が樹木に当たる際の幹や枝葉の面積が増えることによるものであり、同時に、樹木の被害率が高くなることを示している。

一方、高さ14m(検討4)の津波が到来した場合は、最大浸水深の低減率はわずかに0.2%、最大流速の低減率は約6.5%に留まる結果となり、第一波が通過した段階で、既に全ての樹木が被害を受けており、第二波・三波と津波が到達する際にも、津波エネルギーの減衰効果はない。

表 I-9 最大浸水深・最大流速の変化

検討ケース	樹林帯海側端部から400m地点 (樹林帯背後から200m地点)		樹林帯内の被害状況 (樹林帯海側から200m地点まで)
	最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	最大流速変化率 (最大流速変化量)	樹木の被害状況の想定 ※数値は樹林帯全体の平均値
検討1(到達津波高3m)	-1.4% (-0.01m)	-0.6% (-0.01m/s)	最大浸水深の平均が2.1mとなり、樹林地の35%の樹木に被害
検討2(到達津波高5m)	-7.9% (-0.22m)	-10.2% (-0.38m/s)	最大浸水深の平均が4.1mとなり、樹林地の55%の樹木に被害
検討3(到達津波高7m)	-8.1% (-0.36m)	-19.3% (-0.98m/s)	最大浸水深の平均が5.8mとなり、樹林地の72%の樹木に被害
検討4(到達津波高14m)	-0.2% (-0.02m)	-6.5% (-0.79m/s)	最大浸水深の平均が13.1mとなり、樹林地の100%の樹木に被害

なお、表 I-9 に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、植生密度が均一な樹林地であること等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。



- 防潮堤：なし
- 樹林地が持つ抵抗：津波の浸水深に応じた粗度係数

【検証1-i から変更した条件】

- 到達津波高：3、5、7、14m、周期 10 分（片振幅）防潮堤を超える高さとし、浸水深による樹木被害率の関係を把握するため、津波高を変えて効果を検証
- 樹木折損条件：浸水深が高くなるほど、樹木に被害が出る設定。

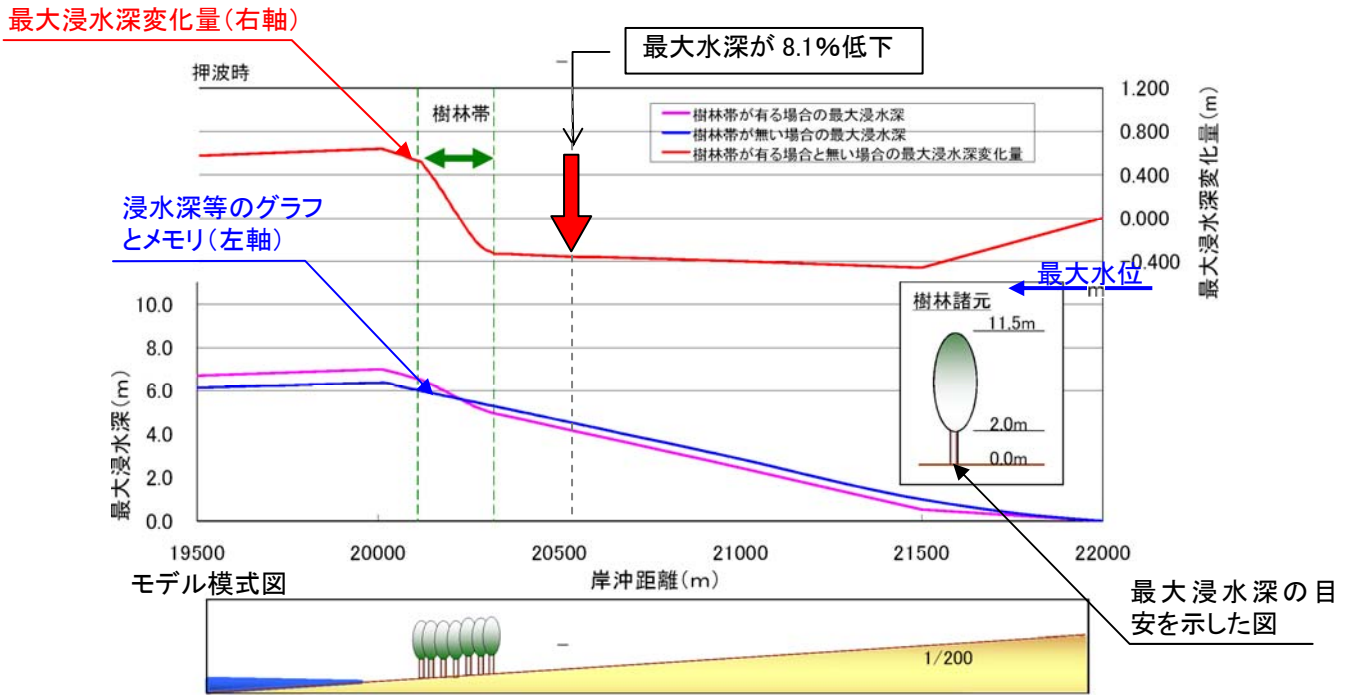


図 I-16 検討 3(沿岸到達高 7m)での最大浸水深と変化量

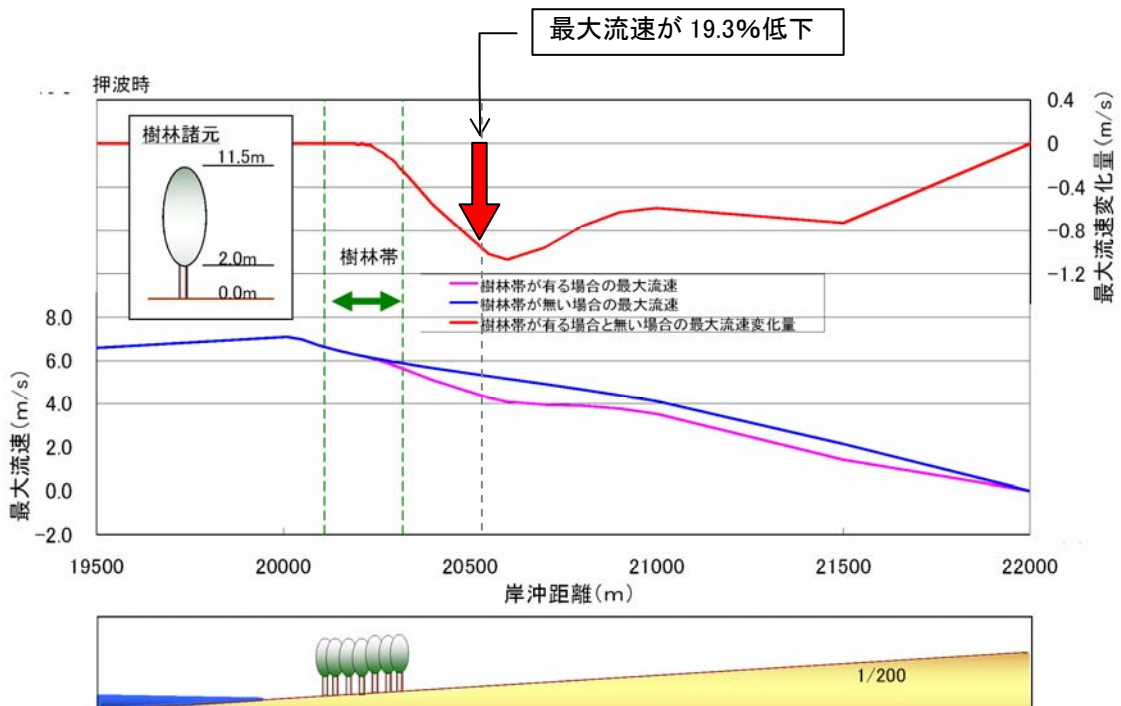


図 I-17 検討 3(沿岸到達高 7m)での最大流速と変化量

## ②検証2 連続型の盛土を配置した場合の津波エネルギー減衰効果

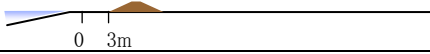
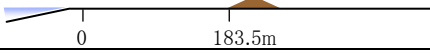

海岸部に樹林帯とあわせて盛土を計画している被災都市が見られるため、本検討では、盛土の効果についてその位置や形状について検証するとともに、その盛土に、さらに樹林帯を配置した効果について検証した。

### i) 連続型の盛土の位置の違いによる効果の検証

○津波エネルギーを減衰させるためには、線状に連続した盛土を設けることで高い効果が得られるが、同じ連続型の盛土を設ける場合では、海岸沿いよりも海から遠い陸側に設定の方が効果が大きい。

海岸部に配置する盛土について、どの位置に配置するのが効果的であるかを確認するため、盛土の配置を海側、中間、陸側の3ケースについて検証を行った結果、最大浸水深変化率が約37%及び最大流速変化率が28%減少している③陸側配置案が、最も高い津波エネルギー減衰効果を示した。

表 I-10 盛土の位置による津波エネルギー減衰効果の違い（到達津波高:6m）

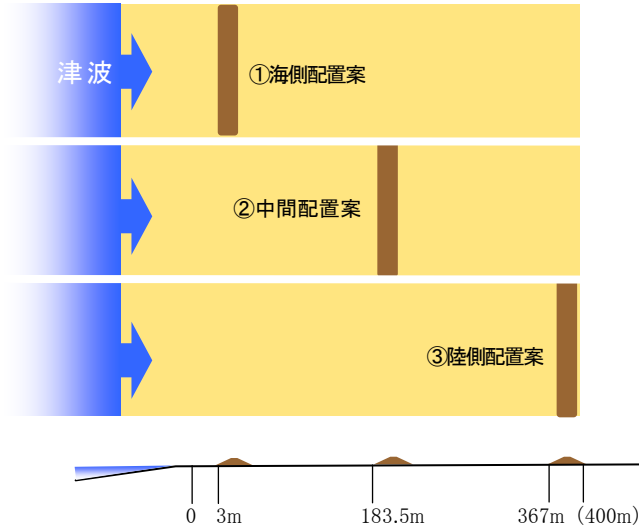
	400m地点 最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	400m地点 最大流速変化率 (最大流速変化量)
①海側配置案 断面図 	-32.3% (-1.5m)	-26.3% (-1.8m/s)
②中間配置案 断面図 	-33.2% (-1.6m)	-28.1% (-1.9m/s)
③陸側配置案 断面図 	-36.5% (-1.8m)	-28.3% (-1.9m/s)

なお、表 I-10 に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、津波による盛土の浸食がおきない等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。

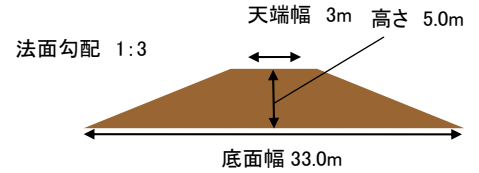


(津波浸水シミュレーションの検討条件) [検証2-i の条件]

- 樹林帯条件： 配置しない
- 防潮堤：なし
- 到達津波高：6m、周期 10 分（片振幅） 陸側配置案の盛土を越える高さとして設定
- 地形条件：海底の勾配=1/570、陸上部の勾配=1/2,000 仙台平野の代表的な地形を採用
- 地形条件2：沿岸部に盛土を配置

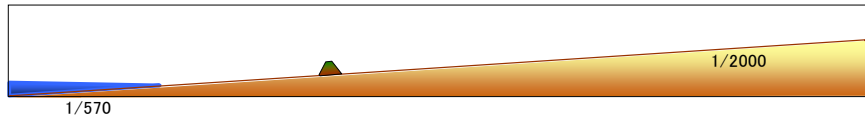
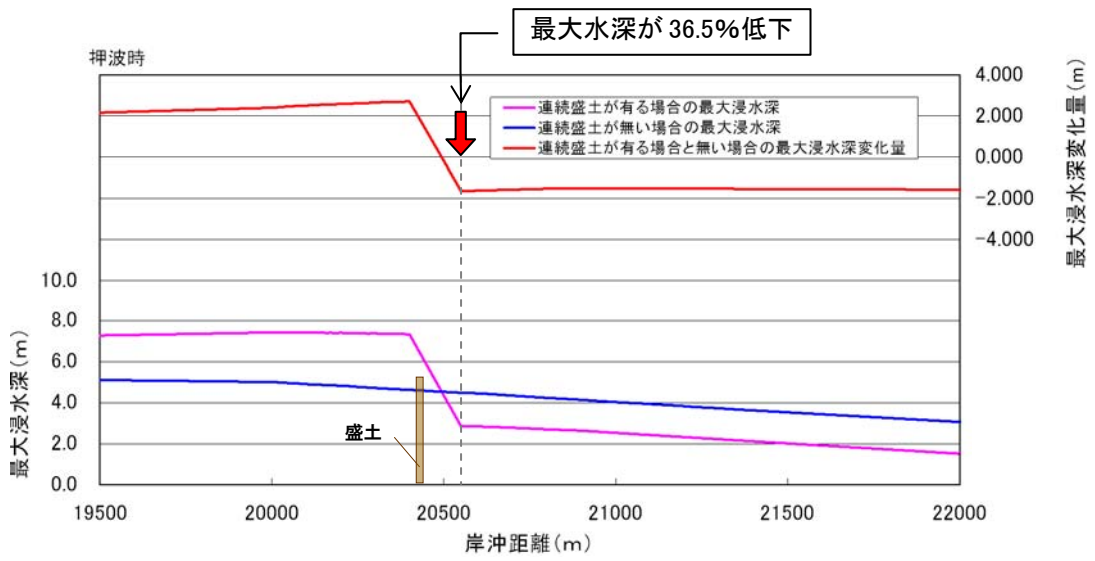


連続式盛土 断面図



盛土の高さは5mとし、津波に対して安定する  
と考えられる法面勾配として 1:3 とした。なお、  
盛土の高さと幅は、それぞれの地域で必要な検  
討を行う。

※本図は津波浸水シミュレーションを行うために設定した条件を示したもので、景観への配慮や盛土の幅・高さ等について最適な形状等を示したものではない。



※最大浸水深は  $S=1/2000$  の地形から水面までの距離

図 I-18 ③陸側配置案での最大浸水深と変化量

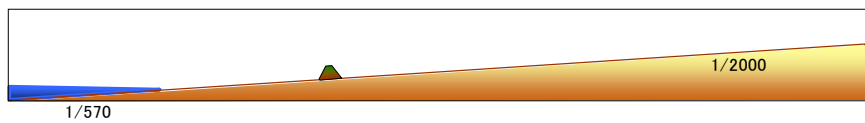
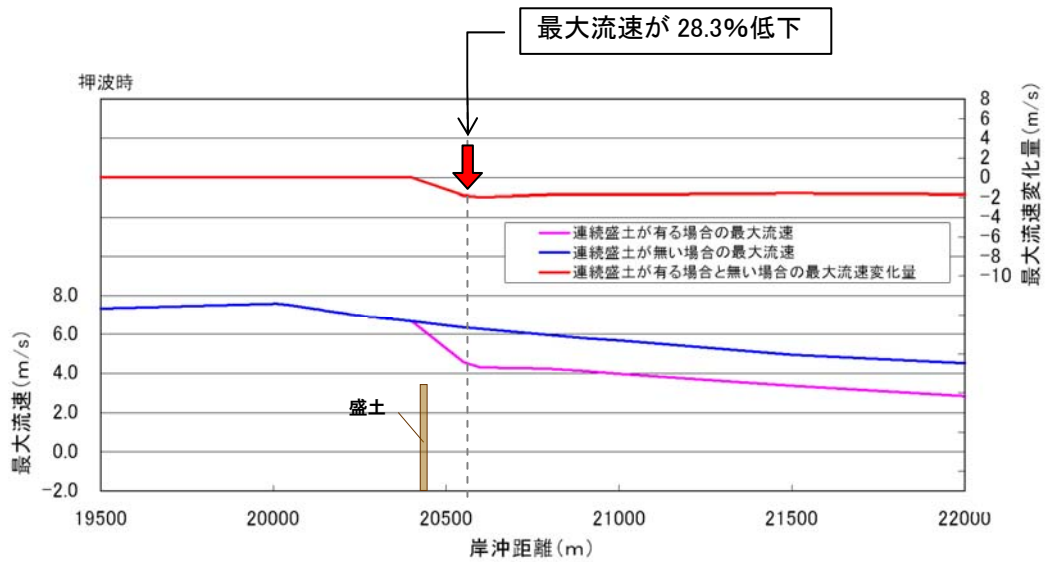
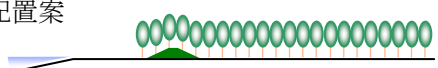
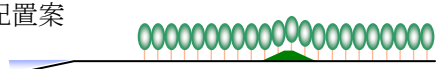
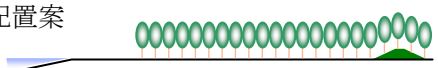


図 I-19 ③陸側配置案での最大流速と変化量

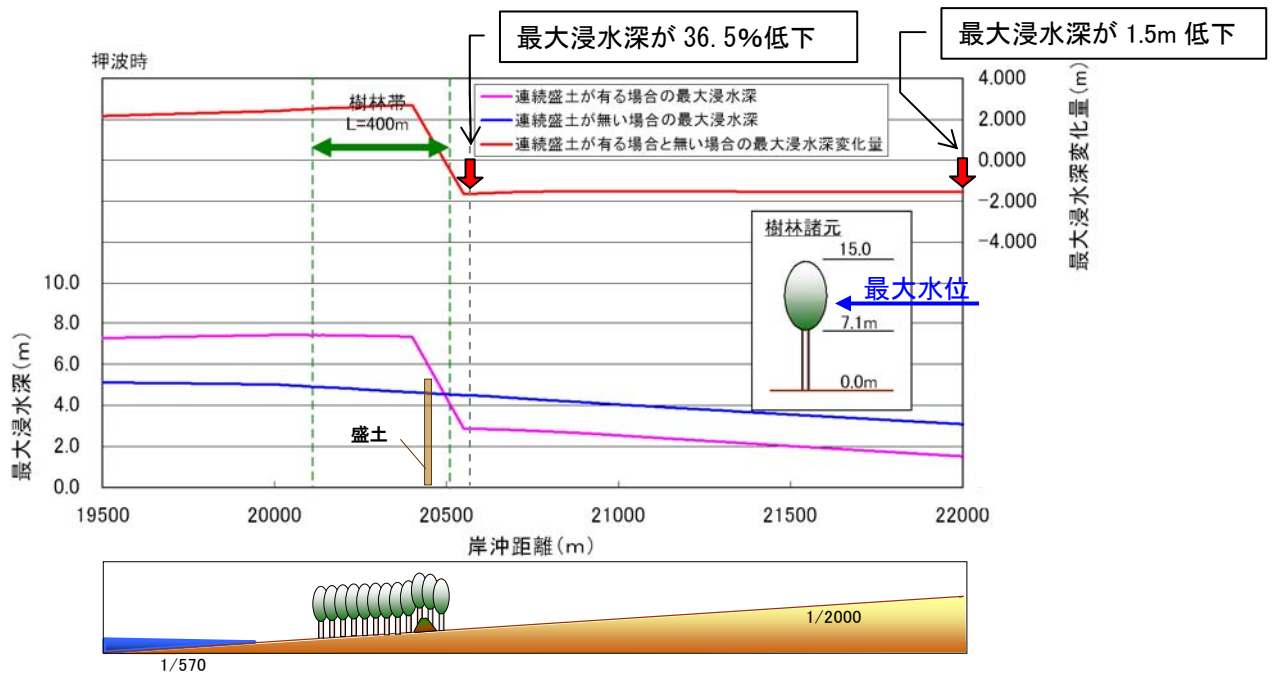
ii) 連続型の盛土と樹林帯の津波エネルギー減衰効果の検証

i) ①～③の盛土にそれぞれ樹林地を配置し、津波エネルギー減衰効果について検証した。その結果、全ての配置案で i) と同じ値を示した。これは、樹林密度の設定にあたって、今後目標となるクロマツ再生林の規格（詳細は P.23 参照）に合わせ、検証 1 の密度の約 1/4 まで下げた条件で設定しているため、津波があたる樹木の本数が少なく、また、津波に対する抵抗が大きい枝葉部の高さまで津波が達していないことが理由であると考えられる。

表 I-11 樹林帯+連続型の盛土の津波減衰効果（到達津波高:6m）

	400m地点 最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	400m地点 最大流速変化率 (最大流速変化量)
①海側配置案 	-32.3% (-1.5m)	-26.3% (-1.8m/s)
②中間配置案 	-33.2% (-1.6m)	-28.1% (-1.9m/s)
③陸側配置案 	-36.5% (-1.8m)	-28.3% (-1.9m/s)

なお、表 I-11 に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、植生密度が均一な樹林地であること等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。



※最大浸水深は  $S=1/2000$  の地形から水面までの距離

図 I -20 ③陸側配置案での最大浸水深と変化量

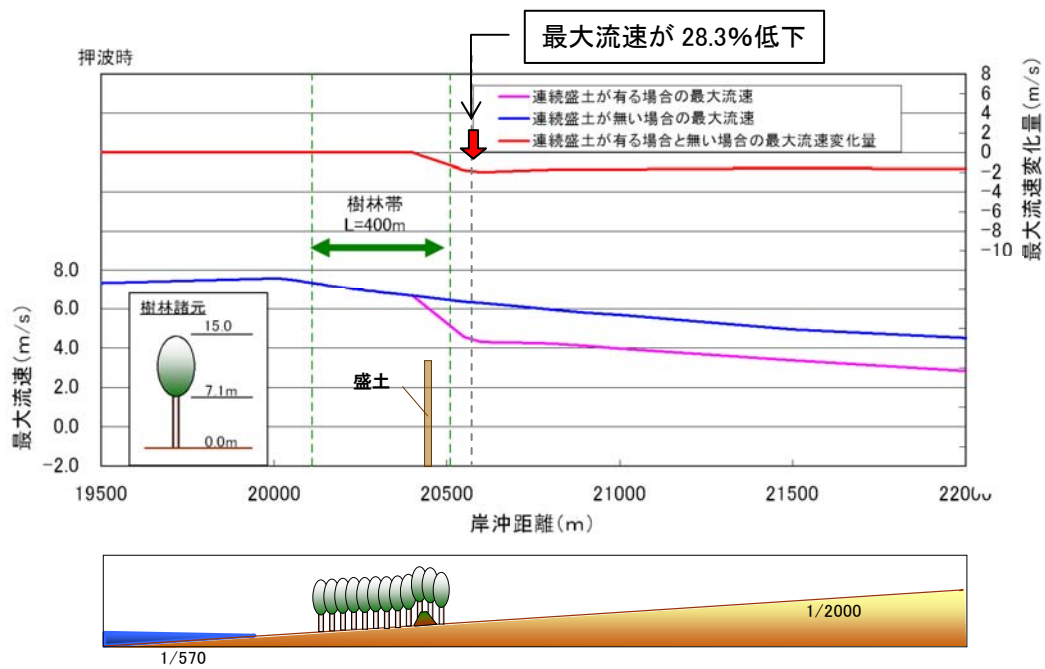


図 I -21 ③陸側配置案での最大流速と変化量



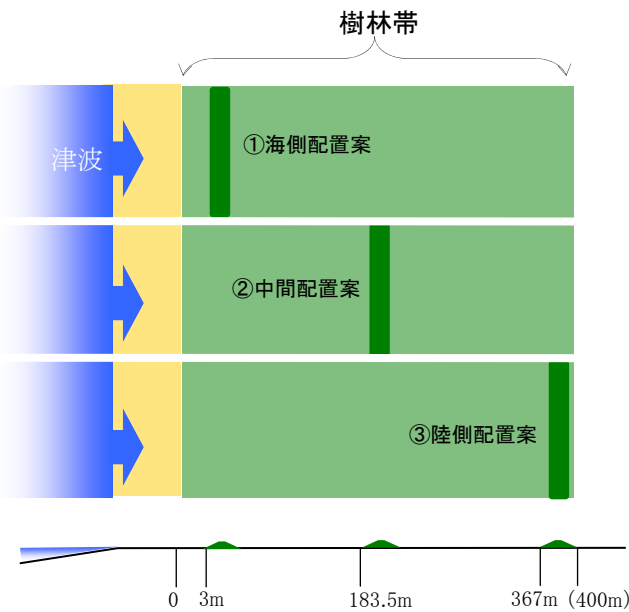
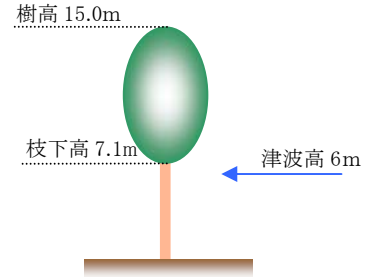
(津波浸水シミュレーションの検討条件) [検証2-iiの条件]

【検証2-iと同じ条件】

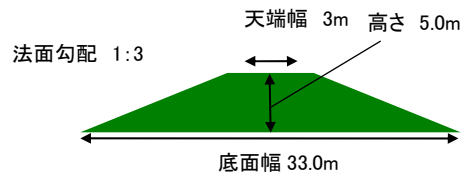
- 防潮堤：なし
- 地形条件：海底の勾配=1/570、陸上部の勾配=1/2,000
- 到達津波高：6m、周期10分(片振幅) 陸側配置案の盛土を越える高さとして設定

【検証2から変更した条件】

- 汀線から樹林帯までの距離：100m
- 樹林帯の幅：400m
- 樹林密度 680本/ha、胸高直径22cm、樹高15.0m、枝下高7.1m
- 樹林帯が持つ抵抗：津波の浸水深に応じた粗度係数
- 樹木折損条件：浸水深が深くなるほど、樹木に被害が出る設定。



連続型盛土 断面図



盛土の高さは5mとし、津波に対して安定すると考えられる法面勾配として1:3とした。なお、盛土の高さと幅は、それぞれの地域で必要な検討を行う。

※本図は津波浸水シミュレーションを行うために設定した条件を示したもので、景観への配慮や盛土の幅・高さ等について最適な形状等を示したものではない。

※検証 2-ii の樹林密度等の条件については、検証 1 で用いた現況の被災地の樹林帯に近い規格ではなく、今後目標とするクロマツ再生林の規格で設定。設定の根拠は以下のとおり。

○胸高直径：22cm

被害を受けないよう健全な樹木を育成する目標として設定

○樹高：15m

胸高直径が 22cm の時の樹高を、「クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方」((独) 森林総合研究所、平成 23 年 3 月) の「表 1 過密状況早見表」から決定(形状比=70)

○樹林密度：680 本/ha

胸高直径 22cm の時の相対密度 60% の時の本数を、「クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方」((独) 森林総合研究所、平成 23 年 3 月) の「表 2 林冠高に対応した目標本数密度」をもとに決定。なお、相対密度の 60% は、伐採直後の樹林(相対密度 55%=620 本/ha) と、伐採前の樹林(相対密度 65%=740 本/ha) の中央値。

○枝下高：7.1m

林分密度と枝下高の関係を求めた下記の金澤の式(出典：「日本の海岸林」(P 402、403))により、樹高 15m のクロマツの枝下高を設定

$$H_B = 1 / R_H H \{ a (\rho^{-1/2} \times 100)^b + 1 \}$$

$H_B$  : 平均枝下高 (m)

$R_H$  : 相対樹高 =  $H / H_{max}$  ( $R_H < 1.0$ ) 0.8

$H$  : 平均樹高 (m)

$H_{max}$  : 最大樹高 (m)

$\rho$  : 林分密度 (本/h a)

$a$  : 11.9517

$b$  : 1.4476

### ③検証3 部分的な盛土を配置した場合の津波エネルギー減衰効果

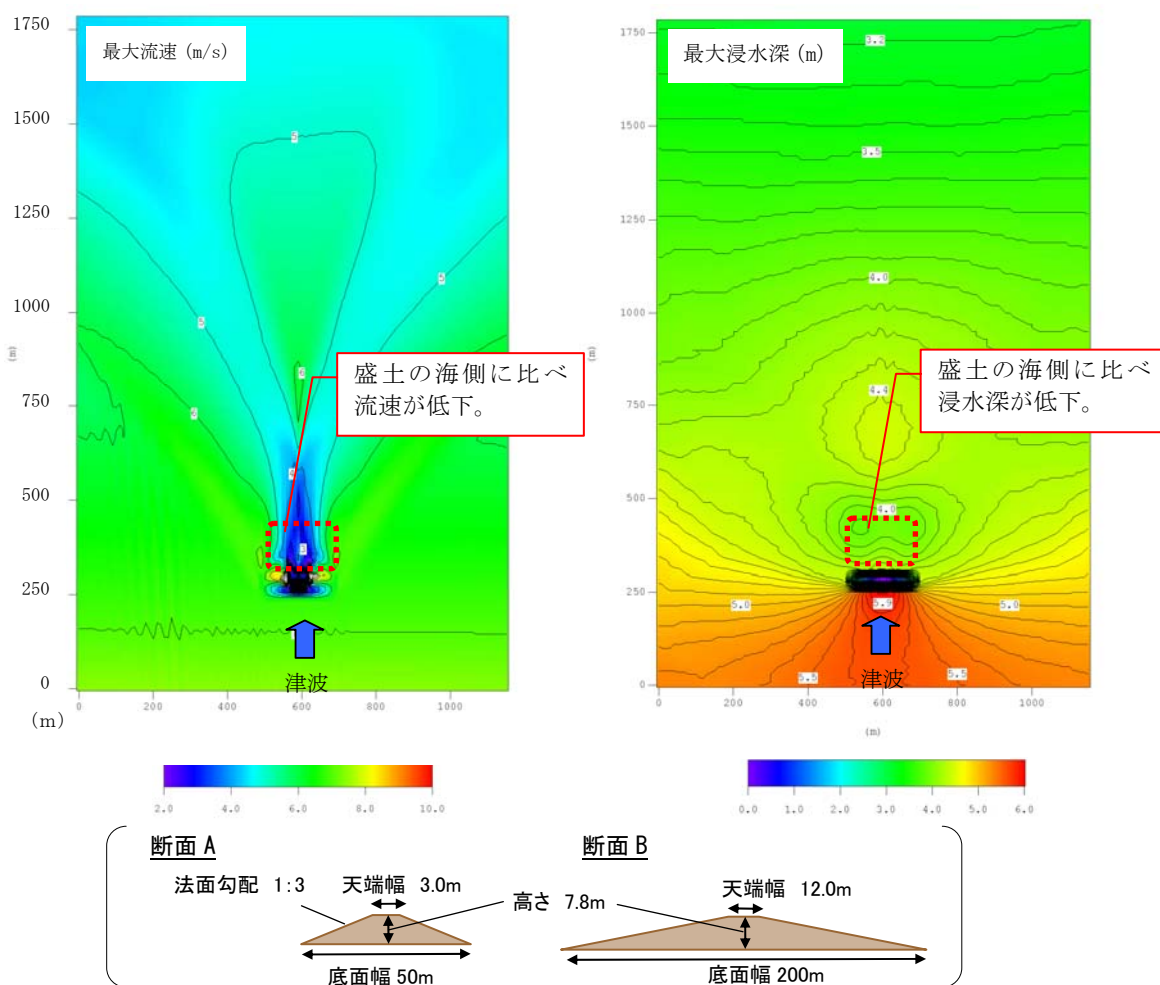
○連続型の盛土の配置が困難な場合には、津波エネルギーの減衰効果は低下するものの、守るべき対象物の前面に部分的に盛土を整備することにより一定の効果を発揮させることができる。

○丘状の築山を複層的に配置する場合は、小規模な築山を複数列配置するより、列数が少なくとも一つの築山に津波が当たる面積が大きくなるように配置する方が効果的である。

#### 【解説】

##### i) 守るべき対象物の前面に部分的に盛土を単独で配置した場合等の効果の検証

平野部において海岸線に平行に設置した連続型の人工の盛土を配置するには、一般に大量の土が必要となり事業費の負担も大きくなると考えられることから、連続型の盛土の配置が困難な場合には、津波エネルギーの減衰効果は低下するものの、守るべき市街地や施設等の前面に部分的に盛土を整備することにより一定の効果を発揮させることができる。



※本図は津波シミュレーションを行うために設定した条件を示したもので、景観への配慮や盛土の幅・高さ等について最適な形状等を示したものではない。

図 I -22 守るべき対象物の前面に部分的に盛土を設置した場合の効果

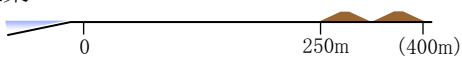

ii) 守るべき対象物の前面に部分的に複数の盛土を配置した場合等の効果の検証

連続型の盛土を配置する場合と比べ、津波エネルギーの減衰効果は低下するものの、築山を複層的に配置することも考えられる。この場合は表 I-12 に示すように、最大浸水深変化率が 41%、最大流速変化率 78% 減少した① 2 列配置案が効果が高い。このことから一定の土量で同じ高さの築山を複数配置する場合、小規模な築山を複数列配置するより、列数が少なくても、一つの築山に津波が当たる面積ができるだけ大きくなるように配置する方が津波エネルギーの減衰効果を発揮することが分かる。

なお、② 3 列配置案では 400m 地点の最大流速が大きくなっているが、盛土により海側の水位が堰上げられたことにより、盛土より海側と陸側の水面勾配（水位差）が大きくなり、局所的に流速が大きくなったと推定される。

また、400m 地点の低減率を比較すると、築山の複層配置（表 I-12）の方が、連続型の盛土（表 I-10）よりも高い値を示しているが、築山と築山の間から水が抜ける構造となっているため、時間の経過とともに津波が通過することにより、連続型の盛土と比べ、浸水範囲が拡大する点に留意する必要がある。

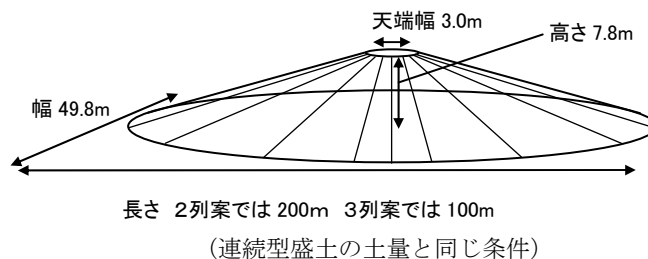
表 I-12 築山を複層的に配置する場合の津波減衰効果（到達津波高:6m）

	400m地点 最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	400m地点 最大流速変化率 (最大流速変化量)
① 2 列配置案 	-41.2% (-2.0m)	-77.7% (-4.5m/s)
② 3 列配置案 	-28.1% (-1.2m)	+14.5% (+0.5m/s)

なお、表 I-12 に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、最も効果の高い盛土の直背地における数値であり、盛土の後背地全域に与える効果を示したものではない。また、この数値も津波による盛土の浸食が発生しない等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。

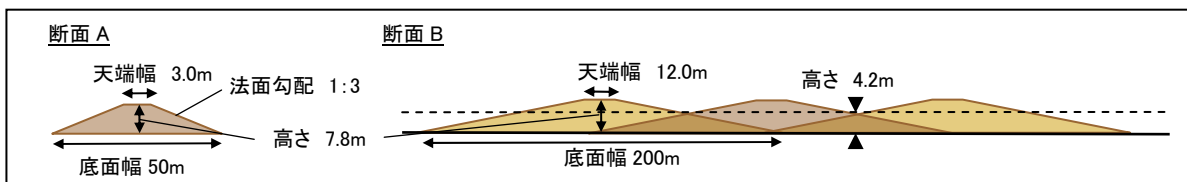
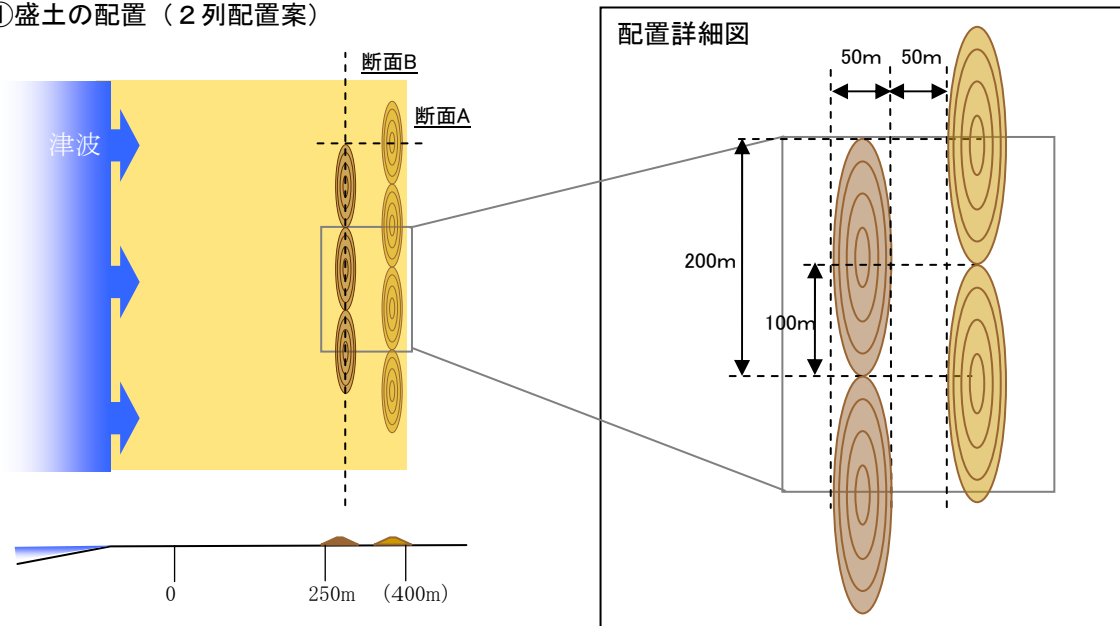
(津波浸水シミュレーションの検討条件) [検証 3-ii の条件]

- 樹林帯条件：配置しない
- 地形条件：海底の勾配=1/570、陸上部の勾配=1/2,000 仙台平野の代表的な地形を採用
- 地形条件 2：2 列案、3 列案は同じ土量を配分して盛土高、幅を設定
- 防潮堤：なし
- 到達津波高：6m、周期 10 分（片振幅）

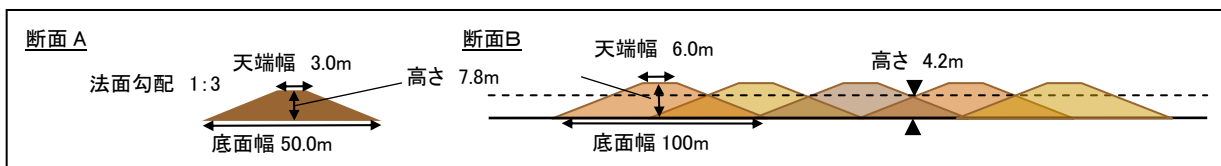
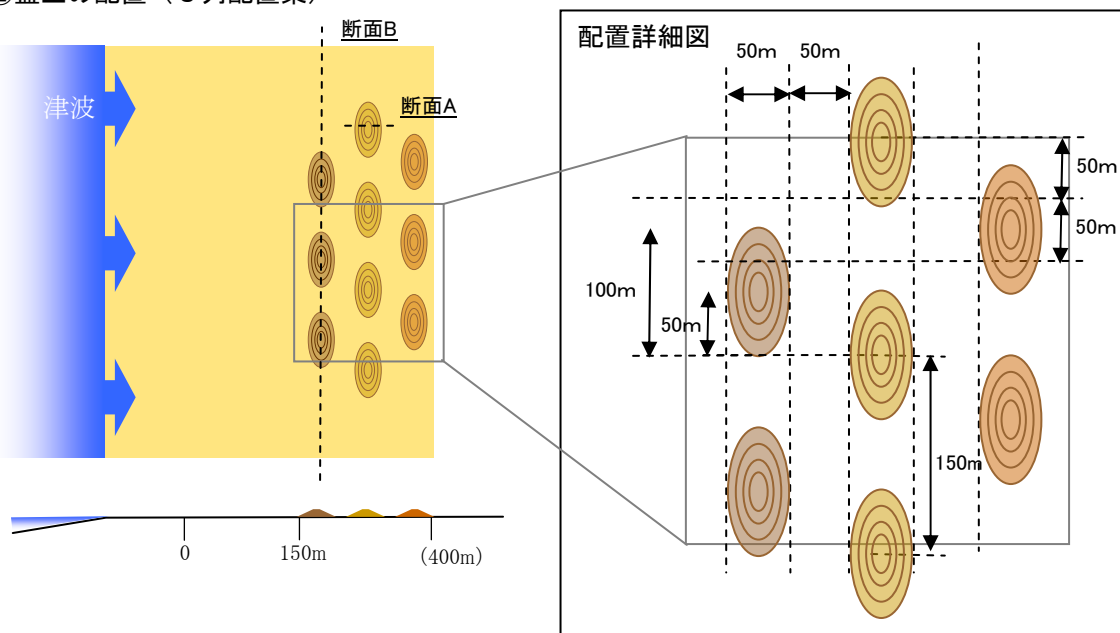


(津波浸水シミュレーションの検討条件) ※下記の2案は同じ土量となるよう大きさを設定

①盛土の配置 (2列配置案)



②盛土の配置 (3列配置案)



※本図は津波シミュレーションを行うために設定した条件を示したもので、景観への配慮や盛土の幅・高さ等について最適な形状等を示したのではない。

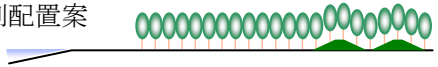
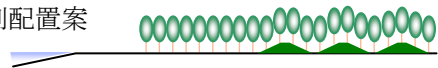


### iii) 複数の盛土に樹林帯を加えた場合の効果の検証

スポット型（築山の複層的な配置型）でも、最大浸水深変化率が約 41%及び最大流速変化率が約 78%減少した① 2列配置案が、検証 2 と同様に津波エネルギー減衰効果が高く、津波エネルギー減衰効果が高いのは 2 列案である。

なお、全ての配置案で、盛土のみの場合と同じ値を示しているが、これは、検証 2 ii) 同様に、樹林密度の設定にあたって、今後目標となるクロマツ再生林の規格（詳細は P. 23 参照）に合わせ、検証 1 の見るとの約 1/4 まで下げた条件で設定しているため、津波があたる樹木の本数が少なく、また、津波に対する抵抗が大きい枝葉部の高さまで津波が達していないことが理由であると考えられる。

表 I-13 樹林帯+スポット型の盛土の津波減衰効果（到達津波高:6m）

	400m地点 最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	400m地点 最大流速変化率 (最大流速変化量)
① 2列配置案 	-41.2% (-2.0m)	-77.7% (-4.5m/s)
② 3列配置案 	-28.1% (-1.2m)	+14.5% (+0.5m/s)

なお、表 I-13 に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、最も効果の高い盛土の直背地における数値であり、盛土の後背地全域に与える効果を示したものでない。

また、この数値は、津波による盛土の浸食がおきない等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。

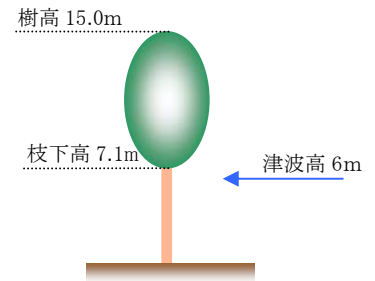
(津波浸水シミュレーションの検討条件) [検証3-iiiの条件]

【検証3-iiと同じ条件】

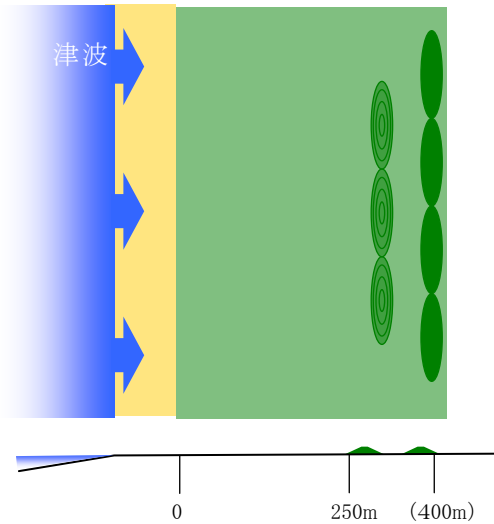
- 防潮堤：なし
- 地形条件：海底の勾配=1/570、陸上部の勾配=1/2,000
- 到達津波高：6m、周期10分（片振幅） 陸側配置案の盛土を越える高さとして設定

【検証2から変更した条件】

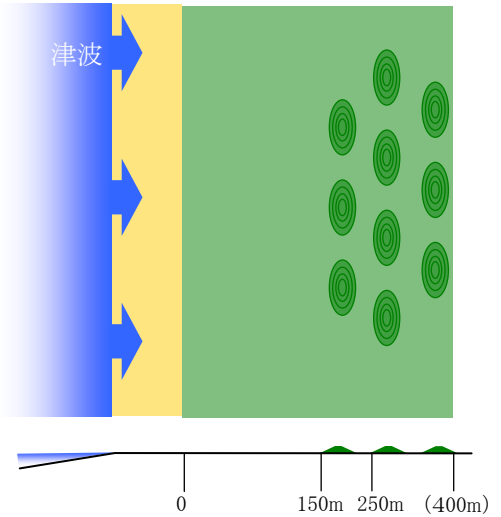
- 汀線から樹林帯までの距離：100m
- 樹林帯の幅：400m
- 樹林密度 680本/ha、胸高直径22cm、樹高15.0m、枝下高7.1m
- 樹林帯が持つ抵抗：津波の浸水深に応じた粗度係数
- 樹木折損条件：浸水深が深くなるほど、樹木に被害が出る設定。



スポット型2列配置案



スポット型3列配置案



※本図は津波シミュレーションを行うために設定した条件を示したもので、景観への配慮や盛土の幅・高さ等について最適な形状等を示したものではない。

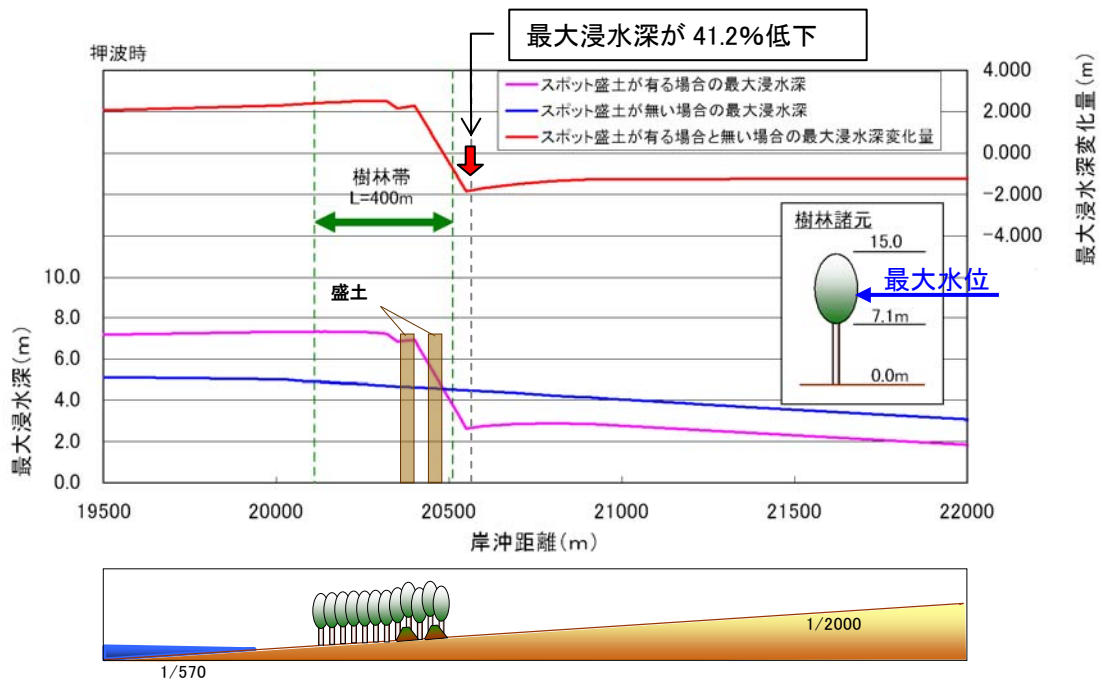


図 I-23 ①2列配置案での最大浸水深と変化量

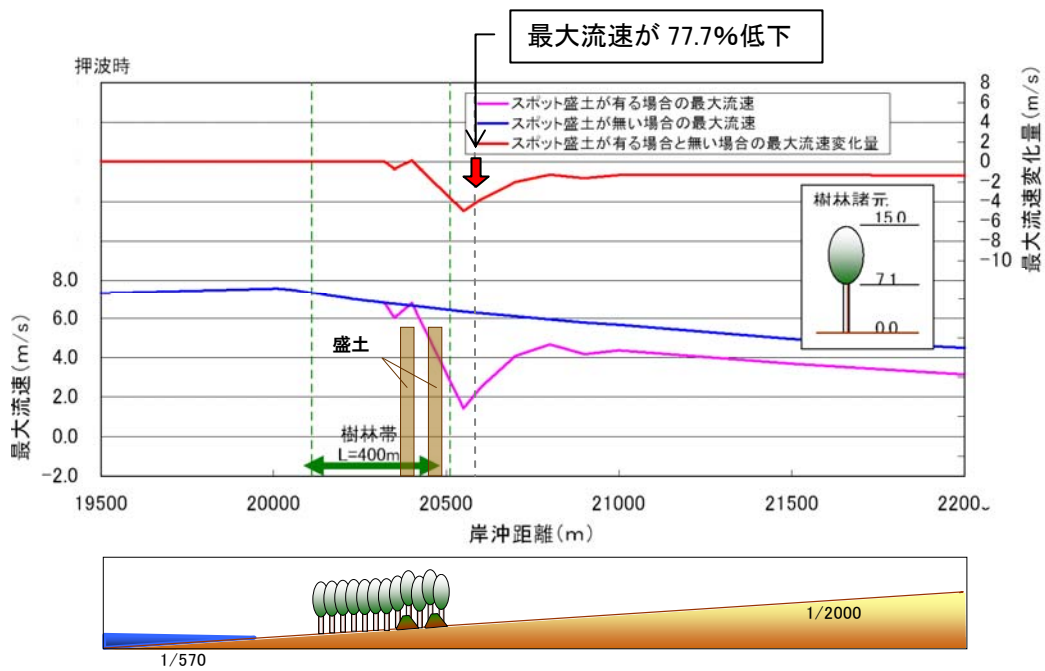


図 I-24 ①2列配置案での最大流速と変化量

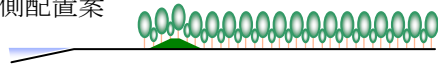
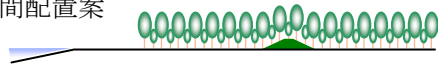
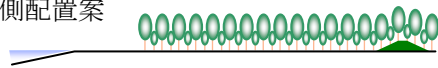
#### ④検証4. 複層林の樹林地（樹林帯＋盛土）の持つ津波エネルギー減衰効果

検証1～3は、単層林（クロマツ）での効果について検証したが、検証2の条件を、より津波被害低減効果が高いと考えられる複層林とし、連続型の盛土の設置位置の違いにおける効果を検証した。その結果、表I-14に示すように、最大浸水深変化率が約35%及び最大流速変化率が約36%減少した③陸側配置案がこれまでの検証と同様に、津波減衰効果が高いことが明らかになった。

なお、②中間配置案及び③陸側配置案の浸水深については、複層林（表I-14）の方が、単層林（表I-11）よりも浸水深が深くなっているが、これは、林帯内において津波が低木層に当たる動向を示している。

流速の低下については単層林と比較して、一定の効果が得られているが本検討においては、低木における樹木の被害率については高木の浸水深と樹木被害率の関係式をそのまま適用している結果である。

表I-14 複層林の樹林地の津波減衰効果（到達津波高：6m）

複層林（連続型盛土）	400m地点 最大浸水深変化率 (最大浸水深変化量)	400m地点 最大流速変化率 (最大流速変化量)
①海側配置案 	-33.0% (-1.5m)	-32.2% (-2.1m/s)
②中間配置案 	-32.3% (-1.4m)	-31.3% (-2.0m/s)
③陸側配置案 	-35.0% (-1.7m)	-35.5% (-2.3m/s)

なお、表I-11に示す最大浸水深・最大流速の変化値は、植生密度が均一な樹林地であること等の理想化したモデルにおいて得られた値であり、現場への適用にあたっては目安として考えられたい。

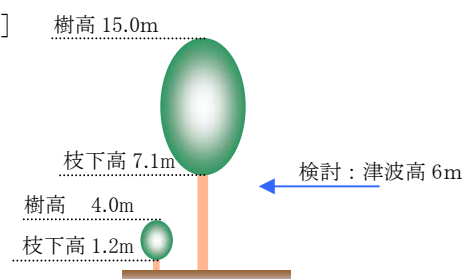
#### （津波浸水シミュレーションの検討条件）[検証4の条件]

##### 【検証2-iiと同じ条件】

- 防潮堤：なし
- 汀線から樹林帯までの距離：100m
- 樹林帯の幅：400m
- 樹林帯が持つ抵抗：津波の浸水深に応じた粗度係数
- 樹木折損条件：浸水深が深くなるほど、樹木に被害が出る設定。
- 地形条件：海底の勾配=1/570、陸上部の勾配=1/2,000
- 到達津波高：6m、周期10分（片振幅）陸側盛土を越える高さとして設定
- 樹林規格（高木層）：樹林密度680本/ha、胸高直径22cm、樹高15m、枝下高7.1m

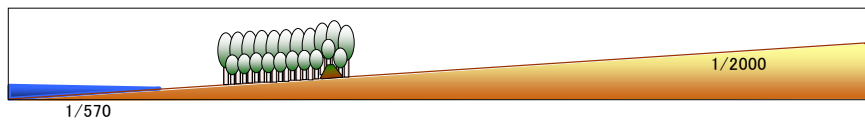
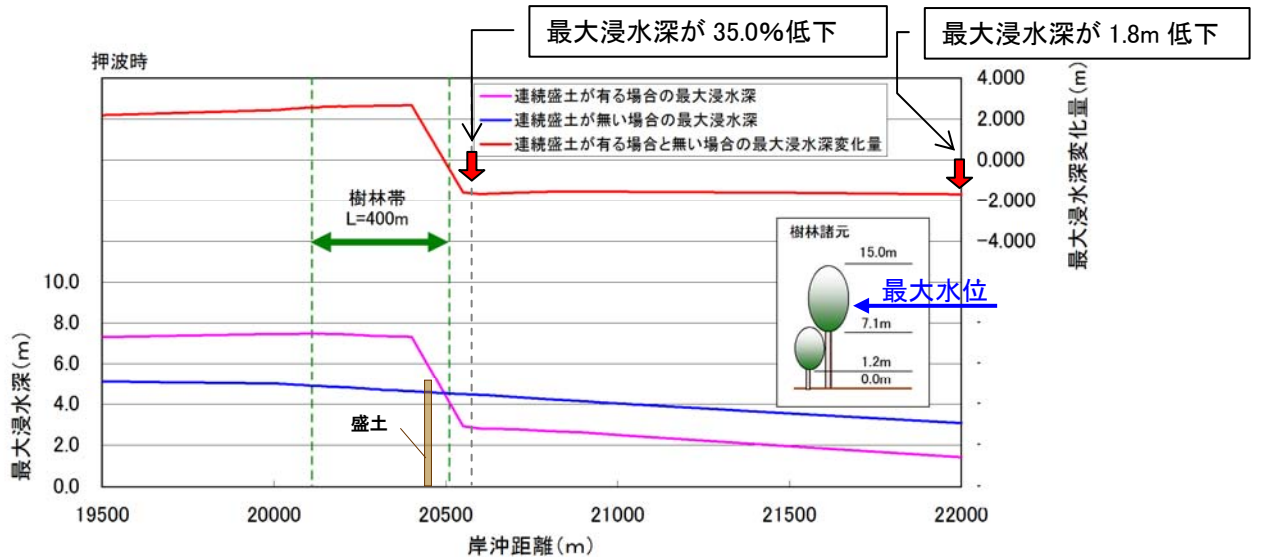
##### 【検証3から変更した条件】

- 樹林規格（低木層）：樹林密度680本/ha、樹高4.0m、胸高直径6.2cm、枝下高1.2mを加えた ※



※検討4における低木層の樹木の樹高及び胸高直径、枝下高は、「第5回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）の資料1-4の3 P74を参考に、クロマツ林の下層で健全に生育した場合とし

て設定したが、津波減衰効果に関わる密度設定については、高木層と低木層を異なる密度設定で津波浸水シミュレーションを行うことができないため、低木層の密度は、高木層と同じ値とした。なお、低木層の密度を高めると、より津波減衰効果を発揮するものと考えられる。



※最大浸水深は S=1/2000 の地形から水面までの距離

図 I-25 ③陸側配置案での最大浸水深と変化量

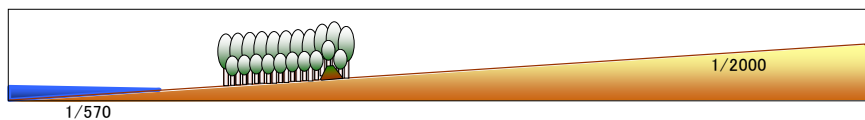
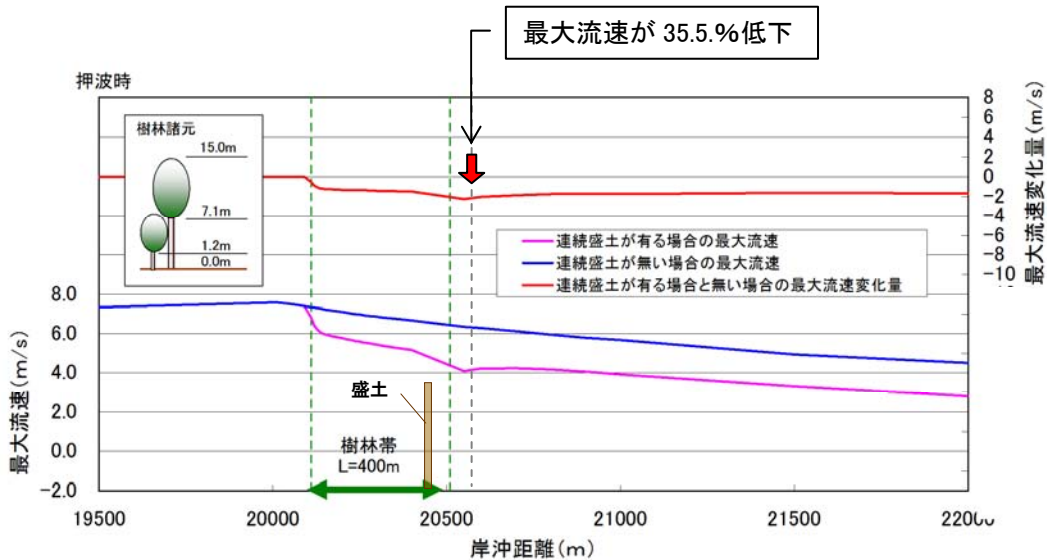


図 I-26 ③陸側配置案での最大流速と変化量



### 3.2 避難路・避難地等としての機能

#### 3.2.1 時間軸に対応した公園緑地の役割や機能

公園緑地が有する防災に関する役割や機能については、時間の経過とともに変化していくことを踏まえ、その各段階に応じた機能が果たせるよう留意して計画することが必要である。

＜津波災害に対する時間軸に対応した公園緑地の機能の概要＞

(1) 予防段階

メモリアル公園として過去の大津波や今次の津波の記録や教訓を防災文化として次世代に継承し、情報発信する防災教育機能も重要であり、このような公園緑地では防災訓練や学習をする場として活用されることが期待される。

(2) 直後段階から緊急段階

今次津波において高台に位置する公園や公園区域内にある丘が一次避難地として機能した。また、一次避難地に被災者が孤立することが想定される場合は、一時的避難生活の場として物資の備蓄等の確保も必要である。

(3) 応急段階から復旧・復興段階

発災時から概ね3日経過以後、公園は避難生活の場や復旧・復興活動の支援拠点等としての機能を果たし、仮設住宅用地、資機材の置場、情報ステーション、炊き出し・給水活動の場やボランティアの活動拠点等となる。

【解説】

津波災害の段階によって、公園緑地に求められる機能は表 I-15 のように変化するため、これら役割に応じた位置、規模、施設整備とする必要がある。

表 I-15 津波災害における公園緑地の役割-時間軸に対応した整理

	段階	予防段階		直後段階	緊急段階	応急段階	復旧・復興段階
津波災害における公園緑地の役割	時間スケール	発災前	地震・津波災害発生	地震発生～津波来襲までの10～15分	概ね3日程度	概ね3日以降	
	防災・減災目標	事前防止		生命確保	生命維持	生活確保	生活再建
	公園緑地の役割	○メモリアル公園など、地震、津波に関する記録等を学ぶ場(防災訓練、自主防災組合の育成、防災意識の普及啓発)等		○津波被害の軽減、避難時間の確保、漂流物捕捉 ○一次避難地、避難中継地、最終避難地、避難路等	○一時的避難生活の場、支援の場等	○救援活動の場 ○一時避難生活の場等	○復旧・復興活動の拠点 ○がれきの仮置き場 ○仮設住宅の建設等

出典：社団法人 都市計画学会資料より作成

避難路・避難地に求められる機能については、地震が発生してから津波が到達するまでに早急に安全に移動することと、その後、避難生活を送るという、2つの段階・行動からの検討が必要となる。

今次の津波災害津波発生直後においては、津波被害の低減、避難時間の確保、漂流物捕捉等に加え、高台に位置する公園や公園区域内にある丘が一次避難地として機能した一方で、一次避難地に孤立する被災者も数多く見受けられた。避難地の検討にあたり、津波災害の状況により孤立の可能性のある公園緑地においては、一時的避難生活の場として、救助が来るまでの一定期間とどまることのできる物資の備蓄や自家発電施設等の災害応急対策施設の充実が必要となる。

避難生活の場や復旧・復興活動の支援拠点等としての機能はこれまでの防災公園の機能と同様に、応急段階以後に必要な施設として重要である。その際、地域の実情に応じ、備蓄倉庫、耐震性貯水槽、自家発電施設等の災害応急対策施設の設置などについて、学校や公民館等の公共施設と公園緑地との適切な役割分担を行うことが、避難生活の的確な支援を実現するために有効である。その他にも、被災地における貴重なオープンスペースとして、仮設住宅建設用地となり長期的な避難生活の場を提供する機能や復旧・復興事業に必要な資機材の置場等を提供する機能、災害支援に関する被災者への情報ステーション、炊き出し・給水活動の場やボランティアの活動拠点等を提供する機能を検討することが必要となる。

### 3.2.2 避難路について

- 車による避難が想定される地域においては、避難路沿いや高台に車が駐車可能なスペースを確保するなど、短時間で避難できるよう計画することが重要。
- 園路におけるバリアフリー対策など高齢者等移動弱者への対策が必要。
- 避難地の場所が認識されやすいようランドマークを配置することや、わかりやすいサインにより避難経路を明示することが望ましい。

#### 【解説】

本震災における避難時の移動実態は、「街路網計画及び避難施設の配置と交通運用に関する調査」（国土交通省都市局）によると、図 I-29 のように、リアス式海岸部では、避難者の 53.0% を占める徒歩、次いで 45.1% を占める車の順で多く、平野部では、車による避難が約 58.9% と全体を占める割合が多かったことが明らかになった。これを踏まえ、公園の園路や緑道においても、車による避難にも対応できるような駐車可能なスペースを避難路沿いや高台に確保するなど、歩行や車により短時間で避難できる経路とする 것도有効である。

ただし、車が駐車可能なスペースは、歩行者の避難の障害とならないよう留意する必要がある。（歩行による避難のために必要な園路の幅員の算定については、参考資料 1 P. 1 を参照）。

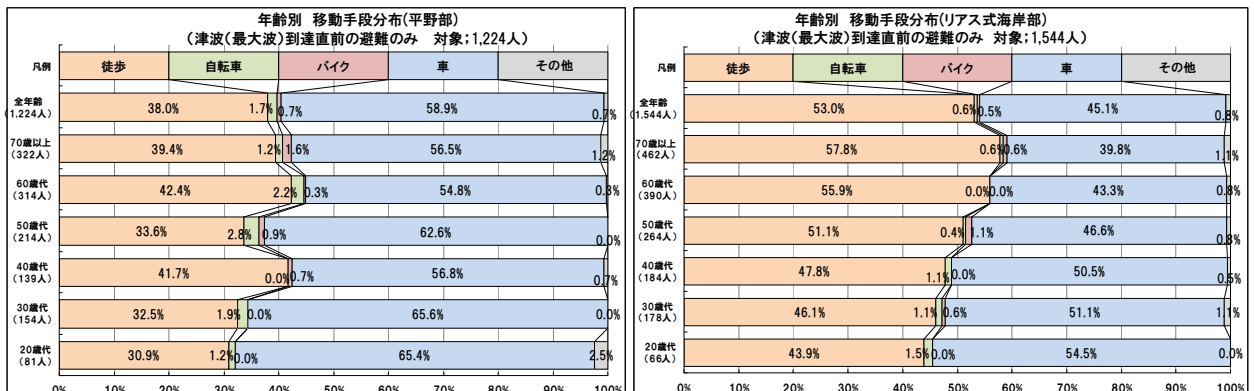


図 I-27 東日本大震災における避難時の移動手段の割合  
 出典：国土交通省都市局 街路網計画及び避難施設の配置と交通運用に関する調査

また、歩行者の移動経路における高齢者や要支援避難者等が、避難しやすい避難路とするには、バリアフリーなど段差の解消や手すりの設置などの対策とともに、様々な歩行速度に応じて、一パターンの経路設定だけではなく、できるだけ複数の避難路を確保し、不測の事態に応じて判断できるような避難路を確保することが重要である。

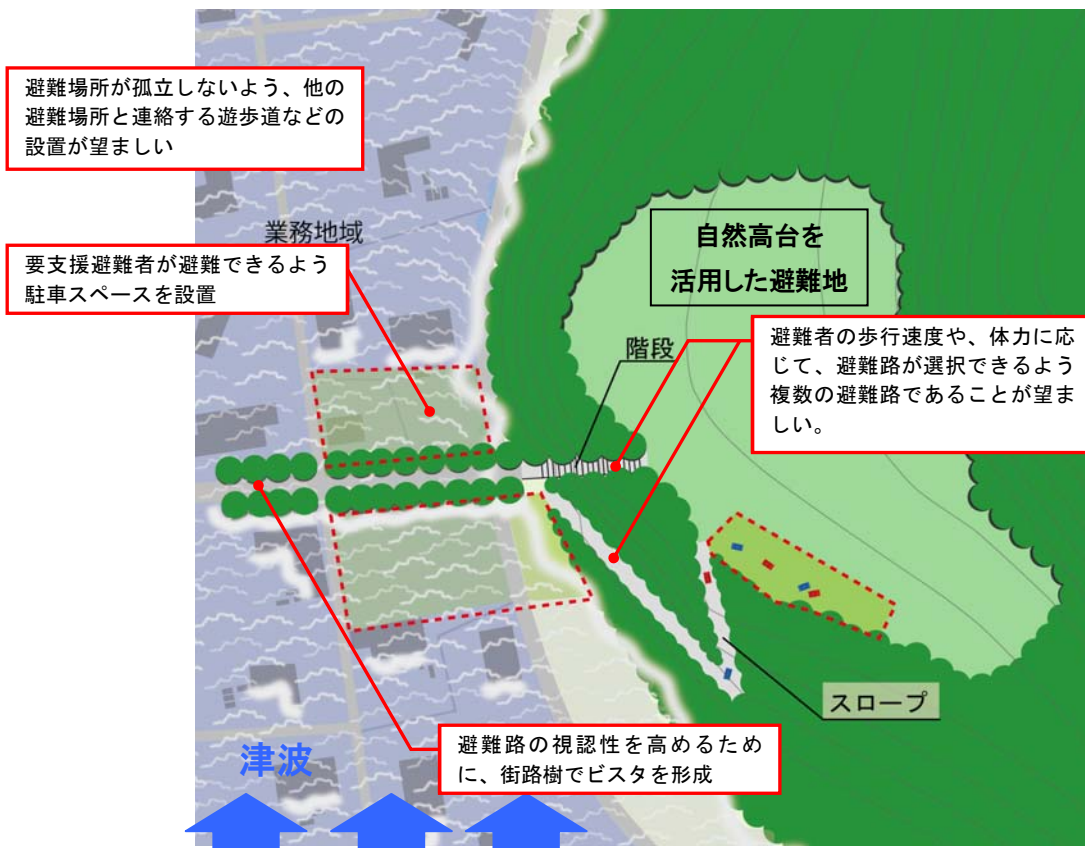


図 I-28 避難路の計画における配慮事項

今次津波において避難に要した平均移動距離および平均移動時間については、表 I-16 のようになっており、徒歩の場合が 438m を 11.2 分、車の場合は 2,431m を 16.2 分で避難している。

これは、防災基本計画で目標としている「津波到達時間が短い地域ではおおむね 5 分程度で避難できるまち」とは乖離があることから、速やかに避難できるまちづくりをハード施策だけでなくソフト施策も含めて総合的に進める必要がある。

表 I-16 今次津波における移動手段別の避難距離、時間、平均移動速度

	平均移動距離 (m)	平均移動時間 (分)	平均移動速度 (km/h)
徒歩	438	11.2	2.3
自転車	1,603	15.0	6.4
車	2,431	16.2	9.0

出典：国土交通省都市局 街路網計画及び避難施設の配置と交通運用に関する調査

なお、津波避難ビル等に係るガイドライン（平成 17 年 6 月 津波避難ビル等に係るガイドライン検討会、内閣府政策統括官（防災担当））は、平地での通常歩行の速度は 1.0m/秒、歩行困難者や身体障害者、乳幼児等の歩行弱者では 0.5m/秒とされ、高台等にかかる速さについては 0.21/秒が目安とされている。（参考資料 1 P.3、4 を参照）

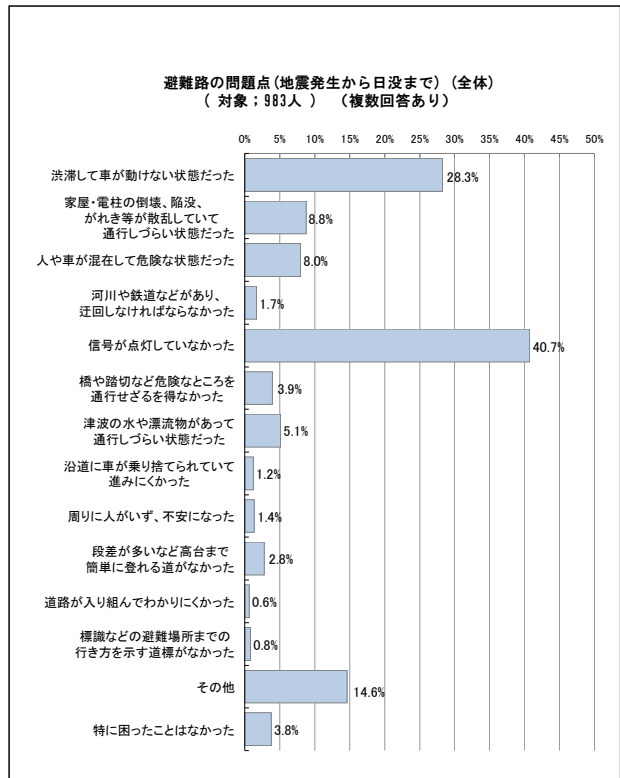
移動における問題点については表 I-17 のように、日没までの移動時について調査されており、ここでは、車の移動による課題が整理された他、「周りに人がいず不安になった」、「道路が入り組んでいてわかりにくかった」、「標識などの避難場所までの行き方を示す道標がなかった」というわかりやすさについてあげられており、円滑な避難を確保するため、避難地の場所が認識されやすいようランドマークを配置することや、わかりやすいサインにより避難経路を明示することが望ましい。

なお、避難路や避難先を示すサインを設置する際、過去の津波の浸水高さを示すことについても検討することが望ましい。

また、夜間に震災が発生した際にも迅速に避難できるよう、LED などの照明器具を公園入口部や園路の分岐部に配置し、避難路を示すことも有効である。

ランドマークについては、モニュメントや特徴ある樹木、展望台など、公園の目的や周囲の特徴にあわせて、ふさわしいものを検討する。

表 I-17 移動時の問題点



出典：国土交通省都市局 街路網計画及び避難施設の配置と交通運用に関する調査

### 3.2.3 避難地等について

避難地等として必要な機能は、避難の目的や滞留時間により異なることに留意が必要である。

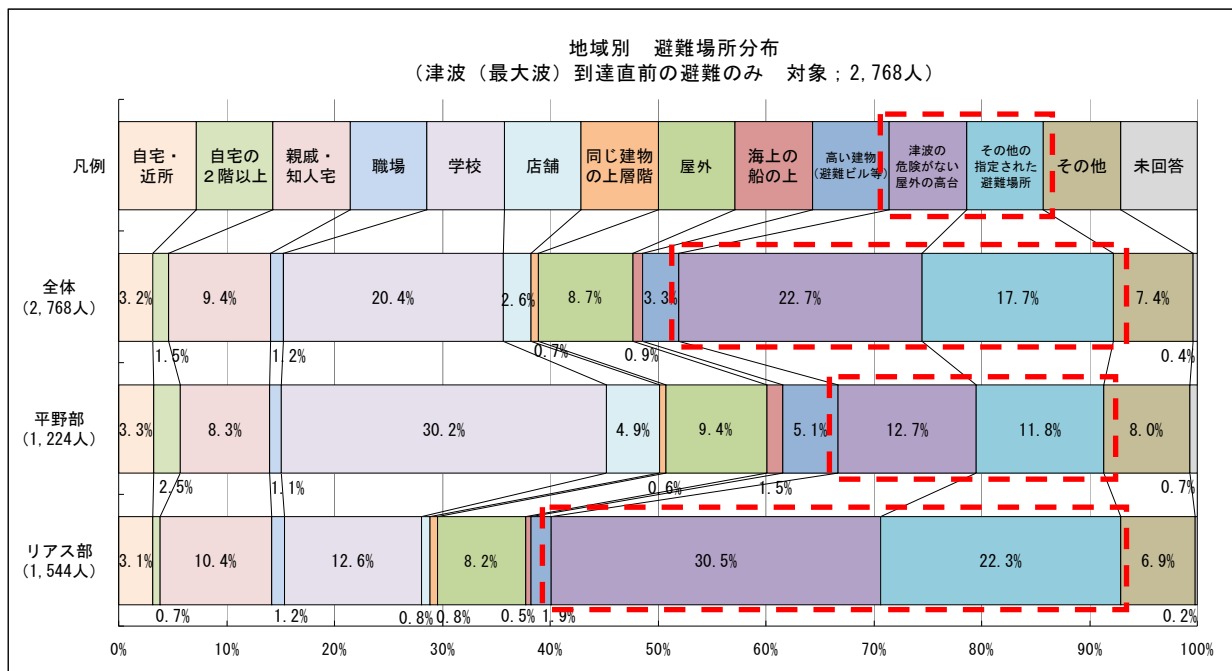
表 I-18 避難地等の役割と公園緑地での対応

避難の段階	公園緑地の役割	避難等の状況	公園緑地・オープンスペースで必要な機能
直後段階 津波から緊急に避難する生命確保の段階	一次避難地	津波から早急に避難できる位置にあり、津波被害から逃れることのできる高さがある場所に可及的速やかに避難し身の安全を図っている。 具体的には、高台公園や神社の境内といった公園緑地・オープンスペース、盛土による嵩上げをした公園、または、避難ビルや避難タワー等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難の目印となるランドマークの設置</li> <li>照明施設及び電源の設置、確保</li> <li>二次避難のための避難地までの経路案内</li> <li>応急手当や、緊急用の飲料水や毛布などを備蓄できる倉庫</li> </ul>
緊急段階 支援物資が届くまでの数日を過ごす生命維持の段階	一次避難地 (避難所)	一次避難地から、避難所(公園の体育館や学校、公民館など)に移動。 ただし、浸水などにより避難経路が確保できていない場合、一次避難地に孤立する可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>支援物資が届くまでと考えられる3日間程度の生活ができる食料や飲料水、衣類や暖房器具などが備蓄できる倉庫</li> <li>避難所への避難経路が確保できない高台公園などでも、数日を過ごすことができる飲料水や食料、建物やテント、仮設トイレ。</li> </ul>
応急段階 救援活動が行われている生活確保の段階	広域避難地 (避難所)	屋内で滞在できる施設を有する大規模公園等や、小規模であるがテントが設置できる地区公園等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電施設や通信施設、飲料水、雑用水が確保できる設備等</li> <li>仮設トイレや洗濯機などが設置できる設備等</li> <li>給水車などの支援車両がアクセスできる動線と駐車スペース</li> </ul>
復旧・復興段階 復旧・復興活動が行われている生活再建の段階	広域避難地 (避難所)	屋内で滞在できる施設を有する大規模公園等や、仮設住宅が設置できる地区公園、大規模公園等。	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電施設や通信施設、飲料水、雑用水が確保できる設備等</li> <li>仮設トイレや洗濯機などが設置できる設備等</li> <li>給水車などの支援車両がアクセスできる動線と駐車スペース</li> </ul>



なお、本震災における津波到達前の避難地は、「街路網計画及び避難施設の配置と交通運用に関する調査」（国土交通省都市局）によると、「津波の危険が無い屋外の高台」と、「その他指定された避難場所」がそれぞれ23%、18%と多く、これら区分には公園緑地や民有緑地も含まれている。

なお、高台が少ない平野部における避難地は、「学校」がもっとも多く、次いで「その他指定された避難場所」、「津波の危険が無い屋外の高台」の順となっている。



避難地の規模の設定にあたっては、学校などの公共施設や津波避難ビルなど、対象となる施設と避難対象人口の関係を踏まえた必要な面積を設定することが重要である。

必要避難スペース (有効避難面積:  $m^2$ )

$$= \text{対象避難人口 (人)} \times \text{有効避難単位面積}^* (m^2/\text{人})$$

※有効避難単位面積: 現状に応じて1~2  $m^2$ /人とする。

出典:都市緑化技術開発機構 防災公園計画・設計ガイドライン

### (緊急段階における避難地)

今次津波では、津波警報が解除されるまで2昼夜かかっていることから、緊急的に避難した場所から、夜間を過ごすことができる避難所まで安全に移動できる移動経路が確保されていることが重要である。また、この移動経路が確保されていない場合は、緊急避難の場であっても冬の厳しい寒さの中で夜を過ごすことができる施設や情報がやりとりできる設備が確保されていることが望ましい。

#### 【参考】東日本大震災における津波警報の発令時刻と概要（参考資料1 P7、8）

3月11日14時49分 気象庁発表「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について

○岩手県、宮城県、福島県の沿岸などに警報（大津波）発令（その後、対象範囲が拡大される）、  
その他全国の太平洋沿岸などに、津波（津波）警報、津波注意報発令

3月12日20時20分 気象庁発表「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第12報）

○青森県太平洋沿岸、岩手県、宮城県、福島県の警報（大津波）が、津波警報（津波）に変更

3月13日07時30分 気象庁発表「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第14報）

○津波警報が解除され、北海道～伊豆青森県太平洋沿岸は、津波注意報に変更

3月13日17時28分 気象庁発表「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」について（第16報）

○すべての津波注意報が解除

なお「避難地・防災活動拠点の活用状況調査」（国土交通省都市局）において、「避難地・防災活動拠点に必要な施設」に関する地方公共団体の担当者からのヒアリング結果では、表I-19の施設が望まれていることが明らかとなった。

表I-19 避難地・防災活動拠点で望まれる施設

種別	望まれる施設・設備
インフラ	発電施設、通信施設、飲料水、雑用水
備蓄物	飲料水、雑用水、プロパンガス、仮設トイレ、仮設シャワー、簡易浴槽、仮設住宅、はしご、ボート、投光機器、暖房機器、仕切り（パーティション）
その他	給水車、洗濯機

出典：国土交通省都市局 避難地・防災活動拠点の活用状況調査

また、震災後3ヶ月程度経過した平成23年5月に調査された「避難地・防災活動拠点の活用状況調査」（国土交通省都市局）で「避難所として利用された場所について」に関する調査した結果では、公園緑地を避難所として利用したとの回答は、全体の4%（96箇所）と少なく、学校等公共施設およびその他民間施設との回答が多かった。なお、これは、一時避難場所から被災者が学校等公共施設やその他民間施設に移動した結果を示していることが影響していると考えられる。

表 I-20 「避難地・防災活動拠点の活用状況調査」による活用場所

施設分類	施設数（箇所数）	比率
学校等公共施設	1,282	52%
公園緑地・空地	96	4%
寺社	61	2%
その他民間施設	1,049	42%
合計	2,488	100%

出典：国土交通省都市局 避難地・防災活動拠点の活用状況調査

【参考】

阪神淡路大震災（H11.1.17）では、公園緑地などのオープンスペースにテントを張って避難生活を送った被災者が多く見られたが、東日本大震災（H23.3.11）では、多くの被災者が建物に避難した。これは、地震発生時期が同じ冬場であったものの、寒さの厳しさが異なること、阪神淡路大震災では、地震による直接的な建物被害が多く、余震においても建物倒壊の恐れがない広場を選択したことが要因と考えられる。

表 I-21 種類別にみた避難所数と避難者数

形態	避難所数*1（割合）	避難者数*2（割合）
広場型	44（38%）	2,000（7%）
学校型	27（24%）	24,000（80%）
施設型	43（38%）	4,000（13%）

\*1 1995年2月中旬の現地調査による。

\*2 神戸市消防局による1995年1月25日現在の概数。

出典：大阪大学出版会 阪神・淡路大震災における避難所の研究

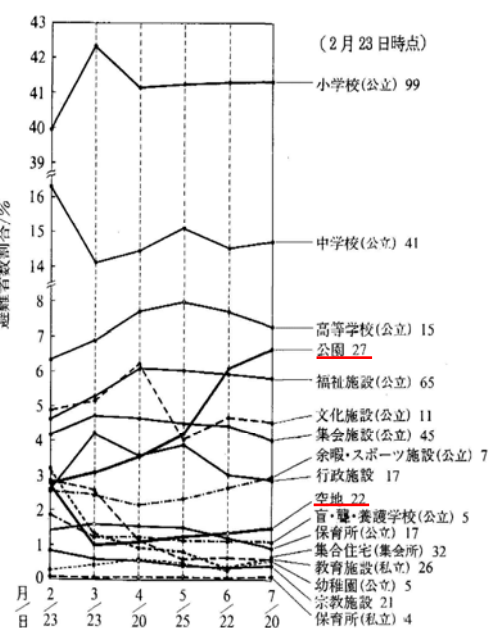


図 I-30 各施設避難者数の神戸市全避難者数に占める割合

出典：大阪大学出版会 阪神・淡路大震災における避難所の研究

### 3.2.4 広域防災拠点となる公園緑地

#### (応急段階、復旧・復興段階)

東日本大震災においては、公園緑地が人命救助等の活動を行う自衛隊・緊急消防援助隊のキャンプ地や、救援物資の集積・一時保管場所等の様々な復旧・復興活動の拠点となるとともに、撤去した災害廃棄物置場や仮設住宅用地として活用された。



自衛隊の活動拠点(石巻市 総合運動公園)



消防隊の活動拠点(石巻市 総合運動公園)



救援物資保管テント(石巻市 総合運動公園)



災害廃棄物置場として利用(仙台市 海岸公園)



漁船の仮置き場として利用  
(多賀城市 仙台港多賀城地区緩衝緑地)



ボランティア情報等の掲示(釜石市 台村公園)



風呂の設置(気仙沼市 気仙沼公園市民運動公園)



仮設住宅用地(釜石市 平田総合公園)

図 I-31 復旧・復興活動拠点の事例

出典：日本公園緑地協会 東日本大震災における公園緑地等現地概査震災調査写真(平成23年4、5月)、  
日本造園学会 東日本大震災復興支援緊急調査概要および全体報告(平成23年5月21日)、宮城県HPより

## II. 公園緑地の計画・設計について

### 1. 計画の考え方について

#### 1.1 平野部における基本的考え方

○津波エネルギーの減衰のためには、海岸部に一定の幅及び盛土による高さを確保した樹林地を設置することが有効であり、この盛土の位置は、同じ連続型の盛土を設ける場合でも、海岸沿いよりも、海から遠い陸側に設置する方が効果がある。

○海岸線の全域に樹林地を配置することが困難な場合には、津波エネルギーの減衰効果は低下するものの、後背地に立地する守るべき市街地や工業地域等の重要な施設の前面に部分的に盛土を行い樹林地を配置することが効果がある。

○集落や工業地の海側には、今次の津波で漂流物の捕捉効果が確認されたことから樹木の配置を検討することも有効である。

○海岸部の防潮林は、本来、潮害の防護、飛砂・風害の防備等の災害防止を目的に整備されていることが多く、地域の生活環境の保全に重要な役割を有している。<sup>(\*)</sup> それらの基本的な機能についても引き続き配慮しつつ、周辺施設の配置状況など地域の実情を踏まえた上で、津波エネルギーの減衰機能を考える必要がある。

○避難地となる公園は、学校などの公共施設や津波避難ビルなどとあわせた配置計画とし、津波の到達状況によっては、より安全な場所への避難が可能となるように留意することが必要である。

○平野部の低地では、周辺に高台がほとんどないことから、海岸部や平地には、避難地として機能する高さのある丘状の公園を配置することで、公園利用者や周辺住民の緊急の避難地を確保することが必要である。

\*：参考資料1 P11

#### 【解説】

海岸部に盛土を設ける場合、海側よりもできる限り陸側に設置する方が効果が高い。その際、特に海側では、浜堤の後背地の低湿地は地盤条件が悪いことから、設置場所としては避けることが望ましい。また、沿岸沿いに立地している工業地や集落など特に守るべき対象がある場合や、調達できる土量に制限がある場合などは、部分的に盛土を配置することでも、直背地であれば浸水深等の低減に効果がある。



## 1. 2. リアス式海岸部における基本的考え方

- 平野部に比べて平地が少ないリアス式海岸部では、津波被害を軽減させるためには、海岸から市街地や業務地域までの間に、可能な限りの幅と盛土による樹林地を確保することが効果的である。
- リアス式海岸部は、津波遡上高が高くなりやすく、樹木が折損する浸水深に容易に達することが想定され、折損した樹木が市街地の被害を増大させる危険があることから、植栽を行う場所については、特に慎重に検討する必要がある。
- 海岸部の防潮林は、本来、潮害の防護、飛砂・風害の防備等の災害防止を目的に整備されていることが多く、地域の生活環境の保全に重要な役割を有している。それらの基本的な機能についても引き続き配慮しつつ、周辺施設の配置状況など地域の実情を踏まえた上で、津波エネルギーの減衰機能を考える必要がある。
- 避難地となる公園は、周囲の高台や学校などの公共施設、津波避難ビルなどとあわせた配置計画とし、津波の到達状況によっては、より安全な場所への二次避難が可能となるように留意することが必要である。
- 周辺の高台から距離がある低地部や海岸線沿いなどの避難困難地区には、避難タワー等と併せ、避難地として機能する丘状の築山を公園に配置することで、公園利用者や周辺住民の緊急の避難地を確保することも必要である。

## 2. 公園緑地の計画・設計等の考え方

### 2.1 盛土の検討

盛土の検討にあたっては、以下の項目に留意する。

- (1) 樹木の被害と地盤高さの検討
- (2) 幅の設定と法面保護の検討
- (3) 避難地として整備する場合の留意事項

#### (1) 樹木の被害と地盤高さの検討

- まちづくり全体の切土・盛土の土量収支や費用に対する事業効果の観点から、基盤造成の規模等に関する検討を慎重に行うことが必要である。
- その上で、津波の浸水深と樹木の折損条件の関係を踏まえ、地盤高さについて留意しながら検討を行う。

#### 【解説】

津波の浸水深と樹木被害の関係は、折損条件の検討の項で整理したように、下記の近似式の相関が認められる。

浸水深と樹木被害率の近似式

$$Y = (0.1024X + 0.1317) \times 100$$

(決定係数  $R^2=0.764$ )

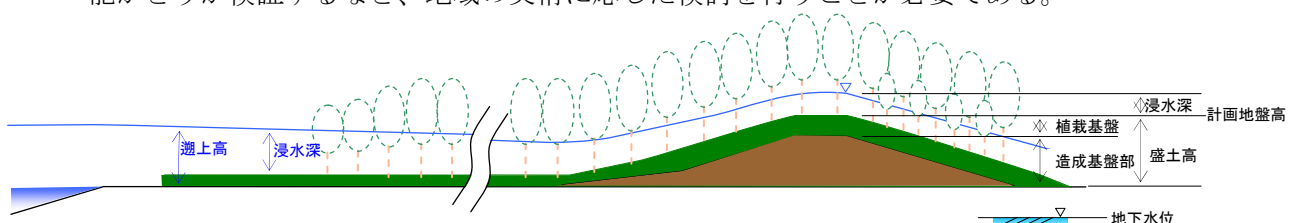
X : 浸水深 (m)      Y : 樹木被害率 (%)

表Ⅱ-1 浸水深と樹木被害率の関係

浸水深 (m)	樹木被害率
1.0	23%
2.0	34%
3.0	44%
4.0	54%
5.0	64%
6.0	75%
7.0	85%
8.0	95%
8.5	100%

樹木被害率は、浸水深に比例することから、樹林帯にかかる津波の深さ（浸水深）が低い方が樹木の折損被害を抑えられる。

例えば、後背地に業務地として位置づけられた地区があるなど特に津波エネルギー減衰効果を求める場合や、漂流物捕捉効果を期待する場合は、樹木の3分の2以上が残ると考えられる2m以下の浸水深となる計画地盤高さとするのが土量収支上可能かどうか検証するなど、地域の実情に応じた検討を行うことが必要である。



図Ⅱ-1 海岸部の樹林帯及び盛土造成における盛土高の設定

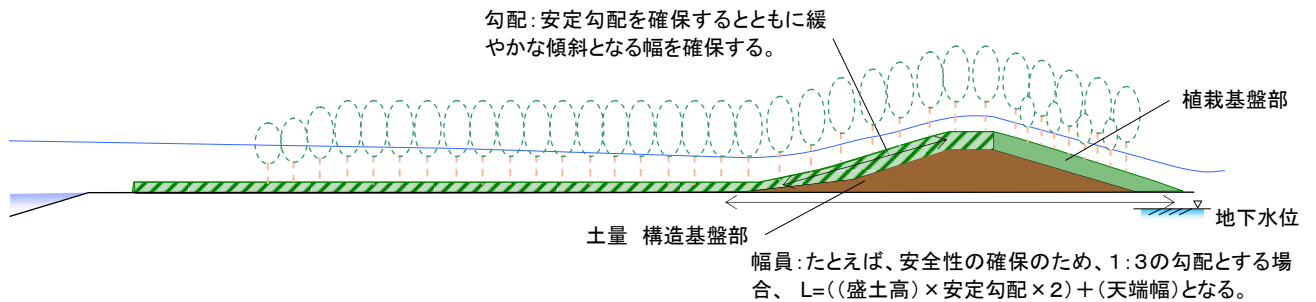
## (2) 幅の設定と法面保護の検討

○盛土幅の設定は、設定した盛土高に対して、安定勾配を確保するとともに、津波による洗掘が起こらないような緩やかな傾斜とすることが重要である。

### 【解説】

盛土の構造については、土質と盛土高の関係によって、法面の安定勾配の考え方として整理されているものの、津波に対しての安定した構造についての技術知見は不足している状況であり、現在、(社)日本地盤工学会等の専門機関等でそのあり方についての議論がなされているところである。

一方、今次津波においては、公園内の盛土構造の築山に避難し、難を逃れた事例が複数報告されていることから、これらの事例(参考資料1 P20)を参考に、安定勾配(参考資料1 P19)を確保するとともに、より安全性の確保のため、津波による洗掘が起こらないような緩やかな傾斜となるよう配慮が必要となる。



図Ⅱ-2 盛土造成における幅の設定の例

法面の保護については、洪水時における河川堤防の法面処理に関する知見などが見受けられるが、津波に対する知見が不足している状況である。

ただし、今次津波の被害状況でも張芝部の法面は、裸地や舗装部に比べて被害が少ないことから、法面保護のため、張芝を施すことが考えられる。

【参考】 公園盛土における法面への張芝の効果

公園内の築山や盛土法面では、舗装部では被害が出ているが、張芝部は洗掘を免れている。



(仙台市若林区海岸公園冒険広場)

出典：国土地理院 空中写真  
(平成 23 年 3 月) より作成



芝生が浸食されず残っている

(仙台市若林区海岸公園冒険広場)

出典：日本造園学会 東日本大震災復興支援緊急調査概要  
および全体報告(平成 23 年 5 月 18 日)より作成



公園施設が破損している

芝生が浸食されず残っている

津波の越流により、公園施設は破損しているが、園路の裸地部分は激しく浸食されているが、展望台下の芝地の浸食は軽微である。

(宮城県亶理郡亶理町鳥の海地区)



芝生部分：浸食小  
裸地部分：浸食大

(福島県相馬市相馬港新地緑地)

出典：佐々木・田中 東北地方太平洋沖地震における津波被害と海岸林の状況～仙台平野  
(福島県、宮城県)における海岸林の被害状況調査結果～(平成 23 年 6 月 9 日)より作成

図Ⅱ-3 芝生により浸食を免れた築山等の一例

### (3) 避難地として整備する場合の留意事項

- 避難地となる公園については、津波の到達する方向に留意しつつ、津波のエネルギーを受ける面積が少なくなるよう海岸線に垂直方向に盛土の稜線を設定することが効果的である。
- 海岸線から一定の距離があり、背後に集落等がある場合は、津波エネルギー減衰効果も併せて発揮できるよう、海岸線に平行に盛土の稜線を設定することも考えられる。

#### 【解説】

避難地となる公園は、周囲の高台や学校などの公共施設、津波避難ビルなどとあわせた配置計画となるように留意することが必要である。

平野部では海岸線に向かって垂直に津波が到達することが多いことから、津波のエネルギーを受ける面積を少なくするよう海岸線に垂直方向に盛土の稜線を設定することが効果的である。また、海岸線から一定の距離があり、背後に集落など守るべき対象がある場合については、盛土の直背地の浸水深等を低下させることも踏まえ、津波エネルギーの減衰効果も併せて発揮できるよう、海岸線に並行に盛土を設定することも考えられる。なお、リアス式海岸部では、海底の地形等により、津波の進行方向が屈折することにも留意する必要がある。

また、津波による洗掘をなるべく防ぐためには、津波に対する設置方向に加え、法面への張芝工やじゃかご工などの対策をとることも必要となる。

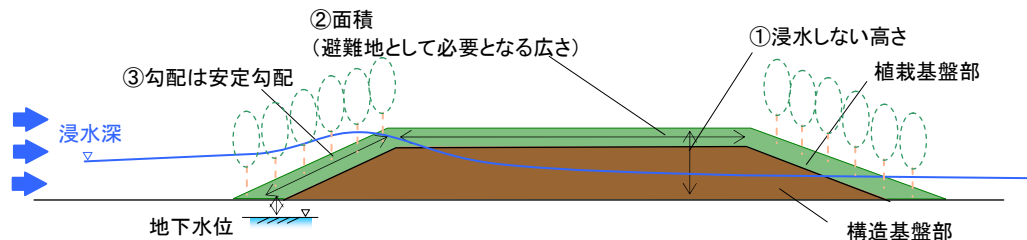
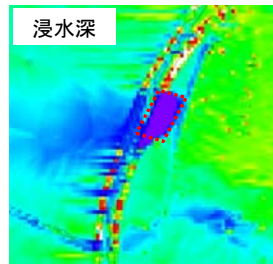
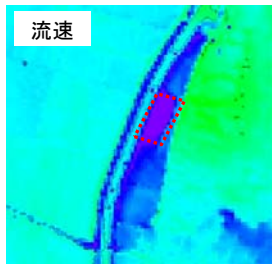


図 II-4 避難地として整備する盛土の設定

海岸線に平行に盛土を設置



海岸線に垂直に盛土を設置

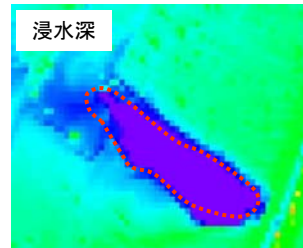
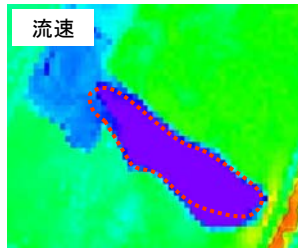


図 II-5 盛土の向きによる効果の比較

出典:国土地理院 空中写真 (平成 23 年 3 月撮影)より作成



## 【参考】 海岸線に対する盛土方向の検討

平野部の海岸線に同規模の盛土を設置し、盛土の設置方向の違いによる検討を行った。

条件

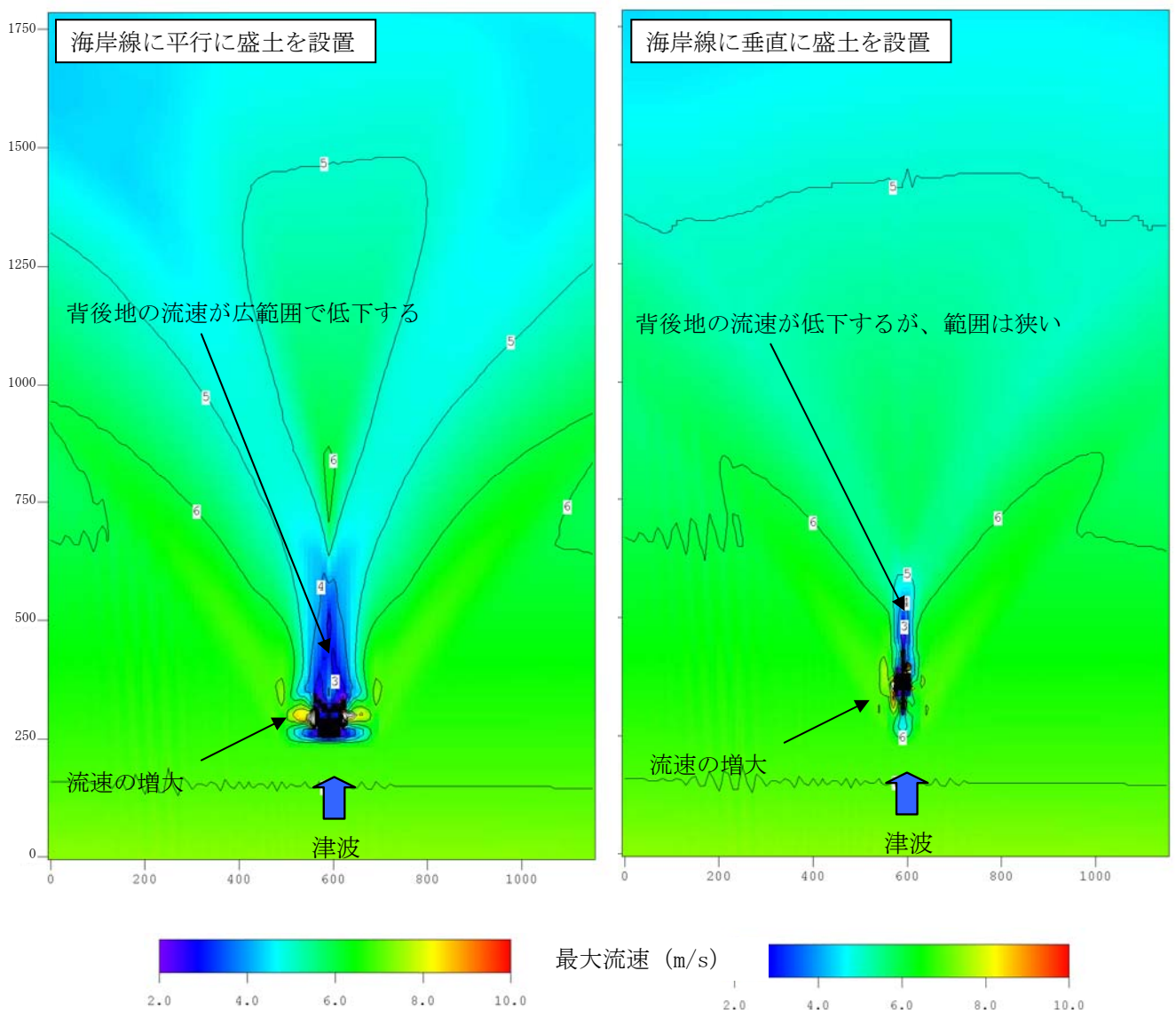
防潮堤なし

海底勾配 1/570, 陸上地形勾配 1/2000 (岩沼想定)

入射波高 6m, 到達波高 6m, 周期 10 分

### 流速分布

- 平野部において海岸線に平行に盛土を設置した場合、背後地の広範囲で流速が低下する。ただし、盛土に衝突した津波が周り込むため、盛土の周辺部では流速が早くなる。
- 平野部において海岸線に垂直に盛土を設置した場合、流速が低下する背後地の範囲は狭い。また、平行型と比べ、盛土に衝突する津波の抵抗が低いため、盛土の周辺部の流速は比較的小さい結果となった。



### 浸水深の分布

- ・ 平野部において海岸線に平行に盛土を設置した場合、前面の水位が高くなり、浸水深も大きくなる。
- ・ 平野部において海岸線に垂直に盛土を設置した場合、津波方向と垂直に設置した場合よりも前面水深が低くなる。
- ・ 以上から、盛土への遡上高が小さくなるのは、津波方向に沿って盛土を設置した場合と考えられる。

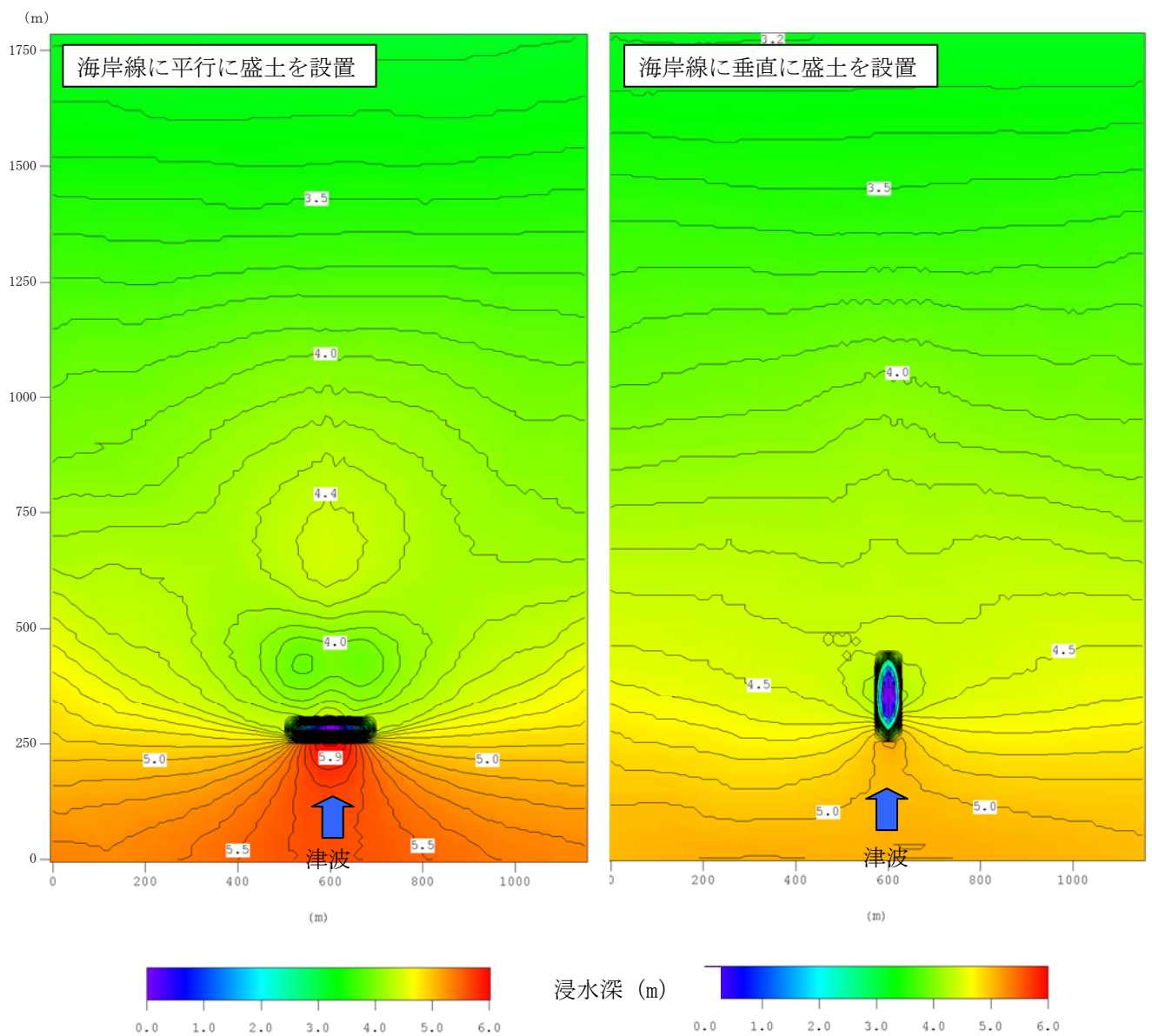


図 II-7 盛土の向きによる浸水深分布の違い

## 2.2 植栽方法

津波の被害軽減効果を発揮する樹林の整備にあたっては、以下の項目について検討する。

- (1) 植栽設計に必要な条件の調査・把握
- (2) 樹種の選定と植栽密度の検討
- (3) 植栽基盤の設計の検討（土壌厚・土壌改良）
- (4) その他留意事項（植栽の施工、苗木の準備）

### (1) 植栽設計に必要な条件の調査・把握

○植栽設計にあたっては、植栽樹種の検討に必要な気象条件（気温、風向、風速、降水量、海水飛沫の程度）、植栽基盤の検討に必要な地盤条件（地歴、表層地質、地下水位、土壌条件、液状化の危険性）等について把握する。

#### 【解説】

今次津波では、多くの樹木が倒伏・流木化している。その原因としては、樹木の根系が、地中深くまで生育しておらず津波の力に抵抗できなかったことや、支持基盤が液状化現象を起こし被害が発生したことなどが指摘されている。

樹木の根系の生育については、地下水位との位置関係が大きく影響していることから、地下水位の分布状況の把握が重要となる。

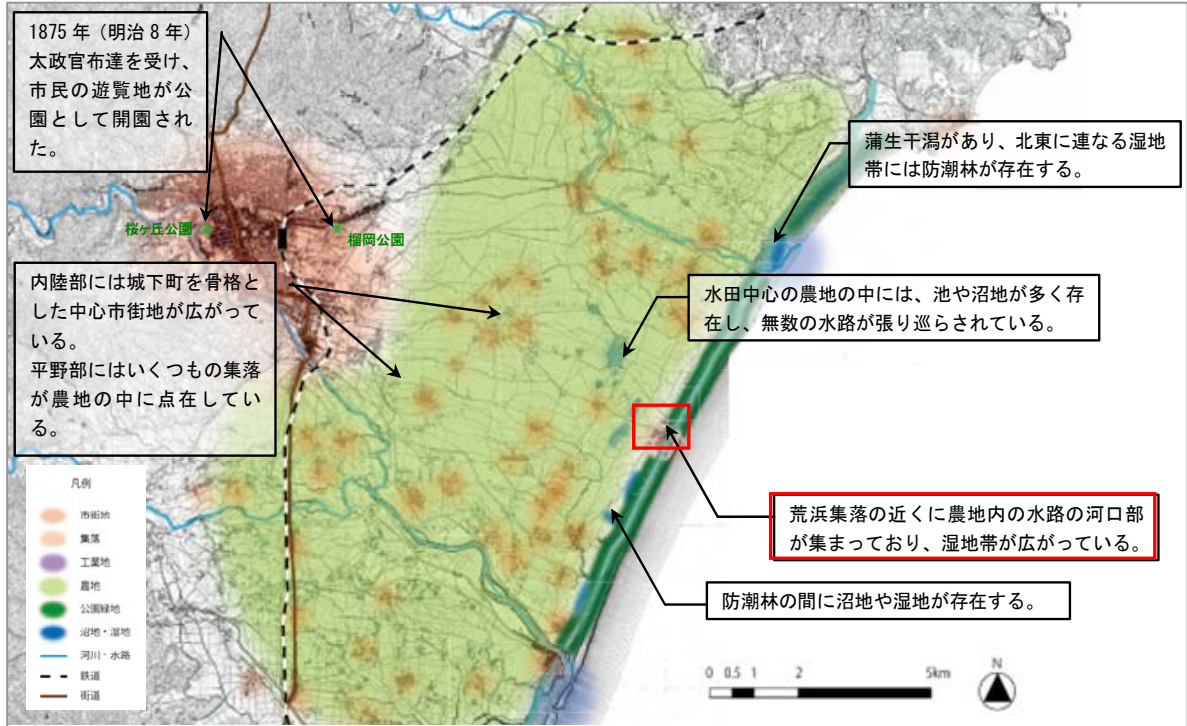
また、液状化マップや地歴・表層地質図等を用い、液状化の可能性がある場所の把握をすることが重要である。



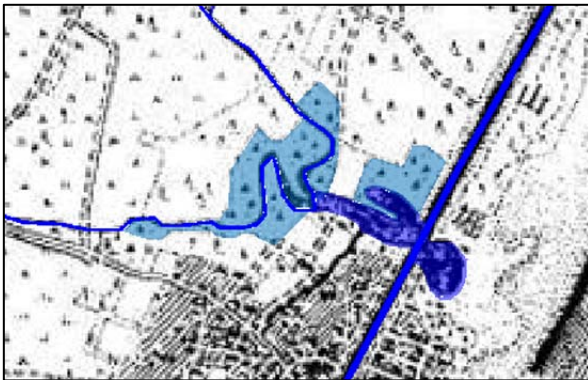
【参考】 仙台平野における地歴の調査

河川が流れていた場所や埋立地などでは、災害時に液状化などの被害が大きくなるため、現在の地形だけでなく、過去の地形も調べるのが重要である。ここでは、仙台市宮城野区の荒浜地区について調査した事例を示す。

①明治40年頃の都市構造 ※ベース図には明治40年地形図を使用



②地形図（2万分の1）仙台市原町、明治40年



③地形図（2.5万分の1）仙台東南部 平成19年



④表層地質図（仙台市、昭和41年）の河川を強調



- ・荒浜集落は明治期には農地内に張り巡らされていた水路の河口部が集まった場所で、湿地帯が広がっていた。（①の赤枠部、②）
- ・②明治期と③現在では河道の位置が変わっており、③の現在は湿地帯が見られない。
- ・一方、表層地質を確認すると過去湿地帯であった場所のほとんどが泥・泥炭であることが分かる（④）

図Ⅱ-8 仙台市における地歴の調査

出典：国土地理院 地形図

（2万分の1 明治40年、2.5分の1 平成19年）

国土交通省土地・水資源局 表層地質図

（仙台市 昭和41年）

## (2) 樹種の選定と植栽密度の検討

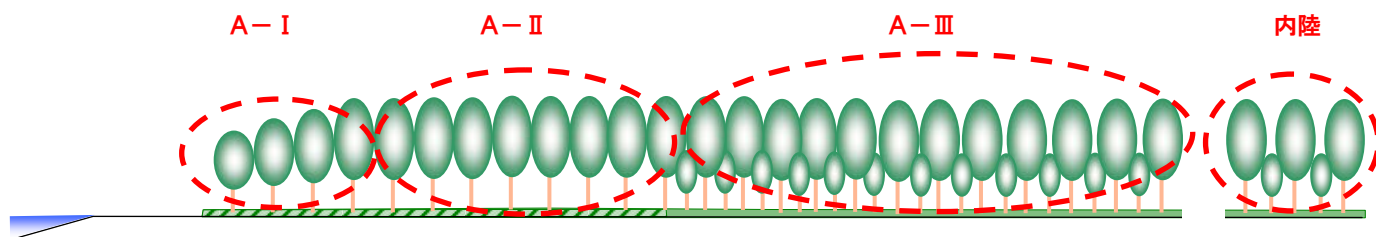
### ①植栽樹種の選定

○海岸部では、強い耐潮性を有するマツ類が適しているが、津波災害に強い新たな森を再生していく観点から、海からの距離によって変化する環境条件や立地条件に応じた多様な樹林地の計画が必要である。

#### 【解説】

海岸部の防潮林は、本来、潮害の防護、飛砂・風害の防備等の災害防止を目的に整備されていることが多く、地域の生活環境の保全に重要な役割を有している。そのため、海岸部では、強い耐潮性を有するマツ類の植栽が適している。

また、津波災害に強い新たな森を再生していく観点として、海岸線から沿岸低地部、市街地周辺など、海からの距離によって変化する環境条件や立地条件に応じた多様な樹林地を計画することが必要であり、場所ごとの地域特性も踏まえた上で、単層林と比較して津波エネルギー減衰効果が高い複層林の形成を目指すことが望ましい。

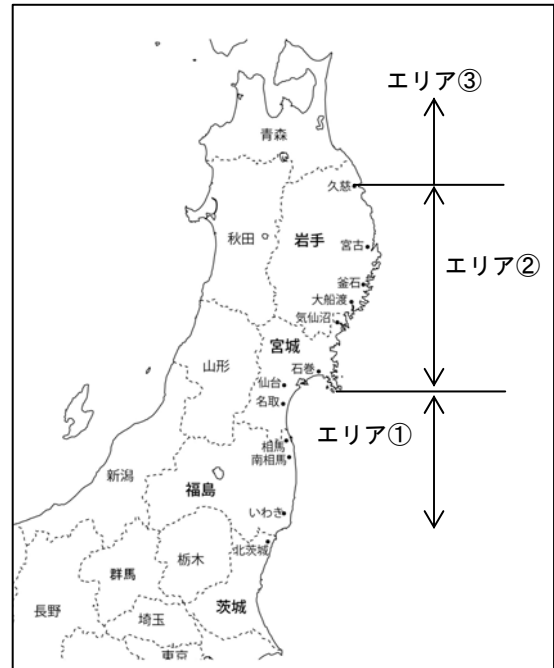


図Ⅱ-10 沿岸部における植栽ゾーンの分布

表Ⅱ-2 沿岸部における植栽ゾーン別の特徴

場所	A - I	A - II	A - III	内陸
特徴	海水飛沫の被害が大きい地帯	海水飛沫の被害がやや少ない地帯	海水飛沫の被害が少ない地帯	海水飛沫の被害がほとんどない海岸から一定の距離をおいた沿岸部の地帯
林相	初期はクロマツ等の苗木植栽を行い、単層林としての保育管理を進める。	初期はクロマツ等の苗木植栽を行い、長期的に複層林の形成を目標に保育管理を進める。	海側の樹林の生育状態によるが、早期からある程度の大きさのクロマツ等を植栽し、早期に複層林の形成を目標に保育管理を進める。	造園的な修景要素等の公園緑地の目的に沿った樹種を選定する。

海岸部における植栽樹種については、塩分を含んだ風に対する耐性（耐潮性）を有する樹種を選定することが基本となるが、一般的に樹木の耐潮性は、気温の高低差に大きく影響される。特に、東北・北関東地方は南北に長いことから気象条件が大きく異なり、植栽可能樹種についても地域ごとの特性がある。また、津波災害を想定して整備する樹林地の樹種の考え方については、耐潮性だけでなく、津波に伴う海水による冠水に対する耐性（冠潮性）もあわせて考慮することが望ましい。津波が発生した場合は、冠潮し樹木が、枯死あるいは衰弱することを前提として、景観や生態系への配慮等から冠潮性が強くない樹種を植栽することも考えられる。



図Ⅱ-11 東北地方における樹木分布によるエリア区分

以上より、東北・北関東地方を図Ⅱ-11に示すように、青森県～岩手県久慈市、岩手県久慈市～宮城県牡鹿半島、宮城県牡鹿半島～茨城県の3つのエリアに区分し、それぞれのエリアについて、沿岸部における植栽ゾーン毎で生育可能な樹種を、表Ⅱ-4～6として、特に外来種については表Ⅱ-7として整理した。（指針P.26～29においてはは主要な樹種を示しており、技術的指針においては生育可能な樹種を幅広く掲載している。）

具体の樹種選定にあたっては、その地域の自然環境に応じ、従来から用いられてきた地域生態系由来の種を選定することも、地域の遺伝子攪乱の防止、健全な樹木の成長の上では重要であり、植生調査を行い地域の特徴を踏まえた樹種を選定を行うことが必要である。特に、海岸部においては、砂質土壌や地下水位が高い低湿地、潮風が強く吹きつけるなど、場所ごとの環境条件が大きく異なることにも配慮する必要がある。

また、生育可能な樹種が限られている海岸部等の植生の早期回復のため、ニセアカシア等の侵略的外来種を用いると、地域の自然植生への遷移が困難になるとともに、導入した外来種が周辺に拡大する恐れが高いことから使用は避けるべきである。

なお、今次の津波被害では、耐潮性を有する樹種であるカイヅカイブキやヤブツバキが枯損していることが確認されており、海水に冠水したり津波堆積物で覆われた後の樹木の生育反応については、今後も継続的な調査の必要性が指摘されている。



表Ⅱ-3 エリア①（茨城県～宮城県牡鹿半島）における海岸部での生育可能な樹種

A-I	○		×		×		×	
A-II	○		○		×		×	
A-III	○		○		○		×	
内陸	○		○		○		○	
	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉
高木層	カイツカイブキ、クロマツ (アカマツ <sup>*1</sup> )		アカマツ、イブキ、マダケ	アオギリ、エノキ	イスノキ <sup>*6</sup> 、イヌマキ、カクレミノ、クスノキ、クロガネモチ、シロダモ、ソヨゴ、タラヨウ、ツブラジイ、ナギ、ビワ、マテバシイ、モウソウウチク、モチノキ、モッコク、ヤマモモ	アカシデ、アキニレ、イタヤカエデ、イチジク、イヌエンジュ、エゴノキ、オニグルミ、クワ、コブシ、サトザクラ、サルスベリ、サワグルミ、シダレヤナギ、シラカンバ、センダン、ソメイヨシノ、ネムノキ、バッコヤナギ、ハリギリ、ハンノキ、ホオノキ、マユミ、ミズナラ、ヤシャブシ、ヤマザクラ、ヤマハゼ	アカエゾマツ、アカガシ、アスナロ、アラカシ、カヤ、ゴヨウマツ、サザンカ、サウラ、シノブヒバ、シラカシ、スギ、チャボヒバ、ヒイラギ、ヒイラギモクセイ、ヒノキ、ベニカナメモチ、モミ、ユズリハ <sup>*4</sup>	アオダモ、アオナラガシワ、アオハダ、イチョウ、イヌシデ、イロハモミジ、ウメ、ウワミズザクラ、エンジュ、オオバヤシャブシ、カキノキ、カツラ、カンヒザクラ、キタカミハクヨウ、クスギ、クリ、ケカマツカ、コナラ、シダレモミジ、シモクレン、ハルニレ、ミズキ、ムクゲ、ムクノキ、ヤチダモ、ヤナギ、ヤマウルシ、ヤマモミジ
耐陰性のある樹種			イヌガヤ、サンゴジュ、シユロ、スイリュウヒバ(イトヒバ)、タブノキ、トウジュロ、ネズミモチ、ヒメユズリハ、ヤブツバキ	エゾイタヤ、オオシマザクラ、カシワ、ケヤキ		カスミザクラ、シナノキ	イチイ	
低木層	ハイネズ、ハイビヤクシン、ミヤマビヤクシン	アカメガシワ、アキグミ、クコ、ハマナス	ウバメガシ <sup>*7</sup> 、キョウチクトウ、スイカズラ、チャノキ、チョウセンマキ、ネザサ類、ハマボウ	アケビ、ウツギ、カラタチ、クサボケ、クズ、ツリバナ、ツルウメモドキ、テリハノイバラ、スルデ、ハコネウツギ、ヒメヤシャブシ	シキミ、シャシヤンボ <sup>*6</sup> 、センリョウ、ソテツ <sup>*5</sup> 、セダケ、ヤブコウジ	イボタノキ、ウコギ、オオバイボタ、ガクアジサイ、ガマズミ、サンショウ、タニウツギ、ニワトコ、フジ、ボケ、ミツバアケビ、モモ	コノテガシワ、ヤエクチナシ、リュウキュウツツジ	ウスノキ、ウメモドキ、オトコヨウゾメ、キハギ、コマユミ、ズミ、タカノツメ、ナツハゼ、ニシキギ、ノリウツギ、ムラサキシキブ、ヤマブキ、レンギョウ
耐陰性のある樹種	シャリンバイ、トベラ、ナワシログミ、マサキ、マルバシャリンバイ		アオキ、イヌツゲ、カンツバキ、キヤラボク、クルメツツジ、サネカズラ、ジンチョウゲ、ツゲ(ボックスウッド)、ツルグミ、ナンテン、ハマヒサカキ、ヒサカキ、マメツゲ、ヤツデ		オオムラサキ		サツキツツジ	
ツル草本	エゾオオバコ、オカヒジキ、ケカモノハシ <sup>*2</sup> 、コウボウムキ <sup>*2</sup> 、シロモキ <sup>*2</sup> 、ハマエンドウ <sup>*3</sup> 、ハマニンニク <sup>*3</sup> 、ハマヒルガオ <sup>*3</sup> 、ハマボウフウ <sup>*3</sup> 、ヤマアワ		キツタ、ナツツタ、ツタウルシ		イワガラミ、ニオイシロラン			

○地域生態系由来ではない種についても、公園の修景木や並木として限定的に植樹する場合の参考として掲載している。

○ゴシック体文字：公共用緑化樹木として位置づけられている樹種を示す。

下線：冠潮性が強い樹種

- ※1：従来、海岸林としてアカマツが使用されていた福島県いわき市、宮城県名取市等ではアカマツを選択
- ※2：A-Iのみに植栽可能な樹種
- ※3：A-I～IIIに植栽可能な樹種
- ※4：仙台以南で植栽可能な樹種
- ※5：茨城以南で植栽可能な樹種
- ※6：良好な日照条件が必要な樹種
- ※7：成木なら仙台以南で植栽可能な樹種

内陸：海水飛沫の被害がほとんどない海岸から一定の距離をおいた沿岸部の地帯  
耐陰性のある樹種：A-IIは、クロマツ林等が成立した後に複層林として、A-IIIは、クロマツ等と広葉樹を混交して育成することが望ましいため、林床部の樹種は、耐陰性が求められる。

表 II-4 エリア②（宮城県牡鹿半島～岩手県久慈市）における海岸部での生育可能な樹種

A-I	○		×		×		×	
A-II	○		○		×		×	
A-III	○		○		○		×	
内陸	○		○		○		○	
	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉
高木層	カイヅカイブキ、クロマツ (アカマツ※ <sup>1</sup> )		アカマツ、イブキ、マダケ		シロダモ、ピワ、モチノキ	アカシデ、イタヤカエデ、イチジク、イヌエンジュ、エノキ、オニグルミ、クワ、サルスベリ、サワグルミ、シラカンバ、センダン、ソメイヨシノ、ネムノキ、ハリギリ、ホオノキ、マユミ、ヤシャブシ、ヤマハゼ	アカエゾマツ、アスナロ、カヤ、クロガネモチ、ゴヨウマツ、サザンカ、サワラ、シノブヒバ、シラカシ、スギ、チャボヒバ、ヒイラギモクセイ、ヒノキ、モミ	アオギリ、アオダモ、アオナラガシワ、アオハダ、イチヨウ、イヌシデ、イロハモミジ、ウメ、ウワミズザクラ、エゴノキ、エンジュ、オオバヤシャブシ、カキノキ、カツラ、キタカミハクヨウ、クヌギ、クリ、ケカマツカ、コナラ、コブシ、サトザクラ、シダレモミジ、シダレヤナギ、シモクレン、バツコヤナギ、ハルニレ、ハンノキ、ミズギ、ミズナラ、ムクゲ、ヤチダモ、ヤナギ、ヤマウルシ、ヤマザクラ、ヤマモミジ
ある耐陰性の樹種			スイリュウヒバ(イトヒバ)、タブノキ、トウジユロ、ヤブツバキ	エゾイタヤ、カンワ、ケヤキ	イヌガヤ、シユロ、ネズミモチ	オオシマザクラ、カスミザクラ、シナノキ	イチイ、ヒメユズリハ	
低木層		アカメガシワ、アキグミ、ハマナス	スイカズラ、ネザサ類、ハイネズ、ハイビヤクシン、ミヤマビヤクシン	ウツギ、クコ、クズ、ツルウメモドキ、テリハノイバラ、スルデ、ハコネウツギ	チョウセンマキ、セダク、ヤブコウジ	アケビ、イボタノキ、ウコギ、オオバイボタ、ガクアジサイ、ガマズミ、タニウツギ、ツリバナ、ニワトコ、ヒメヤシャブシ、ミツバアケビ、モモ	コノテガシワ、リュウキュウツツジ	ウメモドキ、オトコヨウゾメ、カラタチ、キハギ、コマユミ、サンショウ、ズミ、タカノツメ、ナツハゼ、ニシキギ、ノリウツギ、フジ、ボケ、ムラサキシキブ、ヤマブキ、レンギョウ
ある耐陰性の樹種	マサキ		アオキ、イヌツゲ、クルメツツジ、ジンチョウゲ、ツルグミ、ナワシログミ、ヒサカキ		カンツバキ、キャラボク、ナンテン、マメツゲ、マルバシヤリンバイ、ヤツデ		サツキツツジ	
ツル・草本	エゾオオバコ、オカヒジキ、ケカモノハシ※ <sup>2</sup> 、コウボウムギ※ <sup>2</sup> 、シロヨモギ※ <sup>2</sup> 、ハマエンドウ※ <sup>3</sup> 、ハマニク※ <sup>3</sup> 、ハマヒルガオ※ <sup>3</sup> 、ハマボウフウ※ <sup>3</sup> 、ヤマアワ				キツタ、ナツツタ、ツタウルシ		イワガラミ	

○地域生態系由来ではない種についても、公園の修景木や並木として限定的に植樹する場合の参考として掲載している。

○ゴシック体文字：公共用緑化樹木として位置づけられている樹種を示す。

下線：冠潮性が強い樹種

※1：従来、海岸林としてアカマツが使用されていた岩手県普代村、陸前高田市、宮城県南三陸町志津川、松島町等ではアカマツを選択

※2：A-I のみに植栽可能な樹種

※3：A-I～IIIに植栽可能な樹種

内陸：海水飛沫の被害がほとんどない海岸から一定の距離をおいた沿岸部の地帯  
耐陰性のある樹種：A-IIは、クロマツ林等が成立した後に複層林として、A-IIIは、クロマツ等と広葉樹を混交して育成することが望ましいため、林床部の樹種は、耐陰性が求められる。

表 II-5 エリア③（岩手県久慈市～青森県）における海岸部での生育可能な樹種

A-I	○		×		×		×	
A-II	○		○		×		×	
A-III	○		○		○		×	
内陸	○		○		○		○	
	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉
高木層	カイツカイブキ、クロマツ (アカマツ※ <sup>1</sup> )					イタヤカヤデ、イヌエンジュ、クワ、サワグルミ、ネムノキ、マユミ	アカエゾマツ、アカマツ、アスナロ、イブキ、カヤ、クロガネモチ、ゴヨウマツ、サザンカ、サウラ、シノブヒバ、スギ、チャボヒバ、ヒイラギ、ヒイラギモクセイ、ヒノキ、マダケ、モチノキ、モミ	アオギリ、アオダモ、アオナラガシワ、アオハダ、イチジク、イチヨウ、イヌシデ、イロハモミジ、ウメ、ウワミズザクラ、エゴノキ、エンジュ、オオバヤシヤブシ、オニグルミ、カキノキ、カツラ、キタカミハクヨウ、クヌギ、クリ、ケカマツカ、コナラ、コブシ、サトザクラ、サルズベリ、シダレモミジ、シダレヤナギ、シモクレン、シラカンバ、ソメイヨシノ、パッコヤナギ、ハリギリ、ハルニレ、ハンノキ、ホオノキ、ミズキ、ミズナラ、ムクゲ、ヤシヤブシ、ヤチダモ、ヤマウルシ、ヤマザクラ、ヤマモミジ
	耐陰性のある樹種			エゾイタヤ、カシワ			イチイ、イヌガヤ、シユロ、スイリュウヒバ(イトヒバ)、ネズミモチ、ヒメユズリハ、ヤブツバキ	カスミザクラ、ケヤキ、シナノキ
低木層		ハマナス	ネザサ類	クズ	スイカズラ	アキグミ、イボタノキ、ウツギ、オオバイボタ、ガマズミ、タニウツギ、ツリバナ、ツルウメモドキ、テリハノイバラ、ヌルデ、ハコネウツギ、ミツバアケビ	コナラガシワ、ハインズ、ハイビヤクシン、ミヤマビヤクシン、ヤブコウジ、リュウキュウツツジ	アカメガシワ、ガクアジサイ、ウコギ、ウメモドキ、オトコヨウゾメ、カラタチ、キハギ、コマユミ、サンショウ、ズミ、タカノツメ、ナツハゼ、ニシキギ、ニワトコ、ノリウツギ、ヒメヤシヤブシ、フジ、ボケ、ムラサキシキブ、モモ、ヤマブキ、レンギョウ
	耐陰性のある樹種		マサキ		アオキ、キャラボク、ジンチョウゲ、ツルグミ、ヒサカキ		イヌツゲ、サツキツツジ、ナンテン、マメツゲ	
ツル・草本	エゾオオバコ、オカヒジキ、ケカモノハシ※ <sup>2</sup> 、コウボウムギ※ <sup>2</sup> 、シロヨモギ※ <sup>2</sup> 、ハマエンドウ※ <sup>3</sup> 、ハマニンニク※ <sup>3</sup> 、ハマヒルガオ※ <sup>3</sup> 、ハマボウフウ※ <sup>3</sup> 、ヤマアワ				キツタ、ナツツタ、ツタウルシ		イワガラミ	

○地域生態系由来ではない種についても、公園の修景木や並木として限定的に植樹する場合の参考として掲載している。

○ゴシック体文字：公共用緑化樹木として位置づけられている樹種を示す。

下線：冠潮性が強い樹種

※1：従来、海岸林としてアカマツが使用されていた岩手県久慈市等ではアカマツを選択

※2：A-Iのみに植栽可能な樹種

※3：A-I～IIIに植栽可能な樹種

内陸：海水飛沫の被害がほとんどない海岸から一定の距離をおいた沿岸部の地帯  
耐陰性のある樹種：A-IIは、クロマツ林等が成立した後に複層林として、A-IIIは、クロマツ等と広葉樹を混交して育成することが望ましいため、林床部の樹種は、耐陰性が求められる。

表Ⅱ-6 エリア①～③における海岸部での生育可能な樹種(外来種)

A-I	○		×		×		×	
A-II	○		○		×		×	
A-III	○		○		○		×	
内陸	○		○		○		○	
	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉	常 緑	落 葉
<b>エリア①（茨城県～宮城県牡鹿半島）における海岸部での生育可能樹種</b>								
高木層		ギョリュウ	トウネズミモチ <sup>※8</sup>	イタリアポプラ、カ ロリナポプラ、メタ セコイヤ、モミジ バスカケノキ	ギンヨウアカ シア、ゲッケ イジュ、セイ ヨウヒイラギ、 フサアカシ ア、ユーカリ	ギンドロ(ウラジロ ハコヤナギ)、ザ クロ、セイヨウハ コヤナギ、ナツメ、 ナンキンハゼ、ポ プラ	キンモクセイ、ホ ソバタイサンボ ク、ヒマヤスギ	アメリカヤマナラ シ、シンジュ、ス ズカケノキ、タイ ワンフウ、トウカ エデ、モミジバフ ウ、ユリノキ
低木層	アツバギミガ ヨラン				キミガヨラン、 ナギイカダ	ハナゾノツクパネ ウツギ(アベリア)	セイヨウシャクナ ゲ	シナレンギョウ
<b>エリア②（宮城県牡鹿半島～岩手県久慈市）における海岸部での生育可能樹種</b>								
高木層		ギョリュウ		イタリアポプラ、カ ロリナポプラ、メタ セコイヤ	ゲッケイジュ	ギンドロ(ウラジロ ハコヤナギ)、ザ クロ、セイヨウハ コヤナギ、ナツメ、 ポプラ、モミジバ スカケノキ	キンモクセイ、セ イヨウヒイラギ、ヒ マヤスギ	アメリカヤマナラ シ、シンジュ、ス ズカケノキ、トウ カエデ、ユリノキ
低木層					キミガヨラン <sup>※6</sup> 、 ナギイカダ	ハナゾノツクパネ ウツギ(アベリア)	セイヨウシャクナ ゲ	シナレンギョウ
<b>エリア③（岩手県久慈市～青森県）における海岸部での生育可能樹種</b>								
高木層		ギョリュウ		イタリアポプラ、カ ロリナポプラ、メタ セコイヤ	ゲッケイジュ	ギンドロ(ウラジロ ハコヤナギ)、ポ プラ、モミジバス カケノキ	セイヨウヒイラギ、 ヒマヤスギ	アメリカヤマナラ シ、ザクロ、シン ジュ、スズカケノ キ、セイヨウハコ ヤナギ、トウカエ デ、ナツメ、ユリ ノキ
低木層					ナギイカダ		セイヨウシャクナ ゲ	シナレンギョウ、 ハナゾノツクパネ ウツギ(アベリ ア)

○ゴシック体文字：公共用緑化樹木として位置づけられている樹種

下線：冠潮性が強い樹種

※6：良好な日照条件が必要な樹種

※8：外来生物法で要注意外来生物とされている樹種

外来種の使用について

地域生態系の保全の観点から使用しないことが望ましいため、飛砂の防止や景観木としての利用など特段の理由がある場合には、周囲への影響などを十分に勘案して使用する

### ○海水の浸水による植栽への影響 残存した樹木の状況

倒木等を免れた海岸部のクロマツのうち、浸水域にあるものの多くは葉が茶褐色となり、枯死している可能性がある。ただし、場所によっては、新芽が萌芽している個体も見られ、一度、葉が茶変したタケ類も、夏には新芽が出るなど、時間の経過とともに回復している樹種も見られる。

また、浸水によるクロマツやスギの枯死が見られる周囲において、浸水による影響が見られない樹木（ケヤキ等）も見られる。



茶褐色化した海岸部のクロマツ（三沢市）



茶褐色化の後に見られるクロマツの新芽



茶褐色化した市街地内のクロマツと浸水による影響が見られないケヤキ（多賀城市）



枯死したアカマツと影響が見られないケヤキ（普代村）



複層林でクロマツだけが茶褐色化（石巻市）

図Ⅱ-13 被災地における残存した樹木の状況

## ②植栽密度

○海岸部においては、初期段階では飛砂防止等のために高密度で苗木を植栽し、樹木の成長に合わせて適切な時期に除伐採を行うことで、幹折れ等の被害が発生しないような太さの幹となるよう健全な育成をすることが重要である。

### 【解説】

津波の減衰効果が高くなるためには樹木の本数が多いことが望ましいが、一方、今次津波の被害の結果では、胸高直径が大きくなるにつれ被害割合が低くなる傾向があることから、本震災でもみられた幹折れ等の被害が発生しないような太さの幹に成長できる適正な密度の確保が重要である。

そのため、海岸部では、初期段階では飛砂防止等のために高密度で苗木を植栽し、適切な時期（育ち過ぎない時期）に、適切な除伐採を行うこととする。（参考資料1 P36）

クロマツ林においては、「クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方 一本数調整と侵入広葉樹の活用」（平成23年3月）に、適正な樹木密度及び除伐時期について整理されており、これに準じた密度構成とする。（参考資料1 P37、38）

表Ⅱ-7 胸高直径と目標密度

平均胸高直径 (cm)	目標密度 (本/ha)
4	9,250
6	4,880
8	3,100
10	2,180
12	1,640
14	1,280
16	1,040
18	860
20	730
22	630
24	590

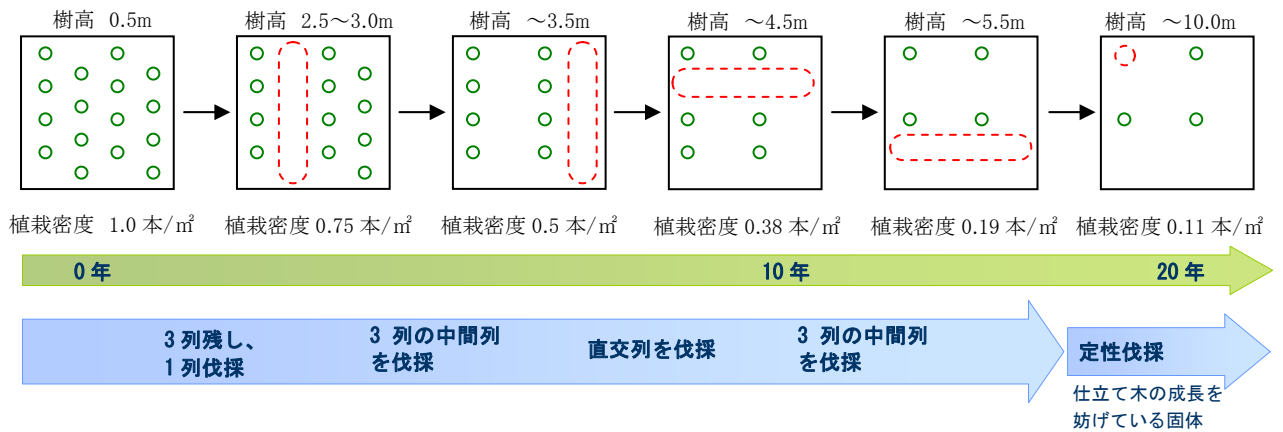
出典：(独)森林総合研究所 クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方  
一本数調整と侵入広葉樹の活用（平成23年3月）  
表2 林冠高に対応した目標本数密度の形状比70の場合を参考にして作成

なお、クロマツの単層林を複層林へと移行させるには、クロマツが生育する貧栄養状態の土壌では、広葉樹の成長が極めて悪いことから、林齢の低いクロマツ林内に広葉樹を植栽するとともに、植穴への客土、継続的な施肥が必要となる。（参考資料1 P18）

また、樹林地の整備にあたっては、将来、間伐等を行う際に、効率的な作業を行うことができるよう、必要に応じて管理用車両の動線を確保しておく必要がある。



(潮風の影響を強く受けるエリア：クロマツ林により潮風を緩和)



図Ⅱ-14 クロマツの密度管理と経年変化(本数調整の手順)

出典：(独)森林総合研究所 クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方  
 一本数調整と侵入広葉樹の活用－(平成 23 年 3 月)

なお、クロマツの植栽密度については、「クロマツ海岸林の管理と保全」(森林総合研究所)による除伐時期及び本数とした。

表Ⅱ-8 植栽初期からの本数調整手順

林冠高 m	伐採対象	残存本数 本/ha	伐採率 %	
2.5~3.0	1伐3残	7,500	25	
~3.5	列状伐採	3残の中間列	5,000	33
~4.5		1伐3残(直交列)	3,750	25
~5.5		3残の中間列	2,500	33
~7.0	定性伐採	仕立て木の成長を妨げている個体	1,875	25
~8.5		仕立て木の成長を妨げている個体	1,406	25
~10.0		仕立て木の成長を妨げている個体	1,055	25

10,000本/ha植栽時

出典：(独)森林総合研究所 クロマツ海岸林の管理の手引きとその考え方  
 一本数調整と侵入広葉樹の活用－(平成 23 年 3 月)

### (3) 植栽基盤の設計の検討

- 地下水位の状況を確認し、樹木の健全な根系の生育に必要となる厚さの植栽基盤<sup>(\*)</sup>を確保することが重要である。
- 垂直根の発達のため、最低でも地下水位より 1.5m、特に津波被害の軽減を期待する場合は地下水位より 2.0m 程度の植栽基盤を確保することが望ましい。

\*：参考資料1 P17

#### 【解説】

##### ① 土壌厚



杭根（ぐいね）により樹木全体の流出だけは免れた被災木

杭根（ぐいね）の見られない浅根の被災木

図Ⅱ-15 陸前高田の高田松原の倒木に見られた2種の根系

出典：日本造園学会 東日本大震災復興支援緊急調査概要および全体報告（平成 23 年 5 月 21 日）

国土交通省国土技術政策総合研究所や（独）森林総合研究所が、地下水位と地盤面の高さの関係を明らかにする目的で、今次津波で見られた倒伏した樹木の根系について調査を行った。

その結果、津波の力に対して倒木しないためには、支持力の基本となる垂直根の発達に加え、水平根も健全に進捗することが必要であるとしている。

また、流木化しなかった樹木の根茎調査を行った結果から、垂直根等の健全な生育のためには、最低でも地下水位より 1.5m、特に津波被害の軽減を期待する場合は、地下水位より 2.0m程度の植栽基盤を確保することが望ましい。

その際、地下水位の状況把握については、潮位、降雨状況、防潮堤工事等の止水矢板設置等によっても変動することにも留意する必要がある。

**【参考】**

宮城県仙台市若林区井土地区の小牛沼国有林 88 林班を対象地とした調査では、地下水位が現況で約 30cm～120cm の深さで存在している。ここで、流木化しなかった樹木は、地下水位が現況で地盤面より約 120cm の位置にあり、直根及び水平根の両方が成長している。一方、流木化した樹木では、直根、水平根ともに生育不良の個体であった。

なお、この地区は、本地震により 0.3m の地盤沈下が計測されていることから、今後、樹林地を整備する場合、少なくとも、地下水位より 1.5m 以上の深さが確保でき、また水平根の発達が可能な植栽基盤厚を確保することが必要がある。



1.2m 程掘削すると地下水位が現れる。



たこ足状の杭根は水面まで達し、水面下 20～50cm くらいの間は細い根が多数出ている。



地盤沈下が起こり杭根の先端が地下水に浸かったものの、多くの長い水平根と多数の杭根により、根返りせずにその場に残ることができたものと思われる。



根系が健全に発育せず被災した樹木

図Ⅱ-16 根返りと樹木の根系の関係

出典：国土交通省国土技術政策総合研究所 津波による樹木倒木等要因調査(平成 23 年 11 月)

また、根鉢の大きさと幹の太さとの関係から、次の考察ができる。

- ・基本的に、幹の細い樹木は、根返り被害を受けやすい。
- ・胸高直径の高い樹木も、根が広がる範囲が低いと流出する。
- ・残存している樹木は、胸高直径が太く、かつ根の生育範囲も広い。

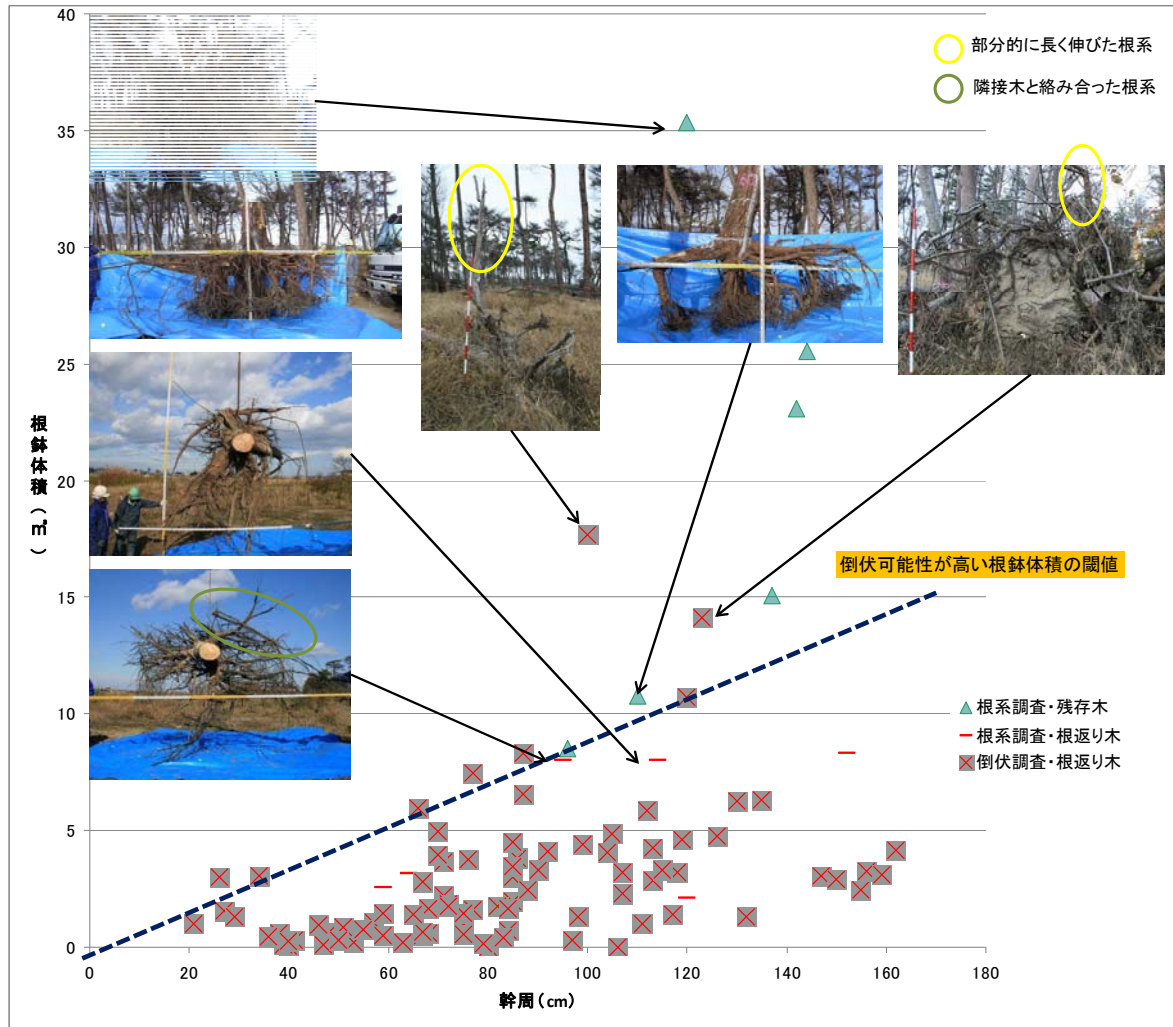


図 II-17 根返り被害と根鉢容量、幹半径の関係図

出典：国土交通省国土技術政策総合研究所 津波による樹木倒木等要因調査(平成 23 年 11 月)



## ② 土壌改良

植栽基盤の整備にあたっては、樹林が健全に成長し、支持根を伸ばすことができる基盤厚の確保と、締めすぎない適切な土壌硬度を担保する整備が重要である。また、植栽基盤に適した透水性や保水性、保肥力をもつ土壌であるかを確認し、必要に応じた土壌改良材の混和についても留意する必要がある。

また、津波による盛土の破壊を防止するためには、締め固めた盛土構造とする必要があるものの、根の進捗に必要な処置を施さないまま植栽基盤を施すと、締め固めた部分より下層部には根が進捗しない。

そのため、盛土の構造基盤の上部にあらかじめ余盛を行った上で締め固めを行い、その後、根が進捗できるよう、バックホウや耕運機等で余盛部分を耕転する普通耕などを行う等の土壌改良を行う必要がある。

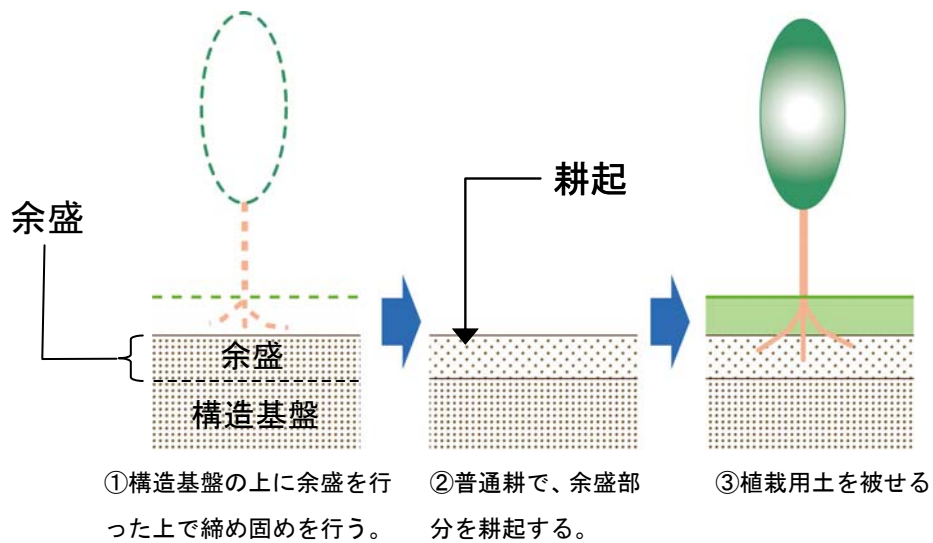


図 II-18 普通耕の手順

#### (4) その他留意事項

##### ①植栽の施工

苗木を植栽する際に、ポット苗の中でルーピングしている状態で植え付けると、健全な根系の成長が阻害される。

特に、クロマツの場合は、根系に付着している菌根がその後の生育に重要な役割を果たすため、用いる苗の根がルーピングしていないことを確認した上で、植栽することが重要である。

その他の樹種においてもルーピングしていない苗を使用することが望ましいが、良好な苗の調達が難しい場合は、植え付け時には根を丁寧にほぐし植栽するよう対策を行う。



太い直根（杭根）と水平根を伸ばした実生から育成した苗（左）と、ルーピングにより伸長が阻害されている苗（右2点）。

図Ⅱ-19 苗木の根の形状

出典：国土交通省国土技術政策総合研究所 津波による樹木倒木等要因調査（平成23年11月）

また、立地条件により異なるが、風による飛砂がある場合は、衝立工などで適宜保護工を行う必要がある。（参考資料1 P39～42）

##### ②苗木の準備

植栽工事が短期間に集中して実施されることも想定する必要がある、植栽する苗木の供給量とその体制についても考慮する必要がある。（参考資料1 P43）

植栽する場所から遠隔の生産地の苗木を使用する際には、耐潮性等の生育面や地域の遺伝子保全の観点から、問題がないか検討する必要がある。